57.(2ქა)5.61
ყ-137

ა.შათირიშვილი
ს.ცაგარელი
მ.ცარციძე

ზოგადი ბიოლოგია

ა. შათირიშვილი, ს. ცაგარელი, მ. ცარციძე

ზოგადი ბიოლოგია

დამტკიცებულია საქართველოს განათლების
სამინისტროს მიერ სახელმძღვანელოდ უმაღლესი
სასწავლებლების ბიოლოგიისა და მედიცინის სპეციალობის
სტუდენტებისათვის

მეორე გამოცემა

თბილისი
1999

57(075.3)
ბ-177

წინამდებარე სახელმძღვანელოში განხილულია ბიოლოგიის ისეთი აქტუალური მიმართულებები, როგორიცაა უჯრედისა და ვირუსების ბიოლოგია, გენეტიკა, ორგანიზმთა გამრავლება, ინდივიდუალური განვითარება და ზრდა, ევოლუციური თეორია, სიცოცხლისა და ადამიანის წარმოშობა, ეკოლოგია.

წიგნი განკუთვნილია ბიოლოგიისა და მედიცინის სპეციალობის სტუდენტებისათვის. იგი აგრეთვე გარკვეულ დახმარებას გაუწევს საშუალო სკოლის მასწავლებლებსა და სპეციალიზირებული ლიცეუმებისა და კოლეჯების მაღალი კლასის მოსწავლეებსაც.

- 89616 -

რედაქტორი: საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის წ/კ
პროფ.გ.თუმანიშვილი
რეცენზენტები: საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის წ/კ, პროფ.
ნ.ალექსიძე
საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის წ/კ,
პროფ. დ.ჯოხაძე
პროფ. ე. აბზიანიძე

მხატვარი ს. ასათიანი

ეძღვნება პროფესორების
ლევან ნათაძისა და
იზაბელა ჯუჯულაშვილის
ნათელ ხსოვნას

წინასიტყვაობა

წიგნის მიზანია მკითხველს წარმოდგენა შეუქმნას ზოგად ბიოლოგიურ კანონზომიერებებზე. სახელმძღვანელო საშუალებას იძლევა, რომ იგი გამოყენებულ იქნას სხვადასხვა პროგრამით გათვალისწინებულ ბიოლოგიურ დისციპლინათა სწავლებაში.

ავტორები იმედოვნებენ, რომ ნაშრომი წაადგება როგორც სტუდენტ ახალგაზრდობას, ისე ბიოლოგიურ დარგებიდან დაშორებულ მკითხველს, რომლისთვისაც უცხო არაა ის მტკივნეული საკითხები, რაც სამეცნიერო-ტექნიკურმა პროგრესმა მოგვიტანა.

ეს წიგნი პირველად 1998 წელს გამოიცა მცირე ტირაჟით. ახლა ის რამდენადმე გადამუშავებულია, უფრო მეტად კი - გაფართოებულია. გათვალისწინებულია კოლეგების რჩევა და კრიტიკული შენიშვნები. დიდი მადლობა გვინდა მოვახსენოთ პროფესორებს: ნ. ალექსიძეს, გ. ბედოშვილს, ა.გეგეჭკორს, ი.ელიავას, ვ.ნასიძეს, გ.ნახუცრიშვილს, ჯ.ქრისტესაშვილს. დოცენტებს: ნ. დვალიშვილს, თ. კლიმიაშვილს, ზ.ქიქოძეს, მ. შენგელიას, ჯ. ჩიკვაიძეს, ე. ჯგერენაიას, თ. ჯოხაძეს, ნ.ჭელიძეს, იმ საქმიანი მეგობრული დახმარებისათვის, რაც მათ გაგვიწიეს. ასევე მადლობა გვინდა გადავუხადოთ დოც. ზ. ჩიტიაშვილს, ნ.არჩვაძეს, მ. ფოჩხიძეს, ტექსტის კომპიუტერზე აწყობისათვის.

შენიშვნები, რომლებიც ხელს შეუწყობს სახელმძღვანელოს გაუმჯობესებას, მადლობით იქნება მიღებული ავტორთა მიერ.

ავტორები

შესავალი

ბიოლოგიის საგანი და ცოცხალი მატერიის თვისებები

ცოცხალი სამყაროს შესწავლა იყო და რჩება ადამიანის მოღვაწეობის ერთ-ერთ მნიშვნელოვან სფეროდ. მასთან იყო დაკავშირებული თვით ადამიანის სიცოცხლეც. ადამიანს უნდა სცოდნოდა დედამიწაზე არსებული ცოცხალ ორგანიზმებიდან რომელი გამოეყენებინა საკვებად, სამკურნალოდ, ჩასაცმელად, საბინადრო გარემოდ და მორიდებოდა მავნე ან მომწამლავ ორგანიზმებს. მოგვიანებით, პრაქტიკული ამოცანებიდან გამომდინარე, ადამიანმა დაიწყო სოკოების, მცენარეებისა და ცხოველების შეგროვება და კლასიფიკაცია, შექმნა მათი გავრცელების ადგილების სიები. ადამიანის მოღვაწეობის ეს პერიოდი ითვლება ცოცხალ ორგანიზმთა შესწავლის ისტორიად და მას მეცნიერებას არ უწოდებენ. თუმცა უდავოა, რომ ეს პერიოდი ბიოლოგიის როგორც მეცნიერების ჩამოყალიბების წინა პერიოდია.

მიუხედავად იმისა, რომ ბიოლოგია საბუნებისმეტყველო მეცნიერების საკმაოდ ძველი დარგია, ტერმინი პირველად მოხსენიებული აქვს გერმანელ ანატომს ტ. როიზეს 1797 წელს. მოგვიანებით (1800) ტარტუს უნივერსიტეტის პროფესორი კ.ბურდახი ბიოლოგიას უწოდებს მეცნიერებას ადამიანის შესახებ. კ.ლინე ბიოლოგებს უწოდებდა ბოტანიკის ისტორიის შემსწავლელთა. ტერმინი ბიოლოგია თანამედროვე გაგებით სათავეს იღებს 1802 წლიდან. იგი, ერთმანეთისაგან დამოუკიდებლად, შემოიტანეს ჟ.ბ.ლამარკმა და გ.ტრევირანუსმა. ბუნებისმეტყველმა და ფიზიოლოგმა გ.ტრევირანუსმა გამოსცა დიდი მოცულობის ნაშრომი "ცოცხალი ბუნების ბიოლოგია ანუ ფილოსოფია ბუნებისმეტყველთა და ექიმებისათვის". მან სცადა ჩამოეყალიბებინა მედიცინისაგან განსხვავებული ახალი დისციპლინა, რომელიც იკვლევს ცოცხალი ბუნების განვითარების კანონზომიერებებს. ფრანგი ზოოლოგის გრასეს აზრით გ.ტრევირანუსის ნაშრომში ვერ აისახა ავტორის ჩანაფიქრი და იგი შემოიფარგლა მხოლოდ ორიგინალურ ცხოველთა და მცენარეთა სისტემატიკური აღწერით. ჟ.ბ. ლამარკმა ტერმინი ბიოლოგია პირველად იხმარა 1802 წელს ნაშრომში "ჰიდროგეოლოგია", რომელშიც აღნიშნავდა, რომ სურს გამოსცეს ცალკე ნაშრომი "ბიოლოგიის" სახელწოდებით. ამასვე აღნიშნავდა იგი მოგვიანებით, 1809 წ "ზოოლოგიის ფილოსოფიასა" და "უხერხემლო ცხოველთა ისტორიაში". მეორე მსოფლიო ომის დროს გრასემ პარიზში აღმოაჩინა ლამარკის 25 ფურცლიანი ხელნაწერი, რომელსაც სათაურად "ბიოლოგია" ერქვა. სავარაუდოა, რომ იგი დაწერილი იყო 1809-1815 წლებში. ხელნაწერი შეიცავს გეგმას და მოხაზულია მომავალი შრომის ფრაგმენტები. ნაშრომი დაუმთავრებელი დარჩა.

ბიოლოგია ბერძნული სიტყვაა და ნიშნავს: bios-ცოცხალი, logos-მოძღვრება. იგი არის შეცნიერება ცოცხალის შესახებ. ცოცხალი გამოირჩევა მრავალფეროვნებით. აღწერილია ცოცხალ ორგანიზმთა მრავალი სახეობა: დედამიწაზე ცნობილია პროკარიოტების (ბაქტერიები, ლურჯ-მწვანე წყალმცენარეები) 3000-მდე, მცენარეების 0,5 მლნ-ზე მეტი და ცხოველების 1,5 მილიონამდე სახეობები. ბიოლოგიის ამოცანაა ბუნების ამ მრავალფეროვნებაში გამოავლინოს და ახსნას ზოგადი კანონზომიერებები, რომელიც საერთო იქნება ყველა ცოცხალი ორგანიზმისათვის. ბიოლოგია

სწავლობს ყველა თვისებას, რომელსაც ცოცხალი ამჟღავნებს. რას ნიშნავს ცოცხალი? რა არის სიცოცხლის არსი? ეს პრობლემა დღემდე აინტერესებს კაცობრიობას. შორეულ წარსულში ადამიანი სიცოცხლეს უკავშირებდა ზებუნებრივ ძალებს. ჩვენს ეპოქაში, როდესაც მოხდა სამეცნიერო ტექნიკური პროგრესი და ბიოლოგიამ მიაღწია არნახულ-განსაცვიფრებელ შედეგებს, ბევრი რამ სიცოცხლის შესახებ მაინც ამოუცნობი რჩება. მაგალითად, დიდ სირთულესთან არის დაკავშირებული დადგინდეს ის პერიოდი, როდესაც წყვეტს სიცოცხლეს შეცნარე ან ცხოველი. იმ შემთხვევაში, როდესაც ადამიანი წყვეტს სუნთქვას და უწერდება გულის მუშაობა, ვამბობთ, რომ იგი გარდაიცვალა. მიუხედავად ამისა, ადამიანის ორგანიზმის მრავალი უჯრედი აგრძელებს სიცოცხლეს. ბევრ შემთხვევაში, თუ თავის ტვინის ნეირონებს არ დაუკარგავს სიცოცხლის უნარი, ხელოვნური სუნთქვისა და გულის კუნთის სტიმულაციის შედეგად ადამიანი ცოცხლდება და აგრძელებს ნორმალურ შემოქმედებით მოღვაწეობას. ამიტომ ცოცხალი განისაზღვრება როგორც განსაკუთრებული და უნიკალური მოვლენა. იგი ვერ აიხსნება მხოლოდ ფიზიკური და ქიმიური კანონების მოქმედებით. ბიოლოგიური მეცნიერების ძირითად ამოცანას წარმოადგენს ცოცხალი ბუნების ნებისმიერი თვისების გამოვლენა ახსნას მეცნიერული კანონზომიერებებით. მაგრამ შუდამ უნდა გვახსოვდეს ის გარემოება, რომ მთლიანი ორგანიზმის თვისებები რადიკალურად განსხვავდება მისი შემადგენელი ნაწილების თვისებებისაგან.

ნეირობიოლოგს შეუძლია აღწეროს ცალკეულ ნეირონთა მოქმედება ფიზიკურ-ქიმიურ კანონთა საფუძველზე, მაგრამ ცნობიერების ფენომენის ამ მიდგომით ახსნა შეუძლებელი ხდება. ცნობიერება წარმოიქმნება მრავალ ნეირონთა ერთობლივი მოქმედების საფუძველზე, რის შედეგადაც იცვლება თითოეული ნეირონის ელექტროქიმიური მდგომარეობა. ნეიროფიზიოლოგიას არ გააჩნია არავითარი რეალური წარმოდგენა იმის შესახებ, თუ როგორ ყალიბდება ახრი და რა არის მისი არსებობის ქიმიური სუბსტრატი.

ასევე არ შეგვიძლია ზუსტად განვსაზღვროთ როდის და როგორ გაჩნდნენ ცოცხალი ორგანიზმები ჩვენს პლანეტაზე და განვითარების რა ეტაპები გაიარეს. ჩვენ შეგვიძლია მხოლოდ ვამოვთვალოთ და აღვწეროთ ცოცხალი მატერიის ის თვისებები, რომლებიც განასხვავებენ მათ არაცოცხალისაგან.

სუნთქვა არის ორგანიზმში მიმდინარე ქიმიურ-ფიზიკურ და ფიზიოლოგიურ პროცესთა ერთობლიობა, რომლის შედეგად მოიხმარება ჟანგბადი და გამოიყოფა ნახშირბადის (IV) ოქსიდი. ორგანიზმები ჟანგბადის გამოყენებით უჯრედებში ჟანგავენ ორგანულ ნაერთებს: ცილებს, ცხიმებს და ნახშირწყლებს და გამოყოფენ ენერგიას, რომელის ნაწილიც ATP-ს მოლეკულებში მობილიზდება. ორგანიზმები ენერგიას იყენებენ სხვადასხვა სასიცოცხლო ფუნქციების შესასრულებლად. ჟანგბადის გამოყენების მიხედვით ორგანიზმები იყოფიან აერობულ და ანაერობულ ორგანიზმებად. მათ შორის უმრავლესობა აერობული ორგანიზმია, რომლებიც მოლეკულურ ჟანგბადს ითვისებენ გარემოდან სუნთქვის გზით. უმცირესობას წარმოადგენს ანაერობული ორგანიზმები, რომლებიც მოლეკულურ ჟანგბადს არ საჭიროებენ. მათში ენერგიის გამოყოფა ძირითადად მაღალენერგეტიკული ორგანული ნაერთის ანაერობული გარდაქმნით (დუღილი) ხორციელდება. ანაერობულ სუნთქვას ზოგჯერ ინტერმოლეკულურ სუნთქვას უწოდებენ. ფილოგენეზურად უფრო ადრე გაჩნდა ანაერობული სუნთქვა.

კვება. საკვები ესაჭიროება ყველა ცოცხალ ორგანიზმს. მისი მეშვეობით ორგანიზმი იღებს ენერგიას და ნივთიერებებს, რომელსაც იყენებს ზრდისა და სხვა სასიცოცხლო ფუნქციების განსახორციელებლად. საკვების მოპოვების მიხედვით მცენარეები და ცხოველები განსხვავდებიან ერთმანეთისაგან: თითქმის ყველა მცენარეს აქვს ფოტოსინთეზის უნარი, რის შედეგადაც სინათლის ენერგიის გამოყენებით თვითონ ქმნიან არაორგანულიდან ორგანულ (საკვებ) ნივთიერებებს; ფოტოსინთეზი აუტოტროფული კვების ერთ-ერთი ფორმაა. ცხოველები და სოკოები მცენარეებისაგან განსხვავებულად იკვებებიან-იყენებენ მზა ორგანულ ნაერთებს, ფერმენტოთა საშუალებით შლიან მათ და ასინთეზებენ საჭირო ნივთიერებებს. კვების ასეთ ფორმას ჰეტეროტროფული ეწოდება. კვების ასეთი ტიპი აღენიშნებათ ბაქტერიებსაც, თუმცა არსებობენ ბაქტერიები კვების აუტოტროფული ფორით.

გადიზიანებადობა. ყველა ცოცხალ ორგანიზმს აქვს გარეგან და შინაგან ფაქტორთა ცვალებადობაზე რეაგირების უნარი, რაც მათ ხელს უწყობს შეეგუონ საარსებო გარემოს. მაგალითად, ძუძუმწოვართა სისხლძარღვები ტემპერატურის მომატებისას ფართოვდება და მოჭარბებულ სითბოს განაბნევს, რაც უზრუნველყოფს ორგანიზმში ოპტიმალური ტემპერატურის შენარჩუნებას. მწვანე მცენარეები მოძრაობენ განათების მიმართულებით, რათა მიიღონ ფოტოსინთეზისათვის აუცილებელი სინათლის ენერგია.

მოძრაობა. ცხოველებს, მცენარეებისაგან განსხვავებით, გარემოში საკმაოდ დიდ მანძილზე გადაადგილების უნარი აქვთ. მათ მოძრაობის უნარი რომ არ ჰქონდეთ, საკვებსაც ვერ მოიპოვებდნენ. მცენარეებს საკვების მოსაპოვებლად არ ესაჭიროებათ გადაადგილება. მათ შესწევთ ორგანული ნივთიერებების სინთეზი ფოტოსინთეზის გზით. მიუხედავად ამისა მცენარეთა ორგანოები მოძრაობენ, თუმცა ცხოველებთან შედარებით გაცილებით ნელა. მოძრაობის უნარი აქვს ზოგიერთ ბაქტერიას და ერთუჯრედიან წყალმცენარეს.

ბამღიმღშა ფიზიოლოგიური პროცესია, რომლის საშუალებით ორგანიზმი იშორებს ნივთიერებათა დისიმილაციის საბოლოო პროდუქტებს, რომელთა უმეტესობა ტოქსიკურია. მაგალითად, ასეთი მომწამლავი ნივთიერებები წარმოიქმნება სუნთქვის პროცესში. აუცილებელია მათი ორგანიზმიდან გამოდევნა, წინააღმდეგ შემთხვევაში ორგანიზმი დაიღუპება. ცხოველები დიდი რაოდენობით მოიხმარენ ცილებს, რომელთა დაშლის შედეგად წარმოქმნილი ამინომჟავების ნაწილი ახოტოვანი ნაეროების სახით გამოიყოფა გარეთ. ორგანიზმიდან გამოიყოფა, აგრეთვე, ტოქსინები, მძიმე მეტალები და ორგანიზმისათვის მავნე სხვა ნაერთები.

ზრდა. არაცოცხალი ბუნების ობიექტები: კრისტალები და სტალაგმიტები იზრდება ზედაპირზე ახალი ნივთიერებების დაგროვების ხარჯზე, ხოლო ცოცხალი ორგანიზმები – აუტოტროფული და ჰეტეროტროფული კვების შედეგად მიღებული ნივთიერებების ხარჯზე, ორგანიზმის შიგნიდან. ნივთიერებათა ასიმილაციის შედეგად იქმნება ახალი ცოცხალი პროტოპლაზმა.

გამრავლება. ნებისმიერი ორგანიზმის სიცოცხლის ხანგრძლივობა განსაზღვრულია, გარკვეული დროის შემდეგ იგი კვდება, მაგრამ სიცოცხლე გრძელდება, გრძელდება ორგანიზმთა უსქესო და სქესობრივი გამრავლებით. მშობელთა ნიშნები არსებობას აგრძელებენ მომდევნო თაობებში.. დადგენილია ნუკლეინის

მყავების სტრუქტურა, რომელიც შეიცავს გენეტიკურ ინფორმაციას. იგი გადაეცემა თაობებს, რის საფუძველზეც სახეობა არსებობას აგრძელებს.

თვითორგანულაცია. ცოცხალი მატერიისაგან განსხვავებით არაცოცხალი ორგანული ნაერთები ადვილად იშლება მექანიკურ და ქიმიურ ფაქტორთა გავლენით. ცოცხალ არსებებს მოეპოვებათ თვითრეგულაციის უნიკალური თვისება, რომლის შედეგად ორგანიზმები ინარჩუნებენ სტრუქტურას, საჭირო ნივთიერებებსა და ენერგიას მოიხმარენ მიზანმიმართულად. აღნიშნული რეგულაცია ცოცხალს საშუალებას აძლევს შეინარჩუნოს ჰომეოსტაზი ბიოლოგიური ორგანიზაციის ყველა დონეზე, დაწყებული მოლეკულიდან ბიოსფეროს ჩათვლით.

ჩვენ ჩამოვთვალეთ ცოცხალის რამდენიმე თვისება, რომელიც მეტ-ნაკლებად დამახასიათებელია ნებისმიერი ცოცხალი ორგანიზმისათვის. ამავე დროს ის არის ერთადერთი მაჩვენებელი იმისა, ცოცხალია იგი თუ არა. ცოდნის დღევანდელი დონიდან გამომდინარე ბიოლოგები ვერ ახერხებენ ცნება "ცოცხალის" ისეთ ზუსტ განმარტებას, რომელსაც ყველა გაიზიარებდა.

ბიოლოგიურ მეცნიერებათა სისტემა

ბიოლოგიის განვითარება მიმდინარეობდა საკვლევი ობიექტის თანდათანობითი გამარტივების გზით. შემეცნების ამ გზას „რედუქციონიზმს„ უწოდებენ. ცოცხალი ბუნების განვითარების ზოგადი კანონზომიერებების დადგენა შესაძლებელია მხოლოდ ცალკეულ ორგანიზმთა შესწავლისა და ურთიერთშედარების (სინთეზის) საფუძველზე, რომელსაც მოითხოვს სხვადასხვა ბიოლოგიური დისციპლინები.

ბიოლოგიური დარგებიდან რედუქციონიზმის (დიფერენცირების) შედეგად დამოუკიდებელ დისციპლინებად ყველაზე ადრე ჩამოყალიბდა ზოოლოგია და ბოტანიკა (ზოოლოგია სწავლობს ცხოველთა, ბოტანიკა კი მცენარეთა სამეფოს).

ორივე მიმართულება განვითარების შედეგად მოგვიანებით დაიყო ვიწრო დარგებად. ზოოლოგიაში გამოიყო: პროტოზოოლოგია, რომელიც სწავლობს ერთუჯრედიან ცხოველებს (ამჟამად ამ ორგანიზმებს პროტისტების სამეფოში აერთიანებენ), ენტომოლოგია-მწერებს, იხთიოლოგია- თევზებს, ორნითოლოგია-ფრინველებს, პარაზიტოლოგია-პარაზიტ ცხოველებს და სხვ. ბოტანიკაც მრავალ დარგებად დაიყო: ალგოლოგია, რომელიც სწავლობს წყალმცენარეებს, ბრიოლოგია-ხავსებს, დენდროლოგია-მერქნიან მცენარეებს (ხეებსა და ბუჩქებს) და სხვ.

კვლევის ობიექტის მიხედვით ბოტანიკასა და ზოოლოგიას დაემატა მიკოლოგია, რომელიც სწავლობს სოკოთა სამეფოს, მიკრობიოლოგია-მიკროორგანიზმებს, ვირუსოლოგია-ვირუსებს. თითოეული ამ მეცნიერებათაგანი უფრო ვიწრო დარგებად იყოფა.

ორგანიზმთა მრავალფეროვნებას და მათ განაწილებას ტაქსონომიურ ჯგუფებად სწავლობს სისტემატიკა. ორგანიზმის ურთიერთობას სხვა ინდივიდებთან და გარემოსთან შეისწავლის მეცნიერება ეკოლოგია. გეოგრაფიულ განაწილებას ადგენს ბიოგეოგრაფია (ფიტოგეოგრაფია და ზოოგეოგრაფია), წყალში ბინადარ ორგანიზმებს იკვლევს ჰიდრობიოლოგია. პალეონტოლოგია სწავლობს ნამარხ ფორმებს, რომლებიც ცხოვრობდნენ შორეულ წარსულში. ამ ორგანიზმებიდან ზოგი ამომწყდარია, ზოგიც კი დღესაც აგრძელებს არსებობას.

ორგანიზმის აღნაგობას შეისწავლის მორფოლოგიური დარგები: ანატომია-სწავლობს სტრუქტურათა აგებულებას შეუიარაღებელი თვალით, ჰისტოლოგია-სწავლობს ქსოვილებს მიკროსკოპის გამოყენებით, ციტოლოგია-სწავლობს ცალკეულ უჯრედებს.

ორგანიზმში მიმდინარე სასიცოცხლო პროცესებს სწავლობს ფიზიოლოგია. ორგანიზმის მემკვიდრულობისა და ცვალებადობის კანონზომიერებებს-გენეტიკა. ინდივიდური განვითარების კანონზომიერებებს-განვითარების ბიოლოგია, მის შემადგენლობაში შედის ემბრიოლოგია.

ბიოლოგიის ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი დარგია ევოლუციური თეორია (ბიოევოლუცია), რომელიც სწავლობს ორგანული სამყაროს ისტორიული განვითარების კანონზომიერებებს.

საბუნებისმეტყველო მეცნიერებებისათვის და კერძოდ ბიოლოგიისათვის დამახასიათებელია აგრეთვე სხვადასხვა დარგების ერთმანეთში შეჭრის და ინტეგრაციის (გაერთიანების) ტენდენციები. „ინტეგრალიზმის„ შედეგად ბიოლოგიაში ჩამოყალიბდა ბიოქიმია-სწავლობს ორგანიზმის ქიმიურ შედგენილობას, მასში შემავალი ნაერთების ოვისებებს და ლოკალიზაციას, აგრეთვე, მათი წარმოქმნის გზებს. ბიოფიზიკა-იკვლევს ორგანიზმში მიმდინარე ფიზიკურ და ფიზიკურ-ქიმიურ პროცესებს. ბიოქიმიის, ბიოფიზიკის, გენეტიკისა და მიკრობიოლოგიის მიღწევებზე ჩამოყალიბდა მოლეკულური ბიოლოგია. იგი სწავლობს ორგანიზმის ცხოველქმედების პროცესებს ცალკეული მოლეკულების, მოლეკულური კომპლექსებისა და ზემოლეკულური სტრუქტურების დონეზე. ცალკე დარგებად ჩამოყალიბდა რადიობიოლოგია, ბიოკიბერნეტიკა და კოსმოსური ბიოლოგია. სოციალურ მეცნიერებათა და ბიოლოგიის მიღწევებზე ჩამოყალიბდა ანთროპოლოგია (შეისწავლის ადამიანს როგორც ევოლუციის პროდუქტსა და ობიექტს) და სოციბიოლოგია (შეისწავლის ცხოველთა საშეფოში ჩამოყალიბებულ და ევოლუციურად განმტკიცებულ სოციალურ იერარქიას). ბიოლოგიაში შეიჭრა მათემატიკა, რის საფუძველზეც ჩამოყალიბდა ბიომეტრია. იგი მათემატიკური სტატისტიკის მეთოდებით გეგმავს ექსპერიმენტის ჩატარების მიმდინარეობას და ახდენს მიღებული შედეგების რაოდენობრივ ანალიზს, ადგენს განსხვავებას სხვადასხვა ცვლილებებს შორის. მეცნიერების კომპიუტერიზაციამ განაპირობა კომპიუტერების შემოჭრა ბიოლოგიის სხვადასხვა მიმართულებებში, რამაც შექმნა ხელსაყრელი პირობები თეორიული ბიოლოგიის ინტენსიური განვითარებისათვის.

სიცოცხლის ორგანიზაციული დონეები

სიცოცხლე დედამიწაზე ნაირგვარი სახით ვლინდება. იგი წარმოდგენილია პროკარიოტული და ეუკარიოტული, ერთუჯრედიანი და მრავალუჯრედიანი ფორმებით. მრავალუჯრედიანები თავის მხრივ გაერთიანებულია სოკოების, მცენარეთა და ცხოველთა სამეფოებში. ცალკეულ სამეფოში გაერთიანებულია ტიპები (განყოფილებები), კლასები, რიგები, ოჯახები, გვარები, სახეობები, ინდივიდები. არაერთგვაროვნების მიუხედავად ცოცხალი ბუნება იერარქიული ორგანიზაციის როული სისტემაა. სისტემის ცნებაში იგულისხმება გარკვეული კანონზომიერებით ურთიერთდაკავშირებული და ურთიერთდამოკიდებული ელემენტების ერთიანობა

(მთლიანობა). ძირითადი ბიოლოგიური კატეგორიები, კერძოდ, გენოტიპი, უჯრედი, პოპულაცია, ეკოსისტემა, ბიოსფერო – სისტემებს წარმოადგენენ. როდესაც სისტემის შემადგენელი ურთიერთმოქმედი კომპონენტები (ნაწილები) რივითობის მიხედვით უმდაბლესიდან უმაღლესისკენაა განლაგებული, მათ იერარქიული ეწოდება.

სიცოცხლის ორგანიზაციის იერარქიული პრინციპი საშუალებას იძლევა სისტემაში გამოიყოს ცალკეული ორგანიზაციის დონე. ამგვარი დიფერენცირება აადვილებს სიცოცხლის-ამ რთული მოვლენის– შესწავლას. მეცნიერული კვლევის პრინციპებიდან გამომდინარე გამოყოფენ: მოლეკულურ, სუბუჯრედულ, უჯრედულ, ორგანულ, ორგანიზმულ (ონტოგენეზური), პოპულაციურ, სახეობრივ, ეკოსისტემურ და ბიოსფერულ დონეებს. ცოცხალი ბუნების ორგანიზაციულ დონეებად ამგვარ დაყოფას ისტორიული ტრადიცია აქვს, რომელიც მხოლოდ მისი შესწავლის ტენდენციებს გამოხატავს.

მიზანშეწონილია სიცოცხლის ორგანიზაციული დონეების იმგვარი კლასიფიკაციის შემუშავება, რომელშიც მეტნაკლები სისრულით აისახება რეალური მდგომარეობა. ამჟამად კლასიფიკაციის საფუძვლად უდევს საერთო პრინციპები. სიცოცხლის იერარქიული სისტემის ცალკეული დონის განსაზღვრას ზოგადი კრიტერიუმის მეშვეობით ახდენენ. თითოეული დონისათვის გამოყოფენ ელემენტარულ ეროეულსა და ელემენტარულ მოვლენას. ელემენტარული ეროეული არის ისეთი დისკრეტული სტრუქტურა ან ობიექტი, რომლის კანონზომიერ ცვლილებას ანუ ელემენტარულ მოვლენას გარკვეული წვლილი შეაქვს სიცოცხლის შენარჩუნებასა და განვითარების პროცესში. ამ კრიტერიუმების გამოყენებით გამოყოფილია სიცოცხლის შემდეგი ორგანიზაციული დონეები: 1.მოლეკულურ-გენეტიკური; 2.უჯრედული; 3.ორგანიზმული ანუ ონტოგენეზური; 4.პოპულაციურ-სახეობრივი; 5.ეკოსისტემური.

ორგანიზაციის მოლეკულურ-გენეტიკური დონე ყველაზე უკეთაა შესწავლილი. მემკვიდრულობის ქრომოსომული თეორიის განვითარებამ, მუტაციური პროცესის ანალიზმა, ქრომოსომის ნატიფი სტრუქტურისა და ქიმიური შედგენილობის შესწავლამ, ასევე ვირუსების, კერძოდ ბაქტერიოფაგების გამოკვლევამ შესაძლებელი გახადა ელემენტარული გენეტიკური სტრუქტურის ორგანიზაციის დადგენა და მასთან დაკავშირებული მოვლენის შესწავლა. სიცოცხლის ორგანიზაციის ამ დონეზე ელემენტარულ დისკრეტულ ეროეულს გენი წარმოადგენს, ელემენტარულ მოვლენას კი კონვარიანტული რეპლიკაცია (დნმ-ის რედუპლიკაცია მასში მომხდარი ცვლილებებით-მუტაციებით). ელემენტარული ეროეული-გენი, წარმოადგენს დნმ-ის სეგმენტს, რომელიც შეიცავს გენეტიკურ ინფორმაციას. დნმ-ის რეპლიკაციით მიიღება გენეტიკური ინფორმაციის ასლები. ეს პროცესი უზრუნველყოფს ორგანიზმის ნიშნებისა და თვისებების შენარჩუნებას (კონსერვატიზმი) და შთამომავლობაში გადაცემას. ინფორმაციის შენახვა შეფარდებით სტაბილურია. დნმ-ის მოლეკულაში გარკვეული სიხშირით ხდება სტრუქტურული ცვლილება (მუტაციის ინდუქცია), რის შედეგადაც მემკვიდრული ინფორმაცია იცვლება. რეპლიკაციისას ამგვარი ცვლილებები დნმ-ის მოლეკულის ასლებში შენარჩუნებულია. როგორც რეპლიკაცია, ისე უჯრედში ინფორმაციის გადაცემა (მატრიცული რნმ-ის სინთეზი) მატრიცული სინთეზის რეაქციებს ემყარება. მატრიცულ სინთეზზე დამყარებული

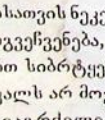
დასაცავად. ამერიკელი ფილოსოფოსის მ.კოენის აზრით ამ მიზნით შემდეგი ოთხი ძირითადი მეთოდი გამოიყენება:

1.მცდარი წარმოდგენები. ეს მეთოდი ჩვევას ან ინერციას ემყარება. ზოგჯერ ვიცავთ იმ შეხედულებას, რომელიც ოდითგანვე გვწამდა. ამ მეთოდს მიმართავენ, მაშინ, როდესაც მსჯელობენ ამა თუ იმ ქვეყანაზე, რასაზე, ენაზე, სპორტულ გუნდზე, ანსამბლზე და ა.შ. სავსებით ცხადია, რომ ამ გზით ახალი ცოდნის შეძენა ნაკლებადაა შესაძლებელი. კამათის დროს საკუთარი ვარაუდის დასასაბუთებლად ხშირად სწორედ ამ მეთოდს იყენებენ.

2.ავტორიტეტის დამოწმება. ავტორიტეტულ პიროვნებას იმოწმებენ, მაშინ, როდესაც სურთ საკუთარი შეხედულებების არგუმენტირება, პიროვნების მრწამსისა და საპოლემიკო საგნის მიხედვით ავტორიტეტი შეიძლება ფრიად ნაირგვარი აღმოჩნდეს. ადამიანები იმოწმებენ კონსტიტუციას, ბიბლიას, ყურანს, პასკალს, დარვინს, ფროიდს, ნიცშეს, მარქსს და ა.შ. მიაჩნიათ, რომ ეს ავსებით საკმარისია ამა თუ იმ ვარაუდის (რომელიც განეკუთვნება პოლიტიკას, ფილოსოფიას, ლიტერატურას, მეცნიერებას, სამართალს, სპორტს და მისთ.) უტყუარობის დასასაბუთებლად.

ავტორიტეტის დამოწმებას ორ შემთხვევაში მიმართავენ. უპირველეს ყოვლისა, როდესაც უშუალო ფაქტობრივი მასალა არ გააჩნიათ. ადამიანის შეზღუდულობის შესაძლებლობა განუსაზღვრელი არაა, მას არ შეუძლია დაიმახსოვროს ყველა პრობლემა, საკითხი ან ტერმინი. ამ შემთხვევაში საკითხის გასარკვევად ან დასაზუსტებლად რომელიმე წყაროს (ენციკლოპედია, ლექსიკონი, სახელმძღვანელო, მონოგრაფია და სხვა) იყენებენ, რაც გამართლებული და აუცილებელიცაა.

მეორე შემთხვევაში იმოწმებენ ისეთ ავტორიტეტს, რომელსაც თვითონ ან სხვებმა შეუქმნეს შეუცდარის რეპუტაცია. ხშირად ამდაგვარი სიტუაცია პოლიტიკური, სოციალური და რელიგიური პრობლემების განხილვისას შეინიშნება. ავტორიტეტი მიჩნეულია ჭეშმარიტების მაუწყებელ საბოლოო ინსტანციად. ამ სახის ჭეშმარიტებაში დაეჭვება არ შეიძლება. იმ ინდივიდს, რომელიც ეჭვს გამოთქვამს



არსებულ რწმენაზე ერეტიკოსად ან მოკვეთილად აცხადებენ.

3.ინტუიცია. ზოგიერთი შეხედულება მყარადაა ფესვგადგმული საზოგადოებაში, ხოლო ზოგიერთი იმდაგვარად აღიქმება გრძნობათა ორგანოებით, რომ უტყუარად გვეჩვენება. ჩვენი გრძნობათა ორგანოები არ შეიძლება შეუმცდარად ჩავთვალოთ. მაგალითისათვის ნეკერის კუბის დასახელებაც კმარა. თუ წარმოდგენილ ნახაზს შევხედავთ, მოგვეჩვენება, რომ იგი სამგანზომილებიანი გამჭვირვალე კუბია. სინამდვილეში კი ერთ სიბრტყეზე (ქაღალდზე) განლაგებული ხაზებია. თუ ნახაზს რამდენიმე წამს თვალს არ მოვაცილებთ, შევნიშნავთ, რომ უკანა გვერდი წინ გამოიწევა. თუ კვლავ გავაგრძელებთ ყურებას, ზედაპირი კვლავ საწყის მდებარეობას დაიკავებს. ბუნებრივია, სინამდვილეში ნახაზი არ მოძრაობს. ამრიგად, შეიძლება ჩვენმა გრძნობათა ორგანოებმა შეცდომაში შეგვიყვანონ. იმ შემთხვევაშიც კი, როდესაც ვარაუდი ეჭვს არ იწვევს, იგი ჭეშმარიტების გარანტად მაინც არ გამოდგება.

ასევე, საზოგადოებაში დამკვიდრებული შეხედულება ყოველთვის როდია ჭეშმარიტი. კერძოდ, გარკვეულ ეტაპზე მიაჩნდათ, რომ დედამიწა იყო ბრტყელი და

მის გარშემო შეხებრუნავდა; არაცოცხალი საგნებიდან ცოცხალი ინდივიდები ჩნდებოდნენ; მეცნიერის აზრები ყოველთვის მართებულია და სხვ. ამდაგვარი შეხედულებები არასწორი აღმოჩნდა.

4.მეცნიერული მეთოდი. განხილული სამივე მეთოდით თითქოსდა შესაძლებელია ნებისმიერ კითხვაზე ამომწურავი და მართებული პასუხის გაცემა. ამ მეთოდებმა შეიძლება არასწორ დასკვნებამდე მიგვიყვანონ, ვინაიდან ადამიანი ხშირად ცდება და არაობიექტურია. განხილული მეთოდებით შეუძლებელია შეცდომების აღმოჩენა და მათი გასწორება. მეცნიერულ მეთოდს ამდაგვარი ნაკლი არ გააჩნია. იგი შემდეგ ეტაპებს მოიცავს: ბუნებაში მიმდინარე მოვლენებზე დაკვირვებას, ჰიპოთეზის ჩამოყალიბებას, რომლითაც ხსნიან მოვლენას და ჰიპოთეზიდან გამომდინარე დასკვნების ექსპერიმენტულ შემოწმებას.

ბუნებაში მიმდინარე მოვლენებს ინტელექტუალური ცნობისმოყვარეობით ვამჩნევთ. მაგ. შვილები ემსგავსებიან მშობლებს, მაგრამ ეს მსგავსება არაა აბსოლუტური. შენდელმა შენიშნა, რომ წყვილი ალტერნატიული ნიშნიდან პირველ თაობაში მხოლოდ ერთ-ერთი ვლინდებოდა, მეორეში კი - ორივე.

ამრიგად, მეცნიერული მეთოდის პირველი ეტაპი „პრობლემის დასახვაა„. შესასწავლი პრობლემები უსაზღვროდ ნაირგვარია. ზოგიერთი მათგანის შესწავლა გავლენას არ ახდენს მეცნიერების განვითარებაზე, ზოგიერთი კი მეცნიერების განვითარებასა და ადამიანთა კეთილდღეობას იწვევს. ბუნებრივია, მეცნიერული პრობლემის დასახვისას ამ მხარეს ითვალისწინებენ. ამუშავებენ ისეთ პრობლემებს, რომლებიც კაცობრიობისა და მეცნიერების პროგრესს ემსახურება. ალბერტ აინშტაინის აზრით ყველაზე რთული პრობლემის მკაფიოდ და დახვეწილად ჩამოყალიბებაა.

მეცნიერული პრობლემის ასახსნელად საჭიროა ჰიპოთეზის ფორმულირება. ჰიპოთეზით არა მარტო უნდა აიხსნას მოვლენა, არამედ იგი მოვლენის ექსპერიმენტული შემოწმების გზების დასახვის საშუალებას უნდა იძლეოდეს. მაგ. შენდელმა შენიშნული მოვლენის ასახსნელად მემკვიდრეობის ფაქტორული (გამეტთა სიწმინდის) ჰიპოთეზა ჩამოაყალიბა. კერძოდ, მან დაუშვა, რომ მემკვიდრეობა დისკრეტული ბუნებისაა. ნიშნის განვითარებას კი ფაქტორი (გენი) განსაზღვრავს, რომელიც ინდივიდში წყვილებადაა (ე.წ.ალელები). ჰიბრიდს აქვს ორი განსხვავებული (დომინანტური და რეცესიული) ალელი, რომლებიც ერთიმეორეს არ ერევა. ჰიპოთეზის შემოწმება ექსპერიმენტით ან დაკვირვებით ხდება. მაგ. შენდელმა თავისი ვარაუდი სათანადო ექსპერიმენტით, კერძოდ გამაანალიზებელი შეჯვარებით შეამოწმა. ჰიბრიდი შეუჯვარა რეცესიულ მცენარეს. მართლაც მან თანაბარი რაოდენობით მიიღო დომინანტური და რეცესიული ნიშნის მქონე ინდივიდები, რითაც წამოყენებული ჰიპოთეზის სისწორე დაასაბუთა.

მეცნიერული მეთოდის გამოყენებისას აუცილებელია: 1.მკკლევარი იყოს მიუკერძოებელი; 2.თითოეული შემთხვევისათვის ყველა პირობაცემი იყოს ცნობილი; 3.ექსპერიმენტის ან დაკვირვების ყველა გამეორებული ვარიანტის შედეგი იყოს იდენტური.

მეცნიერული მეთოდის გამოყენებისას ჩამოთვლილი დაშვებები არასდროს არ რეალიზდება. ჰიპოთეზას ადამიანი (მეცნიერი) აყალიბებს, ამდენად იგი ატარებს პირადულ ხასიათს. ცოდნა ყოველთვის არასრულყოფილია. ბუნების ყველა ამ მოვლენაზე

რომელსაც ჰიპოთეზა ეხება, ექსპერიმენტის და დაკვირვების შედეგები ერთიმეორეს სრულად არასოდეს არ თანხვდება (ხდება ფლუქტუაცია).

მეცნიერი, მითუმეტეს თუ იგი აღიარებული პერსონაა, თავისი ჰიპოთეზის დასაცავად თავისსავე ავტორიტეტს იშველიებს. სხვა მეცნიერები ამ ჰიპოთეზის გავლენის სფეროში ხვდებიან (ე.წ. დოქტრინიზმი). საინტერესო მაგალითის მოყვანა შეიძლება გენეტიკის განვითარების ადრეული ისტორიიდან. მენდელმა თავისი ნაშრომი ბერლინის უნივერსიტეტის გამოჩენილ პროფესორს კ.ნეგელს გაუგზავნა, რომელიც აღიარებულ ავტორიტეტად ითვლებოდა მემკვიდრეობის საკითხებში. მენდელის ნაშრომს ნეგელი სკეპტიკურად შეხვდა, მან ვერ შეაფასა ნაშრომის ღირსება, მისი დახვეწილი და ორიგინალური ხასიათი. მენდელისადმი გაგზავნილ წერილში ის შენიშნავდა, რომ აღმოჩენას აღიარებდა მხოლოდ იმ შემთხვევაში, თუ იმავე ცდებს მცენარე ხარნუჟაზე (Hieracium) ჩაატარებდა, რომელზედაც თვითონ მუშაობდა. მენდელმა ამ მცენარეზე უარყოფითი შედეგი მიიღო. როგორც ნეგელმა, ასევე მენდელმა ბუნებრივია არ იცოდა, რომ ხარნუჟა მხოლოდ პართენოგენეზურად მრავლდება (ვაირკვა XX ს-ში). ბუნებრია, საჭირო იყო ცდის გამეორება სხვა ობიექტზე, მაგრამ არა ხარნუჟაზე, რასაც ნეგელი ითხოვდა. ამრიგად, ნეგელის ავტორიტეტმა მოახდინა მენდელის შედეგების დისკრედიტაცია.

როდესაც ჰიპოთეზა მრავალი ექსპერიმენტით (დაკვირვებით) დასტურდება და მას მეცნიერული წრეები აღიარებენ, იგი უკვე თეორიას წარმოადგენს. მაგ. მენდელის ცდები ერთიმეორისაგან დამოუკიდებლად სამმა მეცნიერმა სხვადასხვა ობიექტზე გაიმეორა და მსგავსი შედეგები მიიღო. ამდენად იგი თეორიას წარმოადგენს.

მეცნიერება და საზოგადოება

ადამიანის შორეული წარსულიდან აწუხებს სამყაროს შექმნისა და დედამიწაზე სიცოცხლის წარმოშობის საკითხი. მას სურს უკეთესად გაერკვეს საარსებო გარემოს მოვლენებში, შეიცნოს საკუთარი თავი და განსაზღვროს თავისი ადგილი საზოგადოებაში. ადამიანის მიერ შექმნილმა სამეცნიერო-ტექნიკურმა ეპოქამ განსაკუთრებული სიმძაფრით დააყენა ეს საკითხები. შემთხვევითი არ არის ის გარემება, რომ ფრანგი მეცნიერის პიერ ოჟეს გაანგარიშებით ჩვენს პერიოდში მოღვაწეობს მეცნიერთა 90%, ხოლო 10%-ს უცხოვრია კაცობრიობის მთელი ისტორიის მანძილზე, ადამიანის მიერ ცეცხლის გამოყენების საწყისი პერიოდიდან დაწყებული.

ცნება საზოგადოება გულისხმობს აბსოლუტურად ყველა ადამიანს კანონმდებლიდან და საბელშწიფო მოხელიდან დაწყებული ნებისმიერი რელიგიის აღმსარებელი რიგითი მოქალაქის ჩათვლით. მეცნიერება გაჩდა საზოგადოების განუყოფელი ნაწილი. სამეცნიერო-ტექნიკურმა რევოლუციამ შეცვალა წარმოების თვისება და სტრუქტურა, შეიცვალა გადაადგილებისა და ინფორმაციის საშუალებები, შეიცვალა ადამიანის ცხოვრების ნირი. ჩამოყალიბდა ჩვენი წინაპრებისაგან განსხვავებული მორალურ-ეთიკური ნორმები. სამყაროს მოვლენებსაც დღევანდელი ადამიანი სულ სხვანაირად აღიქვამს.

ამიტომაც კაცობრიობის ისტორია არის კვლევა-ძიების, ექსპერიმენტების, გამოგონებების, ცოდნის შემოწმებისა და გადაცემის ისტორია. მეცნიერება არის ცოდნა და იგი ადამიანს დაბადებიდან როდი დაყვება, ცოდნა მოიპოვება და მისი დაგრო-

ვება მხოლოდ იმ შემთხვევაში ხდება, თუ იგი ერთი ადამიანიდან მეორეს გადაეცემა. მისი განვითარების გამო საზოგადოება როული გახდა, შეიცვალა-დაიხვეწა ცოდნისა და ცვლების გადაცემის თვისებებიც. ძრავალი ათეული საუკუნების განმავლობაში სხვადასხვა საზოგადოებებში ცოდნა საერთოდ და განსაკუთრებით მეცნიერული ცოდნის ჩანასახები მცირე გამონაკლისთა პრივილეგიას წარმოადგენდა. ბოლო ორი საუკუნის განმავლობაში მეცნიერული ცოდნის განვითარების არნახულმა ტემპმა, საზოგადოების ნაწილობრივმა დემოკრატიზაციამ, აუცილებელი გახადა მეცნიერების პოპულარიზაცია. ეს არა მარტო მეცნიერთა ინტერესების შედეგია დაასაბუთონ მეცნიერების არსი და მნიშვნელობა, არამედ იგი საზოგადოების ძირალური ვალდებულებაცაა ყველა ადამიანს შეასწავლოს მეცნიერების საფუძვლები. მეცნიერება და ტექნიკა ფართოდ შემოიჭრა ჩვენს ყოფაში.

მეცნიერების პოპულარიზაცია რთული პროცესია. პირველ რიგში საჭიროა სპეციალისტთა მიერ მიღებული შედეგები გამარტივდეს იმგვარად, რომ მისი არსი არ დაირღვეს და გასაგები გახდეს ყველასათვის. მეცნიერება, რომ გასაგები და მიმზიდველი გახდეს, პოპულიზატორს უნდა ჰქონდეს საკუთარი შეხედულება არა მარტო მეცნიერებაზე, არამედ ადამიანებზე და მის გარემომცველ გარემოზე. მეცნიერების პოპულარიზაცია სასარგებლო ხდება მეცნიერებისთვისაც, რადგან ხდება მისი ახალი ცოდნით გამდიდრება. თუ საზოგადოება არ იქნება კარგად ინფორმირებული მეცნიერთა მოღვაწეობის შესახებ, ამან შეიძლება დიდი უბედურება მოიტანოს, რაც მშვენიერად აქვს ჩამოყალიბებული აინზაკიმოვს: "მეცნიერებს შეუწყვეტენ არა მარტო ფინანსურ დახმარებას, არამედ დაუწყებენ აქტიურ დევნას".

რელიგიური პოზიციიდან ეეოლუციური თეორიის კრიტიკის საპასუხოდ 1980 წლის დასაწყისიდან ამერიკელმა ბიოლოგებმა გააძლიერეს სახეობათა წარმოშობის შესახებ მეცნიერული შეხედულებების პროპაგანდა. მათი ძირითი ჭარბი ინფორმაცია საზოგადოებაში გამოიწვევდა მათი შრომებისადმი კეთილგონივრული დამოკიდებულების გაჩენას. ეეოლუციური თეორიის პოპულარიზაციის შედეგია ის ფაქტი, რომ რომის პაპმა იოანე პავლე II ენციკლიკით ამცნო ყველა კათოლიკეს "დარვინის თეორიას აქვს არსებობის უფლებაო". არსებობს კიდევ ერთი მნიშვნელოვანი ფაქტი, რომელიც საჭიროებს მეცნიერების პოპულარიზაციას. მიმდინარეობს ზოგიერთი მეცნიერულ-ტექნიკური შედეგის მნიშვნელობის გაღაჭარბებული პროპაგანდა, რის გამოც მოსახლეობის ნაწილს ექმნება არარეალური, ფანტასტიკური წარმოდგენები მეცნიერების შესახებ. ამგვარმა ილუზიორულმა აღქმამ შეიძლება გამოიწვიოს მეცნიერების მიმართ უნდობლობა, გაზარდოს ცინიზმი და საბოლოოდ მოსახლეობას დაუკარგოს მეცნიერების ნდობა. ალბათ ამგვარი პროპაგანდის შედეგია მსოფლიოს მრავალ ქვეყანაში გავრცელებული უარყოფითი დამოკიდებულება ატომური ენერგეტიკისადმი.

წარსულში მეცნიერული აღმოჩენის პრაქტიკულ დანერგვას ჭირდებოდა ათეული და ასეული წლები. მაგალითად, ელექტრული დენის აღმოჩენიდან მის პრაქტიკულ გამოყენებამდე ნახევარი საუკუნე გავიდა. 1826 წელს გამოქვეყნებულ გრეგორ მენდელის გენეტიკურ ნაშრომს ყურადღება მხოლოდ 1900 წელს მიაქცია. დღეს კი სხვანაირი ვითარებაა: ურანის დაშლის აღმოჩენიდან დაახლოებით სამი წლის შემდეგ შეიქმნა პირველი ბირთვული რეაქტორი. ამ მხრივ აღსანიშნავია პეტერბურგში

მოღვაწე სამხედრო-სამედიცინო აკადემიის ფიზიოლოგიის კათედრის გამგის და რუსეთის აკადემიის წევრის, ჩვენი თანამემამულის, თავად ივანე თარხნიშვილის (1845-1908) შრომა "X-სხივების გავლენა ცხოველებზე". როგორც კი იქნა აღმოჩენილი 1895 წელს რენტგენის X-სხივებად წოდებული სხივები, ი.თარხნიშვილმა ძალიან სწრაფად შეისწავლა მათი გავლენა ცხოველებზე და იგი სამაროლიანად ითვლება რადიობიოლოგიის წინამორბედად. რადიობიოლოგია, როგორც დამოუკიდებელი დარგი, ჩამოყალიბდა ი.თარხნიშვილის გარდაცვალების შემდეგ, ამ საუკუნის ოციან წლებში.

მეცნიერული აღმოჩენები სწრაფად ინერგება ტექნიკაში. იგი მოქმედებს ჩვენს ფსიქიკაზე, ცვლის მსოფლმხედველობას და ცხოვრების ნირს. მეცნიერებაში არ არსებობს "საჭირო" და "არა საჭირო" დარგები. მეცნიერება საკუთარი კანონზომიერებებით ვითარდება და ამ გზაზე თუ რომელი აღმოჩენა მოგვიტანს პრაქტიკულ სარგებლობას, საკმაოდ ძნელი დასადგენია. როდესაც მეცნიერება აღწევს გარკვეულ დონეს, ჩნდება ახალი მიზნები შესაბამისი მეთოდებით-იგი მუდმივად ვითარდება. არ უნდა დაგვავიწყდეს, რომ მართალია აღმოჩენები და გამოგონებები ცალკეულ ადამიანთა მიერ ხდება, მაგრამ მეცნიერების მიღწევები კაცობრიობის მონაპოვარია. დროში და სივრცეში არ არსებობს უცვლელი, დამთავრებული და აბსოლუტური ცოდნა. არ არსებობს, აგრეთვე, კრიტერიუმები, რომლის მეშვეობითაც დგინდება რომელიმე ხალხის ან ადამიანის კულტურის უპირატესობა. ყველა კულტურა ცივილიზაციას ეკუთვნის. ცივილიზაცია კი, როგორც ვებსტერის ლექსიკონი გვაცნობს, არის "ერთობა ადამიანთა კულტურის მიღწევებისა და სწრაფვა უფრო მაღლისაკენ, ვიდრე ეს აქვთ ცხოველებს".

ნებისმიერი ცივილიზებული საზოგადოება ემყარება გარკვეულ პრინციპებს, რომლითაც იგი ინარჩუნებს სტაბილობას და სიძლიერეს. ყველა საზოგადოებაში საყოველთაოდ მიღებულია, რომ ომი ბოროტებაა, ხოლო მშვიდობა სიკეთე, რომლის მიზანია უსამართლობასა, სიღარიბესა და ტერორთან ბრძოლა მეცნიერთა მიერ დადგენილი კანონებით. აღნიშნული მსოფლმხედველობა ერთბაშად არ ჩამოყალიბებულა, იგი საზოგადოების ხანგრძლივი განვითარების შედეგია. თუმცა კი არსებობს ასეთი შეხედულების მოწინააღმდეგეთა მცირედი ნაწილიც. საზოგადოების უმრავლესობისათვის წინა მეცნიერულ ეპოქამდე დაბრუნება ნიშნავს მონათმფლობელობის აღდგენას. მათ სწამთ სამეცნიერო-ტექნიკური განვითარების შეუქცევადობა.

შეიძლება პარადოქსადაც მოგვეჩვენოს, მაგრამ ფაქტია, რომ ომი აჩქარებს მეცნიერების განვითარებას. პირველი მსოფლიო ომის დროს მოხდა მეცნიერთა მასობრივი მობილიზაცია საჭელშეწყობრივი თვალსაზრისით სხვადასხვა მეცნიერული პრობლემის გადასაჭრელად. ომის დამთავრების შემდეგ მეცნიერებს მიეცათ თავისუფლება და მათ გააგრძელეს მუშაობა უნივერსიტეტებსა და სხვა მეცნიერულ დაწესებულებებში. მეორე მსოფლიო ომის პერიოდში კვლავ მოხდა მეცნიერთა კონცენტრირება სპეციალურ ლაბორატორიებში გარკვეულ მეცნიერულ პრობლემათა გადასაჭრელად. პირველი მსოფლიო ომისაგან განსხვავებით მეორე მსოფლიო ომის შემდეგ მეცნიერები არ დაუთხოვიათ ლაბორატორიებიდან და ისინი მთავრობათა დაკვეთით დღესაც განაგრძობენ მუშაობას სხვადასხვა საკითხებზე, რომლებიც სახელმწიფოს უსაფრთხოებას ეხება. მთავრობას ესაჭიროება სპეციალისტები და სპეციალური მიზნობრივი მეცნიერული ლაბორატორიები ახალ საომარ საშუალებათა შესაქ-

მნელად. ასეთ ლაბორატორიებში თანამშრომლობენ სხვადასხვა დარგის მეცნიერები. მეორე მსოფლიო ომის პერიოდში საგრძნობლად გაიზარდა მეცნიერთა ავტორიტეტი საზოგადოებრივ და პოლიტიკურ წრეებში. ამის ნათელი დადასტურებაა ის ფაქტი, რომ საყოველთაოდ ცნობილი ქიმიკოსი ხაიმ ვაიცმანი აირჩიეს ისრაელის პირველ პრეზიდენტად. პრეზიდენტ რუზველტისადმი მიწერილმა ალბერტ აინშტაინის წერილმა საფუძველი ჩაუყარა მანჰეტენის პროექტს, რომლის საფუძველზეც შეიქმნა ატომური ბომბი და განვითარდა ატომური ენერგეტიკა.

ჰომეოსტაზი

ცოცხალი ორგანიზმი წარმოადგენს ფიზიკურ-ქიმიურ სისტემას, რომელიც არსებობს გარკვეულ გარემოში სტაბილური მდგომარეობით. ორგანიზმთა მიერ მუდმივად ცვლად გარემოში სტაბილური მდგომარეობის შენარჩუნების უნარი არის მისი გადარჩენის საფუძველი. ყველა ცოცხალ ორგანიზმს, უმარტივესებიდან დაწყებული უმაღლესების ჩათვლით, გამოუმუშავდათ სხვადასხვა ანატომიური, ფიზიოლოგიური და ქცევითი შეგუებლობითი საშუალებები, რომლებიც ემსახურება ერთ მიზანს-შინაგანი გარემოს სტაბილურობის შენარჩუნებას.

პირველად ა'ხრი იმის შესახებ, რომ შინაგანი გარემოს სტაბილურობა არის ორგანიზმთა სიცოცხლისა და გამრავლების ოპტიმალური პირობა, გამოთქმული აქვს 1857 წელს ფრანგ ფიზიოლოგ კლოდ ბერნარს. იგი განცვიფრებული იყო ორგანიზმთა მიერ ფიზიოლოგიური პარამეტრების რეგულირების უნარით (მაგ. სხეულის ტემპერატურისა ან წყლის რაოდენობის მუდმივობის შენარჩუნება). ორგანიზმის ნორმალური ფუნქცირებისათვის საჭიროა მისი შემადგენელი უჯრედები არსებობდნენ მკაცრად რეგულირებად გარემოში. ამიტომ კლოდ ბერნარი ყოველთვის აღნიშნავდა განსხვავებას გარეგან (ორგანიზმს მასში უხდება არსებობა) და შინაგან (მასში იმყოფებიან ორგანიზმის ცალკეული უჯრედები) გარემოს შორის. მისი ა'ხრით "შინაგან გარემოს მუდმივობა არის დამოუკიდებელი არსებობის პირობა".

მოგვიანებით ბერნარის მიერ ჩამოყალიბებული პრინციპი გამდიდრდა მრავალი ფაქტით. დღეისათვის ცხადია, რომ უმაღლეს ხერხემლიანთა შინაგანი გარემო რეგულირდება მრავალი რთული მექანიზმით, რომელიც საშუალებას იძლევა იგი იყოს მუდმივი ან იცვლებოდეს ვიწრო ფარგლებში. 1929 წელს ამერიკელმა ფიზიოლოგმა უოლტერ კენონმა შემოიღო ტერმინი "ჰომეოსტა'ხი", რომელიც წარმოქმნილია ორი ბერძნული სიტყვისაგან: "ჰომეო" (მსგავსი) და "სტა'ხი" (მდგომარეობა). ჰომეოსტა'ხი ეწოდება ორგანიზმის უნარს შეინარჩუნოს სასიცოცხლო პროცესების დინამიკური წონასწორობა.

ჰომეოსტა'ხის თვისება მყლავნდება ბიოლოგიური ორგანიზაციის სხვადასხვა დონეზე. შორეულ წარსულში, როდესაც დედამიწა'ზე გამოჩნდნენ ერთუჯრედიანი ორგანიზმები, მათ უნდა ჰქონოდათ უნარი მთელი სიცოცხლის მანძილზე შეენარჩუნებინათ გარემო პირობებისაგან განსხვავებული უჯრედის შიგთავსის სპეციფიკური ფიზიკურ-ქიმიური თვისებები. ამ უნარს მოკლებული ორგანიზმები [illegible] ებოდნენ. ევოლუციის პროცესში მრავალუჯრედიან ორგანიზმებში [illegible] ერთად იხვეწებოდა ჰომეოსტა'ხური მექანიზმებიც. წარმოიქმნა სისხლის მიმოქცევის, სუნთქვის, გამოყოფის, საჭმლის მონელების, გამრავლების და სხვა სპეციალური

- 89616 -

ორგანოები, რომლებიც ჰომეოსტაზის შენარჩუნებაში მონაწილეობენ, ჰომეოსტაზის უნარი ყველაზე კარგად განვითარდა ძუძუმწოვრებში, რამაც საშუალება მისცა ამ ჯგუფს გაეფართოებინა სასიცოცხლო არეალი და შეგუებოდა გარემოს სხვადასხვა ფაქტორებს. განსაკუთრებით საინტერესოა ადამიანის ფიზიოლოგიური ჰომეოსტაზის რეგულატორული მექანიზმების დადგენა, რაც მედიცინას საშუალებას აძლევს მოახერხოს მრავალი დაავადების ეფექტური და რაციონალური მკურნალობა.

ჰომეოსტაზის უნარი მოქმედებს მცენარეებსაც. მაგ. პლაზმალემის საშუალებით მცენარეული უჯრედის შიგთავსში რეგულირდება იონებისა და წყლის შეღწევა. ასევე პლაზმალემის მეშვეობით უჯრედიდან გარემოში გამოიდევნება ჭარბი იონები. ტონოპლასტის საშუალებით ვაკუოლის შიგთავსი შედის უჯრედში. ქსოვილურ დონეზე ჰომეოსტაზის შენარჩუნებაში მონაწილეობს პლაზმოდესმა, რომელიც არეგულირებს უჯრედშორის ნახშირწყლების ნაკადს.

ჰომეოსტაზის განსაზღვრის პრინციპი ფართოდ არის გამოყენებული ეკოლოგიაში, ეკოსისტემის სტაბილობის ჩარისხის დასადგენად. არსებობს პოპულაციის ჰომეოსტაზი, რომელიც ცვალებადობის მცირე ფარგლებში იცავს გენოტიპის სტრუქტურას მუდმივად ცვლად საარსებო გარემოში. დაცულია ალელთა წარმოქმნის გენეტიკური წონასწორობა, რომლებიც თავისუფალი შეჯვარების დროს წარმოქმნის ჰეტეროზიგოტურ ფორმებს, განსაზღვრავს მუტაციური პროცესის ტემპსა და მიმართულებას. მიკროევოლუციის კანონზომიერების დადგენაში დიდი როლი ენიჭება ჰომეოსტაზის რეგულირებადი პრინციპის დადგენას. ფართო დიაპაზონის პირობებისათვის გენოტიპიდან იქმნება კონკრეტული ფენოტიპი.

რეგულირების თეორია და ბიოლოგიური სისტემები

მიუხედავად იმისა, რომ ბერნარის შრომების გაცნობის შემდეგ ფიზიოლოგებს უკვე კარგად ჰქონდათ წარმოდგენილი, რომ ცოცხალი ორგანიზმი არის რთული ურთიერთდამოკიდებული ბიოლოგიური რეგულატორი, დიდი ხნის განმავლობაში ვერ მოხერხდა სხვადასხვა სასიცოცხლო პროცესების რეგულაციის ასახსნელად მართვის ავტომატიური თეორიის პრინციპების გამოყენება. ამ მოვლენას ობიექტური პრინციპები ჰქონდა. მართვის ავტომატური თეორია შეიქმნა მოგვიანებით, ბერნარის შრომის გამოქვეყნებიდან თითქმის 100 წლის შემდეგ. თეორია იქმნებოდა ფიზიკოსების, მათემატიკოსებისა და ინჟინრების მიერ, რომელთა ენა გაუგებარი იყო ბიოლოგებისათვის. ბიოლოგებს კი დასჭირდათ დრო, რათა ცოცხალი ორგანიზმები განეხილათ როგორც სისტემა. მართვის ავტომატური თეორია მიესადაგება ნებისმიერ სისტემას (ფიზიკურს, რომელიც ხელოვნურადაა შექმნილი ადამიანის მიერ და ბუნებრივს). ეს არ უნდა იქნეს გაგებული ისე, თითქოს რთული ბიოლოგიური სისტემებისათვის გამოდგება ის თეორიული აპარატი, რომელიც შექმნილია ხელოვნური სისტემებისათვის. ხელოვნური სისტემები წრფივია და მათი მოქმედების ახსნა ანალიზური თეორიის საშუალებით ადვილია. ბუნებრივი სისტემები კი არაწრფივია და მისი თეორიული მათემატიკური აპარატი ახლა მუშავდება. ამიტომ საკითხი, თუ როგორ უნდა გამართლდეს მართვის ბიოლოგსა და მათემატიკოსს შორის თანამშრომლობა, განსაკუთრებული მძაფრით ამჟამად დაისვა. ბიოლოგისა და მათემატიკოსის ჰიბრიდის შესახებ წარმოდგენები ლაკონიურად ჩამოაყალიბა ნორბერტ ვინერმა-"ბიო-

ლოგმა შეიძლება არ იცოდეს მათემატიკა, მაგრამ მან უნდა უთხრას მათემატიკოსს თუ რა მათემატიკური აპარატია საჭირო სხვადასხვა ბიოლოგიური პროცესის ასახსნელად. მან უნდა მოახერხოს ბიოლოგიური პროცესის მათემატიკურ ენაზე ჩამოყალიბება. მათემატიკოსმა შეიძლება ვერ დააყენოს ბიოლოგიური ექსპერიმენტი, მაგრამ ბიოლოგს უნდა უთხრას ექსპერიმენტში რომელი პარამეტრი უნდა იქნეს დაკვირვებული".

თუ ყურადღებით გავაანალიზებთ თანამედროვე ბიოლოგიის მიღწევებს, დავრწმუნდებით, რომ სისტემურმა მიდგომამ მართვის ავტომატური თეორიის გამოყენებით დიდი როლი შეასრულა სხვადასხვა სასიცოცხლო პროცესების ბუნების დადგენაში. ამიტომ საჭიროა გავერკვეთ სისტემის არსში. სისტემა არის მთლიანი სტრუქტურა, რომელიც შედგება ერთმანეთთან კანონზომიერად დაკავშირებული ნაწილებისაგან და ასრულებს გარკვეულ ფუნქციას.

კვლევის ამგვარი მეთოდოლოგიის მიმდევრები დაბეჯითებით ირწმუნებიან, რომ სისტემა არის ის ობიექტი, რომელიც არღვევს მეცნიერების სხვადასხვა დარგებს შორის ისტორიულად ჩამოყალიბებულ საზღვრებს. მართლაც, მოვლენათა სისტემური ანალიზი ფუნქციონირების პრინციპის გამოყენების უფრო მეტ ინფორმაციას იძლევა კერძო პროცესის შესწავლის დროს გამოყენებულ ანალიტიკურ მეთოდთან შედარებით. შემოთავაზებულია ტერმინი "ღია სისტემა" რომელშიც ადამიანის მიერ ხელოვნურად შექმნილ წარმოების მართვის ზოგიერთ სისტემებთან ერთად გაერთიანებულია ბიოლოგიური და სოციალურ-ეკონომიკური სისტემები. სისტემური კვლევის ენთუზიასტები აღნიშნავენ, რომ დადგა "სისტემების ერა". ის, რითაც შეუძლია იამაყოს ჩვენმა ეპოქამ, არის სისტემის მოქმედების კანონზომიერებათა ჩამოყალიბება. როგორც დავინახეთ, სისტემური კვლევა გაფართოვდა, მაგრამ არ უნდა დაგვავიწყდეს კალმანის, ფალბისა და არბიბის წიგნში "სისტემათა მათემატიკური თეორია" გამოთქმული აზრი, რომ სისტემური მიდგომა არის "მიმზიდველი, მაგრამ მოუწესრიგებელი დარგი".

ჰომეოსტაზის ცნება ვრცელდება ბიოლოგიური სისტემების მიმართ, ანალოგიური ტერმინი "სერვომექანიზმები" არსებობს მანქანებისათვის. რეგულაციის ამ ორ ტიპს შორის ბევრი რამ საერთოა, რასაც ყურადღება მიაქცია ნორბერტ ვინერმა და 1948 წელს შემოიღო ტერმინი კიბერნეტიკა, რომელიც ქართულად მართვის ხელოვნებას ნიშნავს. კიბერნეტიკა არის დარგი, რომელიც სწავლობს მართვის პრინციპებს ცოცხალ, ტექნიკურ და საზოგადოებრივ სისტემებში. კიბერნეტიკული იდეები სწრაფად შეიჭრა ბიოლოგიაში და გაჩნდა სხვადასხვა მიმართულებები: ბიოკიბერნეტიკა, სამედიცინო კიბერნეტიკა, ფიზიოლოგიური კიბერნეტიკა, ნეიროკიბერნეტიკა, ეკოლოგიური კიბერნეტიკა და სხვ.

მართვას აქვს რეგულაციის პრინციპი, რომელიც ემყარება სისტემის ობიექტებს შორის ინფორმაციის გაცვლას, აგრეთვე, სისტემის უნარს მიიღოს ინფორმაცია, გადაამუშაოს და სხვადასხვა დროით დაიმახსოვროს იგი. მართვისათვის აუცილებელია არსებობდეს სამართავი და მმართავი ობიექტი, რომელიც ერთმანეთთან დაკავშირებული იქნება გარკვეული არხებით. კავშირი ამ ორ ობიექტს შორის ხორციელდება უკუკავშირის პრინციპით. არსებობს ორი სახის უკუკავშირი: დადებითი და უარყოფითი. უკუკავშირს, რომელიც მიმართულია შეამციროს სისტემის პირვე-

ლადი მდგომარეობიდან გადახრა, უარყოფითი ეწოდება. მისი მოქმედების კოეფიციენტი ნულზე ნაკლებია. საწინააღმდეგო მოქმედების უკუკავშირს დადებითი ეწოდება. მისი მოქმედების კოეფიციენტი ნულზე მეტია. სამართავ და მმართავ ობიექტებს შორის კავშირის მიხედვით შეიძლება არსებობდეს: უწყვეტი, დისკრეტული, სტატიკური, დინამიკური, წრფივი ან არაწრფივი უკუკავშირი.

მართვის ასეთი პრინციპი განვიხილოთ ბიოლოგიური სისტემისათვის. ზოგიერთი ფიზიოლოგიური პარამეტრის (სხეულის ტემპერატურა, წნევა, სისხლის pH, სისხლში გლუკოზის კონცენტრაცია ან სისხლის უჯრედების რაოდენობა და სხვ.) სტაბილობის შენარჩუნება ხდება ჰომეოსტაზური რეგულირებით. რეგულირება მიმდინარეობს შემდეგნაირად: არსებობს სენსორული სისტემა (სხვადასხვა აგებულების რეცეპტორები), რომელიც რეაგირებს პარამეტრის ცვალებადობაზე. მართვის ენაზე მას შესავალი ეწოდება. სენსორული სისტემა აფერენტული ნერვული ბოჭკოებით ცენტრალურ ნერვულ სისტემას გადასცემს ნერვულ იმპულსებს. აფერენტულ ნერვულ იმპულსებს ინფორმაცია პარამეტრის მდგომარეობის შესახებ ინფორმაცია გადააქვთ მოქმედების პოტენციალის სიხშირულ-ამპლიტუდური კოდის საშუალებით. ამ პროცესს მართვის ენაზე გამტარებლობა ეწოდება. არხში ინფორმაციის რაოდენობის გატარება და სიჩქარე დამოკიდებულია არხის აგებულებაზე და ფიზიოლოგიური პარამეტრის ცვლილების სიჩქარეზე. სენსორული კოდით მიტანილი ინფორმაცია ხვდება თავის ტვინის სხვადასხვა სტრუქტურებში, რომლებიც იმახსოვრებენ, ამუშავებენ და ეფერენტული გამტარი გზით აბრუნებენ გადამუშავებულ ინფორმაციას ეფექტორებში. ეფექტორებია კუნთები და ჯირკვლები, რომლებსაც მართვის ენაზე გამოსავალს უწოდებენ. ამ უკანასკნელის მოქმედებით იცვლება ფიზიოლოგიური პარამეტრის მდგომარეობა. იგი აგრძელებს მუშაობას დასაშვებ რეჟიმში. ამ დროს თუ პარამეტრი ვერ ბრუნდება ნორმალურ მდგომარეობაში, ვითარდება პათოლოგიური მოვლენა და საჭირო ხდება სამედიცინო ჩარევა. საჭიროა დადგინდეს მართვის რომელი რგოლია დარღვეული: შესავალი, გამოსავალი თუ ცენტრალური. კიბერნეტიკულ ენაზე ცენტრალურ ნაწილს "შავი ყუთი" ეწოდება. ამ შემთხვევაში იგი თავის ტვინია.

შავი ყუთი არის სისტემის პირობითი სახელწოდება, მისი შინაგანი სტრუქტურა და მასში მიმდინარე პროცესები უცნობია. ცნობილია მხოლოდ შესავალი და გამოსავალი პარამეტრები, რაც საშუალებას იძლევა წარმოდგენა ვიქონიოთ სისტემის ფუნქციირების შესახებ. ადამიანი შეიძლება განხილულ იქნეს როგორც შავი ყუთი, რომელშიც მიმდინარე პროცესები შეიძლება არ ვიცოდეთ, მაგრამ შეგვეძლოს მისი ქცევის წინასწარმეტყველება კონკრეტულ სიტუაციებში. ექსპერიმენტულად თუ შესაძლებელი გახდება დავადგინოთ კავშირი შესავალი პარამეტრების ცვალებადობასა და მის შესაბამის გამოსავალის პარამეტრებს შორის, მაშინ გარკვეული წარმოდგენა შეგვექმნება შავი ყუთის ფუნქციონირების შესახებ.

70-იან წლებში სხვადასხვა მეცნიერულ მიმართულებათა მიჯნაზე ჩამოყალიბდა დარგი, რომელსაც სინერგეტიკა ეწოდება. ტერმინი ბერძნულია და ქართულად ერთად მოქმედებას ნიშნავს. სინერგეტიკა სწავლობს სისტემებს, რომლებიც შედგებიან სხვადასხვა ბუნების ქვესისტემებისაგან, როგორიცაა ფოტონი, ელექტრონი, ატომი, უჯრედი, მექანიკური ელემენტები, ორგანოები, ცხოველები და ადამი-

ანიც. მისი ამოცანაა ქვესისტემებიდან სივრცობრივი, დროითი და დროით-სივრცობრივი სტრუქტურების მაკროსკოპული მასშტაბით აღმოცენების ანალიზი. განსაკუთრებული ყურადღება ექცევა სისტემებს წარმოქმნილი თვითორგანიზაციით და იმ რეგულატორული მექანიზმების გამოვლენას, რომელიც ახორციელებს თვითორგანიზაციას. სინერგეტიკა ადგენს საერთო კანონზომიერებებს და ქმნის თეორიულ (მათემატიკურ) მოდელს ევოლუციის, თვითორგანიზაციის, ფიზიკურ-ქიმიური, ბიოლოგიური, ეკოლოგიური, სოციალური და გამოთვლითი სისტემებისათვის. აღნიშნული მიმართულების მიერ დადგენილი ცნებები და წარმოდგენები გამოყენებულია ქცევების მოწესრიგებულობის ასახსნელად. ახსნილი უნდა იყოს ქცევის მიზეზ-შედეგობრივი მოვლენები სისტემის შინაგანი სტრუქტურის გათვალისწინებით. სინერგეტიკა ამზადებს თეორიულ ბაზას მომავალი კომპიუტერების შექმნისათვის, რომლის მოქმედებაში შეტანილი უნდა იქნეს ადამიანის ინტელექტის ისეთი თვისებები, როგორიცაა ხატების ამოცნობა და რთულ სიტუაციებში გადაწყვეტილების მიღება. შეიქმნება "ხელოვნური ინტელექტი" რომლის მოქმედება ანალოგიური იქნება ადამიანის თავის ტვინში მიმდინარე ნეიროდინამიკური პროცესებისა. ასეთ სისტემას საშუალება ექნება რომელიმე ქვესისტემის დახიანების შემთხვევაში ლოგიკური მატრიცის საფუძველზე გარდაქმნას შინაგანი სტრუქტურა.

ბიოლოგია-მედიცინის თეორიული საფუძველი

ბიოლოგიისა და მედიცინის ურთიერთკავშირს ხანგრძლივი ისტორია აქვს. იგი შორეული წარსულიდან იღებს სათავეს. ამ ურთიერთკავშირის საფუძველი ბიოლოგიის განვითარების საწყის ეტაპზე ჩაეყარა. ძველი დროის გამოჩენილი ექიმები: ჰიპოკრატე, ერასისტრატე, გალენოსი, ავიცენა, პარაცელსუსი, მალპიგი და სხვ., იმავდროულად გამოჩენილი ბიოლოგებიც იყვნენ. ბიოლოგიის განვითარების ამა თუ იმ ეტაპზე მოპოვებული ცოდნა ინერგებოდა მედიცინაში.

თანამედროვე თვალთახედვით ბიოლოგია მედიცინის თეორიულ საფუძვლად მხოლოდ XIX ს. იქცა. უჯრედული თეორიის ჩამოყალიბებამ მტკიცე მეცნიერული საფუძველი ჩაუყარა ბიოლოგიისა და მედიცინის ურთიერთკავშირს. ამ მხრივ მნიშვნელოვანია გერმანელი მეცნიერის რ.ვირხოვის (1822-1902) როლი. მან ჩამოაყალიბა უჯრედული პათოლოგიის თეორია. შევნიშნავთ, რომ საქართველოში მოუხაურობისას (1881), მან მიუთითა აბასთუმნისა და ბორჯომის საკურორტო მნიშვნელობას ხოგიერთი დაავადების მკურნალობაში. ბიოლოგიასთან მედიცინის კავშირის განმტკიცებას ხელი შეუწყო კ.ბერნარის გამოკვლევებმა, კერძოდ ნაშრომმა „ლექციები ნერვული სისტემის ფიზიოლოგიისა და პათოლოგიის შესახებ„ (1858). ასევე არსებითი მნიშვნელობა ჰქონდა ი.მიულერისა და ჰ.ჰელმჰოლცის ექსპერიმენტულ გამოკვლევებს ფიზიოლოგიაში.

ბიოლოგიის როგორც მედიცინის თეორიული საფუძვლის განვითარებაზე დიდი გავლენა მოახდინა ლ.პასტერის (1822-1895) ფუნდამენტურმა გამოკვლევებმა, რომელსაც დღესაც არ დაუკარგავს მნიშვნელობა. გადამდებ სნეულებათა შესწავლაში დიდი წვლილი მიუძღვის რ.კოხს (1843-1910). პათოგენურ მიკროორგანიზმთა ბიოლოგიის შესწავლამ გააადვილა მათ წინააღმდეგ ბრძოლის მეთოდების შემუშავება. დამუშავდა ასეპტიკისა და ანტისეპტიკის მეცნიერული საფუძვლები, რამაც ქირურ-

გია განვითარების ახალ საფეხურზე აიყვანა. ინფექციურ დაავადებათა მკურნალობაში დიდი მნიშვნელობა ჰქონდა ანტიბიოტიკების გამოყენებას. ანტიბიოტიკების მასობრივი გამოყენება მედიცინაში შესაძლებელი გახდა გენეტიკური მეთოდებით ანტიბიოტიკების პროდუცენტ ორგანიზმების მაღალპროდუქტიული შტამების გამოყვანით.

ბიოლოგიისა და მედიცინის კავშირის გაღრმავება განაპირობა, აგრეთვე, ვირუსოლოგიაში მოპოვებულმა დიდმა აღმოჩენებმა და ამ შედეგების დანერგვამ მედიცინაში. იგივე პროცესი გამოიწვია XIX ს. მეორე ნახევარში ჩამოყალიბებულმა ახალმა დარგმა იმუნოლოგიამ (მეცნიერება ორგანიზმის დამცავი რეაქციების შესახებ). კერძოდ შენიშნეს, რომ დასუსტებული ან მკვდარი ვირუსები ან მიკრობები შეუვალობას იწვევდა ამა თუ იმ დაავადებისადმი. დაავადებაგადატანილ ორგანიზმებში აღმოაჩინეს ანტისხეულები. მედიცინის განვითარებაზე დიდი გავლენა მოახდინა გენეტიკამ (იხ. გენეტიკა და მედიცინა). ჩამოყალიბდა მედიცინის დარგი - სამედიცინო გენეტიკა. მოლეკულური ბიოლოგიის სწრაფმა განვითარებამ განაპირობა გენური ინჟინერიის განვითარება, რომლის უახლესი მეთოდები სწრაფად ინერგება მედიცინაში. შესაძლებელი გახდა მემკვიდრულ დაავადებათა დიაგნოსტირების უახლესი მეთოდების დანერგვა მედიცინაში. მუშავდება ამ დაავადებათა პროფილაქტიკისა და მკურნალობის ეფექტური მეთოდები. მჭიდრო კავშირი მყარდება ბოლო პერიოდში მედიცინასა და ეკოლოგიას შორის.

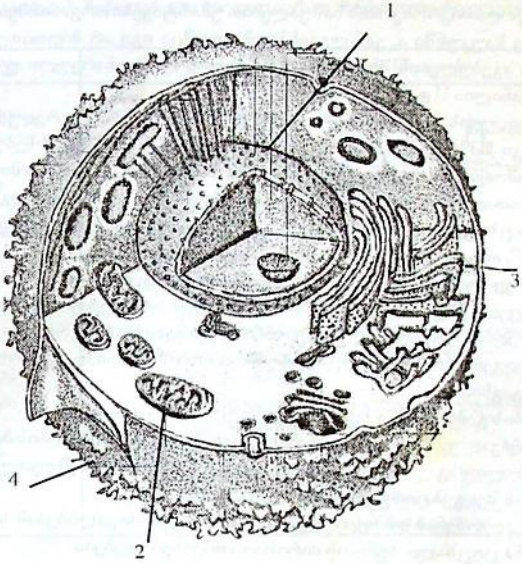
ბიოლოგიისა და მედიცინის დარგების უროიეროშეჭრის საფუძველზე ჩამოყალიბდა მრავალი სამედიცინო დარგი, კერძოდ, პათოლოგიური ანატომია, პათოლოგიური ციტოლოგია, პათოლოგიური ფიზიოლოგია, სამედიცინო პარაზიტოლოგია, კლინიკური ბიოქიმია, კლინიკური გენეტიკა, კლინიკური მიკრობიოლოგია და ა.შ.

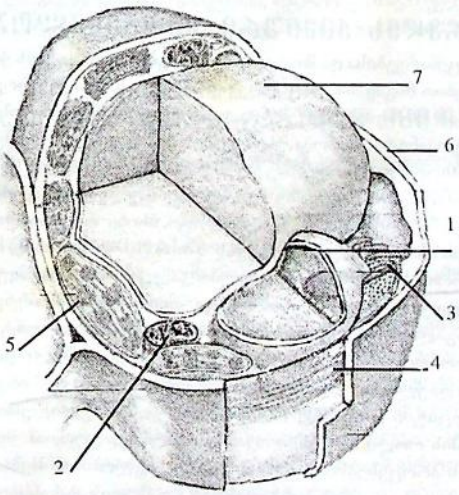
ნაწილი I. უჯრედისა და ვირუსების ბიოლოგია

1.1. უჯრედული თეორია

ყველა ცოცხალი ორგანიზმი უჯრედებისაგანაა აშენებული. იგი იყოფა ერთუჯრედიან (ბაქტერიები, უმარტივესები, წყალმცენარეებისა და სოკოების უმრავლესობა) და მრავალუჯრედიან (მცენარეებისა და ცხოველების უმრავლესობა) ორგანიზმებად. უჯრედისათვის ნიშანდობლივია ცოცხალი სისტემისათვის დამახასიათებელი ყველა თვისება: ნივთიერებისა და ენერგიის ცვლა, გამრავლება, მემკვიდრულობა, ცვალებადობა, გაღიზიანებადობა, აგზნებადობა, მოძრაობა და სხვ.

უჯრედების შესწავლა დაიწყო მას შემდეგ, როცა 1665 წელს რ.ჰუკმა გამოაქვეყნა თავისი ნაშრომი "მიკროგრაფია". აღნიშნულ ნაშრომში ავტორმა აღწერა სურაოი, რომელიც ნახა კორპის თხელი ანათლების მიკროსკოპით დათვალიერებისას. ანათალ მასალაზე შემჩნეულ წვრილ ფორებს მან "უჯრედები" უწოდა. უჯრედის შესახებ წარმოდგენების განვითარების საქმეში მნიშვნელოვანი წვლილი შეიტანა მ.მალპიგის მიერ 1672 წელს გამოქვეყნებულმა ნაშრომმა "მცენარეთა ანატომია". ავტორი ამტკიცებდა, რომ მცენარეები შედგება უჯრედებისაგან და მათ "ტომსიკები" და





სურ 1.1-2. ცხოველური და მცენარეული უჯრედი 1. ბირთვი, 2. მიტოქონდრია, 3. ენდოპლაზმური ბადე, 4. პლაზმური მემბრანა, 5. ქლოროპლასტი, 6. უჯრედის კედელი, 7. ცენტრალური ვაკუოლი.

"ბუშტუკები" უწოდა. მიკროსკოპის საშუალებით უმარტივესი ორგანიზმები აღწერა, აგრეთვე, მე-17-ე საუკუნეში ა. ვან ლევენჰუკმა, თუმცა იგი არ მიუთითებდა მათი ერთუჯრედიანი აგებულების შესახებ. ცხოველური და მცენარეული უჯრედების აგებულება მოტანილია 1.1 და 1.2 სურათებზე.

უჯრედის კვლევის მომდევნო ეტაპებზე აღმოჩენილ იქნა უჯრედული გარსი, ბირთვი, ბირთვაკი. 1839 წელს თ.შვანმა განავრცო უჯრედის შესახებ არსებული შეხედულებები და ჩამოაყალიბა უჯრედული თეორია. ზოგიერთი შეცდომის მიუხედავად ამ თეორიის ძირითად დებულებას, იმის თაობაზე, რომ "უჯრედი წარმოადგენს ყველა მცენარეული და ცხოველური ორგანიზმის სტრუქტურისა და ფუნქციის ელემენტარულ ერთეულს", თავისი მნიშვნელობა დღესაც არ დაუკარგავს.

თანამედროვე უჯრედული თეორიის ძირითადი დებულებებია:

1.უჯრედი ყველა ცოცხალი ორგანიზმის ძირითადი სტრუქტურული ერთეულია.

2.ერთუჯრედიანი და მრავალუჯრედიანი ორგანიზმების უჯრედები აგებულებით, ქიმიური შედგენილობით, სიცოცხლისუნარიანობის ძირითადი გამოვლინებებით ერთმანეთის მსგავსია.

3.უჯრედების გამრავლება ხდება საწყისი უჯრედის გაყოფით.

4.რთულ მრავალუჯრედიან ორგანიზმებში უჯრედები ფუნქციების მიხედვითაა კლასიფიცირებული: მსგავსი ფუნქციის უჯრედები წარმოქმნიან ქსოვილებს, ხოლო ქსოვილებისაგან შედგება ორგანოები.

უჯრედის აღმოჩენამ და უჯრედული თეორიის ჩამოყალიბებამ საშუალება მოგვცა აგვეხსნა ცოცხალი ბუნების ძირითადი თავისებურებები.

1.2. უჯრედის ქიმიური შედგენილობა

ცხოველების, მცენარეებისა და მიკროორგანიზმების უჯრედების ქიმიური შედგენილობა დაახლოებით მსგავსია, რაც კიდევ ერთხელ ასაბუთებს ორგანული სამყაროს ერთიანობას. იმ 100-ზე მეტი ელემენტიდან, რომელიც დედამიწის ქერქშია აღმოჩენილი, მნიშვნელოვანი რაოდენობა უჯრედების შემადგენლობაში შედის. მაოგან სიცოცხლისათვის მხოლოდ რამოდენიმე ელემენტია აუცილებელი (ცხრილი 1).

ცოცხალ ორგანიზმებში ყველაზე მეტად გავრცელებულია ოთხი ქიმიური ელემენტი: წყალბადი, ნახშირბადი, ჟანგბადი, აზოტი. ისინი ორგანიზმის მასის 99%-ზე მეტს შეადგენენ. ამიტომ ამ ელემენტებს მაკროელემენტებს უწოდებენ. გოგირდი და ფოსფორი, კალიუმი და ნატრიუმი, კალციუმი და მაგნიუმი, რკინა და ქლორი უჯრედში მცირე რაოდენობითაა, თუმცა თითოეული მნიშვნელოვან ფუნქციას ასრულებს. მაგალითად, გოგირდი და ფოსფორი მაკროელემენტებთან ერთად ბიოლოგიური მაკრომოლეკულების აუცილებელი შემადგენელი ელემენტებია, ნატრიუმი, კალიუმი და ქლორი უზრუნველყოფენ ნერვული იმპულსის წარმოქმნასა და გატარებას. კალციუმი და ფოსფორი მონაწილეობენ ძვლის ქსოვილის წარმოქმნაში. კალციუმის როლი მნიშვნელოვანია, აგრეთვე, კუნთის შეკუმშვისა და სისხლის შედედების პროცესებში. რკინა შედის ჰემოგლობინის შემადგენლობაში, მონაწილეობს ჟანგბადისა და ნახშირბადის (IV) ოქსიდის ტრანსპორტირებაში. მაგნიუმი ჩართულია ქლოროფილში, რომელიც განაპირობებს მწვანე მცენარეში ფოტოსინთეზის მიმდინარეობას და ა.შ.

N	ელემენტი	ბიოლოგიური მნიშვნელობა (შეიცავს)
1.	წყალბადი	წყალი და ბიომოლეკულები
2.	ნახშირბადი	ბიომოლეკულები
3.	აზოტი	ცილები, ნუკლეინის მჟავები, ნახშირწყლები, ლიპიდები
4.	ჟანგბადი	წყალი და ბიომოლეკულები
5.	ფტორი	კბილის მინანქარი
6.	ნატრიუმი	ძირითადი უჯრედგარე დადებითი იონი
7.	მაგნიუმი	ქლოროფილები
8.	ფოსფორი	ძვლის ქსოვილი, ნუკლეინის მჟავები, ლიპიდები
9.	გოგირდი	ცილები და მისთ.
10.	ქლორი	ყველაზე მეტი რაოდენობის უარყოფითი იონი ცხოველში
11.	კალიუმი	ძირითადი უჯრედშიგა დადებითი იონი
12.	კალციუმი	ძვლები და კბილები
13.	მანგანუმი	მცირე რაოდენობით აუცილებელია ორგანიზმისათვის
14.	რკინა	მრავალი ორგანული მოლეკულა
15.	კობალტი	B_{12} ვიტამინი
16.	სპილენძი	ზოგიერთი ფერმენტი
17.	თუთია	ინსულინი და ზოგიერთ ფერმენტი
18.	იოდი	ფარისებრი ჯირკვლის ჰორმონი და სხვა

ყველა სხვა ელემენტი (თუთია, სპილენძი, ფტორი და სხვა) უჯრედში ძალზე მცირე რაოდენობითაა (უჯრედის მასის 0,02%) და ამიტომ მათ **მიკროელემენტებს** უწოდებენ.

1.3. უჯრედის არაორგანული ნივთიერებები

წყალი. უჯრედის ნივთიერებებს შორის პირველ ადგილზეა წყალი (უჯრედის მასის 80%-მდეა). იგი ცოცხალი ორგანიზმებისათვის მარტო უჯრედის სტრუქტურული კომპონენტი კი არ არის, არამედ მონაწილეობას იღებს მეტაბოლიზმის პროცესებში და მრავალი მათგანისათვის საარსებო გარემოსაც წარმოადგენს. წყლის ბიოლოგიურ როლს განსაზღვრავს: მისი მოლეკულის მცირე ზომები, პოლარულობა და წყალბადური ბმის წარმოქმნის უნარი.

წყალი პოლარული ნივთიერებების შესანიშნავი გამხსნელია. ნივთიერების წყალში გახსნისას მოლეკულები ან იონები თავისუფლად გადაადგილდებიან ხსნარში, რაც ხრდის მათ რეაქციისუნარიანობას. ამიტომ უჯრედში ქიმიური რეაქციების უმრავლესობა წყალხსნარებში მიმდინარეობს. იმის გამო, რომ პოლარული ნივთიერებები წყალში კარგად იხსნებიან, წყალი ჩელსაყრელი არეა, აგრეთვე, ამ ნივთიერებათა ტრანსპორტირებისათვის. ასეთსავე როლს ასრულებს წყალი სისხლში, ლიმფატურ და ექსკრეტორულ სისტემებში, საჭმლის მომნელებელ ტრაქტში და მცენარეების ფლოემასა და ქსილემაში.

წყლის აორთქლება ენერგიის დიდ რაოდენობას მოითხოვს (ენერგია იხარჯება წყლის მოლეკულებს შორის არსებული წყალბადური ბმების გასაწყვეტად), ამიტომ წყლის აორთქლებისას უჯრედის გარემოცვის ტემპერატურა ეცემა. მაგალითად, ცხოველების მიერ ოფლის გამოყოფის დროს.

ყინული წყალზე მსუბუქია და ამიტომ, ყინვების დროს, იგი წარმოიქმნება ჯერ წყლის ზედაპირზე, ხოლო შემდეგ ფსკერზე. წყალსატევების გაყინვა პირიქით როდ მიმდინარეობდეს, მაშინ ცივი კლიმატის პირობებში მტკნარ წყალსატევებში სიცოცხლე საერთოდ არ იარსებებდა.

წყალი მონაწილეობს ნივთიერებათა ცვლის რეაქციებში. მაგალითად, ფოტოსინთეზის პროცესში წყალი წარმოადგენს წყალბადისა და ჟანგბადის წყაროს, იგი მონაწილეობს, აგრეთვე, ჰიდროლიზის რეაქციებში. წყლის ნაკლებობა ბუნებრივი კადარჩევის ერთ-ერთი ძირითადი ფაქტორია და იგი გავლენას ახდენს სახეობების გავრცელებისა და წარმოშობის პროცესში.

მინერალური ნივთიერებები. არაორგანული ნივთიერებების უმრავლესობა უჯრედში არსებობს მარილების სახით: იონებად დისოცირებულ ან მყარ მდგომარეობაში. იონებიდან მნიშვნელოვანია K^+, Na^+, Ca^{++}. ისინი უზრუნველყოფენ ცოცხალი ორგანიზმების ისეთ მნიშვნელოვან თვისებას, როგორიცაა აღგზნებადობა. უჯრედის შიგნით მარილების კონცენტრაცია ახლოსაა დამოკიდებული უჯრედის ბუფერული თვისებები [უჯრედის უნარია შეინარჩუნოს მისი შემცველი ხსნარის pH (წყალბადის იონების კონცენტრაციის უარყოფითი ლოგარითმი) მუდმივ დონეზე]. უჯრედის შიგნით ბუფერი ძირითადად ფოსფატებითაა განპირობებული, კერძოდ HPO_4^- და HPO_4^{-2} იონებით, სისხლში ბუფერის შენარჩუნებაში მონაწილეობას იღებს ბიკარბონატის იონები (HCO_3^{-2}). სუსტი მჟავებისა და სუსტი ფუძეების ანიონები შესაბამისად უკავშირდებიან წყალბადისა და ჰიდროქსილის იონებს და უჯრედის შიგნით pH მუდმივი რჩება.

უხსნადი მინერალური მარილები, მაგალითად, კალციუმის ფოსფატი, შედის ძვლის ქსოვილის უჯრედშორის ნივთიერებებისა და მოლუსკების ნიჟარების შემადგენლობაში და სიმტკიცეს ანიჭებს მათ.

1.4. უჯრედის ორგანული ნივთიერებები

ორგანული ნივთიერებები უჯრედის მასის 20-30%-ია. მათ მიეკუთვნება ცილები, ნუკლეინის მჟავები და ნახშირწყლები (ბიოლოგიური მაკრომოლეკულები), აგრეთვე, ლიპიდები და ზოგიერთი მცირე ზომის მოლეკულები (ჰორმონები, პიგმენტები, ატფ და სხვ.). უჯრედების სხვადასხვა ტიპი ორგანული ნივთიერებების არაერთგვარ რაოდენობას შეიცავს. მცენარეულ უჯრედებში მეტი რაოდენობითაა რთული ნახშირწყლები (პოლისაქარიდები), ხოლო ცხოველურში-ცილები და ლიპიდები.

ყველა უჯრედში არის მცირე ზომის ორგანულ ნივთიერებათა ოთხი ჯგუფი, რომლებიც იძლევა მაკრომოლეკულების სამ ტიპს: ცილებს, პოლისაქარიდებსა და ნუკლეინის მჟავებს (შესაბამისად მათი მონომერებია: ამინომჟავები, მონოსაქარიდები და ნუკლეოტიდები) და ლიპიდებს (ცხრილი 1.2).

მარტივი ორგანული ნივთიერებები	რთული ორგანული ნივთიერებები
შაქრები	პოლისაქარიდები
ცხიმოვანი მჟავები	ცხიმები/ლიპიდები
ამინომჟავები	ცილები
ნუკლეოტიდები	ნუკლეინის მჟავები

ცილები
მოლეკულათაშორისი ურთიერთქმედებები.

ცილების სტრუქტურული ორგანიზაციის დონეების განხილვამდე საჭიროა წარმოდგენა ვიქონიოთ აღნიშნული დონეების განმაპირობებელ ძალებზე.

მაკრომოლეკულის სტრუქტურისათვის დიდი მნიშვნელობა აქვს შემდეგ ბმებსა და ურთიერთქმედებებს:

კოვალენტური ბმა-ორგანული მოლეკულები შეიძლება ერთმანეთს დაუკავშირდნენ კოვალენტური ბმებით. მაგ. ცილების ორ SH-ჯგუფს შორის წყალბადის მოხლეჩისას წარმოიქმნება დისულფიდური ბმა (-S-S-).

იონური ბმა დაფუძნებულია ერთი მოლეკულის უარყოფითად დამუხტული ჯგუფისა (-COO^-) და მეორე მოლეკულის დადებითად დამუხტული ჯგუფის (NH_3^+) ელექტროსტატიკურ ურთიერთქმედებაზე.

დიპოლ-დიპოლური ურთიერთქმედებები ხორციელდება პოლარულ მოლეკულებს ან ჯგუფებს შორის მიზიდულობით. ამ სახის ურთიერთქმედებებიდან მნიშვნელოვანია:

ვან-დერ-ვაალსის ძალები. სუსტი ძალებია და განსაზღვრება მეზობელ მოლეკულებში ელექტრული დიპოლების ურთიერთქმედებით. დიპოლის ბუნებაზე დამოკიდებულებით განიხილავენ ორიენტაციულ (მუდმივ დიპოლებს შორის ურთიერთქმედება), ინდუქციურ [მუდმივ დიპოლსა და ინდუცირებულ დიპოლს (მხოლოდ ელექტრულ ველში მოთავსებისას ხდება მოლეკულაში დიპოლის ინდუცირება) შორის ურთიერთქმედება] და დისპერსულ (დროის მყისიერ მომენტში წარმოქმნილ დიპოლებს შორის ურთიერთქმედება) ძალებს. ამ უკანასკნელს ლონდონის ძალებსაც უწოდებენ.

დიპოლ-დიპოლური ურთიერთქმედების მნიშვნელოვანი ტიპია **წყალბადური ბმა:** წყალბადის ატომი, რომელიც უკავშირდება ძლიერი ელექტროუარყოფითობის მქონე ატომს (O,N), იძენს ძლიერ დადებით მუხტს (წარმოიქმნება დიპოლი) და შეუძლია წარმოქმნას მეორე ბმა მეორე ელექტროუარყოფით ატომთან. ამ გზით ხდება წყლის მოლეკულების ერთმანეთთან დაკავშირება.

ჰიდროფობური ურთიერთქმედებები-არაპოლარული მოლეკულები ან მოლეკულის არაპოლარული უბნები პოლარულ გამხსნელში (წყალი) მოთავსებისას პირველ ეტაპზე წყალბადური ბმების გაწყვეტის შედეგად არღვევენ წყლის ჰიდრო-

გენურ სტრუქტურას. მომდევნო ეტაპზე წყალბადური ბმები ისევ წარმოიქმნება, რის შედეგადაც არაპოლარული მოლეკულები ან გამოიდევნება ხსნარიდან (წყლის ზედაპირზე წარმოიქმნება ზეთოვანი შრე) ან გარემომცველი წყლის საშუალებით ეს მოლეკულები ისე შეიკუმშებიან, რომ წარმოქმნილი ჰიდროფობული სივრცის შეხება პოლარულ ხსნართან მინიმალურია. მაშასადამე გამხსნელში (წყალში) ცოთავსებისას არაპოლარული მოლეკულები თავს ერთად იყრიან, ისინი არ ურთიერთქმედებენ წყალთან, ე.ი. არაპოლარული მოლეკულები წყალში უხსნადია, ჰიდროფობულია. მოლეკულებს, რომლებსაც მოპოვებათ ორივე: ჰიდროფილური (პოლარული) და ჰიდროფობული (არაპოლარული) უბნები, **ამფიპატიურ** მოლეკულებს უწოდებენ.

პეპტიდური ბმა- წარმოიქმნება ერთი ამინომჟავას ამინოჯგუფის ურთიერთქმედებით მეორე ამინომჟავას კარბოქსილის ჯგუფთან, რის შედეგადაც გამოიყოფა წყალი (ახასიათებთ ცილებს):

$NH_2CR_1HCO - IOH + HI - NHCR_2HCOOH \rightarrow NH_2CR_1H -CONH- CR_2HCOOH$

ოუ ასეთი საჰით მომდევნო ამინომჟავებიც შეეროდება-მიიღება პოლიპეპტიდი.

დისულფიდური ბმა-ცისტეინის ორი მოლეკულის შეერთებისას ჩდება მათი სულფჰიდრილური ჯგუფების დაჟანგვა და მიიღება დისულფიდური ბმა. იგი შეიძლება წარმოიქმნეს როგორც სჰვადასჰვა პოლიპეპტიდურ ჯაჭვებს, ისე ერთსა და იმავე პოლიპეპტიდის ჯაჭვის სჰვადასჰვა უბნებს შორის.

ცილების სტრუქტურული ორგანიზაცია

ცილებში არჩევენ სტრუქტურული ორგანიზაციის ჩუთ დონეს:

1.პირველადი სტრუქტურა-წარმოადგენს პეპტიდური ბმებით დაკავშირებულ ამინომჟავათა წრფივ თანმიმდევრობას. პოლიპეპტიდური ჯაჭვი იწყება ამინოჯგუფით და მთავრდება კარბოქსილის ჯგუფით, რაც განსაზღვრავს ჯაჭვის მიმართულებას N-კიდურა ბოლოდან C-კიდურა ბოლოსაკენ.

უჯრედებსა და ქსოვილებში 170-ზე მეტი სჰვადასჰვა ამინომჟავა გვჰვდება, მაგრამ ცილებში აღმოჩენილია მჩოლოდ 26. ცილების ძირითად კომპონენტებად კი მჩოლოდ 20 ამინომჟავა ითვლება: ალანინი, არგინინი* (ვარსკვლავი ნიშნავს, რომ მოცემული ამინომჟავა შეუცვლელია), ასპარაგინი, ასპარაგინის მჟავა, გლიცინი, გლუტამინი, გლუტამინის მჟავა, ვალინი*, ტიროზინი, იზოლეიცინი*, ლეიცინი, ლიზინი*, მეთიონინი*,პროლინი, სერინი, ტრეონინი*, ტრიპტოფანი*, ფენილალანინი*, ცისტეინი, ჰისტიდინი*. მცენარეები ასინთეზებენ მათთვის საჭირო ყველა ამინომჟავას, ცხოველები არა (მიიღებენ მზა სახით). ამიტომ ასეთ ამინომჟავებს შეუცვლელ ამინომჟავებს უწოდებენ.

2.მეორეული სტრუქტურა-განპირობებულია წყალბადური ბმებით. პოლინგმა და კორიმ მოგვცა პოლიპეპტიდური ჯაჭვის რამდენიმე მოდელი. ერთ-ერთი მოდელის თანახმად ცილის მოლეკულა წააგავს გაწელილ ზამბარას (**α-სპირალი**), რომელიც სტაბილიზდება წყალბადური ბმებით. ეს უკანასკნელი წარმოიქმნება ერთმანეთის გვერდით განლაგებული ერთი ამინომჟავას კარბოქსილის ჯგუფის ჟანგბადსა და იმავე ჯაჭვის მეორე ამინომჟავას (პირველი ამინომჟავადან 4 ამინომჟავური ნაშთით დაშორებული) ამინოჯგუფის წყალბადს შორის. მჩოლოდ α-სპირალური ცილაა კერატინი., რომელიც თმების,ბეწვის,ფრჩხილების,ბრჭყალების,

ნისკარტის, ფროებისა და რქების სტრუქტურული ცილაა. მისი სიმტკიცე და გაჭიმვის უნარი დამოკიდებულია მეზობელ პოლიპეპტიდურ ჯაჭვებს შორის დისულფიდური ხიდაკების რაოდენობაზე.

β–კონფორმაცია-მეორეული სტრუქტურის სხვა ტიპია. თუთის აბრეშუმხვევიას მიერ გამოყოფილი აბრეშუმის ცილა-ფიბროინი შედგება რამდენიმე პოლიპეპტიდური ჯაჭვისაგან, რომლებიც α-სპირალის კონფორმაციასთან შედარებით უფრო მეტადაა გაჭიმული. ეს ჯაჭვები პარალელურადაა განლაგებული, თუმცა მეზობელი ჯაჭვები ანტიპარალელურია. ისინი ერთმანეთს უკავშირდება ერთი ჯაჭვის C=O- და NH-ჯგუფებსა და მეორე ჯაჭვის NH- და C=O-ჯგუფებს შორის წარმოქმნილი წყალბადური ბმებით. ამასთან, ამ უკანასკნელის წარმოქმნაში მონაწილეობს ყველა NH- და CO-ჯგუფი.

ზემოთ განხილული სტრუქტურების გარდა ცილების მეორეულ სტრუქტურას მიეკუთვნება, აგრეთვე, ე.წ. კოლაგენის სპირალი. კოლაგენი ესაა სუპერსპირალი, რომელიც შედგება მარცხნივ მბრუნავი სამი პარალელური სპირალისაგან. მას შექმნაში მონაწილეობს ისეთი ამინომჟავები (პროლინი და ოქსიპროლინი), რომლებსაც არა აქვთ წყალბადური ბმის უნარი.

3.ზეშეორეული სტრუქტურები-პოლიპეპტიდური ჯაჭვების მეორეული სტრუქტურების აგრეგატები. მათი კლასიკური მაგალითია სუპერსპირალიზებული α–სპირალი, რომელიც აღმოჩენილია ფიბრილარულ ცილებში (ტროპომიოზინი, მერომიოზინის მუბუქი ჯაჭვები და სხვა). ზეშეორეული სტრუქტურის მქონე აგრეგატების უბნები გვხვდება, აგრეთვე, გლობულარულ ცილებშიც (ჰემერიტორინი, ბაქტერიოროდოპსინი და სხვა). α-სპირალის გარდა, ზეშეორეული სტრუქტურაში ვხვდებით β–კონფორმაციასაც. ასეთი სტრუქტურული წარმონაქმნები გვხვდება ლაქტატდეჰიდროგენაზაში, სტაფილოკოკურ ნუკლეაზაში და სხვა გლობულარულ ცილებში.

4.სტრუქტურული დომენები (ცილების მესამეული სტრუქტურა). რენტგენოსტრუქტურული ანალიზის მეთოდით ცილების ელექტრონული სიმკვრივის განაწილების შესწავლამ მათ სტრუქტურაში გამოავლინა მრავალი ერთმანეთთან სუსტად დაკავშირებული უბანი-ე.წ. სტრუქტურული დომენები. მათი წარმოქმნა განპირობებულია იონური, წყალბადური და დისულფიდური ბმებითა და ჰიდროფობული ურთიერთქმედებებით. თითოეული დომენი შეიცავს 40-დან 300-მდე ამინომჟავის ნაშთს. ჯაჭვში α-სპირალისა და β–კონფორმაციის სტრუქტურის მქონე უბნების ურთიერთგანლაგებაზე დამოკიდებულებით ცნობილია დომენების 4 კლასი: α/α, β/β, α/β და α+β. α/α დომენებს ძირითადად ახასიათებს α-სპირალური სტრუქტურა, ხოლო β/β დომენებს -β–კონფორმაციის მქონე ჯაჭვები. α/β დომენებში α– და β–უბნები მორიგეობითაა განლაგებული, ხოლო α+β დომენებში α– და β–უბნები განლაგებულია პოლიპეპტიდური ჯაჭვის სხვადასხვა სეგმენტში.

ამრიგად, სტრუქტურული დომენების გარკვეული სივრცული ურთიერთგანლაგება ქმნის ცილების მესამეულ სტრუქტურას, ანუ წარმოადგენს პოლიპეპტიდური ჯაჭვის სამგანზომილებიან სტრუქტურას, რომელიც წარმოიქმნება ამინომჟავათა ნაშთების ურთიერთქმედების შედეგად. მესამეული სტრუქტურის წარმოსაქმნელად აუცილებელია პოლიპეპტიდური ჯაჭვის დახვევა, რომლის

მექანიზმის ახსნა გარკვეულ სიძნელეებთანაა დაკავშირებული. ჯაჭვის შემთხვევით დახვევას, რომელსაც მივყავართ მოუწესრიგებელი სტრუქტურის წარმოქმნამდე, შეესაბამება გორვალის ფორმა.

მესამეული სტრუქტურის მიხედვით ცილები შეიძლება დაიყოს ორ, მკვეთრად განსხვავებულ ჯგუფად: ფიბრილარულ (ბოჭკოვანი) და გლობულარულ (სფერული) ცილებად. ამ ორ კონფორმაციას შორის გვხვდება გარდამავალი კონფორმაციის ცილები.

ცილის პირველად სტრუქტურაში დეტერმინირებულია ცილის **კონფორმაცია.** ცილის კონფორმაციაში იგულისხმება მეორეული, მესამეული და მეოთხეული სტრუქტურების განლაგება სივრცეში. ცილის კონფორმაცია პოლიპეპტიდური ჯაჭვის თერმოდინამიკურად ყველაზე მდგრადი მდგომარეობაა. მისგან განსხვავებით **კონფორმაციული** გულისხმობს ნახშირბადის ასიმეტრიული ატომის ირგვლივ ატომების ან ფუნქციური ჯგუფების სივრცით განლაგებას (ცის- ან ტრანს-კონფიგურაციები). ცის–ტრანს იზომერია გეომეტრიული იზომერიის ერთ-ერთი ფორმაა: ცის–იზომერიის დროს მსგავსი ჯგუფები განლაგებულია ორმაგი ბმის სიბრტყის ერთ მხარეს, ტრანს–იზომერიის დროს – სხვადასხვა მხარეს.

5. ცილის აგრეგატები ანუ მეოთხეული სტრუქტურა. გლობულარული ცილები უმეტეს შემთხვევაში შედგება ორი ან მეტი პოლიპეპტიდური ჯაჭვისაგან. ასეთ ცილებს ოლიგომერებს უწოდებენ, ხოლო სტრუქტურულ დონეს, რომელიც აღწერს ოლიგომერის სივრცულ კონფორმაციას-მეოთხეულს. ამრიგად, მეოთხეული სტრუქტურა გულისხმობს ორ ან ორზე მეტ პოლიპეპტიდური ჯაჭვის ასოციაციას ერთ გარკვეულ სივრცულ კონფორმაციაში. ოლიგომერული ცილების ფუნქციურ დაჯგუფებებს, რომლებიც ერთი ან რამდენიმე პოლიპეპტიდური ჯაჭვისაგან შედგება, სუბერთეულებს უწოდებენ.

მეოთხეული სტრუქტურის ცილოვან სუბერთეულებს, რომლებიც ერთმანეთთან მხოლოდ არაკოვალენტური ბმებითაა დაკავშირებული, გარკვეულ ზემოქმედებისას შეუძლიათ განიცადონ შეძადგენელ კომპონენტებად ნაწილობრივი დაშლა (დისოციაცია) ანუ **დენატურაცია.** დენატურაციის საწყის ეტაპზე იშლება ყველაზე სუსტი – მეოთხეული სტრუქტურა, შემდეგ მესამეული და მეორეული. ამრიგად, უპირველეს ყოვლისა ერთმანეთს სცილდება სუბერთეულები, ხოლო შემდეგ ეს უკანასკნელი იშლება შეძადგენელ პოლიპეპტიდურ ჯაჭვებად. დენატურაცია შეიძლება გამოიწვიოს ტემპერატურის ცვლილებამ, გაუწყლოებამ, რენტგენის სხივებმა და სხვა ზემოქმედებებმა. თუკი დენატურაციის გამომწვევი ფაქტორი მკაცრი არ არის და შენარჩუნებულია ცილის პირველადი სტრუქტურა, მაშინ ზემოქმედი ფაქტორის მოხსნისთანავე (ნორმალური პირობების აღდგენისას), სრულად აღდგება ცილის სტრუქტურაც. ამ პროცესს **რენატურაციას** უწოდებენ.

ცილების ფუნქციები

ცილების ფუნქციებიდან მნიშვნელოვანია:

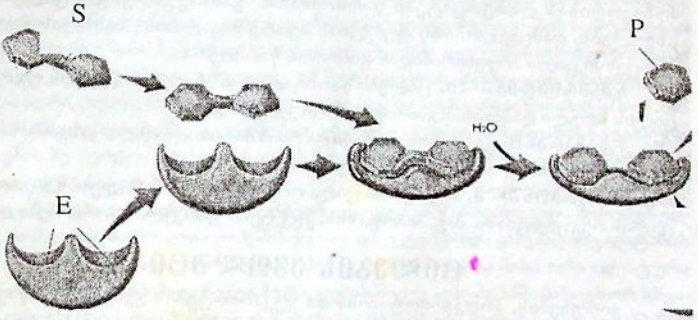
1. **კატალიზური.** ცილებს აქვს ბიოქიმიური რეაქციების სიჩქარის გაზრდის უნარი (წარმოადგენენ კატალიზატორებს). ასეთ ცილებს ფერმენტებს უწოდებენ.

ფერმენტული რეაქციების სიჩქარე ფერმენტის გარეშე რეაქციის სიჩქარესთან შედარებით 10^{10}-ჯერ იზრდება:

$$E + S \Leftrightarrow ES \rightarrow E + P,$$

სადაც E-ფერმენტია, S-სუბსტრატი, P-რეაქციის პროდუქტი.

ფერმენტის მოლეკულაში მნიშვნელოვანი უბანია აქტიური ცენტრი, რომელსაც უკავშირდება სუბსტრატი და წარმოიქმნება ფერმენტ-სუბსტრატული კომპლექსი. აქტიური ცენტრი აგებულია სივრცობრივად ერთმანეთთან დაახლოებულ, მაგრამ წრფივ თანმიმდევრობაში ერთმანეთისაგან საკმაოდ დაშორებული რამდენიმე ამინომჟავას ნაშთისაგან. ES კომპლექსი წარმოიქმნება არა კოვალენტური ბმის, არამედ მოლეკულური ურთიერთქმედების (წყალბადური ბმა, ვან-დერ-ვაალსის ძალები, ჰიდროფობული ურთიერთქმედებანი) ხარჯზე. ზოგჯერ ფერმენტსა და სუბსტრატს შორის წარმოიქმნება კოვალენტური ბმა. ამასთან, ფერმენტს ახასიათებს სპეციფიკურობა (აქვს ჭეშმარიტი სუბსტრატის გამორჩევის უნარი თავისივე მსგავსი მოლეკულებისაგან), რაც განპირობებულია ფერმენტ-სუბსტრატის ურთიერთქმედების თავისებურებებით (სურ.1.3).



სურ.1.3.კატალიზის ზოგადი სქემა

ამ ურთიერთქმედების პირველი მოდელი მოწოდებულ იქნა 1890 წელს ე. ფიშერის მიერ, რომლის თანახმად სუბსტრატი ფერმენტს ისე უნდა მოერგოს, როგორც "გასაღები-კლიტეს". აღნიშნული მოდელი შეავსო 1959 წელს კოშლანდის მიერ მოწოდებულმა ინდუცირებული შეგუებულობის თეორიამ. აღნიშნული თეორიის თანახმად ფერმენტი მოქნილი სტრუქტურაა. როდესაც ასეთი მოლეკულა შეიერთებს სუბსტრატს, მისი კონფორმაცია იცვლება: თავისუფალ ფერმენტში აქტიური ცენტრის შემადგენელი ჯგუფები ერთმანეთისაგან მნიშვნელოვანი მანძილით არიან დაშორებულნი, სუბსტრატთან დაკავშირებისას აღნიშნული ჯგუფები უახლოვდებიან სუბსტრატს და მიერთვიან მას. ამრიგად, სუბსტრატი ცვლის ფერმენტის კონფორმაციას, მაგრამ ერთდროულად იცვლება სუბსტრატის მოლეკულაც. მასში ხდება ატომების ჯგუფების გადანაცვლება, რაც ზრდის სუბსტრატის ენერგიას.

ფერმენტის აქტიურობის რეგულაცია სრულდება რამდენიმე გზით:

ა.პრეფერმენტის (ფერმენტის არააქტიური წინამორბედი) გააქტიურებით;

ბ.კოვალენტური მოდიფიკაციით: ამ შემთხვევაში ფერმენტის მოლეკულის მარეგულირებელი ქიმიური ჯგუფი მიეერთდება ან მოიხლიჩება მისგან.

გ.ინჰიბირებით: კონკურენტული, არაკონკურენტული და უკონკურენტო ინჰიბიტორების საშუალებით;

დ.ალოსტერიული რეგულაციით. ამ შემთხვევაში ფერმენტის აქტიური ცენტრი რეგულირდება ამავე ფერმენტის სხვა ცენტრიდან მიღებული სიგნალის საშუალებით.

2.**სააშენებლო.** ცილები მონაწილეობენ უჯრედის მემბრანებისა და ორგანოიდების, აგრეთვე, არაუჯრედული სტრუქტურების წარმოქმნაში.

3.**მოძრაობითი.** აღნიშნულ ფუნქციას ასრულებს სპეციალური კუმშვადი (კონტრაქტილური) ცილები: ფლაგელინი, აქტინი, მიოზინი და სხვა.

4.**სატრანსპორტო.** ცილა ჰემოგლობინს გადააქვს ჟანგბადი და ნახშირბადის (IV) ოქსიდი.

5.**დამცველობითი**-ორგანიზმში უცხო ცილების ან მიკროორგანიზმების მოხვედრისას ლიმფოციტები წარმოქმნიან განსაკუთრებულ ცილებს-ანტისხეულებს. დამცველობითი ფუნქციის მეორე მაგალითია სისხლის შედედების პროცესში ცილა პრეფიბრინიდან ფიბრინის წარმოქმნა.

6.**ენერგეტიკული.** ცილები წარმოადგენენ ენერგიის წყაროს უჯრედში. 1გ ცილის სრული დაშლისას გამოიყოფა 17,6 კჯ ენერგია.

7.**საშარაბო.** კვერცხის ცილები და რძის ძირითადი ცილა-კაზეინი. ზოგიერთი ცილა ორგანიზმში ამინომჟავების წყაროა.

8.**ჰორმონული.** ზოგიერთი ცილა ორგანიზმში მონაწილეობს ნივთიერებათა ცვლის რეგულაციაში. მაგ. ჰიპოფიზის, კუჭქვეშა ჯირკვლის ჰორმონები და სხვა.

ცილების ევოლუცია

ვირუსების, პროკარიოტებისა და ეუკარიოტების გენების შესწავლის საფუძველზე დადგენილ იქნა ფაქტი ევოლუციის პროცესში გენის სტრუქტურის ცვლილების შესახებ. აღნიშნული პროცესის მექანიზმის დასადგენად ჩატარდა მრავალრიცხოვანი ექსპერიმენტები ცილებისა და მათი კოდირებადი გენების სტრუქტურის შედარების მიზნით.

პირველ რიგში შესწავლილ იქნა ჰომოლოგიური ცილები და ჰომოლოგიური გენები. ამ უკანასკნელის ჰომოლოგიის დამტკიცება შეიძლება მხოლოდ მათი პროდუქტების (ცილების) ან უშუალოდ გენების სტრუქტურის შესწავლით.

ცხენისა და ღორის C ციტოქრომის შედარებისას აღმოჩნდა, რომ ორივე ციტოქრომი შეიცავს ამინომჟავების 104 ნაშთს და ისინი ერთმანეთისაგან განსხვავდებიან 17 ამინმჟავური ნაშთით. თუმცა აღნიშნული სხვაობა გავლენას არ ახდენს მათ სივრცით სტრუქტურაზე (ყველა შესწავლილი ციტოქრომის კონფორმაცია ერთნაირია). ამჟამად შესწავლილია ეუკარიოტების 90 სახეობის C ციტოქრომის ამინომჟავური თანმიმდევრობა და დადგენილია, რომ ციტოქრომის ოჯახის ყველა პოლიპეპტიდურ ჯაჭვს გააჩნია მხოლოდ 4-10 ამინმჟავური ნაშთი, რომელთა შეცვლა დასაშვებია. პოლიპეპტიდურ ჯაჭვში სხვა ამინმჟავური ნაშთების შეცვლა გამოიწვევდა ცილის ფუნქციის ცვლილებას. ამასთან დაკავშირებით შესაბამისი მუტაციები ორგანიზმის

პოპულაციაში არ ვრცელდება.

Glu	Thr	Leu	Ser	Glu	Leu	His	Cys	– Asp	ადამიანის β-ჰემოგლობინი
Val	Thr	Leu	Ser	Glu	Leu	His	Cys	– Asp	ნამგლისებრ. β-ჰემოგლობინი
Glu	Ala	Leu	Ser	Glu	Leu	His	Cys	– Asp	ცხენის β-ჰემოგლობინი
Glu	Gln	Leu	Ser	Glu	Leu	His	Cys	– Asp	ქათმის β-ჰემოგლობინი
Ala	Ala	Leu	Ser	Asp	Leu	His	Ala	– His	ადამიანის α-ჰემოგლობინი
Gly	Pro	Leu	Ala	Gln	Ser	His	AlaThr	Lys	ვეშაპის მიოგლობინი
-A3-	I	I-F3 -	F4 -	F5 -	F6 -	F7-	F8–	F9-F10-FG1	ნაშთების მდებარეობა

სურ.1.4.სხვადასხვა გლობინის ამინომჟავური თანმიმდევრობები

გლობინების ოჯახის ცილების დივერგენტული ევოლუციის განხილვისას დადგენილ იქნა, რომ ყველა გლობინის ამინომჟავური თანმიმდევრობა მსგავსია. ეს ფაქტი მიგვანიშნებს, რომ ისინი ერთი საერთო წინაპრიდან არიან წარმოშობილნი. სავარაუდოა, რომ გლობინის ევოლუცია მიმდინარეობდა მუტაციების საშუალებით დივერგენტული გზით. ნებისმიერი ორი ცილის ამინომჟავურ თანმიმდევრობაში სხვაობა დაკავშირებულია უშუალოდ იმ მუტაციებთან, რომლებიც მხოლოდ მას შემდეგაა აღრიცხული, რაც ეს ორი ცილა დაშორდა თავის საერთო წინაპარს (სურ.1.4). ამიტომ ამ თავისებურებებზე დაყრდნობით აგებული გლობინების ოჯახის ნათესაური კავშირების ხე ევოლუციური პროცესის სქემატური გამოსახულებაა და წარმოადგენს ფილოგენეტიკურ ხეს.

რაც შეეხება გლობინის წინამორბედს, იგი ალბათ წარმოადგენდა მონომერულ ცილას, რომელშიც ჩართული იყო ჰემის ჯგუფი და უკვე ჰქონდა ჟანგბადის გადატანის გარკვეული უნარი. გენის გაორმაგების შედეგად წარმოიქმნა მისი ორი იდენტური ასლი, რომლებმაც თანმიმდევრული მუტაციების შედეგად დასაბამი მისცეს ორ სხვადასხვა ცილას. რადგანაც ჰემოგლობინის α– და β–ჯაჭვებს შორის ნაკლები განსხვავებაა, ვიდრე თითოეულ ამ პოლიპეპტიდსა და მიოგლობინს შორის, სავარაუდოა, რომ გენის თავდაპირველმა გაორმაგებამ განაპირობა მარტივი მიოგლობინისა და ჰემოგლობინის წარმოქმნა, ხოლო α– და β–ჯაჭვების ჩამოყალიბება მოხდა მოგვიანებით, მარტივი ჰემოგლობინის გენის გაორმაგების შემდეგ.

ანალოგიურად იქნა შესწავლილი ინსულინის, რიბონუკლეაზას, A ფიბრინოპეპტიდის ევოლუციის პროცესი. გამოთქმულია მოსაზრება, რომ მათი შესაბამისი გენების თითოეულ ლოკუსში არსებობს პოზიციათა მცირე რიცხვი, რომელშიც ხდება ნუკლეოტიდების ზოგიერთი შეცვლის ფიქსაცია. კოდონებს, რომლებშიც ხდება ზოგიერთი ნუკლეოტიდის ცვლილება, რაც ცილაში ამინომჟავების შეცვლას განაპირობებს, უწოდებენ კოვარიონებს (ინგლის. concomitantly varying codons).

ჰომოლოგიური ცილების ამინომჟავური თანმიმდევრობების შესწავლის საფუძველზე იაპონელი მ.კიმურასა და ამერიკელი ჯ.კინგისა და თ.ჯუკსის მიერ წამოყენებულ იქნა **ნეიტრალური მუტაციების დრიფტის** კონცეფცია. ამ კონცეფციის თანახმად პოპულაციებში გავრცელებული მუტაციების ძირითად ნაწილს წარმოადგენს ნეიტრალური მუტაციები. ამასთან, აღნიშნული კონცეფცია

ვარაუდობს, რომ სხვადასხვა სახეობის ჰომოლოგიური ცილების ევოლუციური ცვლილების სიჩქარე ერთნაირია (იხ. 5. 19).

მიუხედავად ზემოთ მოტანილი ფაქტებისა ცილების მოლეკულების პირველადი სტრუქტურის მნიშვნელოვანი ცვლილებისა და სიერციოი კონფორმაციის კონსერვატიულობის შესახებ, არ შეიძლება ახალი გენებისა და ახალი ცილების წარმოქმნა მხოლოდ ნუკლეოტიდებისა და ამინომჟავური ნაშთების ცვლილებით იყოს განპირობებული. მართლაც, უკანასკნელ წლებში დაგროვილი ექსპერიმენტული მონაცემების საფუძველზე დადგინდა, რომ ახალი გენები წარმოიქმნება გენების დუპლიკაციისა და რეკომბინაციის შედეგად.

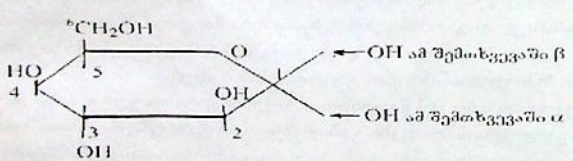
4. ნახშირწყლები

ნახშირწყლებს უწოდებენ ნივთიერებებს, რომელთა საერთო ფორმულაა $C_nH_{2n}O_n$. როგორც ფორმულიდან ჩანს, ნახშირწყლის მოლეკულაში წყალბადი და ჟანგბადი იმავე თანაფარდობითაა, როგორც წყლის მოლეკულაში. აქედან წარმოდგება ტერმინი "ნახშირწყლები". ნახშირწყლები სამ ძირითად კლასად იყოფა: მონოსაქარიდები, ოლიგოსაქარიდები და პოლისაქარიდები.

მონოსაქარიდები. ყველაზე გავრცელებული მონოსაქარიდებია ჰექსოზები (n=6) და პენტოზები (n=5). ნივთიერებათა ცვლაში მონაწილეობს, აგრეთვე, ტრიოზები (n=3), ტეტროზები (n=4) და ჰეპტოზები (n=7). მეტაბოლიზმში მონოსაქარიდები ძირითადად ფოსფატების სახით მონაწილეობს. იგი არის ენერგიის წყარო და გამოიყენება, როგორც სამშენებლო მასალა. გლუკოზა (n=6) და ფრუქტოზა (n=6) სამარაგო ნივთიერებებია, ხოლო რიბოზა (n=5) და დეზოქსირიბოზა (n=5) - ნუკლეინის მჟავების სტრუქტურული ელემენტები.

ოლიგოსაქარიდებისა და პოლისაქარიდების ძირითადი სტრუქტურული კომპონენტია α–D –გლუკოზა, ამიტომ გავეცნოთ D გლუკოზის ფორმებსა და მათში გლიკოზიდური ბმის წარმოქმნის სხვადასხვა ხერხს.

როგორც აღვნიშნეთ, D გლუკოზა ექვსნახშირბადიანი მონოსაქარიდია. იგი



შეიძლება იმყოფებოდეს ორ სტაბილურ კონფორმაციაში: C1 და 1C. C1 მდგომარეობაში OH-ჯგუფები შაქრის ბირთვის სიბრტყის პარალელურია და მიმართულია გვერდებისაკენ. ასეთ ორიენტაციას ეკვატორულს უწოდებენ. 1C მდგომარეობისას OH-ჯგუფები მიმართულია შაქრის ბირთვის ზევით და ქვევით, მას ეწოდება აქსიალური ორიენტაცია. ჟანგბადის ატომის დიდი ზომების გამო უპირატესობა ენიჭება C1 კონფორმაციას (ამ დროს დიდი ზომის ატომები ერთმანეთისაგან მოშორებით განლაგდებიან). C_6 ნახშირბადის მიმართ C_1 ნახშირბადთან მყოფი OH-

ჯგუფის მდებარეობის მიხედვით არჩევენ D-გლუკოზის ორ ფორმას: β-D-გლუკოზა და α-D-გლუკოზა. β-D- გლუკოზის შემთხვევაში C_1 ნახშირბადთან მყოფი OH-ჯგუფი მიმართულია C_6 ნახშირბადის მხარეს, ხოლო α-D-გლუკოზის შემთხვევაში – მის საპირისპიროდ.

რაც შეეხება გლიკოზიდურ ბმას, არსებობს მათი წარმოქმნის სხვადასხვა ხერხი. წრფივ პოლისაქარიდში ივი წარმოიქმნება ერთი მონოსაქარიდის C_1 ნახშირბადის ატომსა და მეორე მონოსაქარიდის C_3 ან C_4 ნახშირბადის ატომს შორის. ამასთან, ორივე მონოსაქარიდი, როგორც წესი, იმყოფება C_1 (ეკვატორულ) კონფორმაციაში. გლიკოზიდური ბმები აღინიშნება: β(1→n) და α(1→n); β (1→n)-ეს არის ბმა C_1 ნახშირბადთან β-მდგომარეობაში მყოფი ჟანგბადის ატომსა და მომდევნო მონოსაქარიდის C_n ნახშირბადს შორის. α(1→n) ბმების წარმოქმნაში მონაწილეობას ღებულობენ ნახშირბადის იგივე ატომები, მხოლოდ C_1 ნახშირბადთან მყოფი ჟანგბადის ატომი α-მდგომარეობაშია.

ოლიგოსაქარიდები. ისინი ორი ან ორზე მეტი მონოსაქარიდის, ჩვეულებრივ ჰექსოზების, კონდენსაციის შედეგია. დისაქარიდებს შორის ფართოდაა გავრცელებული მალტოზა, რომელიც ორი მოლეკულა α–გლუკოზისაგანაა აშენებული (1,4-გლიკოზიდური ბმა); ლაქტოზა (გლუკოზა+გალაქტოზა-1,4 გლიკოზიდური ბმა) და საქაროზა (გლუკოზა+ფრუქტოზა-1,2 გლიკოზიდური ბმა), რომლებიც წარმოადგენენ უჯრედის სამარაგო ნივთიერებებს.

პოლისაქარიდები. ისინი გრძელი ჯაჭვებია, რომელშიც ერთმანეთს გლიკოზიდური ბმებით უერთდება 5.10³-მდე მონოსაქარიდი. მცენარეებსა და ცხოველებში პოლისაქარიდები ასრულებენ სტრუქტურულ როლს და წარმოადგენენ სამარაგო ნივთიერებას. პოლისაქარიდების შემადგენლობაში ძირითადად შედის ჰექსოზები(D გლუკოზა). პოლისაქარიდების სტრუქტურა მრავალფეროვანია, რაც ჰექსოზებში ფუნქციური ჯგუფების განსხვავებული მდებარეობითა და მათი შეერთების სხვადასხვა ტიპით (გლიკოზიდური ბმების სხვადასხვაობა) არის განპირობებული.

ცელულოზა. შედგება β–D– გლუკოზის მონომერებისაგან, რომლებიც ერთმანეთთან შეერთებულია β(1→4) გლიკოზიდური ბმებით. ცელულოზა ძირითადად გვხვდება მცენარეებში, თუმცა არის ზოგიერთ სოკოშიც. ცელულოზა მცენარეების უჯრედული კედლის 20-40% შეადგენს.

სახამებელი. მცენარეების სამარაგო პოლისაქარიდი. იგი ორი კომპონენტისაგან შედგება: α-ამილოზა და ამილოპექტინი. α-ამილოზა D-გლუკოზის პოლიმერია, რომელშიც მონომერული ერთეულები ერთმანეთს უერთდება α(1→4) გლიკოზიდური ბმებით. ამილოზას წრფივ, დაუტოტავ ჯაჭვებს აქვს სპირალურად დახვევისა და კომპაქტური ფორმის მიღების უნარი. ამილოპექტინი შედგება poly(D-გლუკოზის) ჯაჭვებისაგან, რომელთა შორის α(1→4) გლიკოზიდური ბმებია. ამ ჯაჭვებიდან პერიოდულად გამოდიან გვერდითი გამონაზარდები, რომლებიც უერთდებიან ძირითად ჯაჭვს α(1→4) გლიკოზიდური ბმებით. ეს გამონაზარდები გლუკოზის პოლიმერის მოკლე ფრაგმენტებია და ისინი ძირითად ჯაჭვს არ აძლევენ სპირალურად დახვევის საშუალებას. ამილოპექტინს, დატოტვის გამო, ბუნქის

ფორმა აქვს. α–ამილოზასთან ერთად იგი წარმოქმნის რთულ და ფაშარ ქსელს, რომელშიც, ორგანიზმში გლუკოზის ნაკლებობისას, შეიჭრებიან საჭმლის მომნელებელი ფერმენტები და იწვევენ სახამებლის ჰიდროლიზს.

გლიკოგენი. ცხოველების სამარაგო პოლისაქარიდია. ძუძუმწოვრებში გლიკოგენი დიდი რაოდენობითაა ღვიძლში. გლიკოგენიც α(1→4) გლიკოზიდური ბმების შემცველი α–D– გლუკოზის ჯაჭვებისაგან შედგება. სახამებლისაგან განსხვავებით გლიკოგენი სპირალური სტრუქტურის მქონე მოლეკულა არ არის, იგი უფრო განტოტვილია, ამიტომ მასში ფერმენტები ადვილად შეაღწევენ.

ქიტინი. სტრუქტურული პოლისაქარიდია. მწერების სხეულის მფარავი ფენის ძირითადი კომპონენტი-შედგება მცირედ მოდიფიცირებული გლუკოზის (N-აცეტილგლუკოზამინი) ჯაჭვებისაგან.

ნახშირწყლების მონათესავე ნაერთების ჯგუფებს მიეკუთვნება მუკოპოლისაქარიდები (ჰიალურონის მჟავა, ჰეპარინი, ქონდროიტინგოგირდის მჟავა) და გლიკოზიდები (ამიგდალინი, ფლორიზინი და საპონინები ანუ გულის გლიკოზიდები). გლიკოზიდების ჯგუფს მიაკუთვნებენ, აგრეთვე, ანტოციანებს, ფლავონებს და სხვ.

4. ლიპიდები

ლიპიდების განსაზღვრის სხვადასხვა ცნება არსებობს, მათ შორის ყველაზე მისაღებია მ.კეიტსის ფორმულირება: "ლიპიდები ორგანული ნივთიერებებია, რომლებიც არ იხსნება წყალში, იხსნება ორგანულ გამხსნელებში (ქლოროფორმი, ეთერი, ბენზოლი და სხვა), მოლეკულის შემადგენლობაში შეიცავს უმაღლეს ალკილის რადიკალებს და წარმოადგენს ცოცხალი ორგანიზმის ყველა უჯრედისა და ქსოვილის შემადგენელ სტრუქტურულ კომპონენტს". ლიპიდების ბიოლოგიური ფუნქციები მრავალფეროვანია. მათ შორის მნიშვნელოვანია ის, რომ უჯრედში ლიპიდები ენერგიის დეპოა [1გ ლიპიდის წყლამდე დაჟანგვისას გამოთავისუფლდება 38,9 კჯ ენერგია]; ისინი, აგრეთვე, შემბრანებისა და უჯრედის ზედაპირის სტრუქტურული კომპონენტებია;

ლიპიდები მოიცავს ნივთიერებათა ფართო კლასს, რომლებიც შეიძლება შემდეგი სახით იქნეს კლასიფიცირებული:

I.ცხიმოვანი მჟავები;

II.გლიცერინშემცველი ლიპიდები: 1.ნეიტრალური ლიპიდები; 2.ფოსფოგლიცერიდები;

III.ლიპიდები, რომლებიც არ შეიცავენ გლიცერინს: 1.სფინგოლიპიდები; 2.ალიფატური სპირტები და ცვილები; 3.ტერპენები; 4.სტეროიდები;

IV.ლიპიდები, რომლებიც დაკავშირებულნი არიან სხვა კლასის ნივთიერებებთან: 1.ლიპოპროტეინები; 2.პროტეოლიპიდები; 3.ფოსფატიდოპეპტიდები; 4.ლიპოამინომჟავები; 5.ლიპოპოლისაქარიდები.

I და II ჯგუფის ლიპიდების ძირითადი კომპონენტია **ცხიმოვანი მჟავები** (სახელწოდება "ცხიმოვანი" მათ იმის გამო მიიღეს, რომ ამ ჯგუფის ზოგიერთი მაღალმოლეკულური წევრი შედის ცხიმების შემადგენლობაში). მათი ზოგადი ფორმულაა $CH_3-(CH_2)_n-COOH$. ბუნებაში გვხვდება ნაჯერი, უჯერი და ჰიდროქსი ცხიმოვანი მჟავები, რომელთა სიგრძე $C_{14}-C_{22}$ ფარგლებში ვარირებს. ამასთან,

ყველაზე მეტად გავრცელებულია პალმიტინისა (C_{16}) და სტეარინის (C_{18}) მჟავები. ხმელეთის ორგანიზმების ნაჯერ ცხიმოვან მჟავებში ნახშირბადის ატომების რიცხვი ყოველთვის ლუწია, თუმცა ხღვის ზოგიერთ ორგანიზმებში შეიძლება კენტიც იყოს. უჯერი ცხიმოვანი მჟავები შეიცავენ ერთ (მონოენური) ან მეტ (პოლიენური) ორმაგ ბმას, რომელიც ყოველთვის ცის-კონფორმაციაშია. მონოუჯერი მჟავებიდან ყველაზე ხშირად გვხვდება C_{16}-(პალმიტოლეინის) და C_{18}- (ოლეინის) მჟავები, ხოლო ტრიუჯერი მჟავებიდან-C_{18} (ლინოლენის). ერთზე მეტი ორმაგი ბმის მქონე მჟავები ფართოდაა გავრცელებული მცენარეებსა და ცხოველებში, ბაქტერიებში კი არ არის.

ბუნებრივი ცხიმოვანი მჟავები მცენარეული და ცხოველური წარმოშობისაა. ცხოველური ცხიმები (კარაქი, ღორის ქონი და სხვა) წარმოადგენს ნაჯერი (40-60%) და მონოუჯერი (30-50%) ცხიმოვანი მჟავების ნარევს. მათში მცირე რაოდენობითაა პოლიუჯერი ცხიმოვანი მჟავები. გლიცერინშემცველი ლიპიდებიდან ყველაზე მეტადაა წარმოდგენილი ტრიგლიცერიდები. მცენარეულ ცხიმებში მცირე რაოდენობითაა ნაჯერი ცხიმოვანი მჟავები (10-20%), ხოლო დიდი რაოდენობით – უჯერი ცხიმოვანი მჟავები (80-90%). მაგ. ხეითუნის ზეთი შეიცავს 79% ოლეინის მჟავას, ხოლო მზესუმზირას ზეთი–75% ლინოლის მჟავას. ადამიანის ორგანიზმისათვის შეუცვლელ ცხიმოვან მჟავებად ითვლება ლინოლისა და ლინოლენის მჟავები. ადამიანის საკვებში მათი ნაკლებობისას ვითარდება დაავადება, რომლის დროსაც იწყება თმების ცვენა, ჩერდება ორგანიზმის ზრდა.

ნეიტრალური ლიპიდები წარმოიქმნება ცხიმოვანი მჟავების ეთერიფიკაციის შედეგად. ამ პროცესში, წესისამებრ, მონაწილეობს სამატომიანი სპირტი-გლიცეროლი ან ამინოსპირტი-სფინგოზინი. ცხიმოვან მჟავას შეუძლია შეეერთოლს გლიცეროლის სამი OH-ჯგუფიდან ნებისმიერს და წარმოიქმნება მონოაცილ-გლიცერიდი. ცხიმოვანი მჟავებით ორი ან სამივე OH-ჯგუფის ეთერიფიცირებისას შესაბამისად მიიღება დი- და ტრიაცილგლიცერიდები. ცხოველების მიერ "ცხიმის" სახით მომარაგებული ენერგიის უდიდესი ნაწილი ასეთი ფორმითაა წარმოდგენილი. აცილგლიცერიდები ნეიტრალურ ლიპიდებია, ე.ი. მათ არ გააჩნიათ პოლარული თავები. შესაძლებელია გლიცეროლის მესამე OH-ჯგუფს გლიკოზიდური ბმით მიეერთდეს ნახშირწყალი (მაგ.გალაქტოზა). იგი პოლარული მოლეკულაა და ამ შემთხვევაში მიღებულ ლიპიდს ამფიპატურს (აქვს ჰიდროფობული და ჰიდროფილური უბნები) უწოდებენ. ასეთი ლიპიდები ბიოლოგიური მემბრანების იდეალური კომპონენტებია.

წყლის სიჭარბის შემთხვევაში ლიპიდები წარმოქმნიან მიცელებს, რომელშიც ცხიმოვანი მჟავას ჰიდროფობული კუდები სფერული ფორმის წვეთის შიგნითაა განლაგებული, ხოლო პოლარული თავები მის ზედაპირზე. როდესაც ლიპიდები ჰიდროფობურ არეში იმყოფებიან, ხოლო წყალი მცირე რაოდენობითაა, მაშინ მიიღება ე.წ. "ამობრუნებული" მიცელები, სადაც სფეროს შიგნით ლოკალიზებულია წყალი და ლიპიდის პოლარული თავები, ხოლო სფეროს ზედაპირზე განლაგებულია ცხიმოვანი მჟავას ჰიდროფობული კუდები. აღნიშნული ბიოლოგიური მემბრანის ჰიდროფობური უბნების შესაძლო მოდელს წარმოადგენს.

თუ გლიცეროლის ერთ-ერთი OH-ჯგუფი ეთერიფიცირებულია ფოსფორმჟავაით (ჩვეულებრივ ეთერიფიცირდება OH-ჯგუფი მესამე მდგომარეობაში), ხოლო

ერთი ან ორივე OH-ჯგუფი-ცხიმოვანი მჟავებით, მაშინ მიიღება **ფოსფატიდები (ფოსფოლიპიდები)**. ფოსფორმჟავასთან სხვადასხვა აზოტოვანი ფუძის დაკავშირებისას მიიღება ფოსფოლიპიდის სხვადასხვა ტიპი. მაგ.ქოლინის მიერთებისას მიიღება ფოსფატიდილქოლინი, სერინის დაკავშირებისას-ფოსფატიდილსერინი, ეთანოლამინის შემთხვევაში-ფოსფატიდილეთანოლამინი. ყველა ფოსფოლიპიდი ბიოლოგიური მემბრანების შემადგენელი კომპონენტია. მემბრანის გარეშე ფოსფოლიპიდები არ გვხვდება.

სხვადასხვა ტიპის მემბრანებში გვხვდება ლიპიდები გლიკოლიპიდების სახით, რომლებიც არ შეიცავენ გლიცეროლს. ასეთი ლიპიდებიო განსაკუთრებით მდიდარია ნერვული ქსოვილი. ამ ლიპიდების სამი ძირითადი კლასია ცნობილი: ცერებროზიდები, ფოსფოსფინგოლიპიდები და განგლიოზიდები. მათში ცხიმოვანი მჟავები და პოლარული ჯგუფები დაკავშირებულია სფინგოზინის ამინოჯგუფთან.

სფინგოზინი გრძელი ნახშირწყალბადოვანი ამინოსპირტია. სტრუქტურით წააგავს გლიცეროლს. სფინგოზინის მოლეკულაში არაჰიდროლიზებადი უჯერი ნახშირწყალბადოვანი ჯაჭვი დაკავშირებულია ნახშირბადის სამი ატომიდან ერთერთთან, ხოლო ნახშირბადის ცენტრალურ ატომთან მყოფი ჰიდროქსილის ჯგუფი ჩანაცვლებულია ამინოჯგუფით. სფინგოზინის გარდა ლიპიდებისათვის, რომლებიც არ შეიცავენ გლიცეროლს, დამახასიათებელია ცერამიდი, რომელშიც მონოენური ცხიმოვანი მჟავა ამიდური ბმითაა მიერთებული სფინგოზინის ამინოჯგუფთან.

მნიშვნელოვანია ლიპიდების ჯგუფი, რომელსაც მიეკუთვნება ცხიმში ხსნადი ვიტამინები, სტეროიდული ჰორმონები და ცხიმში ხსნადი ზოგიერთი ნივთიერებები. მათი საფუძველია სტეროიდები და ტერპენები.

სტეროიდები ნაჯერი პოლიციკლური ნახშირწყალბადების ნაწარმებია. ისინი გვხვდება მცენარეებში, ასევე ცხოველების ქსოვილებში და ასრულებენ სხვადასხვა ფუნქციას. ცხოველებში ყველაზე მეტად გავრცელებული სტეროლია ქოლესტეროლი. იგი ცხოველთა ყველა სტეროიდული ჰორმონის წინამორბედია (მაგ. მამაკაცის სასქესო ჰორმონი ტესტოსტერონი და ქალის სასქესო ჰორმონი ესტროგენი). ქოლესტეროლი, აგრეთვე, ნაღვლის მჟავების წინამორბედია. თავისი სუსტი ამფიპატური თვისების გამო იგი უჯრედული მემბრანის აუცილებელი ნაწილია (ძუძუმწოვრების ერითროციტების ყველა ლიპიდის 40-60%) და განაპირობებს მის ფიზიკურ მდგომარეობას. ქოლესტეროლი მცირე რაოდენობით გვხვდება მცენარეებშიც.

რაც შეეხება ტერპენებს, იგი მარტივი სტეროიდია და მისი სტრუქტურის საფუძველია ხუთნახშირბადიანი ნახშირწყალბადი იზოპრენი. ტერპენების საშუალებით ხდება მცენარეების "სურნელოვანი" ზეთების წარმოქმნა (მაგ. მენთოლი ტერპენის ზეთია, რომელსაც პიტნა გამოყოფს).

ამრიგად, ლიპიდების ფუნქცია ორგანიზმში მრავალფეროვანია: 1.ენერგეტიკული (1გ ლიპიდის დაჟანგვის პროცესში გამონთავისუფლდება 38,9 კჯ ენერგია); 2.სამშენებლო (მცენარეებში გროვდება ზეთი, ცხოველებში - ცხიმები. ვეშაპებში კანქვეშ ცხიმის დაგროვება ემსახურება თბოიზოლაციის პროცესს); 3.სამშენებლო (ფოსფოლიპიდები და ქოლესტერინი მემბრანის აუცილებელი სტრუქტურული კომპონენტია); 4.ჰორმონული (სტეროიდები, ტერპენები); 5.პიგმენტური (ტერპენები ფოტოსინთეზის აპარატში); 6.მეტაბოლური წყლის დაგროვება (უწყლობისას

მნიშვნელოვანია უდაბნოს ისეთი ცხოველებისათვის, როგორიცაა აქლემი – მის კუჭში დაგროვილი ცხიმი დაჟანგვისას გარდაიქმნება წყლად).7. ჰიდროფობური ზედაპირის წარმოქმნა (ცილები).

6. ნუკლეინის მჟავები

ნუკლეინის მჟავები მაკრომოლეკულებია, რომლებიც მონაწილეობენ გენეტიკური ინფორმაციის შენახვასა და გადაცემაში. მათ მიეკუთვნება დეზოქსირიბონუკლეინისა (დნმ) და რიბონუკლეინის (რნმ) მჟავები. ორივე პოლიმერი აგებულია **ნუკლეოტიდებისაგან**. ეს უკანასკნელი შედგება აზოტოვანი ფუძის, მონოსაქარიდისა და ერთი ან რამდენიმე ფოსფორის მჟავას ნაშთისაგან. ნუკლეოტიდს, ფოსფორის ჯგუფის გარეშე, **ნუკლეოზიდი** ეწოდება.

ნუკლეოტიდის შემადგენლობაში შემავალი მონოსაქარიდია პენტოზა, რომელიც ორი ფორმისაა: **β–D-რიბოზა** და **β-D-2-დეზოქსირიბოზა**. დეზოქსირიბოზაში რიბოზისაგან განსხვავებით ჰიდროქსილის ჯგუფი პენტოზის C_2 ნახშირბადთან ჩანაცვლებულია წყალბადის ატომით. ნუკლეოტიდებს, რომლებიც შეიცავენ რიბოზას, რიბონუკლეოტიდები ეწოდებათ, ხოლო ნუკლეოტიდებს, რომლებიც შეიცავენ დეზოქსირიბოზას - დეზოქსირიბონუკლეოტიდები. შესაბამისად, ნუკლეინის მჟავებიც ორი სახისაა: რიბონუკლეინის მჟავა (რნმ) და დეზოქსირიბონუკლეინის მჟავა (დნმ).

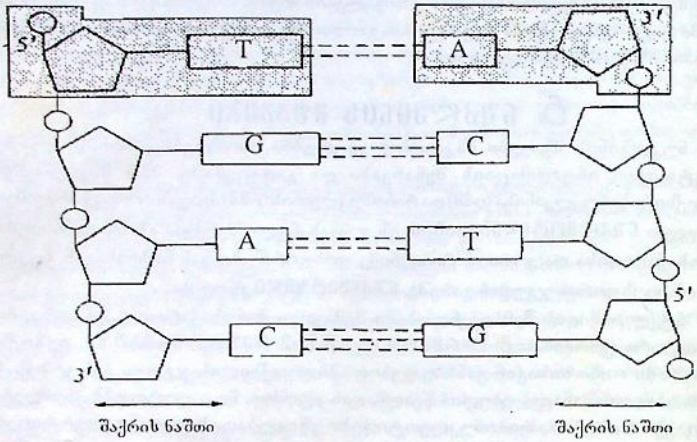
ნუკლეოტიდების შემადგენლობაში ორი ტიპის აზოტოვანი ფუძეა: **პირიმიდინის** და **პურინის**. პურინის ფუძეებიდან გვხვდება ორი (ადენინი, გუანინი), ხოლო პირიმიდინის ფუძეებიდან-სამი (ციტოზინი, თიმინი, ურაცილი). რნმ-ში გვხვდება ადენინი, გუანინი, ციტოზინი, ურაცილი, ხოლო დნმ-ში-ადენინი, გუანინი, ციტოზინი, თიმინი. პენტოზასთან ერთად, ორი ან სამი ფოსფორმჟავას მიერთებით შესაბამისად მიიღება ნუკლეოზიდ–მონო, დი– და ტრიფოსფატები, რომლებიც აღინიშნება: NMP, NDP, NTP.

რნმ და დნმ აგებულია კოვალენტურად დაკავშირებული რიბონუკლეოტიდების და დეზოქსირიბონუკლეოტიდების მონომერებისაგან, რომლებიც ქმნიან პოლინუკლეოტიდების ჯაჭვებს (იხ.სურ.1.5). პოლინუკლეოტიდური ჯაჭვები პოლარულია და არსებული შეთანხმებით ფუძეების თანმიმდევრობა იკითხება პენტოზის 5'-ნახშირბადის ატომიდან 3'- ნახშირბადის ატომის მიმართულებით.

დნმ

დეზოქსირიბონუკლეინის მჟავა (დნმ) გენეტიკური ინფორმაციის მატარებელია. ამასთან, დნმ-ის მოლეკულა შეიცავს ინფორმაციულ (**ექსონები**) და არაინფორმაციულ (**ინტრონები**) თანმიმდევრობებს. ნუკლეოტიდების თანმიმდევრობა განსაზღვრავს დნმ-ის პირველად სტრუქტურას. დნმ-ის მეორეულ სტრუქტურას წარმოადგენს უოტსონ-კრიკისეული ორმაგი სპირალი.

დნმ-ის ჩონჩხი შედგება ფოსფოდიეთერული ხიდაკებით შეერთებული დეზოქსირიბოზის ნაშთებისაგან: ერთი დეზოქსირიბონუკლეოტიდის შაქრის ნაშთის 3^1-OH-ჯგუფი ფოსფოდიეთერული ბმით უერთდება მეზობელი შაქრის 5^1-OH-ჯგუფს. დნმ-ის ჯაჭვის სტრუქტურა წარმოდგენილია 1.5 სურათზე.



სურ.1.5.დნმ-ის ჯაჭვის სტრუქტურა

1953 წელს ჯ.უოტსონმა და ფ.კრიკმა დაადგინეს დნმ-ის სამგანზომილებიანი სტრუქტურა, რომელშიც მნიშვნელოვანი როლი ენიჭება ფუძეების კომპლემენტურობის პრინციპს (ადენინი უწყვილდება მხოლოდ თიმინს და პირიქით, ხოლო გუანინი-მხოლოდ ციტოზინს და პირიქით).

დნმ-ის ფუძეების სპეციფიკური დაწყვილებიდან გამომდინარეობს **ერვინ ჩარგაფის** მიერ 1950 წელს დადგენილი წესი, რომლის თანახმად ყველა სახეობის დნმ-ში ადენინის ფარდობა თიმინთან, ხოლო გუანინისა-ციტოზინთან ერთის ტოლია: [A] = [T] და [G] = [C]. აქედან გამომდინარეობს დნმ-ის სახეობითი სპეციფიკურობა, რომელიც გამოისახება თანაფარდობით A+T/G+C.

წრფივი ორჯაჭვიანი სტრუქტურის დნმ-გან განსხვავებით დნმ-ის მაკრომოლეკულური ორგანიზაციის მნიშვნელოვან ტიპს მიეკუთვნება წრიული ფორმა. მაგ. λ ფაგით ინფიცირებული უჯრედებიდან გამოყოფილი დნმ-ის სუპერსპირალიზებული ფორმა, რომელიც რეპლიკაციის პროცესში გადადის წრიულში. ანალოგიურია ზოგიერთი ვირუსის (პოლიომა და SV40) დნმ-ის მოლეკულური ორგანიზაციაც. ქრომოსომებში ორმაგი სპირალები დაკავშირებულია ცილებთან და მათთან ერთად წარმოქმნის შესამეულ სტრუქტურას (სუპერსპირალი ნუკლეოსომაში და უფრო მაღალი რიგის სტრუქტურები).

დნმ-ის ჯაჭვის მოლეკულური ორგანიზაციის თავისებურებებიდან მნიშვნელოვანია მისი პოლარულობა. დნმ-ის მოლეკულის ორ ჯაჭვს ახასიათებს ურთიერთსაწინააღმდეგო პოლარულობა: ნუკლეოტიდშორის ფოსფოდიეთერულ ბმას ერთ ჯაჭვში აქვს $3' \rightarrow 5'$, ხოლო მეორეში $5' \rightarrow 3'$ მიმართულება. ამასთან, ჯაჭვის ერთ ბოლოზე ლოკალიზებულია 5'-OH-, ხოლო მეორე ბოლოზე-3'-OH-ჯგუფები.

დნმ-ის პოლიმორფიზმი. რენტგენოსტრუქტურული ანალიზით დადგენილია, რომ დნმ შეიძლება იმყოფებოდეს სამ სტრუქტურულ ფორმაში: A,B,Z. ჩვეულებრივ წყალხსნარებში დნმ წარმოდგენილია B-ფორმის სახით; ეს სტრუქტურა ახლოს დგას უოტსონ-კრიკის მოდელთან: ორივე ჯაჭვს ახასიათებს ურთიეროსაწინააღმდეგო პოლარულობა, თითოეული ჯაჭვი მარჯვნივაა დახვეული, ორივე ჯაჭვი ერთმანეთს უკავშირდება წყალბადური ბმებით და ერთმანეთის კომპლემენტურია. დნმ-ის B-ფორმის სტაბილურობაში მნიშვნელოვანია სტეკინგ ურთიეროქმედება (პარალელურად განლაგებულ აზოტოვან ფუძეებს შორის არაპოლარული ურთიეროქმედება).

დნმ-ის A-ფორმა შეიმჩნევა 75%-ზე დაბალი ტენიანობისა და ხოგიერთი იონის არსებობისას. იგი მარჯვნივ დახვეული ორმაგი სპირალია, რომლის სტრუქტურა B-ფორმისაგან განსხვავებულია. მასში ფუძეები განლაგებულია არა ჰორიზონტალურად, არამედ დახრილია გარკვეული კუთხით. ამიტომ სპირალის ბიჯი, ხვიაზე ნუკლეოტიდების რიცხვი, ასევე, ჯაჭვის ჩონჩხის კონფიგურაცია იცვლება. A ფორმა ახასიათებს ორჯაჭვიან რნმ-სა და დნმ/რნმ-ის ჰიბრიდებს.

გარკვეულ პირობებში დნმ-ის მარჯვენა B-ფორმა შეიძლება გადავიდეს Z-ფორმაში, რომელიც წარმოადგენს მარცხნივ დახვეულ ორმაგ სპირალს (ამ დროს სპირალი იღებს ტეხილის ფორმას, რის გამოც მან "Z" სახელწოდება მიიღო).

დნმ-ის ფიზიკურ-ქიმიური თვისებებიდან შეიძლება გამოვყოთ შემდეგი:

დნმ-ის მოლეკულები გამოირჩევა მაღალი მოლეკულური მასითა და დიდი ზომებით. მაგ. E.coli-ის მოლეკულა წარმოადგენს 4 მლნ წყვილი ფუძის შემცველ ორსპირალიანი დნმ-ის ერთიან მოლეკულას. დნმ-ის ამ მოლეკულის მასა $2,6.10^9$ დალტონია, ხოლო მისი კონტურული სიგრძე 14.10^6 და დიამეტრი 20 ანგსტრემი.

დნმ-ის სპირალის ორი ჯაჭვი ადვილად შორდება ერთმანეთს წყალბადური ბმების გახლეჩის შედეგად **(დენატურაცია).** დენატურაციას იწვევს დნმ-ის ხსნარის გაცხელება, ფუძეების იონიზაციის მიზნით, ხსნარზე მჟავის ან ტუტის დამატება. რადგან პროცესი მყისიერია და მიმდინარეობს მკაცრად განსაზღვრულ ტემპერატურაზე, ორმაგი სპირალის დაცარვის (გაშლის) პროცესს **ლღობას** უწოდებენ. ტემპერატურას, რომლის დროსაც ირღვევა სპირალური სტრუქტურის ნახევარი ლღობის ტემპერატურა ($T_{ლღ}$) ეწოდება. დისპერსიის სიმკვეთრე გვიჩვენებს, რომ დნმ-ის ორმაგი სპირალი მაღალკოოპერატიული სტრუქტურაა. დნმ-ის ლღობა ადვილად რეგისტრირდება 260 ნმ-ის ტალღის სიგრძეზე. დნმ-ის მოლეკულის ლღობის ტემპერატურა დამოკიდებულია ნუკლეოტიდების ტიპზე. G-C-ფუძეების წყვილით მდიდარ დნმ-ის მოლეკულების (G-C ფუძეებს შორის 3 წყალბადური ბმაა) $T_{ლღ}$ A-T-ფუძეების წყვილით მდიდარ დნმ-ის მოლეკულებთან (A-T ფუძეებს შორის 2 წყალბადური ბმაა) შედარებით მაღალია.

დნმ-ის ბიოლოგიური ფუნქციებიდან მნიშვნელოვანია რეპლიკაცია

რეპლიკაცია

დნმ-ის რეპლიკაცია ნახევრადკონსერვატიულია, ე.ი. თითოეული შვილეული დნმ-ის მოლეკულა შედგება ერთი ახლადსინთეზებული და ერთიც შობლიური

ჯაჭვებისაგან. აღნიშნული ვარაუდი გამოითქვა 1957 წელს ჯ.უოტსონისა და ფ.კრიკის მიერ, ხოლო ექსპერიმენტულად დაამტკიცა მ.მეზელსონმა და ფ.სტალმა (1958). მათ მშობლიური დნმ მონიშნეს აზოტის ^{15}N-იზოტოპით და ამის გამო იგი ჩვეულებრივ დნმ-ზე მძიმე გახდა (ჩვეულებრივი დნმ შეიცავს აზოტის ^{14}N-იზოტოპს). ამისათვის ავტორები E.coli-ის ბაქტერიებს მრავალი თაობის მანძილზე ზრდიდნენ არეზე, რომელიც აზოტის ერთადერთ წყაროდ $^{15}NH_4Cl$-ს შეიცავდა. მომდევნო ეტაპზე მონიშნული ბაქტერიები გადაჰქონდათ აზოტის სტაბილური იზოტოპის (^{14}N) შემცველ არეზე, დროის სხვადასხვა მონაკვეთში გამოყოფდნენ დნმ-ს და ცეზიუმის ქლორიდის (CsCl) სიმკვრივის გრადიენტში ცენტრიფუგირებით ასხლეტავდნენ დნმ-ის მოტივტივე სიმკვრივეს (ჩვეულებრივი დნმ-ის მოტივტივე სიმკვრივე 1,7 გ/სმ^3-ია). შესაბამისი კონცენტრაციის ცეზიუმის ქლორიდის ცენტრიფუგირების დროს სედიმენტაციისა და დიფუზიის ძალების გავლენით სიმკვრივის 1,66-1,76 გ/სმ^3-ის დიაპაზონში წარმოიქმნება მისი კონცენტრაციის გრადიენტი.

ექსპერიმენტებმა აჩვენა, რომ დნმ-ის რეპლიკაციის ერთი ციკლის შემდეგ სიმკვრივის გრადიენტში ცენტრიფუგირებისას დნმ ლოკალიზდება ერთი ხოლის სახით. ამ უკანასკნელის სიმკვრივე აზოტის ^{14}N- და ^{15}N-იზოტოპების შემცველი დნმ-ების სიმკვრივეების საშუალოარითმეტიკული მნიშვნელობის ტოლია. აზოტის ^{15}N-იზოტოპის შემცველი დნმ-ის მოტივტივე სიმკვრივის (დნმ-ის სიმკვრივე, რომელიც გრადიენტის შესაბამისი სიმკვრივის ტოლია) გაქრობა იმაზე მიუთითებდა, რომ მშობლიურმა დნმ-მა რეპლიკაციის პროცესში განიცადა ცვლილება, ხოლო აზოტის ^{14}N-იზოტოპის შემცველი დნმ-ის მოტივტივე სიმკვრივის გაქრობა აჩვენებდა, რომ ყველა შვილეული უჯრედის დნმ-ის ნაწილი მშობლიური დნმ-დან იყო წარმოქმნილი. რადგან ჰიბრიდული დნმ-ის სიმკვრივე აზოტის ^{14}N- და ^{15}N-იზოტოპების შემცველ დნმ-ებს შორის მდებარეობს (საშუალოარითმეტიკული მნიშვნელობისაა), შვილეულ უჯრედებში მათ შორის თანაფარდობა 1:1 ტოლია.

რეპლიკაციის ორი ციკლის შემდეგ დნმ სიმკვრივის გრადიენტში ლოკალიზდება ორი ხოლის სახით (ჰიბრიდული დნმ-ისა და აზოტის ^{14}N-იზოტოპის შემცველი დნმ-ის შესაბამისი ხოლები). აქედან გამომდინარე მ.მეზელსონისა და ფ.სტალის მიერ გაკეთებულ იქნა დასკვნა: დნმ-ის აზოტი თანაბრად ნაწილდება ფიზიკურად გაყოფილ დნმ-ის ორ სტრუქტურას შორის, ამასთან დნმ-ის ვაორმაგების შემდეგ თითოეული შვილეული უჯრედი აღნიშნული სტრუქტურებიდან ღებულობს ერთ-ერთს და იგი შენარჩუნდება რეპლიკაციის მრავალჯერადი გაეორებისას.

დნმ-ის რეპლიკაცია ანუ დნმ-ის გაორმაგება რთული, მრავალეტაპიანი პროცესია. მასში ეროდროულად მონაწილეობს სხვადასხვა ტიპის ფერმენტები. რეპლიკაციის მექანიზმის განხილვამდე გავეცნოთ პროცესში მონაწილე ფერმენტებს.

დნმ-ის რეპლიკაციის ფერმენტული სისტემები.

რეპლიკაციის საწყის ეტაპზე საჭიროა ჯაჭვების დაშორიშორება და ერთჯაჭვიან მდგომარეობაში მათი დროებითი სტაბილიზაცია. შემდეგ სინთეზდება ლიდერული და მინორული ჯაჭვების კომპლემენტური ჯაჭვები და რეპლიკაციის ბოლოს მიმდინარეობს ტერმინაციის რეაქციები. აღნიშნული პროცესები შეიძლება განხორციელდეს ცალკეული ცილებით ან ცილების კომპლექსით, რომელსაც

რეპლისომას უწოდებენ. რეპლისომას აწყობა ხდება რეპლიკაციის დასაწყისში, მაშასადამე იგი არსებობს მულტიკომპლექსის სახით - წარმოადგენს ცილოვან კომპლექსს, რომელიც დაკავშირებულია სარეპლიკაციო ორკაპში წარმოქმნილ დნმ-ის გარკვეულ სტრუქტურასთან.

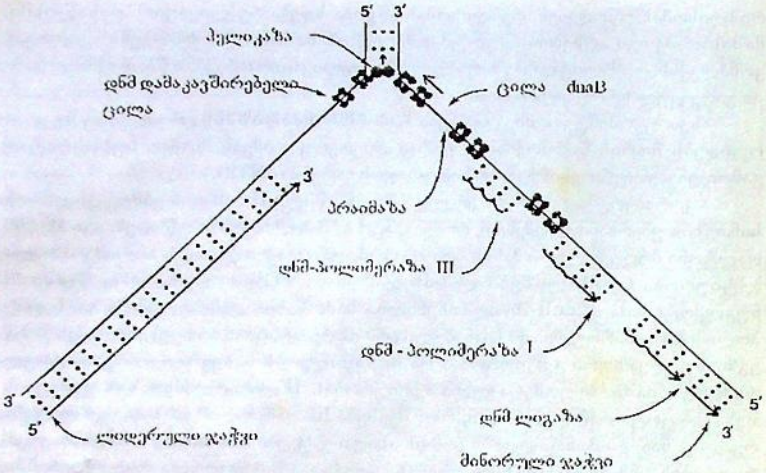
ასეთ ფერმენტებს მიეკუთვნება **დნმ-პოლიმერაზები.** რომლებიც ნუკლეოტიდებს შორის წარმოქმნიან ფოსფოდიეთერულ ბმებს, ხოლო სუბსტრატად გამოიყენებენ დეზოქსინუკლეოზიდტრიფოსფატებს (dNTP).

ა.კორნბერგმა და მისმა კოლეგებმა 1955 წელს E.coli-დან გამოყვეს დნმ-ის სინთეზის უნარიანი ფერმენტი, რომელსაც I დნმ-პოლიმერაზა უწოდეს. იგი 109.000 დალტონი მოლეკულური მასის პოლიპეპტიდური ჯაჭვია და აქვს პოლიმერაზული აქტიურობა (აკატალიზებს დნმ-ის ჯაჭვთან NTP-ის მიერთებას, წამში 10 ნუკლეოტიდი). E.coli-ში აღმოჩენილია სამი სახის დნმ-პოლიმერაზა. I დნმ-პოლიმერაზა ჩართულია დაზიანებული დნმ-ის რეპარაციის პროცესებში (აქვს $5^1 \rightarrow 3^1$ ეგზონუკლეაზური აქტიურობა) და მონაწილეობს ნახევრადკონსერვატიულ რეპლიკაციაში (პოლიმერაზული აქტიურობა). II დნმ-პოლიმერაზას ფუნქციის შესახებ ცოტა რამაა ცნობილი, რაც შეეხება III დნმ-პოლიმერაზას, იგი მთავარი რეპლიკაზაა და მონაწილეობს დნმ-ის ახალი ჯაჭვების de novo სინთეზში. ეუკარიოტების დნმ-პოლიმერაზები ყველაზე კარგადაა შესწავლილი ძუძუმწოვრებში. პირველი ასეთი ფერმენტი გამოყოფილ იქნა 1960 წელს ხბოს თიმუსიდან.

მნიშვნელოვანი ფერმენტია **დნმ-ლიგაზა,** რომელიც დნმ-ის ორ ჯაჭვს შორის ფოსფოდიეთერული ბმის წარმოქმნის კატალიზატორია. ამასთან, დნმ-ლიგაზას არ შეუძლია ერთჯაჭვიანი დნმ-ის ორი მოლეკულის შეერთება. შესაერთებელი დნმ-ის ჯაჭვები აუცილებლად ორჯაჭვიანი დნმ-ის ნაწილი უნდა იყოს.

დნმ-ის რეპლიკაციის პროცესში ურთიერთდაჩვეული ჯაჭვების დაშორიშორებისას და სარეპლიკაციო ორკაპის გადაადგილებისას იზრდება ზესპირალიზაციის ხარისხი, რის გამოც შეუძლებელია სარეპლიკაციო ორკაპის შემდგომი გადაადგილება. პრობლემის გადაწყვეტის მიზნით ხდება ერთ-ერთი ჯაჭვის გაწყვეტა, რის შედეგად, გაწყვეტილი ჯაჭვი შემობრუნდება ინტაქტური ჯაჭვის ირგვლივ და უბრუნდება საწყის მდგომარეობას (ამ დროს ზესპირალიზაცია ქრება). შემდგომ ეტაპზე აღდგება გაწყვეტილი ჯაჭვი. აღნიშნული პროცესი თანმიმდევრულად მეორდება სარეპლიკაციო ორკაპის გადაადგილებასთან ერთად. ამ პროცესებს უზრუნველყოფს **ტოპოიზომერაზები.**

რეპლიკაციის ძირითადი სტადიები. დნმ-ის რეპლიკაცია მკაცრად რეგულირებადი პროცესია და იწყება ქრომოსომის ერთი განსაზღვრული ადგილიდან. ამასთან, უნდა აღინიშნოს, რომ სარეპლიკაციო ორკაპის უბანში შშობლიური დნმ-ის ორივე ჯაჭვი წარმოადგენს ახალი დნმ-ის სინთეზის მატრიცას. გავიხსენოთ, რომ დნმ-ის ჯაჭვები ანტიპარალელურია, ე.ი. დნმ-ის სინთეზის საერთო მიმართულება ერთი ჯაჭვისათვის $5^1 \rightarrow 3^1$ (**წამყვანი ანუ ლიდერული ჯაჭვი**). ხოლო მეორე ჯაჭვისათვის (**ჩამორჩენილი ანუ მენორული**) $3^1 \rightarrow 5^1$-ია (სურ.1.6). მაგრამ ყველა ცნობილი დნმ-პოლიმერაზა დნმ-ს ახალ სინთეზებს $5^1 \rightarrow 3^1$ მიმართულებით. ამიტომ გაუგებარი იყო, თუ როგორ ხდებოდა ერთ-ერთი შვილეული ჯაჭვის $3^1 \rightarrow 5^1$ მიმართულებით ზრდა.



სურ.1.6.სარეპლიკაციო ორკაპი.

პრობლემა გადაწყვეტილ იქნა ოკაზაკის მიერ. მან აღმოაჩინა, რომ ახლადსინთეზებული დნმ-ის მნიშვნელოვანი ნაწილი არსებობს მოკლე ფრაგმენტების სახით. დაახლოებით 1000 ნუკლეოტიდის სიგრძის ასეთი ფრაგმენტები (**ოკაზაკის ფრაგმენტები**) მოკლე ხანს არსებობენ რეპლიკაციო ორკაპის სიახლოვეს არიან. რეპლისომის გავლისთანავე ეს ფრაგმენტები, დნმ-ლიგაზას მოქმედების შედეგად, ერთმანეთს უერთდებიან კოვალენტური ბმებით და ერთ-ერთ შვილეულ ჯაჭვს (მინორული) წარმოქმნიან. მეორე ახალი ჯაჭვი (ლიდერული) უწყვეტად სინთეზდება. ოკაზაკის ფრაგმენტებიც და ლიდერული ჯაჭვიც 5′→3′მიმართულებით სინთეზდება, მაგრამ მინორული ჯაჭვის წყვეტილი შენება საშუალებას იძლევა მივიღოთ ჯაჭვის საერთო ზრდა 3′→5′ მიმართულებით.

რნმ

რიბონუკლეინის მჟავას (რნმ) გადააქვს ინფორმაცია ცილებში ამინმჟავების თანმიმდევრობის შესახებ და მონაწილეობს ცილის სინთეზში. შეგახსენებთ, რომ რნმ დნმ-გან განსხვავებით შეიცავს რიბოზას (დნმ-ის დეზოქსირიბოზის ნაცვლად) და პირიმიდინის ფუძეს-ურაცილს (დნმ-ში თიმინის ნაცვლად). აღნიშნული განსხვავების გარდა რნმ უმეტეს შემთხვევაში ერთჯაჭვიანი მოლეკულაა. რნმ-ში იშვიათად გვხვდება A-ფორმის ორმაგი სპირალი. რნმ-ის A-ფორმა თავისი სტრუქტურით ახლოა დგას დნმ-ის A-ფორმასთან. რნმ-ს არ შეუძლია მიიღოს B-ფორმა რიბოზაში დიდი მოცულობის მქონე OH-ჯგუფის არსებობის გამო.

სხვადასხვა ტიპის რნმ ერთმანეთისაგან განსხვავდება მოლეკულის ზომით, სტრუქტურითა და ფუნქციით (ცხრილი 1.3).

რნმ-ის ყველა ტიპი (ვირუსული რნმ-ის გარდა) სინთეზდება დნმ-ის მოლეკულაზე ტრანსკრიპციის მეშვეობით. ამასთან, საწყის ეტაპზე წარმოიქმნება გრძელი

ცხრილი 1-3. სხვადასხვა ტიპის რნმ-ის ზოგიერთი მახასიათებელი
რნმ: 1-თამბაქოს მოზაიკის ვირუსის; 2-ბაქტერიების; 3-მცენარეების; 4-ცხოველების.

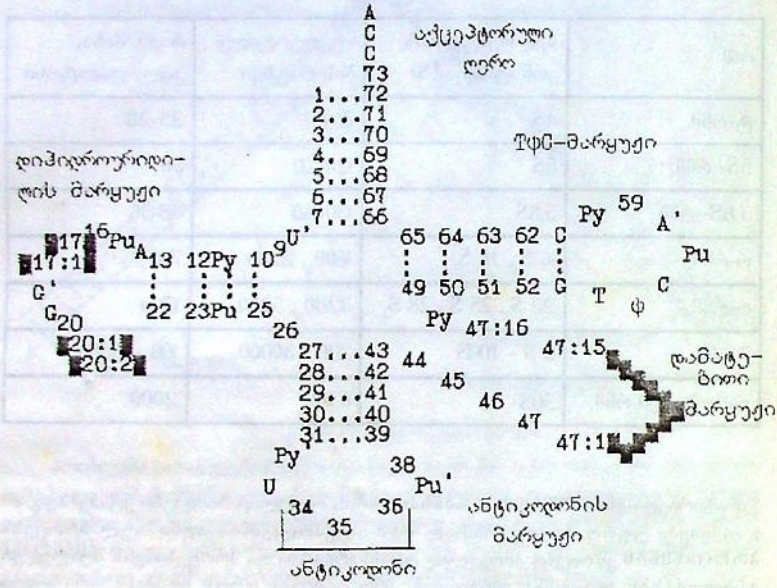
რნმ	სედიმენტაციის კონსტანტა (S)	ნუკლეოტიდების რიცხვი	მოლ. მასა, კილოდალტონი
ტ-რნმ	4S	76-85	25-28
5S- რნმ	5S	120-121	40
5,8S- რნმ	5,8S	130-160	45-55
რ-რნმ$_1$	16 S_2, 18 $S_{3,4}$	1600_2, 2200_4	700_4
რ-რნმ$_2$	23 S_2, 25 S_3, 28 S_4	3200_2, 5200_4	1700
მ-რნმ	8 S - 100S	300 - 30000	100 - 10000
ვირუსული რნმ$_1$	30S	6400	2000

წინამორბედი-პირველადი ტრანსკრიპტი, რომელიც მომდევნო ეტაპებზე გარდაიქმნება უფრო მოკლე რნმ-ად. რნმ-ის გარდაქმნის აღნიშნულ პროცესს პროცესინგი ეწოდება. პირველად ტრანსკრიპტსა და პროცესინგის შუალედურ პროდუქტებს პრე-რნმ-ს უწოდებენ. პროცესინგის დროს ხდება: 1.პირველადი ტრანსკრიპტის დამოკლება მოლეკულის ბოლოებიდან ან მის შიდა ნაწილში გარკვეული უბნების ამოკვეთით (**სპლაისინგი**): 2.რნმ-ის ბოლოების **პოლიადენილირება** და **ქეპირება**: 3.ნუკლეოტიდების **მოდიფიკაცია** (მათი მეთილირება ან ჰიდრირება).

პბ-რნმ(პეპტიდთან შეკავშირებული ბირთვული რნმ). წარმოადგენს რნმ-ის ნაირგვაროვან ბირთვულ ფრაქციას, რომელშიც შედის სხვადასხვა პრე- და ნაკლებად შესწავლილი რნმ-ები. სავარაუდოა, რომ მათ რეგულატორული ფუნქციები გააჩნიათ.

ტ-რნმ (სატრანსპორტო რნმ). უკრედის რნმ-ის 15%-ია. გენეტიკური ინფორმაციის რეალიზაციის პროცესში თითოეული ტ-რნმ იერთებს გარკვეულ ამინმჟავას და მიაქვს იგი ცილის სინთეზის ადგილას. შესაბამისად არსებობს 20-ზე მეტი ტ-რნმ. ტ-რნმ-ის ნუკლეოტიდური ჯაჭვი საშუალოდ 80 ნუკლეოტიდისაგან შედგება. ტ-რნმ-ის ჯაჭვს ეძახებენ უბნები, რომლებშიც კომპლემენტური ნუკლეოტიდები წყალბადური ბმებითაა დაკავშირებული. ამის გამო ტ-რნმ-ის მოლეკულა მიიღებს ე.წ. "სამყურის ფოთლის" ფორმას (სურ.1.7). სურათზე განხილული მოდელი წარმოადგენს რნმ-ის მეორეულ სტრუქტურას. პირველადი სტრუქტურა კი გულისხმობს ნუკლეოტიდების თანმიმდევრობას რნმ-ის პოლინუკლეოტიდურ ჯაჭვში. რაც შეეხება ტ-რნმ-ის მესამეულ სტრუქტურას, იგი მიიღება ტ-რნმ-ის მეორეულ სტრუქტურაში

არსებული მარყუჟების ერთმანეთთან ურთიერთქმედებით, რის შედეგადაც წარმოიქმნება ლათინური "L"-ასოს ფორმის სტრუქტურა.



სურ.1.7.ტ-რნმ-ის სტრუქტურული მოდელი. ტ-რნმ შეიცავს მოდიფიცირებულ ნუკლეოტიდებს: მეთილურიდინი, ინოზინი, დიჰიდროურიდინი, ფსევდოურიდინი (ΤΨC).

რ-რნმ (რიბოსომული რნმ). რ-რნმ შეადგენს უჯრედის რნმ-ის 80%-ს. იგი ლოკალიზებულია ციტოპლაზმაში, სადაც დაკავშირებულია ცილის მოლეკულებთან და მათთან ერთად წარმოქმნის რიბოსომებს. რ-რნმ შეიცავს 3-5 ათას ნუკლეოტიდს. ქვემოთ განვიხილავთ 1-3 ცხრილში მოყვანილ რ-რნმ-ის სხვადასხვა ტიპებს:

5S-რნმ. ასოცირებულია რიბოსომების დიდ სუბერთეულთან. იგი წარმოიქმნება პრე-5S-რნმ-პირველადი ტრანსკრიპტის 3'-კიდურა ბოლოდან რამდენიმე ნუკლეოტიდის მოხლეჩით. მის მოლეკულაში იშვიათად გვხვდება მოდიფიცირებული ნუკლეოტიდები.

5,8S-რნმ. რიბოსომაში წყალბადური ბმებით უკავშირდება რ-რნმ-ს. არ არის პროკარიოტების (ბაქტერიები, ლურჯ-მწვანე წყალმცენარეები) რიბოსომებში, ქლოროპლასტებსა და მიტოქონდრიებში. დიდი რაოდენობით შეიცავს მოდიფიცირებულ ფუძეებს.

მ-რნმ(მატრიცული ანუ ინფორმაციული რნმ). მ-რნმ-ს ბირთვიდან ინფორმაცია ცილის მოლეკულაში ამინომჟავების თანმიმდევრობის შესახებ გადააქვს რიბოსომებზე. იგი შეადგენს უჯრედის რნმ-ის 3-5%-ს. მ-რნმ-ის უჯრედში

არსებობის დრო ხანმოკლეა. მ-რნმ-ის ინფორმაციული თანმიმდევრობების 5'- და 3'-კიდურა ბოლოებზე შეინიშნება არაინფორმაციული თანმიმდევრობები, რომლებსაც შესაბამისად ლიდერი და ტრეილერი ეწოდებათ. ეუკარიოტების შემთხვევაში 5'-კიდურა ბოლოზე შეინიშნება ე.წ. ქეპ-სტრუქტურა, ხოლო 3'-კიდურა ბოლოზე-poly(A).

ვირუსული რნმ. სპირალური კონფიგურაციისაა. სავარაუდოა, რომ ისინი იპოვებიან A-ფორმაში. თამბაქოს მოზაიკური ვირუსის რნმ წარმოქმნის 300 ნმ სიგრძის ერთჯაჭვიან სპირალს. ზოგიერთი ვირუსის რნმ წყვილჯაჭვიანია.

1.5.უჯრედის სტრუქტურული კომპონენტები

ცოცხალი სისტემების შესწავლისას დადგენილ იქნა, რომ ცოცხალ ბუნებაში არსებობს სიცოცხლის ორი ფორმა: უჯრედული და არაუჯრედული. სიცოცხლის არაუჯრედული ფორმაა ვირუსები, ხოლო უჯრედული-ყველა ცოცხალი ორგანიზმი. ეს უკანასკნელი შეიძლება ორ ჯგუფად დავყოთ: პროკარიოტები და ეუკარიოტები. პროკარიოტია ყველა ბაქტერია, მათ შორის ლურჯ-მწვანე წყალმცენარეებიც. პროკარიოტულ უჯრედს (ბირთვამდელს) არ გააჩნია მკვეთრად გამოხატული ბირთვი და მაღალსპეციფიკური შიდაუჯრედული ორგანელები. ეუკარიოტებია მცენარეები, ცხოველები და სოკოები. მათ აქვთ მემბრანით შემოფარგლული ბირთვი და სპეციფიკური ფუნქციების ორგანოიდები.

საერთოდ, ლიტერატურული მონაცემები საშუალებას იძლევა განვაზოგადოთ პროკარიოტებისა და ეუკარიოტების ძირითადი თავისებურებები. ითვლება, რომ პროკარიოტული უჯრედები ადრინდელი უჯრედი-წინაპრის მსგავსია. მარტივი აგებულების მიუხედავად პროკარიოტები ბიოქიმიური თვალსაზრისით საკმაო მრავალფეროვნებას ავლენენ: მაგალითად, ყველა მთავარი მეტაბოლური გზა, ენერგიის მიღების სამი ძირითადი პროცესის ჩათვლით (გლიკოლიზი, სუნთქვა, ფოტოსინთეზი) შეიძლება აღმოვაჩინოთ ბაქტერიებშიც. ეუკარიოტული უჯრედები პროკარიოტებთან შედარებით დიდია და ორგანიზაციულად რთული. ეუკარიოტული უჯრედის სტრუქტურული ორგანიზაციის მოწესრიგებული დონე მიიღწევა მისი მოცულობის **კომპარტმენტიზაციის** ("განყოფილებებად" დაყოფა) გზით. კომპარტმენტიზაციის განხორციელებაში მნიშვნელოვან როლს თამაშობს ბიოლოგიური მემბრანა, რომელიც ხელს უწყობს უჯრედში მიმდინარე პროცესებისა და ნივთიერებების სივრცით გამოცალკევებას. კომპარტმენტიზაციის პრინციპის არსებობა განაპირობებს სხვადასხვა სტრუქტურებს შორის (ბირთვი, მიტოქონდრია, ლიზოსომა და მისთ.) ფუნქციების დაყოფას ეუკარიოტულ უჯრედში. პროკარიოტული და ეუკარიოტული უჯრედების აგებულებასა და ფუნქციების თავისებურებებზე საუბარი ქვემოთ გვექნება.

1.6.ეუკარიოტული უჯრედი

ეუკარიოტული უჯრედები, რომლებიც წარმოქმნიან ცხოველებისა და მცენარეების ქსოვილებს, ძლიერ განსხვავდებიან ერთმანეთისაგან. თუმცა მათ შორის ბევრი რამ არის საერთოც. თითოეულ უჯრედში შეიძლება შევნიშნოთ სამი ძირითადი

ელემენტი:

ა.უჯრედის მემბრანა, რომელიც შემოფარგლავს უჯრედს და გამოყოფს მას გარემოსაგან (მცენარეულ უჯრედებში მემბრანა გარემოცულია უჯრედული კედლით);

ბ.უჯრედის ბირთვი, რომელშიც წარმოდგენილია უჯრედის გენეტიკური მასალა;

გ.ციტოპლაზმა, რომელიც შეიცავს წყალს, მარილებს, ორგანულ ნივთიერებებსა და ორგანოიდებს.

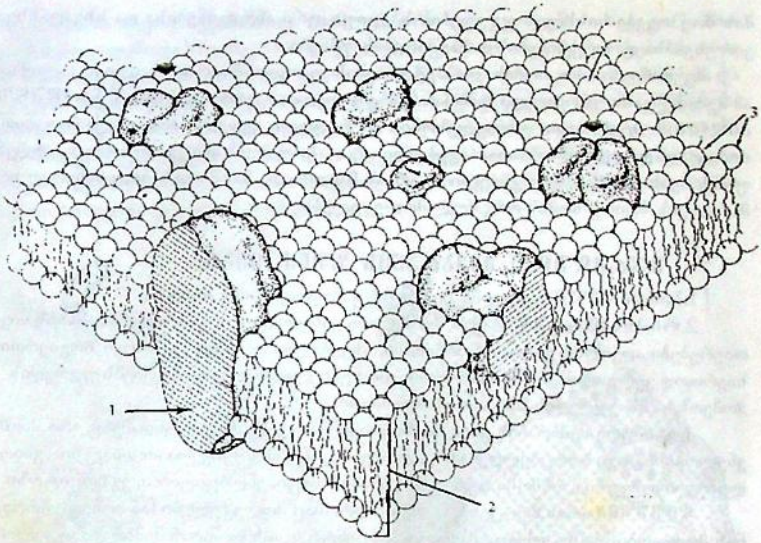
7 უჯრედული ანუ პლაზმური მემბრანა

ეუკარიოტების პლაზმური მემბრანა, პროკარიოტების მსგავსად, შედგება ცილების, ნახშირწყლებისა და ლიპიდებისაგან. იგი შემოფარგლავს სიღრუეს, რომელშიც განლაგებულია უჯრედული კომპონენტები. მათგან ზოგიერთი (მაგ. გოლჯის აპარატი) უშუალოდაა დაკავშირებული მემბრანის ზედაპირთან, ხოლო ზოგიერთი (მაგ. ენდოპლაზმური ბადე) - არა.

ყველა ცოცხალი უჯრედისათვის დამახასიათებელია ლიპიდური ბიშრე, რომლის სისქე 4-5 ნმ-ია. იგი ძირითადად ფოსფოლიპიდებისაგან შედგება. მასში ლიპიდის მოლეკულების არაპოლარული "კუდები" მიმართულია ერთმანეთისაკენ, ხოლო პოლარული "თავები" განლაგებულია ბიშრის შიდა და გარეთა ზედაპირებზე. ამჟამად აღიარებული მემბრანის აგებულების თხევად–კრისტალური მოდელის თანახმად (შემოთავაზებულ იქნა 1971 წელს ნიკოლსონისა და სინგერის მიერ) მემბრანა წარმოადგენს ლიპიდების "ზღვას", რომელშიც განლაგებულია ცილის "აისბერგები" (სურ.1.8).

მემბრანული ცილების ორი ტიპი არსებობს: **ინტეგრალური** და **პერიფერიული**. ინტეგრალური ცილები, ლიპიდების მსგავსად, ამფიპატური მოლეკულებია. მათ აქვთ ცენტრალური ჰიდროფობული ბირთვი (ურთიერთქმედებს ცხიმოვანი მჟავების ჯაჭვებთან) და წყლის გარემოსთან ურთიერთქმედი ჰიდროფილური ბოლოები. ინტეგრალური ცილები ჩართულია მემბრანაში და ხშირად განჭოლავს მას. პერიფერიული ცილები ძირითადად განლაგებულია მემბრანის შიდა და გარე ზედაპირზე. დაკავშირება ხდება ან ლიპიდის მოლეკულების "კუდებთან" ჰიდროფობური ან ამავე ლიპიდების პოლარულ "თავებთან" ჰიდროფილური ურთიერთქმედების ხარჯზე. თავისი აგებულებით პერიფერული ცილები წყალში ხსნად გლობულარულ ცილებს წააგავს. მათი მოცილება მემბრანის ზედაპირიდან შეიძლება მარილის ან დეტერგენტების სუსტი ხსნარებით.

პლაზმური მემბრანისათვის ნიშანდობლივია დენადობა, რაც ლიპიდებისა და ცილების მოლეკულების ლატერალური მოძრაობის შედეგია. ცილების ლატერალური დიფუზია დამოკიდებულია ბიშრის თხევად თვისებებზე, ხოლო ლიპიდების ძვრადობა - ცხიმოვანი მჟავების შემცველობასა და ტიპზე. მაგ. ცის-უჯერი ცხიმოვანი მჟავების შემთხვევაში ჯაჭვებს შორის ურთიერთქმედება ნაჯერ ცხიმოვან მჟავებთან შედარებით სუსტია. ამიტომ უჯერი ცხიმოვანი მჟავების შემცველი ლიპიდების დენადობა დაბალ ტემპერატურაზეც კი გაზრდილია. როდესაც ცხიმოვან მჟავებს შორის ურთიერთქმედება მაქსიმალურია, წარმოიქმნება კრისტალური ფაზა. ოპტიმალურ



სურ.1.8.პლაზმური მემბრანის სტრუქტურა ნიკოლსონისა და სინგერის მიხედვით.
1 - ინტეგრალური ცილა, 2. ლიპიდური ბიშრე, 3. ლიპიდების პოლარული "თავები"

პირობებში ცხიმოვან მჟავებს შორის უროიერთქმედების ძალა სუსტია, მაგრამ ლიპიდები მოწესრიგებულ სტრუქტურას ინარჩუნებენ. ამ დროს მემბრანა იმყოფება თხევად–კრისტალურ მდგომარეობაში. ფიზიკური მდგომარეობის ცვლილება უჯრედების უმრავლესობის მემბრანებში, ლიპიდების შედგენილობის მიხედვით, ხერხდება 15-40°C ტემპერატურულ ინტერვალში.

ბუნებრივი მემბრანების კიდევ ერთი დამახასიათებელი თვისებაა ასიმეტრიულობა: ლიპიდის მოლეკულები ბიშრის ორივე შრის შორის ასიმეტრიულადაა განაწილებული. მართალია ამ თავისებურების შექანიზმი უცნობია, მაგრამ უნდა აღინიშნოს, რომ გლიკოლიპიდები ყოველთვის ცარიელი არიან ბიშრის გარეთა ნაწილში. ამასთან, მისი ნახშირწყლოვანი უბანი მიმართულია უჯრედგარე არისაკენ.

ცხოველურ უჯრედებში უჯრედული მემბრანა გარემოცულია პოლისაქარიდების შრით. მას **გლიკოკალიქსს** უწოდებენ. აღნიშნული პოლისაქარიდები დაკავშირებულია ცილებთან (გლიკოპროტეინები) და ლიპიდებთან (გლიკოლიპიდები). გლიკოკალიქსის ფუნქციაა ცხოველური უჯრედის დაკავშირება გარემოსთან, მაგ. კერცხუჯრედი და სპერმატოზოიდი ერთმანეთის შეცნობის უჯრედის ზედაპირზე განლაგებული პოლისაქარიდების საშუალებით, რომლებიც ერთმანეთს მიესადაგება როგორც გასაღები კლიტეს. გლიკოკალიქსის კომპონენტებიდან კარგადაა ცნობილი ერითროციტების მემბრანის გლიკოპროტეიდი-გლიკოფორინი.

მას მოეპოვება სისხლის ჯგუფების სპეციფიკური ანტიგენებისა და სხვადასხვა ვირუსებისა და ლექტინების დაკავშირების უბნები.

მცენარეების, სოკოებისა და ბაქტერიების უჯრედებში არ არის გლიკოკალიქსი. ამ შემთხვევაში უჯრედული მემბრანა გარემოცულია მკვრივი გარსით-**უჯრედშლი კედლით**. მცენარეთა უმრავლესობის უჯრედული კედელი პოლისაქარიდებით, ძირითადად ცელულოზითაა აგებული. იგი ასრულებს დაცვითსა და საყრდენ ფუნქციებს. უჯრედული კედელი ატარებს წყალსა და მასში გახსნილ მინერალურ მარილებს, მცირე ზომის ორგანულ მოლეკულებს.

უჯრედშლი მემბრანის ფუნქციები:

1.ბარიერშლი-უჯრედის შიგთავსს გამოყოფს გარე არიდან.

2.ტრანსპორტშლი-აქვს შერჩევითი განვლადობის უნარი: ერთი სახის ნივთიერებები ადვილად გადიან მემბრანაში, სხვები-უფრო ძნელად, ხოლო ზოგიერთი-საერთოდ ვერ გადის. მემბრანის შერჩევითი განვლადობა განაპირობებს უჯრედის ჰომეოსტაზს-უჯრედის შიდა არის მუდმივობას.

პლაზმური მემბრანის გავლით ნივთიერების გადატანა ფუნდამენტური მნიშვნელობისაა. იგი ხორციელდება სხვადასხვა მექანიზმის მეშვეობით: დიფუზია, გაიოლებული დიფუზია, ოსმოსი, აქტიური ტრანსპორტი, ენდოციტოზი, ეგზოციტოზი.

დიფუზია არის პროცესი, რომლის დროსაც მოლეკულები (ან იონები) ბრუნის მოძრაობის საშუალებით მაღალი კონცენტრაციის უბნიდან მემბრანის გავლით გადადიან დაბალი კონცენტრაციის უბანში. პროცესი ორი სახისაა: ნეიტრალური და იონური დიფუზია. **ნეიტრალური დიფუზიის** დროს პროცესში მონაწილეობს დაუმუხტავი მოლეკულები.ამასთან, ნეიტრალური დიფუზიის სიჩქარე მოლეკულის ჰიდროფილურობის გაზრდისას მცირდება. **იონური დიფუზიის** დროს მემბრანაში გადაადგილდება იონები.

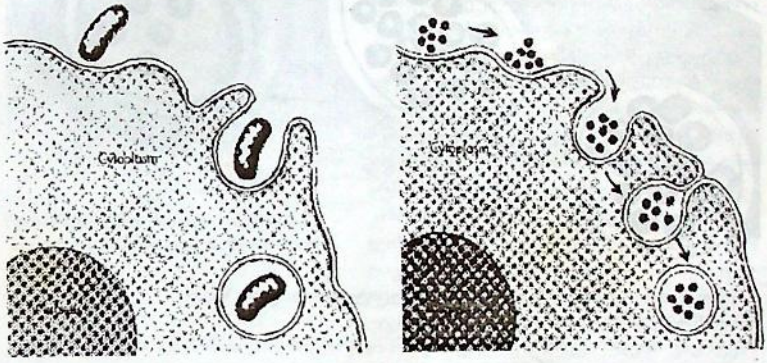
გაიოლებული დიფუზია მიეკუთვნება პროცესებს, რომლის დროსაც მაღალი კონცენტრაციის უბნიდან დაბალი კონცენტრაციის უბანში მოლეკულები გადაადგილდება მემბრანაში ლოკალიზებული ცილა-გადამტანების საშუალებით. ამ გზით ხდება მაგ.გლუკოზის ტრანსპორტირება.

ოსმოსი-შერჩევითად განვლადი მემბრანის (კერძოდ, უჯრედული მემბრანის) გავლით წყლის გადაადგილების პროცესია. წყალი, მემბრანის გავლით, განზავებული ხსნარიდან გადადის კონცენტრირებულ ხსნარში.

აქტიური ტრანსპორტი. ალნიშნული ტერმინი გულისხმობს პროცესებს, რომლის დროსაც უჯრედული მემბრანის გავლით გადაიტანება იონები (ან მოლეკულები) კონცენტრაციის გრადიენტის საწინააღმდეგოდ. პროცესი საჭიროებს ენერგიას. აქტიური ტრანსპორტის სისტემებიდან მნიშვნელოვანია **ნატრიუმი-კალიუმის ტუმბო**, რომელსაც უჯრედიდან გამოაქვს ნატრიუმი და უჯრედში შეაქვს კალიუმი. პროცესში გამოყენებულია ატფ და Na^+,K^+-ატფაზა(ფერმენტი, რომლის მოლ.მასაა 250.000 დალტონი). აქტიური ტრანსპორტის მექანიზმი უზრუნველყოფს იონთა არათანაბარ განაწილებას უჯრედის შიგნითა და გარეთ (უჯრედის შიგნით კალიუმის მაღალი და ნატრიუმის დაბალი კონცენტრაციაა, ხოლო უჯრედის გარეთ-პირიქით).

ენდოციტოზი. პროცესი ორი სახისაა: **პინოციტოზი** და **ფაგოციტოზი**.

პინოციტოზი ისეთი მექანიზმია, რომლის დროსაც უჯრედში თხევადი სახით შეიტანება ცილები და სხვა მაკრომოლეკულები. იგი მხოლოდ ეუკარიოტებისთვისაა დამახასიათებელი. პინოციტოზის დროს მემბრანის ზოგიერთი უბანი ჩაიზნიქება და უჯრედის შიგნით წარმოიქმნება სფერული ფორმის ბუშტუკები, რომლებიც მოწყდება მემბრანას. მემბრანის ჩაზნექის ადგილას ლოკალიზებული არაუჯრედული ცილები აღმოჩნდება ბუშტუკებში. ხშირად მომდევნო ეტაპზე აღნიშნული ბუშტუკები ერწყმის ლიზოსომებს, რომლის ჰიდროლიზური ფერმენტები შლის უჯრედის შიგნით მოხვედრილ ცილას (სურ.1.9-ა).



ა ბ

სურ 1.9 ფაგოციტოზისა და პინოციტოზის ზოგადი სქემა

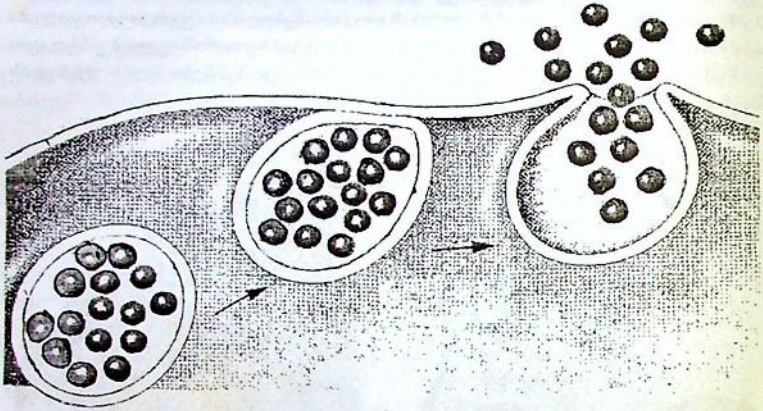
ფაგოციტოზი პინოციტოზის მსგავსი პროცესია, რომლის დროსაც მყარი ორგანული ნივთიერებები, ბაქტერიები, ვირუსები და სხვ. მოხვდება უჯრედის შიგნით და იშლება იქ ვაკუოლებში. ერთუჯრედიან ამებაში აღნიშნული პროცესი მნიშვნელოვან როლს თამაშობს საკვები ნივთიერებებით უჯრედის მომარაგებაში. მრავალუჯრედიან ორგანიზმებში ფაგოციტოზი ხორციელდება ფაგოციტოზის უნარის მქონე სპეციალურ უჯრედებით (მაგ. მაკროფაგები), რომლებიც შლიან უჯრედში მოხვედრილ უცხო ნივთიერებებს (სურ.1.9-ბ).

ენდოციტოზისაგან განსხვავებით, ექსოციტოზის დროს ნივთიერებები უჯრედიდან გარეთ გამოიტანება (სურ.1.10).

3.კონტაქტ შრი-უზრუნველყოფს უჯრედებს შორის კონტაქტებს. განარჩევენ დროებით და მუდმივ კონტაქტებს. დროებითი კონტაქტის მაგალითია ამებას გადადგილება მყარ ხელაპირზე. მისი ცრუ ფეხი აღნიშნულ ხელაპირთან წარმოქმნის დროებით კონტაქტს. მუდმივი კონტაქტის დროს მცენარეებში უჯრედები ერთმანეთს უკავშირდება პლასმოდესმების საშუალებით, რომლებიც თხელი მილისებრი არხებია. ცხოველურ უჯრედებს შორის კავშირი სხვადასხვა გზით მყარდება. მათ შორის

მნიშვნელოვანია **დესმოსომები** და **მყარი კონტაქტები.**

4.უჯრედების უმრავლესობის მემბრანები უჯრედის ზედაპირის გაზრდის მიზნით წარმოქმნიან სხვადასხვა გამონაზარდებს. მაგ. ნაწლავის ეპითელუმის უჯრედებს მოეპოვებათ მიკროხაოები, რომლებიც ზრდიან შემწოვ ზედაპირს.



სურ.1.10.ეგზოციტოზის ზოგადი სქემა

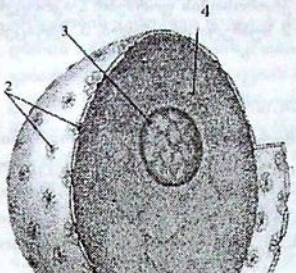
უჯრედის ბირთვი

უჯრედის ბირთვი ინფორმაციული ცენტრია. იგი ძირითადად განლაგებულია უჯრედის ცენტრში და მხოლოდ ცენტრალური ვაკუოლის შემცველ მცენარეულ უჯრედებში-უჯრედის კედელთან. ბირთვის დიამეტრი მერყეობს 0,5 მკმ-დან (სოკოებში) 500 მკმ-მდე (ზოგიერთ კვერცხუჯრედში), უფრო ხშირად იგი 5 მკმ-ის ფარგლებშია ვარირებს. ბირთვის მდგომარეობა, ფორმა და ზომები იცვლება მეტაბოლიზმის ინტენსიურობის ცვლილების პარალელურად (სურ.1.11).

ზოგიერთ ძოშწიფებულ უჯრედს ბირთვი არ გააჩნია. მაგ. ძუძუმწოვრების ერითროციტებსა და ფარულთესლოვანების საცრისებრი მილების უჯრედები. ძალიან დიდი ზომის უჯრედები ხშირად მრავალბირთვიანია (მაგ. ჩონჩხის კუნთების უჯრედები ხერხემლიანებში). ინფუზორიებს მოეპოვებათ ერთი მცირე (მიკრონუკლეუსი) და ერთი დიდი (მაკრონუკლეუსი) ზომის ბირთვი (ბირთვული დიმორფიზმი): მიკრონუკლეუსი ასრულებს გამრავლების ფუნქციას და მაკრონუკლეუსი - მეტაბოლურ ფუნქციას.

ბირთვი შედგება ნუკლეოპლაზმის, ქრომოსომების (ქრომატინი), ბირთვაკისა და ბირთვის მემბრანისაგან. **ნუკლეოპლაზმა** უჯრედის ბირთვის ძირითადი მასაა. იგი შეიცავს თხევად ნაწილს, ბირთვის მატრიქსა და სხვადასხვა ჩანართებს. თხევადი ნაწილი ციტოპლაზმის ქიმიური შედგენილობის მსგავსია. **ბირთვის მატრიქსი**

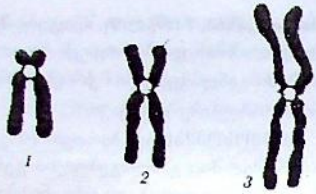
კი ძნელად შესამჩნევი სამგანზომილებიანი კარკასია, რომელიც შედგება მჟავა ცილებისაგან და განჭოლავს მთელ ნუკლეოპლაზმას და ბირთვაკს. ნუკლეოპლაზმაში განლაგებულია ქრომატინი და ერთი ან რამდენიმე ბირთვაკი.



სურ.I.II.უჯრედის ბირთვი 1. შემბრანა, 2. ფორები, 3. ბირთვაკი, 4. ქრომოსომები (ქრომატინი)

ქრომოსომები. ივი ბირთვის ორგანოიდია, რომელშიც განლაგებულია გენები. ქრომოსომები უჯრედისა და ორგანიზმის მემკვიდრული ინფორმაციის შემცველი სტრუქტურაა. ეუკარიოტებში დნმ შეფუთულია ცალკეულ ქრომოსომებში, რომელთა რიცხვი სახეობისაგან დამოკიდებულებით ვარირებს (მაგ.ადამიანის თითოეულ დიპლოიდურ უჯრედში 46 ქრომოსომაა, ჰაპლოიდურ უჯრედში–23). ტერმინი „ქრომოსომები„ შემოიტანა ვ.ვალდაიერმა (1888). უჯრედში ქრომოსომები განუწყვეტლივ არსებობს მთელი სიცოცხლის მანძილზე და კანონზომიერად იცვლება უჯრედული ციკლის სხვადასხვა სტადიაზე. ბირთვში დნმ დაკავშირებულია ჰისტონებთან. ასეთ დნმ-ცილის კომპლექსებს ქრომატინი ეწოდება. უჯრედის გაყოფის პროცესში ქრომატინი კონდენსირდება და სინათლის მიკროსკოპში კარგად შესამჩნევი ხდება. გაყოფებს შორის(ინტერფაზაში) წყნარ მდგომარეობაში ქრომოსომების განსაზღვრული უბნები და მთლიანად ქრომოსომები კომპაქტური რჩება. ეს უბნები ძლიერად იღებება და მათ **ჰეტეროქრომატინს** უწოდებენ, **ეუქრომატინისაგან** განსხვავებით, რომელიც ინტერფაზაში ფაშარი ხდება. ჰეტეროქრომატინი ტრანსკრიპციის მიმართ არააქტიურია და დნმ-ის რეპლიკაციის პროცესში ეუქრომატინისაგან განსხვავებულად იქცევა. ამ უკანასკნელის უბნები გენეტიკურად აქტიურია, მასში ლოკალიზებულია შესწავლილი გენების უმეტესობა. ქრომოსომას გააჩნია პირველადი ჭიმი ანუ **ცენტრომერი.** მისი მდებარეობის მიხედვით ქრომოსომა შეიძლება იყოს **მეტაცენტრული** (ცენტრომერი ქრომოსომის შუაში ან თითქმის შუაში მდებარეობს და ორივე მხარი თითქმის ტოლია), **სუბმეტაცენტრული** ანუ არათანაბარ მხრიანი და **აკროცენტრული** ანუ ჩხირისებური, რომელიც ქრომოსომის ბოლოშია მოთავსებული (ერთი მხარი მეტად გრძელია, მეორე კი ძალიან პატარაა) (სურ.I.12). ორი ქრომატიდი ცენტრომერით უკავშირდება ერთიმეორეს. გაყოფის პროცესში მას ემაგრება გაყოფის თითისტარას ძაფი და გადააქვს პოლუსზე.

ეუკარიოტული უჯრედის ქრომოსომათა ერთობლიობა – ქრომოსომული კომპლექტი შედგება მორფოლოგიურად ერთნაირი ჰომოლოგიური წყვილებისაგან (დიპლოიდური კომპლექტი), სასქესო უჯრედებს კი წყვილიდან თითო აქვს (ჰაპლოიდური კომპლექტი) (იხ.ცხრ 1-4). ყოველ სახეობას ევოლუციის პროცესში ჩამოუყალიბდა მათთვის დამახასიათებელი **ქარიოტიპი** ანუ ქრომოსომების რაო-



სურ. 1.12 ქრომოსომის ფორმები: 1. აკროცენტრული, 2 სუბმეტაცენტრული, 3. მეტაცენტრული.

დენობრივი (რაოდენობა, ზომა) და თვისობრივი (მორფოლოგიური: ცენტრომერის მდებარეობა, მეორეული სარტყლის არსებობა, ეუქრომატინული და ჰეტეროქრომატინული უბნები და მისთ.) ნიშნების ერთობლიობა. კარიოტიპი სახეობის არსებით კრიტერიუმს წარმოადგენს. კარიოტიპი შეიძლება გამოისახოს კარიოგრამის სახით, როდესაც ქრომოსომები განლაგებულია ზომის კლებადობის მიხედვით (იხ. სურ.3.37).

ქრომატინის სტრუქტურის ცვლილებასა და გენების ექსპრესიას შორის კავშირი ვიზუალურად შეიმჩნევა ორ შემთხვევაში: 1.ჯაგრისისებრი ტიპის ქრომოსომებისა (ქრომოსომები იმყოფება გაწელილ ფორმაში და შეიძლება

ცხრილი 1.4. ქრომოსომათა რიცხვი (დიპლოიდური კომპლექტი) ზოგიერთ ცხოველსა და მცენარეში

ორგანიზმი	2n	ორგანიზმი	2n
ადამიანი Homo sapiens	46	მალარიის პლაზმოდიუმი Pl. malariae	2
შიმპანზე Pan troglodytes	48	ნაძვი Picea	24
მაკაკა რეზუსი Macacus rhesus	42	ფიჭვი Pinus	24
ცხენი Equs caballus	64	მუხა Quercus robur	24
ღორი Sus scrofa	38	კაკალი luglans Regia	32
ძროხა Bos taurus	60	სტაფილო Daucus carota	18
თხა Capra hircus	60	კარტოფილი Solanum tuberosum	48
ძაღლი Canis familiaris	78	პომიდორი Licopersicon esculentum	24
სახლის თაგვი Mus musculus	40	რბილი ხორბალი Triticum aestivum	42
ვირთაგვა Rathus norvegicus	42	ჭვავი Secale cereale	14
ქათამი Galus domesticus	78	ქერი Hordeum Vulgare	14
მტრედი Columba livia	80	სიმინდი Zea mays	20
გომბეშო Bufo bufo	24	ხახვი Allium cepa	16
ტრიტონი Triturus vulgaris	24	ქლიავი Prunus domenstica	48
ოთახის ბუზი Musca domestica	12	ბარდა Pisum sativum	14
კობრი Cyprinus carpio	104	არვაკელი Lathirus odoratus	14

ინდივიდუალური ლოკუსების გარჩევა) და პოლიტენური ქრომოსომების დროს.

ჯაგრისისებრი ტიპის ქრომოსომებმა თავისი სახელწოდება მიიღეს ქრომოსომებიდან განსაზღვრულ მდგომარეობაში გამოშვერილი გვერდითი მარყუჟების არსებობის გამო (იგი წააგავს ჭურჭლის გასაწმენდ ჯაგრისს). ისინი წარმოადგენენ დნმ-ის აქტიურად ტრანსკრიბირებად უბანს. ჩვეულებრივმა უჯრედებმა შეიძლება გაიაროს დნმ-ის რეპლიკაციის რამდენიმე ციკლი, რომელსაც არ მოყვება უჯრედის გაყოფა (ასეთ უჯრედებს ჩვეულებრივ უჯრედებთან შედარებით რამდენიმე ათასით მეტი დნმ-ის მოლეკულა ექნებათ), მათ პოლიპლოიდურ უჯრედებს უწოდებენ. არსებობს სხვა სიტუაციებიც, როდესაც ჰომოლოგიური ქრომოსომების წყვილები კი არ შორდება ერთმანეთს, არამედ ჩამოყალიბდება ერთიანი დიდი ქრომოსომას ანუ გიგანტური ქრომოსომას სახით, მას **პოლიტენურ ქრომოსომას** უწოდებენ. პოლიტენია და პოლიპლოიდია მჭიდროდაა დაკავშირებული ერთმანეთთან, კერძოდ, ზოგიერთ უჯრედში გიგანტური ქრომოსომები შეიძლება გადავიდეს პოლიტენურიდან პოლიპლოიდურ მდგომარეობაში. პოლიტენური ქრომოსომების სტრუქტურა არსებითად ნორმალური ქრომოსომების სტრუქტურის ანალოგიურია. ჯაგრისისებრი ტიპის ქრომოსომების მსგავსად პოლიტენურ ქრომოსომებსაც აქვთ კარგად გამოხატული მარყუჟისებრი სტრუქტურა. საკარაუდოა, რომ დნმ-ის ჩალაგება მარყუჟების სახით წარმოადგენს ქრომატინის სტრუქტურული ორგანიზაციის ზოგად პრინციპს (იხ.მიტოზი).

1974 წელს დადგენილ იქნა ფაქტი, რომ ქრომატინი აგებული ყოფილა სუბერთეულებისაგან (ნუკლეოსომებისაგან), რომლებიც ერთნაირია ყველა ეუკარიოტისათვის. იგი შედგება 200-მდე ნუკლეოტიდური წყვილის შემცველი დნმ-ის თანმიმდევრობებისაგან, რომლის სტრუქტურულ ორგანიზაციას ხელს უწყობს ჰისტონები – წარმოიქმნება მძივის მსგავსი ნაწილაკი. აღმოჩნდა, რომ დნმ ძევს ამ ნაწილაკის ზედაპირზე, ხოლო ცილოვანი კომპონენტი – ნაწილაკის შიგნით.

ქრომატინის ცილის მასა დაახლ. ორჯერ მეტია დნმ-ის მასაზე. იგი ორი ტიპისაა: ჰისტონური და არაჰისტონური. ჰისტონები ქრომატინის ფუძე ცილების უმრავლესობაა, მათი რაოდენობა ქრომატინში თითქმის დნმ-ის რაოდენობის ტოლია. ცნობილია ჰისტონების 5 კლასი: H1 (ძალიან მდიდარია ლიზინით), H2A, H2B (ლიზინით ზომიერად მდიდარი ჰისტონები), H3 და H4 (არგინინით მდიდარი ჰისტონები). ჰისტონების ოთხი კლასი (H1 ჰისტონის გარდა) უშუალოდ ურთიერთქმედებს დნმ-თან და ქრომატინში წარმოქმნის სტრუქტურული ორგანიზაციის პირველი დონის ნაწილაკების სერიას. არაჰისტონური ცილები ქრომატინის ცილების საერთო მასის უმცირეს წილს შეადგენენ. მათ შორის ყველაზე მნიშვნელოვანია რნმ-პოლიმერაზა.

ინდივიდუალური ნუკლეოსომების მიღება შეიძლება ქრომატინის დაშუშავებით მიკროკოკების ნუკლეაზით, რომელიც ჯერ გამოათავისუფლებს ნაწილაკების გარკვეულ ჯგუფს, ხოლო შემდეგ ცალკეულ ნუკლეოსომებს. ეს უკანასკნელი შეიცავს ჰისტონურ ოქტამერთან დაკავშირებულ დნმ-ს. ჰისტონური ოქტამერი შედგება H2A, H2B, H3 და H4 ჰისტონის ორ-ორი ასლისაგან. მათ **ოსტრიშ ძრს** (ცულს ან მინიმალურ ნუკლეოსომას) უწოდებენ. H1 ჰისტონი თითოეულ ნუკლეოსომასთანაა დაკავშირებული. მონომერული ნუკლეოსომის დნმ-ის საშუალო სიგრძე - 180-200 ნუკლეოტიდური წყვილის ფარგლებშია (ზოგიერთ შემთხვევაში

ნუკლეოსომებში 260 ნუკლეოტიდური წყვილის სიგრძის დნმ-ია შეფუთული. მაგ. ზღვის ზღარბის სპერმატოზოიდების ნუკლეოსომები). ამასთან ჰისტონურ ოქტამერთან დაკავშირებულია 146 ნუკლეოტიდური წყვილის შემცველი დნმ-ის ფრაგმენტი.

ბირთვაკი. იგი ბირთვზე დამოკიდებული სტრუქტურაა. წარმოიქმნება ქრომოსომის რ-რნმ-ის გენების ლოკალიზაციის უბან'ზე-ბირთვაკის ორგანიზატორებზე. ადამიანის უჯრედის ბირთვაკის წარმოქმნაში მონაწილეობს რ-რნმ-ის გენების შემცველი ათობით ცალკეული ქრომოსომის მარყუჟები. ბირთვაკი კოდირებს 28S-, 16S- და 5,8 S-რ-რნმ-ებს და ციტოპლაზმიდან მიღებულ ცილებთან ერთად წარმოქმნის რიბოსომის სუბერთეულებს. რიბოსომების აწყობა მთავრდება ციტოპლაზმაში. უჯრედის გაყოფისას ბირთვაკი ითქლება, ხოლო ტელოფაზაში კვლავ წარმოიქმნება.

ბირთვის მემბრანა. შედგება პერინუკლეარული სივრცით გაყოფილი ორი შრისაგან. მემბრანის მთელ ზედაპირზე თანაბრადაა განაწილებული ბირთვის ფორები, რომელსაც გრანულარული სტრუქტურა (ცილის გრანულები სამ რიგად, თითოეულში 8 ცალი გრანულაა) აქვს. მათი საშუალებით ხდება ნივთიერებათა შესვლა ბირთვში და პირიქით.

7 ციტოპლაზმა

ციტოპლაზმა ეწოდება უჯრედის შიგთავსს ბირთვისა და ორგანოიდების გარეშე. იგი წარმოადგენს ტიქსოტროპულ გელს (რაიმე ზემოქმედების პასუხად გელიდან ხსნარში და პირიქით გადასვლის უნარი). ამ უკანასკნელს აქვს სიბლანტის ცვლილების უნარი: წყნარ მდგომარეობაში იგი ტიქსოტროპული გელია, ხოლო შენჯღრევისას გადადის ხსნარის მდგომარეობაში. ციტოპლაზმაში ხსნარის გელში და პირიქით გადასვლის ლოკალური პროცესები შეიძლება გამოიწვიოს pH-ის ან იონების კონცენტრაციის ცვლილებამ, აგრეთვე, სხვადასხვა მეტაბოლურმა რეაქციებმა. უჯრედების უმრავლესობაში ციტოპლაზმის გარეთა შრე (ექტოპლაზმა) შედარებით გელის მდგომარეობაშია, ხოლო შიდა (ენდოპლაზმა)-ტიქსოტროპულია.

ციტოპლაზმის ტიქსოტროპულ თვისებებს განაპირობებს მასში არსებული გრძელი, ძაფისმაგვარი სტრუქტურები, რომლითაც დაქსელილია ციტოპლაზმის ხსნადი ნაწილი-**ციტოზოლი**. მასში 85% წყალია და 10% ცილა. დანარჩენი კი ლიპიდები, ნახშირწყლები, ნუკლეინის მჟავები და მინერალური მარილებია. ციტოზოლში მიმდინარეობს ხოგიერთი მნიშვნელოვანი მეტაბოლური პროცესი: გლიკოლიზი, პენტოზოფოსფატური ციკლი, ცხიმოვანი მჟავების, ნუკლეოტიდებისა და ზოგიერთი ამინომჟავას სინთეზი და სხვა.

ორგანოიდები

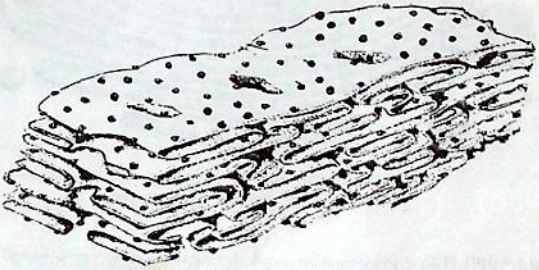
ეუკარიოტული უჯრედების ციტოპლაზმაში წარმოდგენილია სტრუქტურული კომპონენტები, რომელთა საერთო სახელია ორგანოიდები (ორგანელები).

რიბოსომები. მცირე ზომის მომრგვალო ორგანოიდები (დიამეტრი 20 ნმ). მაიი რიცხვი უჯრედში დიდია (მაგ.ბაქტერიულ უჯრედში 10 ათასამდე რიბოსომაა, ხოლო ეუკარიოტულ უჯრედში მათი რიცხვი რამდენჯერმე მეტია). ეუკარიოტული უჯრე-

დის რიბოსომა (სედიმენტაციის კოეფიციენტი 80S) პროკარიოტულ რიბოსომასთან შედარებით (სედიმენტაციის კოეფიციენტი 70S) უფრო დიდი ზომისაა. რიბოსომა შედგება ორი, დიდი (60S) და მცირე (40S) სუბერთეულისაგან. მის შემადგენლობაში შედის ცილა- რნმ-ის კომპლექსი. რიბოსომებში მიმდინარეობს ცილის სინთეზი.

რიბოსომები ასოცირებულია ენდოპლაზმურ ბადესთან, თუმცა ციტოპლაზმაში არსებობს თავისუფალი რიბოსომებიც, რომლებიც არაა შემბრანასთან ასოცირებული. ასეთი რიბოსომები ჩვეულებრივ წამოცმულია მ-რნმ-ის ძაფზე, ჩამოგავს მძივებს და მას პოლისომებს ანუ პოლირიბოსომებს უწოდებენ.

ენდოპლაზმური ბადე. ციტოპლაზმაში შეიმჩნევა სხვადასხვა ფორმისა და სიდიდის არხები, რომელთა კედლები შემბრანებია. ეს არხები წარმოადგენს ენდოპლაზმურ ბადეს, რომელიც ყველა ორგანოიდთან ერთად შეადგენს უჯრედის ერთიან ფუნქციურ-სტრუქტურულ სისტემას (სურ.1.13). იგი უზრუნველყოფს ნივთიერებისა და ენერგიის ცვლას, აგრეთვე, უჯრედის შიგნით ნივთიერებათა გადაადგილებას.

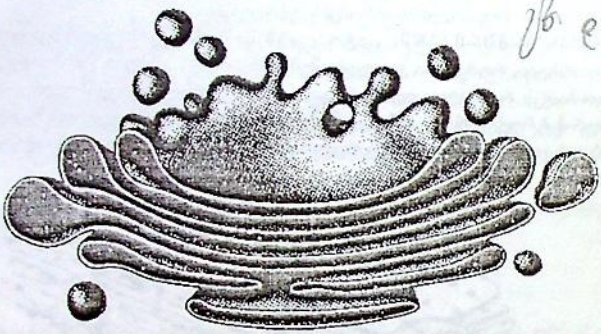


სურ.1.13.ენდოპლაზმური ბადე

ასხვავებენ **გლუვ და გრანულარულ ენდოპლაზმურ ბადეს.** გლუვი ენდოპლაზმური ბადე არის შიდაუჯრედული გლუვი მემბრანების სისტემა. აღნიშნულ ორგანოიდში ლოკალიზებულია მრავალი ფერმენტი (კერძოდ, ოქსიდაზები), რომელიც აკატალიზებს ტოქსიკური ნივთიერებების გაუვნებელყოფას. გლუვი ენდოპლაზმური ბადის მემბრანებზე მიმდინარეობს ლიპიდების სინთეზი და გლიკოგენის ჰიდროლიზური გახლეჩა. გრანულარული ენდოპლაზმური ბადე იგივე შიდაუჯრედული მემბრანების სისტემაა, რომელსაც მასთან ასოცირებული მრავალრიცხოვანი რიბოსომების გამო გრანულარული იერსახე აქვს. გრანულარული ენდოპლაზმური ბადის ნაწილი უშუალო კონტაქტშია ბირთვის მემბრანასთან. ამ ტიპის ენდოპლაზმური ბადის მემბრანაზე სინთეზდება ცილები, რომლებიც ან სეკრეტირდება არაუჯრედულ არეში, ან ჩაერთვება პლაზმურ მემბრანაში.

გოლჯის კომპლექსი. შეიცავს თითქმის ყველა ეუკარიოტული უჯრედი. წარმოადგენს დისკოს მაგვარი მემბრანებისა და მათთან დაკავშირებული მრავალრიცხოვანი ბუშტუკების გროვებს (სურ.1.14). აღნიშნული ორგანოიდი ჩვეულებრივ განლაგებულია გრანულარული ენდოპლაზმური ბადესა და პლაზმურ მემბრანას შორის. მასში ხდება ცილების პოსტრანსლაციური მოდიფიცირება (მაგ. ცილებთან

პოლისაქარიდების მიერთება), რომელიც საჭიროა გლიკოკალიქსის განახლების მი'ხნით. ენდოპლა'ზმური ბადის არხებით გოლჯის აპარატში გადაიტანება სინთე'ზებული ნივთიერებები, რომლებიც ნაწილობრივ გარდაიქმნება და შეიფუთება მემბრანული ბუშტუკების სახით. შემდგომში ისინი მარაგის სახით არიან უჯრედში ან მონაწილეობენ უჯრედის ნივთიერებათა ცვლაში, ან სეკრეტირდებიან უჯრედის მიერ. უნდა აღინიშნოს, რომ გოლჯის აპარატში ხდება ლი'ხოსომების ფორმირება.



სურ.1.14.გოლჯის კომპლექსი

დიქტიოსომა მცენარეებშია აღმოჩენილი და იმავე ფუნქციებს ასრულებს, რაც გოლჯის აპარატი ცხოველებში. სავარაუდოა, რომ იგი მონაწილეობს უჯრედული კედლის კომპონენტების სინთე'ზსა და სეკრეციაში.

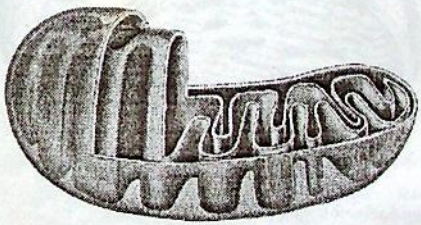
ლიზოსომები ჰიდროლი'ზური ფერმენტების შემცველი ორგანოიდებია. მათი დიამეტრი 0,2-0,5 მკმ-ის ფარგლებში ვარირებს. ლი'ხოსომური ფერმენტები სინთე'ზდება გრანულარულ ენდოპლა'ზმურ ბადე'ზე და ტრანსპორტირდება გოლჯის აპარატში. ამ უკანასკნელისაგან ხდება ფერმენტების შემცველი ბუშტუკების (ლი'ხოსომების) გამოყოფა. ლი'ხოსომებისათვის დამახასიათებელია ჰეტერო- და აუტოფაგიის მოვლენები. ჰეტეროფაგიის დროს უჯრედის მიერ ენდოციტო'ზის გ'ზით შთანთქმული უცხო ნივთიერებები გადამუშავდება ფაგოლი'ხოსომებში, ხოლო აუტოფაგიის დროს-უჯრედის სტრუქტურები გადამუშავდება აუტოლი'ხოსომებში. ცნობილია, აგრეთვე, აუტოლი'ხის პროცესიც, ამ შემთხვევაში დაბერების ან სხვადასხვა პათოლოგიების შედეგად ლი'ხოსომების მემბრანა ი'შლება, რაც უჯრედის ლი'ზის იწვევს.

ლი'ხოსომები ორი სახისაა: პირველადი და მეორადი. პირველადი ლი'ხოსომები არ არიან აქტიურნი, რადგან არ შეიცავენ გადასამუშავებელ სუბსტრატს. მეორადი ლი'ხოსომები ჰიდროლი'ზური აქტიურობის მქონე ორგანოიდებია. ისინი წარმოიქმნება პირველადი ლი'ხოსომებიდან სხვადასხვა გ'ზით (მაგ. ფაგოლი'ხოსომები).

პეროქსისომები. ლიზოსომების მსგავს სტრუქტურებს მიეკუთვნება პეროქსისომები და გლიოქსისომები. პეროქსისომები შეიცავს წყალბადის ზეჟანგის წარმომქმნელ ოქსიდაზებს, წყალბადის ზეჟანგი კი კატალაზას საშუალებით იშლება. აღნიშნული რეაქციები გამოიყენება რიგი მეტაბოლური პროცესების დროს. მაგ. ფოთლებში ფოტოსუნთქვისას და ღვიძლში და თირკმელებში შარდის მჟავისა და სხვა პურინების გახლეჩისას.

გლიოქსისომები სპეციალიზებული პეროქსისომებია. ისინი შლიან ცხიმოვან მჟავებს აცეტილ-C_6A-მდე. ეს უკანასკნელი გამოიყენება გლიოქსილის მჟავას ციკლში სუქცინატის სინთეზისათვის, რომელიც მომდევნო ეტაპზე გამოიყენება ნახშირწყლების სინთეზში (გლუკონეოგენეზი).

მიტოქონდრიები. ორგანოიდი, რომლის დიამეტრია 1 მკმ და სიგრძე-7 მკმ. მას აქვს ორმაგი მემბრანა. გარეთა მემბრანა გლუვია, ხოლო შიდა მემბრანაში შეიმჩნევა ნაკეცები, რომლებსაც კრისტებს უწოდებენ. მიტოქონდრიის შიგნით არის ნახევრადთხევადი მატრიქსი (სურ. 1.15). მასში რიბოსომები და მიტოქონდრიული დნმ-ია (წრიული ორჯაჭვიანი მოლეკულა, რომელიც კოდირებს ზოგიერთ მიტოქონდრიულ ცილას). შიდა მემბრანაზე ლოკალიზებულია ატფ-ის სინთეზზე პასუხისმგებელი ფერმენტი (ე.წ. F1 კომპლექსი). გარე და შიდა მემბრანებს შორის სივრცეში არის ფერმენტები, სუბსტრატები და ზოგიერთი მეტაბოლიტები. მიტოქონდრიების რაოდენობა სხვადასხვა უჯრედში სხვადასხვაა. მაგ. ღვიძლის ერთ უჯრედში მათი რიცხვი 2.500-ს აღწევს. მიტოქონდრიების სიცოცხლის ხანგრძლივობა რამდენიმე დღეა. მათი ფუნქციაა უჯრედის მომარაგება ენერგიით.

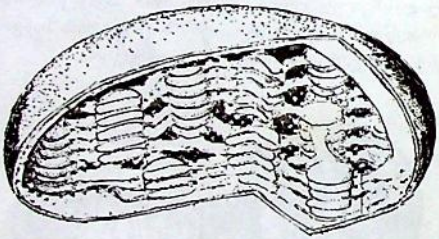


სურ.1.15.მიტოქონდრია

პლასტიდები. ემბრიონული უჯრედები შეიცავენ **პროპლასტიდებს.** ქსოვილის ტიპზე დამოკიდებულებით ისინი განვითარდებიან ან მწვანე **ქლოროპლასტებად** ან პლასტიდების ფილოგენეტიკურად უფრო გვიან ფორმებად: ყვითელ ან წითელ პიგმენტის შემცველ **ქრომოპლასტებად** ან უფრო **ლეიკოპლასტებად.** ერთი ტიპის პლასტიდებს შეუძლიათ მეორე ტიპის პლასტიდებში გადასვლა (პროცესი

შეუქცევადია). მათ შორის ყველაზე მარტივია ლეიკოპლასტები. მათი ფუნქციაა სამარაგო ნივთიერებების, უპირატესად სახამებლის, დაგროვება. სინათლეზე ისინი შეიძლება ქლოროპლასტებად გარდაიქმნეს. შემოდგომით ქლოროპლასტები გადადის ქრომოპლასტებში (კაროტინოიდების შემცველი პლასტიდები). პლასტიდების გამრავლება დაკავშირებულია დნმ-ის რეპლიკაციასთან და მომდევნო ეტაპზე პროპლასტების ან ქლოროპლასტების ორად გაყოფასთან. მიტოქონდრიების მსგავსად პლასტიდებშიც დნმ-ის მოლეკულა წრიულია და აქვს ინტრონების შემცველი გენები, რომლებიც თავისუფალია ჰისტონებისა და არაჰისტონური ქრომოსომული ცილებისაგან.

ქლოროპლასტები. მწვანე მცენარეებისათვის დამახასიათებელი ორგანოიდია. ზომების მიხედვით (დიამეტრი 5-10 მკმ) ერითროციტების ტოლია და ფორმის მიხედვით ორმხრივ ამოზნექილი ლინზის მსგავსია. იგი შეიცავს ორი ტიპის მემბრანებს: გარეთა ორმაგი და შიდა-ნაკეცოვანი, რომელიც ორგანიზებულია დისკების გროვების სახით (სურ.1.16). ამ დისკებს თილაკოიდებს უწოდებენ. დისკისმაგვარი თილაკოიდებიდან ყალიბდება გრანები (მონეტების დასტების მსგავსი სტრუქტურები, რომლებიც თილაკოიდების საშუალებით წარმოქმნიან ერთიან სისტემას). თილაკოიდების შემბრანები ტიპური აგებულებისაა, მაგრამ სხვა ორგანოიდებისაგან განსხვავებით შეიცავს ქლოროფილსა და კაროტინოიდების პიგმენტებს. ქლო-



სურ.1.16.ქლოროპლასტი

როპლასტებში მიმდინარეობს ფოტოსინთეზი.

ცენტრიოლები(ცენტრიოლები) (ცხოველებრივ ორია). განლაგებულია ბირთვის მახლობლად და აგებულია ცილა ტუბულინის პოლიმერიზაციის შედეგად წარმოქმნილი ცილინდრული ელემენტებით (მიკრომილაკებით). ცენტრიოლებს აღენიშნებათ გაორმაგების უნარი. პროცესი მიმდინარეობს ბირთვის გაყოფის წინ. ცენტრიოლების ორი ახალი წყვილი მიეძართება უჯრედის პოლუსებისაკენ და მიკრომილაკების საშუალებით წარმოქმნის გაყოფის თითოსტარას. ამ უკანასკნელის აწყობისას ცენტრიოლები ასრულებენ ორგანიზაციის ცენტრის როლს. ისინი თითქმის ყველა ცხოველურ და უმდაბლესი მცენარეების უჯრედებში გვხვდება. უმაღლესი მცენარეების უჯრედებში ცენტრიოლები არ არის, თუმცა ბირთვის გაყოფისას მათში თითოსტარა წარმოიქმნება.

ვაკუოლები. წარმოადგენს უპირატესად წყლის შემცველ დიდ ზომის ბუშტუ-

კებს. ცხოველური უჯრედები შეიცავს შედარებით მცირე ზომის ვაკუოლებს: ფაგოციტოზურს, საჭმლის მომნელებელს, კუმშვადს. მცენარეულ უჯრედში ჩვეულებრივ ერთი დიდი ვაკუოლია. მის მემბრანას **ტონოპლასტს** უწოდებენ, ხოლო ვაკუოლის შემავსებელ სითხეს-უჯრედულ წვენს. ვაკუოლის ფუნქცია მრავალმხრივია. იგი უზრუნველყოფს მცენარეებში ტურგორს და ქვავილების, ნაყოფის, კვირტებისა და ფოთლების შეფერილობას. ხოგჯერ იგი შეიცავს ჰიდროლიზურ ფერმენტებს და მოქმედებს როგორც ლიზოსომა. ვაკუოლში გროვდება როგორც უჯრედის ცხოველქმედების ნარჩენები, ასევე სამარაგო საკვები ნივთიერებები (მაგ.საქაროზა).

ჩანართები უჯრედის ორგანოიდებიდან განსხვავებით წარმოადგენენ დროებით ელემენტებს, რომლებიც წარმოიქმნება უჯრედის ცხოველქმედების ამა თუ იმ ეტაპზე. ჩანართები შეიძლება იყოს სამარაგო საკვები ნივთიერებების ან უჯრედის ფუნქციირების შედეგად გამოყოფილი ნარჩენების სახით. ჩანართებს მიეკუთვნება, აგრეთვე, სპეციალურ უჯრედებში ლოკალიზებული პიგმენტები (ჰემოგლობინი, კაროტინი, მელანინი და სხვ.).

ციტოპლაზმა

ციტოპლაზმა ყველა ეუკარიოტული უჯრედის აუცილებელი კომპონენტია. იგი წარმოადგენს უჯრედის ციტოპლაზმის სხვადასხვა მიმართულებით გადამკვეთი ფილამენტების რთულ ბადეს (სურ.1.17). მათ შორის არჩევენ მიკროფილამენტებს, მიკრომილაკებსა და შუალედურ ფილამენტებს. ისინი უზრუნველყოფენ შიდაუჯრედულ ან უჯრედების ძვრადობასა და უჯრედის ფორმის შენარჩუნებას.

მიკროფილამენტები. ისინი ძირითადად აქტინითა და მიოზინითაა წარმოდგენილი. **აქტინი** სუბმოლეკულური აგრეგატია, რომლის მონომერს გლობულარული ცილა- G -აქტინი წარმოადგენს (მოლ.მასა 43.000 დალტონია). აქტინის გლობულარულ ფორმასთან ერთად უჯრედებში გვხვდება მისი ფიბრილარული ფორმაც- F -აქტინი, რომელიც G-აქტინის პოლიმერიზაციით მიიღება.

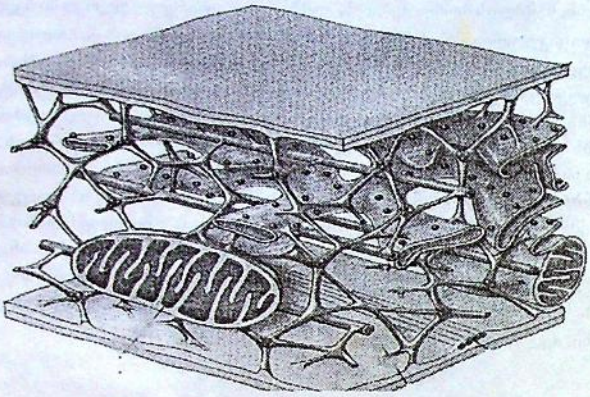
მიოზინი სტრუქტურით მკვეთრად განსხვავდება აქტინისაგან. მისი დიმერი (მოლ.მასა 500.000) შედგება ორი მძიმე (თითოეული დაახლოებით 200.000 დალტონი) და ორი მუბუქი (17.000 და 20.000 დალტონი) ჯაჭვისაგან. მოლეკულაში ადვილად განირჩევა ორი უბანი: "თავისა" და "კუდის". მიოზინის "თავი" გლობულაა, რომელსაც მოეპოვება აქტინთან დაკავშირებისა და ATP-აზური აქტიურობის ცენტრები. მოლეკულის "კუდი" კი წარმოადგენს ორი α—სპირალისაგან წარმოქმნილ სუპერსპირალს.

ცნობილია მიოზინის სამი ბიოლოგიური ფუნქცია:

1.იონური ძალისა და pH-ის ფიზიოლოგიური მნიშვნელობების დროს მიოზინი წარმოქმნის ბოჭკოებს. მიოფიბრილების მსხვილი ძაფები ძირითადად შედგება მიოზინის მოლეკულებისაგან;

2.მიოზინი ფერმენტია. 1939 წელს ვ.ენგელგარდტისა და მ.ლიუბიმოვას მიერ დადგენილ იქნა, რომ მიოზინისათვის ნიშანდობლივია ATP-აზური აქტიურობა;

3.მიოზინი უკავშირდება აქტინის პოლიმერულ ფორმას-წვრილი ძაფების ძირი-



სურ.1.17.ციტოჩონჩხი

თად კომპონენტს. ეს ურთიერთქმედება გადამწყვეტია ერთმანეთის მიმართ მსხვილი და წვრილი ძაფების სრიალის უზრუნველმყოფელი ძალების გენერაციაში.

აქტინისა და მიოზინის ურთიერთქმედების შედეგად წარმოიქმნება აქტინმიოზინის კომპლექსი. ამ უკანასკნელში ძლიერდება მიოზინის ATP-აზური აქტიურობა. მიოფიბრილიაკუმშება მიოზინის მიერ ATP-ის ჰიდროლიზის ენერგიის ხარჯზე. მიოზინის ATP-აზური აქტიურობა კი რეგულირდება Ca^{+2}-ის იონების მეშვეობით. ამრიგად, კუნთებში, ისევე როგორც სხვა უჯრედებში კალციუმს ენიჭება მედიატორული როლი, რადგან იგი ამყარებს რთულ რეგულატორულ კავშირს კუნთამდე მისულ მოტონეირონულ იმპულსებსა და მიოფიბრილების ფუნქციურ აქტიურობას შორის. აქტინ-მიოზინის კომპლექსი კალციუმის მიმართ მგრძნობელობას იძენს სპეციალური ცილოვანი მოლეკულების **ტროპომიოზინისა** და **ტროპონინის** მეშვეობით. Ca^{+2}-ის დაბალი კონცენტრაციისას ეს ცილები ხელს უშლის აქტინისა და მიოზინის ურთიერთქმედებას. კალციუმის იონების კონცენტრაციის გაზრდისას იცვლება ტროპონინის კონფორმაცია, რაც გადაეცემა ტროპომიოზინს. ეს უკანასკნელი იცვლის თავის მდგომარეობას აქტინის ძაფზე ისე, რომ აქტინზე ლოკალიზებული მიოზინის დაკავშირების ცენტრები მიოზინის თავებისათვის მისაწვდომი ხდება.

მიკრომილაკები. ციტოჩონჩხის კომპონენტებია, რომლებიც ხელს უწყობს უჯრედის ფორმის შენარჩუნებას და მონაწილეობს მის გაყოფაში. მიკრომილაკები 28 ნმ დიამეტრის ცილინდრული ფორმის მოლეკულური აგრეგატებია. მათი სიგრძე, წესისამებრ, არ აღემატება რამდენიმე მიკრონს, თუმცა რიგ სპეციალიზებულ უჯრედებში (მაგ. მოტონეირონები) შეიძლება რამდენიმე სანტიმეტრსაც კი აღწევდეს. მიკრომილაკის რნმ სისქის კედელი შედგება პროტოფიბრილებისაგან, რომელთა გლობულარული სუბერთეულია ცილა **ტუბულინი.**

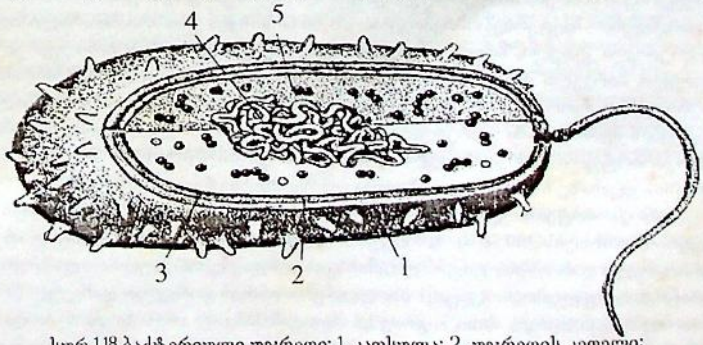
ტუბულინი დიმერია, რომელიც დეტერგენტით დამუშავების შემდეგ იშლება α– და β–ტუბულინებად. მიკრომილაკების ფორმირებისას ტუბულინის მოლეკულები ერთიანდება წრფივ პროტოფილამენტებად, სადაც ერთი დიმერის β– ტუბულინი უკავშირდება მეორე დიმერის α–ტუბულინს. მიკრომილაკი წარმოიქმნება 13 ურთიერთპარალელურად განლაგებულ ასეთი პროტოფილამენტებისაგან.

მიკრომილაკებთან ასოცირებულ ცილებს მინორულ ცილებს უწოდებენ. ისინი მნიშვნელოვან როლს ასრულებენ მიკრომილაკების აწყობისა და დაშლის, აგრეთვე, მათ ერთმანეთთან და უჯრედის სხვა კომპონენტებთან დაკავშირების პროცესში.

შუალედური ფილამენტები. მიკროფილამენტებისა და მიკრომილაკების მსგავსად ეუკარიოტულ უჯრედებში გვხვდება, აგრეთვე, შუალედური ფილამენტების სისტემაც, რომლის დიამეტრი 10 ნმ-ის ფარგლებშია. შუალედურ ფილამენტებს ციტოჩონჩხის სხვა კომპონენტების მსგავსი სივრცითი ორგანიზაცია აღენიშნება, მაგრამ მათგან განსხვავებით მისთვის ნიშანდობლივია პოლიმორფიზმი. შუალედურ ფილამენტებში მონომერებია პოლიპეპტიდის α-სპირალური ძაფი. სამი ერთმანეთზე გადახლართული α-სპირალი იძლევა სუპერსპირალს, რომლის მთელ სიგრძეზე გვხვდება გარკვეული პერიოდულობით განლაგებული არასპირალური უბნები. სავარაუდოა, რომ ამ დომენებიდან შუალედური ფილამენტები უკავშირდება უჯრედის სხვა სტრუქტურებს. ნიშანდობლივია, რომ ცალკეული ტიპის უჯრედი შეიცავს მხოლოდ ერთი სახის შუალედურ ფილამენტებს. ნეირონებში მათ ნეიროფილამენტებს უწოდებენ, ეპითელურ უჯრედებში–კერატინულ ფილამენტებს, კუნთოვან უჯრედებში–სკელეტინს და სხვ.

10 · 1.7.პროკარიოტული უჯრედი

პროკარიოტული უჯრედი ცოცხალი სისტემის უმარტივესი ტიპია. მათში ქრომოსომასა და ციტოპლაზმას შორის არის უშუალო კონტაქტი, რომელიც პროკარიოტული უჯრედების განმსაზღვრელი თავისებურებაა. ეუკარიოტული უჯრედებისაგან პროკარიოტები განსხვავდებიან, აგრეთვე, იმით, რომ მათ არ გააჩნიათ მიტო-



სურ.1.18.ბაქტერიული უჯრედი: 1. კაფსულა; 2. უჯრედის კედელი; 3. მეებრანა; 4. ნუკლეოიდი; 5.რიბოსომა.

ქონდრიები, ენდოპლაზმური ბადე, ქლოროპლასტები, ლიზოსომები და გოლჯის აპარატი (სურ.1.18).

პროკარიოტულ უჯრედში მხოლოდ ერთი ქრომოსომაა. იგი წარმოადგენს წყვილჯაჭვიანი დნმ-ის წრიულ ჭიმს, რომლის სიგრძე დაახლოებით 1 მმ-ია და უჯრედში იმყოფება მტკიცედ დახვეული კომპაქტური სპირალური სტრუქტურის სახით. პროკარიოტებში არის, აგრეთვე, არაქრომოსომული დნმ-შემცველი ელემენტები-პლაზმიდები, რომლებიც წრიული სტრუქტურებია და მხოლოდ რამდენიმე გენს შეიცავენ.

უჯრედული ანუ პლაზმური მემბრანა იგი წარმოადგენს ბარიერს, რომელიც ყველა პრო- და ეუკარიოტულ უჯრედის შიგთავსს გამოყოფს გარემოდან. პროკარიოტული უჯრედების პლაზმური მემბრანა ეუჯარიოტულისაგან-იმით განსხვავდება, რომ-ინტეგრალური ცილების სახით შეიცავს ელექტრონების გადამტანებსა და სუნთქვითი ჯაჭვის ფერმენტებს, ამასთან წარმოქმნის სხვადასხვა სახის ჩანაბურცვებს. ზოგიერთი მათგანი ახორციელებს სუნთქვას, სხვები– ფოტოსინთეზსა და სუნთქვას.

პროკარიოტული უჯრედის ციტოპლაზმის მხარეს ჩანაბურცვს **მეზოსომას** უწოდებენ. იგი შეიცავს მემბრანულ სისტემას, რომელიც ციტოპლაზმის მხრიდან უკავშირდება დნმ-ს. მეზოსომები უჯრედში ორ სხვადასხვა ფუნქციას ასრულებენ: წარმოადგენენ დნმ-ის მიმაგრების ადგილს (განსაკუთრებით რეპლიკაციის პროცესში) და მნიშვნელოვან როლს ასრულებენ სეკრეციის პროცესებში.

პლაზმური მემბრანის გარეთა მხარეს განლაგებულია **უჯრედული კედელი**, რომელიც მთელ უჯრედს ფარავს. იგი უჯრედს ანიჭებს სიმტკიცეს, გარკვეულ ფორმას და იცავს მას დაზიანებისაგან ოსმოსური და მექანიკური ზემოქმედების დროს. ბაქტერიებში უჯრედული კედელი წარმოადგენს ლიპიდების, პოლისაქარიდებისა და ცილების მტკიცე ბადეს. სტრუქტურული თვალსაზრისით იგი ძირითადად ორი ტიპისაა: გრამდადებითი და გრამუარყოფითი (დანიელი მეცნიერის გრამის მიერ 1884 წელს შემუშაებული მეთოდი-ბაქტერიების შეღებვის შემდეგ გრამდადებითი ბაქტერიები მიიღებს იისფერ შეფერვას, ხოლო გრამუარყოფითები - არა). ამასთან, გრამდადებით ბაქტერიებს მოეპოვებათ 20-80 ნმ სისქის ერთშრიანი არალიპიდური უჯრედული კედელი, ხოლო გრამუარყოფით ბაქტერიებს-ორშრიანი უჯრედული კედელი. პირველი შრე-ძალიან თხელი (1 ნმ სისქის) არალიპიდური მემბრანა გარემოცულია მეორე, 7,5 ნმ სისქის, ლიპიდური მემბრანით. ლურჯ-მწვანე წყალმცენარეების შემთხვევაში უჯრედული კედელი აგებულია მხოლოდ ცელულოზისაგან. პროკარიოტული უჯრედის ყველაზე გარეთა შრეა **შლეატინის შრე** (გლიკოკალიქსი). ყველაზე ხშირად იგი გვხვდება ლურჯ-მწვანე წყალმცენარეებში.

პროკარიოტებში უჯრედული ბირთვის ეკვივალენტია **ნუკლეოიდი**. მისი დიამეტრი E.coli-თვის 200 ნმ-ია. მას საკუთარი მემბრანა არ გააჩნია, მკვეთრად არ არის გამიჯნული დანარჩენი ციტოპლაზმისაგან და დაკავშირებულია პლაზმურ მემბრანასთან. ნუკლეოიდი შეიცავს მხოლოდ ერთ დნმ-ის გორგლად დახვეულ წრიულ სპირალს (E.coli-თვის მისი სიგრძე 1,2 მმ-ია), მასში არ არის ჰისტონები და სხვა ქრომოსომული ცილები. მათ მაგიერ გვხვდება ისეთი ფუძე ბუნების მოლეკულები, როგორიცაა პოლიამინები.

ზოგიერთი პროკარიოტული უჯრედის ზედაპირიდან გამოშვერილია 1-20 მკმ

სიგრძის წანაზარდი, რომელსაც შოლტი ეწოდება. ცილოვანი ბუნების (შეიცავს ცილა ფლაგელინს) ამ ორგანოიდის საშუალებით უჯრედი გადაადგილდება თხევად არეში.

რიბოსომები. ეუკარიოტულ უჯრედებთან შედარებით მცირე ზომისაა (სედიმენტაციის კოეფიციენტი 70S). მათში მიმდინარეობს ცილის ბიოსინთეზი. ბაქტერიების სწრაფი გამრავლების უნართან დაკავშირებით რიბოსომები შეადგენს უჯრედის მასის ~40%-ს. რიბოსომაში შეიძლება გამოვყოთ დიდი და მცირე სუბერთეულები. დიდ სუბერთეულში 32 სხვადასხვა ცილა დაკავშირებულია რ-რნმ-ის დიდ (23S) და მცირე (5S)მოლეკულებთან. მცირე სუბერთეულში 21 სხვადასხვა ცილა უკავშირდება საშუალო ზომის (16S) რ-რნმ-ის მოლეკულას.

პროკარიოტულ უჯრედებში ენერგიის ორი ძირითადი წყარო არსებობს: 1-ატფ, რომელიც წარმოიქმნება გლიკოლიზის ხარჯზე; 2-ატფ, რომელიც წარმოიქმნება პლაზმურ მემბრანაზე განლაგებული ელექტრონების გადამტანი ჯაჭვის საშუალებით. გარდა აღნიშნულისა, სპეციალიზებული პროკარიოტული უჯრედებისათვის გვაქვს ენერგიის მესამე წყაროც: ფოტოსინთეზის უნარის მქონე უჯრედები (ლურჯ-მწვანე წყალმცენარეები და ფოტოსინთეზის უნარის მქონე ზოგიერთი ბაქტერია) მეტაბოლური პროცესებისათვის საჭირო ენერგიას მიიღებენ მზის ენერგიის შთანთქმით.

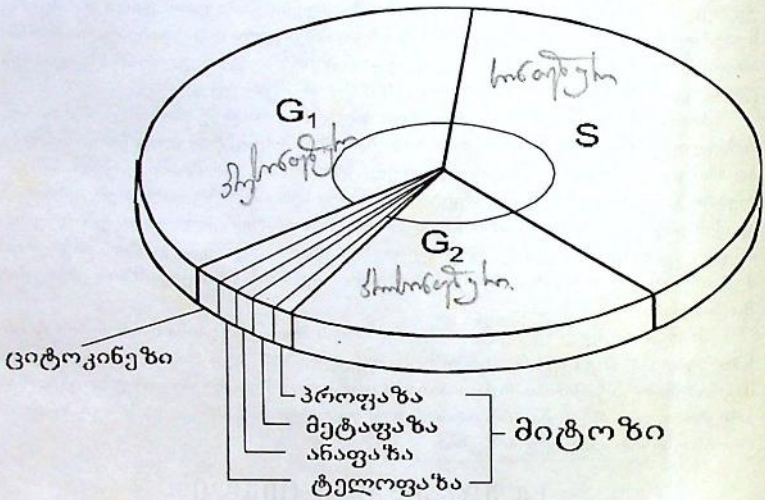
პროკარიოტულ უჯრედებში მცირე ზომის მოლეკულებისა და იონების ტრანსპორტირება იმავე მექანიზმებით ხორციელდება, რაც ეუკარიოტულ უჯრედებში. მაგრამ ენდოციტოზი მათში ძალიან იშვიათია, თუმცა შესაძლებელია ეგზოციტოზის არსებობა. რაც შეეხება პროკარიოტული უჯრედების გამრავლებას, იგი მიმდინარეობს უსქესო გამრავლების გზით.

1.8. უჯრედული ციკლი

უჯრედში მიმდინარე ხდომილობათა და პროცესთა ერთობლიობას, რომელიც მიმდინარეობს ერთი გაყოფიდან მომდევნო გაყოფამდე, **უჯრედული ციკლი** ეწოდება. უჯრედული ციკლის ხანგრძლივობა სხვადასხვა ტიპის უჯრედებისათვის განსხვავებულია (იხ.ცხრ. 1.5). აღნიშნულ ციკლში გამოყოფენ ოთხ ძირითად პერიოდს: პრესინთეზურს (G_1), სინთეზურს (S), პოსტსინთეზურს (G_2) და მიტოზს (M). დადგენილია, რომ ცალკეული პერიოდის ხანგრძლივობა როგორც სხვადასხვა ორგანიზმის ერთი და იგივე, ისე ერთი ორგანიზმის სხვადასხვა ორგანოების უჯრედებში მნიშვნელოვნად ვარირებს. ორგანიზმის ერთი და იგივე უჯრედებისათვის იგი შედარებით მუდმივია (სურ.1.19).

უჯრედული ციკლის სტადიათა თანმიმდევრობა უნივერსალურია. რადგან უჯრედში მიმდინარე პროცესთა თანმიმდევრობა (უჯრედის გაყოფა, რნმ-ისა და სპეციფიკური ცილების ბიოსინთეზი) გენეტიკური მექანიზმებით კონტროლირდება და რეგულირდება, ხდება ერთი სტადიის თანმიმდევრული შეცვლა მეორეთი. ყოველ სტადიას თავისი განსაკუთრებული დანიშნულება აქვს. G_1 სტადია უჯრედის გაყოფის დასრულებისთანავე იწყება. სტადიათა შორის იგი ყველაზე ხანგრძლივია. ინტენსიურად მიმდინარეობს ბიოსინთეზის პროცესები და უჯრედის ზრდა. ხორციელდება მიტოქონდრიებისა და პლასტიდების (მცენარეებში) წარმოქმნა, ხდება ლიზოსომების,

რიბოსომების, გოლჯის კომპლექსისა და სხვა ორგანოიდების ჩამოყალიბება. უჯრედი ემზადება მომდევნო სტადიაში გადასასვლელად. S სტადიაში მიმდინარეობს დნმ-ის რეპლიკაცია, ჰისტონების სინთეზი, ქრომოსომების გაორმაგება. G_2 სტადიაში გროვდება მიტოზისათვის საჭირო ენერგია (ბიოსინთეზის პროცესები მიმდინარეობს ინტენსიურად, მიტოქონდრიები და ქლოროპლასტები იყოფიან), სინთეზდება



სურ.1.19.უჯრედული ციკლი

მიტოზური აპარატისათვის საჭირო სპეციფიკური ცილები და ჩამოყალიბდება თითისტარი.

თუ ჰაპლოიდური (n) უჯრედის ქრომოსომულ კომპლექტში არსებული დნმ-ის რაოდენობას C-თი აღვნიშნავთ, მაშინ უჯრედის გაყოფის შემდგომ დიპლოიდურ შვილეულ უჯრედში დნმ-ის შემცველობა 2C-ს შეადგენს. პრესინთეზურ პერიოდში მისი რაოდენობა უცვლელია. S პერიოდში დნმ-ის რაოდენობა მატულობს და ამ სტადიის დასასრულისათვის უჯრედს გააჩნია ქრომოსომათა 2n რაოდენობა, რომელიც დნმ-ის 4C რაოდენობას შეიცავს. თითოეული ქრომოსომა გაორმაგებულია და ორი ქრომატიდისაგან შედგება. პოსტსინთეზურ პერიოდში უჯრედს ქრომოსომათა (2n) და დნმ-ის (4C) იგივე რაოდენობა გააჩნია. მიტოზის შემდეგ კი თითოეული შვილეული უჯრედი 2n ქრომოსომასა და 2C დნმ-ს შეიცავს.

უჯრედული ციკლის პირველ სამ პერიოდს (G_1, S, G_2) აერთიანებენ ერთიანი სახელწოდებით – **ინტერფაზა.** როდესაც უჯრედები სპეციალიზდებიან და დიფერენცირდებიან, მათში პრესინთეზური პერიოდი ხანგრძლივდება. ამა თუ იმ სპეციფიკური დანიშნულების უჯრედს მისთვის დამახასიათებელი G_1 სტადია უყალიბდება. ზოგიერთი ვიწროდსპეციალიზებული უჯრედი (მაგ.ნეირონი) მთელი სი-

ცხრილი 1.5. უჯრედის ციკლის ხანგრძლივობა სხვადასხვა ობიექტებში (ინგე-ვენტოშოვი, 1989)

ორგანიზმი	უჯრედული ციკლი (ხანგრძლივობა, სთ)
სიმინდი - Zea mays	12-29
ცერცვი - Vicia faba	26-44
ხახვი - Allium cepa	13-23
შვრია - Avenna strigosa	10
კიჭკიჭა - Crepis capilaris	11-12
ბარდა - Pisum sativum	10-20
თაგვი - Mus musculus ეპითელი სპერმატოგონიები	 11-38 26-30
ქათამი - Gallus domensticus ეპითელი	 10-16
საფუარი - Sacch. Cerevisiae	2
ბაქტერია - E.coli	0,3
ადამიანი - Homo sapiens ემბრიონული ფიბრობლასტები ლეიკოციტები კანი	 18,5 18 28

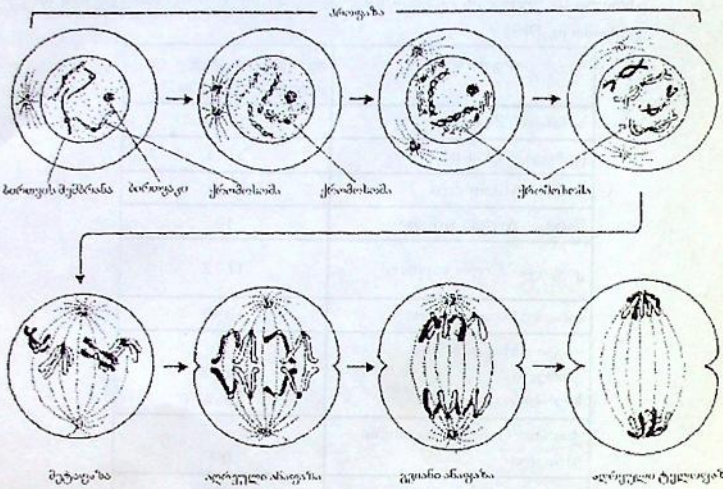
შენიშვნა: მცენარეებში მოტანილია ფესვის მერისტემის უჯრედების მონაცემები

ციკლის მანძილზე G_1 სტადიაში იმყოფება.

მიტოზი

მიტოზი უჯრედის სასიცოცხლო ციკლის ხანმოკლე პერიოდია, მისი ხანგრძლივობა მთელი ციკლის 1/7-1/10 ნაწილს შეადგენს. მიტოზი აღმოაჩინეს XIX საუკუნის 70-იან წლებში. მისი არსი გამოიკვლიეს და დაწერილებით შეისწავლეს ე.სტრასბურგერმა (მცენარეულ უჯრედში) და ვ.ფლემინგმა (ცხოველურ უჯრედში). სახელწოდება „მიტოზი„ ეკუთვნის ვ.ფლემინგს.

მიტოზში გამოყოფენ ოთხ ფაზას (სურ.1.20). მიტოზის პირველი ფაზაა – პრო-ფაზა. ამ დროს თითოეული ქრომოსომა სპირალურად ეხვევა, მოკლდება და კარგად შესამჩნევი ხდება. იგი ორი სიგრძივი ნახევრის – ქრომატიდებისაგან შედგება. ისინი შეერთებული არიან ცენტრიოლებთან. პროფაზის ბოლოს ქრომოსომები მნიშვნელოვნადაა კონდენსირებული (კომპაქტიზაცია). ბირთვაკი თანდათანობით მცირდება და ქრება. ირღვევა და ქრება ბირთვის გარსი. ციტოპლაზმაში წარმოიქმნება ე.წ. მიტოზური აპარატი: ცენტრიოლები მიგრირებენ და განეწყობიან უჯრედის მოპირისპირე პოლუსებთან. მათ შორის წარმოიქმნება კუმშვადი ძაფები (ტუბულინისაგან შემ-



სურ.I.20.მიტოზი

დგარი მიკრომილაკები), რომლებიც ე.წ.ვაყოფის თითისტარს ქმნიან.

მეტაფაზა. ქრომოსომები ლაგდებიან ეკვატორულ სიბრტყეში და წარმოქმნიან ე.წ. **მეტაფაზურ ფირფიტას.** ცენტრომერები ემაგრებიან გაყოფის თითისტარას ძაფებს. მეტაფაზური ფირფიტა ორგანიზმის მნიშვნელოვანი მახასიათებელია. მეტაფაზაში შესწავლილი ქრომოსომათა რაოდენობითა და ფორმით ადგენენ სახეობის **კარიოტიპს.** მკვეთრადაა გამოხატული ქრომოსომათა წყვილადობა. წყვილი ანუ ჰომოლოგიური ქრომოსომები მორფოლოგიურად (ზომა, ფორმა, ცენტრომერას მდებარეობა და მისთ.) ერთნაირია. ჰომოლოგიური წყვილიდან ზიგოტაში ერთი მშობლისგან, მეორე კი მამისგან გადაეცემა.

ანაფაზა. იგი მიტოზის ყველაზე ხანმოკლე ფაზაა. ცენტრომერებს შორის კავშირი ირღვევა. ქრომატიდები ერთიმეორეს სცილდება და დამოუკიდებელ ქრომოსომად იქცევა. ქრომოსომები ერთდროულად (სინქრონულად) სცილდებიან უჯრედის ეკვატორულ სიბრტყეს და თითისტარის ძაფების მეშვეობით მიემართებიან ზოპირისპირე პოლუსებისაკენ. უჯრედის თითოეულ ნაბევარში (პოლუსებზე) აღმოჩნდება ზუსტად იდენტური შემკვიდრული მასალა, რომელიც წარმოდგენილია ქრომოსომათა დიპლოიდური კომპლექტით (2n).

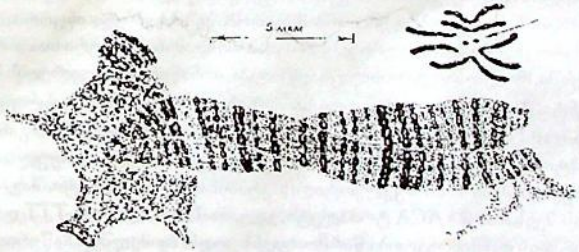
ტელოფაზა. იგი მიტოზის ბოლო ფაზაა. თითოეულ პოლუსზე ჩამოყალიბდება ინტერფაზული ბირთვი, მთავრდება ქრომოსომების დეკონდენსირება, ფორმირდება ბირთვის მემბრანა, წარმოიქმნება ბირთვაკი, ქრება მიტოზური აპარატი. ცხოველურ უჯრედში ეკვატორთან ხდება შევიწროება, რომელიც ღრმავდება და ორი შვილეული უჯრედი ყალიბდება. მცენარეულ უჯრედში კი ფრაგმოპლასტის (უჯრედის კედლის) ფორმირება მიმდინარეობს, რაც უჯრედის მთელი სხეულის გაყოფას განაპირობებს.

მიტო'ხის გ'ხით დედისეულ უჯრედში არსებული ქრომოსომები ზუსტად და თანაბრად ნაწილდება შვილეულ უჯრედებში. ვინაიდან ცალკეული შვილეული უჯრედი ზუსტად ისეთსავე ქრომოსომებს იღებს, როგორიც დედისეულ უჯრედს ჰქონდა, ბუნებრივია, თითოეული მათგანი იდენტურ გენეტიკურ მასალას შეიცავს. ამრიგად, მიტო'ზი უ'ზრუნველჰყოფს შვილეულ უჯრედებში მემკვიდრული ინფორმაციის ზუსტ გადაცემას. სხვადასხვა ორგანიზმის უჯრედებში მიტო'ხის ხანგრძლივობა სხვადასხვაა (საშუალოდ 30-60 წთ ცხოველურ უჯრედში და 2-3 სთ მცენარეულ უჯრედში). განსხვავებულია მიტო'ხის ცალკეული ფა'ზების ხანგრძლივობაც (ხანგრძლივია პროფა'ზა და ტელოფა'ზა, ხანმოკლე – მეტაფა'ზა და ანაფა'ზა).

ენდომიტო'ზი. ზოგჯერ ბირთვში ხდება ქრომოსომათა რაოდენობის გაორმაგება, ბირთვის გარსი არ იშლება, ბირთვაკი არ ქრება, არ ყალიბდება მიტო'ზური აპარატი. ამ მოვლენას ენდომიტო'ზი ეწოდება. ენდომიტო'ზის შედეგად პოლიპლოიდური უჯრედი ყალიბდება. მას ვხვდებით სხვადასხვა ქსოვილის ინტენსიურად ფუნქცირებად (მაგ. ღვიძლი) უჯრედებში.

ენდომიტო'ხის უკიდურესი გამოვლინებაა პოლიტენია, რომლის დროსაც ქრომოსომის მრავალჯერადი (1000 და მეტი) რეპლიკაცია მიმდინარეობს. ქრომოსომები ერთიმეორეს არ შორდება და მაქსიმალურადაა დესპირალიზებული. იმავე ორგანიზმის სხვა უჯრედების ანალოგიურ ინტერფა'ზულ ქრომოსომასთან შედარებით 100-200-ჯერ გრძელი და 1000-ჯერ სქელია. ამიტომაც მათ გიგანტურ ანუ პოლიტენურ ქრომოსომებს უწოდებენ (სურ.1.21). სპირალიზებული უბნები (ქრომომერები) გიგანტურ ქრომოსომას განივი ზოლის სახით (დისკო) გასდევს. დისკოებისა და დისკოთა შორის უბნების განლაგება ცალკეული ჰომოლოგიური წყვილისათვის სპეციფიკურია. პოლიტენური ქრომოსომები შემდგომში აღარ რედუპლიცირდება. ჰომოლოგიური ქრომოსომები კონუგირებულია და მათი დისკოები და დისკოთაშორისი უბნები ზუსტად თანხვდება ერთიმეორეს.

პოლიტენური ქრომოსომები პირველად აღწერა ე.ბალბიანმა (1881) ხირონომუსის



სურ.1.21.გიგანტური პოლიტენური ქრომოსომა (IV ქრომოსომა) დროზოფილას სანერწყვე ჯირკვლიდან. შესაბამისი მიკროქრომოსომა ისრითაა ნაჩვენები

(Chironemus) ლარვის სანერწყვე ჯირკვლის უჯრედებში. ამჟამად იგი აღმოჩენილია ორფრთიანთა მატლების სანერწყვე ჯირკვლის, ნაწლავის ეპითელის, მალპიგის მილის უჯრედებში. გიგანტური ქრომოსომები გააჩნია ზოგიერთი მცენარის საჩანასახე პარკის უჯრედებს — სინერგიდებს.

1.9. ნივთიერებათა ცვლა და ენერგიის გარდაქმნა უჯრედში

თერმოდინამიკის თვალსაზრისით უჯრედი წარმოადგენს ღია სისტემას, რაც ნიშნავს იმას, რომ მიმდინარეობს გარემოსთან ნივთიერებისა და ენერგიის მიმოცვლა. უჯრედში მიმდინარე ნივთიერებათა ცვლის პროცესები შეიძლება ორ ჯგუფად დაიყოს: 1. ასიმილაცია ანუ პლასტიკური ცვლა (ანაბოლიზმი), რომლის დროსაც მარტივი ნივთიერებებიდან სინთეზდება ორგანული ნივთიერებები; 2. დისიმილაცია ანუ ენერგეტიკული ცვლა (კატაბოლიზმი), რომლის დროსაც რთული ორგანული ნივთიერებები იშლება უფრო მარტივ ნივთიერებებად და გამოიყოფა ენერგია, ნივთიერებათა ცვლის საბოლოო პროდუქტები.

1.10. ასიმილაცია ანუ პლასტიკური ცვლა (ანაბოლიზმი)

ცოცხალ უჯრედში მიმდინარე პლასტიკური ცვლის რეაქციები მრავალფეროვანია. მათ შორის მნიშვნელოვანია ცილის ბიოსინთეზისა და ფოტოსინთეზის პროცესები.

ცილის ბიოსინთეზი

ცილის ბიოსინთეზი რთული პროცესია და მოიცავს ტრანსკრიპციისა და ტრანსლაციის სტადიებს. ცილის ბიოსინთეზის პირველ სტადიაზე, რომელსაც ტრანსკრიპცია ეწოდება, ფერმენტი რნმ-პოლიმერაზა აკატალიზებს ი-რნმ-ის სინთეზს მატრიცაზე, რომლის როლს შესაბამისი გენი ასრულებს. ცილის ბიოსინთეზის მეორე სტადიაზე ი-რნმ-ის ნუკლეოტიდურ თანმიმდევრობაში არსებული ინფორმაციის საფუძველზე სინთეზდება პეპტიდური ჯაჭვი შესაბამისი ამინომჟავური თანმიმდევრობით. ამ პროცესში, რომელსაც ტრანსლაცია ეწოდება, მონაწილეობს უჯრედის სხვადასხვა კომპონენტი, მათ შორის პეპტიდური სინთეზის ცენტრები და რეგულატორები.

გენეტიკური კოდი. დნმ-ში ნუკლეოტიდების თანმიმდევრობა განსაზღვრავს პოლიპეპტიდურ ჯაჭვში ამინომჟავათა თანმიმდევრობას. თითოეულ ამინომჟავას დნმ-ში შეესაბამება სამი ნუკლეოტიდის კომბინაცია-ტრიპლეტი. მაგ. ამინომჟავა ცისტეინს შეესაბამება ACA ტრიპლეტი, ვალინს-CAA, ლეიცინს-TTT და ა.შ. დნმ-ში ტრიპლეტების თანმიმდევრობა წარმოადგენს კოდს, რომელშიც ჩაწერილია ინფორმაცია ცილის სტრუქტურის შესახებ. 1966 წლისათვის ფ.კრიკის, ს.ბერნერის, მ. ნირენბერგისა და ჰ.ქორანას ექსპერიმენტების წყალობით დადგენილ იქნა გენეტიკური კოდის შემდეგი თვისებები:

1. ამინომჟავები კოდირდება სამი ფუძით;

2. ეუკარიოტულ გენოში გენები წარმოქმნიან ტრანსლირებად და არატრან-

სლირებად თანმიმდევრობათა მოზაიკას. ბაქტერიებში პოლიპეპტიდური ჯაჭვები კოდირდება კოდონების უწყვეტი თანმიმდევრობებით. წყვეტილი გენების კოდირებად თანმიმდევრობებს **ექსონები** ეწოდება, ხოლო ჩართულ, არაკოდირებად თანმიმდევრობებს-**ინტრონები** (ინგლ. expressed regions და intervening sequence);

3.ფუძეების თანმიმდევრობა აითვლება ზუსტად განსაზღვრული წერტილიდან (**ათვლის ჩარჩო**). მაგრამ დნმ-ის რაოდენობის ლიმიტირების შემთხვევებში ორგანიზმში მოქმედებს გენების ურთიერთგადაფარვის მექანიზმი;

4.კოდი გადაგვარებულია, ე.ი. ამინომჟავების უმრავლესობა დეტერმინდება ერთზე მეტი ტრიპლეტით. კოდი რომ არ იყოს გადაგვარებული, მაშინ 20 კოდონით მოხდებოდა ამინომჟავების კოდირება, ხოლო დანარჩენი 44-ით - ჯაჭვის ტერმინაცია; სავარაუდოა, რომ კოდის გადაგვარების ბიოლოგიური არსი მუტაციების დამლუპველი მოქმედების მინიმუმამდე შემცირებაში მდგომარეობს.

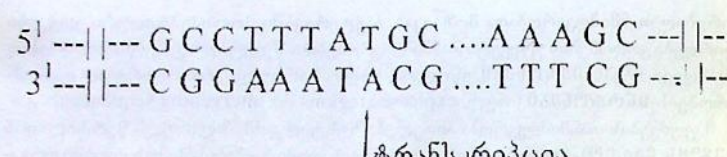
5.გენეტიკური კოდი უნივერსალურია (ვირუსებში, ბაქტერიებსა და უმაღლეს ორგანიზმებში გენეტიკური კოდი ერთნაირია).

ტრანსკრიპცია

ტრანსკრიპცია იწყება ფერმენტ რნმ-პოლიმერაზას დაკავშირებით სასიგნალო ნუკლეოტიდურ თანმიმდევრობასთან, რომელსაც პრომოტორი ეწოდება. დნმ-ის კომპლემენტური მ-რნმ-ის ერთჯაჭვიანი მოლეკულის თანმიმდევრობის აგებისას უცვლელია დნმ-რნმ-ის ნუკლეოტიდური წყვილების კომპლემენტურობის წესი (სურ.1.22). ახლადსინთეზებული მ-რნმ-ი დნმ-ის მატრიცული ჯაჭვის ანტიპარალელურია. მაშასადამე, მ-რნმ სინთეზდება 5'-კიდურა პოლოდან 3'-კიდურა პოლოსკენ.

ტრანსკრიპცია სამ ეტაპად მიმდინარეობს: **ინიციაცია, ელონგაცია** და **ტერმინაცია**. პირველ და პოლო ეტაპებზე რნმ-პოლიმერაზა უკავშირდება დნმ-ს, ხოლო ამ ორ სტადიას შორის მიმდინარეობს რნმ-ის სინთეზი (ტრანსკრიპცია). ახლადსინთეზებული რნმ წარმოადგენს დისკრეტულ მოლეკულას, რომელსაც აქვს 5'- და 3'-კიდურა პოლოები, ე.ი. ინიციაცია და ტერმინაცია უნდა მოხდეს დნმ-ის განსაზღვრულ საიტებში. ინიციაციაში იგულისხმება რნმ-პოლიმერაზასა და დნმ-ს შორის კომპლექსის წარმოქმნა პრომოტორის უბანში, რომელიც მდებარეობს ტრანსკრიპციის საწყისი წერტილის მახლობლად. ადგილს, რომლიდანაც იწყება პირველი ნუკლეოტიდის ჩართვა, სასტარტო წერტილს უწოდებენ. ტრანსკრიპციის ინიციაციის პროცესი ელონგაციის პროცესთან შედარებით გაცილებით რთულია. ტერმინაცია ნიშნავს ისეთი წერტილის შეცნობას, რომლის შემდეგაც რნმ-ის ჯაჭვი არ იზრდება. დნმ-ის შესაბამის უბანს **ტერმინატორს** უწოდებენ.

მ-რნმ-ის სინთეზში მონაწილეობს ფერმენტი-**რნმ-პოლიმერაზა** აღმოჩენილ იქნა 1960 წელს ჯ.ჰერვიცისა და ს.ვისის მიერ. ტრანსკრიპციის ინიციაციისა და ტერმინაციის პროცესებში მონაწილეობს რნმ-პოლიმერაზას სუბერთეულები. განვიხილოთ E.coli-ის რნმ-პოლიმერაზას სტრუქტურა. სრული ფერმენტი ანუ **პოლოფერმენტი** მოლეკულური მასაა 480.000. იგი შედგება შემდეგი სუბერთეულებისაგან: ორი α (თითოეული 40.000 დალტონი), ერთი β (155.000 დალტონი), ერთი β' (160.000 დალ-



სურ.1.22.დნმ-ის მატრიცული ჯაჭვის ტრანსკრიპციის სქემა.

ტონი) და ერთი σ (85.000 დალტონი). ჰოლოფერმენტი ($\alpha_2\beta\beta'\sigma$) იყოფა ორ კომპონენტად: **მინიმალური ფერმენტი** ($\alpha_2\beta\beta'$) და **სიგმა-ფაქტორი** (σ-პოლიპეპტიდი). ტრანსკრიპციის ინიციაცია ხდება მხოლოდ ჰოლოფერმენტით, ელონგაცია კი ხორციელდება კომპლექსიდან გამოთავისუფლებული მინიმალური ფერმენტით. სიგმა-ფაქტორი უზრუნველყოფს რნმ-პოლიმერაზას სტაბილურ დაკავშირებას მხოლოდ პრომოტორებთან და არა დნმ-ის სხვა უბნებთან.

ტრანსლაცია

მ-რნმ-მატრიცაზე ცილის სინთეზის პროცესს **ტრანსლაცია** ეწოდება (translation), რადგან ნუკლეინის მჟავების ოთხ ასოიან ენაზე ჩაწერილი ინფორმაცია გადაითარგმნება 20 ასოს (ამინომჟავას) შემცველ ცილის ენაზე. ტრანსლაცია ხორციელდება ას'ზე მეტი მაკრომოლეკულის შეთანხმებული მოქმედების შედეგად.

ტრანსლაციის პროცესი სამი ეტაპისაგან შედგება: **ინიციაცია, ელონგაცია** და **ტერმინაცია**. პროცესი იწყება იმით, რომ რიბოსომის ორი სუბერთეულიდან მ-რნმ-ს უკავშირდება უმცირესი. ამ პროცესში მონაწილეობს რნმ-ის სპეციფიკური თანმიმდევრობა, რომელსაც **რიბოსომის დამაკავშირებელი საიტი** ეწოდება. ეს უკანასკნელი ჩვეულებრივ გარკვეულ მანძილზეა განლაგებული, კერძოდ, AUG კოდონის "ზევით", რომლიდანაც ყოველთვის იწყება ინფორმაციის ათვლა. ტერმინში "ზევით" იგულისხმება, რომ ეს საიტი განლაგებულია AUG კოდონიდან (ტრიპლეტებს რნმ-ის მოლეკულაში კოდონებს უწოდებენ) 5¹-კიდურა ბოლოს მიმართულებით. კოდონების თანმიმდევრობა, რომლებიც განსაზღვრავს ცილაში ამინომჟავების თანმიმდევრობას, იწყება AUG კოდონიდან და მიდის 5¹→3¹ მიმართულებით.

ამის შემდეგ მ-რნმ წარმოქმნის კომპლექსს მოლიან რიბოსომასთან. რიბოსომაში არსებული სხვა ფუნქციური ჯგუფებიდან (ელონგაციის ფაქტორების დაკავშირების, პეპტიდილტრანსფერაზას და სხვა) ცილის ბიოსინთეზის პროცესში მნიშვნელოვან როლს თამაშობს ორი: A- (აქცეპტორული) და P- (დონორული) უბნები. A-უბანს უკავშირდება ამინოაცილ-ტ-რნმ, თუმცა ამ უკანასკნელის შეღწევამდე უბანში შედის ტრიპლეტი, რომელიც პოლიპეპტიდურ ჯაჭვში ჩასართველ ამინომჟავას კოდირებს. P-უბანი დაკავებულია პეპტიდილ-ტ-რნმ-ის კომპლექსით, რომელიც წარმოადგენს მოცემულ მომენტში სინთეზებული პოლიპეპტიდური ჯაჭვის შემცველ ტ-რნმ-ს (I

სტადია). პეპტიდური ბმის წარმოქმნა შემდეგნაირად მიმდინარეობს: P-უბანში ლოკალიზებული პეპტიდილ-ტ-რნმ-ის პოლიპეპტიდური კომპონენტი გადაიტანება A-უბანში არსებული ამინოაცილ-ტ-რნმ-ში ბმულ ამინომჟავაზე (ტრანსპეპტიდაციური რეაქცია). შედეგად რიბოსომაში იქმნება შემდეგი სურათი: P-უბანში იმყოფება უკვე დეაცილირებული (ამინომჟავას გარეშე) ტ-რნმ, ხოლო ერთი ამინომჟავით დაგრძელებული პეპტიდილ-ტ-რნმ A-უბნიდან გადადის P-უბანში (III სტადია). A-უბანში ადგილს იკავებს მომდევნო კოდონი, რის შედეგად რიბოსომაში შედის მომდევნო ამინოაცილ-ტ-რნმ. პოლიპეპტიდური ჯაჭვის გაგრძელების ეს პროცესი მიმდინარეობს ტერმინირებად კოდონამდე. ასეთი კოდონებია: უაა, უაგ ან უგა. ამ უკანასკნელის მიღწევისას პოლიპეპტიდური ჯაჭვი გამოეყოფა რიბოსომას, ხოლო მისი კომპლექსი მ-რნმ-თან იშლება. უნდა აღინიშნოს, რომ პოლიპეპტიდური ჯაჭვის აგება იწყება ამინომჟავას N-კიდურა ბოლოს მქონე ნაშთიდან და მთავრდება C-კიდურა ბოლოს მქონე ნაშთით. პროცესი შეიძლება მრავალჯერ განმეორდეს.

15 ფოტოსინთეზი

ფოტოსინთეზი ბიოსფეროში მიმდინარე ერთადერთი პროცესია, რომელიც გარედან — მზის ენერგიის ხარჯზე ახდენს ბიოსფეროს ენერგიის გადიდებას, რის შედეგადაც უზრუნველყოფს როგორც მცენარეების, ისე ყველა ჰეტეროტროფული ორგანიზმების, მათ შორის ადამიანის, არსებობას. ყოველწლიურად ფოტოსინთეზის მეშვეობით სინთეზდება 150 მილიარდი ტონა ორგანული ნივთიერება და 200 მილიარდი ტონა ჟანგბადი. ფოტოსინთეზის მეშვეობით უზრუნველყოფილია ნივთიერებათა სტაბილური წრებრუნვა და ატმოსფეროს შემადგენლობის შენარჩუნება, რომელიც აუცილებელია სიცოცხლისათვის დედამიწაზე. ფოტოსინთეზის მექანიზმის წარმოქმნამ განაპირობა პირველადი ატმოსფეროს (არ შეიცავდა ჟანგბადს) შეცვლა. დროთა განმავლობაში ჩამოყალიბდა ოზონის ეკრანი და ენერგეტიკული ცვლის ჟანგბადიანი ეტაპი. ფოტოსინთეზი აბრკოლებს ნახშირბადის (IV) ოქსიდის კონცენტრაციის გაზრდას ატმოსფეროში, აგრეთვე, დედამიწის გადახურებას.

პროკარიოტებში ფოტოსინთეზი ძრავალშრიან მემბრანებში ხორციელდება, ხოლო ეუკარიოტებში-ქლოროპლასტებში. ორივე სისტემა შეიცავს ქლოროფილს. საერთოდ ფოტოსინთეზში მონაწილეობს პიგმენტების სამი კლასი: ქლოროფილები, კაროტინოიდები და ფიკობილინები. ისინი ორგანიზებულია ორ პიგმენტურ სისტემად: I და II **ფოტოსისტემებად**, რომლებიც სხვადასხვა ფუნქციებს ასრულებს და სივრცეში ერთმანეთისაგან დაშორებულია. თუმცა დაშორება არაა აბსოლუტური და სინათლის ენერგიის ნაწილი შეიძლება II ფოტოსისტემიდან გადაეცეს I ფოტოსისტემას (მაგრამ არა პირიქით). ამასთან, I ფოტოსისტემას მოეპოვება შთანთქმის უნარის მქონე სარეაქციო ცენტრი სპექტრის 700 ნმ უბანში, ხოლო II ფოტოსისტემას-680 ნმ უბანში.

ფოტოსინთეზის პროცესი ორ სტადიას მოიცავს. პირველ სტადიაზე მიიღება წყალბადი, რაც მცენარეებში სინათლის ენერგიის ხარჯზე წყლის დაშლის შედეგია.

ამ პროცესს **ფოტოლიზი** ეწოდება (გამოიყოფა ჟანგბადი, როგორც პროცესის თანაპროდუქტი). მეორე სტადიაზე წარმოიქმნება ნახშირწყლები.

სინათლის ფაზა. იგი ფოტოსინთეზის პირველი სტადიაა. ჯერ კიდევ 1958 წელს არონისა და მისი თანამშრომლების მიერ ნაჩვენები იქნა, რომ სინათლის ფაზა მოიცავს შთანთქმული სინათლის ენერგიის ხარჯზე ატფ-ის სინთეზისა და აღდგენითი ეკვივალენტების (NADPH + H^+) გენერაციის პროცესებს:

$$H_2O + h\nu + NADP^+ + 2ADP + 2P_i \rightarrow NADPH+H^+ + 1/2O_2 + 2ATP$$

ამ დროს II ფოტოსისტემის აგზნებული ელექტრონები გადაეცემა I ფოტოსისტემას, სადაც აღადგენს $NADP^+$-ს. ამასთან, II ფოტოსისტემიდან I ფოტოსისტემაზე ელექტრონების ტრანსპორტის პროცესში აგზნებული ელექტრონების ყოველი წყვილი მონაწილეობს ადფ-ის ერთი მოლეკულის ფოსფორილებაში.

სიბნელის ფაზა. ფოტოსინთეზის სიბნელის ფაზაში მიმდინარეობს ნახშირბადის ფიქსაციის პროცესი. ციკლში ნახშირბადის (IV) ოქსიდი ჩაერთვება ამ უკანასკნელის ურთიერთქმედებით რიბულოზო-1,5-დიფოსფატთან. წარმოქმნილი გლიცერალდეჰიდ-3-ფოსფატი განიცდის შემდგომ გარდაქმნებს კალვინის ციკლის მიხედვით. ამის შედეგად წარმოიქმნება გლუკოზა.

სიბნელის ფაზაში კალვინის ციკლი (ფოტოსინთეზის C_3-გზა) არ არის ნახშირბადის ფიქსაციის ერთადერთი გზა. ზოგიერთ მცენარეში ფიქსაციის პირველი პროდუქტია არა 3-ფოსფოგლიცერატის სამნახშირბადიანი მოლეკულა, არამედ ოთხნახშირბადიანი ოქსალოაცეტატი (C_4-გზა - იგი კრებსის ციკლშიც წარმოიქმნება). ფოტოსინთეზის C_4-გზას პეტჩი-სლეკის ციკლსაც უწოდებენ. ენერგეტიკულად ფოტოსინთეზის C_3-გზა (CO_2-ის ფიქსაციაზე იხარჯება 3 მოლეკულა ატფ) უფრო მომგებიანია C_4-გზასთან (CO_2-ის ფიქსაციაზე იხარჯება 5 მოლეკულა ატფ) შედარებით.

ქემოსინთეზი 15

ქემოსინთეზი პროცესია, რომლის დროსაც ქიმიური რეაქციების ენერგიის ხარჯზე ნახშირბადის (IV) ოქსიდისა და წყლიდან წარმოიქმნება ორგანული ნივთიერებები.

ქემოსინთეზის უნარის მქონე ორგანიზმები ძირითადად ბაქტერიებია. ისინი ქემოსინთეზისათვის აუცილებელ ენერგიას სხვადასხვა გზით მიიღებენ:

1.რკინაბაქტერიების შემთხვევაში:

$$2FeCO_3 + 1/2O_2 + 3H_2O \rightarrow 2Fe(OH)_3 + 2CO_2$$

2.გოგირდბაქტერიების შემთხვევაში:

$$H_2S + 1/2O_2 \rightarrow S + H_2O \text{ ან } H_2S + 2O_2 \rightarrow H_2SO_4$$

3.ნიტრიტფიკაციის ბაქტერიების შემთხვევაში:

$$NH_3 + 3/2O_2 \rightarrow HNO_2 + H_2O$$

4.ნიტრატფიკაციის ბაქტერიების შემთხვევაში:

$$HNO_2 + 1/2O_2 \rightarrow HNO_3$$

5.მეთან (წყალბად) წარმომქმნელი ბაქტერიების შემთხვევაში:

$$H_2 + 1/2O_2 \rightarrow H_2O$$

6.მანგანუმბაქტერიების შემთხვევაში:

$$MnCO_3 + 1/2O_2 + H_2O \rightarrow MnO(OH) + CO_2$$

7.ნახშირბადის (II) ოქსიდის გამომყენებელი ბაქტერიების შემთხვევაში:

$$CO + 1/2O_2 \rightarrow CO_2$$

ქემოსინთეზი (ფოტოსინთეზისაგან განსხვავებით) ობლიგატური აერობული პროცესია, ე.ი. საჭიროებს ჟანგბადს. ქემოსინთეზის პროდუქტები თითქმის ყოველთვის გამოიყოფა გარემოში. ქემოსინთეზის უნარის მქონე ბაქტერიები მნიშვნელოვან როლს თამაშობენ ბიოსფეროში: გოგირდის ბაქტერიები მონაწილეობენ გოგირდის შემცველი ნივთიერებებისაგან ჩამდინარე წყლების გასუფთავების პროცესში; ნიტრიფიკაციის ბაქტერიები (ნიტრატისა და ნიტრიტის) მონაწილეობენ ა'ზოტის მიმოქცევაში და ამ გზით ინარჩუნებენ ნიადაგის ნაყოფიერებას; რკინაბაქტერიები ხელს უწყობენ ზედაპირული რკინაქვების წარმოქმნას, მადნის დაგროვებას და ა.შ.

1.11.დისიმილაცია ანუ ენერგეტიკული ცვლა (კატაბოლიზმი)

როგორც ზემოთ აღინიშნა, დისიმილაციის დროს იშლება ორგანული სუბსტრატები და გამოთავისუფლებული ენერგია გამოიყენება უჯრედის მიერ. ამ ენერგიის აკუმულაცია შესაძლებელია ისეთ ენერგიით მდიდარ ნაერთში, როგორიცაა ატფ (ადენო'ზინტრიფოსფატი).

ატფ შედგება პურინისა (ადენინი), პენტო'ზისა (რიბო'ზა) და ფოსფატის სამი ჯგუფისაგან (სურ.1.11). ატფ-ის მოლეკულის კიდურა ფოსფატის ჯგუფის ჰიდროლი'ზური დაშლის შემთხვევაში თავისუფალი ენერგიის გამოსავალი თითოეულ მათგან'ზე შეადგენს –30,6 კჯ-ს, მაშინ როდესაც ატფ-ის მესამე ფოსფატის ჯგუფის მოხლეჩისას მხოლოდ 13,8 კჯ გამოიყოფა. ვინაიდან ატფ ყველა ცოცხალი უჯრედის შემადგენელი ნაწილია, მას ხშირად უწოდებენ ენერგიის უნივერსალურ მატარებელს. იგი მოქმედებს როგორც შუალედური რგოლი სუნთქვასა და იმ პროცესებს შორის, რომლებიც მიმდინარეობს ენერგიის ხარჯვით. ამასთან, განუწყვეტლივ მიმდინარეობს მოხლეჩილი მაღალენერგული ფოსფატის ჯგუფების ჩანაცვლება ახალი ჯგუფებით. ატფ-ის სინთეზის ერთ-ერთ გზა სუნთქვის საშუალებით ხორციელდება.

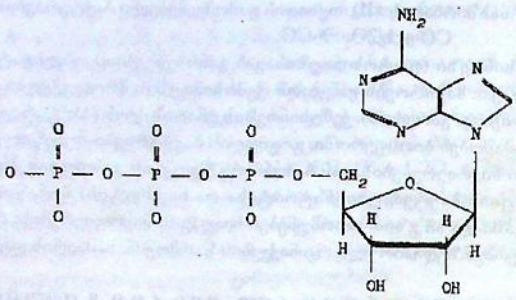
სუნთქვა

სუნთქვის დროს სუბსტრატი იხლიჩება დაბალი ენერგიის მქონე არაორგანულ ნივთიერებებამდე და დიდი რაოდენობით გამოიყოფა თავისუფალი ენერგია. დუღილის დროს სუბსტრატი ნაწილობრივ იშლება ისეთ ნაერთამდე, რომელიც ჯერ კიდევ მდიდარია ენერგიით. ამიტომ ამ შემთხვევაში ენერგიის გამოსავალი არ არის დიდი.

სუნთქვა აერობული პროცესია, ხოლო დუღილის სახეების უმრავლესობა ანაერობული პროცესებია. დუღილის შემთხვევაში უჯრედი, ნახშირწყლების გარდა, ზოგჯერ სუბსტრატად იყენებს სპირტებს, ორგანულ მჟავებს და სხვა ნივთიერებებს. ენერგიის დაბალი გამოსავლის გამო დუღილის განმახორციელებელი უჯრედები, სუნთქვის განმახორციელებელ უჯრედებთან შედარებით, გაცილებით მეტ სუბსტრატს იყენებენ.

სუნთქვა ორი ეტაპისაგან შედგება:

1.სუბსტრატის თანდათანობითი დაშლა წყალბადის მოხლეჩით, რომელიც უკავ-



სურ.1.23. ატფ-ის სტრუქტურა

შირდება კოფერმენტებს ([H_2] სიმბოლო):

$$C_6H_{12}O_6 + 6H_2O \rightarrow 6CO_2 + 12[H_2]$$

2.[H_2]-ის თანდათანობითი დაჟანგვა ჟანგბადის მონაწილეობით:

$$12\,[H_2] + 6O_2 \rightarrow 12\,H_2O$$

ანალოგიურად მიმდინარეობს აერობული ძმარმჟავა დუღილი (სუბსტრატი-ეთილის სპირტი, დუღილი ძმარმჟავამდე), რომლის დროსაც გამოთავისუფლდება ენერგია (455 კჯ/მოლი):

$$CH_3CH_2OH + H_2O \rightarrow CH_3COOH + 2\,[H_2]$$

$$2\,[H_2] + O_2 \rightarrow 2\,H_2O$$

ანაერობული დუღილის დროს მეორე რეაქცია არ მიმდინარეობს.

დუღილის ცნობილი ანაერობული ტიპებიდან შეიძლება აღინიშნოს:

ა.რძემჟავა დუღილი (კუნთები, ბაქტერიები: Lactobacillus, Streptococcus):

$$C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2\,CH_3CHOHCOOH\ (\Delta G^{o1}=-200\ კჯ/მოლი)$$

ბ.სპირტული დუღილი (Saccharomyces და სხვა საფუარები):

$$C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2\,CH_3CH_2OH + 2\,CO_2\ (\Delta G^{o1}=-235\ კჯ/მოლი)$$

გ.ერბომჟავა დუღილი (Clostridium და სხვა ბაქტერიები):

$$C_6H_{12}O_6 \rightarrow C_3H_7COOH + 2CO_2 + 2H_2\ (\Delta G^{o1}=-265\ კჯ/მოლი)$$

ამრიგად, დისიმილაციის პროცესები სუნთქვითა და დუღილით ხორციელდება.

გლიკოლიზი

განვიხილოთ ატფ-ის სინთეზი გლუკოზის დაჟანგვის დროს. უჯრედში გლუკოზის დაჟანგვა ორ ეტაპად მიმდინარეობს: ანაერობული და აერობული. გლუკოზის დაჟანგვის ანაერობულ ანუ უჟანგბადო ეტაპს გლიკოლიზს უწოდებენ. იგი რთული, მრავალსაფეხურიანი პროცესია და მიმდინარეობს ციტოპლაზმაში. თითოეულ რეაქციას აკატალიზებს განსაკუთრებული ფერმენტი.ერთი მოლეკულა გლუკოზის ანაერობული გახლეჩის შედეგად სინთეზდება 4 მოლეკულა ატფ და გამონთავისუფლდება წყალბადის 4 ატომი,რომელიც აღადგენს აქცეპტორს-NAD^+-ს (ნიკოტინამიდადენინდინუკლეოტიდი). თუ გავითვალისწინებთ იმ ფაქტს, რომ გლიკოლიზის სხვადასხვა სტადიებზე იხარჯება 2 მოლეკულა ატფ, მაშინ გლიკოლიზის დროს

ატფ-ის რეალური გამოსავალია 2 მოლეკულა, ანუ 14,6 კკალორია.

გლიკოლიზის შედეგად გამოყოფილი პიროყურძნის მჟავას ბედი დამოკიდებულია უჯრედში ჟანგბადის არსებობაზე. თუ უჯრედში ჟანგბადია, მაშინ პიროყურძნის მჟავა მიტოქონდრიებში იჟანგება ნახშირბადის (IV) ოქსიდად და წყლად (აერობული სუნთქვა). თუ უჯრედში არ არის ჟანგბადი, მაშინ იგი გარდაიქმნება ან ეთანოლად (სპირტული დუღილი მცენარეულ უჯრედებში და ზოგიერთ საფუარებში), ან რძის მჟავად (რძემჟავა დუღილი კუნთის უჯრედებში და რძემჟავა დუღილის ბაქტერიებში) (ანაერობული სუნთქვა).

ნახშირწყლების აერობული ბარდაქმნა. გლიკოლიზის საბოლოო პროდუქტი-სამნახშირბადიანი ორგანული მჟავა (პიროყურძნის მჟავა) გადადის მიტოქონდრიაში, სადაც ფერმენტების მეშვეობით გასცემს სამივე ნახშირბადის ატომს და წარმოქმნის ნახშირბადის (IV) ოქსიდს. ამასთან, სინთეზდება ATP და სხვადასხვა ეტაპზე მოიხლიჩება წყალბადის ატომები. ეს უკანასკნელი გადაეცემა ელექტრონების აქცეპტორებს (NAD^+ და FAD-ფლავინადენინდინუკლეოტიდი), რომლებიც გადადიან აღდგენილ ფორმაში ($NAD\text{-}H + H^+$ და $FAD\text{-}H_2$). ამრიგად, ხდება გლუკოზის სრული დაშლა. გამოთავისუფლებული ენერგიის ნაწილი გამოიყენება GTP-ისა და ATP-ის სინთეზისათვის, ხოლო ძირითადად აკუმულირდება გადამტანებში-აღდგენით ეკვივალენტებში ($NAD\text{-}H$ და $FAD\text{-}H_2$).

ორი მოლეკულა პიროყურძნის მჟავას აერობული გახლეჩის შედეგად სინთეზდება 36 მოლეკულა ATP (ე.ი. აერობული გახლეჩა ანაერობულთან შედარებით 20-ჯერ ეფექტურად გამოათავისუფლებს ენერგიას). გლუკოზის ერთი მოლეკულის სრული გახლეჩის შემთხვევაში კი წარმოიქმნება 38 მოლეკულა ATP (2 მოლეკულა ATP გლიკოლიზის დროს და 36 მოლეკულა-აერობული გახლეჩისას).

გლუკოზის სრული დაშლის რეაქცია ასეთი სახისაა:

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 + 38ADP + 38H_3PO_4 \rightarrow 38ATP + 6CO_2 + 44H_2O$$

ამასთან, ATP-ის სახით ინახება ენერგიის 55%, ხოლო 45% განიბნევა სითბოს სახით.

10 უჯრედის ევოლუცია

ამჟამად გავრცელებული ახრის თანახმად ცოცხალი ორგანიზმები და მათი შემადგენელი უჯრედები ევოლუციის გზით საერთო წინაპარი უჯრედიდან ჩამოყალიბდა. საკარაუდოა, რომ პირველი ცოცხალი უჯრედი წარმოიქმნა 3,5 მილიარდი წლის წინათ მოლეკულების სპონტანური აგრეგაციის შედეგად. ცენი წარმოდგენები თანამედროვე ორგანიზმებსა და მათში არსებულ მოლეკულებზე საშუალებას იძლევა ვიფიქროთ, რომ პირველი უჯრედის წარმოქმნას წინ უსწრებდა შემდეგი ძირითადი მოვლენები:

1.მარტივი ორგანული ნივთიერებებისა და რთული ორგანული სტრუქტურების წარმოქმნა. წარმოიქმნა რნმ, რომელსაც ჰქონდა კომპლემენტური ფუძეების შეწყვილების გზით თვითორეპლიკაციის უნარი.

2.ჩამოყალიბდა მექანიზმი, რომლის მიხედვითაც რნმ წარმართავდა ცილის სინთეზს.

3.შეიქმნა ლიპიდური მემბრანა, რომელიც შემოფარგლავდა რნმ-ისა და ცილის თვითრეპლიცირებად ნარევს.

ევოლუციის გვიან სტადიაზე მემკვიდრული ნივთიერება-რნმ შეიცვალა დნმ-ით.

ჰიპოთეტური პირველი უჯრედი, რომლისგანაც წარმოიქმნა ყველა ამჟამად მცხოვრები ორგანიზმები, იყო პროკარიოტი (ქ.ვოზის კლასიფიკაციით მას პროგენოტი ეწოდა, რაც "უჯრედამდელ ორგანიზმს" ნიშნავს). ამ უჯრედმა დასაბამი მისცა გონიერ სიცოცხლეს დედამიწაზე. მაგრამ ევოლუციის გზაზე არის მნიშვნელოვანი ეტაპი: დაახლოებით 1,5 მილიარდი წლის უკან მოხდა შედარებით მარტივი შინაგანი სტრუქტურის უჯრედების (პროკარიოტების) გადასვლა მნიშვნელოვნად რთული აგებულებისა და დიდი ზომის ეუკარიოტულ უჯრედებში. ეუკარიოტული უჯრედების პროკარიოტულიდან წარმოქმნის შესახებ არსებული შეხედულებებიდან ამჟამად ყველაზე პოპულარულია სიმბიოტური და ინვაგინაციური ჰიპოთეზები.

სიმბიოტური ჰიპოთეზის თანახმად ეუკარიოტული უჯრედის ევოლუციაში ძირითადი როლი ითამაშეს ანაერობულმა პროკარიოტებმა, რომელთაც მხოლოდ ამებოიდური მოძრაობის უნარი გააჩნდათ. მომდევნო ეტაპზე მათში ჩაერთო აერობული ბაქტერიები, მოხდა სიმბიოზი, შედეგად შეიქმნა ანაერობებისა და აერობების მტკიცე ასოციატები. გამოთქმულია მოსაზრება, რომ მიტოქონდრიები და ქლოროპლასტები აერობული პროკარიოტებია (შესაბამისად, აერობული ბაქტერიები და ლურჯ-მწვანე წყალმცენარეები), რომლებიც სიცოცხლის ევოლუციის ადრეულ ეტაპებზე ჩაინერგნენ ეუკარიოტების უჯრედებში და განასახიერებენ სიმბიოზის უკიდურეს ფორმას. ამ ფაქტმა განაპირობა ეუკარიოტული უჯრედების აერობულ სუნთქვაზე გადასვლა. აღნიშნული ჰიპოთეზა ასევე ადვილად ხსნის ეუკარიოტულ უჯრედში ენდოპლაზმური ბადის, გოლჯის აპარატისა და სხვა სტრუქტურების წარმოქმნას. ყველაზე ძნელი ასახსნელია ბირთვის წარმოქმნა. თუმცა არ არის გამორიცხული, რომ ბირთვის გენომის ფორმირება მოხდა უჯრედი-მასპინძლის გენომის ევოლუციის გზით.

ინვაგინაციური ჰიპოთეზის თანახმად ეუკარიოტული უჯრედის წინაპარი აერობული პროკარიოტია. ასეთი უჯრედი-მასპინძლის შიგნით უჯრედის გარსთან მიმაგრებული ერთდროულად რამდენიმე გენომი იყო ლოკალიზებული. დნმ-ის შემცველი ორგანელები და ბირთვი წარმოიქმნა უჯრედის გარსის თავდაპირველი ჩაზნექისა და ფუნქციურად დამოუკიდებელი ბირთვის, მიტოქონდრიებისა და ქლოროპლასტების წარმოქმნის გზით. ევოლუციის მომდევნო ეტაპებზე მოხდა ბირთვის გენომის გართულება, წარმოიქმნა ციტოპლაზმური მემბრანების სისტემა (ენდოპლაზმური ბადე, გოლჯის კომპლექსი და მისთ.). მაგრამ აღნიშნული ჰიპოთეზა ვერ ხსნის იმ ფაქტს თუ რატომ მიმდინარეობს ცილის ბიოსინთეზი ქლოროპლასტებსა და მიტოქონდრიებში თანამედროვე პროკარიოტული უჯრედების მსგავსად და განსხვავებულია ციტოპლაზმაში მიმდინარე ცილის ბიოსინთეზისაგან.

საერთოდ, არსებული ლიტერატურული მონაცემები საშუალებას იძლევა განვაზოგადოთ პროკარიოტებისა და ეუკარიოტების ძირითადი თავისებურებები: ითვლება, რომ პროკარიოტული უჯრედები ადრინდელი უჯრედი წინაპრის მსგავსია.

მიუხედავად აგებულების მნიშვნელოვანი სიმარტივისა, პროკარიოტები ბიოქიმიური თვალსაზრისით მრავალფეროვანია: მაგალითად, ყველა მთავარი მეტაბოლური გზა, ენერგიის წარმოქმნის სამი ძირითადი პროცესის ჩათვლით (გლიკოლიზი, სუნთქვა, ფოტოსინთეზი) შეიძლება აღმოვაჩინოთ ბაქტერიებშიც. ეუკარიოტული უჯრედები პროკარიოტებთან შედარებით დიდია და გააჩნიათ რთული ორგანიზაცია, შეიცავენ დნმ-ის დიდ რაოდენობას და სხვადასხვა კომპონენტებს, რომლებიც განაპირობებენ დნმ-ის რთულ ფუნქციებს. ეუკარიოტული უჯრედის დნმ მოთავსებულია მემბრანით გარემოცულ ბირთვში, ხოლო ციტოპლაზმაში იმყოფება, ასევე, შემბრანით გარემოცული სხვადასხვა ორგანელა. ეუკარიოტული უჯრედების სხვა განმასხვავებელ თავისებურებას წარმოადგენს ციტოჩონჩხი, რომელიც უზრუნველყოფს ბიოლოგიური ძვრადობის მექანიზმებს.

მრავალუჯრედიანობის წარმოქმნა. მრავალუჯრედიანობაზე გადასვლა სიცოცხლის ახალი თვისობრივი მდგომარეობაა, რომლისთვისაც დამახასიათებელია ეკოლუციური გარდაქმნების დაჩქარება მემკვიდრული ცვალებადობის რესურსების უფრო სრულად გამოყენების საფუძველზე. პროკარიოტული ტიპიდან ეუკარიოტულ ტიპზე გადასვლის პროცესში ხდებოდა უჯრედის ფუნქციების რეგულაციის მექანიზმების თანდათანობითი გართულება. საკარაუდოა, რომ ევოლუციის ადრეულ სტადიაზე ერთუჯრედიანები გაერთიანდნენ კოლონიებად. კოლონიებში მოხდა პრიმიტიული ფორმით მრავალუჯრედიანი ორგანიზმების ორი არსებითი თავისებურების გამოვლენა: დასპეციალება და კოოპერირება, ე.ი. წარმოიქმნა ორგანიზმი, რომელსაც უფრო მეტი შესაძლებლობები გააჩნდა, ვიდრე მის შემადგენელ ნაწილებს.

ისევე, როგორც უჯრედულმა მემბრანამ ერთეული უჯრედების ევოლუციაში, რთული მრავალუჯრედიანი ორგანიზმების ევოლუციაში მნიშვნელოვანი როლი ითამაშა ეპითელური ფენის წარმოქმნამ, რამაც განაპირობა მდგრადი მრავალუჯრედიანი კომპლექსების წარმოქმნა. მნიშვნელოვანი მოვლენა იყო აერობული სუნთქვის თავისებურების შეძენაც. აღსანიშნავია, რომ აერობული ეუკარიოტული უჯრედები დედამიწაზე წარმოიქმნენ ატმოსფეროში ჟანგბადის 1% მიღწევის შემდეგ (პასტერის წერტილი). მოცემული კონცენტრაცია აერობული სუნთქვის აუცილებელი პირობაა.

მრავალუჯრედიანებს გაუჩნდათ უჯრედები, რომლებიც წარმოადგენენ ახალი თაობის წინამორბედებს. მცენარეებსა და ცხოველებში ეს უჯრედები სპეციალიზებულია და უწოდებენ პირველად სასქესო ანუ ჩანასახოვან უჯრედებს. მომდევნო ეტაპზე მიტოზისა და მეიოზის მექანიზმების ჩამოყალიბებამ დააჩქარა ევოლუციის პროცესი და გენეტიკურად მსგავსი თაობების კვლავწარმოქმნა.

როგორც ცნობილია არსებული უჯრედული სისტემებიდან ორგანიზაციის სირთულითა და ნატიფობით ორმა მიაღწია განვითარების უმაღლეს დონეს: ხერხემლიანთა იმუნურმა (ქიმიური შეცნობით) და ნერვულმა სისტემებმა (აღქმისა და მართვის უნარით). ზემოთ აღნიშნული ყველა სისტემა შედგება სხვადასხვა ტიპის უჯრედებისაგან და დაფუძნებულია მათ შორის ურთიერთქმედებაზე.

1.12.ანტისხეულები და მათი ფუნქციები

ორგანიზმის უნარს შეიცნოს და დაშალოს მასში მოხვედრილი უცხო ელემენტები (მიკროორგანიზმები, ვირუსები და სხვა) **იმუნიტეტი** ეწოდება. უნდა აღინიშნოს, რომ იმუნური სისტემა ყველაზე რთულად ორგანიზებულია ძუძუმწოვრებში: უცხო ნივთიერების შეჭრა ორგანიზმში წარმოადგენს სიგნალს, რომლის შედეგად იწყება უჯრედულ და ძოლეკულურ დონეზე მიმდინარე პროცესები-იმუნური პასუხი.

ორგანიზმში უცხო ნივთიერებების შეღწევა იწვევს **ანტისხეულების** ანუ **იმუნოგლობულინების** სინთეზს. ყველა ცნობილი იმუნოგლობულინი 5 კლასად იყოფა: IgG, IgA, IgM, IgD, IgE, რაც განპირობებულია ცილის მძიმე ჯაჭვის ამინომჟავური თანმიმდევრობის ხასიათით. შესაბამისად, ცნობილია ამ თანმიმდევრობების 5 კლასი: γ, α, μ, δ, ε. სხვადასხვა კლასის იმუნოგლობულინებში იცვლება მძიმე (H-) და მუბუქი (L-) ჯაჭვების წყვილების რიცხვი და ზოგიერთ შემთხვევაში H-ჯაჭვის სიგრძეც.

უცხო ნივთიერების (**ანტიგენი**) შეცნობისთანავე ანტისხეული უკავშირდება მას. ანტიგენი-ანტისხეულის კომპლექსის წარმოქმნის მომდევნო ეტაპზე სინთეზდება შესაბამისი ანტისხეულები. ანტისხეული სპეციფიკურად უკავშირდება ანტიგენის განსაზღვრულ უბანს-**ეპიტოპს**. ერთ ანტიგენზე შეიძლება მრავალი ეპიტოპი იყოს.

G-იმუნოგლობულინი (IgG)-(γ–გლობულინი) ყველაზე გავრცელებული იმუნოგლობულინია. მისი მოლეკულური მასა 150.000-ია. IgG-ის მოლეკულა შედგება 4 პოლიპეპტიდური ჯაჭვისაგან: ორი იდენტური მძიმე (H-შეიცავს 450 ამინომჟავას ნაშთს) და ორი იდენტური მსუბუქი (L-შეიცავს 220 ამინომჟავას ნაშთს) ჯაჭვებისაგან. ოთხივე ჯაჭვი ერთმანეთს უკავშირდება დისულფიდური ხიდაკებით. ეროი სახეობის სხვადასხვა IgG-ის პირველადი სტრუქტურების შედარება აჩვენებს, რომ L-ჯაჭვის N-კიდურა ბოლოს თანმიმდევრობები (110 ამინომჟავური ნაშთი) ძლიერ განსხვავდებიან ერთმანეთისაგან ანუ წარმოქმნიან ვარიაბელურ უბანს (V-უბანი). C-კიდურა ბოლოს თანმიმდევრობები (110 ამინმჟავური ნაშთი) ერთნაირია, ე.ი. წარმოადგენენ კონსტანტურ (უცვლელ) უბანს (C-უბანი). L-ჯაჭვის C-უბნის თანმიმდევრობები ორი კლასისაა. შესაბამისად, L-ჯაჭვიც ორი ტიპისაა: კაპა (χ) და ლამბდა (λ). H-ჯაჭვის შემთხვევაშიც V-უბანი (110 ამინომჟავას ნაშთის სიგრძით) ლოკალიზებულია N-კიდურა ბოლოზე, ხოლო დანარჩენი 340 ამინომჟავას ნაშთი წარმოქმნის C-უბანს.

აღმოჩნდა, რომ L- და H-ჯაჭვების V-უბანში არის ადგილები, სადაც ვარიაბელურობის ხარისხი მაღალია, მათ ჰიპერვარიაბელურ უბნებს უწოდებენ (L1, L2, L3-L-ჯაჭვში და H1, H2, H3-H-ჯაჭვში). აღნიშნული ადგილები ანტიგენის დაკავშირების უნარის მქონე ცენტრებია, ე.ი. ადგილები, რომლებიც შეიცნობენ ანტიგენს. იმუნოგლობულინები შეიცავენ აგრეთვე ~110 ამინომჟავური ნაშთის მქონე სტრუქტურულ ერეულს-დომენს. L-ჯაჭვი ორი დომენისაგან შედგება: ვარიაბელური (V_L) და კონსტანტური (V_C). H-ჯაჭვში გამოყოფენ ოთხ დომენს: ვარიაბელურს (V_H) და 3 კონსტანტურ დომენს (C_H1, C_H2, C_H3). IgG იმუნოგლობულინის პაპაინის საშუალებით პროტეოლიზის შედეგად წარმოიქმნება 50.000 მოლეკულური მასის ფრაგმენტები. მათგან ორს აქვს ანტიგენის დაკავშირების უნარი და მათ F_{ab}-

ფრაგმენტს (fragment antigen binding) უწოდებენ. მესამე ფრაგმენტი ადვილად კრისტალიზდება და აღნიშნავენ F_c (fragment ctystallized). F_{ab} შედგება ერთი L-ჯაჭვისა (V_L და C_L დომენები) და ერთი H-ჯაჭვის პირველი ნახევრისაგან (V_H და C_H1), ხოლო F_c-ორი H-ჯაჭვის მეორე ნახევრისაგან (ორი C_H2 და ორი C_H3 დომენები). F_c-უბანი მნიშვნელოვანია იმუნური პასუხის რეაქციებში. ერთ-ერთი ასეთი რეაქციაა ე.წ.კომპლემენტის სისტემის კომპონენტების თანმიმდევრული გააქტიურება.

სიცოცხლის მანძილზე ორგანიზმი შესაძლო ანტიგენების საწინააღმდეგოდ ასინთეზებს სხვადასხვა ანტისხეულების დიდ რაოდენობას ($>10^5$). ორგანიზმის ასეთი უნარი აიხსნება გენების ურთიერთგადაფარვის მექანიზმის არსებობით.

.1.13.ქიმიური სიგნალიზაციის ძირითადი ტიპები

მრავალუჯრედიანი ორგანიზმების ევოლუცია ეფუძნება უჯრედების უნარს გარკვეული გზით განახორციელონ ურთიერთკავშირი. ამ უკანასკნელის ასახსნელად მოწოდებულია მექანიზმები, რომლებიც უჯრედების ურთიერთკავშირში ძირითად როლს ანიჭებს ნერვულ და ენდოკრინულ სისტემებს.

ნერვული უჯრედები, ენდოკრინულის მსგავსად, ქიმიურ სიგნალს გადასცემენ. განსხვავება ისაა, რომ ენდოკრინულთან შედარებით, ნერვული უჯრედები უფრო სწრაფად ახორციელებენ სიგნალის გადაცემას. ქმედების პოტენციალის სახით ელექტრული სიგნალი სწრაფად ვრცელდება ნერვული ბოჭკოს საშუალებით და ნერვულ დაბოლოებებში გარდაიქმნება ქიმიურ სიგნალში-მოხდება ნეირომედიატორის გამოყოფა. ეს უკანასკნელი დიფუზიის მეშვეობით სწრაფად (ერთ მილიწამზე ნაკლებ დროში) აღწევს უჯრედ-სამიზნეს.

ენდოკრინული სისტემა გამოყოფს ჰორმონებს, რომლებიც სისხლის საშუალებით მიიტანება მათი მოქმედების ადგილზე. სასიგნალო მოლეკულებს (ნეირომედიატორები, ჰორმონები) იკავშირებს მათ მიმართ მგრძნობიარე უჯრედი-სამიზნეს მემბრანის ზედაპირზე არსებული რეცეპტორები, რის გამოც უჯრედი-სამიზნეს აქტიურობა იცვლება და ხდება უჯრედის რეაქცია.

მაგრამ პირველადი სასიგნალო ნივთიერების (მედიატორის ან ჰორმონის) მიერ უჯრედის მემბრანაზე მიტანილი ინფორმაციის უჯრედში გადასაცემად აუცილებელია მეორადი სასიგნალო ნივთიერებების წარმოქმნა. ამჟამად ცნობილია სიგნალის გადაცემის ორი გზა. ერთ შემთხვევაში მეორადი სასიგნალო ნივთიერების როლს ასრულებს c-AMP ან c-GMP, ხოლო მეორე შემთხვევაში კი ფუნქციონირებს სამი მეორადი შუამავლის-ინოზიტოლტრიფოსფატის, დიაცილგლიცეროლისა და კალციუმის იონების კომბინაცია.

1.14.ვირუსების ბიოლოგია

ვირუსები ნუკლეინის მჟავების, ცილების, ხოლო ზოგჯერ ლიპიდების შემცველი და უჯრედ–მასპინძელში გამრავლების უნარის მქონე ნაწილაკებია. უჯრედის გარეშე ისინი მხოლოდ არარეპლიკაციურ მდგომარეობაში იმყოფებიან (არ გააჩნიათ კვლავწარმოქმნისათვის აუცილებელი ფერმენტები). ვირუსი პირველად გამოყოფილ იქნა 1852 წელს რუსი ბოტანიკოსის დ.ივანოვსკის მიერ (თამბაქოს მოზაიკის ვირუსი),

ხოლო ტერმინი "ვირუსი" (ლათინ. "შხამს" ნიშნავს) მოწოდებულ იქნა 1898 წელს ჰოლანდიელი მეცნიერის ბ.ბეიერინკის მიერ. ვირუსის ნაწილაკების (ვირიონების) დიამეტრი 20-300 ნმ-ია. ვინაიდან ზოგიერთი ცილისა და ნუკლეინის მჟავას ზომები 2-50 ნმ-ის დიაპაზონშია, ამიტომ ვირუსი შეიძლება განვიხილოთ, როგორც მაკრომოლეკულების კომპლექსი. მცირე ზომებისა და კვლავწარმოქმნის უუნარობის გამო ვირუსებს ხშირად "არაცოცხალს" აკუთვნებენ. ვირუსი, კაფსიდის (გარსი) საშუალებით, ახორციელებს უჯრედში გენეტიკური მასალის (ვირუსი შედგება დნმ ან რნმ და გარსისაგან) შეყვანას. ეს უკანასკნელი აიძულებს უჯრედს ასინთეზოს ვირუსისა და ვირუსული ნაწილაკების გარსის ცილები (ვირუსები უჯრედის პარაზიტებია), რაც იწვევს უჯრედის დაშლას და შვილეული ვირუსების გამოსვლას არეში. ამ გზით ვითარდება სხვადასხვა ვირუსული დაავადებები (ზოგიერთ ვირუსს აქვს ავთვისებიანი სიმსივნის წარმოქმნის უნარი).

1.15. დნმ-შემცველი ვირუსები

დნმ-შემცველ ვირუსებში გენეტიკურ მასალას წარმოადგენს წრფივი ან წრიული ერთი- ან წყვილჯაჭვიანი დნმ. ამ უკანასკნელში კოდირებულია ინფორმაცია ყველა ვირუსული ცილის შესახებ. ვირუსებს, რომლებიც ინფიცირებენ ბაქტერიებს, **ბაქტერიოფაგებს** უწოდებენ (ვირუსების სახეები მოტანილია 1.24 სურათზე). ადამიანისა და ცხოველების დნმ-შემცველი ვირუსების უმრავლესობას შეუძლია ნორმალური კულტივირებადი უჯრედების ავთვისებიანში ტრანსფორმაცია, ასევე ლაბორატორიულ ცხოველებში მათი შეტანისას სიმსივნის ინდუცირება ან ერთდროულად ორივე პროცესის განხორციელება.

დნმ-შემცველ ვირუსებს მიაკუთვნებენ 5 სხვადასხვა ოჯახს:

1.პოლიომავირუსები: მაიმუნის ვირუსი 40 (SV 40), თაგვის პოლიომის ვირუსი და ადამიანის ადენოვირუსები.

2.პაპილომავირუსები: ადამიანის პაპილომის 16 ვირუსი (HPV).

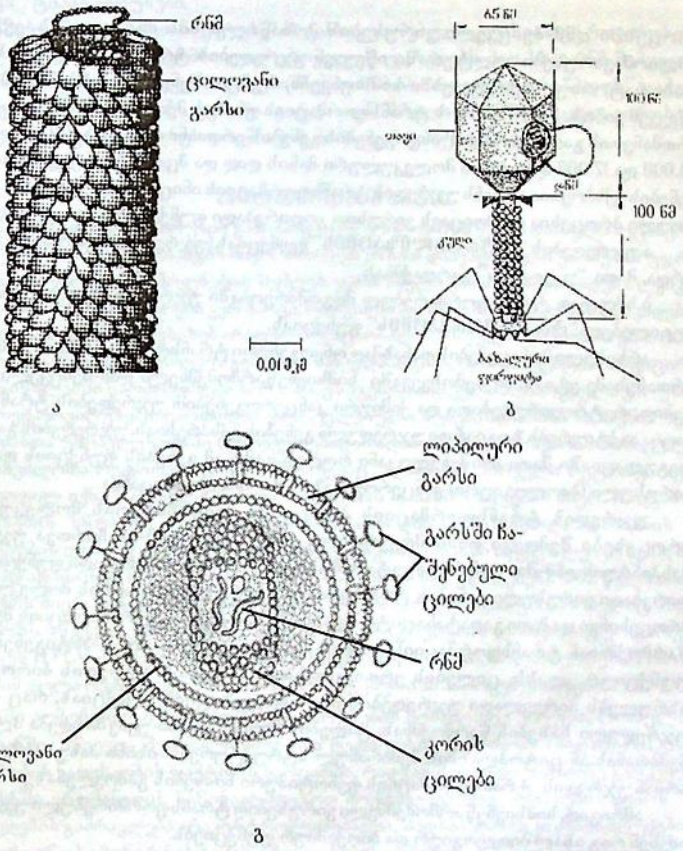
3.ადენოვირუსები (Ad): ადამიანის 37 ვირუსი, რომელთაგან კარგადაა შესწავლილი 1-31 ადენოვირუსი, რომლებიც წარმოქმნიან 5 სხვადასხვა ტრანსფორმირებად ჯგუფს.

4.ჰერპესვირუსები: ადამიანის მარტივი ჰერპესის 1 და 2 ტიპის ვირუსები (HSV-1 და HSV-2), ადამიანის ციტომეგალოვირუსი (HCMV), ეპშტეინი-ბარის ვირუსი (EBV).

5.B ჰეპატიტის ვირუსის მსგავსი ვირუსები: ადამიანის B ჰეპატიტის ვირუსები (HBV).

სიმსივნეწარმომქმნელი დნმ-შემცველი ვირუსები უჯრედის ტრანსფორმაციას იწვევენ უჯრედულ გენომში ვირუსული დნმ-ის სტაბილური ინტეგრაციისა და სპეციფიკური ვირუსული გენების ექსპრესიის საშუალებით. უჯრედი-მასპინძლის ან ვირუსის გენომში ჯერ არაა იდენტიფიცირებული ინტეგრაციის სპეციფიკური უბნები.

ქვემოთ ჩვენ პოლიომავირუსების მაგალითზე განვიხილავთ ტრანსფორმაციის



სურ.1.24.ვირუსების სახეები:

ა.თამბაქოს მოზაიკური ვირუსის აგებულების სქემა. გარედან დაფარულია ცილოვანი გარსით - კაპსიდით, რომელიც კაპსომერებისაგანაა აგებული. შუაში მოთავსებულია რნმ-ის სპირალი;

ბ.T4 ბაქტერიოფაგის აგებულების სქემა. შედგება თავისა და კუდისაგან. თავში დნმ-ის მოლეკულაა მოთავსებული;

გ.ადამიანის იმუნოდეფიციტის (შიდსის) ვირუსის აგებულების სქემა. ცილოვან გარსს გარედან აკრავს ლიპიდებისაგან აგებული ორშრიანი მემბრანა, რომელსაც გააჩნია ცილოვანი წვეტები. ცილისაგან აგებულ შუაგულში რნმ-ის ორი მოლეკულაა მოთავსებული.

პროცესში დნმ-შემცველი ვირუსების მონაწილეობის ძირითად ასპექტებს. პოლიომავირუსები კულტურაში იწვევენ უჯრედების ტრანსფორმაციას, ხოლო ლაბორატორიულ ცხოველებში-სიმსივნეებს, თუმცა ბუნებრივ მასპინძლებში არ იწვევენ კიბოს. SV40 და Py-ს ტრანსფორმაციის უნარის მქონე უბანს წარმოადგენს ერთმანეთის გადამფარავი T-ანტიგენების გენების ერთიანი ოჯახი. SV40 კოდირებს 94.000 და 17.000 დალტონი მოლეკულური მასის დიდ და მცირე T-ანტიგენებს. მათი გენების ექსპრესია ახდენს უჯრედის ტრანსფორმაციის ინიციაციას. ეს უკანასკნელი რთული პროცესია და მოიცავს ვირუსით კოდირებადი ფუნქციების ორ კლასს:

ა.უჯრედების "იმორტალიზაციის" ფუნქციას (უჯრედების განუსაზღვრელი ზრდა, მათი "უკვდავში" გარდაქმნა);

ბ.სრულად ტრანსფორმირებულ მდგომარეობაში უჯრედის გადასვლისათვის აუცილებელ "ტრანსფორმაციის" ფუნქციას.

არსებული მონაცემების თანახმად ონკოგენური ტრანსფორმაცია მოიცავს კიდევ ერთ, მესამე ეტაპს. ამ შემთხვევაში სიმსივნეწარმომქმნელი დნმ-შემცველი ვირუსებით, რეტროვირუსებითა და ქიმიური კანცეროგენებით უჯრედების ტრანსფორმაცია ააქტიურებს ზოგიერთი უჯრედული გენების ექსპრესიას. უჯრედების გაყოფის რეგულაციაში მათი მნიშვნელოვანი როლის გამო ამ გენების ფუნქციის დადგენა ვირუსული (ბიოლოგიური) კანცეროგენეზის ძირითადი ამოცანაა.

უჯრედის ტრანსფორმაციის პროცესში მიმდინარეობს მოლეკულური პროცესები შემდეგი თანმიმდევრობით: ვირუსული დნმ-ის ჩართვა უჯრედი-მასპინძლის დნმ-ში, აღნიშნულ ეტაპს მოსდევს ტრანსფორმირებადი ფუნქციის კოდირებადი ვირუსული გენების ტრანსკრიპცია, ვირუსული მ-რნმ-ის მოლეკულების პროცესინგი და მათი გადატანა ციტოპლაზმაში, სადაც ისინი ტრანსლაციის შედეგად წარმოქმნიან ტრანსფორმაციის უნარის მქონე ცილების ანუ T-ანტიგენების ორ ფუნქციურ კლასს. ცილების ერთი კლასი თავს იჩენს უჯრედის ბირთვში და ასრულებს პირველადი უჯრედების იმორტალიზაციის ფუნქციას, რაც იწვევს უჯრედული ხაზების წარმოქმნას. ცილების მეორე კლასი უკავშირდება პლაზმურ მემბრანას ან ციტოპლაზმის მემბრანულ სტრუქტურებს. ისინი პასუხისმგებელნი არიან უჯრედის ტრანსფორმაციის ფენოტიპური ნიშნების გამოვლენაზე.

ამრიგად, სიმსივნეწარმომქმნელი ვირუსებით ტრანსფორმირებული უჯრედები იძენენ რიგ ახალ ბიოლოგიურ და ბიოქიმიურ ფუნქციებს.

1.16. რნმ-შემცველი ვირუსები

რნმ-შემცველი ვირუსების გენეტიკური ინფორმაცია კოდირებულია რნმ-ში. იგი შეიძლება იყოს ერო- და ორჯაჭვიანი, ხოლო უჯრედი-მასპინძელი პრო- ან ეუკარიოტული უჯრედი. მხოლოდ ერთჯაჭვიანი რნმ-ის შემცველი ვირუსები აინფიცირებენ ბაქტერიებს, ხოლო მცენარეებისა და ცხოველების ვირუსები შეიძლება შეიცავდეს ერთ- ან წყვილჯაჭვიან რნმ-ს. ერთჯაჭვიანი რნმ-ის შემცველი ვირუსები ორი ტიპისაა: "პლუს" ჯაჭვისა და "მინუს" ჯაჭვის შემცველი. პირველი ტიპის ვირუსების რნმ უჯრედ – მასპინძელში ფუნქცირებს როგორც მ-რნმ. მეორე ტიპის ვირუსების შემთხვევაში უნდა მოხდეს "მინუს" ჯაჭვიდან "პლუს" ჯაჭვის წარმოქმნა. ცხოველებში გვხვდება ორივე ტიპის, ხოლო მცენარეებში ძირითადად

"პლუს" ტიპის ვირუსები.

"პლუს" ერთჯაჭვიანი ვირუსების განსაკუთრებული კლასია რეტროვირუსები, რომლებიც აინფიცირებენ მხოლოდ ცხოველურ უჯრედებს. მათ, სხვა რნმ-შემცველი ვირუსებისაგან განსხვავებით, აღენიშნებათ რნმ-ის ორი იდენტური "პლუს" ჯაჭვის შემცველი დიპლოიდური გენომი. გარდა აღნიშნულისა რნმ-შემცველ ვირუსებს მიეკუთვნება გრიპის ვირუსი, თამბაქოს მოზაიკის ვირუსი და მისთ.

რეტროვირუსები

პირველი რეტროვირუსის გამოყოფა აღწერილია 1908 წელს დანიელი მეცნიერების ვ.ელერმანისა და ო.ბანგის მიერ. მათ ლეიკოზით დაავადებული ქათმების უჯრედების ფილტრატის გამოყენებით შეძლეს ჯანმრთელი ქათმების დაავადება ლეიკოზით. ამ აღმოჩენამ აღიარება ვერ ჰპოვა, რადგან იმ პერიოდში ლეიკოზის დაავადების ნეოპლასტიკურობის შესახებ არაფერი იყო ცნობილი. 1911 წელს პეიტონ რაუსმა სპონტანური სარკომიდან გამოყო აგენტი და მანვე დაადგინა, რომ ამ აგენტით ინფიცირებულ წიწილებში წარმოიქმნება სარკომა. ეს აგენტი პირველი აღიარებული ვირუსია.

რეტროვირუსები ფართოდაა გავრცელებული ბუნებაში. ისინი ნაპოვნია ხერხემლიანთა უმრავლესობაში (ფრინველებიდან ადამიანამდე). არსებობს მონაცემები უხერხემლოთა რეტროვირუსების შესახებაც. ადამიანის პირველი რეტროვირუსი გამოყოფილ იქნა 1978 წელს რ.ჰალოსა და მისი თანამშრომლების მიერ. რადგან ამ ვირუსების სწრაფვა ლიმფოციტების მიმართ დიდია, მას ეწოდა ადამიანის T-უჯრედების ლიმფოციტური ვირუსი (რადგან იგი ადამიანში იწვევს ლეიკოზებს, მას ხშირად ადამიანის T-უჯრედული ლეიკოზის ვირუსსაც უწოდებენ). 1982 წელს იმავე რ.ჰალოს მიერ აღმოჩენილ იქნა ადამიანის მეორე რეტროვირუსი, რომელიც ასევე ლეიკოზს იწვევდა. ამის შემდეგ ადამიანის T-უჯრედების ლიმფოციტურ ვირუსს უწოდეს HTLV-1 (ინგლ. human T-cell limphotropic virus), ხოლო მეორეს-HTLV-II (მაგრამ ყველა რეტროვირუსი არ არის ონკოგენური ან პათოგენურიც კი). 1983-1984 წლებში აღმოჩენილ იქნა აღნიშნული ვირუსების მონათესავე ვირუსი, რომელიც ადამიანში იწვევდა შეძენილი იმუნური დეფიციტის სინდრომს (შიდსი)-AIDS. ამ ვირუსების ნათესაობის ფაქტორი საოცარია, რადგან შიდსი და სიმსივნე გარკვეულ ასპექტში ერთმანეთის საწინააღმდეგოდ მოქმედებენ: მაგ. სიმსივნის დროს T-უჯრედების გაძრავლება არაკონტროლირებადია, შიდსის დროს კი ისინი იღუპებიან, რაც თრგუნავს იმუნურ სისტემას. ამ ვირუსების აღმოჩენა XX საუკუნის ბიოლოგიის ერთ-ერთი საოცრებაა.

რეტროვირუსები იყოფა სამ არათანაბარ ქვეოჯახად: **ონკოვირუსები** (oncos-სიმსივნე), **ლენტივირუსები** (lente-შენელება, ნელი) და **სპუმავირუსები** (spuma-ქაფი). აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ რეტროვირუსები არ შეიცავენ 4 გენ'ზე მეტს. ისინი იყოფა ვირუსის რეპლიკაციისათვის აუცილებელ გენებად და ვირუსულ ონკოგენებად (v-onc), რომლებიც განსაზღვრავენ ვირუსის მაღალ ონკოგენურობას, მაგრამ არ მონაწილეობენ რეპლიკაციის პროცესში.

რეტროვირუსებს მრავალი განსაკუთრებული თვისება აქვს. რეტროვირუსები, სხვა ვირუსებისაგან განსხვავებით, რომლებიც იწვევენ ინფიცირებული უჯრედების

სიკვდილს, წესისამებრ, იწვევენ მკრძნობიარე უჯრედების ქრონიკულ ინფექციას. ამ დროს ძლიერდება უჯრედული პროლიფერაცია, ან არ ვლინდება უჯრედების ზრდის ჩასიათის არავითარი ცვლილება.

ქრონიკული ინფექციის შემთხვევაში რეტროვირუსების გენომი ავლენს რეპლიკაციის უნიკალურ მექანიზმს. თუმცა ვირუსული გენომი ვირიონის შემადგენლობაში წარმოდგენილია ერთჯაჭვიანი რნმ-ით, უჯრედში მისი რეპლიკაციისას იგი გადის წყვილჯაჭვიანი დნმ-ის სტადიას. რეტროვირუსის გენომის გარდაქმნას რნმ-დან დნმ-ში ახორციელებს ვირუსული **რნმ-დამოკიდებული დნმ-პოლიმერაზა (ეპრ ტრანსკრიპტაზა ან რევერტაზა).**

რეტროვირუსების განსაკუთრებული თვისებებიდან აღსანიშნავია, აგრეთვე, მათი არსებობა უჯრედული გენების-ენდოგენური **პრო**ვირუსების სახით, რომლებიც ინტეგრირებულია ჩანასახის უჯრედების ხაზის დნმ-ში.

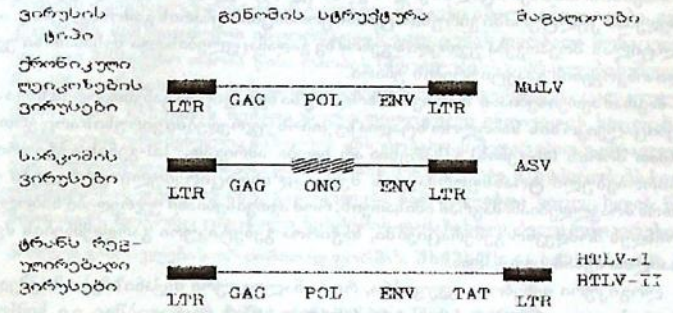
ზოგიერთი რეტროვირუსი(RSV,Ha-MuSV,Mo-MuSV) შეიცავს მაღალკონსერვატიული უჯრედული გენების მსგავს გენებს. მაგრამ აღნიშნული გენები არ არის საჭირო ვირუსის რეპლიკაციისათვის, თითოეული მათგანი ვირუსს სძენს კულტურაში უჯრედების ტრანსფორმაციის უნარს და ამაღლებს ვირუსის ონკოგენურ პოტენციალს. ამიტომ ამ გენებს ვირუსული ტრანსფორმაციის უნარის მქონე გენები ანუ **ონკოგენები** (v-onc) უწოდეს. მათ შესაბამის უჯრედულ გენებს აღნიშნავენ-c-onc.

როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული, ვირუსული გენომი შედგება რნმ-ის ორი იდენტური "პლუს" ჯაჭვისაგან, რომელთა 5'-კიდურა ბოლოზე განლაგებულია ქეპსტრუქტურა, ხოლო 3'-კიდურა ბოლო'ზე-poly(A). რნმ-ის ორ ჯაჭვს შორის, 5'-კიდურა ბოლოების ახლოს, წარმოიქმნება არაკოვალენტური ბმა. თითოეული ჯაჭვის სიგრძე 3,5-9,0 kb-ის ფარგლებშია და დამოკიდებულია ვირუსის სახეობაზე. უჯრედული ტრნმ, რომელიც სპეციფიკურია მოცემული ვირუსისათვის და აუცილებელია ვირუსული რეპლიკაციისათვის, არაკოვალენტურადაა დაკავშირებული ვირუსული რნმ-ის 5'-კიდურა ბოლოსთან. ვირიონში ვირუსული რნმ-ის ორი ერთნაირი ჯაჭვის არსებობა მიუთითებს, რომ რეტროვირუსების გენომი დიპლოიდურია. თუმცა გენომის ამგვარი ორგანიზაციის ფუნქციური როლი ზუსტად არ არის ცნობილი. არ არის გამორიცხული, რომ შერეული ინფექციის დროს ჰეტეროზიგოტური ნაწილაკების წარმოქმნა შეიძლება იყოს რეკომბინაციის ხარჯზე გენეტიკური მრავალფეროვნების შექმნის მექანიზმი.

რეტროვირუსის რეპლიკაციისათვის საჭიროა მხოლოდ სამი გენი: gag (განსაზღვრავს ჯგუფსპეციფიკურ ანტიგენს-group specific antigen). რომელიც კოდირებს ნუკლეოიდის ცილებს;pol (კოდირებს უკუტრანსკრიპტაზას polymerase) და env (კოდირებს გარსის ცილებს-envelope). მათი ურთიერთგანლაგება ყველა რეტროვირუსის გენომში ერთნაირია: gag-pol-env ($5' \rightarrow 3'$ მიმართულებით) (იხ.სურ.1.25). ტრანსფორმირებადი ვირუსების უმრავლესობას ერთი v-onc-გენი აქვს, ზოგიერთს კი-ორი და შეიძლება ლოკალიზებულ იყოს გენომის სხვადასხვა ნაწილში.

სიმსივნის ინდუქციის მექანიზმი. ცნობილია რეტროვირუსებით გამოწვეული ლეიკოზის წარმოქმნის ორი მექანიზმი. თითოეული დამახასიათებელია ვირუსების განსაზღვრული ჯგუფისათვის. ერთი მექანიზმის თანახმად ვირუსულ

გენომში აუცილებელია onc-გენის არსებობა. ინფიცირებულ უჯრედში ვირუსული onc-გენის ექსპრესია იწვევს მის ტრანსფორმაციას, შედეგად ვითარდება კიბო. ეს უკანასკნელი არ არის მონოკლონური, რადგან ავთვისებიან ზრდაში მონაწილეობს მრავალი სხვადასხვა უჯრედი-წინამორბედი. ეს მექანიზმი უფრო დამახასიათებელია მწვავე ლეიკოზებისა და სარკომების (მათ შორის რაუსის სარკომის) გამომწვევი სხვადასხვა ვირუსებისათვის. თუმცა, გენეტიკური მოვლენები, რომლებსაც მივყავართ უჯრედული და ვირუსული დნმ-ის ავთვისებიანი ხასიათის კომბინაციისაკენ, ძალიან იშვიათია (სურ.I.25).



სურ.I.25.ლეიკოზის გამომწვევი რეტროვირუსები: ქრონიკული ლეიკოზის ვირუსებს (MuLV) მოეპოვებათ gag, pol,env გენების თანმიმდევრობები; სარკომის ვირუსებს (ASV) ემატება c-onc-გენი, რომელიც მონაწილეობს უჯრედის გამრავლების რეგულაციაში. ვირუსების მესამე ჯგუფისათვის (HTLV-I, HTLV-II) დამახასიათებელია tat-გენი.

უფრო გავრცელებულია ლეიკოზების ვირუსები. მათ არ გააჩნიათ onc-გენი და მათ მიერ გამოწვეული დაავადებები ძლიერ წააგავს ავთვისებიან პროცესებს ადამიანში. ამ დროს ლეიკოზი ვითარდება ინფიცირებული ცხოველების მხოლოდ მცირე ნაწილში და ისიც საინკუბაციო პერიოდის შემდეგ. ამასთან, კიბოს უჯრედები კლონური წარმოშობისაა. თუმცა არსებობს პრინციპული სხვაობა ამ ვირუსებისა და HTLV-I ვირუსის მოქმედების მექანიზმებს შორის. ცხოველების ქრონიკული ლეიკოზის ვირუსების შემთხვევაში დაავადებას იწვევს პროვირუსის ჩართვა უჯრედული დნმ-ის მხოლოდ გარკვეულ უბანში, სადაც ვირუსული დნმ-ის რეგულატორულ თანმიმდევრობებს უჯრედის გაყოფაში მონაწილე მეზობელ უჯრედულ გენებთან ურთიერთქმედების საშუალება ექნებათ. აქედან გამომდინარე, ნაოელია სიმსივნის უჯრედებში ვირუსის ინტენსიური რეპლიკაციის აზრი: იგი უზრუნველყოფს პროვირუსის თუნდაც ერთი ასლის მოხვედრას სპეციფიკურ უბანში. HTLV-I-ის შემთხვევაში კი პათოგენურობა არ არის დამოკიდებული გენომში პროვირუსის ჩართვის ადგილზე. ამის გამო სიმსივნის წარმოსაქმნელად ვირუსული ნაწილაკების მცირე რაოდენობაა საჭირო.

ამრიგად, ამ ორი ტიპის ვირუსის (ქრონიკული ლეიკოზის ვირუსი და HTLV-I ვირუსი) მოქმედების გზა განსხვავებულია ერთმანეთისაგან. თუმცა ორივე შემ-

თჩვევაში ისინი გავლენას ახდენენ უჯრედული გენების აქტიურობაზე. ქრონიკული ლეიკოზის ვირუსებიაღნიშნულ ეფექტს იწვევენ უჯრედული დნმ-ის მხოლოდ შესაბამისი თანმიმდევრობების გვერდით მათი პროვირუსის ჩართვის შედეგად. HTLV-I-ის პროვირუსს უჯრედის გენომის ნებისმიერ ადგილზე ჩართვისა და ნებისმიერ მანძილზე მოქმედების უნარი აქვს. მაგ. თუ იგი გავლენას მოახდენს უჯრედის ზრდაზე პასუხისმგებელ გენებზე, მაშინ ეს ნიშნავს, რომ მოქმედება მანძილზე ხორციელდება რაღაც მექანიზმით. ასეთ მექანიზმებს **ტრანსაქტივაცია** უწოდეს. ტრანსაქტივაციის მექანიზმის შესაბამისად HTLV-I-ის პროვირუსის ნუკლეოტიდურ თანმიმდევრობებში არის ისეთი ცილის კოდირებადი გენი (tat-გენი), რომელიც აუცილებელია უჯრედების კულტურაში ვირუსის ტრანსფორმაციის უნარის გამოსავლენად. აღნიშნულ ცილას მოეპოვება უჯრედის გენომზე გადანაცვლებისა და შესაბამისი უჯრედული ონკოგენის გააქტიურების უნარი.

მაგრამ ავთვისებიანი სიმსივნის ზრდის გზაზე საჭიროა განვითარდეს სხვა პროცესებიც. ლეიკოზის საბოლოო სტადიაზე კიბოს უჯრედებში ვირუსის არც ერთი გენის (მათ შორის tat-გენის) ექსპრესია არ ხდება. ამრიგად, tat-გენის აქტიურობით განპირობებული ტრანსფორმაციის შედეგად ინფიცირებული უჯრედები უკვე თვითონ მრავლდებიან. მაგრამ იმისათვის, რომ ავთვისებიანი უჯრედები საბოლოოდ გამოჩნდეს მომდევნო გენერაციებში, საჭიროა გენეტიკური გარდაქმნების მეორე (შესაძლოა მესამეც) სტადია.

ლოგიკური იქნებოდა გვეფიქრა, რომ ანალოგიური მექანიზმები მოქმედებენ არავირუსული აგენტებით ტრანსფორმირებულ კიბოს უჯრედებშიც, ე.ი. სიმსივნის ყველა უჯრედი შეიცავს რაღაც გენების კრებულს (ონკოგენებს), რომელთა აქტიურობის გამოვლენა საჭიროა უჯრედის სიმსივნური თვისებების გამოვლენისათვის. არსებობს ნორმალური გენის ონკოგენში გარდაქმნის რამდენიმე მოლეკულური მექანიზმი. აქედან სამი აღწერს არავირუსული ბუნების აგენტებით, ხოლო მეოთხე რეტროვირუსებით გააქტიურების პროცესს.

1.წერტილოვანი მუტაცია, რომელიც მაიონიზებელი რადიაციის ან ქიმიური კანცეროგენის მოქმედების შედეგად ნორმალური უჯრედის პროტოონკოგენში მომხდარი მუტაციაა.

2.ქრომოსომული გადასვლები. ამ დროს პროტოონკოგენის თანმიმდევრობა შეიძლება შეუერთდეს სხვა გენის რეგულატორულ უბანს, რომელიც უფრო აქტიურად ტრანსკრიბირდება. შედეგად პროტოონკოგენი უფრო ეფექტურად ექსპრესირდება.

3.გენის ამპლიფიკაცია. ამ შემთხვევაში პროტოონკოგენების რიცხვი უჯრედში მკეთრად იზრდება, რაც განაპირობებს ექსპრესიის მაღალ დონეს და მასთან დაკავშირებულ ონკოგენურ ეფექტს.

4.რეტროვირუსით გააქტიურება.

ავთვისებიანი სიმსივნის ზრდა მრავალსტადიური პროცესია. ამასთან, ნორმალური უჯრედი სიმსივნურში გარდაქმნისას განიცდის მრავალ, ერთმანეთისაგან დამოუკიდებელ ცვლილებებს. წერტილოვანი მუტაცია, რომელიც იწვევს ერთ ცილაში ამინომჟავას შეცვლას, მხოლოდ ერთი გენის მონაწილეობით მიმდინარე ერთ-ერთი სტადიაა. ონკოგენის წარმოქმნა სიმსივნის განვითარების მნიშვნელოვანი, მაგრამ არასაკმარისი პირობაა. არსებობს სხვა აუცილებელი სტადიებიც. ავთვისებიანი სიმ-

სიენის ზრდის მრავალსტადიურობა ნაწილობრივ აიხსნება რამდენიმე ონკოგენის გააქტიურებით: თითოეული ონკოგენი უჯრედში მისთვის დამახასიათებელ ცვლილებებს იწვევს, ხოლო სიმსივნე წარმოიქმნება მათი ურთიერთქმედების შედეგად.

ნაწილი II. გამრავლება

გამრავლება ანუ რეპროდუქცია არის ცოცხალ ორგანიზმთა ერთ-ერთი ძირითადი თვისება – წარმოქმნან თავისივე მსგავსი ახალი ინდივიდები. იგი უზრუნველყოფს მემკვიდრული ინფორმაციის გადაცემას თაობათა მონაცვლეობისას. ყოველი მომდევნო თაობა წინა თაობის (მშობლების) გამრავლების შედეგად წარმოიქმნება. ნებისმიერი სახეობა დისკრეტულია, ე.ი. შედგება ცალკეული ინდივიდებისაგან. სახეობის შემადგენელი თითოეული ინდივიდის სიცოცხლის ხანგრძლივობა უმნიშვნელოა სახეობის არსებობასთან შედარებით. გამრავლების შედეგად ხორციელდება თაობათა და სახეობის შენარჩუნება. იგი აპირობებს სიცოცხლის უწყვეტობას დედამიწაზე. გამრავლება ჩამოყალიბდა სიცოცხლის წარმოშობისთანავე, როგორც ცოცხალი სისტემის დამახასიათებელი უმთავრესი თვისება.

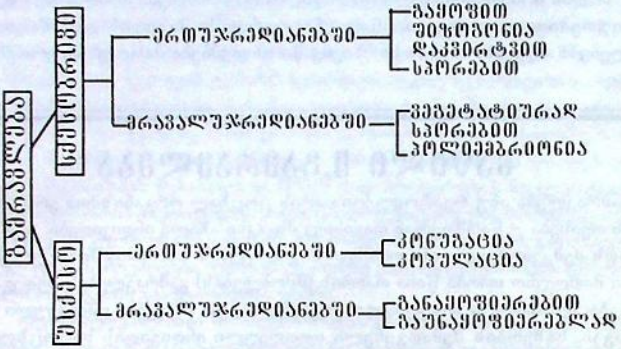
არჩევენ გამრავლების ორ ძირითად ფორმას: **უსქესოს** და **სქესობრივს.**

2.1. უსქესო გამრავლება

უსქესო გამრავლების დროს შთამომავლები მხოლოდ დედისეული ორგანიზმიდან წარმოიქმნებიან. შვილები გენეტიკურად მშობლის იდენტურნი არიან. ინდივიდთა შორის გენეტიკური განსხვავება სპონტანურად ინდუცირებული მუტაციის შედეგია (იხ.3.5). **ერთი მეშობლის მიერ წარმოქმნილ გენეტიკურად იდენტურ შთამომავლობას კლონი ეწოდება.** კლონის წევრებს შორის განსხვავებას მოდიფიკაციური ცვალებადობა იწვევს. უსქესო გამრავლების დროს, მასტაბილიზებელი გადარჩევის მოქმედებით უცვლელ საარსებო პირობებში ხდება ძველი, უკეთ შეგუებული ფორმების შენარჩუნება. გამოყოფენ უსქესო გამრავლების რამდენიმე ტიპს (იხ.ს.ურ.2-1).

გაყოფით გამრავლება. ამ გზით მრავლდებიან ერთუჯრედიანი პროკარიოტული და ეუკარიოტული ორგანიზმები. გაყოფას წინ უძღვის პროკარიოტებში ნუკლეოიდის, ხოლო ეუკარიოტებში ბირთვის გაყოფა. უმეტეს შემთხვევაში ხდება ბინალური გაყოფა, რომლის დროსაც ორი შვილეული უჯრედი ყალიბდება. ამგვარად მრავლდებიან ბაქტერიები, ერთუჯრედიანი წყალმცენარეები, მრავალი უმარტივესი, კერძოდ, სარკოდინების, შოლტიანებისა და ინფუზორიების ზოგიერთი წარმომადგენლები.

შიზოგონიის ანუ მრავლობითი გაყოფის დროს დედისეული უჯრედის ბირთვი თანმიმდევრულად სწრაფად იყოფა რამდენიმე ბირთვად. თითოეული მათგანისაგან ერთბირთვიანი შვილეული უჯრედები ყალიბდება. ამდაგვარად მრავლდება ზოგიერთი წყალმცენარე, უმარტივესებიდან ზოგიერთი სპორიანი, კერძოდ, მალარიის პლაზმოდიუმი.



სურ.2-1.ორგანიზმთა გამრავლების ფორმები

ერთუჯრედიანების **დაკვირტვით** გამრავლების დროს დედისეულ უჯრედს უჩნდება გამონაზარდი კვირტის სახით, რომელშიც გადადის ნუკლეოიდი ან ბირთვი. კვირტი თანდათანობით იზრდება და ზომით დედისეული უჯრედის ზომას აღწევს. იგი შორდება დედისეულ უჯრედს და დამოუკიდებლად ვითარდება. დაკვირტვით მრავლდება საფუარი სოკოები, ზოგიერთი ბაქტერია, უმარტივესებიდან – მწოველა ინფუზორიები.

სპორების წარმოქმნა (სპორულაცია). სპორა ერთბირთვიანი მიკროსკოპული ზომის რეპროდუქციული უჯრედია. იგი ჰაპლოიდია, რომელშიც მცირე რაოდენობითაა სამარაგო ნივთიერებები. ზოგიერთ ორგანიზმში სპორები დიდი რაოდენობით წარმოიქმნება, აქვს მცირე მასა და ადვილად ვრცელდება ქარის ან ცხოველების მეშვეობით. ერთუჯრედიანებიდან სპორებით მრავლდებიან სპორიანები, ერთუჯრედიანი წყალმცენარეები და სოკოები, მრავალუჯრედიანებიდან ხავსნაირები, გვიმრანაირები და სხვ.

ვეგეტატიური გამრავლების დროს ახალი ინდივიდების წარმოქმნა ხდება დედისეული სხეულის ნაწილიდან. ~~ზოგიერთ პოლიპებში ვეგეტატიურ გამრავლებას უსქესო გამრავლების მნიშვნელობით ხშირობს.~~ ბუნებაში ვეგეტატიური გამრავლების ნაირგვარი ხერხი არსებობს. ამ გზით მრავლდებიან პრიმიტიული ცხოველები, ზოგიერთი უმაღლესი და უმაღლესი მცენარე. **დაკვირტვით** გამრავლება ნიშანდობლივია ღრუბლებისა და ნაწლავღრუიანებისათვის. მაგ. ჰიდრას უჩნდება კვირტი, რომლის კედელი ექტოდერმისა და ენტოდერმისაგან შედგება. მისგან თანდათანობით ფორმირდება დედისეული ორგანიზმის მსგავსი ინდივიდი. იგი მოცილების შემდეგ დამოუკიდებელ ცხოვრებას იწყებს. **ფრაგმენტაციის** (სხეულის დაყოფა ნაწილებად) დროს დედისეული სხეული ორ ან მეტ ნაწილად იყოფა. თითოეული ძაოკანი აღადგენს დაკარგულ ნაწილს და ხრდასრულ ზომას აღწევს. ფრაგმენტაციის გზით მრავლდება ზოგიერთი ნაწლავღრუიანი, ბრტყელი და რგოლოვანი ჭია, ეკალკანიანი და სხვ. ვეგეტატიური ორგანოებით მრავლდება ზოგი-

ეროი უმაღლესი მცენარე (მაგ. ფესურა, ბოლქვი, ტუბერი, ბუკალი და მისთ.).

უსქესო გამრავლების თავისებური ტიპია **პოლიემბრიონია**. ამდაგვარი გამრავლების დროს ემბრიონი რამდენიმე ნაწილად იყოფა და თითოეული მათგანიდან დამოუკიდებელი ორგანიზმი ყალიბდება. პოლიემბრიონიას ვხვდებით მწერებში, კერძოდ, მხედრებში. ძუძუმწოვრებიდან – ჯაგუშნიანებში. ამ გზით წარმოიქმნება ძუძუმწოვრებში, მათ შორის ადამიანში მონოზიგოტური ტყუპები (იხ. თავი 3.12).

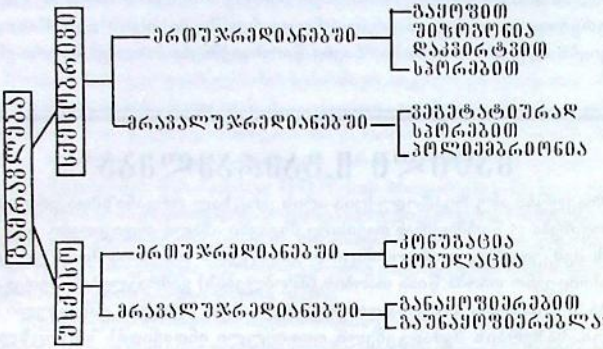
სიცოცხლის განვითარების პროცესში უსქესო გამრავლება გაცილებით ადრე ჩამოყალიბდა. იგი 3 მილიარდ წელზე მეტია, რაც ორგანულ სამყაროში არსებობს და ორგანული სამყაროს თითქმის ყველა ძირითად ჯგუფში გვხვდება. უსქესო გამრავლება ხელს უწყობს როგორც ინდივიდთა რიცხოვნობის ზრდას, ისე მათ განსახლებას. უძრავ (მჯდომარე) და ნაკლებ მოძრავ ორგანიზმებში გაძნელებულია გამეტების შეხვედრა. ინდივიდთა მხოლოდ სქესობრივი გამრავლების შემთხვევაში მათი რიცხოვნობა შემცირდებოდა. უსქესო გამრავლების მნიშვნელობა იმაშიც გამოიხატება, რომ შვილეული ორგანიზმი, რომელიც მშობელთან არის დაკავშირებული, ეფექტურად იყენებს ენერგიას და დიდ ხომას აღწევს. გაცილებით მეტია ალბათობა, რომ ასეთი ორგანიზმი გადარჩეს არსებობისათვის ბრძოლაში და რეპროდუქციულ ასაკს მიაღწიოს.

2.2. სქესობრივი გამრავლება

გამრავლების მეორე ფორმა არის სქესობრივი გამრავლება. მასში მონაწილეობს ორი ინდივიდი, რომელშიც ყალიბდება ჰაპლოიდური ქრომოსომული კომპლექტის მქონე სასქესო უჯრედები – გამეტები. ეს უკანასკნელი ორი ტიპისაა: მდედრობითი და მამრობითი, მათი ურთიერთშერწყმით მიიღება დიპლოიდური ზიგოტა, საიდანაც ახალი ორგანიზმი ვითარდება. პრიმიტიულ ორგანიზმებში კი გამეტები მხოლოდ ერთი ტიპისაა.

სქესობრივი გამრავლების დროს მიმდინარეობს ორი სხვადასხვა ორგანიზმის გენეტიკური მასალის გადანაწილება (რეკომბინაცია) შთამომავლობაში. სქესობრივი გამრავლება საფუძვლად უდევს კომბინაციურ ცვალებადობას. პოპულაციაში წარმოიქმნება გენეტიკურად განსხვავებული ფორმები. ამრიგად მიიღება მრავალფეროვანი საწყისი მასალა ბუნებრივი გადარჩევისათვის. ევოლუციის პროცესში სქესობრივი გამრავლება, უსქესო გამრავლებასთან შედარებით, გვიან ჩამოყალიბდა. მისი შემწეობით გაიზარდა როგორც მემკვიდრული ცვალებადობის დონე, ისე ევოლუციის ტემპი. ამით აიხსნება სქესობრივი გამრავლების საყოველთაო გავრცელებაც ორგანულ სამყაროში. ეროუჯრედიანებში სქესობრივი გამრავლების ორი ძირითადი ფორმა გვხვდება: კონუგაცია და კოპულაცია.

კონიუგაცია სქესობრივი გამრავლების თავისებური ფორმაა. იგი გვხვდება ინფუზორიებში. ინფუზორიას აქვს ორი ბირთვი: დიდი – მაკრონუკლეუსი და პატარა – მიკრონუკლეუსი. კონუგაციის დროს ორი ინფუზორია უახლოვდება ერთიმეორეს. ისინი პირის ჩრელით ეკვრიან და ციტოპლაზმური ხიდაკით ერთდებიან. თითოეულ ინდივიდში მაკრონუკლეუსი იშლება. მიკრონუკლეუსიდან მეიოზის შედეგად ოთხი ჰაპლოიდი ბირთვი მიიღება. სამი ბირთვი იშლება, ერთი რჩება. ეს უკანასკნელი



სურ.2-ორგანიზმთა გამრავლების ფორმები

ერთუჯრედიანების **დაკვირტვით** გამრავლების დროს დედისეულ უჯრედს უჩნდება გამონაზარდი კვირტის სახით, რომელშიც გადადის ნუკლეოიდი ან ბირთვი. კვირტი თანდათანობით იზრდება და ზომით დედისეული უჯრედის ზომას აღწევს. იგი შორდება დედისეულ უჯრედს და დამოუკიდებლად ვითარდება. დაკვირტვით მრავლდება საფუარი სოკოები, ზოგიერთი ბაქტერია, უმარტივესებიდან – მწოველა ინფუზორიები.

სპორების წარმოქმნა (სპორულაცია). სპორა ერთბირთვიანი მიკროსკოპული ზომის რეპროდუქციული უჯრედია. იგი ჰაპლოიდია, რომელშიც მცირე რაოდენობითაა საძარაგო ნივთიერებები. ზოგიერთ ორგანიზმში სპორები დიდი რაოდენობით წარმოიქმნება, აქვს მცირე მასა და ადვილად ვრცელდება ქარის ან ცხოველების მეშვეობით. ერთუჯრედიანებიდან სპორებით მრავლდებიან სპორიანები, ერთუჯრედიანი წყალმცენარეები და სოკოები, მრავალუჯრედიანებიდან ხავსნაირები, გვიმრანაირები და სხვ.

ვეგეტატიური გამრავლების დროს ახალი ინდივიდების წარმოქმნა ხდება დედისეული სხეულის ნაწილიდან. ~~სხვადასხვა ხასიათის ვეგეტატიურ გამრავლებას~~ ~~უსქესო გამრავლების მნიშვნელობით ხმარობს.~~ ბუნებაში ვეგეტატიური გამრავლების ნაირგვარი ხერხი არსებობს. ამ გზით მრავლდებიან პრიმიტიული ცხოველები, ზოგიერთი უმდაბლესი და უმაღლესი მცენარე. **დაკვირტვით** გამრავლება ნიშანდობლივია ღრუბლებისა და ნაწლავღრუიანებისათვის. მაგ. ჰიდრას უჩნდება კვირტი, რომლის კედელი ექტოდერმისა და ენტოდერმისაგან შედგება. მისგან თანდათანობით ფორმირდება დედისეული ორგანიზმის მსგავსი ინდივიდი. იგი მოცილების შემდეგ დამოუკიდებელ ცხოვრებას იწყებს. **ფრაგმენტაციის** (სხეულის დაყოფა ნაწილებად) დროს დედისეული სხეული ორ ან მეტ ნაწილად იყოფა. თითოეული მათგანი აღადგენს დაკარგულ ნაწილს და ხრდასრულ ზომას აღწევს. ფრაგმენტაციის გზით მრავლდება ზოგიერთი ნაწლავღრუიანი, ბრტყელი და რგოლოვანი ჭია, ეკალკანიანი და სხვ. ვეგეტატიური ორგანოებით მრავლდება ზოგი-

ერთი უმაღლესი მცენარე (მაგ. ფესურა, ბოლქვი, ტუბერი, პწკალი და მისთ.).

უსქესო გამრავლების თავისებური ტიპია პოლიემბრიონია. ამდაგვარი გამრავლების დროს ემბრიონი რამდენიმე ნაწილად იყოფა და თითოეული მათგანიდან დამოუკიდებელი ორგანიზმი ყალიბდება. პოლიემბრიონიას ვხვდებით მწერებში, კერძოდ, მხედრებში. ძუძუმწოვრებიდან – ჯავშნიანებში. ამ გზით წარმოიქმნება ძუძუმწოვრებში, მათ შორის ადამიანში მონოზიგოტური ტყუპები (იხ. თავი 3.12).

სიცოცხლის განვითარების პროცესში უსქესო გამრავლება გაცილებით ადრე ჩამოყალიბდა. იგი 3 მილიარდ წელზე მეტია, რაც ორგანულ სამყაროში არსებობს და ორგანული სამყაროს თითქმის ყველა ძირითად ჯგუფში გვხვდება. უსქესო გამრავლება ხელს უწყობს როგორც ინდივიდთა რიცხოვნობის ზრდას, ისე მათ განსახლებას. უძრავ (მჯდომარე) და ნაკლებ მოძრავ ორგანიზმებში გაძნელებულია გაშეტების შეხვედრა. ინდივიდთა მხოლოდ სქესობრივი გამრავლების შემთხვევაში მათი რიცხოვნობა შემცირდებოდა. უსქესო გამრავლების მნიშვნელობა იმაშიც გამოიხატება, რომ შვილეული ორგანიზმი, რომელიც მშობელთან არის დაკავშირებული, ეფექტურად იყენებს ენერგიას და დიდ ზომას აღწევს გაცილებით მეტია ალბათობა, რომ ასეთი ორგანიზმი გადარჩეს არსებობისათვის ბრძოლაში და რეპროდუქციულ ასაკს მიაღწიოს.

2.2. სქესობრივი გამრავლება

გამრავლების მეორე ფორმა არის სქესობრივი გამრავლება. მასში მონაწილეობს ორი ინდივიდი, რომელშიც ყალიბდება ჰაპლოიდური ქრომოსომული კომპლექტის მქონე სასქესო უჯრედები – გამეტები. ეს უკანასკნელი ორი ტიპისაა: მდედრობითი და მამრობითი, მათი უროიერთშერწყმით მიიღება დიპლოიდური ზიგოტა, საიდანაც ახალი ორგანიზმი ვითარდება. პრიმიტიულ ორგანიზმებში კი გამეტები მხოლოდ ერთი ტიპისაა.

სქესობრივი გამრავლების დროს მიმდინარეობს ორი სხვადასხვა ორგანიზმის გენეტიკური მასალის გადანაწილება (რეკომბინაცია) შთამომავლობაში. სქესობრივი გამრავლება საფუძვლად უდევს კომბინაციურ ცვალებადობას. პოპულაციაში წარმოიქმნება გენეტიკურად განსხვავებული ფორმები. ამრიგად მიიღება მრავალფეროვანი საწყისი მასალა ბუნებრივი გადარჩევისათვის. ევოლუციის პროცესში სქესობრივი გამრავლება, უსქესო გამრავლებასთან შედარებით, გვიან ჩამოყალიბდა. მისი შემწეობით გაიზარდა როგორც მემკვიდრული ცვალებადობის დონე, ისე ევოლუციის ტემპი. ამით აიხსნება სქესობრივი გამრავლების საყოველთაო გავრცელებაც ორგანულ სამყაროში. ეროუჯრედიანებში სქესობრივი გამრავლების ორი ძირითადი ფორმა გვხვდება: კონუგაცია და კოპულაცია.

კონიუგაცია სქესობრივი გამრავლების თავისებური ფორმაა. იგი გვხვდება ინფუზორიებში. ინფუზორიას აქვს ორი ბირთვი: დიდი – მაკრონუკლეუსი და პატარა – მიკრონუკლეუსი. კონუგაციის დროს ორი ინფუზორია უახლოვდება ერთიმეორეს. ისინი პირის ჯერლით ეკვრიან და ციტოპლაზმური ხიდაკით ერთდებიან. თითოეულ ინდივიდში მაკრონუკლეუსი იშლება. მიკრონუკლეუსიდან მეიოზის შედეგად ოთხი ჰაპლოიდი ბირთვი მიიღება. სამი ბირთვი იშლება, ერთი რჩება. ეს უკანასკნელი

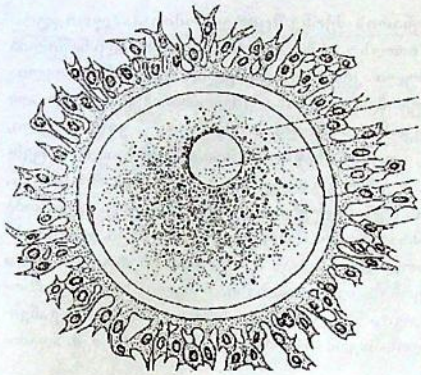
მიტოზის გზით იყოფა და ორი ბირთვი ყალიბდება: სტაციონარული და მიგრირებადი. ციტოპლაზმური ხიდაკის გავლით ხდება მიგრირებადი ბირთვების მიმოცვლა. სტაციონარული და პარტნიორისაგან გადმოსული მიგრირებადი ბირთვები ერთიმეორეს ერწყმიან და მიიღება სინკარიონი, რომელსაც ქრომოსომათა დიპლოიდური რაოდენობა აქვს. თითოეულ ინდივიდში რთული გარდაქმნის გზით ყალიბდება მიკრო– და მაკრონუკლეუსი. კონუგაციის შემდეგ ინდივიდები ერთიმეორეს სცილდებიან. თითოეული მათგანი უსქესო გამრავლებას იწყებს.

კონუგაცია გვხვდება ბაქტერიებში. ორი ბაქტერია ერთიმეორეს უკავშირდება ციტოპლაზმური ხიდაკით. ერთი ბაქტერიიდან (F+, დონორი; აქვს ფერტილობის განმსაზღვრელი და მაკონტროლებელი გენების მქონე პლაზმიდა) გენეტიკური ინფორმაცია ცალმხრივად გადაეცემა მეორე (F–, რეციპიენტი; ამდაგვარი პლაზმიდა არ გააჩნია) ბაქტერიას. კონუგაციის დროს ინდივიდთა რიცხვი უცვლელია, მხოლოდ გენეტიკური მასალის გაცვლა და რეკომბინაცია ხდება.

ჯოჯულაციას ვხვდებით ზოგიერთ ერთუჯრედიან ორგანიზმში. ამ დროს ერთუჯრედიან ორგანიზმებში მეიოზის შედეგად ყალიბდება ჰაპლოიდური ქრომოსომული კომპლექტის მქონე გამეტები, რომელთა ურთიერთ შერწყმით მიიღება დიპლოიდური ზიგოტა. ზოგიერთ ერთუჯრედიან ორგანიზმში წარმოქმნილი გამეტები მორფოლოგიურად (ფენოტიპურად) მსგავსია, გამეტები მხოლოდ გენეტიკურად განსხვავდებიან. ისინი შეიცავენ სქესის განმსაზღვრელ განსხვავებულ დეტერმინანტებს. ერთიმეორეს ერწყმის განსხვავებული სქესის განმსაზღვრელი გენების მქონე გამეტები. სქესობრივი გამრავლების იმ უმარტივეს ფორმას, რომლის დროსაც ხდება მორფოლოგიურად მსგავსი გამეტების ურთიერთშერწყმა, **იზოგამია** ეწოდება. იგი გვხვდება უმარტივესებში (ფესვფეხიანები, რადიოლარიები და სხვ.). ზოგიერთ ერთუჯრედიან წყალმცენარესა და უმდაბლეს სოკოში წარმოიქმნება მორფოლოგიურად განსხვავებული მოძრავი გამეტები. სქესობრივ პროცესს, რომლის დროსაც ერთმანეთს ერწყმიან შედარებით დიფერენცირებული და ერთმანეთისაგან განსხვავებული გამეტები **ანიზოგამია** ეწოდება. **ოოგამიის** დროს ერთ-ერთ ორგანიზმში წარმოიქმნება დიდი ზომის, უძრავი (მდედრობითი), მეორეში კი მცირე ზომის მოძრავი (მამრობითი) გამეტები, იგი გვხვდება ზოგიერთ შოლტოსან ორგანიზმებში (მაგ. ვოლვოქსი).

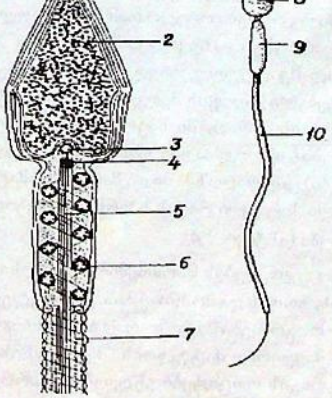
მრავალუჯრედიან ცხოველთა უმეტესობა მხოლოდ სქესობრივად მრავლდება. სახეობებს, რომლებშიც დამოუკიდებლად არსებობენ მდედრობითი და მამრობითი ინდივიდები, ცალსქესიანი ეწოდება. ამდაგვარია ცხოველთა დიდი ნაწილი და ადამიანი. ზოგიერთ შემოხვევაში სხვადასხვა სქესის ინდივიდები გარეგნობით განსხვავდებიან ერთმანეთისაგან, ე.ი. აღინიშნება სქესობრივი დიმორფიზმი. ზოგიერთი სახეობის ერთსა და იმავე ინდივიდში ყალიბდება მდედრობითი და მამრობითი გამეტები. ასეთ ორგანიზმს ჰერმაფროდიტს უწოდებენ. ჰერმაფროდიტიზმში სქესობრივი გამრავლების პრიმიტიულ ფორმადაა მიჩნეული. იგი ევოლუციურად დაბალ საფეხურზე მდგომ ფორმებში გვხვდება. კერძოდ, მჯდომარე, ნაკლებად მოძრავ და პარაზიტული ნირის ცხოველებში. მაგ. ზოგიერთ ნაწლავღრუიანებში, თასმა ჭიებში, რგოლოვან ჭიებში, ხმელეთის მოლუსკში (Helix) და სხვ.

მრავალუჯრედიან ცხოველებში გამეტები სასქესო ჯირკვლებში წარმოიქმნება,



სურ.2.2.ძუძუმწოვრების კვერცხუჯრედის აგებულება: 1.ციტოპლაზმა; 2.ბირთვი; 3.გარსი; 4.ფოლიკულური უჯრედები

კვერცხუჯრედები – საკვერცხეებში, სპერმატოზოიდები – სათესლეებში. კვერცხუჯრედი სფერული ან ოვალური ფორმისაა (იხ.სურ.2.2). კვერცხუჯრედი ზომით ჭარბობს როგორც სხვა უჯრედებს, ისე სპერმატოზოიდებს. ზოგიერთი ცხიმონაკლისის გარდა, კვერცხუჯრედი დაფარულია გარსებით. მასში გროვდება ჩანასახისათვის საჭირო საკვები მასალა – ყვითრი. კვერცხუჯრედის ზომა სხვადასხვა სახეობის ცხოველში ვარირებს ყვითრის რაოდენობის მიხედვით. კვერცხისმდებელ ცხოველებში კვერცხუჯრედი გაცილებით დიდი ზომისაა, ვიდრე ცოცხლადმშობ ცხოველებში. პლაცენტიანი ძუძუმწოვრების კვერცხუჯრედი შცირე ზომისაა, მისი ზომა 50-180 მკმ შეადგენს, ადამიანში 89-91 მკმ-ია. ზოგიერთ კვერცხისმდებელ ცხოველში კვერცხუჯრედი საკმაოდ დიდი ზომისაა. მაგ. მექაშაყე ხვიგენში კვერცხუჯრედის სიგრძე 29 სმ-ია, სირაქლემას კვერცხის დიამეტრი 10,5 სმ-ია, ქათმისა კი 3,5 სმ.



სურ.2.3.ძუძუმწოვრის სპერმატოზოიდის აგებულების სქემა: 1.აკროსომა; 2.ბირთვი; 3,4.ცენტრიოლები; 5.ღერძული ძაფი; 6.თანმხლები ბირთვი; 7,10.კუდი; 8.თავი; 9.შუანაწილი. მარჯვენივ ნაჩვენებია სპერმატოზოიდის საერთო ფორმა

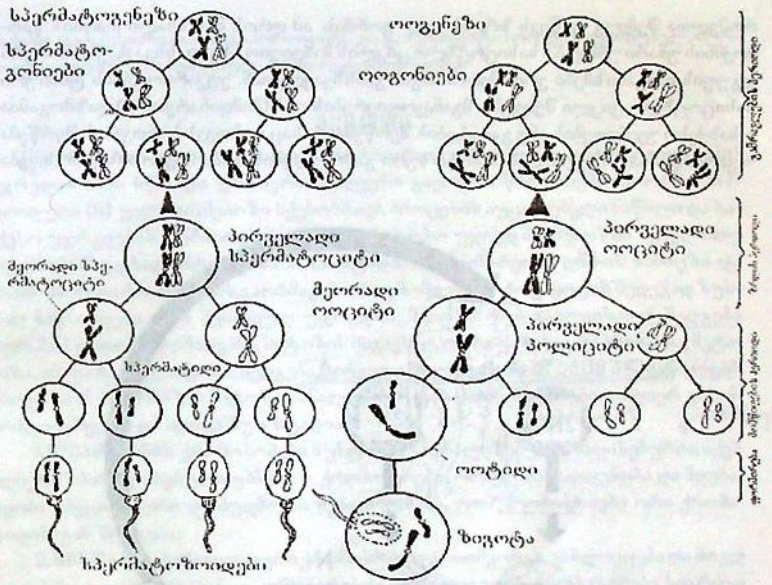
სპერმატოზოიდი მოძრაობის უნარის მქონე მცირე ზომის ჰაპლოიდური უჯრედია. ძუძუმწოვრების სპერმატოზოიდს გააჩნია თავი. მისი ძირითადი ნაწილია ბირთვი და მის აპიკალურად მოთავსებული აკროსომა, რომელიც შემოსაზღვრულია მემბრანით და შეიცავს ჰიდროლიზურ ფერმენტებს. მისი მეშვეობით სპერმატოზოიდი იჭრება კვერცხუჯრედში. ზოგჯერ სპერმატოზოიდის თავს მოსდევს ვიწრო ყელი, რომლის შემდეგ მდებარეობს შუა ნაწილი. შუა ნაწილში მოთავსებულია ორი ცენტრიოლი. მას გარშემო აკრავს სპირალურად განლაგებული მიტოქონდრიები, ე.წ. თანმხლები ბირთვი. სპერმატოზოიდის მეტაბოლური და ენერგეტიკული აქტივობა ამ უბანთანაა დაკავშირებული. კუდის მთავარი ელემენტია ღერძული ძაფი. იგი იწყება შუა ნაწილში მოთავსებული ცენტრიოლიდან. კუდის მეშვეობით სპერმატოზოიდი მოძრაობს (სურ.2.3). თითოეული სახეობისათვის დამახასიათებელია სპერმატოზოიდის განსაზღვრული ფორმა და ზომა. იგი არ არის დამოკიდებული ცხოველის განვითარების დონესა და ზომაზე (მაგ. ბეღლის სპერმატოზოიდის სიგრძეა 65 მკმ, ადამიანისა – 50-60 მკმ, ბელურისა 200 მკმ).

2.1 გამეტოგენეზი

სასქესო უჯრედების ანუ გამეტების წარმოქმნის პროცესს **გამეტოგენეზი** ეწოდება. გამეტოგენეზი მრავალუჯრედიან ცხოველებში სპეციალურ ორგანოებში –სასქესო ჯირკვლებში მიმდინარეობს. გამეტოგენეზის შედეგად ყალიბდება სპეციალიზებული ჰაპლოიდი უჯრედები, რომელთა მთავარი ფუნქციაა მემკვიდრული მასალის შთამომავლობით გადაცემა.

სპერმატოგენეზი არის მამრობითი სასქესო უჯრედების წარმოქმნის პროცესი. იგი გამრავლების, ზრდის, მომწიფების და ფორმირების პერიოდებისაგან შედგება. გამრავლების პერიოდში დიპლოიდი პირველადი სასქესო უჯრედები – სპერმატოგონიები მიტოზურად იყოფა, რის შედეგად მათი რიცხვი იზრდება. შემდეგ სპერმატოგონიები შედიან ზრდის პერიოდში. ისინი ინტენსიურად იზრდებიან. მათ პირველი რიგის სპერმატოციტები ეწოდებათ. მათი გენეტიკური აპარატი რედუქციისათვის ემზადება. მომწიფების პერიოდში უჯრედები ორჯერ თანმიმდევრულად იყოფა (მეიოზი), რის გამოც ქრომოსომათა რიცხვი ნახევრდება. პირველი მოსამწიფებელი გაყოფის შედეგად წარმოქმნილ შვილეულ უჯრედებს მეორე რიგის სპერმატოციტები ეწოდება, მეორე მოსამწიფებელი გაყოფის შედეგად მიღებულ უჯრედებს კი სპერმატიდები. მეოთხე ფორმირების პერიოდში სპერმატიდები სპერმატოზოიდებად გარდაიქმნებიან. სპერმატიდები ჩაფლულია სპეციფიკური უჯრედის (სუსტენტოციტები ანუ სერტოლის უჯრედები) ციტოპლაზმაში და მათი სპერმატოზოიდებად გარდაქმნა ხდება. ამრიგად, ყოველი პირველი რიგის სპერმატოციტიდან ოთხი ტოლფასოვანი სპერმატოზოიდი მიიღება (იხ.სურ.2.4).

ოოგენეზი არის მდედრობითი სასქესო უჯრედების წარმოქმნის პროცესი და მასში გამოყოფენ სამ პერიოდს: გამრავლების, ზრდის და მომწიფების. გამრავლების პერიოდში პირველადი სასქესო უჯრედები – ოოგონიები მიტოზურად ინტენსიურად იყოფიან, რის შედეგადაც მათი რაოდენობა მკვეთრად მატულობს. შემდგომ ისინი შედიან ზრდის პერიოდში და მათ პირველი რიგის ოოციტები ეწოდებათ. ბირთვის



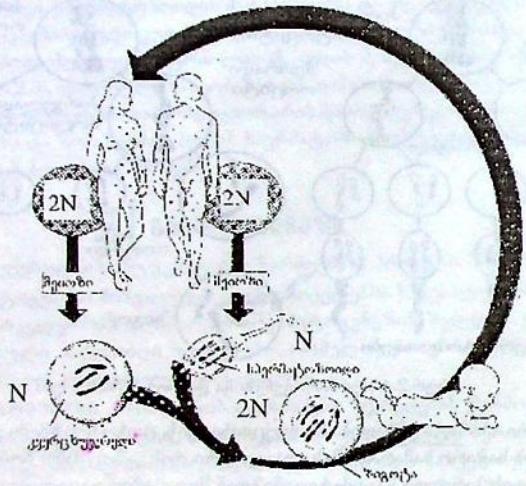
სურ.2.4.სპერმატოგენეზისა და ოოგენეზის სქემა

გენეტიკური აპარატი ემზადება რედუქციისათვის, ციტოპლაზმაში გროვდება ჩანასახისათვის საჭირო სამარაგო მასალა–ყვითრი, რის გამოც ძაძი ზომა მკვეთრად იზრდება. ზრდის პერიოდი სპერმატოგენეზთან შედარებით გაცილებით ხანგრძლივია. მომწიფების პერიოდში პირველი რიგის ოოციტი ორჯერ თანმიმდევრულად იყოფა (მეიოზი). პირველი გაყოფის შედეგად მიიღება დიდი ზომის მეორე რიგის ოოციტი და მცირე ზომის პირველი რიგის მიმართულებითი სხეულაკი (პოლიციტი). ასევე მეორე გაყოფის დროს მეორე რიგის ოოციტი არათანაბრად იყოფა: მიიღება დიდი ზომის უჯრედი–ოოტიდი და მცირე ზომის უჯრედი – მეორე რიგის მიმართულებითი სხეულაკი (პოლიციტი). ამ პერიოდში პირველი რიგის მიმართულებითი სხეულაკი ასწრებს გაყოფას და მეორე რიგის პოლიციტი წარმოიქმნება. მომწიფების პერიოდის ბოლოს თითოეული პირველი რიგის ოოციტიდან მიიღება ოთხი ჰაპლოიდი უჯრედი. ერთი დიდი ზომის უჯრედი, რომელიც კვერცხუჯრედად ყალიბდება და სამი მცირე ზომის - უჯრედი მეორე რიგის მიმართულებითი სხეულაკი. ეს უკანასკნელი უმეტეს შემთხვევაში იშლება.

სასიცოცხლო ციკლი

სასიცოცხლო ციკლი არის განვითარების ფაზათა ერთობლიობა, რომელსაც კონკრეტული სახეობის ინდივიდები ერთი თაობის, ზიგოტიდან მომდევნო თაობის ზიგოტამდე გადიან. ყოველი ინდივიდი გაიელის განვითარების გარკვეულ ფაზებს,

რომელთა შემდეგ აღწევს ზრდასრულ ფორმას. ამ დროს მას ახალი თაობის წარმოქმნის უნარი უჩნდება. სასიცოცხლო ციკლის მიხედვით სხვადასხვა ტაქსონომური ჯგუფის ორგანიზმები ერთიმეორისაგან განსხვავდებიან. ეუკარიოტების ტიპიური სასიცოცხლო ციკლი შედგება: 1)განაყოფიერებისაგან (მიმდინარეობს პლაზმოგამია – სასქესო უჯრედების ანუ გამეტების შერწყმა, რასაც მოსდევს ბირთვების შერწყმა – კარიოგამია); 2)უჯრედების მიტოზური გამრავლებისაგან; 3)მეიოზისაგან (ხდება



სურ.2.5.ადამიანის სასიცოცხლო ციკლი

ქრომოსომათა რედუქცია და რეკომბინაცია) (სურ.2.5).

სქესობრივი გზით გამრავლების უნარის მქონე ორგანიზმების სასიცოცხლო ციკლში ერთმანეთს ენაცვლება ჰაპლოიდური და დიპლოიდური ფაზები. მრავალუჯრედიან ცხოველებში დიპლოფაზა მეტად ხანგრძლივია, ჰაპლოფაზა კი–ხანმოკლე (წარმოდგენილია სპერმატოზოიდითა და კვერცხუჯრედით). დიპლოფაზის განვითარება შეიძლება იყოს მარტივი ან რთული (მეტამორფოზიანი). მეტამორფოზული განვითარებისას ინდივიდი გაივლის ნაირგვარ სტადიებს (მაგ. პეპლები – კვერცხის, ლარვის, ჭუპრის, იმაგოს სტადიებს). ყვავილოვან მცენარეებში ასევე ძალზე რედუცირებულია ჰაპლოფაზის (გამეტოფიტის) ხანგრძლივობა. დიპლოფაზას (სპოროფიტს) კი მთელი მცენარე წარმოადგენს. სასიცოცხლო ციკლი რთულია იმ ორგანიზმებში, სადაც სქესიანი თაობა უსქესო თაობას ენაცვლება. ამ შემთხვევაში აღინიშნება თაობათა მორიგეობა. ზოგიერთ სახეობაში უსქესო და სქესიანი თაობა ორ დამოუკიდებელ ორგანიზმად ვითარდება. ისინი მორფოლოგიურად მკვეთრად განსხვავდებიან ერთმანეთისაგან (მაგ. ბრტყელი ჭიები), ასევე გვიმრანაირებში

უსქესო და სქესიანი თაობა (სპოროფიტი და გამეტოფიტი) ორ დამოუკიდებელ, მორფოლოგიურად განსხვავებულ, მცენარედ ვითარდება.

მეიოზი

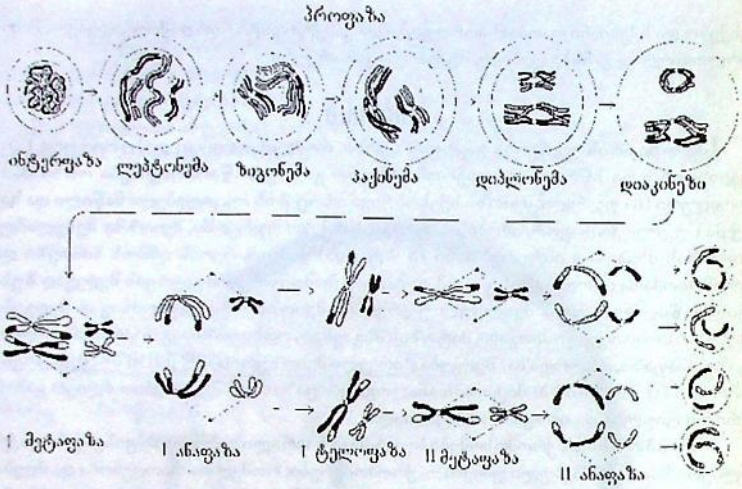
მეიოზი არის უჯრედის გაყოფის ხერხი, რომლის დროსაც დიპლოიდური (2n) უჯრედის ორი სწრაფი ურთიერთმიმდევნო გაყოფით წარმოიქმნება ოთხი ჰაპლოიდური (n) უჯრედი. მეიოზი სქესობრივი პროცესის აუცილებელი ნაწილი და სასქესო უჯრედების ფორმირების პირობაა. სასქესო უჯრედში, მეიოზში შესვლამდე მიტოზის მსგავსად ინტერფაზაში (S სტადია) მიმდინარეობს დნმ-ის სინთეზი და ქრომოსომათა რაოდენობის გაორმაგება, რაც მომდევნო ორი გაყოფის შედეგად ზუსტად ნაწილდება ოთხ შვილეულ უჯრედში. მეიოზი ორი გაყოფისაგან შედგება (სურ.2.6). თითოეული მათგანი, მიტოზის მსგავსად, ოთხი ფაზისაგან (პროფაზა, მეტაფაზა, ანაფაზა, ტელოფაზა) შედგება. პირველი მეიოზური (რედუქციული) გაყოფის პროფაზა (I პროფაზა) მიტოზის ანალოგიურ ფაზასთან შედარებით ძლიერ გახანგრძლივებულია და იყოფა ხუთ სტადიად:

1. ლეპტონემა. ქრომოსომები სუსტადაა სპირალიზებული, ძაფისებურია, აქვს ძლიერი სპირალიზებული უბნები – ქრომომერები, რომელთა რაოდენობა და მდებარეობა სპეციფიკური და მუდმივია. მკაფიოდ ჩანს, რომ ქრომოსომები ორი ქრომატიდისაგან შედგება;

2. ზიგონემა. ჰომოლოგიური ქრომოსომები ერთიმეორეს უახლოვდება და მთელ სიგრძეზე უკავშირდებიან – კონუგირებენ. ჰომოლოგიური ქრომოსომები სიგრძით ტოლია და მათ ცენტრომერებს ერთნაირი მდებარეობა აქვთ. ჰომოლოგიურ ქრომოსომებს ჰომოლოგიური ლოკუსები აქვთ. კონუგაციისას ჰომოლოგიური ლოკუსები ზუსტად ემთხვევა ერთიმეორეს. ჰომოლოგიურ ქრომოსომებში განლაგებული მსგავსი ქრომომერები ერთიმეორის გვერდითაა მოთავსებული, კონუგაცია ანუ სინაფსისი ქრომომერების რამდენიმე წერტილში ხდება, ხოლო შემდეგ მთელ ქრომოსომაზე ვრცელდება. დაწყვილებულ კონუგირებულ ქრომოსომებს ბივალენტებს უწოდებენ. ბივალენტები მოკლდებიან და სქელდებიან. ამ სტადიაზე ყალიბდება სინაპტონემური კომპლექსი. იგი ბივალენტის შემადგენელი ნაწილია და ორ კონუგირებულ ჰომოლოგიურ ქრომოსომას შორის მდებარეობს. ჰომოლოგიური ქრომოსომების ურთიერთდაკავშირება სინაპტონემური კომპლექსით ხორციელდება. იგი ამ ქრომოსომებში ლოკალიზებულ ჰომოლოგიური ლოკუსების ზუსტ თანხდომას უზრუნველყოფს.

3. პაქინემა. ქრომოსომები შემდგომი კონდენსაციის გამო მსხვილდება და მოკლდება და კარგად მოსჩანს ოთხი ქრომატიდისაგან შემდგარი ბივალენტი ანუ კონუგირებული ქრომოსომები. ბივალენტთა რაოდენობა ქრომოსომათა ჰაპლოიდური რიცხვის ტოლია. ამ სტადიაში სრულდება სინაპტონემური კომპლექსის ფორმირება. ზიგონემასა და პაქინემაში მიმდინარეობს დნმ-ის მცირე რაოდენობით (შესაბამისად 0,3% და 0,1%) სინთეზი. პაქინემაში ხდება უმნიშვნელოვანესი პროცესი – ჰომოლოგიურ ქრომოსომათა შორის უბნების გაცვლა ანუ კროსინგოვერი. იგი ციტოლოგიურად მომდევნო სტადიაზე ვლინდება.

4. დიპლონემა. კონუგირებული ქრომოსომები იწყებენ დაცილებას, რაც



სურ.2.6.მეიოზური გაყოფის სქემა

მთლიანი არ არის ზოგიერთ უბანში მათი ურთიერთდაშორების გამო. წარმოიქმნება ბერძნული ასოს χ–ს მსგავსი ფიგურები, ე.წ. ქიაზმები. იგი კროსინგოვერის ციტოლოგიური გამოვლინებაა. ქიაზმები თანდათანობით გადაადგილდებიან ქრომოსომას ტელომერული ბოლოებისაკენ. სინაპტონემური კომპლექსი ქრება.

5.დიაკინეზი. ქრომოსომას კონდენსაცია ძლიერდება. ქიაზმების რაოდენობა მცირდება და ბოლოს ქრება. ბივალენტები ბირთვის პერიფერიულ ნაწილში თავსდებიან. უჯრედში მიმდინარეობს სხვა ცვლილებებიც, ბირთვის გარსისა და ბირთვაკების დაშლა. ცენტრიოლების მიგრაცია პოლუსებისაკენ (ბუნებრივია, თუ კი ის უჯრედს მოეპოვება), ხოლო შემდეგ გაყოფის თითისტარის ჩამოყალიბება.

I მეტაფაზა. ბივალენტები განლაგდებიან ეკვატორულ სიბრტყეში. ქრომოსომები ძლიერ არიან სპირალიზებული ანუ დამოკლებული და გასქელებული. პროცესი ანაფაზამდე მიმდინარეობს. ცენტრომერს ემაგრება გაყოფის თითისტარის ძაფები. მომდევნო **I ანაფაზაში** ფაზაში ბივალენტის შემადგენელი ჰომოლოგიური ქრომოსომები ერთიმეორეს სცილდებიან. პოლუსებისაკენ მიემართება ჰომოლოგიური წყვილიდან თითო ქრომოსომა, რომელიც ორი გასწვრივი ნახევრისაგან – ქრომატიდებისაგან შედგება. ამასთანავე თითოეულის გადასვლა პოლუსებზე თანაბარი ალბათობით მიმდინარეობს, რაც დისკრეტული მემკვიდრეობის ერთ –ერთი პირობაა (იხ.3.3). უკანასკნელ ფაზაში **I ტელოფაზა**) ხდება პოლუსებზე თავმოყრილი ქრომოსომების დესპირალიზაცია, ბირთვის გარსის წარმოქმნა და ბირთვის სტრუქტურის აღდგენა. ამრიგად რედუქციული გაყოფა განაპირობებს ქრომოსომათა რიცხვის განახევრებას. ხანმოკლე ინტერკინეზის ანუ ინტერფაზის შემდეგ იწყება მეორე მეიოზური ანუ **ჰომეოტიპური** გაყოფა. ჩვეულებრივი ინტერფაზისაგან განსხვავებით ინტერ-

კინეზში არ გვხვდება S სტადია და არ ხდება ქრომოსომათა გაორმაგება. ეკვაციური გაყოფა მიტოზის მსგავსად მიმდინარეობს (II პროფაზა, II მეტაფაზა, II ანაფაზა, II ტელოფაზა), მაგრამ უჯრედში ორი ჰომოლოგიური ქრომოსომის ნაცვლად გვხვდება ერთი (იხ. ცხრილი 2-1). II ანაფაზაში ერთიმეორეს შორდებიან და მოპირისპირე პოლუსებზე გადადიან ქრომატიდები, რომელსაც უკვე ქრომოსომებს უწოდებენ. ამრიგად, ერთი საწყისი უჯრედიდან წარმოიქმნება ოთხი ჰაპლოიდური უჯრედი.

მეიოზის ბიოლოგიური მნიშვნელობა შემდეგში მდგომარეობს:

1. მეიოზში ქრომოსომათა რიცხვის რედუქციითა და განაყოფიერებისას ქრომოსომათა დიპლოიდური კომპლექტის აღდგენით ხორციელდება თაობათა მონაცვლეობისას სახეობისათვის დამახასიათებელი ქრომოსომათა მუდმივი რიცხვის შენარჩუნება.

ცხრილი 2-1. მიტოზისა და მეიოზის შედარება

სტადია	მიტოზი	მეიოზი
ინტერფაზა	დნმ-ის სინთეზი, ქრომოსომათა გაორმაგება	დნმ-ის სინთეზი, ქრომოსომათა გაორმაგება
I პროფაზა	ქრომოსომათა კომპაქტიზაცია	ქრომოსომათა კომპაქტიზაცია, ჰომოლოგიური ქრომოსომების კონიუგაცია-ბივალენტების წარმოქმნა, რეკომბინაცია.
I მეტაფაზა	ქრომოსომები ლაგდებიან ეკვატორულ სიბრტყეზე	ბივალენტები განლაგდებიან ეკვატორულ სიბრტყეზე
I ანაფაზა	პოლუსებისაკენ მიემართებიან შვილეული ქრომატიდები	პოლუსებისაკენ მიემართება ჰომოლოგიური ქრომოსომები. სხვადასხვა ბივალენტებში არსებული ქრომოსომების გადანაწილება პოლუსებზე
I ტელოფაზა	ორი იდენტური დიპლოიდური ბირთვის ფორმები	ორი ჰაპლოიდი ბირთვის ფორმირება, რომლებიც გენეტიკურად მეტწილად განსხვავდებიან
II პროფაზა	–	ქრომოსომათა კომპაქტიზაცია
II მეტაფაზა	–	ქრომოსომები განლაგდებიან ეკვატორულ სიბრტყეზე
II ანაფაზა	–	პოლუსებისაკენ მიემართებიან შვილეული ქრომატიდები
II ტელოფაზა	–	ოთხი ჰაპლოიდური ბირთვის ფორმირება , რომლებიც მეტწილად გენეტიკურად განსხვავდებიან

2. მეიოზი საფუძვლად უდევს კომბინაციურ ცვალებადობას (იხ. 3.9). მეიოზის შედეგად დიდი რაოდენობით წარმოიქმნება არაჰომოლოგიურ ქრომოსომათა ახალი კომბინაციები. დიპლოიდურ კომპლექტში ჰომოლოგიური წყვილიდან ერთი ქრომოსომა დედისეულია, მეორე – მამისეული. მეიოზის დროს პოლუსებზე მათი შემთხვევითი გადანაწილების შედეგად უჯრედში წარმოიქმნება 2^n რაოდენობის ახალი თანწყობა; დროზოფილას აქვს 4 წყვილი ქრომოსომა, კომბინაციათა რაოდენობა ტოლია $2^4=16$; ადამიანში $2^{23}=8388608$; ქრომოსომათა შემთხვევითი გადანაწილება პოლუსებზე საფუძვლად უდევს მენდელის მე-3 კანონს (იხ. 3.2).

3. კროსინგოვერის დროს ასევე ხდება გენეტიკური მასალის რეკომბინაცია. მისი მეშვეობით ხორციელდება ერთ ქრომოსომაში განლაგებული გენების გადანაწილება და ახალი კომბინაციების ჩამოყალიბება (იხ. 3.9).

განაყოფიერება

განაყოფიერება არის მდედრობითი და მამრობითი სასქესო უჯრედების შერწყმა, რის შედეგადაც მიიღება ზიგოტა. განაყოფიერებით აღდგება ქრომოსომათა დიპლოიდური კომპლექტი, რომელიც დამახასიათებელია სომატური უჯრედებისათვის, აგრეთვე მოუმწიფებელი სასქესო უჯრედებისათვის. ცხოველების განაყოფიერებას წინ უძღვის დაოესლვა. როდესაც დაოესლვა (სპერმატოზოიდის კონტაქტი კვერცხუჯრედთან და მისი შეღწევა კვერცხუჯრედში) ორგანიზმის გარეთ მიმდინარეობს, მას გარეგან განაყოფიერებას უწოდებენ. იგი ახასიათებს წყლის ცხოველთა უმეტესობას (მაგ. ნაწლავღრუიანები, თევზები, მყვარები ანუ ამფიბიები და სხვ.). როდესაც დაოესლვა მდედრის სასქესო გზებში ხდება, მას შინაგანი განაყოფიერება ეწოდება. იგი ძირითადად ხმელეთის ფორმებს (მწერები, ქვეწარმავლები, ფრინველები, ძუძუმწოვრები და სხვ.) ახასიათებთ. განაყოფიერების პროცესის დროს ხორციელდება კვერცხუჯრედის გააქტიურება და ცალსქესიან ცხოველებში სქესის განსაზღვრა.

გამეტების შეხვედრას ხელს უწყობს კვერცხუჯრედის მიერ გარემოში გამოყოფილი ქიმიური ნივთიერებები – **გამონაბი**. ისინი ააქტიურებენ სპერმატოზოიდებს. ზოგიერთი ცხოველის კვერცხუჯრედს აქვს მცირე ზომის ხვრელი – მიკროპილე, რომლის გზითაც სპერმატოზოიდი აღწევს კვერცხუჯრედში. მრავალი საჩეთის ცხოველის კვერცხუჯრედს მიკროპილე არ გააჩნია. კვერცხუჯრედში სპერმატოზოიდის შეღწევა აკროსომაში არსებული ფერმენტებით ხორციელდება. ფერმენტები შლიან კვერცხუჯრედის გარსს და კვერცხუჯრედში სპერმატოზოიდი შედის (მეტწილად ოავი და შუა ნაწილი). სპერმატოზოიდის შეღწევის შემდეგ კვერცხუჯრედის ზედაპირზე წარმოიქმნება გარსი, რომელიც ხელს უშლის სხვა სპერმატოზოიდების შეღწევას. მრავალი ორგანიზმის კვერცხუჯრედში მხოლოდ ერთი სპერმატოზოიდი აღწევს: (მონოსპერმია), მაგრამ ზოგჯერ აღინიშნება პოლისპერმიაც (მრავალი სპერმატოზოიდის შეღწევა). პოლისპერმია ახასიათებს ზოგიერთ მწერს, თევზებს, ფრინველებს და სხვ. განაყოფიერების პროცესში მაინც ერთი სპერმატოზოიდი მონაწილეობს, დანარჩენი იღუპება. კვერცხუჯრედში მაშრობითი და მდედრობითი ბირთვი ანუ პრონუკლეუსი ერთმანეთს ერწყმის, რის შედეგადაც ქრომოსომათა რაოდენობა კვლავ დიპლოიდური ხდება, აღდგება ჰომო-

ლოგიური წყვილები, რომელთაგან ერთი ქრომოსომა დედისეულია, ხოლო მეორე მამისეული.

გამეტების შემთხვევითი შერწყმის შედეგად მიიღება გენთა ახალი კომბინაციების მქონე ზიგოტები. პოპულაციაში იქმნება ინდივიდთა გენეტიკური ნაირგვარობა ანუ ჰეტეროგენულობა, რაც მდიდარი მასალაა ბუნებრივი გადარჩევისათვის (იხ. 5.4 და 5.11).

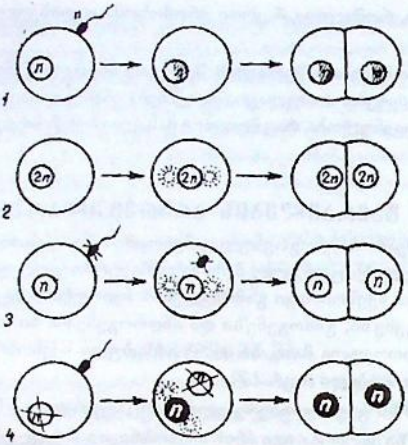
სქესობრივი გამრავლების არარეგულარული ტიპები

ორგანული სამყაროს პროგრესულ განვითარებაში სქესობრივი გამრავლება არსებით როლს ასრულებს. ცალკეულ შემთხვევაში კერძო ევოლუციური შეგუებების საჰით ჩამოყალიბდა სქესობრივი გამრავლების ნაირგვარი მდგრადი დარღვევა, კერძოდ: პართენოგენეზი, გინოგენეზი და ანდროგენეზი. ნიშანდობლივია პათ მეორადი ბუნება. თითოეული პათგანი ადრე არსებული სქესობრივი გამრავლების საფუძველზეა წარმოშობილი (სურ.2.7).

პართენოგენეზი. გაუნაყოფიერებელი კვერცხუჯრედიდან ჩანასახის განვითარებას პართენოგენეზი ეწოდება. იგი არის სქესობრივი გამრავლება განაყოფიერების გარეშე. პართენოგენეზი გვხვდება როგორც ცხოველებში, ისე მცენარეებში. მცენარეებში გამრავლების ამ ფორმის აღსანიშნავად ტერმინი „აპომიქსისი„ გამოიყენება. პართენოგენეზი აღწერილია უხერხემლო ცხოველთა ყველა ტიპში, ასევე ხერხემლიან ცხოველებში (გამონაკლისია ძუძუმწოვრები).პართენოგენეზის შემთხვევაში უსქესო გამრავლების მსგავსად ახალ ორგანიზმს დასაბამს ერთი ინდივიდი აძლევს. იგი სქესობრივი გამრავლებაა, ვინაიდან ორგანიზმი ვითარდება სასქესო უჯრედებიდან – სახელდობრ, კვერცხუჯრედიდან, ხოლო უსქესო გამრავლების დროს შთამომავლობა სომატური უჯრედებიდან წარმოიქმნება.

პართენოგენეზი შეიძლება იყოს **ფაკულტატური** და **ობლიგატური.** ფაკულტატური პართენოგენეზი გვხვდება ფუტკრებში, ჭიანჭველებში, მხედრებში და სხვ. ამ შემთხვევაში ინდივიდები მრავლდება როგორც პართენოგენეზით, ისე განაყოფიერებით. მდედრი ინდივიდი ორი სახის კვერცხს დებს: განაყოფიერებულს (ვითარდებიან მდედრები) და გაუნაყოფიერებელს (ვითარდებიან მამრები). ამ ცხოველებში პართენოგენეზი ევოლუციის პროცესში ჩამოყალიბებული ადაპტაციაა. მისი მეშვეობით ხორციელდება სქესის რეგულაცია (იხ.3.5). ობლიგატური პართენოგენეზი გვხვდება მცენარეთა სამეფოში. იგი აღწერილია ბაბუაწვერაში, ხარნუკაში, თამბაქოში და სხვ.

ობლიგატური ანუ ციკლური პართენოგენეზი გვხვდება დაფნებში, ბუგრებში, ციბრუტელებში და სხვ. მათში პართენოგენეზული და განაყოფიერებით წარმოქმნილი თაობა მორიგეობს. ოპტიმალურ პირობებში – (ცვულებრივ ზაფხულში) პართენოგენეზული მდედრების რამდენიმე თაობა ჩნდება. არახელსაყრელ პირობებში (საკვების ნაკლებობა, დაბალი ტემპერატურა და მისთ.) მდედრები ჰაპლოიდურ კვერცხებს დებენ, საიდანაც მამრები იჩეკებიან. სქესობრივი პროცესის შედეგად მდედრები განაყოფიერებულ დიპლოიდურ კვერცხებს დებენ, საიდანაც მდედრები ვითარდებიან. აღწერილია პოპულაციები (კავკასიური კლდის ხვლიკი და სხვ.), რომლებშიც პართე-



სურ.2.7.სქესობრივი გამრავლების ტიპები: 1.ნორმალური განაყოფიერება; 2.პართენოგენეზი; 3.გინოგენეზი; 4.ანდროგენეზი

ნოგენეზი გამრავლების ძირითადი ფორმაა. ისინი მხოლოდ მდედრი ინდივიდებისაგან შედგებიან. ევოლუციის პროცესში ციკლური ანუ ობლიგატური პართენოგენეზი ჩამოყალიბდა როგორც მნიშვნელოვანი ადაპტაცია. იგი გვხვდება ისეთ ცხოველებში, რომლებიც მასიურად იღუპებიან (მაგ. ბუგრები, დაფნიები და სხვ.) ან განსხვავებული სქესის ინდივიდების შეხვედრა გაძნელებულია (მაგ. კავკასიური კლდის ხვლიკი). ამ გზით პოპულაციაში ინდივიდთა რიცხოვნობის შენარჩუნება ხდება. იგი სახეობის არსებობას განაპირობებს.

გინოგენეზი. პართენოგენეზის ანალოგიურია გინოგენეზური გამრავლება. პართენოგენეზისაგან განსხვავებით გინოგენეზის დროს გამრავლებაში მონაწილეობენ სპერმატოზოიდები. შეინიშნება ცრუგანაყოფიერება (ფსევდოგამია). კვერცხუჯრედში ხდება სპერმატოზოიდების შეღწევა, მაგრამ არ ხდება მდედრობითი და მამრობითი პრონუკლეუსის შეერთება. მამრობითი პრონუკლეუსი მასტიმულირებელ გავლენას ახდენს კვერცხუჯრედზე და იღუპება, ჩანასახის ფორმირება ხდება მხოლოდ მდედრობითი პრონუკლეუსის ხარჯზე. გინოგენეზი ნაშვიათად გვხვდება როგორც ცხოველთა, ისე მცენარეთა სამყაროში. იგი აღწერილია ზოგიერთ ჰერმაფროდიტულ მრგვალ ჭიაში, თევზებში (მაგ. ვერცხლისფერი კარჩხანა), მცენარეებიდან ბაიაში (Ranunculus auricomus), მდელოს თივაქასრაში (Poa pratensis) და სხვ.

ანდროგენეზი. იგი გინოგენეზური გამრავლების საპირისპირო მოვლენაა. ანდროგენეზის დროს ჩანასახი ვითარდება მამრობითი პრონუკლეუსის და კვერცხუჯრედის ციტოპლაზმის ხარჯზე. ანდროგენეზური გამრავლება მიმდინარეობს იმ შემთხვევაში, როდესაც კვერცხუჯრედის ბირთვი ამა თუ იმ მიზეზით იღუპება. როდესაც კვერცხუჯრედში ერთი სპერმატოზოიდი შეაღწევს (მონოსპერმია), მაშინ ჩანასახს ჰაპლოიდური ქრომოსომული კომპლექტი აქვს. ასეთი ჩანასახი ნაკლებსი-

ცოცხლისუნარიანია და მეტწილად იღუპება. ჩანასახი ნორმალურად ვითარდება მაშინ, როდესაც მას ქრომოსომათა დიპლოიდური კომპლექტი აქვს. დიპლოიდური ჩანასახი პოლისპერმიის შემთხვევაში ყალიბდება. კვერცხუჯრედში რამდენიმე სპერმატოზოიდის შეღწევისას ორგანიზმი ვითარდება ორი მამრობითი პრონუკლეუსის ჩარჯზე. ზრდასრული ანდროგენეზული ინდივიდების განვითარება აღწერილია თუთის აბრეშუმხვევიასა (Bombix mori) და პარაზიტულ კრაზანაში (Habrabacon juglands). ასევე იშვიათია ანდროგენეზული გამრავლება მცენარეებში. იგი აღწერილია სიმინდსა და თამბაქოში. პართენოგენეზი, გინოგენეზი და ანდროგენეზი ცხოველებსა და მცენარეებში გამოწვეულია ხელოვნურადაც.

ნაწილი III. გენეტიკის საფუძვლები

შესავალი

გენეტიკა (ბერძ. geneticos – წარმოშობა, დაბადება) შეისწავლის ცოცხალი სისტემის ორ ძირითად თვისებას-**მემკვიდრულობასა** და **ცვალებადობას**. მიუხედავად იმისა, რომ გენეტიკა შედარებით ახლად ჩამოყალიბებული მეცნიერებაა, იგი თანამედროვე ბიოლოგიური მეცნიერების საფუძველია. მემკვიდრულობისა და ცვალებადობის კანონზომიერებანი საყოველთაოა ცოცხალი სისტემისათვის და მოქმედებს ვირუსებიდან მოყოლებული ადამიანის ჩათვლით. **მემკვიდრულობა** არის ორგანიზმის თვისება, გამრავლების დროს შთამომავლობას გადასცეს ინფორმაცია ნიშან-თვისებათა და განვითარების თავისებურებათა შესახებ. ყოველი ინდივიდი თავისსავე მსგავს წარმოქმნის: გუგული, რომელიც სხვის ბუდეში დებს კვერცხებს და სხვა ფრინველი ზრდის, მაინც გუგულად ვითარდება; რკოდან მუხა ამოდის; გრიპის ვირუსი ადამიანის ორგანიზმში მოხვედრისას მრავლდება და თავისსავე მსგავს ფორმებს წარმოქმნის. მემკვიდრეობის შედეგია ის, რომ ზოგიერთი ორგანიზმი თითქმის უცვლელი დარჩა დღემდე. მაგალითად, მტევანფარფლიანი თევზი ლატიმერია, თითქმის არაფრით განსხვავდება დევონური პერიოდის წინაპრისაგან. მემკვიდრულობა განაპირობებს მშობლებსა და შვილებს, დებსა და ძმებს შორის მსგავსებას. მშობელ ორგანიზმს აქვს უნარი გადასცეს ინფორმაცია, რომლის მიხედვითაც შვილებში ნიშან-თვისებათა ჩამოყალიბება ხდება. მაგალითად, ადამიანში მრავალი ნიშანი და თვისება მემკვიდრეობს, როგორიცაა თმის ფერი და ფორმა, თვალის ფერადი გარსის შეფერილობა, ცხვირის ფორმა, ხმის ტემბრი, მუსიკალური სმენა და მისთ. ამჟამად ცნობილია ადამიანის 2500-მდე მემკვიდრული დაავადება, რომელიც სხვადასხვა ნოზოლოგიურ კლასს მიეკუთვნება. ასეთებია შინაგანი ორგანოების, ნივთიერებათა ცვლის, სისხლის, კანის, ენდოკრინული სისტემის, ნერვული, ფსიქიკური და სხვა დაავადებანი. ადრე მიაჩნდათ, რომ მემკვიდრული დაავადებები იშვიათია. მართლაც, ზოგიერთი მათგანი, როგორიცაა სხვადასხვა ფერმენტოპათიები, იხტიოზი, თანდაყოლილი გლაუკომა, იშვიათად გვხვდება. მაგრამ, გამოვლენილია ფართოდ გავრცელებული მემკვიდრული დაავადებები და მიდრეკილებები. მაგალითად, ადამიანთა ზოგიერთ პოპულაციაში შაქრიანი დიაბეტის სიხშირე თითქმის 1%-ია. ფართოდაა გავრცელებული მხედველობის დარღვევები,

როგორიცაა სიბეცე და შორსმჭვრეტელობა, ფერითი სიბრმავე - დალტონიზმი (ზოგიერთ პოპულაციაში იგი ქალების 0,5%-ში, ხოლო მამაკაცების 8%-ში გვხვდება). მემკვიდრული მიდრეკილებით (წინასწარგანწყობით) დაავადებებს განეკუთვნება ჰიპერტონიული და წყლულოვანი დაავადებები, შიზოფრენია და სხვა.

შთამომავლობით ნიშან-თვისებათა გადაცემა მემკვიდრეობის მხოლოდ ერთ მხარეს შეადგენს. მეორე მხარეა ონტოგენეზში განვითარების გარკვეული ტიპისა და ნივთიერებათა ცვლის ხასიათის შენარჩუნება. ყოველ სახეობას გარკვეული სასიცოცხლო ციკლი ახასიათებს. იგი ონტოგენეზში გარკვეულ ფაზებსა და სტადიებს გადის, რომელიც მემკვიდრულობის შედეგად თაობათა მანძილზე მყარდება შენარჩუნებული. მაგალითად, ადამიანის განაყოფიერებული კვერცხუჯრედი-ზიგოტა კვერცხსავლში იწყებს დანაწევრებას, განაყოფიერებიდან მეხუთე-მეექვსე დღეს ხდება იმპლანტაცია, შემდეგ დიფერენცირდება ქსოვილები, მოგვიანებით ორგანოები ყალიბდება. ყოველივე ეს ხორციელდება იმ ინფორმაციის მიხედვით, რომელსაც უჯრედი შეიცავს.

ორ თაობას - მშობლებსა და შვილებს შორის დამაკავშირებელ მემკვიდრულობის მატერიალურ საფუძველს სქესობრივი გამრავლების დროს გამეტები წარმოადგენს, უსქესო გამრავლების დროს კი სომატური უჯრედი ან სპორები. თაობებს გადაეცემა არა ნიშან-თვისებები, არამედ მისი განმსაზღვრელი ფაქტორები -გენები. გენი მემკვიდრულობის ერთეულია, რომელიც განსაზღვრავს ცალკეული ელემენტარული ნიშნის ან თვისების განვითარებას.

საჭიროა განვასხვავოთ ცნებები: მემკვიდრულობა და მემკვიდრეობა. მემკვიდრულობა - ცოცხალის ზოგადი თვისებაა, რომელიც ყველა ორგანიზმში ერთნაირად ვლინდება. იგი უზრუნველყოფს მემკვიდრული მასალის შენახვასა და რეპროდუქციას, თაობათა ცვლის უწყვეტობას. ამრიგად, მემკვიდრულობა გენების თვისებაა მოახდინონ სპეციფიკური ცილის მოლეკულებს, ნიშნის განვითარებისა და ორგანიზმის აგებულების გეგმის დეტერმინირება. მემკვიდრეობა არის ერთი თაობიდან მეორეზე (მშობლებიდან შვილებში) ინფორმაციის გადაცემის პროცესი. გამრავლების ფორმის მიხედვით იგი შეიძლება განსხვავებული იყოს. უსქესო გამრავლებისას მემკვიდრული ინფორმაცია გადაეცემა სომატური უჯრედებით და სპორებით, რის გამოც მშობლებსა და შვილებს შორის დიდი მსგავსებაა. სქესობრივი გამრავლებისას კი ინფორმაციის გადაცემა ხდება გამეტების მეშვეობით. ამ შემთხვევაში მშობლებსა და შთამომავალთა შორის მსგავსება გაცილებით ნაკლებია, ვხვდებით დიდ ნაირგვარობას, იქმნება მდიდარი მასალა ბუნებრივი გადარჩევისა და ევოლუციური პროცესისათვის.

მემკვიდრულობასთან ერთად მოქმედებს მისი საწინააღმდეგო და განუყოფელი მოვლენა - ცვალებადობა. პარადოქსია, მშობლები თავის მსგავს შთამომავლობას იძლევიან, მაგრამ ეს მსგავსება აბსოლუტური როდია. შვილები მშობლების ზუსტი ასლები არ არიან. მათ შორის დიდია განსხვავებაც. თაობებს შორის, შვილებს შორის განსხვავებები ცვალებადობის მიმანიშნებელია. იგი გენეტიკური მასალის არასტაბილური შენახვისა და რეპროდუქციის გამოხატულებაა. ცვალებადობა არის ცოცხალის ზოგადი თვისება, რაც გამოწვეულია გენების ცვლილებით ან მათი კომბინირებით, ასევე ინდივიდური განვითარების პროცესში მათი გამოვლენის

ცვლილებით. ამრიგად, ცვალებადობას იწვევს როგორც გენის უშუალო ცვლილება, ისე გენოტიპში ახალი კომბინაციების წარმოქმნა და ონტოგენეზში გარემო ფაქტორების მოქმედებით მათი ექსპრესიის ცვლილება. მემკვიდრულობა არა მარტო შსგავსების, არამედ ორგანიზმებს შორის განსხვავების შენარჩუნებასაც უზრუნველყოფს.

3.1.გენეტიკა და მედიცინა

ადამიანის გენეტიკის განვითარებამ მრავალი მემკვიდრული დაავადება გამოავლინა. ადამიანის გენეტიკაში ჩამოყალიბდა ცალკე დარგი - **სამედიცინო გენეტიკა.** ოუ ადამიანის გენეტიკა ნებისმიერ ნიშან-თვისებათა მემკვიდრეობის კანონზომიერებებს იკვლევს, სამედიცინო გენეტიკა შეისწავლის პათოლოგიურ ნიშან-თვისებათა მემკვიდრეობას, დაავადებათა წარმოშობის მიზეზებს, ოჯახებში მემკვიდრეობის ხასიათს, გავრცელებას პოპულაციებში, უჯრედულ და მოლეკულურ დონეზე მიმდინარე სპეციფიკურ პროცესებს. სამედიცინო გენეტიკის განხრაა **კლინიკური გენეტიკა,** რომელიც იკვლევს მემკვიდრულ დაავადებათა პათოგენეზს, კლინიკას, პროფილაქტიკისა და მკურნალობის საკითხებს. ვინაიდან ადამიანის პოპულაცია ჰეტეროგენულია, სამედიცინო თვალთახედვით ნეიტრალურ ნიშან-თვისებათა (რომლებიც არ არღვევენ ცხოველქმედების პროცესებს და სამედიცინო მნიშვნელობა არა აქვთ) გარდა გარკვეული სიხშირით გვხვდება პათოლოგიებიც.

მემკვიდრულ დაავადებათა მიზეზია გენეტიკურ აპარატში მოხდარი ცვლილებები: გენური და გენომური მუტაციები, ქრომოსომული აბერაციები. ადამიანში მემკვიდრეობითი პათოლოგია სხვადასხვა ასაკში იჩენს თავს. მრავალი დაავადება და თანდაყოლილი ანომალიები განვითარების ემბრიონულ პერიოდში ვლინდება, ნაწილიც პოსტნატალურ პერიოდში; მეტნაწილად ისინი ბავშვებში ვლინდება, ზოგიერთი კი მოწიფულ და ხანდაზმულ ასაკში იჩენს თავს. მაგალითად, ფრიდრიხის ატაქსია 6-12 წლის ასაკის ბავშვებში ვლინდება, ნათხემის ატაქსია 20-30 წლის ასაკში, ხოლო პოდაგრა (ნიკრისის ქარი) მოწიფულ და ხანდაზმულ ასაკში.

ზოგიერთი მემკვიდრული დაავადების ადრეული დიაგნოსტირებით და დროული კლინიკური ჩარევით, მედიკამენტური ან დიეტური მკურნალობით შესაძლებელია თავიდან ავიცილოთ დაავადების შემდგომი განვითარება და ავადმყოფის სიკვდილი. მაგალითად, საკვები რაციონიდან იმ ნივთიერებების გამორიცხვით, რომელთა ცვლაც დარღვეულია გალაქტოზემიით (რძის შაქრის შეუთვისებლობა) ან ფენილკეტონურიით (არომატული ამინმჟავებისადმი მგრძნობელობა) დაავადებულ ახალშობილებში, შესაძლებელია განვითარების ნორმალიზება და არასასურველი შედეგების თავიდან აცილება. დიდი მნიშვნელობა აქვს მემკვიდრულ დაავადებათა ადრეულ (პრენატალურ) პერიოდში დიაგნოსტირებას. სათანადო სამედიცინო-გენეტიკური კონსულტაციით შესაძლებელია პათოლოგიური ნიშნით ჰეტეროზიგოტური ცოლქმრული წყვილის ან ქრომოსომული ანომალიის მქონე პირთა გაშვილება, რაც თავიდან აგვაცილებს არასასურველ შედეგებს.

სამედიცინო გენეტიკას აქვს მთელი რიგი მეთოდებისა, რომლითაც შესაძლებელია განისაზღვროს გარემოსა და მემკვიდრულ ფაქტორთა თანაფარდობის

როლი ნიშნის ჩამოყალიბებაში. რიგ შემთხვევაში მუტანტური ალელი განსაზღვრავს დაავადებისადმი მიდრეკილებას, მისი გამოვლენა კი გარემო პირობებზეა დამოკიდებული. მაგალითად, პოდაგრის დროს ორგანიზმში დარღვეულია შარდის მჟავას ცვლა, რის გამოც მისი კონცენტრაცია სისხლში მომატებულია. იმ პირთა შორის, რომლებსაც ამ სახის მეტაბოლური დარღვევა აქვთ, მხოლოდ 10%-ს აღენიშნება დაავადება, ისიც მხოლოდ 30-50 წლის ასაკში. დაავადების განვითარება და სიმძიმე გარემო პირობებზეა დამოკიდებული (ხორციანი საკვების, აგრეთვე, ღვინის ხშირი მიღება, გარემოში ზოგიერთი მიკროელემენტის, კერძოდ, მოლიბდენის სიჭარბე და სხვ.).

უკანასკნელ პერიოდამდე მემკვიდრული დაავადებები უკურნებლად მიაჩნდათ. შემუშავებული ღონისძიებებით მხოლოდ სიმპტომების თავიდან აცილება ხდებოდა. გენური ინჟინერიის განვითარებამ ამ სახის დაავადებათა მკურნალობაში ახალი პერსპექტივები გაშოვლინა. კერძოდ, ნავარაუდევია ისეთი დარგის განვითარება, როგორიცაა გენოთერაპია. მისი მეშვეობით შესაძლებელია გასწორდეს ან შეიცვალოს დაზიანებული გენეტიკური მასალა. დიდი ყურადღება ექცევა ადამიანის საარსებო გარემოს დაცვას დაბინძურებისაგან. გამოვლენილია მრავალი ქიმიური და ფიზიკური ფაქტორი, რომლებიც გენეტიკურ აპარატზე ზემოქმედებისა და მისი შეცვლის (მუტაციის ინდუცირების) უნარით გამოირჩევიან. ისინი ცვლიან ადამიანის გენოტიპს, რაც მრავალი პათოლოგიის წყაროა.

3.2.ᲒᲔᲜᲔᲢᲘᲙᲘᲡ ᲒᲐᲜᲕᲘᲗᲐᲠᲔᲑᲘᲡ ᲛᲝᲙᲚᲔ ᲘᲡᲢᲝᲠᲘᲐ

მემკვიდრეობის შესახებ საინტერესო შეხედულებები გადმოცემულია ანტიკური ეპოქის ფილოსოფოსთა და ექიმთა ნაშრომებში ჯერ კიდევ V საუკუნეში ჩ.წ. აღრიცხვამდე. მათ ჩამოაყალიბეს ორი ძირითადი ჰიპოთეზა-**ᲞᲘᲠᲓᲐᲞᲘᲠᲘ ᲓᲐ ᲐᲠᲐᲞᲘᲠᲓᲐᲞᲘᲠᲘ ᲛᲔᲛᲙᲕᲘᲓᲠᲔᲝᲑᲘᲡ** შესახებ. პირდაპირი მემკვიდრეობის მომხრე იყო ჰიპოკრატე. მას მიაჩნდა, რომ რეპროდუქციული მასალა სხეულის ყველა ნაწილიდან იკრიბება. ყველა ორგანო უშუალო გავლენას ახდენს შთამომავალთა ნიშნებზე. ჰიპოკრატეს აზრით, სხეულის ჯანმრთელი ნაწილი ჯანსაღ რეპროდუქტულ ნაწილს გზავნის, დაავადებული კი - არაჯანსაღს. მისი აზრით, სიცოცხლის მანძილზე შეძენილი ნიშნები უნდა მემკვიდრეობდეს. წესისამებრ,-აღნიშნავს ჰიპოკრატე - მელოტს მელოტი უჩნდება, ცისფერთვალას - ცისფერთვალა, კოჭლს - კოჭლი, ხოლო გრძელთავიანს - გრძელთავიანი.

საწინააღმდეგო მოსაზრებას ავითარებდა არისტოტელე. მეგი არაპირდაპირი მემკვიდრეობის მომხრე იყო. მისი აზრით, რეპროდუქტული მასალა სხეულის სხვადასხვა ნაწილიდან კი არ იკრიბება, არამედ საკვები ნივთიერებებიდან წარმოიქმნება, მისი დანიშნულებაა სხეულის სხვადასხვა ნაწილის აგება. პირდაპირი მემკვიდრეობის ჰიპოთეზამ 23 საუკუნე იარსება. ამ შეხედულების ბოლო ვარიაციად ჩარლზ დარვინის მიერ წამოყენებული (1868) პანგენეზისის ჰიპოთეზაა მიჩნეული. ამ ჰიპოთეზის თანახმად მცენარისა და ცხოველის ყოველი უჯრედი გამოყოფს ნაწილაკებს - ჰემულებს, რომლებიც რეპროდუქტიულ ორგანოებში ტრანსპორტირდება, საიდანაც შთამომავლობას გადაეცემა.

უნდა აღინიშნოს, რომ დარვინისეულ ჰიპოთეზამდე გრეგორ მენდელის მიერ უკვე ჩამოყალიბებული იყო მემკვიდრეობის კანონები, რომლითაც არაპირდაპირი მემკვიდრეობა იყო დასაბუთებული. გენეტიკის ფუძემდებლად სამართლიანადაა მიჩნეული გრეგორ მენდელი (1822-1884). მან მიღებული შედეგები 1865 წელს მოახსენა ქ.ბრიუნის (ამჟამად ბრნო) ბუნებისმეტყველების მოყვარულთა საზოგადოებას, ხოლო ნაშრომი "ცდები მცენარეთა ჰიბრიდებზე" 1866 წელს ამავე საზოგადოების შრომათა კრებულში გამოქვეყნდა. გ.მენდელმა ექსპერიმენტის მეშვეობით დაასაბუთა მემკვიდრეობის დისკრეტულობა. მიუხედავად იმისა, რომ გ.მენდელის ნაშრომს მრავალი მეცნიერი გაეცნო, ამ აღმოჩენას აღიარება არ მოჰყოლია.

გრეგორ იოჰან მენდელი
(1822-1884)

მართალია, გ.მენდელის გამოკვლევებით საფუძველი ჩაეყარა ბიოლოგიის ახალ დარგს - გენეტიკას, მისი შექმნის ოფიციალურ თარიღად მაინც 1900 წელი ითვლება. ამ წელს გ.მენდელის მივიწყებული შრომა ხელმეორედ იქნა აღმოჩენილი და დადასტურებული ერთმანეთისაგან დამოუკიდებლად სხვადასხვა სახეობის 16 მცენარეზე საში მეცნიერის: ჰოლანდიელი ჰუგო დე ფრიზის, გერმანელი კარლ კორენსისა და ავსტრიელი ერიხ ჩერმაკის მიერ.

მენდელის კანონთა ხელმეორედ აღმოჩენამდე ჩამოყალიბებულ იქნა მემკვიდრეობის ბირთვული ჰიპოთეზა, რომელიც ზღვის ზღარბებზე ჩატარებული ექსპერიმენტით ბრწყინვალედ დაასაბუთა ტ.ბოვერიმ (1889). მემკვიდრულობის შესახებ მოძღვრების განვითარებაზე დიდი გავლენა იქონია გამოჩენილი გერმანელი მეცნიერის ავგუსტ ვაისმანის მახვილგონივრულმა ჰიპოთეზამ მემკვიდრეობაში ბირთვის როლის შესახებ. მან დაამტკიცა ონტოგენეზში შეძენილი ნიშნების მემკვიდრეობის შეუძლებლობა.

1901 წ. ჰუგო დე ფრიზმა მცენარე ენოთერაზე ჩატარებული გამოკვლევების საფუძველზე ჩამოაყალიბა მუტაციური თეორია. ამერიკელმა მეცნიერმა უ.სეტონმა და გერმანელმა ტ.ბოვერიმ (1902-1903) ჩამოაყალიბეს **ქრომოსომების ინდივიდუალობის ქრომოსომული თეორია**. მათ გამოავლინეს პარალელიზმი ერთი მხრივ გამეტოგენეზისა და მეიოზის დროს ქრომოსომათა ქცევასა და მეორე მხრივ ნიშან-თვისებათა მენდელირებას შორის, რის საფუძველზეც ივარაუდეს, რომ გენები ქრომოსომებშია ლოკალიზებული. 1906 წელს უ.ბეტსონმა მემკვიდრულობისა და ცვალებადობის შემსწავლელ ბიოლოგიის ახალ დარგს გენეტიკა უწოდა. ვ.იოჰანსენმა(1909) შემოიტანა ტერმინი - გენი. გ.ჰარდმა და ვ.ვაინბერგმა (1908) ერთმანეთისაგან დამოუკიდებლად დაასაბუთეს, რომ პოპულაციებში გენების განაწილების პროცესი ემყარება მენდელის კანონებს.

გენეტიკის განვითარებაში დიდი წვლილი მიუძღვის ამერიკელ მეცნიერს თომას ჰანტ მორგანს (1866-1945) და მის თანამშრომლებს კ.ბრიჯესს, ჰ.მელერსა და

თომას ჰანტ მორგანი
(1866-1945)

ა.სტერტევანტს. მაო ჩამოაყალიბეს **მემკვიდრეობის ქრომოსომული თეორია**, რომელიც თანამედროვე გენეტიკის ქვაკუთხედია. მაო საფუძველი ჩაუყარეს გენის თეორიას, რომელიც სადღეისოდაც გენეტიკის ცენტრალურ პრობლემად რჩება.

რუსი გენეტიკოსის ნ.ვავილოვის მიერ აღმოჩენილ იქნა ჰომოლოგიური რიგთა კანონი(1920) და გამოვლენილია კულტურულ მცენარეთა წარმოშობის ცენტრები. მუტაციური პროცესის თეორიაში მნიშვნელოვანი იყო ინდუცირებული მუტაგენეზის შესწავლა. გ.ნადსონმა და გ.ფილიპოვმა (1925) უმდაბლეს სოკოებში მაიონიზებელი რადიაციით მოახდინეს მორფოლოგიურ მუტაციათა ინდუცირება. ჰ. მელერმა (1927) დროზოფილაში შეიმუშავა მუტაციის აღრიცხვის მეთოდები. დაადგინა რენტგენის სხივების მოქმედება გენეტიკურ მასალაზე. ლ.სტადლერმა (1928) ანალოგიური ეფექტები დაადგინა მცენარეებშიც. ამ გამოკვლევებმა საფუძველი ჩაუყარა გენეტიკის ახალ დარგს-**რადიაციულ გენეტიკას.** 1929 წელს ა.სერებროვსკიმ და მისმა თანამშრომლებმა დროზოფილაში ინდუცირებული მუტაციების ანალიზით შეისწავლეს გენის სტრუქტურა და გამოავლინეს მისი რთული აღნაგობა.

ჯ.ბიდლმა და ე.ტატუმმა (1941) ნეიროსპორაში (ზურის ობის სოკო) ინდუცირებული მუტაციების ანალიზით დაადგინეს, რომ ცალკეული მათგანი იწვევდა მეტაბოლიზმის განსაზღვრული ეტაპის ბლოკირებას. გამოირკვა, რომ ერთი გენი აკონტროლებდა ერთი ფერმენტის სინთეზს. ამ გამოკვლევებმა საოავე დაუდო **ბიოქიმიური გენეტიკის** განვითარებას. 1944 წელს ამერიკელმა მეცნიერებმა ო.ეივერიმ, კ.მაკ-ლეოდმა და მ.მაკ-კარტიმ, მიკროორგანიზმებზე, კერძოდ, პნევმოკოკებზე ჩატარებული ცდებით დაასაბუთეს, რომ მემკვიდრეობა დაკავშირებულია დნმ-თან. 1953 წელს ამერიკელმა ვირუსოლოგმა ჯ.უოტსონმა და ინგლისელმა ფიზიკოსმა ფ.კრიკმა წარმოადგინეს მემკვიდრეობის სუბსტრატის - დნმ-ის სტრუქტურული მოდელი. 50-იანი წლების ბოლოს გაშიფრეს გენეტიკური კოდი. 60-70-იან წლებში გაირკვა ცილის ბიოსინთეზის მექანიზმი. განხორციელდა გენის გამოყოფა და მისი სინთეზი. შეისწავლეს გენის ნატიფი სტრუქტურა. ბოლო წლებში დიდი წარმატებებია მოპოვებული გენურ ინჟინერიაში.

მემკვიდრულობის კანონზომიერებები და მემკვიდრეობის პრინციპები

ვ.ვ.მენდელის მიერ დადგენილი მემკვიდრეობის კანონზომიერებანი

ჰიბრიდოლოგიური მეთოდი

გ.მენდელმა მემკვიდრეობის კანონზომიერებათა დადგენა შეძლო გენეტიკური კვლევის სრულიად ახალი, ორიგინალური - **ჰიბრიდოლოგიური მეთოდის** შემუშავებისა და სწორად შერჩეული კვლევის ობიექტის მეშვეობით. მან მემკვიდრეობის რთული პრობლემა გაამარტივა: წინამორბედ მეცნიერთაგან განსხვავებით იკვლევდა არა მცენარის ყველა ნიშანს ერთად, არამედ ცალკეული საპირისპირო (ალტერნატიული) ნიშნის მემკვიდრეობას, კერძოდ, წინასწარ საგანგებოდ შერჩეული ჯერ ერთი, შემდეგ ორი და სამი წყვილი საპირისპირო ნიშნის თაობაზე გადაცემის კანონზომიერებებს.

მენდელის მიერ შემუშავებული ჰიბრიდოლოგიური მეთოდის პრინციპებია: 1.შესაჯვარებელი ორგანიზმები (მშობლები) უნდა ეკუთვნოდეს ერთსა და იმავე სახეობას; 2.წინასწარ შერჩეული ალტერნატიული ნიშნების მყარი (კონსტანტური) მემკვიდრეობის შემთხვევაში მათი ცდებში გამოყენება; 3.ნიშანი უნდა იყოს მკაფიოდ გამოხატული, შესასწავლად ადვილი; 4.თითოეულ თაობაში შესასწავლი ნიშნების მიხედვით რაოდენობრივი ანალიზის ჩატარება; 5.ცალკეული ჰიბრიდის შთამოშავლობის რაოდენობრივი ანალიზი გასაანალიზებელი ნიშნების მიხედვით.

მენდელმა ცდები ჩაატარა მცენარე ბარდაზე. მას ახასიათებს: 1.ჯიშთა დიდი ნაირგვარობა; 2.თვითმტვერია მცენარეა, მაგრამ ადვილად შესაძლებელია მისი ხელოვნური დამტვერვა; 3.მოეპოვება ერთმანეთისაგან მკვეთრად განსხვავებული (ალტერნატიული) ნიშნები. მენდელმა ცდების ჩატარებამდე საგანგებოდ შეამოწმა შერჩეული საპირისპირო (ალტერნატიული) ნიშნების მემკვიდრეობა. შერჩეულ ჯიშებს ორი წლის განმავლობაში თვითდამტვერეთი ამრავლებდა. მან შეარჩია ისეთი ალტერნატიული ნიშნები, რომლებიც თაობათა მანძილზე უცვლელად მემკვიდრეობდა. ამ გზით მენდელმა გამოიყვანა წმინდა ხაზები, რომლებზეც ჩაატარა ჰიბრიდოლოგიური ანალიზი. მენდელმა ცდებში გამოიყენა 7 წყვილი ნიშანი. კერძოდ, მენდელის მიერ გამოყვანილი წმინდა ხაზები განსხვავდებოდნენ თესლის ფერით (ყვითელი და მწვანე) და ფორმით (მრგვალი და ნაოჭიანი), თესლის კანის ფერით (რუხი და თეთრი) და მასთან კორელაციური ნიშნით - ყვავილის ფერით (მეწამული და თეთრი), ღეროზე ყვავილთა განლაგებით (კენწრული და იღლიური), მომწიფებული პარკის ფერით (ყვითელი და მწვანე) და ფორმით (მოლიანი და დატოხრული), ღეროს ზომით (მაღალი და ქონდარა). ჰიბრიდოლოგიური ანალიზის დროს შეჯვარების სქემის ჩასაწერად იყენებენ საყოველთაოდ მიღებულ სიმბოლოებს. წინასწარ შერჩეული ნიშნების მემკვიდრეობის შესწავლის მიზნით ავჯვარებენ ერთი და იმავე სახეობის განსხვავებული სქესის ინდივიდებს. შეჯვარება გაძრავლების (X) ნიშნით აღინიშნება. სქემის შედგენისას პირველად მდედრობითი სქესის ორგანიზმს წერენ. იგი აღინიშნება ♀ (ვენერას

სარკე) სიმბოლოთი, შემდეგ კი მამრობითი სქესის ინდივიდს ათავსებენ, რომელიც ♂(მარსის შუბი და ფარი) სიმბოლოთი აღინიშნება. შესაჯვარებელი ორგანიზმები (მშობლები), რომლებშიც ანალიზს ატარებენ, ლათინური P ასოთი (პირველი ასო სიტყვისა Parents) აღინიშნება. განსხვავებული ნიშან-თვისებების მქონე ორგანიზმების შეჯვარებით მიღებულ შთამომავლობას **ჰიბრიდული** ეწოდება, ხოლო ცალკეულ ინდივიდს-**ჰიბრიდი**. ჰიბრიდული თაობა ლათინური F ასოთი აღინიშნება (პირველი ასო სიტყვისა Filii-შვილები). ასოსთან ციფრობრივი ინდექსი ჰიბრიდულ თაობას გამოხატავს. მაგალითად, P_1-პირველ თაობას; პირველი თაობის ინდივიდების შეჯვარებით მიიღება მეორე თაობა, რომელიც F_2-ით აღინიშნება; მესამე - F_3-ით და ა.შ.

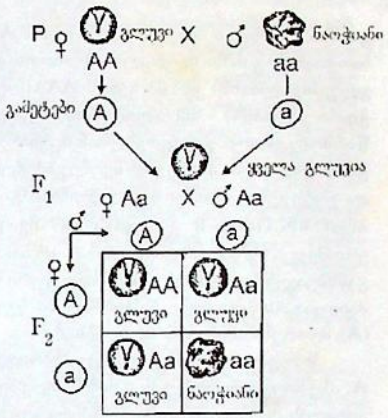
მონოჰიბრიდული შეჯვარება
პირველი თაობის ჰიბრიდთა ერთგვაროვნების კანონი.

შეჯვარებას, როდესაც შესაწყვილებელი ინდივიდები ერთმანეთისაგან ერთი წყვილი საპირისპირო (ალტერნატიული) ნიშნით განსხვავდებიან, **მონოჰიბრიდული** ეწოდება. მენდელმა შეაჯვარა ინდივიდები, რომლებიც ალტერნატიული ნიშნებით განსხვავდებოდნენ. ცდის ყველა ვარიანტში წყვილი საპირისპირო ნიშნიდან მხოლოდ თითო გამოვლინდა, მეორე კი არა. ყვავილის ფერით განსხვავებული მშობლების შთამომავლობა მეწამულყვავილებიანი აღმოჩნდა, განსხვავებული თესლის ფორმით – გლუვი, თესლის ფერით განსხვავებულის – ყვითელი, ღეროს ზომით განსხვავებულის – მაღალღეროიანი და ა.შ. პირველი ჰიბრიდული თაობა ერთგვაროვანი იყო. ნიშანს, რომელიც ვლინდება პირველ თაობაში, მენდელმა უწოდა **დომინანტური** (ლათინ. dominans-გაბატონებული), ხოლო რომელიც ვერ ვლინდება, **რეცესიული** (ლათინ. recesius-უკუქცეული, დათრგუნული). პირველ ჰიბრიდულ თაობაში ერთი ნიშნის მიერ მეორის დაჩრდილვის მოვლენას მენდელმა დომინირება უწოდა. ეს მოვლენა აღმოჩნდა უნივერსალური, რომელიც მოქმედებს მიკროორგანიზმებში, მცენარეებში, ცხოველებსა და ადამიანში. ვინაიდან პირველ თაობაში ყველა ჰიბრიდი ერთნაირია, ამ კანონზომიერებას **მენდელის პირველი კანონი** ანუ **პირველი თაობის ჰიბრიდთა ერთგვაროვნების კანონი** უწოდეს.

დათიშვის კანონი

პირველი თაობის ჰიბრიდული მცენარეების თვითდამტვერვით მენდელმა მიიღო მეორე თაობა, რომელშიც დომინანტური ნიშნის გვერდით რეცესიული ნიშანიც გამოვლინდა. ამჯერად, ორივე მშობლის ნიშნებმა იჩინეს თავი. მცენარეებმა გაიკეთეს როგორც მეწამული, ისე თეთრი ყვავილები; როგორც ყვითელი, ისე მწვანე, როგორც

გლუვი, ისე ნაოჭიანი თესლების ანალოგიური მოვლენა შეინიშნებოდა სხვა ნიშნების მიხედვითაც. დომინანტური და რეცესიული ნიშნის მქონე ინდივიდები გარკვეული რაოდენობრივი თანაფარდობით მიიღება. ინდივიდთა 3/4-ს დომინანტური ნიშანი ჰქონდა, ხოლო 1/4-ს – რეცესიულის. ამრიგად, მეორე თაობაში დომინანტური და რეცესიული ნიშნის მიხედვით ხდებოდა დათიშვა. რომელიც გარკვეულ რაოდენობრივ კანონზომიერებებს ექვემდებარებოდა. კერძოდ, თანაფარდობა დაახლოებით იყო 3:1.



სურ 3.1 თესლის ფორმის მემკვიდრეობა ბარდაში

მეორე თაობაში ორივე მშობელი ორგანიზმის ნიშნის (დომინანტურისა და რეცესიულის) გამოვლენის კანონზომიერებას **მენდელის მეორე ანუ დათიშვის კანონი** უწოდეს. მენდელმა დაამტკიცა, რომ რეცესიული ნიშანი პირველ თაობაში კი არ იკარგება ან დიფუზირდება სხვა ნიშნებში, არამედ პირველ თაობაშივე ითრგუნება და ამიტომაც ვერ ვლინდება. ეს დებულებამ დიდი გავლენა მოახდინა ევოლუციური თეორიის შემდგომ განვითარებაზე.

ალელიზმი. მენდელმა ივარაუდა, რომ მემკვიდრეობენ არა ნიშანთვისებები, არამედ მათი განმსაზღვრელი ფაქტორები. ისინი შუდმივი და უცვლელი სახით გადაეცემა შთამომავლობას. მოგვიანებით ფაქტორს **გენი** უწოდეს. იგი წარმოადგენს მემკვიდრულობის ელემენტარულ დისკრეტულ ერთეულს, რომელიც ნიშნის ან თვისების განვითარებას განსაზღვრავს.

მენდელმა შემოიღო გენთა აღნიშვნის სიმბოლიკა. მან დომინანტური გენი აღნიშნა ლათინური ანბანის დიდი (მთავრული) ასოებით (A ან B), ხოლო რეცესიული – პატარათი (a ან b). საპირისპირო (ალტერნატიულ) ნიშანს განსაზღვრავს გენის ერთი წყვილი. ყოველი ინდივიდი ერთ მათგანს დედისაგან იღებს, მეორეს – მამისაგან. ალტერნატიული ნიშნის განმსაზღვრელ წყვილ გენებს **ალელური წყვილები.** წყვილის თითოეულ წევრს - **ალელი**, მოვლენას კი - **ალელიზმი** ეწოდება.

მოცემულ მაგალითებში ყოველ გენს აქვს ორი მდგომარეობა: დომინანტური (მაგ. A) ან რეცესიული (მაგ. a). კერძოდ, ბარდაში თესლის ფორმას ერთი გენის ორი ალელი განსაზღვრავს: დომინანტური A- გლუვს, რეცესიული a- ნაოჭიანს. ამგვარსავე მოვლენას ჰქონდა ადგილი ბარდაში სხვა საპირისპირო ნიშნების შემთხვევაშიც. ამრიგად, ალელი გენის არსებობის ფორმაა. იგი ორგანიზმში მეტწილად ორი ვარიანტით გვხვდება.

ფენოტიპი და გენოტიპი. მენდელმა მიღებული შედეგები ახსნა გამეტათა სიწმინდის ანუ ფაქტორული მემკვიდრეობის ჰიპოთეზით, რომელსაც დასაბუთების შემდეგ გამეტათა სიწმინდის წესს უწოდებენ. დომინანტური ნიშნის (მაგ. გლუვის)

განმსაზღვრელი ალელი აღინიშნება A ასოთი, ხოლო რეცესიული ნიშნის (მაგ. ნაოჭიანის) განმსაზღვრელი - a ასოთი, დომინანტური ნიშნის მქონე ინდივიდს (მაგ. გლუვთესლიანს) ექნება გენის AA ალელები, რეცესიულის მქონეს კი (მაგ. ნაოჭიანთესლიანს) – aa ალელები. გამეტებში წყვილი ალელიდან მხოლოდ თითოა წარმოდგენილი. გლუვთესლიან მცენარეში წარმოიქმნება A ალელის, ხოლო ნაოჭიანთესლიანში a ალელის მქონე გამეტები (ორგანიზმი, რომელსაც მოეპოვება ერთი და იმავე გენის ერონაირი ალელები (მაგ. AA ან aa) და იძლევა ერთი ტიპის გამეტებს, ჰომოზიგოტური ეწოდება. ჰომოზიგოტური ინდივიდი თვითდამტვერვით ან ურთიერთშეჯვარებით გამრავალებისას არ იითშება. იგი წმინდა შთამომავლობას იძლევა. განსხვავებული სახის ჰომოზიგოტური მშობლების (მაგ. AA x aa) შეჯვარებით კი მიიღება Aa ალელებიანი ჰიბრიდები. წყვილი ალელიდან ჰიბრიდი ერთს დედისაგან (A), მეორეს მამისაგან (a) იღებს.

პირველ თაობაში მიღებულ ჰიბრიდებს მოეპოვებათ როგორც გლუვი თესლის A, ისე ნაოჭიანი თესლის-a განმსაზღვრელი ალელები. ვინაიდან A ალელი ახშობს a ალელის მოქმედებას, ამიტომ პირველი თაობის ჰიბრიდები გლუვ თესლს იკეთებენ. ე.ი. მოქმედებს პირველი თაობის ჰიბრიდთა ერთგვაროვნების კანონი. პირველ თაობაში მიღებული ჰიბრიდები ჰეტეროზიგოტურებია. (ორგანიზმს, რომელიც შეიცავს ერთი და იმავე გენის განსხვავებულ ალელებს (მაგ., Aa) და წარმოქმნის სხვადასხვა სახის გამეტებს, ეწოდება ჰეტეროზიგოტური.

პირველ თაობაში მიღებული (Aa) ჰიბრიდები გარეგნობით გლუვთესლიან (AA) მშობელს ემსგავსებიან, ალელთა შემცველობით კი განსხვავდებიან. ინდივიდის გარეგან და შინაგან ნიშან-თვისებათა ერთობლიობას ფენოტიპი ეწოდება, ხოლო ინდივიდში წარმოდგენილ გენთა ერთობლიობას–გენოტიპის. გენოტიპის ელემენტარულ დისკრეტულ ერთეულს – ფენი წარმოადგენს, ფენოტიპის ელემენტარულ დისკრეტულ ერთეულს - ფენი. მენდელის კანონზომიერებათა განხილვისას ფენის ნაცვლად ხშირად სინონიმურ ტერმინს "ნიშანს" ხმარობენ. ამრიგად, მენდელისეულ ცდებში "ნიშანი" სპეციალური ტერმინია, რომელიც ალტერნატული მონოგენური სქემით მემკვიდრეობს.

პირველი თაობის ინდივიდები მენდელმა თვითდამტვერვით გაამრავლა და მეორე ჰიბრიდული თაობა მიიღო. მან ივარაუდა, რომ პირველი თაობის ჰეტეროზიგოტურ (Aa) მცენარეებში თანაბარი რაოდენობით წარმოიქმნება ორი ტიპის გამეტები: A ან a ალელის მქონე. იმის გამო, რომ განაყოფიერებისას გამეტების შერწყმა შემთხვევით ხასიათს ატარებს, A ალელის მქონე სპერმიებს თანაბარი ალბათობით შეუძლიათ გაანაყოფიერონ როგორც A, ისე a ალელიანი კვერცხუჯრედები. ასევე, a ალელის მქონე სპერმიებს შეუძლიათ თანაბარი ალბათობით გაანაყოფიერონ ორივე სახის მდედრობითი გამეტები– კვერცხუჯრედები. ალელთა ეს ოთხი შესაძლო კომბინაცია ზიგოტებში თანაბარი ალბათობით რეალიზდება.

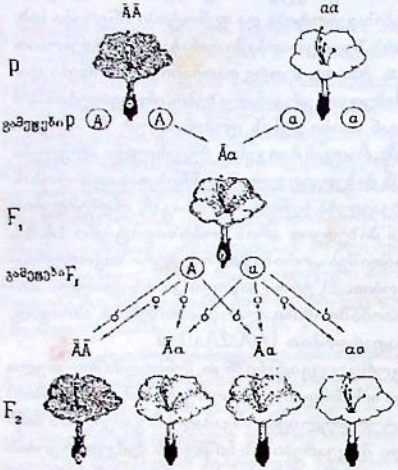
ინგლისელმა გენეტიკოსმა რ.პენეტმა სხვადასხვა ტიპის გამეტების შერწყმით მიღებულ კომბინაციათა გაანგარიშებისა და დაოშვის განსასაზღვრავად შემოიღო პარტივი შეოთი, რომელიც გენეტიკურ ლიტერატურაში პენეტის ცხრილის სახელწოდებითაა ცნობილი. ცხრილის მარცხენა პირველ ვერტიკალურ უჯრებში განალაგებენ მდედრობით გამეტებს, ზემო ჰორიზონტალურ უჯრებში – მამრობითს.

ურთიერთგადამკვეთ უჯრებში შესაბამისი გამეტების შერწყმით მიღებული ზიგოტებიდან განვითარებული ინდივიდების გენოტიპი და ფენოტიპი იწერება (იხ. სურ.3. 1). როგორც პენეტის ცხრილიდან ჩანს, მეორე თაობაში თანაბარი რაოდენობით მიიღება ფნდივიდთა ოთხი კლასი: AA, Aa, Aa, aa. მეორე თაობაში აღინიშნება დათიშვა. თუ მიღებულ შედეგს ფენოტიპის მიხედვით გავაანალიზებთ, ინდივიდების 3/4 ნაწილი იქნება გლუვთესლიანი, ვინაიდან ისინი გენის დომინანტურ A ალელს შეიცავენ. 1/4 ნაწილი ნაოჭთესლიანი იქნება, რადგან მათ გენის რეცესიული ალელები აქვთ. ამრიგად, მეორე თაობაში ფენოტიპის მიხედვით დათიშვა ქმნის თანაფარდობას 3:1. გენოტიპის მიხედვით დათიშვა განსხვავდება ფენოტიპურისაგან. ინდივიდების ერთი ნაწილი დომინანტური ალელების მიხედვით არის ჰომოზიგოტური (AA), რომლებიც მომდევნო F_2 თაობაში აღარ დაითიშება, ორი ნაწილი ჰეტეროზიგოტურია- Aa, F_2-ში ისინი დაითიშებიან თანაფარდობით 3:1, ერთი ნაწილი კი რეცესიული ჰომოზიგოტი - aa მცენარეებია. მომდევნო თაობაში ისინი აღარ დაითიშებიან, ამრიგად, გენოტიპის მიხედვით დათიშვა არის თანაფარდობით 1AA:2Aa:1aa.

ვაშლისთაობა სიწმინდის წესი. როგორც უკვე აღვნიშნეთ, მენდელმა მიღებული შედეგის ასახსნელად წამოაყენა გამეტათა სიწმინდის (ფაქტორული შემკვიდრეობის) ჰიპოთეზა, რომელიც მოგვიანებით დადასტურებულ იქნა. ამჟამად მას გამეტების სიწმინდის წესს უწოდებენ. მონოჰიბრიდული შეჯვარებისას ნიშნების შემკვიდრეობის ანალიზის საფუძველზე მნიშვნელოვანი დასკვნაა შესაძლებელი, რადგან პირველი თაობის ჰიბრიდებში წყვილი ალტერნატიული ნიშნიდან მხოლოდ ერთი – დომინანტური – ვლინდება, მეორე თაობაში კი რეცესიული ნიშანი კვლავ წმინდა სახით იჩენს თავს, ბუნებრივია, ჰეტეროზიგოტურ – Aa ინდივიდში A და a ალელების ერთმანეთში შერევა ან შერწყმა არ ხდება. ჰიბრიდში ისინი განცალკევებული "წმინდა" სახით გვხვდებიან. წყვილი ალელიდან გამეტაში მხოლოდ თითოა. ამიტომ ჰეტეროზიგოტურ ორგანიზმში ორი სახის A ან a ალელების მქონე გამეტები ყალიბდება. გამეტაში A ალელი "წმინდაა". იგი a ალელის არავითარ ნაწილს არ შეიცავს და პირიქით a ალელის მქონე გამეტას A ალელის ნაწილი არ გააჩნია. ამდენად, ჰიბრიდში წარმოქმნილი გამეტები არაჰიბრიდულია, "წმინდაა". ალტერნატიული ნიშნის განმსაზღვრელ ალელთა შეურწყმელობას გამეტათა სიწმინდის წესი ეწოდება.

არასრული დომინანტობა

მენდელის მიერ შესწავლილ ცდებში, როგორც დავინახეთ, გენის ეროი ალელი მთლიანად ახშობდა მეორის მოქმედებას, გვხვდებოდა სრული დომინირება. ამ დროს პირველ თაობაში მიღებული ჰიბრიდები ფენოტიპურად ერთ-ერთი მშობლის მსგავსია. მცენარეებში, ცხოველებსა და ადამიანში გამოვლენილია მრავალი ისეთი ნიშანი, რომელთა განმსაზღვრელ გენებში ერთი ალელი მთლიანად ვერ ახშობს მეორის მოქმედებას. ეს შენიშნა მენდელმაც ბარდაში ზოგიერთი ნიშნის მემკვიდრეობისას. ამ მოვლენას არასრული ანუ შუალედური დომინირება ეწოდება, ვინაიდან პირველ თაობაში მიღებული ჰიბრიდები ორივე მშობელს ემსგავსება – შუალედურია. პირველად ეს მოვლენა შეისწავლეს გულისაბასა და დევისპირაში წითელ და თეთრყვავილებიან მცენარეთა შეჯვარებისას. პირველ თაობაში ჰიბრიდებს (Aa) ვარდისფერი ყვავილები ჰქონდათ. ისინი ორივე მშობლის მსგავსი – შუალედური



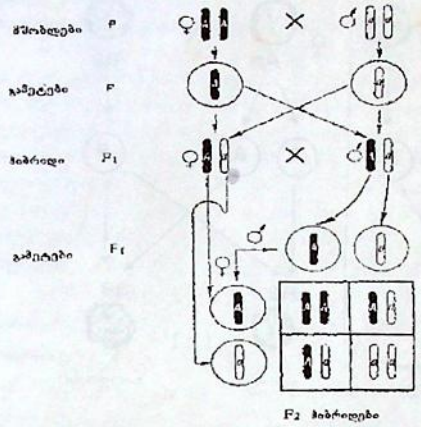
სურ.3.2.ყვავილის შეფერილობის მემკვიდრეობა გულისაბაში (არასრული დომინანტობა)

აღმოჩნდა. მეორე თაობაში ჰიბრიდების ერთ ნაწილს (AA) ჰქონდათ წითელი, ორს (Aa) -ვარდისფერი, ერთ ნაწილს (aa)კი–თეთრი ყვავილები. ვინაიდან ჰეტეროზიგოტური (Aa) მცენარეები ფენოტიპურად განსხვავდებიან ჰომოზიგოტურებისაგან, მეორე თაობაში დათიშვა ფენოტიპისა და გენოტიპის მიხედვით ერთმანეთს ემთხვევა და არის თანაფარდობით 1AA:2Aa:1aa (იხ.სურ.3.2). არასრული დომინანტობა ფართოდ გავრცელებული მოვლენაა. ანალოგიურად მემკვიდრეობს ადამიანში ომის ფორმა –ხუჭუჭთმიანობა.

ეოზინოფილებრიდული შეჯვარების ციტოლოგიური მექანიზმი

მენდელის მოღვაწეობის დროს ჯერ კიდევ არ იყო აღმოჩენილი და შესწავლილი უჯრედის გაყოფის ფორმები, გამეტოგენეზი. თუ რა აპირობებდა პირველ თაობაში ერთგვაროვნებას, რატომ ხდებოდა დათიშვა მეორე თაობაში, ან რით იყო გამოწვეული ფაქტორთა წყვილადობა და გამეტათა სიწმინდის ბუნება, მენდელისათვის უცნობი დარჩა. მენდელის მიერ დადგენილი კანონზომიერებების ხელმეორედ აღმოჩენის შემდეგ 1902-1903 წ ამერიკელმა მეცნიერმა უ.სეტონმა და გერმანელმა ტ.ბოვერიმ ერთიმეორისაგან დამოუკიდებლად ყურადღება მიაქციეს ნიშან-თვისებათა მენდელირებასა და ჰომოლოგიურ ქრომოსომათა ქცევას თაობათა მონაცვლეობის პროცესში – მეიოზისა და განაყოფიერებისას. ამ მნიშვნელოვანი პარალელიზმის საფუძველზე მათ მოგვცეს გამეტათა სიწმინდის ჰიპოთეზის ციტოლოგიური ვერსიფიკაცია.

დავუშვათ, რომ ბარდას სომატური უჯრედები შეიცავენ მხოლოდ ქრომოსომათა ერთ ჰომოლოგიურ წყვილს, რომელშიც მოთავსებულია თესლის ფორმის განმსაზღვრელი გენი. ქრომოსომის იმ უბანს, რომელშიც გენია მოთავსებული, **ლოკუსი** ეწოდება. საპირისპირო ნიშნის განმსაზღვრელი გენის ალელები ჰომოლოგიური ქრომოსომების მოპირდაპირე ლოკუსებში არიან განლაგებულნი. ვინაიდან ჰომოლოგიური ქრომოსომები წყვილია, გლუვთესლიან ჰომოზიგოტურ მცენარეს ორი დომინანტი AA ალელი აქვს, ხოლო ნაოჭთესლიანს კი–aa ალელი. მეიოზის შედეგად ხდება ქრომოსომათა რიცხვის განახევრება. გამეტას ჰომოლოგიური

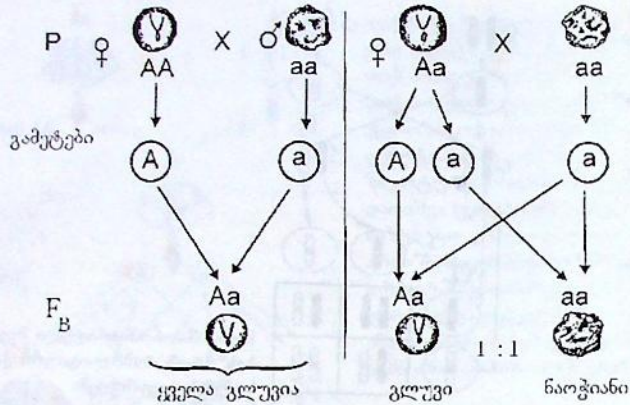


სურ.3.3.მონოჰიბრიდული შეჯვარების დროს ჰომოლოგიური ქრომოსომების ქცევის სქემა

წყვილიდან მხოლოდ ერთი ქრომოსომა აქვს და, ბუნებრივია, ერთი ალელი–გლუვთესლიანი მცენარის გამეტებში A ალელიანი, ხოლო ნაჭოესლიანის გამეტებში a ალელიანი ქრომოსომა აღმოჩნდება. განაყოფიერებისას აღდგება ქრომოსომათა წყვილადობა. ჰიბრიდს ერთ ქრომოსომაში ექნება A, მეორეში კი–a ალელი. მისი გენოტიპი Aa იქნება, ე.ი. ისეთი, როგორიც მენდელმა ივარაუდა. ჰიბრიდულ მცენარეში სასქესო უჯრედების მომწიფებისას მეიოზში ჰომოლოგიური ქრომოსომების წევრები ერთმანეთს შორდებიან. A ალელის მქონე ქრომოსომა აღმოჩნდება ერთ გამეტაში, a ალელისა კი – მეორე გამეტაში. ორივე სახის გამეტები თანაბარი რაოდენობით ყალიბდება მცენარის როგორც მდედრობით, ისე მამრობით სასქესო ორგანოებში. ამრიგად, ნათელი ხდება, თუ რატომ წარმოიქმნება ჰიბრიდულ მცენარეში არაჰიბრიდული ანუ წმინდა გამეტები. გამეტების შერწყმა შემთხვევითი ხასიათისაა. განაყოფიერების დროს ორივე ტიპის მდედრობითი და მამრობითი გამეტები თანაბარი ალბათობით ერწყმიან ერთმანეთს, რის გამოც ხორციელდება დათიშვა თანაფარდობით 1AA:2Aa:1aa (იხ. სურ. 3.3).

გამაანალიზებელი შეჯვარება

რეცესიული გენი მხოლოდ ჰომოზიგოტურ მდგომარეობაში ვლინდება. ამდენად, თუ ინდივიდს რეცესიული ნიშანი მოეპოვება, ადვილია მისი გენოტიპის განსაზღვრა. დომინანტური ნიშნის მქონე ინდივიდში ფენოტიპის მიხედვით შეუძლებელია გენოტიპის დადგენა. ამიტომ გენოტიპის განსაზღვრას საოანადო გენეტიკური მეთოდით – გამაანალიზებელი შეჯვარებით – ახდენენ. ამ მეთოდის არსი შემდეგია: ინდივიდს, რომლის გენოტიპის განსაზღვრა უნდათ, უჯვარებენ რეცესიული ნიშნის მქონე ინდივიდს. მაგალითად, გლუვთესლიანი ბარდა შეიძლება იყოს როგორც ჰომოზიგოტური (AA), ისე ჰეტეროზიგოტური (Aa). დავუშვათ, გლუვთესლიანი მცენარე



სურ.3.4.გამაანალიზებელი შეჯვარება

ჰომოზიგოტურია (AA); მასში წარმოიქმნება ერთი სახის A-ალელის მქონე გამეტები, ასევე ერთი სახის გამეტები ქალიბდება ნაოჭთესლიან (aa) მცენარეში. გამეტების შერწყმით მიიღება Aa გენოტიპის ჰიბრიდები. ამრიგად, თუ გამაანალიზებელი შეჯვარებისას მიღებული ჰიბრიდები ერთგვაროვანი აღმოჩნდა, მაშინ უცნობი გენოტიპის მქონე ინდივიდი ჰომოზიგოტურია.

განვიხილოთ საპირისპირო შემთხვევა. დავუშვათ, გლუვთესლიანი ბარდა ჰეტეროზიგოტურია (Aa). მასში ორი ტიპის A და a ალელის მქონე თანაბარი რაოდენობის გამეტები წარმოიქმნება. რეცესიულ (aa) მცენარესთან შეჯვარებით მიიღება თანაბარი რაოდენობის როგორც გლუვთესლიანი (Aa), ისე ნაოჭთესლიანი (aa) ჰიბრიდები. ამრიგად, თუ გასაანალიზებელი ინდივიდი რეცესიულ ორგანიზმთან შეჯვარებისას ითიშება თანაფარდობით 1Aa:1aa, მაშინ იგი ჰეტეროზიგოტურია. გამაანალიზებელი შეჯვარების მეშვეობით დათიშვის ხასიათის მიხედვით ადგენენ, როგორც გამოსაკვლევი ინდივიდის გენოტიპს, ისე წარმოქმნილი გამეტების ტიპებსა და მათ თანაფარდობას (იხ. სურ. 3-4).

გენი და ალელური გენთა შრომითერთიანების ფორმები

კლასიკური გენეტიკის განმარტებით გენი წარმოადგენს მემკვიდრულობის დისკრეტულ ერთეულს, რომელიც განსაზღვრავს ცალკეული დისკრეტული ნიშნის ან თვისების ე.წ. ფენის განვითარებას. მოლეკულურმა გენეტიკამ რამდენადმე დააკონკრეტა გენის ეს აბსტრაქტული ცნება. გენი წარმოადგენს დნმ-ის მოლეკულის მონაკვეთს, რომელშიც წარმოდგენილია ინფორმაცია ცილის პირველად სტრუქტურაში ამინომჟავათა ან რიბონუკლეინის მჟავაში (რიბოსომული, ტრანსპორტული) ნუკლეოტიდთა თანმიმდევრობის შესახებ. ფენოტიპის (მორფოლოგიურ, ფიზიოლოგიურ, იმუნოლოგიურ, კლინიკურ და სხვა) დისკრეტულ ერთეულს ფენი წარმოადგენს,

რითაც ერთი ინდივიდი მეორისაგან განსხვავდება. როგორც უკვე აღვნიშნეთ, ფენის ნაცვლად ხშირად სინონიმურ ტერმინს "ნიშანს" ან "თვისებას" ხმარობენ.

ბიოქიმიური და იმუნოლოგიური ნიშნებისაგან განსხვავებით მორფოლოგიურ და კლინიკურ ნიშან-თვისებებში რთულია კავშირის დადგენა: გენი-ფერმენტი-ნიშანი. რიგ შემთხვევაში მორფოლოგიური ნიშნის ჩამოყალიბებაში მონაწილეობს მრავალი ფერმენტი, რომლებიც სხვადასხვა მეტაბოლურ რეაქციებს წარმართავენ. ასე, მაგალითად, მ'ხის სხივებისადმი ორგანიზმის მგრძნობელობა, კანის სიმსივნე, პიგმენტური ქსეროდერმის თანმხლები ნიშნებია. ამჟამად დადგენილია, რომ ეს დაავადება რეპარაციის პროცესის დარღვევით არის გამოწვეული. ზოგჯერ ერთი ნიშნის ჩამოყალიბებაში მონაწილეობს რამდენიმე გენი, ზოგჯერ კი საპირისპირო მოვლენა იჩენს თავს. თვით ერთი გენის ალელთა შორის დამოკიდებულებაც არაერთგვაროვანია.

გამოყოფენ ალელთა მოქმედების რამდენიმე ფორმას. გამოვლენილია დომინანტობის შემდეგი სახეები: 1.**სრული დომინანტობის** დროს გენის ერთი ალელი მთლიანად ორგუნავს მეორის მოქმედებას. ალელურ გენთა ურთიერთქმედების ეს მოვლენა იქნა შესწავლილი მენდელის მიერ; 2.**არასრული დომინანტობის** დროს გენის ერთი ალელი ნაწილობრივ ორგუნავს მეორის მოქმედებას, რის გამოც ჰეტეროზიგოტი ინდივიდი ფენოტიპურად ორივე მშობელს ემსგავსება; 3.**კოდომინანტობა** ისეთი მოვლენაა, როდესაც გენის ორივე ალელი ტოლფასოვანია – ეკვივალენტურია. ჰეტეროზიგოტურ მდგომარეობაში ორივე ალელი ფუნქციონირებს. 1927 წელს ადამიანში სისხლის MN ჯგუფი აღმოაჩინეს. ამ სისტემას ერთი გენის ორი L^M და L^N კოდომინანტური ალელი განსაზღვრავს. ისინი შესაბამისად M და N ანტიგენის სინთეზს აკონტროლებენ. L^ML^M გენოტიპის ადამიანს ფენოტიპში M ფაქტორი აქვს, L^NL^N გენოტიპის ადამიანს კი – N ფაქტორი. ჰეტეროზიგოტურ L^ML^N გენოტიპის ადამიანში ორივე ალელი ტოლფასოვანია, ერთნაირად ფუნქციონირებს. მასში ორივე სახის ანტიგენი სინთეზდება, ადამიანს MN ფენოტიპი აღენიშნება. იმის გამო, რომ პლაზმაში ანტიგენების შესაბამისი ანტისხეულები არ არსებობენ, სისხლის გადასხმისას ამ სისტემას არ ექცევა ყურადღება.(4.**ჭარბი დომინანტობა**. ამ მოვლენის დროს ჰეტეროზიგოტულ მდგომარეობაში გენის დომინანტი ალელი გაცილებით ძლიერად ფუნქციონირებს და ავლენს თავის მოქმედებას, ვიდრე ჰომოზიგოტურ მდგომარეობაში.

მრავლობითი ალელიზმი

ზემოთ განხილულ მაგალითებში გენი მხოლოდ ორი ალელური ფორმით (A და a ან B და b და ა.შ.) გვხვდებოდა. გამოვლენილია მრავალი ისეთი შემთხვევა, როდესაც გენი ორზე მეტი ალელითაა წარმოდგენილი. მუტაციის შედეგად იცვლება გენი, იგი ერთი ალელური მდგომარეობიდან მეორეში გადადის ან პირუკუ, უბრუნდება საწყის მდგომარეობას. მრავალ გენს აღმოაჩნდა სრულიად სხვა ალელურ მდგომარეობაში გადასვლის უნარი (მაგ. $A \rightarrow a_1, a_2, a_3 \ldots a_n$), რის შედეგადაც წარმოიქმნება მრავლობით ალელთა სერია. ამ მოვლენას **მრავლობითი ალელიზმი** ეწოდება. უნდა აღინიშნოს, რომ მრავლობითი სერიის წევრებიდან გამეტაში მხოლოდ ერთი ალელი იმყოფება. ცალკეული ორგანიზმი კი მხოლოდ ორ ერთნაირ ან განსხვავებულ

(მაგ. a_1a_1 ან a_1a_2 და ა.შ.) ალელს შეიცავს. ამდენად, მრავლობით ალელებში დათიშვა ყოველთვის მონოგენური ხასიათისაა. მრავლობით ალელთა სერიის შუალედი წევრები რიგ შემთხვევაში სრულად დომინირებენ ერთი მეორეზე, რიგ შემთხვევაში – კი არა. მრავლობითი ალელიზმის მოვლენა პირველად მორგანმა და მისმა თანამშრომლებმა გამოავლინეს დროზოფილაში, თვალის შეფერილობის განმსაზღვრელ W ლოკუსის შესწავლისას. დროზოფილაში თვალის წითელი შეფერილობის განმსაზღვრელი გენი W^+ ქმნის მრავლობით ალელთა სერიას, რომელიც თხუთმეტამდე წევრისაგან შედგება. წითელთვალიანობის განმსაზღვრელი გენი დომინანტობს ყველა დანარჩენ ალელზე. მომდევნო W^{ch} ალელი (ალუბლისფერის განმსაზღვრელი) კი – დანარჩენებზე და ა.შ. ალელთა სერია შემდეგ რიგს ქმნის: $W^+ > W^{ch} > W^c > W^a > W$; ინდექსთა სიმბოლოებით თვალის ფერს გამოხატავენ: ch-ალუბლისფერი (ინგლ. cherrg), e-ეოზინისფერი (ინგლ.cosin), a-ჭერმისფერი (ინგლ. apricot), w-თეთრი (ინგლ. white).

ადამიანის მეცნიერ ქრომოსომაში ლოკალიზებული I გენი სისხლის ABO ჯგუფს განსაზღვრავს. იგი ალელთა სერიას ქმნის და სამი ალელითაა წარმოდგენილი. I^A და I^B ალელები შესაბამისად A და B ანტიგენ აგლუტინოგენის სინთეზს ახდენენ, I^O ალელს კი ანტიგენის სინთეზის უნარი არ გააჩნია. სისხლის პლაზმაში კი აღმოჩენილია ანტისხეული α და β აგლუტინინი. შესაბამისი ანტიგენისა და ანტისხეულების ურთიერთქმედებით (A+α ან B+β) ხდება აგლუტინაცია ანუ ერითროციტების შეწებება. იგი ჯგუფობრიობის შეუთავსებლობის ფაქტორად გვევლინება. ერითროციტებში აგლუტინოგენისა და პლაზმაში აგლუტინინის არსებობის მიხედვით მოსახლეობა ოთხ ჯგუფად იყოფა: I (O) ჯგუფის ადამიანის გენოტიპია I^OI^O ერითროციტში არაა აგლუტინოგენი, პლაზმაში კი იმყოფება α და β აგლუტინინი. II (A) ჯგუფის ადამიანის ერითროციტები შეიცავენ A აგლუტინოგენს, პლაზმა კი β აგლუტინინს. მათი გენოტიპია I^AI^A ან I^AI^O. III (B) ჯგუფის ადამიანის ერითროციტები შეიცავს β აგლუტინოგენს, პლაზმა კი – α აგლუტინინს. მათი გენოტიპებია I^BI^B ან I^BI^O. IV (AB) ჯგუფის ადამიანის სისხლი ხასიათდება ერითროციტებში A და B აგლუტინოგენის არსებობით, ხოლო პლაზმა არცერთი სახის აგლუტინინს არ შეიცავს. მათი გენოტიპია I^AI^B. ამრიგად, I^A და I^B ალელები ერთმანეთის მიმართ კოდომინანტურია, ხოლო ორივე მათგანი დომინანტობს I^O-ზე. სისხლის ჯგუფობრივ ცოდნას დიდი მნიშვნელობა აქვს. სისხლის გადასხმის შემთხვევაში ამ მოვლენის გაუთვალისწინებლობისას ხშირად ვითარდება ჰემოტრანსფუზიური შოკი, რომელმაც შეიძლება ადამიანის სიკვდილი გამოიწვიოს.

ბოცვერში ბეწვის შეფერილობას (იგი პიგმენტის შემცველობაზეა დამოკიდებული), ალელთა სერია განსაზღვრავს. სერიის შემადგენელი წევრები დომინანტობის უნარის მიხედვით შემდეგნაირად ლაგდებიან: C (შავი) > C^{ch} (შინშილა – მოვერცხლისფრო რუხი) > C^a (ყარყული) > c (თეთრი). კარგადაა შესწავლილი ადამიანში ჰემოგლობინის სინთეზის მაკონტროლებელი ორივე გენის, ხოლო დევნისპირაში ყვავილის ფორმის განმსაზღვრელი გენის ალელთა სერია.

გენის პენეტრანტულობა და ექსპრესიულობა

ზოგიერთი გენის ფენოტიპური გამოვლენა ინდივიდებში ერთნაირია და უცვლელი, ზოგიერთი გენის ფენოტიპური გამოხატულება კი მეტად ვარიაბილურია. ამ უკანასკნელის გამოვლენა დიდად არის დამოკიდებული გენოტიპსა და გარემო

პირობებზე. ზოგიერთი გენის ერთი და იგივე ალელი მონათესავე ინდივიდების მხოლოდ ერთ ნაწილში ვლინდება, დანარჩენში კი არა. გენის გამოვლენის ამ ხარისხს ეწოდება **პენეტრანტულობა**. პენეტრანტულობის ხარისხს განსაზღვრავენ ალელის მფლობელ ინდივიდთა საერთო რაოდენობის ფენოტიპურად გამოვლენილ ინდივიდებთან პროცენტული თანაფარდობით. არჩევენ სრულ და არასრულ პენეტრანტულობას. სრული პენეტრანტულობისას გენის დომინანტური ან რეცესიული ალელი უკლებლივ ყველა ინდივიდში (100%) ვლინდება. მენდელის მიერ შესწავლილ გენებს სრული პენეტრანტულობა ახასიათებდა. ასევე სრული პენეტრანტულობა შეინიშნება სისხლის MN და ABO ჯგუფის განმსაზღვრელ გენებშიც. არასრული პენეტრანტულობის დროს გენის დომინანტური ან რეცესიული ალელის ეფექტი ინდივიდთა მხოლოდ ერთ ნაწილში ვლინდება. ყარყუმული (ჰიმალაიური) ბოცვერების ბაჭიები მაღალ ტემპერატურაზე (30°C) განვითარებისას თეთრბეწვიანია ე.ი. ფენოტიპურად რეცესიული ნიშნის მსგავსია. ასევე, ცნობილია ქათამში რეცესიული ლეტალური გენი, რომელიც კანკალს იწვევს, იგი ინდივიდების მხოლოდ 30-40%-ში ვლინდება, ე.ი. ამ გენის პენეტრანტულობა 30-40%-ია. ადამიანში მემკვიდრულ პანკრიატიტს გენის დომინანტური ალელი იწვევს, რომლის პენეტრანტულობა 80%-ს შეადგენს. მაშინ, როდესაც ჰარდნერის სინდრომის პენეტრანტულობა 84%-ია, ოთოსკლეროზისა კი - 40%.

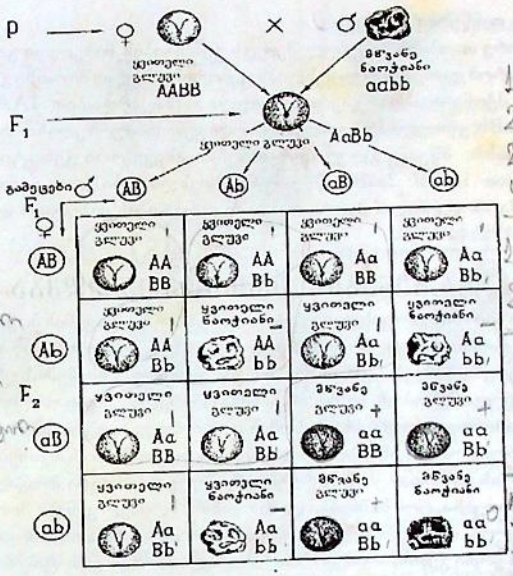
ზოგჯერ გენის ერთი და იმავე ალელის ფენოტიპური გამოვლენის ხარისხი განსხვავებულია. ერთნაირი გენოტიპის ინდივიდებში გენის გამოვლენის ნაირგვარ დონეს **ექსპრესიულობა** ეწოდება. პენეტრანტულობა გვიჩვენებს, თუ პოპულაციის წევრთა რა ნაწილში ვლინდება ნიშანი, ექსპრესიულობა კი მიუთითებს, თუ რა ოდენობით ვარირებს გენის გამოვლენის დონე, იგივე გენის მოქმედების "ძალა". ექსპრესიულობა შინაგან და გარეგან გარემოზე ერთნაირი გენოტიპის მქონე ინდივიდების რეაქციას გამოხატავს. ამ რეაქციას ორგანიზმებისა და მთელი პოპულაციისათვის დიდი ადაპტური მნიშვნელობა აქვს. გენის მუდმივი ექსპრესიის დროს ნიშანი პოპულაციის ყველა ინდივიდში ერთნაირად ვლინდება, საწინააღმდეგო შემთხვევაში კი თავს იჩენს ვარიაბელური ექსპრესია. ვარიაბელური ექსპრესიით ხასიათდება ქათმებში პოლიდაქტილიის განმსაზღვრელი დომინანტი გენი. ჰეტეროზიგოტულ ინდივიდებში აღწერილია ფართო ვარიაციები ზედმეტი ფალანგის არსებობიდან თითის გაორმაგებამდე. ამასთანავე, დამატებითი თითის მქონე ქათმებს ის განსხვავებული დონით აქვთ განვითარებული. ადამიანებს, რომლებიც გრძნობენ ფენილთიოკარბამიდის გემოს, გენის დომინანტური ალელი აქვთ. დომინანტური ნიშნის მქონე ადამიანები ნივთიერების მწარე გემოს არაერთგვაროვნად შეიგრძნობენ: ზოგისათვის ის ძლიერ მწარეა, ზოგისათვის კი - ნაკლებ, რაც ამ გენის ექსპრესულობითაა გამოწვეული. მოვიყვანთ სხვა მაგალითებსაც. კატარაქტით დაავადებულ ადამიანებს განსხვავებული დონით აქვთ შემღვრეული ბროლი. ადამიანში პოლიდაქტილიას დომინანტი გენი იწვევს, რომელიც ვარიაბელური ექსპრესიით ხასიათდება, ამ გენის მქონე ადამიანებს ხელებსა და ფეხებზე შეიძლება თითები განსხვავებული რაოდენობის ჰქონდეთ. აუტოსომურ-დომინანტური გენით გამოწვეულ მარფანის სინდრომი დიდი ვარიაბელობით გამოირჩევა. ზოგიერთ ავადმყოფში იგი მკვეთრადაა "კლასიკური" ფორმით გამოხატული, ზოგიერთში კი იმდენად მუბუქი ფორმით

გვხვდება, რომ დიაგნოსტირება ჭირს. რიგ შემთხვევაში გენი ერთდროულად არასრული პენეტრენტულობით და ვარიაბელური ექსპრესიულობით ვლინდება. ასეთია, კერძოდ, ჰანდიქტონის დაავადების გამომწვევი დომინანტი გენი. გენის ექსპრესიულობაზე გარკვეულ გავლენას ახდენს სქესი.

25 + დიჰიბრიდული შეჯვარება 26

ბუნებაში მიმდინარეობს პოლიჰიბრიდული შეჯვარება, რადგანაც მშობლები მრავალი ფენით და, შესაბამისად, მრავალი გენით განსხვავდებიან. მენდელმა ეს რთული მოვლენა შემადგენელ ელემენტებად დაყო და შემდეგ მთელი პროცესი განაზოგადა. შეჯვარებას, როდესაც საწყისი ინდივიდები ორი წყვილი ალტერნატული ნიშნით განსხვავდებიან, **დიჰიბრიდული** ეწოდება, როდესაც სამი წყვილით **ტრიჰიბრიდული** და ა.შ. მენდელმა ერთმანეთს შეუჯვარა ჰომოზიგოტური მცენარეები, რომლებიც ორი სხვადასხვა გენის ალელებით განსხვავდებოდნენ. განვიხილოთ ერთ-ერთი მისეული კლასიკური ცდა. საწყისი ინდივიდები ერთიმეორისაგან განსხვავდებოდნენ თესლის ფერით (ყვითელი და მწვანე) და ფორმით (გლუვი და ნაოჭიანი). ერთ-ერთი მშობელი იყო ყვითელი, გლუვთესლიანი, მეორე კი მწვანე, ნაოჭთესლიანი. პირველ თაობაში ჰიბრიდებმა ყვითელი და გლუვი თესლი გაიკეთეს. არ შეცვლილა პირველი თაობის ჰიბრიდთა ერთგვაროვნების კანონი, პირველი თაობის ჰიბრიდები მენდელმა თვითდამტვერვით გაამრავლა და მიიღო მეორე თაობის ჰიბრიდული თესლი. მიღებული თესლებიდან 315 იყო ყვითელი, გლუვი (9 ნაწილი); 101 ყვითელი, ნაოჭიანი (3 ნაწილი); 108 მწვანე, გლუვი (3 ნაწილი); 35 მწვანე, ნაოჭიანი (1 ნაწილი). ამრიგად, მოხდა დათიშვა თანაფარდობით 9:3:3:1, ანუ უცვლელი დარჩა მეორე ანუ დათიშვის კანონი. როდესაც მენდელმა მიღებული შედეგები ცალკეული წყვილი ნიშნის მიხედვით გაანალიზა (მეორე წყვილ ნიშანს ყურადღება არ მიაქცია), ასეთი შედეგი მიიღო: 416 თესლი იყო ყვითელი, 140 კი - მწვანე. ეს თანაფარდობა ძალიან ახლოსაა 3:1-თან; ხოლო როდესაც თესლები ფორმის მიხედვით გაანალიზა, 423 იყო გლუვი, 133 კი- ნაოჭიანი; ამ შემთხვევაშიც თანაფარდობა აღმოჩნდა 3:1-თან. ამრიგად, ცალკეული წყვილი ალტერნატიული ნიშნის მიხედვით დათიშვა ისეთივე აღმოჩნდა, როგორიც მონოჰიბრიდული შეჯვარებისას, რის საფუძველზეც მენდელმა ჩამოაყალიბა ნიშან-თვისებათა დამოუკიდებლად მემკვიდრეობის კანონი. მას ამჟამად **მენდელის მესამე კანონი ანუ გენთა დამოუკიდებლად კომბინირების კანონი** ეწოდება.

მიღებული შედეგის ასახსნელად მენდელმა კვლავ გამოიყენა თეორია სიწმინდის ჰიპოთეზა გამოიყენა. თესლის ყვითელი შეფერილობის განმსაზღვრელი გენი აღნიშნა A ნიშნით, მისი რეცესიული ალელი -მწვანის განმსაზღვრელი კი – a-თი. გლუვი ფორმის განმსაზღვრელი დომინანტი გენი B-თი, მისი რეცესიული ალელი–ნაოჭიანი ფორმის განმსაზღვრელი კი – b-თი. ყვითელი გლუვთესლიანი ჰომოზიგოტი მცენარის გენოტიპია AABB, მწვანე გლუვთესლიანის კი-aabb. ვინაიდან გამეტაში წყვილი ალელური გენიდან თითოა, ორივე მშობელი თითო სახის გამეტებს წარმოქმნის. პირველი AB, მეორე-ab გენებიანს. გამეტების შერწყმით პირველ თაობაში მიიღება AaBb გენოტიპის დიჰეტეროზიგოტური მცენარეები, რომლებიც ყვითელ და გლუვ თესლებს გაიკეთებენ. დიჰეტეროზიგოტულ მცენარეებში თანაბარი რაოდენობით ყალიბდება



სურ.3.5.თესლის ფერისა და ფორმის მემკვიდრეობა ბარდაში

ოთხი სახის AB, Ab, aB და ab გენების მქონე გამეტები. ვინაიდან არაალელური გენები დამოუკიდებლად კომბინირებენ, წარმოიქმნება როგორც საწყისი ინდივიდების მსგავსი AB და ab გამეტები, ისე ახალი კომბინაციები Ab და aB.

გამეტების შემთხვევითი თანაბარი ალბათობით შერწყმის გამო მიიღება ზიგოტები გენთა 16 სახის კომბინაციით. მდედრობითი და მამრობითი გამეტების შერწყმით მიღებული ზიგოტების ყველა შესაძლო კომბინაცია, მეორე თაობის ფენოტიპები და გენოტიპები, მათი შეხვედრის სიხშირე მოტანილია პენეტის ცხრილში (იხ.სურ. 3.5). როგორც ცხრილიდან ჩანს, მის ერთ დიაგონალზე განლაგებულია ორივე გენის მიხედვით ჰომოზიგოტური, ხოლო მეორე დიაგონალზე დიჰეტეროზიგოტური კომბინაციები. დანარჩენ კვადრატებში მონოჰეტეროზიგოტული კომბინაციებია წარმოდგენილი. ცხრილში მოცემული შედეგის ფენოტიპების მიხედვით ანალიზი ცხადყოფს, რომ 16 კომბინაციიდან 9/16 შეიცავს A და B დომინანტ გენებს, რის გამოც თესლები ყვითელი და გლუვია; 3/16 ყვითელი ნაოჭიანი, რადგანაც A დომინანტი და b რეცესიული გენები აქვთ. 3/16 მწვანე ნაოჭიანი, მათ a რეცესიული და B დომინანტი გენები აქვთ; 1/16 კი მწვანე ნაოჭიანია, რადგან მათში მხოლოდ გენთა რეცესიული a და b ალელებია წარმოდგენილი. ამრიგად, მეორე თაობაში მიიღება ოთხი ფენოტიპური კლასი თანაფარდობით 9AB:3Ab:3aB:1ab. შესაბამისად თითოეული წყვილი ალელის მიხედვით დათიშვა 3:1 თანაფარდობით ხდება (12 ყვითელი: 4 მწვანე და 12 მრგვალი: 4 ნაოჭიანი). ამრიგად, დიჰიბრიდული შეჯვარება წარმოადგენს ორი მონოჰიბრიდული

შეჯვარების თანწყობის შედეგს.

თუ მეორე თაობაში მიღებულ შედეგს გენოტიპის მიხედვით გავაანალიზებთ, დავინახავთ, რომ ყვითელ გლუვთესლიან ფენოტიპურ კლასში ოთხი განსხვავებული გენოტიპის მქონე თესლია გაერთიანებული თანაფარდობით 1AABB: 2AaBB: 2AABb: 4AaBb; ყვითელ ნაოჭთესლიანში ორი გენოტიპური კლასია თანაფარდობით: 1AAbb: 2Aabb; მწვანე გლუვთესლიანებში ასევე ორი გენოტიპური კლასია თანაფარდობით 1aaBB: 2aaBb. მწვანე ნაოჭთესლიანები ერთი გენოტიპური aabb კლასითაა წარმოდგენილი. მეორე თაობაში გენოტიპის მიხედვით დათიშვაა თანაფარდობით: 1:2:2:4:1:2:1:2:1.

3.4.ᲒᲔᲜᲔᲑᲘᲡ ᲣᲠᲗᲘᲔᲠᲗᲛᲔᲓᲔᲑᲐ

ორგანიზმის ნიშან-თვისებათა ჩამოყალიბება მრავალი გენის მოქმედებით ხდება. მენდელური დათიშვა ანუ ფენოტიპური კლასების რიცხობრივი თანაფარდობა მკაცრი კანონზომიერებით ხდება. კანონზომიერება ვლინდება იმ შემთხვევაში, თუ ორი პირობაა დაცული: კერძოდ, ნიშნების განმსაზღვრელი გენები უნდა იყოს ლოკალიზებული არაჰომოლოგიურ ქრომოსომებში, თითოეული გენი კი სხვა გენებისაგან დამოუკიდებლად უნდა განსაზღვრავდეს ცალკეულ ნიშანს ან თვისებას –ფენს.

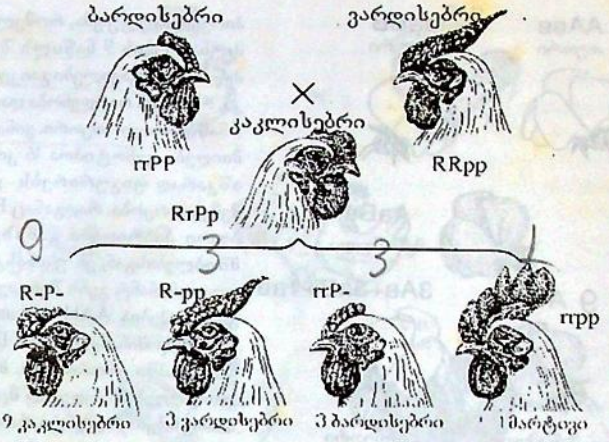
გენეტიკის განვითარების ადრეულ ეტაპზევე დაგროვდა მრავალი ფაქტი, რომელიც მიუთითებდა, რომ ნიშნებსა და მათ განმსაზღვრელ გენებს შორის ურთიერთდამოკიდებულება ძალზე რთული და მრავალფეროვანია. ნიშნის ჩამოყალიბება ონტოგენეზში არა ერთი გენის, არამედ მათი ერთობლიობით – გენოტიპის – მოქმედებით ხორციელდება. ამ პროცესში გარემო პირობები არსებით როლს ასრულებენ. მემკვიდრულობის ერთეული - გენი თავისი მოქმედებით დისკრეტულია-პირობებს ორგანიზმის გარკვეული ნიშნის ჩამოყალიბებას ან მის განვითარებას ორგუნავს. თუ ნიშნის განვითარებაში რამდენიმე გენი მონაწილეობს, ისინი თანამოქმედებენ.

გაირკვა, რომ ერთსა და იმავე გენს შეუძლია გავლენა მოახდინოს რამდენიმე ნიშნის განვითარებასა და ჩამოყალიბებაზე. დადგენილია საპირისპირო მოვლენაც-ნიშან-თვისების ჩამოყალიბება მრავალი გენის ურთიერთქმედებით ხორციელდება. გამოვლენილია არაალელურ გენთა ურთიერთქმედების რამდენიმე ტიპი: კომპლემენტური, ეპისტატური და პოლიმერული. კარგადაა, აგრეთვე, შესწავლილი გენის მრავლობითი ანუ პლეიოტროპული მოქმედება.

გენთა ურთიერთქმედების ყველა ფორმის დროს ნიშნის მემკვიდრულობაში მენდელის მიერ დადგენილ კანონზომიერებებს ემყარება. დადგენილია, რომ ჩნდება მენდელური დათიშვის ზოგადი ფორმულის სახეცვლილება, რის მიხედვითაც გენოტიპის სისტემაში გენთა შორის რთულ ურთიერთდამოკიდებულებას ადგენენ.

კომპლემენტარობა. კომპლემენტური ანუ დამატებითი ეწოდება ისეთ დომინანტ არაალელურ გენებს, რომლებიც ცალ-ცალკე მათ მოქმედებასთან შედარებით გენოტიპში ერთად ყოფნისას სრულიად ახალი ნიშნის განვითარებას იწვევენ.

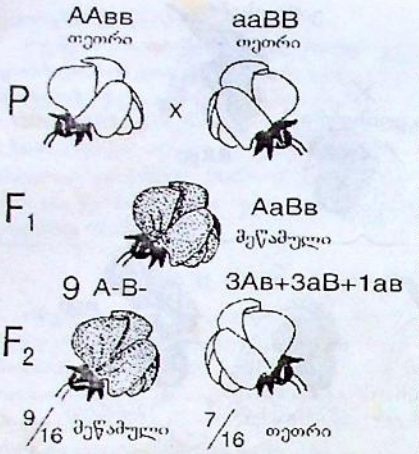
ურთიერთქმედების ეს ფორმა პირველად ვ.ბეტსონისა და რ.პენეტის მიერ იქნა გამოვლენილი და შესწავლილი ქათმებში ბიბილოს ფორმის მემკვიდრეობის ანალიზისას. ქათმებში გვხვდება ვარდისებრი ფორმის ბიბილო (განსაზღვრავს R გენი). იგი დომინანტობს შარტივზე. გვხვდება, აგრეთვე, ბარდისებრი ფორმის (განსაზ-



სურ.3.6.ბიბილოს ფორმის მემკვიდრეობა ქათმებში (კომპლემენტურობა)

ღერავს P გენი) ბიბილო, რომელიც ასევე მარტივზე დომინანტობს. ვარდისებრი და ბარდისებრი ბიბილოიანი ქათმების შეჯვარებით F_1-ში მიღებულ ჰიბრიდებს სრულიად ახალი ე.წ.კაკლისებრი ფორმის ბიბილო აღმოაჩნდათ. F_2-ში ბიბილოს ფორმის მიხედვით შთამომავლობა ოთხ ფენოტიპურ კლასად დაიყო: 9 ნაწილი იყო კაკლისებრი, 3 ვარდისებრი, 3 ბარდისებრი და 1 ნაწილი მარტივი. ასეთი თანაფარდობა დიჰიბრიდული შეჯვარებისათვისაა დამახასიათებელი (იხ.სურ. 3.6).

გენეტიკურმა ანალიზმა ცხადყო, რომ კაკლისებრი ფორმის ბიბილოს განსაზღვრავს ორი არაალელური დომინანტი გენი. მიღებული შედეგი მენდელის კლასიკური ცდისაგან იმით განსხვავდება, რომ იგი ერთ ნიშანს—ბიბილოს ფორმას—ეხება. დათიშვის თანაფარდობა 9:3:3:1 მიუთითებს ნიშნების დიგენურ მემკვიდრეობაზე. ამასთანავე მშობლებს თითო დომინანტური გენი აქვთ, ვინაიდან F_1-ში მიღებული შთამომავლობა არცერთ მშობელს არ ემსგავსება, მშობლების გენოტიპებია RRpp და rrPP. F_1-ში მიღებულ დიჰეტეროზიგოტს R და P დომინანტი გენების უროიერთქმედების გამო კაკლისებრი ფორმის ბიბილო აქვთ. მეორე თაობაში მიიღება დათიშვა თანაფარდობით 9RP:3Rp:3rP:1rp. იმ გენოტიპურ კლასს, რომელიც ორივე დომინანტურ გენს შეიცავს, ექნება კაკლისებრი ბიბილო, თითო დომინანტური გენის მქონე ინდივიდებს შესაბამისად ვარდისებრი ან ბარდისებრი ბიბილო, ორმაგ რეცესიულ ფორმას კი მარტივი ბიბილო. როდესაც დომინანტურ და რეცესიულ გენებს განსხვავებული ფენოტიპური ეფექტი აქვთ, მაშინ მიიღება დათიშვა თანაფარდობით 9:3:3:1. იმ შემთხვევაში, როდესაც ორივე არაალელური დომინანტური და რეცესიული გენები დამოუკიდებელ ეფექტს არ ავლენენ ან მსგავსი მოქმედება აქვთ, მაშინ მენდელის კლასიკური დათიშვის მოდიფიცირების გამო მიიღება თანაფარდობა 9:7. მაგალითად, ბაღის არჯაკელში ორი განსხვავებული თეთრყვავილიანი რასის შეჯვარებისას ჰიბრიდებმა F_1-ში მეწამული ყვავილები გაიკეთეს, F_2-ში კი მცენარეები ორ ფენოტიპურ ჯგუფად დაიყო.



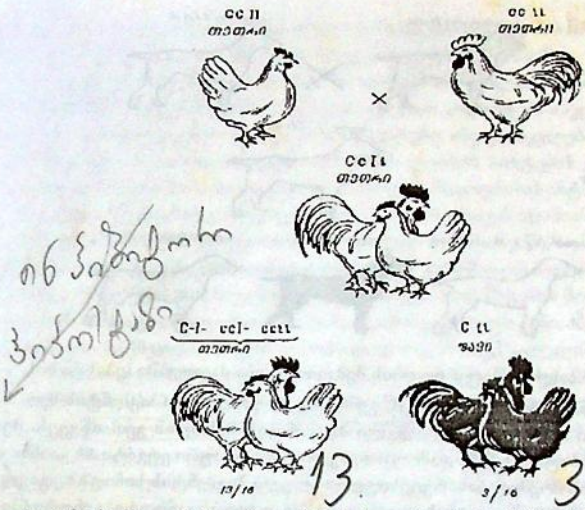
სურ.3.7.ყვავილის შეფერილობის მემკვიდრეობა ბაღის არვაკელში (კომპლემენტურობა)

პირველმა ჯგუფმა, რომელიც მთელი მცენარეების 9 ნაწილს შეადგენდა, შეწამული ყვავილები გაიკეთა, მეორემ კი, რომლის რაოდენობა დაახლოებით 7 ნაწილი იყო –თეთრი. ვინაიდან F_2-ში მიიღება გენოტიპთა 16 კომბინაცია, აშკარად ფიგურირებს დიგენური მემკვიდრეობა. რადგანაც F_1-ში მიღებული ჰიბრიდები განსხვავდებიან მშობლებისგან, ეს უკანასკნელნი თითო დომინანტ გენს შეიცავენ და მათი გენოტიპებია AAbb და aaBB. F_1-ში ორივე დომინანტი A და B გენი ერთ გენოტიპში ეროიანდება. მათი ურთიერთქმედების შედეგად მცენარეებში სინთეზდება პიგმენტი, რის გამოც მათ შეწამული ყვავილები გამოაქვთ. მენდელის დათიშვის კანონიდან გამომდინარე მეორე თაობაში უნდა მოხდეს დათიშვა თანაფარდობით 9AB:3Ab:3aB:1ab. ყველა ის მცენარე, რომელსაც A და B გენი გენოტიპში ერთად ექნება, შეწამულ ყვავილებს გაიკეთებს. დომინანტი გენების ცალ-ცალკე გენოტიპში მოხვედრისას ან არარსებობის დროს არ ხდება პიგმენტის სინთეზი – მათ თეთრი ყვავილები ექნებათ. 3Ab + 3aB + 1ab = 7 კლასების გაერთიანების გამო მენდელის კლასიკური ფორმულის მოდიფიცირება ხდება და მიიღება დათიშვა თანაფარდობით 9:7 (იხ. სურ. 3-7).

გენთა კომპლემენტური მოქმედებით ადამიანში მრავალი ნიშანი ყალიბდება. მოვიყვანოთ რამდენიმე შაგალითი. ადამიანში ნორმალურ სმენას ორი დომინანტი არაალელური D და E გენი განსაზღვრავს. ერთ-ერთი მათგანი განაპირობებს ლოკოკინას, მეორე კი სმენის ნერვის განვითარებას. დომინანტი გენების მიხედვით ჰომო- ან დიჰეტეროზიგოტურ ადამიანებს ნორმალური სმენა აქვთ. ადამიანებს, რომლებსაც ერთერთი დომინანტი გენი (D-ee ან dd-E) მოეპოვებათ ან ორივე რეცესიული გენის (ddee) მიხედვით ჰომოზიგოტებია, ყრუები არიან.

ძუძუმწოვრებში და ადამიანში ვირუსებისაგან თავდასაცავად გამოიყოფა სპეციფიკური ცილა-ინტერფერონი. ადამიანში მის სინთეზს აკონტროლებს ორი არაალელური გენი, რომელთაგან თითოეული სხვადასხვა (მეორე და მეოთხე) ქრომოსომაშია ლოკალიზებული. ნაერთის სინთეზი ორგანიზმში ამ ორი დომინანტი გენის არსებობისას მიმდინარეობს.

ადამიანში თმის შეფერილობას ორი არაალელური M და R გენის კომპლემენტური მოქმედება განაპირობებს. M გენი მრავალობით ალელთა სერიას ქმნის და სამი ალელითაა წარმოდგენილი. თითოეული მათგანი შავი პიგმენტის-მელანინის სინთეზს აკონტროლებს. ალელი M^{bk} დიდი რაოდენობით, M^{bw}-საშუალო, M^{bd} კი მცირე რაოდენობით (უკანასკნელი ალელი არ უნდა ავურიოთ ალბინიზმის გამომწვევ

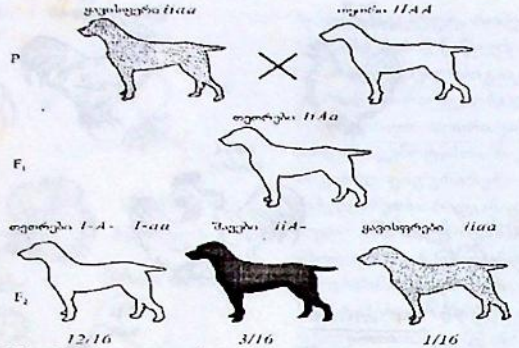


სურ.3.8.ბუმბულის შეფერილობის მემკვიდრეობა ქათმებში (ეპისტაზი)

რეცესიულ გენში, იგი სრულიად სხვა ლოკუსშია მოთავსებული. მისი თანაობისას პიგმენტის სინთეზი არ ხდება). გენის R_2 ალელი განსაზღვრავს წითელი პიგმენტის სინთეზს, R_1 ალელს კი პიგმენტის სინთეზის უნარი არა აქვს. ამ გენთა კომბინაციები ადამიანთა მოდგმაში თმის შეფერილობის მთელ სპექტრს ქმნიან.

ეპისტაზი. გენთა ისეთ ურთიერთქმედებას, როდესაც ერთი არაალელური გენი ახშობს მეორე გენის მოქმედებას, ეპისტაზური ეწოდება. გენს, რომელიც ახშობს სხვა გენის მოქმედებას სუპრესორს ან ინჰიბიტორს უწოდებენ, ხოლო გენს, რომლის მოქმედება იხშობა – ჰიპოსტაზურს. განასხვავებენ დომინანტურ და რეცესიულ ეპისტაზს. დომინანტური ეპისტაზის დროს ერთი დომინანტი გენი თრგუნავს მეორე არაალელური დომინანტის ან რეცესიული გენის მოქმედებას (მაგ. A>B ან b). რეცესიული ეპისტაზის დროს პირუკუ, რეცესიული გენი ახშობს არაალელური დომინანტის ან რეცესიული გენის მოქმედებას (მაგ. a>B ან b). გენი-სუპრესორები (აღინიშნება I ან S-ით) შესწავლილია მიკრორგანიზმებში, მცენარეებსა და ცხოველებში, ასევე ადამიანშიც. დომინანტური ეპისტაზის დროს, როდესაც ინჰიბიტორ გენს დამოუკიდებელი ფენოტიპური ეფექტი არა აქვს, მენდელის კლასიკური ფორმულის მოდიფიცირების გამო მეორე თაობაში მიიღება დათიშვა თანაფარდობით 13:3.

ქათმებში ორი განსხვავებული ჯიშის თეთრი ინდივიდების შეჯვარებით პირველ თაობაში კვლავ თეთრი შეფერილობის შთამომავლობა მიიღეს. მეორე თაობაში ქათმები შეფერილობით ორ ფენოტიპურ ჯგუფად დაიყო: 13 ნაწილი აღმოჩნდა თეთრი, ხოლო 3 ნაწილი შავი. გენეტიკური ანალიზით დადგინდა, რომ ამ შემთხვევაში თავს იჩენს დიგენური მემკვიდრეობა. მიიღება ზიგოტათა 16 კომბინაცია. 8 შობლებიდან



სურ.3.9.ბალნის შეფერილობის მემკვიდრეობა ძაღლებში (ეპისტაზი)

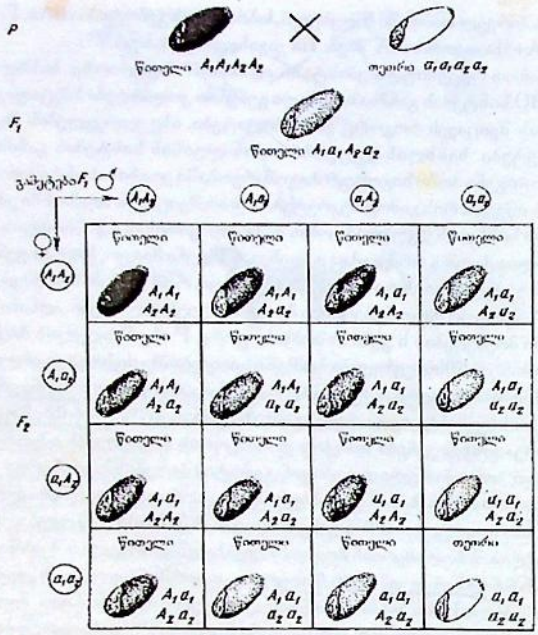
ერთ-ერთის გენოტიპია CCII, სადაც C გენი განსაზღვრავს შავი პიგმენტის-მელანინის სინთეზს, მისი რეცესიული c ალელი პიგმენტს სინთეზს ვერ იწვევს. მეორე დომინანტ ინჰიბიტორ I გენს დამოუკიდებელი ფენოტიპური ეფექტი არ გააჩნია. იგი ახშობს C გენის მოქმედებას. რეცესიული i ალელი პიგმენტის სინთეზზე გავლენას არ ახდენს. ქათმის ზემოთ დასახელებული ჯიში (თეთრი ვიანდოტი) გენოტიპში პიგმენტის მასინთეზებელი C გენის არსებობის მიუხედავად თეთრია, რადგან მის მოქმედებას I გენი ახშობს. მეორე თეთრი მშობელი (თეთრი მინორული) დიჰომოზიგოტული (ccii) რეცესივია. პირველ თაობაში მიღებული დიჰეტეროზიგოტი CcIi ფრინველები გენოტიპში I სუპრესორი გენის არსებობის გამო თეთრი შეფერილობისანი არიან. მეორე თაობაში, მენდელის კანონიდან გამომდინარე, უნდა მოხდეს დათიშვა თანაფარდობით 9CI:3Ci:3cI:1ci; წარმოქმნილი კომბინაციებიდან მხოლოდ 3/16-ს (CCii და Ccii) ექნება შავი შეფერილობა. მათი გენოტიპი არ შეიცავს I სუპრესორს და დომინანტი C გენი ფუნქციონირებს. გენოტიპთა დანარჩენი კლასები (9CI+3cI+1ci=13) შეიცავენ მხოლოდ I გენს ან რეცესიული დიჰომოზიგოტები არიან, მათ ერთნაირი ფენოტიპი აქვთ – თეთრია, რის გამოც მიიღება დათიშვა თანაფარდობით 13:3 (იხ.სურ.3.8).

დომინანტური ეპისტაზის დროს ფენოტიპური დათიშვა მეორე თაობაში შეიძლება იყოს 12:3:1 [(9+3):3:1]. ამ სახის დათიშვა ხდება მაშინ, როდესაც ორივე რეცესიული გენის მქონე ჰომოზიგოტ ინდივიდს სპეციფიკური ფენოტიპი აქვს. მაგალითად, თეთრი და ყავისფერი ძაღლების შეჯვარებისას პირველ თაობაში ჰიბრიდებს თეთრი ლეკვები ჰყავთ, მეორე თაობაში ხდება დათიშვა 12 თეთრი: 3 შავი: 1 ყავისფერი. ვინაიდან მეორე თაობაში ზიგოტების 16 კომბინაცია მიიღება, ჩნდება დიგენური მემკვიდრეობა. თუ მიღებულ შედეგს ცალკეული ნიშნის მიხედვით გავაანალიზებთ (შეფერილი და შეუფერავი, შავი და ყავისფერი) ცხადი ხდება, რომ თეთრი შეფერილობა დომინანტურია: 12 თეთრი: 4 შეფერილი, ე.ი. 3:1. დათიშვა 3 შავი: 1 ყავისფერი მიუთითებს, რომ შავ შეფერილობას დომინანტი გენი განსაზღვრავს, ყავისფერს კი-რეცესიული. პიგმენტის სინთეზის ინჰიბირებას იწვევს დომინანტი I გენი, რის უნარიც არ გააჩნია i რეცესიულ ალელს. შავ შეფერილობას განსაზღვრავს გენის A ალელი, ყავისფერს კი-a რეცესიული ალელი. მშობლების გენოტიპებია IIAA (თეთრი) და iiaa

(ყავისფერი). პირველ თაობაში მიღებული ჰიბრიდების გენოტიპია IiAa; F_2-ში მიიღება დათიშვა 9IA+3Ia თეორი: 3iA შავი: 1ia ყავისფერი (იხ.სურ.3.9).

მოვიყვანოთ რეცესიული ეპისტაზი ადამიანის მაგალითზე. სისხლის ჯგუფობრიობის ABO სისტემის განმსაზღვრელი გენებით კოდირდება სპეციფიკური ცილა-ანტიგენი. მას შეიცავენ როგორც ერითროციტები, ისე ჯირკვლების მიერ გამოყოფილი სეკრეტები. სისხლის ჯგუფობრიობის-ლუისის სისტემის განმსაზღვრელი რეცესიული se გენი ჰომოზიგოტურ მდგომარეობაში ყოფნისას ანტიგენის სინთეზის ინჰიბირებას იწვევს, რის გამოც სეკრეტები მას არ შეიცავენ. ადამიანში ეპისტაზიაა გამოწვეული სისხლის ჯგუფობრიობის შემკვიდრეობისას ე.წ. "ბომბეის ფენომენი". იგი აღწერილია ქალში, რომელმაც დედისაგან I^B გენი მიიღო, მაგრამ ფენოტიპურად I^O. პირველი ჯგუფის სისხლი ჰქონდა. გამოირკვა, რომ I^B გენის მოქმედებას თრგუნავდა ჰომოზიგოტურ მდგომარეობაში ყოფნის h რეცესიული გენი. აღსანიშნავია, რომ ეპისტაზური მოქმედების h გენი ახშობს როგორც I^A ისე I^B ალელის მოქმედებას და მეტად იშვიათად (1:13000) გვხვდება ბომბეის გარეუბანში მცხოვრებ ინდუსებში.

პოლიმერია. მოვლენას, როდესაც რამდენიმე არაალელური გენი ერთი და იმავე ნიშან-თვისების (ფენის) განვითარებას განსაზღვრავს, **პოლიმერია** ეწოდება. ამ შემთხვევაში სხვადასხვა გენები თითქოს ერთიმეორის მოქმედებას იმეორებენ. ურთიერთმომქმედი პოლიმერული გენებიდან გენოტიპში ნებისმიერი ერთი დომინანტი ალელის არსებობა იწვევს ნიშნის ჩამოყალიბებას. ორი არაალელური დომინანტი გენის მიერ განსაზღვრული ნიშნის განვითარებას **დომინანტი** ეწოდება, სამის მიერ - **ტრიმერია** და ა.შ. ჰოლიმერიის მოვლენა ჩორბალაში პირველად შეისწავლა შვედმა გენეტიკოსმა ნ.ნილსონ-ელემ (1908). წითელი და თეთრმარცვლიანი მცენარეების შეჯვარებით მიღებული F_1-ის ჰიბრიდები წითელმარცვლიანი აღმოჩნდა. მეორე თაობაში კი მან მიიღო წითელი და თეთრმარცვლიანი მცენარეები თანაფარდობით 15:1. ამავე დროს შეფერილი მარცვლები არაერთფეროვანი იყო და ვარირებდა მუქი წითლიდან ღია ვარდისფერამდე ე.წ. ხორბლისფერამდე. შეჯვარების ტიპი ძალიან ჰგავს მონოგენურ მემკვიდრეობას, მაგრამ რადგანაც მეორე თაობაში გენოტიპთა 16 კომბინაცია მიიღება, თავს იჩენს დიგენური მემკვიდრეობა, კერძოდ, დიმერიის მოვლენას. ერთსა და იმავე ნიშანზე მოქმედ გენებს ლათინური ანბანის ერთნაირი ასოებით აღნიშნავენ, ოღონდ განასხვავებენ ციფრობრივი ინდექსით. მარცვლის წითელი შეფერილობის განმსაზღვრელი გენები აღვნიშნოთ A_1 და A_2 სიმბოლოთი, ხოლო მათი რეცესიული ალელები, რომლებიც მარცვლის თეთრ შეფერილობას იწვევენ, შესაბამისად a_1 და a_2-ით. წითელმარცვლიანი მშობლის გენოტიპია $A_1A_1A_2A_2$, თეთრმარცვლიანისა კი $a_1a_1a_2a_2$. F_1-ში მიღებული დიჰეტეროზიგოტული $A_1a_1A_2a_2$ მცენარეები გენოტიპში დომინანტური გენების არსებობის გამო წითელ მარცვლებს იკეთებენ. მეორე თაობაში, მენდელის კანონებიდან გამომდინარე, მიიღება დათიშვა თანაფარდობით: $9A_1A_2$: $3A_1a_2$: $3a_1A_2$: $1a_1a_2$; ვინაიდან ჯგუნოტიპთა 15 ნაწილს დომინანტური გენები აქვს, წითელ მარცვალს გაიკეთებენ. 1ნაწილს მხოლოდ რეცესიული გენები აქვს (დიჰომოზიგოტი-$a_1a_1a_2a_2$), მათ თეთრი მარცვლები ექნებათ. მეორე თაობაში მიღებული შეფერილი მარცვლები განსხვავდებიან. რაც მეტია დომინანტური გენები გენოტიპში, მით უფრო მუქია მარცვალი. ვარდისფერმარცვლიანს ერთი დომინანტი გენი აქვს, მუქწითელას კი-ოთხი. გენოტიპური კლასები იძლევიან შემდეგ



სურ.3.10.მარცვლის შეფერილობის მემკვიდრეობა ხორბალში (პოლიმერია)

რიგს: 1+4+6+4+1=16 (იხ. სურ. 3-10). ამრიგად, მარცვლის შეფერილობის ხარისხი დომინანტური ალელების რიცხვზეა დამოკიდებული. გენოტიპში დომინანტური გენების დაგროვება აძლიერებს ეფექტს, ამიტომაც ურთიერთქმედების ამ ფორმას **კუმულაციური პოლიმერია** ეწოდება. იგი ხდება გენის არასრული დომინირების დროს.

ანალოგიურად მემკვიდრეობს ადამიანის კანის შეფერილობაც. კანის ფერს პიგმენტ მელანინის არსებობა იწვევს. იგი დომინანტური ნიშანია. პიგმენტის სინთეზი 4 (ხოგიერთი მეცნიერის ვარაუდით 5 ან 6) პოლიმერული არაალელური გენით რეალიზდება. რეცესიულ ჰომოზიგოტურ ადამიანში მელანინი არ სინთეზდება. ისინი ალბინოსები არიან. გენოტიპში დომინანტური გენების დიდი რაოდენობით კუმულაციისას ჭარბად სინთეზდება პიგმენტი და კანი მუქი შეფერილობისაა. გენოტიპში რეცესიული გენების სიჭარბისას კი პიგმენტი ძლიერ მცირე რაოდენობით სინთეზდება. კავკასიოიდურ რასას (გენოტიპია $A_1A_1B_1B_1C_1C_1D_1D_1$) და აფრიკის მკვიდრ მოსახლეობას (ნეგროიდული რასა, გენოტიპია $A_2A_2B_2B_2C_2C_2D_2D_2$) აქვთ მელანინის მასინთეზებელი დომინანტი გენები, რის გამოც მათი კანი მუქია. კავკასიოიდებში დომინანტი გენების მინიმუმი გვხვდება. ნეგროიდ და კავკასიოიდ შშობლებს მულატები უჩნდებათ, რომელთაც შშობლებთან შედარებით შუალედური შეფერილობის კანი აქვთ.

მულატების შთამომავლობაში კი გენოტიპში დომინანტი გენების რაოდენობის კვალობაზე კანის შეფერილობა ინტენსიურად ვარირებს თეთრიდან ვიდრე მუქ შავამდე.

კუმულაციური პოლიგენები ასევე განსაზღვრავენ ადამიანის ნიჭის შემკვიდრეობას. პოპულაციაში გვხვდება უნიჭონი, საშუალო ნიჭის მქონენი და გენიოსები (ვუნდერკინდები). პოპულაციაში საშუალო ნიჭის ინდივიდები ჭარბობენ, ვიდრე კიდურა წევრები (უნიჭო და გენიოსები). არაკუმულაციური პოლიმერიის დროს საკმარისია გენოტიპში იმყოფებოდეს დომინანტური გენების ერთი რომელიმე ალელი, რომ ნიშანი სრულად განვითარდეს. პოლიმერული გენები ძირითადად აკონტროლებენ რაოდენობრივი ნიშნების განვითარებას. პოლიმერული გენები განსაზღვრავენ ისეთ მნიშვნელოვან სამეურნეო ნიშნებს, როგორიცაა მცენარის სიმაღლე, ვეგეტაციური პერიოდის ხანგრძლივობა, ცილების რაოდენობა თესლში, ნაყოფში ვიტამინების შეშველობა, ცხოველთა ზრდის ტემპი, მასა და ა.შ.

ადამიანის მორფოლოგიურ, ფიზიოლოგიურ, პათოლოგიურ თავისებურებებს პოლიგენები განსაზღვრავენ. მაგალითად, ადამიანის სიმაღლე, სხეულის მასა, წყლულოვანი და ჰიპერტონული დაავადებები, დიაბეტი, შიზოფრენია და სხვა. ამ ნიშნების მემკვიდრეობა პოლიგენური მემკვიდრეობის ზოგად კანონზომიერებებს ექვემდებარება და დიდადაა დამოკიდებული გარემო პირობებზეც. როდესაც გენოტიპში დომინანტური გენების რაოდენობა გარკვეულ "ზღვარს" აჭარბებს, ჩნდება ამ დაავადებებისადმი (მაგ. ჰიპერტონია, წყლულოვანი დაავადებები და სხვა) მიდრეკილებანი.

ვენი-მოდიფიკატორები. ორგანიზმის უმეტესი ნიშან-თვისებების ჩამოყალიბება კონტროლდება არა თითო დისკრეტული გენის მოქმედებით, არამედ რამდენიმე გენის ერთობლივი მოქმედებით-კოპერაციით ან ურთიერთმოქმედებით. ვაირკვა, რომ ზოგიერთი ნიშნის განმსაზღვრელ "ძირითადი" გენის ე.წ. ოლიგოგენის მოქმედებაზე გავლენას ახდენენ სხვა გენებიც, რომელთაც გენი-მოდიფიკატორები უწოდეს. ვარაუდობენ, რომ უმეტეს შემთხვევაში გენი-მოდიფიკატორები ძირითად რეაქციას ან ნიშნის განვითარებას არ განაპირობებენ. ისინი მოქმედებენ ოლიგოგენებზე, აძლიერებენ ან ასუსტებენ მათ მოქმედებას და ახდენენ ძირითადი გენის ექსპრესიის მოდიფიცირებას. მაგ. ადამიანში თვალის ფერადი გარსის მუქი შეფერილობის განმსაზღვრელ დომინანტ ალელზე გენი-მოდიფიკატორების გავლენით შეფერილობა შავიდან ღია თაფლისფერამდე ვარირებს. ასევე ღია შეფერილობის ალელის მქონე ადამიანებს შეიძლება ჰქონდეს ლურჯი, ნაცრისფერი ან მწვანე ფერის თვალის გარსი. გენი-მოდიფიკატორები გამოვლენილია მცენარეებსა და ცხოველებშიც. შესწავლილია ისეთი პლეიოტროპული მოქმედების გენები, რომლებიც ერთი ნიშნის მიმართ "ძირითადი" მოქმედებისაა, სხვა ნიშნების მიმართ კი მოდიფიკატორული.

პლეიოტროპიზმი

დადგენილია, რომ ზოგიერთი გენი განსაზღვრავს რამდენიმე განსხვავებული ნიშნის განვითარებას. ასეთ მოვლენას პლეიოტროპიზმი, ხოლო მრავალი განსხვავებული ფენოტიპური ეფექტის მქონე გენს კი პლეიოტროპული გენი ეწოდება. აღწერილია ისეთი შემთხვევა, როდესაც გარეგანი (მორფოლოგიური) ნიშნის განმსაზღვრელი გენი იმავდროულად მოქმედებს ცხოველმყოფელობაზე და ლეტა-

ლურ ეფექტს იწვევს. ეს მოვლენა თაგვებში პირველად აღწერა და შეისწავლა ფრანგმა მეცნიერმა კენომ. ყვითელი რასის თაგვების ურთიერთშეჯვარებით მიღებული შთამომავლობა მუდამ შედგებოდა ორი ნაწილი ყვითელი და ერთი ნაწილი შავი ინდივიდებისაგან. ხდებოდა დათიშვა თანაფარდობით 2:1. გამაანალიზებელი შეჯვარებისას (ყვითელი თაგვების ნაჯვარი შავთან) დათიშვა იყო თანაფარდობით 1:1. ყვითელი თაგვები ჰეტეროზიგოტულებია. ამ ნიშანს დომინანტი Y გენი განსაზღვრავს, შავს კი რეცესიული y ალელი. ადგილი აქვს მონოგენურ მემკვიდრეობას. მიღებული შედეგი შენდელისეული კლასიკური შეფარდებისაგან განსხვავდება, დათიშვა 3:1 ნაცვლად არის 2:1. ყვითელი ფერის თაგვები ჰეტეროზიგოტულებია. მათი შეჯვარებით მიიღება გენოტიპთა ოთხი კომბინაცია: 1YY: 2Yy: 1yy. გამოირკვა, რომ ყვითელი შეფერილობის ჰომოზიგოტური ინდივიდები ემბრიული განვითარების ადრეულ ეტაპზე იღუპებიან. ამრიგად, Y გენი გავლენას ახდენს ორ ნიშანზე: განსაზღვრავს ყვითელ შეფერილობას (დომინანტური ეფექტი) და ცხოველმყოფელობას (რეცესიული ლეტალური ეფექტი). ანალოგიური სქემით მემკვიდრეობს პლატინისფერი (Aa) და შავი (aa) შეფერილობა მელიებში, რუხი (Aa) და შავი (aa) შეფერილობა საყარაკულე ცხვრებში.

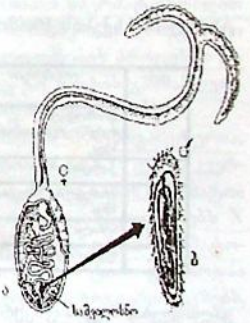
როდესაც პლეიოტროპულ გენს ლეტალური ეფექტი არ ახლავს (ე.ი. არ მოქმედებს ცხოველმყოფელობაზე), ამ შემთხვევაში დათიშვა არის თანაფარდობით 3:1 და მენდელის მონოგენური სქემიდან იმით განსხვავდება, რომ მშობლებს ერთის ნაცვლად ორი და მეტი საპირისპირო ნიშანი აქვთ. მცენარეებში პლეიოტროპიის პირველი მაგალითი თვით მენდელმა აღწერა. ბარდაში ყვავილის მეწამული შეფერილობა კორელირებდა თესლის კანის რუხ შეფერილობას. ყვავილოვან მცენარეებში ყვავილის წითელი შეფერილობის მაკონტროლებელი გენი იმავდროულად ღეროს წითელ შეფერილობას განსაზღვრავს. მცენარე წყალკრეფიაში დომინანტი პლეიოტროპი გენი იწვევს ყვავილის წითელ შეფერილობას, ფოთლის ზედაპირის ანთოციანით შეფერვას, თესლის მასიურობას, თესლის კანის გამჭვირვალობას და ენდოსპერმის მუქ შეფერილობას.

გენის პლეიოტროპული მოქმედება გამოვლენილია ადამიანშიც. ნამგლისებრუჯრედიანი ანემიის დროს ჰომოზიგოტებს (HbS/HbS) არა მარტო ჰემოგლობინის β ჯაჭვის სტრუქტურა აქვთ შეცვლილი, არამედ ერითროციტების ფორმაც. იგი ნამგლისებური ფორმისაა. მათ ამგვარი პათოლოგიური ნიშნები უყალიბდებათ: ანემია, გადიდებული ელენთა, დახიანებული კანი, თირკმელი და ტვინი, რის გამოც ნამგლისებრუჯრედიანი ანემიით დაავადებული ახალშობილი იღუპება. ადამიანში პლეიოტროპული მოქმედება ახასიათებს მარფანის სინდრომის გამომწვევ დომინანტ გენს. იგი გავლენას ახდენს ჩონჩხის განვითარებაზე (გრძელი წვრილი კიდურები, დეფორმირებული გულ-მკერდი, სქოლიოზი, კიფოსქოლიოზი, არახნოდაქტილია, მაღალი ტანი), იწვევს აგრეთვე თვალის ბროლის დეფექტურ განვითარებას და გულისხმლძარღვთა სისტემის ანომალიას (აორტის გაგანიერება, გულის მანკი).

3.5.მემკვიდრულობის ქრომოსომული თეორია

ჯერ კიდევ XIX საუკუნის ბოლოს ჩამოყალიბდა მოსაზრება, რომ მემკვიდრეობა ბირთვთან, კერძოდ, ქრომოსომებთანაა დაკავშირებული. ამ შეხედულების განვითარებაში დიდი წვლილი მიუძღვის გერმანელ მეცნიერს ავგუსტ ვაისმანს. მან ივარაუდა, რომ ქრომოსომებში მოთავსებულია განსაკუთრებული სტრუქტურები ბიოფორები, რომლებიც გავლენას ახდენენ ორგანიზმის ნაწილების განვითარებაზე. როგორც უკვე აღვნიშნეთ, 1902-1903 წწ. უ.სეტონმა და ტ.ბოვერიმ ჩამოაყალიბეს მემკვიდრეობის ქრომოსომული ჰიპოთეზა.

მემკვიდრულობის ქრომოსომული თეორიის ძირითადი დებულებები XX ს. დასაწყისში მეცნიერულად დაამუშავეს და ექსპერიმენტულად დაასაბუთეს ამერიკელმა გენეტიკოსმა თომას ჰანტ მორგანმა და მისმა თანამშრომლებმა. ამ თეორიის მიხედვით მემკვიდრეობის მატერიალურ საფუძველს ქრომოსომები წარმოადგენენ, რომლებშიც ხაზობრივადაა განლაგებული მემკვიდრეობის ელემენტარული დისკრეტული ერთეულები – გენები. მემკვიდრულობის ქრომოსომული თეორია თანამედროვე ბიოლოგიის საფუძველთა საფუძველია. მორგანმა დაამუშავა და შემდგომში განავითარა გენეტიკური ანალიზის ძირითადი პრინციპები და მეთოდოლოგია. მორგანის აღმოჩენებში გადამწყვეტი როლი შეასრულა საკვლევი ობიექტის მართებულმა შერჩევამ. ის ცდებს ატარებდა ხილის ბუზზე-დროზოფილაზე (Drosophila melanogaster), რომელიც ამჟამადაც გენეტიკის კლასიკური ობიექტია. იგი ხელსაყრელია ჰიბრიდოლოგიური ანალიზისათვის, ვინაიდან აქვს ადვილად გასაანალიზებელი მრავალი ნიშანი, რომლებიც მონოგენური სქემით მემკვიდრეობენ. კარგად მრავლდება ხელოვნურ საკვებ არეზე, გამოირჩევა გამრავლების მაღალი ინტენსიურობით, ერთი წყვილი ინდივიდი 10 დღეში 25°C ტემპერატურაზე 100-ზე მეტ შთამომავლობას იძლევა, აქვს ქრომოსომათა მცირე რიცხვი (2n=8).



სურ.3.11.ზღვის ჭია ბონელია. A -მდედრი;B-მდედრის საშვილოსნოში ბინადარი რედუცირებული მამრი (ძლიერ გადიდებული)

27 სქესის განსაზღვრის ქრომოსომული მექანიზმი

XX ს. დასაწყისში ციტოგენეტიკური გამოკვლევებით დადგინდა ქრომოსომების როლი სქესის განსაზღვრაში, რის საფუძველზეც ჩამოყალიბდა სქესის განსაზღვრის ქრომოსომული თეორია. სქესის გენეტიკის შემდგომმა გამოკვლევებმა უდიდესი როლი შეასრულა მემკვიდრეობის ქრომოსომული თეორიის დასაბუთებაში. ამ შედეგებს დიდი პრაქტიკული მნიშვნელობა აქვს სოფლის მეურნეობისა და მედიცინისათვის.

სქესი არის ორგანიზმის მორფოლოგიურ და ფიზიოლოგიურ ნიშან-თვისებათა

ერთობლიობა, რომელიც უზრუნველყოფს მის ახალთაობათა წარმოქმნას და გაშეტების შეშვებით მემკვიდრული ინფორმაციის გადაცემას. სქესს უდიდესი ბიოლოგიური მნიშვნელობა აქვს. იგი უზრუნველყოფს მემკვიდრული ინფორმაციის გაცვლას. ცალსქესიან ორგანიზმებში განასხვავებენ სქესის პროგამურ, ეპიგამურ და სინგამურ განსაზღვრას.

სქესის **პროგამური** განსაზღვრა განაყოფიერებამდე ხდება. მდედრები წარმოქმნიან მორფოლოგიურად განსხვავებულ ორი ტიპის კვერცხებს. ციტოპლაზმით მდიდარი დიდი ზომის კვერცხუჯრედიდან განაყოფიერების შემდეგ მდედრი ვითარდება, ხოლო ციტოპლაზმით ღარიბი პატარა ზომის კვერცხუჯრედიდან – მამრი. სქესის ამგვარ განსაზღვრას ვხვდებით ზოგიერთ უხერხემლო ცხოველებში (ციბრუტელა ჭიებში, თანაბარფრთიანებში და სხვა).

სქესის **ეპიგამური** განსაზღვრა მიმდინარეობს განაყოფიერების შემდეგ. ზიგოტიდან მდედრობითი ან მამრობითი სქესის განვითარება გარემო ფაქტორების ზემოქმედებით ხდება (სქესის განსაზღვრის ე.წ.ფენოტიპური ანუ მოდიფიკაციური ტიპი). მაგ. ზღვის ბინადარ ჭიას ბონელიას (Bonellia viridis) ბისექსუალური ზიგოტიდან განვითარებული ლარვა მდედრის ხორთუმზე მოხვედრისას ჩადის საშვილოსნოში და ხორთუმის მიერ გამოყოფილი ნივთიერებების (ჰორმონები) გავლენით მამრად

ცხრილი 3-1.სქესის ქრომოსომული განსაზღვრის ტიპები ცხოველებში

ტიპი	ორგანიზმები	გამეტები		ზიგოტები	
		სპერმატოზოიდი	კვერცხუჯრედი	მდედრი	მამრი
I	დროზოფილა, ტკიპისებრთა ოჯახი და სხვა	X და Y	X X	XX	XY
II	კალია და სხვა	X და O	X X	XX	XO
III	ფრინველის ჰალსი და სხვა	Z Z	Z და W	ZW	ZZ
IV	ჩრჩილი	Z Z	Z და O	ZO	ZZ
V	ფუტკარანაირნი და სხვა	n	n	2n	n

ყალიბდება, ზღვის ფსკერზე მოხვედრისას კი – მდედრად (იხ.სურ.3.11).

სქესის **სინგამური** განსაზღვრა ფართოდაა გავრცელებული. იგი განაყოფიერებისას ხდება. სქესის განვითარება ზიგოტის გენეტიკურ სტრუქტურაზეა დამოკიდებული (სქესის განსაზღვრის ე.წ. გენოტიპური ტიპი). ცალსქესიან ცხოველებსა და ორსახლიან მცენარეებში ამ შემთხვევაში სქესის განსაზღვრას საფუძვლად უდევს ქრომოსომული მექანიზმი. მდედრი და მამრი ინდივიდები დაახლოებით თანაბარი რაოდენობით ჩნდებიან (თანაფარდობაა დაახლოებით 1:1). სქესი ისევე მემკვიდრეობს, როგორც სხვა მენდელური ნიშან-თვისება. გამოყოფენ სქესის განსაზღვრის 4 ძირითად ტიპს (იხ.ცხრილი 3-1).

I ტიპში გაერთიანებულ ინდივიდთათვის დამახასიათებელია მამრობითი სქესის ჰეტეროგამეტულობა და მდედრობითი სქესის ჰომოგამეტურობა. ამ ტიპს მიეკუთვნება ხილის ბუზი დროზოფილა. განვიხილოთ სქესის განსაზღვრის ქრომოსომული მექანიზმი დროზოფილაში. მდედრი და მამრი დროზოფილას დიპლოიდურ ქრომო-

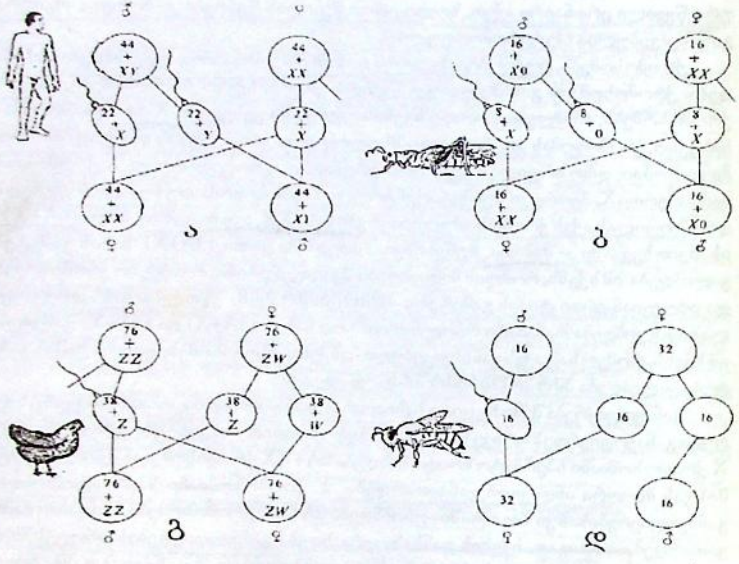
სომულ კომპლექტს თუ შევადარებთ ოთხი წყვილი ქრომოსომიდან სამი ჰომოლოგიური წყვილი ერთნაირი აქვთ, ხოლო ერთი წყვილის წევრები კი მორფოლოგიურად განსხვავებულია (ჰეტერომორფულია).

ქრომოსომებს, რომლებიც მდედრსა და მამრში ერთნაირია, აუტოსომები (A) ეწოდება. ქრომოსომათა განსხვავებულ წყვილს კი – სასქესო ქრომოსომები, სასქესო ქრომოსომებს, რომლებიც ორივე სქესის უჯრედში გვხვდება, X-ით აღნიშნავენ. იმ სასქესო ქრომოსომას კი, რომელიც მხოლოდ ერთ-ერთი სქესის ინდივიდშია-Y-ით. მდედრობით დროზოფილას აქვს ორი ერთნაირი აკროცენტრული X ქრომოსომა, მამრს ერთი X, მეორე კი სუბმეტაცენტრული Y ქრომოსომა. თუ სომატურ უჯრედში დროზოფილას აქვს ქრომოსომული ნაკრები 6A+XX, იგი მდედრია, ხოლო 6A+XY - ის შემთხვევაში – მამრია. ბუნებრივია, მდედრში ერთი (3A+X) სახის გამეტები ყალიბდება. იმ სქესს, რომლის ინდივიდები შეიცავენ ერთნაირ სასქესო ქრომოსომებს და იძლევიან ერთი ტიპის გამეტებს, ჰომოგამეტურს ეწოდება. მამრ დროზოფილაში ყალიბდება თანაბარი რაოდენობით ორი სახის (3A+X) და (3A+Y) გამეტები. იმ სქესს, რომელსაც აქვს განსხვავებული სასქესო ქრომოსომები და ორი ტიპის გამეტები ყალიბდება ჰეტეროგამეტურს უწოდებენ.

განაყოფიერება შემთხვევითი ხასიათისაა, თანაბარი ალბათობაა, რომ კვერცხუჯრედი განაყოფიერდეს ორივე სახის სპერმატოზოიდით. თუ კვერცხუჯრედს შეერწყა X ქრომოსომიანი სპერმატოზოიდი, მიიღება 6A+XX ქრომოსომების მქონე ზიგოტა. მისგან მდედრი ინდივიდი განვითარდება. Y ქრომოსომიანი სპერმატოზოიდით განაყოფიერებისას კი ზიგოტაში აღმოჩნდება 6A+XY ქრომოსომები, საიდანაც მამრი ვითარდება. ამრიგად, სქესის განსაზღვრა ხდება განაყოფიერების პროცესში და დამოკიდებულია ზიგოტის ქრომოსომულ კომპლექტზე. ე.ი. სქესის განსაზღვრა გაშაანალიზებელი შეჯვარების მსგავსია და სქესთა თანაფარდობა არის 1:1.

ანალოგიურად ხდება სქესის განსაზღვრა ადამიანში: ქალი ჰომოგამეტურია, აქვს 44A+XX ქრომოსომა, მამაკაცი კი ჰეტეროგამეტურია-44A+XY; ყველა კვერცხუჯრედი ერთნაირია და აქვს 22A+X ქრომოსომა, მამაკაცში ორი სახის სპერმატოზოიდი ყალიბდება-22A+X და 22A+Y. თუ კვერცხუჯრედს გაანაყოფიერებს X ქრომოსომიანი სპერმატოზოიდი, ჩაისახება ქალი, ხოლო Y ქრომოსომიან სპერმატოზოიდთან შერწყმის შემთხვევაში ვაჟი. სქესის განსაზღვრის I ტიპი ფართოდაა გავრცელებული. ცხოველთაგან იგი აღენიშნებათ ძუძუმწოვრებს, ზოგიერთ თევზებს, ორფრთიანებს, მოლუსკებს, ეკალკანიანებს, აღწერილია მრავალ ორსახლიან მცენარეში (მაგ. სასტვენა, კანაფი, ელოდეა, მჟაუნა და სხვა).

მეორე ტიპს მიეკუთვნებიან ნემატოდები, კალიები, კუტკალიები, ტარაკანები, ნემსიყლაპიები, ზოგიერთი წყლის ბაღლინჯო, ხოჭოები, კიბოსნაირები, ძუძუმწოვრებიდან კენგურუ და სხვა. პირველი ტიპის მსგავსად მდედრი ჰომოგამეტურია, აქვთ XX სასქესო ქრომოსომები, მამრები კი ჰეტეროგამეტურნი არიან. მაგრამ პირველი ტიპისაგან განსხვავებით მამრს ორის ნაცვლად ერთი სასქესო X ქრომოსომა აქვს. ამ ტიპის წარმომადგენლებს Y ქრომოსომა არ გააჩნიათ და აღნიშნავენ XO (O- სიმბოლოს არარსებული Y სასქესო ქრომოსომის აღსანიშნავად იყენებენ). მამრში ყალიბდება ორი ტიპის გამეტები: X ქრომოსომიანი და მხოლოდ აუტოსომებიანი (არ გააჩნიათ სასქესო ქრომოსომა). კვერცხუჯრედები კი ყველა ერთგვაროვანია, მათ X ქრომოსომა აქვთ. X ქრომოსომიანი სპერმატოზოიდით კვერცხუჯრ-



სურ.3.12.სქესის განსაზღვრის ტიპები: ა. ადამიანი, ბ. კალია, გ. ქათამი, დ. ფუტკარი

რედების განაყოფიერებისას ზიგოტიდან მდედრი ვითარდება, ხოლო აუტოსომებიანი სპერმატოზოიდით განაყოფიერებისას -მამრი. ბუნებრივია, მდედრებს ქრომოსომათა ლუწი რიცხვი აქვთ, მამრებს კი კენტი. მაგ.წყლის ბაღლინჯო Protenor-ში, სადაც ეს პოვლენა იქნა შესწავლილი ე.ვილსონის (1908) მიერ, მდედრის ქრომოსომული კომპლექტია 2n=14, მამრისა –2n=13.

ნაკლებადაა გავრცელებული სქესის განსაზღვრის მესამე ტიპი. მდედრი ჰეტეროგამეტური, მამრი კი ჰომოგამეტური სქესისაა. იგი აღწერილია ზოგიერთ ფრინველში (ქათამი, ინდაური და სხვა), რეპტილიებში (გველები), ზოგიერთ ამფიბიასა, თევზებსა და პეპლებში, გვხვდება ყვავილოვან მცენარეებშიც (მაგ. ხენდრო). სასქესო ქრომოსომების აღსანიშნავად იყენებენ სხვა სიმბოლოებს, კერძოდ Z-ს X ქრომოსომის, ხოლო W-ს Y ქრომოსომის ნაცვლად. მდედრს აქვს ZW სასქესო ქრომოსომა. მასში თანაბარი რაოდენობით ორი სახის Z ან W ქრომოსომის მქონე კვერცხუჯრედები ყალიბდება. მამრს აქვს ZZ სასქესო ქრომოსომა და მათ ერთი სახის (Z ქრომოსომიანი) სპერმატოზოიდები აქვთ (იხ. სურ. 3.12).

მეოთხე ტიპს მიეკუთვნება ზოგიერთი მწერი (ჩრჩილი, სწორფრთიანები და სხვ.), ბაყაყები, ხვლიკები და სხვა. მათთვის ნიშანდობლივია მდედრობითი სქესის ჰეტეროგამეტულობა, მაგრამ არ აქვთ W სასქესო ქრომოსომა (გამოხატავენ ZO-ით), მამრი ინდივიდი ჰომოგამეტურია, ეძებნებათ ZZ სასქესო ქრომოსომები.

ზემოთ განხილული ტიპებისაგან განსხვავებით არსებობს სქესის განსაზღვრის კიდევ ერთი მექანიზმი ე.წ. პაპლოიდიდია, როდესაც სქესი განისაზღვრება არა ცალკეული ქრომოსომებით, არამედ ქრომოსომების კომპლექტით. კერძოდ, ფუტკარში განაყოფიერებული კვერცხუჯრედიდან მდედრი (დედა და მუშა) ინდივიდები ვითარდებიან. მათ აქვთ ქრომოსომათა დიპლოიდური კომპლექტი (2n=32). გაუნაყოფიერებელი კვერცხუჯრედიდან (2n=16) პართენოგენეზის გზით მამრები ვითარდებიან. ანალოგიურად ხდება სქესის განსაზღვრა სხვა სიფრიფანაფრთიანებში (ჭიანჭველები, კრაზანები, მხედრები ...).

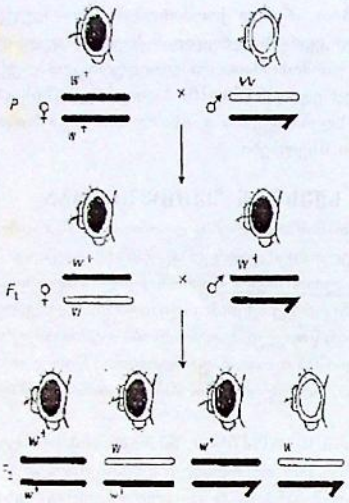
27 სქესთან შეჭიდულობა

მორგანმა და მისმა თანამშრომლებმა დროზოფილაში აღმოაჩინეს და შეისწავლეს ისეთი ნიშნები, რომელთა მემკვიდრეობაც განსხვავდებოდა მენდელის კლასიკური სქემისგან. წითელთვალიანი მდედრი დროზოფილას თეთრთვალა მამრთან შეჯვარებისას პირველ თაობაში ორივე სქესის ინდივიდი წითელთვალიანი აღმოჩნდა. აქედან ნათელია, რომ თვალის წითელი შეფერილობა დომინანტური ნიშანია, თეთრი კი – რეცესიული. F_2-ში დათიშვა იყო თანაფარდობით: 3 წითელთვალიანი: 1 თეთრთვალიანი. უჩვეულო ის იყო, რომ მეორე თაობაში თეთრთვალიანი მხოლოდ მამრები აღმოჩნდა.

მორგანმა ჩაატარა **რეციპროკული შეჯვარება**. ორ შეჯვარებას, რომელიც განისაზღვრება იმის მიხედვით, თუ რომელი სქესის მშობელს (მდედრს თუ მამრს) შეაქვს ზიგოტაში გენის დომინანტი ან რეცესიული ალელი, რეციპროკული ეწოდება. შეჯვარებიდან ერთ-ერთს პირობითად პირდაპირი ეწოდება, მეორეს კი – შებრუნებული (შექცევადი). შებრუნებული შეჯვარებისას მორგანმა თეთრთვალიანი მდედრი და წითელთვალიანი მამრი დროზოფილა შეაჯვარა. პირველ თაობაში ყველა ჰიბრიდული მამრი აღმოჩნდა თეთრთვალიანი, მდედრი კი წითელთვალიანი. მომხდარა დათიშვა თანაფარდობით 1:1-თან. ამ სახის მემკვიდრეობას მორგანმა "კრისკროსი" ანუ ჯვარედინი მემკვიდრეობა უწოდა. პირველ თაობაში ხდებოდა მენდელის პირველი კანონიდან გამომდინარე მოსალოდნელი შედეგიდან მკვეთრი გადახრა. მამრები იღებდნენ ნიშანს დედისაგან, ხოლო მდედრები – მამისაგან. მეორე თაობაში თანაბარი რაოდენობით მიიღებიან წითელთვალიანი მდედრები და მამრები, ასევე თეთრთვალიანი მდედრები და მამრები.

შეჯვარების ამ ვარიანტში არ ვლინდებოდა პირველი თაობის ჰიბრიდთა ერთგვაროვნების კანონი, ხოლო მეორე თაობაში დათიშვა კლასიკური მონოჰიბრიდული დათიშვისაგან განსხვავდებოდა 3:1-ის ნაცვლად არის 1:1-თან. რეციპროკული შეჯვარება განსხვავებულ შედეგს იძლევა. მიღებული შედეგები თითქოს ეწინააღმდეგება მენდელის მიერ დადგენილ კლასიკურ კანონზომიერებებს. მაგრამ ამ შედეგის ახსნა მხოლოდ მენდელიზმზე დაყრდნობით გახდა შესაძლებელი.

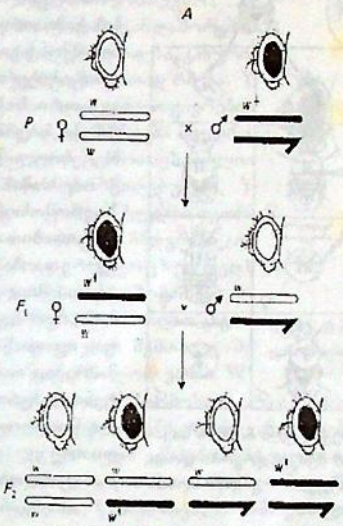
მორგანმა დროზოფილაში სასქესო ქრომოსომების მშობლებიდან შვილებში გადაცემის კანონზომიერებები შეუპირისპირა მიღებულ შედეგს და ივარაუდა, რომ თვალის წითელი და თეთრი შეფერილობის განმსაზღვრელი გენის ალელები სასქესო X ქრომოსომაშია ლოკალიზებული, Y ქრომოსომა კი გენეტიკურად ინერტულია. იგი არ შეიცავს თვალის შეფერილობის განმსაზღვრელ გენს. ასეთი ახსნა საშუალებით



სურ.3.13.სქესთან შეჭიდული ნიშნების მემკვიდრეობა დროზოფილაში (პირდაპირი შეჯვარება). მშობლები: მდედრი წითელთვალა, მამრი თეთრთვალა.

შეესაბამება მიღებულ შედეგს და მემკვიდრეობის ამ ფორმას სქესთან შეჭიდული ნიშნების მემკვიდრეობა უწოდეს. თვალის თეთრი შეფერილობის განმსაზღვრელი გენის რეცესიულ ალელს აღნიშნავენ W-თი, ხოლო მის დომინანტურ ალელს, რომელიც თვალის წითელ შეფერილობას იწვევს-W^+-ით. წითელთვალიანი მდედრის ორივე X ქრომოსომაში ლოკალიზებულია გენის დომინანტური ალელი. იგი ჰომოზიგოტურია. თეთრთვალა მამრის X ქრომოსომაში ლოკალიზებულია გენის რეცესიული ალელი, ხოლო Y ქრომოსომაში იგი არაა. მამრი თვალის შეფერილობის განმსაზღვრელი გენის მხოლოდ ერთ ალელს-ერთ დოზას შეიცავს. ისეთ მდგომარეობას, როდესაც წყვილი ალელიდან გენი მხოლოდ ერთი ალელითაა წარმოდგენილი, **ჰემიზიგოტურობა** ეწოდება. ორგანიზმს, ამგვარი გენოტიპით კი **ჰემიზიგოტა**.

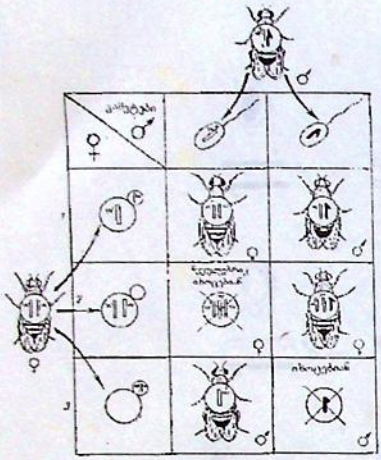
ჰომოზიგოტური წითელთვალა დედა X ქრომოსომას, მასში ლოკალიზებული დომინანტური გენით, გადასცემს მამრ შვილს. ეს უკანასკნელი კი თეთრთვალა მამისაგან Y ქრომოსომას იღებს, რომელშიც აღნიშნული გენი არაა, ამიტომაც მამრები წითელთვალებაა. პირველი თაობის მდედრები ერთ X ქრომოსომას, რომელშიც თეთრთვალიანობის განმსაზღვრელი გენია ლოკალიზებული, იძენენ მამისაგან, ხოლო მეორე X ქრომოსომას, რომელშიც თვალის წითელი შეფერილობის განმსაზღვრელი ალელია-დედისაგან. თვალის წითელი შეფერილობის დომინირების გამო მდედრებსაც წითელი ფერის თვალი ექნებათ. პირველი თაობის ჰეტეროზიგო-



სურ.3.14.სქესთან შეჯიდული ნიშნების მემკვიდრეობა დროზოფილაში შებრუნებული შეჯვარება) მშობლები: მდედრი თეთრთვალა, მამრი წითელთვალა

ტურ მდედრში ორი სახის გამეტა ყალიბდება. ასევე, მამრში, ჰეტეროგამეტურობის გამო, ორი სახის გამეტები წარმოიქმნება. გამეტების შემთხვევითი კომბინატორიკის გამო მეორე თაობაში ინდივიდების 3 ნაწილს აქვს დომინანტური გენის შემცველი X ქრომოსომა. მათ წითელი თვალები ექნებათ. ინდივიდების (მამრების) ერთ ნაწილს კი რეცესიული გენის მქონე X ქრომოსომა უჩნდებათ. ბუნებრივია, მათ თეთრი თვალები ექნებათ. ამრიგად, ყველა მდედრი დროზოფილა წითელთვალა იქნება, მამრების ერთი ნაწილი (50%)- წითელთვალება, მეორე კი-თეთრთვალება (სურ.3.13).

რეციპროკული შეჯვარების შებრუნებულ ვარიანტში სრულიად სხვა შედეგი მიიღება. წითელთვალა მამისაგან პირველი თაობის მდედრი დროზოფილები (შვილები) შეიძენენ X ქრომოსომას, რომელშიც წითელი შეფერილობის განმსაზღვრელი დომინანტი ალელია ლოკალიზებული, მეორე X ქრომოსომას კი რეცესიული გენითურთ-თეთრთვალა დედისაგან. მდედრი შვილები ჰეტეროზიგოტებია, მათ წითელი თვალები აქვთ. მამრი შვილები თეთრთვალიანებია, ვინაიდან X ქრომოსომას, თეთრთვალიანობის განმსაზღვრელი გენით, დედისაგან იძენენ, მეორე სასქესო Y ქრომოსომას კი-მამისაგან. მამრში რეცესიული W გენი ჰემიზიგოტურ მდგომარეობაშია და იგი ვლინდება. ამრიგად, პირველი თაობის ჰიბრიდული შთამომავლობის ყველა მდედრი წითელთვალებაა, მამრი კი-თეთრთვალება. ხორციელდება ე.წ. "ჯვარედინი" (კრის-კროს) მემკვიდრეობა. დედის ნიშანი გადაეცემა მამრ, მამისა კი -მდედრ



სურ.3.15.სქესთან შეჭიდული ნიშნის (თვალის შეფერილობა) მემკვიდრეობა დროზოფილაში X-სასქესო ქრომოსომის განურიდებლობის დროს

შვილებს. პირველი თაობის მდედრ დროზოფილაში ჰეტეროზიგოტულობის გამო ორი სახის W' და W ალელების მქონე გამეტები ყალიბდება. მამრშიც, ჰეტეროგამეტულობის გამო, ასევე ორი სახის გამეტები წარმოიქმნება. სპერმატოზოიდების ნახევარი რეცესიულ W ალელის შემცველ X ქრომოსომის მქონეა, მეორე ნახევარი - Y ქრომოსომისა. გამეტები თანაბარი ალბათობით ერწყმიან ერთმანეთს და მეორე თაობაში გენოტიპთა ოთხი კატეგორია მიიღება (სურ.3.14). სქემიდან ჩანს, რომ მდედრები ორ თანაბარ ჯგუფად იყოფა: წითელ და თეთრთვალებად. მამრებიც თანაბარი რაოდენობით ორი ფენოტიპური ჯგუფითაა წარმოდგენილი: წითელ და თეთრთვალება. ამრიგად, თითოეულ ჯგუფში დაითშვა არის თანაფარდობით 1:1.

მორგანის თეორიული ვარაუდი სავსებით შეესაბამება მიღებულ შედეგს. ეს ვარაუდი შემდგომ სხვა ექსპერიმენტიოაც იქნა დადასტურებული. ამრიგად, მორგანმა და მისმა თანამშრომლებმა ექსპერიმენტულად დაასაბუთეს, რომ გენი ქრომოსომაშია ლოკალიზებული, რიოაც მყარი არგუმენტი იქნა მოპოვებული მემკვიდრულობის ქრომოსომული თეორიის დასადასტურებლად.

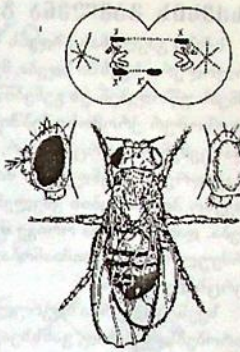
სქესთანაა შეჭიდული ყველა ის ნიშანი, რომლის განმსაზღვრელი გენი X სასქესო ქრომოსომაშია ლოკალიზებული. ამჟამად დროზოფილას X ქრომოსომაში 500 გენის ლოკუსია განსაზღვრული. გამოვლენილია Y ქრომოსომაში ლოკალიზებული გენებიც. ისინი მამიდან მამრ შვილებს გადაეცემა. ამგვარ მემკვიდრეობას **ჰოლანდრიულს** უწოდებენ.

შეცნიერთა ვარაუდი, რომ X და Y ქრომოსომები მონაწილეობენ სქესის განსაზღვრაში, მორგანმა და მისმა თანამშრომლებმა ზემოთ აღწერილი ცდებით ექსპერიმენტულად დაასაბუთეს. მათ ჩამოაყალიბეს სქესის განსაზღვრის ქრომოსომული თეორია.

სასქესო ქრომოსომების განურიდებლობა

დროზოფილაში თვალის შეფერილობის მემკვიდრეობის შესწავლისას კ.ბრიჯესმა (1913) შენიშნა, რომ ჯვარედინი "კრის-კროს" მემკვიდრეობის სქემა ძალიან იშვიათად ირღვეოდა. თეთრთვალა მდედრისა და წითელთვალა მამრის შთამომავლობაში დაბალი სიხშირით (0,001-0,1%) თეთრთვალა მდედრი და წითელთვალა მამრი ინდივიდებიც ჩნდებოდნენ. კ.ბრიჯესმა ივარაუდა, რომ მემკვიდრეობის ეს ანომალია

დაკავშირებული იყო სასქესო ქრომოსომების განურიდებლობასთან. მდედრში სასქესო X ქრომოსომები მეიოზში ერთიმეორისაგან დაშორების ნაცვლად, როგორც ეს ნორმალურად ხდება, განურიდებლობის გამო კვერცხუჯრედში ერთად რჩება. Y ქრომოსომიანი სპერმატოზოიდით განაყოფიერების შემთხვევაში ამგვარი ზიგოტიდან ჩნდება მდედრი. მას დედისაგან მიღებული ორი X (მოთავსებულია WW ალელები) და მამისაგან მიღებული Y ქრომოსომები აქვს, რის გამოც ასეთი მდედრი თეთრთვალაა. წითელთვალა მამრები ჩნდებიან იმ შემთხვევაში, როდესაც კვერცხუჯრედს განურიდებლობის გამო სასქესო ქრომოსომები არ გააჩნია. X ქრომოსომიანი სპერმატოზოიდით ასეთი კვერცხუჯრედის განაყოფიერების შემთხვევაში მიიღება ზიგოტა, რომელშიც მხოლოდ ერთი W+ ალელის მქონე X ქრომოსომაა (მათ Y ქრომოსომა არა აქვთ). ამ მოვლენას სასქესო ქრომოსომების განურიდებლობა ეწოდება (ტერმინი-განურიდებლობა მოწოდებულია აკად. ა.ჩიქობავას მიერ). ეს ვარაუდი ექსპერიმენტულად იქნა დასაბუთებული. ქრომოსომულმა ანალიზმა ნათელყო, რომ თეთრთვალა მდედრ ბუზებს სამი (XXY) სასქესო ქრომოსომა ჰქონდათ, წითელთვალა მამრებს კი მხოლოდ ერთი -X ქრომოსომა (იხ.სურ.3.15).



სურ.3.16.ბილატერალური ჰინანდრომორფიზმი დროზოფილაში

ქრომოსომათა განაწილება უჯრედებში შეიძლება დაირღვეს არა მარტო მეიოზში, არამედ მიტოზის დროსაც. თეთრთვალა მდედრისა და წითელთვალა მამრის შთამომავლობაში მეტად იშვიათად გამოერევა ისეთი ინდივიდი, რომელსაც ერთი თვალი წითელი აქვს, მეორე კი თეთრი. ამავე დროს სიმეტრიულად სხეულის ერთი ნახევარი მამრობითი, მეორე კი-მდედრობითი სქესისაა. ასეთ ბუზს ბილატერალურ ანდრომორფს უწოდებენ. თეთრი თვალი მამრობითი სქესის ნახევარზეა განვითარებული, წითელი კი-მდედრობითზე. ასეთი ინდივიდები ზიგოტის პირველი გაყოფის პროცესში X ქრომოსომის დაკარგვის შედეგად ვითარდება. დაყოფისას ერთ ბლასტომერში ორი X სასქესო ქრომოსომა აღმოჩნდება W+W გენებით, მეორეში კი მხოლოდ რეცესიული (W) გენის მქონე ერთი X ქრომოსომა. ჰინანდრომორფ დროზოფილაში სხეულის მარჯვენა და მარცხენა ნახევრის ქრომოსომების შესწავლით ეს ვარაუდი დადასტურდა (იხ.სურ.3.16). გამოირკვა, რომ ზოგიერთ ორგანიზმში Y ქრომოსომა აქტიურ როლს ასრულებს სქესის განსაზღვრაში (მაგ. ძუძუმწოვრები, მათ შორის ადამიანი). თუ ადამიანში აუტოსომების რაოდენობა ნორმალურია, ხოლო Y ქრომოსომასთან ერთად ორი ან მეტი X ქრომოსომაა, მაშინ ყალიბდება მამრობითი სქესი. ზოგიერთ ორგანიზმში კი სქესი აუტოსომური და სასქესო ქრომოსომების თანაფარდობით განისაზღვრება. Y ქრომოსომა პრაქტიკულად ინერტულია (მაგ. დროზოფილა). ქრომოსომათა განურიდებლობა აღწერილია მრავალ ცალსქესიან ორგანიზმში. ადამიანში იგი პათოლოგიურ ცვლილებებს იწვევს.

სქესის გავლენა გენის ექსპრესიაზე (გამოვლენაზე)

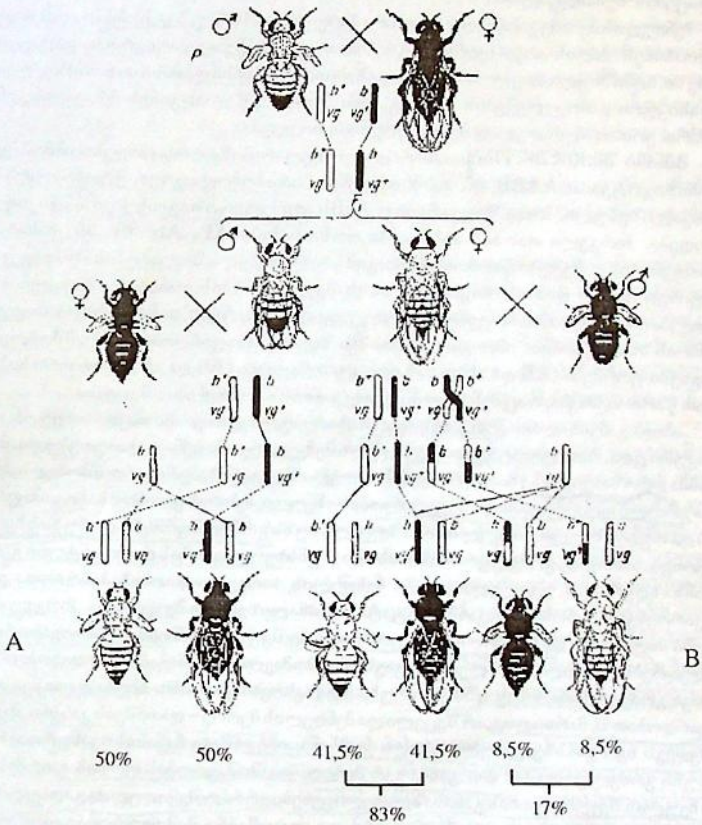
სქესი გავლენას ახდენს ზოგიერთი გენის ექსპრესიაზე. ნიშნის ჩამოყალიბება მხოლოდ ერთ სქესში ხდება, მეორეში კი ითრგუნება. მათ **სქესით განსაზღვრულ** ნიშნებს უწოდებენ. ეს გენები ლოკალიზებულია როგორც სასქესო, ისე სხვადასხვა აუტოსომურ ქრომოსომებში. მათ ორივე სქესის წარმომადგენლები ერთნაირად გადასცემენ როგორც მდედრ, ისე მამრ შვილებს. სქესით განსაზღვრული ნიშნების მემკვიდრეობა მენდელის მიერ დადგენილი კანონზომიერებით მიმდინარეობს. სასქესო ჰორმონების გავლენით ამ გენების ექსპრესია მხოლოდ ერთ-ერთ სქესში ხდება. დადგენილია ორივე შშობლის ერთნაირი გავლენა: ძროხებში ფურხბოების მერძეულობა და ცხიმიანობა, ტყუპიანობა, ღორებში –ნაყოფიერება, დედლებში – კვერცხმდებლობა.

სქესითაა განსაზღვრული ყველა ის ნიშანი, რომელიც სქესობრივ დიმორფიზმს აპირობებს, კერძოდ, განსხვავება მდედრისა და მამრის სხეულის ზომასა, ფორმასა და შეფერილობაში, ზოგიერთ მამრ ძუძუმწოვარში რქების არსებობა (მაგ.ირემი), მამალში ბიბილო, „დეზები" და სხვა. ადამიანში მეორეული სასქესო ნიშნებია სხეულის კონსტიტუციური თავისებურებები, ჩონჩხის (მენჯის ფორმა და სხვა), მუსკულატურის, თმის საფარველის (წვერი, ულვაში), ხმის აპარატის და სხვა ნიშნების განვითარება. ამ ნიშნების განმსაზღვრელი გენები ორივე სქესის წარმომადგენლებს აქვთ, მაგრამ სასქესო ჰორმონების გავლენით მხოლოდ შესაბამისი გენის ექსპრესია ხდება. მაგ. ქალისათვის დამახასიათებელია ხმის მაღალი (სოპრანო, ალტი), მამაკაცისათვის კი დაბალი (ტენორი, ბარიტონი, ბანი) რეგისტრი. მამაკაცს მაღალი რეგისტრის განმსაზღვრელი გენებიც აქვს, მაგრამ მამრობითი სასქესო ჰორმონის გავლენით მისი მოქმედება ითრგუნება. ხდება გენოტიპში არსებული მამაკაცისათვის დამახასიათებელი შესაბამისი გენის ექსპრესია. საპირისპირო მოვლენა შეინიშნება ქალებში.

სასქესო ჰორმონები ზოგჯერ გავლენას ახდენენ დომინირებაზე. ზემოთ განხილული მოვლენისაგან განსხვავებით (სადაც მხოლოდ ერთ-ერთ სქესში ხდებოდა ნიშნის გამოვლენა) ნიშანი ორივე სქესში ელინდება, მაგრამ დომინირებაა შეცვლილი. ასეთ ნიშნებს **სქესით კონტროლირებულ** ნიშნებს უწოდებენ. მაგ. სიმელოტე დომინანტური ნიშანია კაცებში და რეცესიულია ქალებში. ჰეტეროზიგოტული მამაკაცი მელოტია, ქალი კი-თმიანი. სიქაჩლე მხოლოდ ჰომოზიგოტურ ქალებში ირჩენს თავს. სქესზეა დამოკიდებული რქის განვითარება ზოგიერთი ჯიშის ცხვარში. ჰეტეროზიგოტური ყოჩი რქიანია, ნერბი კი – ურქო. მხოლოდ ჰომოზიგოტურ ნერბებს უვითარდებათ რქები. ამრიგად, რქიანობა დომინანტურია ყოჩებში, ხოლო რეცესიულია ნერბებში.

28. 3.6.გენთა შეჭიდულობა და კროსინგოვერი

გენთა შეჭიდულობა ერთსა და იმავე ქრომოსომაში განლაგებული განსხვავებული გენების ერთობლივი მემკვიდრეობის მოვლენაა. გენთა დამოუკიდებელი კომბინირება (მენდელის III კანონი) მხოლოდ იმ შემთხვევაში ხორციელდება, როდესაც არაალელური გენები სხვადასხვა ჰომოლოგიურ ქრომოსომებშია ლოკალიზებული.



სურ.3.17.შეჭიდული ნიშნების მემკვიდრეობა დროზოფილაში:
A-სრული შეჭიდულობა; B-არასრული შეჭიდულობა

თუ დავუშვებთ, რომ ეს კანონი უნივერსალურია, მაშინ გენთა და ქრომოსომათა რაოდენობა ტოლი უნდა იყოს. აპრიორი ცხადია, რომ ინდივიდები გენთა საკმაოდ დიდ რაოდენობას შეიცავენ მაშინ, როდესაც ყოველ სახეობას გენთა რაოდენობასთან შედარებით ქრომოსომათა საკმაოდ მცირე და განსაზღვრული რიცხვი მოეპოვება. არის ერთგვარი შეუსაბამობა ქრომოსომათა რაოდენობასა და გენთა რაოდენობას შორის. ამ მოვლენას ყურადღება მიაქცია უ.სეტონმა. მან ივარაუდა, რომ გენთა დამოუკიდებლად მემკვიდრეობის გარდა უნდა არსებობდეს გენთა ერთად-შეჭიდულად

გადაცემის შესაძლებლობაც.

მენდელის მესამე კანონიდან გადახრა პირველად 1906 წ. უ.ბეტსონმა და რ.პენეტმა აღმოაჩინეს ბაღის არვაკელში, მაგრამ მაო ვერ ახსნეს გენთა ერთად გადაცემის მიზეზი. აღნიშნული მოვლენა ნათელი გახდა თ.მორგანისა და მისი თანამშრომლების კლასიკური გამოკვლევების შემდეგ. მაო 1911-1914 წწ დაადგინეს მრავალი გენის მიმართ ერთად-შეჭიდულად მემკვიდრეობის მოვლენა.

გენთა შეჭიდულობა. დიჰიბრიდული შეჯვარების დროს, როდესაც მშობლები ჰომოზიგოტებია: AABB და aabb და გენები არაჰომოლოგიურ ქრომოსომებშია ლოკალიზებული, მაო შეჯვარებით AaBb დიჰეტეროზიგოტული ინდივიდები მიიღება. პირველი თაობის ჰიბრიდში ოთხი სახის: AB, Ab, aB, ab თანაბარი რაოდენობის გამეტები წარმოიქმნება. გამაანალიზებელი შეჯვარების შემთხვევაში ანუ რეცესიულ დიჰომოზიგოტურ aabb შეჯვარებისას თანაბარი რაოდენობით მიიღება ინდივიდთა ოთხი ფენოტიპური ჯგუფი (AaBb, Aabb, aaBb, aabb) თითოეული 25%-ის რაოდენობით. ამრიგად, დათიშვა ხდება თანაფარდობით 1:1:1:1; მშობლების მსგავსი ფორმები (AB და ab) და ახალი კომბინაციები (Ab და aB) ერთნაირი სიხშირით წარმოიქმნება, რაც მენდელის მესამე კანონის მოქმედების შედეგია.

ახლა განვიხილოთ მორგანის მიერ ჩატარებული ერთ-ერთი თავდაპირველი კლასიკური ცდა, რომლითაც გენთა შეჭიდული მემკვიდრეობა იქნა დასაბუთებული. მორგანმა დროზოფილაზე ჩაატარა დიჰიბრიდული შეჯვარება. ერთ-ერთ მშობელს ჰქონდა გრძელი ფრთები და შავი შეფერილობის სხეული, მეორეს კი – ჩანასახოვანი ფრთები და რუხი სხეული. პირველ თაობაში ყველა ბუზს გრძელი ფრთები და რუხი სხეული ჰქონდა. ამრიგად, გრძელფრთიანობასა და რუხსხეულიანობას დომინანტური გენები განსაზღვრავენ. უცვლელი დარჩა მენდელის პირველი თაობის ჰიბრიდთა ერთგვაროვნების კანონი. მორგანმა ჩაატარა გამაანალიზებელი შეჯვარება. პირველ თაობაში მიღებული დიჰეტეროზიგოტური მამრები შეუჯვარა შავ, ჩანასახოვანფრთიან მდედრებს და მიიღო მშობლების მსგავსი შთამომავლობა თანაბარი რაოდენობით: 50% შავი გრძელფრთიანი იყო, 50% კი რუხი ჩანასახოვანფრთიანი. ხდება დათიშვა თანაფარდობით 1:1. მართალია, არ შეცვლილა მენდელის მეორე – დათიშვის კანონი, მაგრამ შედეგი იყო განსხვავებული: ახალი კომბინაციები (შავი ჩანასახოვანფრთიანი და რუხი გრძელფრთიანი) მორგანმა ვერ მიიღო. შთამომავლობას ფრთის ფორმისა და სხეულის შეფერილობის განმსაზღვრელი გენები ერთად-შეჭიდულად გადაეცემოდა.

მორგანმა ივარაუდა, რომ გენთა ერთად გადაცემა ანუ შეჭიდულობა გამოწვეული იყო იმით, რომ სხეულის შეფერილობისა და ფრთის ფორმის განმსაზღვრელი გენები ერთსა და იმავე ქრომოსომაშია ლოკალიზებული და მიღებული შედეგი ქრომოსომული თეორიით ახსნა და მოგვცა ამ მოვლენის შემდეგი გენეტიკური პოსტულირება (იხ.სურ. 3.17).

დროზოფილაში სხეულის შავი შეფერილობის განმსაზღვრელი გენი აღინიშნება b-თი (ინგლ.black), ხოლო მისი დომინანტური ალელი-რუხი შეფერილობის B-თი. ჩანასახოვანი ფრთის რეცესიული გენი v-თი (ინგლ.vestigial), ხოლო მისი დომინანტური ალელი, გრძელი ფრთების განმსაზღვრელი V-თი. ორი წყვილი შეჭიდული ნიშნით განსხვავებული შავი გრძელფრთიანი (bbVV) და რუხი ჩანასახოვანფრთიანი (BBvv) ინდივიდის შეჯვარებით პირველ თაობაში მიიღება BbVv გენოტიპის რუხი გრძელ-

ფრთიანი ბუზები. პირველ თაობაში მიღებული დიჰეტეროზიგოტული მამრი შეუჯვარეს შავ ჩანასაზოვანფრთიან (bbvv) მდედრს. როგორც უკვე აღვნიშნეთ, გამაანალიზებელი შეჯვარების შედეგად მიიღეს დაახლოებით 1:1. ამგვარი დაახლოებით მიუთითებს, რომ დიჰეტეროზიგოტურ ინდივიდში ოთხის ნაცვლად მხოლოდ ორი ტიპის bV და Bv თანაბარი რაოდენობის გამეტები წარმოიქმნება, ვინაიდან ფრთების ფორმისა და სხეულის შეფერილობის განმსაზღვრელი გენები ერთსა და იმავე ქრომოსომაშია ლოკალიზებული.

გენთა ერთად მემკვიდრეობას, რომელიც მათ დამოუკიდებელ კომბინირებას ზღუდავს, მორგანმა გენთა შეჭიდულება ანუ შეჭიდული მემკვიდრეობა უწოდა, ამჟამად ამ მოვლენას **მორგანის კანონი** ეწოდება.

გენთა შეჭიდულობის კანონის თანახმად ერთსა და იმავე ქრომოსომაში ლოკალიზებული გენები მემკვიდრეობენ შეჭიდულად. თითოეულ ქრომოსომაში მოთავსებული გენები ქმნიან შეჭიდულ ჯგუფებს, რომლებიც თაობიდან თაობას შეჭიდულად გადაეცემა, ხოლო სხვადასხვა ჯგუფის გენებს თავისუფალი კომბინირების უნარი აქვთ. ყოველ სახეობაში შეჭიდულ გენთა ჯგუფების რაოდენობა ქრომოსომათა ჰაპლოიდური რიცხვის ტოლია. მაგ. დროზოფილას აქვს 4, სიმინდს-10, ბარდას-7 და ა.შ.

პრესინგოვერი. მორგანმა ჩაატარა რეციპროკული შეჯვარება. პირველ თაობაში მიღებული დიჰეტეროზიგოტური (BbVv) რუხი გრძელფრთიანი მდედრი შეუჯვარა რეცესიულ დიჰომოზიგოტურ (bbvv) მამრს. ცდის ამ ვარიანტში მან ინდივიდების ყველა შესაძლო (ოთხივე) კომბინაცია მიიღო: როგორც მშობლების მსგავსი (შავი გრძელფრთიანი და რუხი ჩანასაზოვანფრთიანი), ისე ახალი (შავი ჩანასაზოვანფრთიანი და რუხი გრძელფრთიანი) კომბინაციები. ამასთანავე ოთხივე ჯგუფის ინდივიდები თანაბარი რაოდენობით კი არ წარმოიქმნებოდა, როგორც ნიშნების შენდელირებისას, არამედ დაახლოებით იყო პროცენტული თანაფარდობით 41,5:41,5:8,5:8,5. მშობლისმიერი კომბინაციები მიიღებოდა დიდი რაოდენობით 83% (41,5+41,5), ხოლო ჰიბრიდული კომბინაციები მცირე რაოდენობით-17% (8,5+8,5). ამ შემთხვევაში ხდება შეჭიდულ გენებს შორის კავშირის გაწყვეტა, რის გამოც შეჭიდულობა არასრული ხასიათისაა.

მორგანმა წამოაყენა ჰიპოთეზა, რომლის მიხედვითაც მეიოზში ჰომოლოგიური ქრომოსომების კონიუგაციისას შესაძლებელია იმ იდენტური უბნების გაცვლა, რომელშიც ფრთის ფორმისა და სხეულის ფერის განმსაზღვრელი გენებია მოთავსებული. ჰომოლოგიურ ქრომოსომებს შორის იდენტური უბნების, მასში ლოკალიზებული გენებიურთ გაცვლას გადაჯვარედინება ანუ კროსინგოვერი (ინგლ.crossingover) ეწოდება. ზემოთ აღნიშნულის საფუძველზე მორგანმა მოგვცა კროსინგოვერის გენეტიკური პოსტულირება.

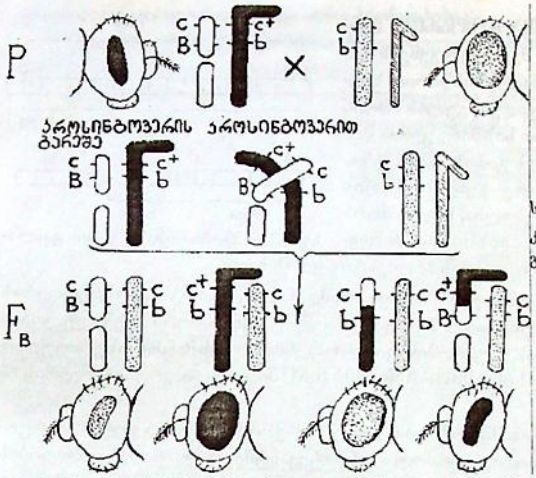
დიჰეტეროზიგოტ (BbVv) მდედრებში წარმოიქმნება ოთხი ტიპის გამეტები არათანაბარი რაოდენობით: კროსინგოვერის შედეგად ორი ტიპის BV და bv-მცირე რაოდენობით და ორი ტიპის bV და Bv გენების მქონე გამეტები დიდი რაოდენობით. მამრში მხოლოდ ერთი ტიპის bv გენების მქონე გამეტები ყალიბდება. განყოფიერების შედეგად წარმოქმნილი ზიგოტებიდან ოთხი ფენოტიპური ჯგუფი ვითარდება, რომელთაგან 83% მშობლისმიერი, 17% კი ჰიბრიდული კომბინაციებია. ვინაიდან ეს უკანასკნელი ჯგუფი კროსინგოვერის შედეგადაა წარმოქმნილი, მორგანმა მას

პროსპერები უწოდა. ამრიგად, გენთა შორის შეჭიდულობის გაწყვეტა ზოგიერთ ჰომოლოგიურ ქრომოსომათა შორის მიმდინარე კროსინგოვერის შედეგია. შეშბლების მსგავს კომბინაციებს პარაპროსპერებს უწოდებენ.

ორგანიზმებში სრული შეჭიდულობა იშვიათად გვხვდება. გამოირკვა, რომ სქესი ზოგიერთი სახეობის ინდივიდში გარკვეულად მოქმედებს კროსინგოვერზე. ასე, მაგ. მამრ დროზოფილაში კროსინგოვერი არ ხდება, რის გამოც შეჭიდულობა სრულია. მდედრ დროზოფილაში იგი მიმდინარეობს, რის გამოც შეჭიდულობა მასში არასრულია. ორი ან მეტი გენი შეჭიდულია, თუ შთამომავლობაში გენთა ახალი კომბინაციები (რეკომბინანტები) მცირე რაოდენობით გვხვდება, ვიდრე შეშბლების მსგავსი ფენოტიპები. ჰომოლოგიურ ქრომოსომებს შორის რეგულარულად მიმდინარეობს ალელურ გენთა შორის უბნების გაცვლა. ჰომოლოგიურ ქრომოსომებში მოთავსებული გენები ერთი მეორეს ერევა. კროსინგოვერი და გენთა შეჭიდულობა ზოგადგენეტიკური მოვლენაა. იგი აღენიშნება მიკროორგანიზმებს, მცენარეებსა და ცხოველებს, მათ შორის ადამიანსაც. კროსინგოვერი უზრუნველყოფს გენთა რეკომბინაციას და მნიშვნელოვნად ზრდის კომბინაციური ცვალებადობის როლს ევოლუციის პროცესში.

კროსინგოვერის დროს ჰომოლოგიურ ქრომოსომებს შორის მონაკვეთების მიმოცვლა ციტოლოგიურად დამტკიცებულ იქნა 1931 წელს კ.შტერნის მიერ დროზოფილაში, ხოლო ჰ.კრეიტონისა და ბ.მაკ-კლინტოკის მიერ სიმინდში – ერთმანეთისაგან დამოუკიდებლად. ჰომოლოგიური ქრომოსომები მორფოლოგიურად ერთნაირია (ჰომომორფულია), ამიტომ მათ შორის უბნების ფიზიკური გაცვლის შემჩნევა შეუძლებელია. ამ მეცნიერებმა შეძლეს მორფოლოგიურად განსხვავებული ჰეტერომორფული ქრომოსომების მიღება. ამრიგად, ჰომოლოგიური ქრომოსომები როგორც ციტოლოგიურად, ისე გენეტიკურად მარკირებული იყო. დიჰეტეროზიგოტური ინდივიდის შთამომავლობაში მიღებულ კროსოვერებს ქრომოსომათა ნაწილებიც ჰქონდათ გაცვლილი.

განვიხილოთ კ.შტერნის მიერ ჩატარებული ექსპერიმენტი. მან შესძლო დროზოფილაში ჰეტერომორფული X-სასქესო ქრომოსომების კონსტრუირება. დროზოფილაში X-ქრომოსომა აკროცენტრულია. მიღებულ ხაზში კი ერთ-ერთ X-ქრომოსომას, Y-ქრომოსომის მონაკვეთის ტრანსლოკაციის გამო, ლაიინური "L" ასოს ფორმა გააჩნდა. მასში ლოკალიზებული იყო დომინანტი გენი C^+ (განსაზღვრავს თვალის წითელ შეფერილობას) და რეცესიული გენი b (განსაზღვრავს თვალის ოვალურ ფორმას). მეორე X-ქრომოსომა ნორმალურთან შედარებით მოკლე იყო, მისი გარკვეული მონაკვეთის IV ქრომოსომაზე ტრანსლოკაციის გამო. მასში ლოკალიზებული იყო დომინანტი გენი B (Bar, იწვევს ვიწრო, ზოლისებრი ფორმის თვალის განვითარებას) და რეცესიული გენი c (carnation, განსაზღვრავს თვალის მიხაკისებრ შეფერილობას). მდედრ ინდივიდში ორივე X ქრომოსომა მარკირებული იყო როგორც ციტოლოგიურად, ისე გენეტიკურად. დიჰეტეროზიგოტური, წითელი, ზოლიანთვალიანი მდედრი შეუჯვარეს ორმაგრეცესიულ მამრს. გაანალიზებელი შეჯვარების შედეგად შტერნმა დიდი რაოდენობით მიიღო არაკროსოვერები: მიხაკისფერი, ზოლიანთვალიანი და წითელი, ოვალურთვალიანი ინდივიდები; მცირე რაოდენობით



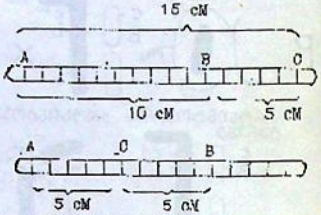
სურ. 3.17 A. დროზოფილაში კროსინგოვერის ციტოლოგიური ვერსიფიკაცია

კი კროსოვერები: მიხაკისფერი, ოვალუროვალიანი და წითელი, ზოლიანოვალიანი ინდივიდები. ოთხივე ფენოტიპური ჯგუფი განსხვავდებოდა როგორც ფენოტიპურად, ისე X-ქრომოსომის სტრუქტურით. მდედრი კროსოვერების შესწავლით დადგინდა, რომ მათ ერთი X-ქრომოსომა ნორმალური ჰქონდათ, რომელიც მამიდან მიიღეს. მეორე ქრომოსომა, რომელიც დედიდან გადაეცათ, კროსინგოვერის შედეგად იყო გარდაქმნილი. კერძოდ, წითელ, ზოლიანოვალიან ინდივიდების ფრაგმენტირებულ X-ქრომოსომას გააჩნდა მხარი, ხოლო მიხაკისფერ, ოვალუროვალიან მდედრებში X-ქრომოსომას მხარი არ ჰქონდა (იხ.სურ.3.17A).

ჰომოლოგიურ ქრომოსომებს შორის უბნების გაცვლის მოვლენას დიდი ეოლუციური მნიშვნელობა აქვს. ამ პროცესით იზრდება კომბინაციური ცვალებადობის დონე. გადარჩევის პროცესი მიმდინარეობს არა შეჭიდულ გენთა ჯგუფების, არამედ ცალკეული გენის კვალობაზე. შეჭიდულ გენთა ჯგუფებში გაერთიანებულია გენები, რომელთა ნაწილს დიდი ადაპტური მნიშვნელობა აქვს და ისეთებიც, რომლებიც ამ უნარს მოკლებულნი არიან. კროსინგოვერის მეშვეობით არაადაპტური მნიშვნელობის გენთა გამხოლოება ხდება, ბუნებრივი გადარჩევის პროცესში ამგვარი გენის მქონე ზიგოტათა კომბინაციები გაიცხრილება, რის გამოც გენოტიპში თანდათან ადაპტური ღირებულების მქონე გენების კონცენტრაცია იზრდება.

ზოგიერთი გენი ერთმანეთთან ძლიერადაა შეჭიდული, რის მაგალითადაც შეიძლება რეზუს ფაქტორის (Rh) განმსაზღვრელი გენები დავასახელოთ. ამ ნიშანს სამი ძლიერ შეჭიდული C,D და E გენი განსაზღვრავს, რის შედეგადაც ამ ნიშნის შემკვდრეობა მონოგენური სქემით მიმდინარეობს. პირველ ქრომოსომაში ლოკალიზებული E1 გენი (დომინანტი გენი იწვევს ელიპტოციტოზს, ერითროციტები ოვალური ფორმისანი არიან) შეჭიდულია Rh ფაქტორის განმსაზღვრელ გენებთან და მათ შორის მანძილი 3cM-ია.

ქრომოსომაში გენთა ხაზობრივი განლაგება. ერთსა და იმავე შეჭიდულ გენებს შორის კროსინგოვერი ერთნაირი სიხშირით ხდება, ხოლო სხვადასხვა შეჭიდულ გენებს შორის იგი განსხვავებულია. მისი სიხშირე გენთა შორის შეფარდებით მანძილს გამოხატავს. ქრომოსომაში ახლომდებარე გენებს შორის უბნების გაცვლა გაძნელებულია, ხოლო შორს მდებარეთა შორის დიდი სიხშირით მიმდინარეობს. ამრიგად, კროსინგოვერის პროცენტი გენთა შეჭიდულობის დონეს გამოხატავს. რამდენადაც მცირეა კროსინგოვერის პროცენტი, მით უფრო ძლიერადაა შეჭიდული გენები. გენთა შორის შეჭიდულობის ძალა მათ შორის მანძილის უკუპროპორციულია. გენთაშორის მანძილის ერთეულად მორგანის პატივსაცემად **სანტიმორგანიდია** (cM) მიღებული. კროსინგოვერის 1% უდრის 1cM-ს.



სურ.3.18.ქრომოსომაში გენთა განლაგების სქემა

მორგანმა და მისმა თანამშრომლებმა გადაჭრეს ქრომოსომაში გენების სივრცობრივად განლაგების საკითხიც. კერძოდ, ა.სტერტევანტმა დაადგინა მემკვიდრეობის ადიტიურობის – ქრომოსომაში გენთა ხაზობრივად განლაგების – კანონი. დავუშვათ, რომ A,B და C გენები მიეკუთვნება შეჭიდულ გენთა ერთ ჯგუფს. გამოირკვა, რომ მანძილი A და C გენებს შორის უახლოვდება AB+BC ან AB-BC, მაშასადამე ხდება გენთა შორის მანძილის შეკრება ან გამოკლება, რაც ქრომოსომაში გენთა სწორხაზოვნად განლაგების შედეგია. დავუშვათ, რომ მანძილი A და B გენებს შორის 10 cM-ია, ხოლო B და C გენებს შორის – 5 cM. მაშინ B და C გენებს შორის მანძილი 15 ან 5 cM იქნება. პირველ შემთხვევაში გენები განლაგებული იქნება A, B, C, მეორე შემთხვევაში კი A, C, B თანმიმდევრობით (იხ.სურ.3.18). იმაზე დაყრდნობით, რომ კროსინგოვერის სიხშირის მიხედვით შესაძლებელია ვიმსჯელოთ გენთა შორის მანძილზე, ადიტიურობის კანონის საფუძველზე დადგენილია გენთა თანმიმდევრობა ქრომოსომაში. ქრომოსომაში შეჭიდულ გენთა შეფარდებითი განლაგების სქემას ქრომოსომების **გენეტიკურ რუკას** უწოდებენ. იგი ასახავს ქრომოსომაში გენთა ხაზობრივი განლაგების კანონზომიერებას. გენის ლოკალიზაციის ადგილს რუკაზე **ლოკუსი** ეწოდება. ლოკუსი შემოკლებული სახელწოდებით აღინიშნება რუკაზე (რუკები შედგენილია გენეტიკურად კარგად შესწავლილ ობიექტებში, როგორიცაა: დროზოფილა, სიმინდი, პომიდორი, ბარდა, თაგვი, ნეიროსპორა, საფუარი, ნაწლავის ჩხირი და სხვ.) ადამიანში გამოვლენილია ყველა შეჭიდულ გენთა ჯგუფი-22 აუტოსომური და 2 სქესთან შეჭიდული (X და Y ქრომოსომაში არსებული), რის საფუძველზეც დაწყებულია გენეტიკური რუკების შედგენა.

მემკვიდრულობის ქრომოსომული თეორიის ძირითადი დებულებები. გენეტიკის განვითარებაში განუზომლად დიდია მორგანისა და მისი თანამშრომლების დამსახურება. მათ მიერ დადგენილ იქნა სქესთან შეჭიდული ნიშნების მემკვიდრეობისა და გენთა შეჭიდულად მემკვიდრეობის კანონები. მორგანის მიერ დადგენილი კანონზომიერებები დამტკიცებული და გაღრმავებული იქნა მრავალ ობიექტზე ჩატარებული გამოკვლევებით, რომელიც განზოგადებულ იქნა და მემკვიდრულობის

ქრომოსომული თეორია ეწოდა. მისი პრინციპებია:

1.გენი მოთავსებულია ქრომოსომის გარკვეულ უბანში-ლოკუსში. გენები ქრომოსომაში ხაზობრივადაა განლაგებული.

2.ერთ ქრომოსომაში ლოკალიზებული გენები ქმნიან შეჭიდულ გენთა ჯგუფს, რომლებიც შთამომავლობას ერთობლივად გადაეცემა. ნიშნები, რომლებსაც შეჭიდული გენები განსაზღვრავენ, ასევე ერთობლივად (შეჭიდულად) მემკვიდრეობენ.

3.შეჭიდულ გენთა ჯგუფების რაოდენობა ქრომოსომათა ჰაპლოიდური რიცხვის ტოლია.

4.ჰომოლოგიურ ქრომოსომათა შორის შესაძლოა უბნების გაცვლა-კროსინგოვერი, რის შედეგადაც შეჭიდულ გენებს შორის რეკომბინაცია ხდება.

5.ქრომოსომაში გენთა შორის მანძილი მათ შორის კროსინგოვერის პროცენტის პროპორციულია.

3.7.ციტოპლაზმური მემკვიდრეობა

მემკვიდრეობაში წამყვან როლს ბირთვი, კერძოდ, მასში მოთავსებული ქრომოსომები ასრულებენ, რასაც ეფუძნება მემკვიდრეობის ქრომოსომული თეორია. გენეტიკის განვითარების ადრეულ პერიოდში დაგროვდა ფაქტები, რომლებიც მიუთითებდნენ, რომ მემკვიდრეობაში მონაწილეობენ, ასევე, ციტოპლაზმის ზოგიერთი სტრუქტურებიც. მემკვიდრეობის ამ ფორმას **ციტოპლაზმური მემკვიდრეობა** ეწოდება.

დადგენილია, რომ დნმ-ს შეიცავენ პლასტიდები, მიტოქონდრიები, უჯრედის ცენტრი და ციტოპლაზმის სხვა სტრუქტურები. მათ აუტორეპროდუქციის უნარი აქვთ. ისინი მნიშვნელოვან როლს ასრულებენ უჯრედის მეტაბოლიზმში, აქვთ მემკვიდრული ინფორმაციის შთამომავლობით გადაცემის უნარი. ციტოპლაზმის ეს სტრუქტურები აპირობებენ ციტოპლაზმურ მემკვიდრეობას. მემკვიდრეობის ამ ფორმის გამოვლენას აკონტროლებს ბირთვში არსებული გენეტიკური აპარატი. ციტოპლაზმაში არსებულ გენთა ერთობლიობას **პლაზმონი** უწოდეს, ხოლო გენებს-**პლაზმოგენებს(ციტოგენებს).**

ციტოპლაზმური, კერძოდ, პლასტიდური მემკვიდრეობა პირველად აღმოაჩინეს და შეისწავლეს ყვავილოვან მცენარეებში. კერძოდ, კ.კორენსმა (1908) გულისაბაში, ხოლო ე.ბაიერმა (1909) დევნისპირაში. მათ ერთმანეთისაგან დამოუკიდებლად გაანალიზეს ჭრელფოთლიანობის მემკვიდრეულობა და დაადგინეს, რომ ნიშანი დედის მეშვეობით გადაეცემოდა შთამომავლობას. ჭრელფოთლიანი მცენარის ყვავილების მწვანეფოთლიანი მცენარის მტვრით განაყოფიერებისას მიიღებოდა ჭრელფოთლიანი ჰიბრიდები, რეციპროკული შეჯვარებისას კი—არა. ფოთლის უჯრედებში საშუალოდ 20-100 ქლოროპლასტია. თითოეულ ქლოროპლასტში 40 კმ ზომის დნმ-ის რგოლური მოლეკულაა მოთავსებული. რგოლურ დნმ-ში ლოკალიზებული ციტოგენებიდან ზოგიერთი აკონტროლებს ქლოროფილის სინთეზს. ასეთი ციტოგენის მუტაციის შედეგად მათში ქლოროფილის სინთეზი არ ხდება. ჭრელფოთლიანი მცენარის უჯრედებში არის როგორც ნორმალური (ქლოროფილიანი), ისე ანომალური (უქლოროფილო) ქლოროპლასტები. ჭრელფოთლიანი მცენარის კვერცხუჯრედი დიდი რაოდენობით შეიცავს ციტოპლაზმას, რომელშიც შეიძლება იყოს მხოლოდ ნორმალური ან ანომალური, ან ორივე სახის ქლოროპლასტები. სპერმიები ციტოპლაზმას თითქმის არ

შეიცავენ, ბუნებრივია, არ შეიცავენ ქლოროპლასტებსაც. ამდენად, ჭრელფოთლიანი მამრობითი გამეტების გავლენა ჭრელფოთლიანობაზე უმნიშვნელოა.

მიტოქონდრიული მემკვიდრეობა კარგადაა შესწავლილი სოკოებში (საფუარი, ნეიროსპორა და სხვ.). მიტოქონდრიებს აქვთ 20-30 მკმ ზომის რგოლური დნმ-ს მოლეკულები. მათში ლოკალიზებული ციტოგენები აკონტროლებენ სუნთქვით პროცესს და ანტიბიოტიკებისადმი მდგრადობას. დადგენილია, რომ მიტოქონდრიებისა და პლასტიდების ციტოგენების მოქმედება ბირთვულ კონტროლს ექვემდებარება. გამოთქმულია მოსაზრება, რომ ადამიანში ლიბერის სინდრომი (მხედველობის ნერვის ატროფია) და მიტოქონდრიული ციტოპათია (ახასიათებს პროგრესირებადი კუნთური სისუსტე, ფთოზი, ოფტალმოპლეგია, ცენტრალური და პერიფერიული სისტემის ანომალია, თირკმლების დისფუნქცია) მიტოქონდრიაში ლოკალიზებული ციტოგენების მუტაციის შედეგად ვითარდება.

ცხოველთა მცენარეებში გვხვდება მამრობითი სტერილობა. იგი აღწერილია მრავალ კულტურულ (სიმინდი, მზესუმზირა, სელი, ხახვი და სხვ.) მცენარეში. სტერილობა გამოწვეულია მტვრის მარცვლის უქონლობით ან მათი განაყოფიერების უუნარობით. გამოვლენილია მამრობითი სტერილობის ისეთი ფორმა, რომელიც ციტოპლაზმითაა დეტერმინირებული და დედის მეშვეობით გადაეცემა შთამომავლობას. სიმინდში მას ციტოპლაზმაში მყოფი, პლაზმიდას ტიპის დნმ-ის მოლეკულები იწვევენ.

ბაქტერიების ციტოპლაზმაში აღმოჩენილია რეპლიკაციის უნარის მქონე სტაბილური, აუტონომიური დნმ-ს მოლეკულები-პლაზმიდები. დასინი მეტწილად ორსპირალიანი დნმ-ს კოვალენტურად შეკრული, რთული კონფიგურაციის მოლეკულებია. გვხვდება მარტივი რგოლური და ხაზოვანი სტრუქტურის პლაზმიდებიც. პირველად ბაქტერიებში აღმოაჩინეს და შეისწავლეს F (ინგლ. fertiliti) სასქესო ფაქტორის მქონე პლაზმიდა. იგი შეიცავს კონიუგაციის მაკონტროლებელ გენებს. კონიუგაცია F+ (დონორი, პლაზმიდის მქონე) და F- (რეციპიენტი, პლაზმიდა არ გააჩნია) უჯრედებს შორის მიმდინარეობს. დონორი უჯრედი წარმოქმნის ციტოპლაზმურ ხიდაკს (მილს) რეციპიენტ უჯრედთან, რომლის გზითაც გენეტიკური მასალა ცალმხრივად მასში გადადის. ბაქტერიებში აღმოჩენილი და შესწავლილია, აგრეთვე, სხვა კონიუგატური (ტრანსმისიული) პლაზმიდებიც. მათ მიეკუთვნება R პლაზმიდები, რომელშიც კონიუგაციის განმაპირობებელი გენის გარდა სხვადასხვა ანტიბიოტიკებისადმი, სულფანილამიდური პრეპარატებისადმი და ზოგიერთი მძიმე მეტალისადმი რეზისტენტულობის განმსაზღვრელი გენებია ლოკალიზებული. R პლაზმიდა კონიუგაციის გზით შეიძლება სხვა სახეობის ბაქტერიებსაც გადაეცეს. კერძოდ, ნაწლავში ბინადარმა ნაწლავის ჩხირმა იგი შეიძლება გადასცეს ზოგიერთ პათოგენურ (დიზენტერიის, მუცლის ტიფის და სხვ.) ბაქტერიას. პათოგენური ბაქტერიები მათ მიმართ დამღუპველად მოქმედი პრეპარატებისადმი მდგრადები ხდებიან. შესწავლილია ბაქტერიული ენდო- და ეგზოტოქსინების მადეტერმინირებელი Ent პლაზმიდები; აგრეთვე, Hly პლაზმიდები, რომლებიც ერითროციტების ჰემოლიზის (ჰემოლიზინების) გამომწვევი ფაქტორების სინთეზს ახდენენ. მრავალი პლაზმიდა აკონტროლებს ბაქტერიოცინების (ნივთიერებას, რომელიც კლავს იმავე სახეობის მგრძნობიარე უჯრედებს, რომელსაც პროდუცენტი ბაქტერია მიეკუთვნება) სინთეზს.

პლაზმიდებთან მსგავსებას ავლენენ ზოგიერთი ფაგები. ზოგჯერ ფაგის გენომის მეშვეობით ბაქტერიული უჯრედი სრულიად ახალ თვისებებს იძენს. მაგ. დიფტერიის ჩხირში მხოლოდ ლიზოგენური ფორმები (ე.ი. პროფაგის შემცველი) გამოიმუშავებენ ტოქსინს. ამ უკანასკნელის კოდირება ფაგის გენომით ხორციელდება.

ციტოპლაზმური მემკვიდრეობის ზოგიერთი ფორმა ციტოპლაზმაში ენდოსიმბიონტების (ბაქტერიები და ვირუსები) თანაარსებობითა არის გამოწვეული. დროზოფილაში გვაქვს უმამრო ხაზები. ნებისმიერ ხაზთან მათი შეჯვარებით მხოლოდ მდედრი ბუზები ჩნდებიან. გამოირკვა, რომ უმამრო ხაზები სპიროქეტებითა არიან დაავადებულნი. განაყოფიერებულ კვერცხებში მოხვედრისას, ისინი მხოლოდ მამრ ემბრიონებს ხოცავენ.

ცვალებადობის კანონზომიერებები

ცვალებადობა ცოცხალი სისტემის ზოგადი თვისებაა. იგი თან ახლავს გამრავლებას, რის შემდეგაც ორგანიზმები განსხვავებული ფორმებით — ვარიანტებით არსებობენ. ამრიგად, ცვალებადობა გამოხატავს ორგანულ ფორმათა უწყვეტობას, რომლის დროსაც შთამომავლობაში განსხვავებული ფორმები ჩნდება. ერთი მემკვიდრულობის საპირისპირო მოვლენაა და ორგანიზმთა ნაირგვარობაში ვლინდება. ინდივიდთა ცვალებადობის შეფასება, მათი ფენოტიპის შეცვლის მიხედვით ხდება. ცვალებადობას ნაირგვარი მიზეზი უდევს საფუძვლად. ფენოტიპის ცვლილებას იწვევს განსხვავებული გენოტიპების წარმოქმნა. ასევე ერთნაირი გენოტიპის მქონე ინდივიდების განსხვავებულ გარემოში განვითარება. გამოყოფენ ცვალებადობის ორ ძირითად ფორმას: არაშემკვიდრულს (ფენოტიპურს) და შემკვიდრულს (გენოტიპურს). გენეტიკური მასალის ცვლილებით გამოწვეულ ცვალებადობას შემკვიდრულს უწოდებენ, ხოლო გენოტიპის შეუცვლელად გარემო პირობებზე ორგანიზმის რეაგირებით გამოწვეულ ფენოტიპურ ცვლილებებს არაშემკვიდრულს.

ვ.ი.არაშემკვიდრული ცვალებადობა

ამ დროს ინდივიდის გენოტიპი უცვლელია, იცვლება მხოლოდ ფენოტიპი. ასეთი სახის ცვლილება შთამომავლობას არ გადაეცემა. ორგანიზმის ინდივიდური განვითარების პროცესში ვხვდებით მორფოლოგიურ, ფიზიოლოგიურ, ბიოქიმიურ და ორგანიზმის სხვა თავისებურებათა კანონზომიერ ცვლილებებს. ამგვარი ცვლილებების დრო და თანმიმდევრობა ონტოგენეზში გენოტიპით მკაცრადაა განსაზღვრული. ცვალებადობის ამ ფორმას ასაკობრივს ანუ ონტოგენეზურს უწოდებენ. ცვალებადობის ეს ფორმა თვალნათლივ ვლინდება არაპირდაპირი განვითარების ცხოველთა (ზოგიერთი მწერი, თასმაჭიები, უკუდო ამფიბიები და სხვ.) სასიცოცხლო ციკლში. მცენარეებიდან შეიძლება დავასახელოთ პრიმულა და მისგან ღეროფოთლიანი ხავსის წარმოქმნა. ადამიანში პერმანენტულად მიმდინარეობს ფიზიკური და გონებრივი განვითარება. ასაკობრივი ცვლილებების მიუხედავად ინდივიდს ყოველთვის ერთნაირი გენოტიპი გააჩნია. ამდენად, ონტოგენეზური ცვალებადობა არის ინდივიდური განვითარების პროცესში რეაქციის ნორმის რეალიზება. ამ კრიტერიუმით იგი არაშემკვიდრული ცვალებადობაა. მაგრამ არსებობს მონაცემები, რომლებიც მიუთითებენ, რომ ონტოგენეზში ზოგჯერ ხდება გენეტიკური მასალის ცვლილება,

პრიმიტიული — თანდათანობით

რაც მას ახლოებს მემკვიდრულ ცვალებადობასთან. ზოგჯერ, ცვალებადობის ამ ფორმას ცალკე გამოყოფენ, ვინაიდან იგი ცვალებადობის ზემოთ დასახელებულ ორივე ძირითად ფორმას მოიცავს.

სავსებით ერთნაირი გენოტიპის მქონე ინდივიდები განსხვავებულ გარემო პირობებში განვითარებისას, ზოგიერთ შემთხვევაში ფენოტიპით განსხვავდებიან. ერთნაირი გენოტიპის ინდივიდებზე განსხვავებული გარემოს მოქმედებით გამოწვეულ ნაირგვარობას **მოდიფიკაციურს** უწოდებენ. იგი შემდეგი ნიშნებით ხასიათდება: 1.გარემო ფაქტორის მოქმედებით ადექვატური ცვლილების წარმოქმნა; 2.ცვლილება მასიურია, ახალ გარემოში პოპულაციის დიდ ნაწილს აქვს შეცვლილი ფენოტიპი; 3.ცვლილება შექცევადია, საწყის პირობებში დაბრუნებისას ინდივიდებს უბრუნდებათ თავდაპირველი ფენოტიპი; 4.მრავალი მოდიფიკაცია ხანმოკლეა.

ყველა ნიშანი და თვისება მემკვიდრულად დეტერმინებულია (მემკვიდრეობით გადაეცემა არა ნიშნები და თვისებები, არამედ გენები (მემკვიდრული ინფორმაცია), რომლებიც განსაზღვრავენ გარკვეული ნიშან-თვისების შესაძლო განვითარებას. ნიშანი, რომ ჩამოყალიბდეს, ანუ გენოტიპის ფენოტიპური რეალიზაცია მოხდეს, აუცილებელია შესაბამისი გარემო პირობები. ტვინის მშვილი შეფერილობა გენოტიპში არა მარტო ქლოროფილის მასინთეზებელი გენების თანაპოვნიერებაზეა დამოკიდებული, არამედ აუცილებელია სინათლეც. ადამიანის ნორმალური განვითარება დამოკიდებულია როგორც გენოტიპზე, რომელიც ნივთიერებათა ცვლის ნორმალურ მიმდინარეობას განსაზღვრავს, ასევე გარემო პირობათა განსაზღვრულ კომპლექსზეც. მაგ. ბავშვის საკვებ რაციონში იოდის არარსებობამ შეიძლება გამოიწვიოს ფიზიკური და ფსიქიური განვითარების შეფერხება (კრეტინიზმი). ვიტამინოზი ან ჰიპოვიტამინოზი ორსულ ქალებში იწვევს ნაყოფის "მგლის ხახის" განვითარებას და სხვა. როდესაც ნიშნის ჩამოყალიბება ნორმალურად მიმდინარეობს, მისი გამოვლენის ხარისხი გარემო პირობებზე დამოკიდებულების მიხედვით შეიძლება განსხვავებული იყოს. იგი გამოწვეულია იმით, რომ ყოველ გენოტიპს აქვს ცალკეული ნიშნის რეაქციის ნორმის განსაზღვრის უნარი.

ორგანიზმის გენოტიპით განსაზღვრულ უნარს (გარემო პირობების გავლენით ნიშნის გამოვლენის ხარისხი გარკვეულ ფარგლებში რომ შეიცვალოს) **რეაქციის ნორმა** ეწოდება. ამრიგად, რეაქციის ნორმად მიჩნეულია ის ფარგლები, რომელშიაც შესაძლებელია მოხდეს ფენოტიპის ცვლილება გენოტიპის ცვლილების გარეშე. მოდიფიკაციური ცვლილების ხასიათი გამომწვევ ფაქტორზეა დამოკიდებული, იგი ორგანიზმის ცალსახა რეაქციაა გარემოს მოქმედებაზე. მსგავსი გენოტიპის ორგანიზმებზე ერთი და იმავე ფაქტორის ზემოქმედებით მუდამ განსაზღვრული ცვლილების ინდუქცია ხდება. სწორედ ესაა მოდიფიკაციასა და მუტაციას შორის მთავარი განმასხვავებელი ნიშანი. მუტაციურ პროცესს მიმართულება არ გააჩნია (ყოველი მუტაგენი ნაირგვარ ცვლილებებს იწვევს, სხვადასხვა მუტაგენს მსგავსი მუტაციის ინდუქცია შეუძლია).

მოდიფიკაციის გამოვლენის ხარისხი, წესისამებრ, გარემო ფაქტორის სიძლიერესა და ხანგრძლივობაზეა დამოკიდებული. მაგ. ადამიანში ჭორფლიანობას იწვევს დომინანტი გენი, მისი გამოვლენის ხარისხი მზიან გარემოში ადამიანის ყოფნის ხანგრძლივობაზეა დამოკიდებული. კანის შეფერილობას პოლიმერული გენები გან-

საზღვრავენ, ერთსა და იმავე ადამიანს მზის სხივების ზემოქმედების ხანგრძლივობის მიხედვით ნამზეურობის ზარის ხი განსხვავებული აქვს. ფიზიკური ვარჯიში დიდ გავლენას ახდენს ძვლოვანი და კუნთოვანი სისტემის განვითარებაზე.

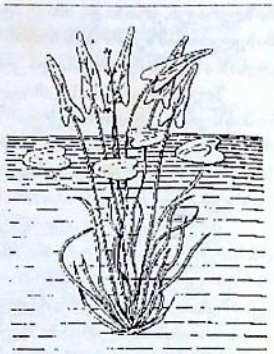
ზოგიერთი ნიშნის გამოვლენის ვარიაციის ფარგალი საკმაოდ ვიწროა, ზოგჯერ ნიშანს ერთჯერადი რეაქციის ნორმა გააჩნია. უკანასკნელ შემთხვევაში გენოტიპს მხოლოდ ერთი ფენოტიპი შეესაბამება. ასეთია ადამიანსა და ზოგიერთ ცხოველში სისხლის ჯგუფობრიობა. მაგ. თუ ადამიანს I^AI^A გენოტიპი აქვს, მაშინ მას A ჯგუფის სისხლი აქვს, I^BI^B გენოტიპისას კი B-ჯგუფისა.

მოდიფიკაციის გამომწვევი ფაქტორები (განათება, ტემპერატურა, ტენიანობა და სხვ.) მოქმედებენ ორგანიზმის შიგა გარემოზე (ფერმენტების, ჰორმონების დონეზე) და ცვლიან ნიშნის ჩამოყალიბების მიმდინარეობას. ამრიგად, მოდიფიკაცია გენის ექსპრესიის ცვლილების შედეგია. ნიშნის ვარიაცია გენოტიპით განსაზღვრულ რეაქციის ნორმის საზღვრებში ხდება. მაგ. ჩინურ ფურისულაში (Primula sinensis) დომინანტური P ალელის მქონე ჰომო- ან ჰეტეროზიგოტური მცენარეები დაბალ ტემპერატურაზე (14-20°C) წითელ, მაღალ ტემპერატურაზე კი (30-35°C) თეთრ ყვავილს იკეთებენ. აღსანიშნავია, რომ რეცესიული ალელის მქონე ჰომოზიგოტურ მცენარეებს ნებისმიერ ტემპერატურაზე მხოლოდ თეთრი ყვავილები გამოაქვთ. ასევე, ტემპერატურაზეა დამოკიდებული ჰიმალაიური (არაყუმული) ბოცვერისა და სიამის კატის ბეწვის შეფერილობა. მათში მემკვიდრეობს სხვადასხვა ტემპერატურაზე ნაირგვარი შეფერილობის წარმოქმნის უნარი. კლასიკური მაგალითია, აგრეთვე, ზოგიერთ ორგანიზმში სქესის მოდიფიკაციური განსაზღვრა. მაგ. ბონელიაში, რომელიც უკვე განვიხილეთ. მსგავს მოვლენას ვხვდებით მცენარე ჩრისეიაში (Arisaema japonica). მცენარის სქესი დამოკიდებულია მშობლის მიერ წარმოქმნილი ტუბერის ზომაზე. დიდი ზომის, საკვებით მდიდარი ტუბერიდან მდედრობითი, ხოლო პატარა, საკვებით ღარიბი (ფშუტე) ტუბერიდან მამრობითი სქესის მცენარეები ვითარდებიან.

მოდიფიკაციური ცვალებადობა შეიძლება იყოს ადაპტური ტიპის. მას დიდი შეგუებითი უნარი აქვს. ორგანიზმი მისი მეშვეობით აღვილად ეგუება შეცვლილ პირობებს და დიდი რაოდენობით ტოვებს შთამომავლობას. მაგ. წყლის მცენარე ისარას (Sagittaria sagittariafolia) ფოთლის ფორმა მკვეთრად ვარირებს განვითარების პირობების მიხედვით: წყალში განვითარებული ფოთლის ფირფიტა ლენტისებურია, წყლის ზედაპირზე-ოვალური, წყლის გარეშე კი ისრის ბუნიკის ფორმისა. აშგვარი ვარიაცია სინათლის მოქმედების შედეგია (იხ.სურ.3.19). ზოგიერთ მწერს, თევზს, ამფიბიას, ქვეწარმავალსა და რიგ სხვა ცხოველს გარემო ფონის შესაბამისად ეცვლებათ სხეულის შეფერილობა. მოდიფიკაციის შედეგია ზოგიერთ ცხოველში შეფერილობის სეზონური ცვლა. მაგ. თეთრი ვნოლი, თეთრი კურდღელი, ყარსაღი ზამთარში თეთრია, ზაფხულში კი არა.

მოდიფიკაცია უმეტეს შემთხვევაში შექცევადია, როდესაც გამომწვევი ფაქტორი აღარ მოქმედებს, ცვლილება თანდათანობით ქრება. ავიტამინოზით გამოწვეული დაავადებები (მაგ. სურავანდი, ბერი-ბერი და სხვა) ვიტამინებით მდიდარი საკვების მიღების შემდეგ იკურნება. ნამზეურობა ქრება, როდესაც კანზე მზის სხივები აღარ მოქმედებს. მაღალ მთაში ყოფნისას მომატებულია ერითროციტები, ბარში ჩამოსვლის შემდეგ კი საწყის ნორმას სწრაფად უბრუნდება.

ზოგჯერ ორგანიზმი ცვლილებას მთელი სიცოცხლის მანძილზე ინარჩუნებს. მაგალითად, მატლიდან სხვადასხვაგვარი გამოკვებით დედა ან მუშა ფუტკარი ყალიბდება და მთელი სიცოცხლის მანძილზე ასეთებად რჩებიან. ლუ ბავშვში D ვიტამინის ნაკლებობით შეხდა ქვედა კიდურების დეფორმაცია, ადამიანი მთელი სიცოცხლე ძრუდეფეხებიანი რჩება.



სურ.3.19.მცენარე **ისარა.** გააჩნია ფენოტიპურად განსხვავებული სამი სახის ფოთლები: წყალქვეშა, ზედაპირული და წყლისზედა

მრავალი ფაქტორის (განსაკუთრებით ისეთის, რომელსაც სახეობა ევოლუციის პროცესში არ ექვემდებარებოდა, ვთქვათ, რადიაცია, რიგი ქიმიური ნივთიერებები და სხვ.) ძლიერი, ხანგრძლივი ზემოქმედება შეშთხვევით არამემკვიდრული ცვლილებების ინდუქციას იწვევს. მათ მორფოზებს უწოდებენ. ხშირად მორფოზი ინდივიდის განვითარების, კერძოდ, მორფოლოგიურ და ფიზიოლოგიურ დეფექტებისა და სიმახინჯეების ფორმით ვლინდება. მათ შეგუებითი უნარი არ გააჩნიათ. იგი შეუქცევადი და არამემკვიდრულია. მორფოზის დროს შეიმჩნევა ფენოკოპირება. ნიშანი ფენოტიპურად ემსგავსება მუტანტური ალელით გამოწვეულ ცვლილებას. ასე, მაგ. ფეხმძიმობაში წითელაგადატანილ ინდივიდებს უჩნდებათ კატარაქტით დაავადებული ბავშვები, რომლებიც არაფრით განსხვავდებიან მემკვიდრული კატარაქტით დაავადებულთაგან. ასევე, ჰიპოსპადიას (ურეთრის ხვრელი გადაადგილებულია ასოს თავიდან ფუძისაკენ) იწვევს როგორც გენეტიკური მასალის ცვლილება, ისე ემბრიონული განვითარების დარღვევა-განვითარების შანკი.

მოდიფიკაციური ცვალებადობის შესწავლას დიდი პრაქტიკული მნიშვნელობა აქვს. რეაქციის ნორმისა და მისი ფარგლების ცოდნა აუცილებელია ადამიანისათვის სასურველი მცენარეთა, ცხოველთა და მიკროორგანიზმთა ახალი ფორმების კონსტრუირებისას. მისი ცოდნა განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია სოფლის მეურნეობის პრაქტიკისათვის. კულტურულ მცენარეებსა და შინაურ ცხოველებში პროდუქტიულობის გაზრდა შესაძლებელია როგორც ახალი მაღალპროდუქტიული ჯიშების გამოყვანის მეშვეობით, ისე მათ შესაძლებლობათა მაქსიმალური გამოვლენის გზით. კერძოდ, ისეთი პირობების შექმნით, რომლის დროსაც ჯიშებს სასურველი ფენოტიპური ნიშნები უყალიბდებათ და მაღალპროდუქტიულნიც არიან.

მოდიფიკაციური ცვალებადობის კანონზომიერებათა ცოდნა აუცილებელია მედიცინაში. ამჟამად დიდი ყურადღება ეთმობა არა ადამიანის მემკვიდრული პოტენციალის შეცვლას, არამედ რეაქციის ნორმის ფარგლებში ორგანიზმის განვითარებასა და შენარჩუნებას. ჯანმრთელი ადამიანის აღზრდისათვის საჭიროა კვების, გამოწრთობის, ფიზიკური ვარჯიშის სწორი რეჟიმი და ჰიგიენური მოთხოვნილებების ცოდნა, რათა განვითარების პროცესში გამოვლინდეს სხეულის ჰარმონიული აგებულების განმსაზღვრელი, ჯანმრთელი ადამიანისათვის დამახასიათებელი ნიშნები.

3.9.მემკვიდრული ცვალებადობა

მემკვიდრული ცვალებადობის შემთხვევაში ნიშან-თვისების შეცვლას გენოტიპში მომხდარი ცვლილება განაპირობებს, რომელიც შთამომავლობას გადაეცემა. გენოტიპის ცვლილების გამო ხდება ფენოტიპის შეცვლა. გამოყოფენ მემკვიდრული ცვალებადობის ორ ფორმას: კომბინაციურსა და მუტაციურს. მშობლებში არსებული განსხვავებული ალელების მქონე ქრომოსომების ხელახალი გადანაწილება ნაირგვარი გენოტიპების ჩამოყალიბებას იწვევს, რაც ორგანიზმთა (შთამომავალთა) ნაირგვარობის-კომბინაციური ცვალებადობის წყაროა. მუტაციური ცვალებადობა კი გენეტიკური მასალის დისკრეტული ერთეულების ახალი ვარიანტების-ალელების წარმოქმნის შედეგია.

კომბინაციური ცვალებადობა

რეკომბინაციის მეშვეობით ხორციელდება მშობლებში არსებული გენეტიკური მასალის შთამომავლებში გადანაწილება, რაც კომბინაციური ცვალებადობის საფუძველია. რეკომბინაცია არის უნივერსალური ბიოლოგიური მექანიზმი, რომელიც მთელ ცოცხალ სისტემაში-პროკარიოტებსა და ეუკარიოტებსა და მათ ვირუსებში მოქმედებს: ეუკარიოტულ ორგანიზმებში იგი სქესობრივი პროცესით ხორციელდება, პროკარიოტებში-კონიუგაცია, ტრანსფორმაცია და ტრანსდუქცია, ვირუსებში კი ერთობლივი ინფიცირება იწვევს. გენების ახალი თანწყობა და მათი ახალი კომბინაციები ცვლიან გენოტიპს. გენოტიპში გაერთიანებულ გენებს შორის რთული და ნარგვარი ურთიერთდამოკიდებულება ყალიბდება. ეუკარიოტებში კომბინაციური ცვალებადობა სამი მნიშვნელოვანი პროცესის შედეგად ხდება: 1.მეიოზის დროს ქრომოსომათა შემთხვევითი და დამოუკიდებელი გადანაწილებით, რის გამოც ქრომოსომათა კომბინაციების მიხედვით განსხვავებული გამეტები ყალიბდება; 2.ჰომოლოგიურ ქრომოსომებს შორის მონაკვეთების რეციპროკული გაცვლით-კროსინგოვერით, რითაც შეჯიდულ გენთა ჯგუფებში გაერთიანებული ალელების გადანაწილება და ჯგუფების ახალი ვარიანტების ჩამოყალიბება ხდება; 3.განაყოფიერების დროს მამრობითი და მდედრობითი გამეტების შემთხვევითი შერწყმით.

გენთა კომბინატორიკა გარკვეული კანონზომიერებებით მიმდინარეობს, რომლებიც გამოავლინეს და შეისწავლეს გ.მენდელმა, ასევე თ.მორგანმა და მისმა თანამშრომლებმა. სხვადასხვა არაალელურ გენთა გენოტიპში გაერთიანება ზოგ შემთხვევაში მათ ურთიერთქმედებას იწვევს. ყველა ეს მოვლენა ჩვენ მიერ წინა პარაგრაფებშია განხილული.

მუტაციური ცვალებადობა

ცოცხალი სისტემის მემკვიდრული ინფორმაციის შემცველი სტრუქტურის-გენოტიპის ცვლილებას, რომლის დროსაც ხდება გენის, ქრომოსომის სტრუქტურის ან მათი რიცხვის ცვლილება, მუტაციური ცვალებადობა ეწოდება.

ჰუგო დე ფრიზი მუტაციური თეორიის ფუძემდებელია (1901-1903). მისი კვლევის ობიექტი იყო მცენარე ენოთერა. მანვე შექმნა ტერმინი "მუტაცია". დე ფრიზმა მემკვიდრული ნიშნის ნახტომისებურ, წყვეტილ, მდგრად ცვლილებას მუტაცია უწოდა. დე ფრიზის მუტაციური თეორიის ძირითადი დებულებები დღესაც არ

კარგავენ მნიშვნელობას.

მუტაცია ცოცხალი სისტემის უნივერსალური თვისებაა. იგი მიმდინარეობს ვირუსებიდან მოყოლებული უმაღლეს მცენარეებსა და ცხოველებში, თვით ადამიანის ჩათვლით. ამდენად, მუტაციური ცვალებადობა, როგორც თვისობრივი ნახტომისებური ცვლილების პროცესი, საყოველთაოა ყველა ორგანიზმისათვის. მუტაციას მოქმედების ფართო სპექტრი მოეპოვება. იგი ეხება ორგანიზმის ყველა ნიშანს. მასთან დაკავშირებულია მემკვიდრეობის დისკრეტული ერთეულების ახალი ვარიანტების ალელების წარმოქმნა, შესაბამისად ახალი ნიშან-თვისებების ჩამოყალიბება.

ვინაიდან საყოველთაოდ მიღებული კლასიფიკაცია სადღეისოდ არ არის შემუშავებული, მუტაციის ტიპების დაჯგუფება რამდენიმე პრინციპით ხორციელდება:

I.**გენომის ცვლილების ხასიათის მიხედვით:** 1.გენომური მუტაციები-ქრომოსომების რიცხვის ცვლილება; 2.ქრომოსომული მუტაციები-ქრომოსომის სტრუქტურის ცვლილება; 3.გენური მუტაციები.

II.**პეტეროზიგოტაში გამოვლინების მიხედვით:** 1.დომინანტური; 2.ნახევრადდომინანტური; 3.რეცესიული.

III.**მუტაციის გამომწვევი მიზეზების მიხედვით:** 1.სპონტანური-წარმოშობა ბუნებრივად, აშკარა მიზეზის გარეშე; 2.ინდუცირებული-ხელოვნურად, ექსპერიმენტატორის მიერ ინდუქციის უნარის მქონე ფაქტორის ზემოქმედებით.

IV.**უჯრედში ლოკალიზაციის მიხედვით:** 1.ბირთვული; 2.ციტოპლაზმური-ორგანოიდების შეცვლა არაბირთვული გენების მუტაცია.

V.**შესაძლო მემკვიდრეობის მიხედვით:** 1.გენერაციული-სასქესოუჯრედებსა და სპორებში მომხდარი, რომელიც მემკვიდრეობს; 2.სომატური-სხეულის სომატურ უჯრედებში წარმოქმნილი, იგი არამემკვიდრეულია. იწვევს სხეულის მოხაკურობას (მუტაცია სხეულის უჯრედების მხოლოდ ნაწილს აქვს). მისი შენარჩუნება ვეგეტატიური გამრავლებით ან უჯრედული ინჟინერიის გზით შესაძლებელი.

გენური მუტაციები

ამ ტიპის მუტაციის დროს ხდება ცალკეული გენის სტრუქტურის ცვლილება. იგი სხვა ტიპის მუტაციათა შორის ყველაზე მაღალი სიხშირით წარმოიქმნება და იწვევს ორგანიზმის მორფოლოგიური, ფიზიოლოგიური და ბიოქიმიური ნიშნების ცვლილებას. გენურ მუტაციებს იწვევენ სამი მნიშვნელოვანი პროცესის-რეპლიკაციის, რეპარაციის და რეკომბინაციის დარღვევები. გენური მუტაციები წარმოიქმნება როგორც სპონტანურად, ისე მუტაგენების ზემოქმედების შედეგად. გენური მუტაციის დროს გენი ერთი ალელური მდგომარეობიდან ნახტომისებურად გადადის მეორე ალელურ მდგომარეობაში. რიგ შემთხვევაში გენი შეიძლება სხვადასხვა მიმართულებით შეიცვალოს და მრავლობით ალელთა სერია წარმოქმნას. დნმ-ის მოლეკულაში ერთი წყვილი ნუკლეოტიდის (ან რნმ-ში ნუკლეოტიდის) ცვლილებას წერტილოვან მუტაციას უწოდებენ. გენური მუტაციების დაჯგუფებას ახდენენ:

1.კოდის სტრუქტურის ცვლილების მიხედვით. არჩევენ რამდენიმე ფორმას:

ა.**ტრანზიცია**-მარტივი შეცვლა, როდესაც ერთი პურინის ფუძე იცვლება მეორეთი A⇔G, ან პირიმიდინი თავისსავე ანალოგით T⇔C (მიიღება ოთხი ვარიანტი).

ბ.ტრანსვერსია-რთული შეცვლა, როდესაც პურინის ფუძე იცვლება პირიმიდინით ან პირუკუ: A⇔T; A⇔C; G⇔C; G⇔T (მიიღება 8 ვარიანტი).

ბ.ჩართვა-ნუკლეოტიდის ზედმეტი წყვილის ჩართვა დნმ-ის მოლეკულაში.

დ.ამოვარდნა-ნუკლეოტიდის წყვილის ამოვარდნა დნმ-ის მოლეკულიდან.

2.კოდის ინფორმაციის ცვლილების მიხედვით არჩევენ რამდენიმე ფორმას:

ა.სემანტიკური-კოდის სტრუქტურის ცვლილება ინფორმაციის შეცვლას არ იწვევს. მაგ. რნმ-ის GCU-კოდონის GCA-თი შეცვლის შემთხვევაში სინთეზებულ პოლიპეპტიდში იმავე ამინომჟავას ჩართვა მოხდება, ვინაიდან ორივე კოდონით ხდება ალანინის კოდირება.

ბ.მისტიკური-კოდის სტრუქტურის ცვლილება იწვევს ინფორმაციის შინაარსის შეცვლას. მაკოდირებელი ტრიპლეტის შეცვლის გამო პოლიპეპტიდში ერთი ამინმჟავა სხვა სახის ამინომჟავათი იცვლება. მაგ. UGU- კოდონი თუ შეიცვალა UGG-თი, მაშინ პოლიპეპტიდში ცისტეინის ადგილს ამინომჟავა ტრიფტოფანი დაიკავებს.

გ.ნონსენსული-წარმოიქმნება უაზრო კოდონი, რომელიც არცერთ ამინმჟავას არ კოდირებს. მაგ. თიროზინის მაკოდირებელი UAC-კოდონის ნაცვლად UAA-ს წარმოქმნა. ამ სახის კოდონები აჩერებენ პოლიპეპტიდის სინთეზს.

დ.ფრეიმშიფტი-ათვლის ჩარჩოს გადაადგილება. ერთი ან რამდენიმე ნუკლეოტიდთა წყვილის ამოვარდნა ან ჩართვა იწვევს ათვლის ჩარჩოს გადაადგილებას და შესაბამისად ტრიპლეტების აზრის ცვლილებასაც.

გენურ მუტაციებს ფათერაკი ელენებენ ნიშან-თვისებათა მემკვიდრეობის კანონზომიერებათა შესწავლისას. დროზოფილაში კარგადაა შესწავლილი მუტაციები, რომლებიც იწვევენ სხვადასხვა ნიშნების ცვლილებას, კერძოდ, როგორიცაა ფრთის ფორმა (მაგ. ჩანასახოვანფრთიანი, უფრთო), თვალისფერი და ფორმა (მაგ. თეთრი, ყავისფერი, ზოლისებრი, უთვალო), სხეულის ფერი (მაგ. შავი, ყვითელი) და სხვა. ალბინიზმი ცხოველებში გენური მუტაციის შედეგია. ასევე ბარდაში თესლის ყვითელი და მწვანე შეფერილობა, გლუვი და ნაოჭიანი ფორმა, ყვავილის თეთრი და მეწამული შეფერილობა გენური მუტაციის შედეგადაა წარმოქმნილი.

სპონტანური მუტაციების წარმოქმნა დნმ-ის მატრიცული სინთეზის პროცესში მონაწილე ფერმენტების მიერ მოქმედების პროცესში დაშვებული შეცდომების შედეგია. მათი წარმოქმნა მეტად დაბალი სიხშირით მიმდინარეობს. ალელები მუტაციის სიხშირით განსხვავდებიან. 3-2 ცხრილში წარმოდგენილია ადამიანის ზოგიერთი გენის სპონტანური მუტაციის სიხშირე. იგი სხვადასხვა გენისათვის განსხვავებულია. უნდა აღინიშნოს, რომ ორგანიზმებში ერთი და იგივე გენის სპონტანური მუტაციის სიხშირე მეტნაკლებად მუდმივია და საშუალოდ ეს მაჩვენებელი 10^{-5}-10^{-7} ფარგლებში ვარირებს. ამის გამო, რომ გენთა რაოდენობა ორგანიზმში საკმაოდ დიდია, მუტაციათა საერთო რიცხვი არც თუ მცირეა. მაგალითად, უმაღლეს მცენარეებსა და ცხოველებში გამეტების დაახლოებით 10% სპონტანურად წარმოქმნილ ახალ მუტაციებს შეიცავს.

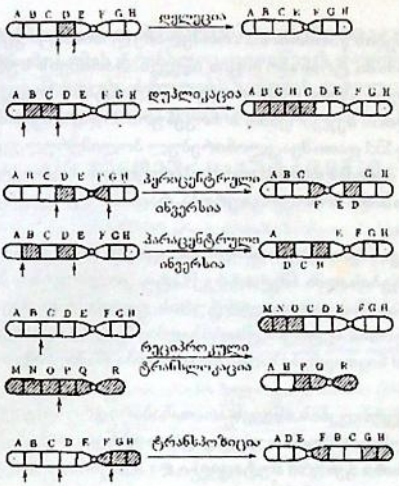
ცხრილი 3-2. სპონტანური გენური მუტაციების წარმოშობის სიხშირე ადამიანში (ნ.ბოჩკოვი, 1997)

ნიშანი (დაავადება)	მუტაციის სიხშირე 1მილ.გამეტაზე
აუტოსომურ-დომინანტური	
1.აქონდროპლაზია	5,1 – 13
2.ანირიდია	2,6 – 2,9
3.მიკროფტალამია ფსიქური დარღვევის გარეშე	5
4.მარფანის სინდრომი	4,2 – 5,8
5.ნეიროფიბრომატოზი	44 – 100
6.რეტინობლასტომა	3 – 12,3
7.ჰანდინგტონის ქორეა	1 – 10
8.კუნთოვანი დისტროფია	8 – 11
9.თირკმლის პოლიკისტოზი	65 – 120
აუტოსომურ-რეცესიული	
1.მიკროცეფალია	27
2.ამაკროტული იდიოტიზმი	11
3.ახტიოზი	11
რეცესიული, სქესთან შეჭიდული	
1.A ჰემოფილია	37 – 52
2.B ჰემოფილია	2 – 3
3.დიუშენის ტიპის კუნთოვანი დისტროფია	43 – 105
4.იხტიოზი	24

ქრომოსომული მუტაციები

ამ ტიპის მუტაციებს ქრომოსომულ აბერაციებსაც უწოდებენ. ხდება ქრომოსომების სტრუქტურის ცვლილება. ამგვარმა გარდაქმნებმა შეიძლება მოიცვას როგორც ერთი ქრომოსომის მონაკვეთები, ისე სხვადასხვა (არაჰომოლოგიური) ქრომოსომების უბნები. გამოყოფენ შიდაქრომოსომულ (დეფიშენსი, დელეცია, დუპლიკაცია, ინვერსია) და ქრომოსომათაშორის (ტრანსლოკაცია) სტრუქტურულ დარღვევებს. შუალედური ადგილი უკავია ტრანსპოზიციას, რომელიც მიმდინარეობს როგორც არაჰომოლოგიურ ქრომოსომათა შორის, ისე ერთი და იმავე ქრომოსომის ფარგალში.

ქრომოსომის ბოლო მონაკვეთების მოწყვეტას და დაკარგვას დეფიშენსი ეწოდება. ქრომოსომას აღარ გააჩნია ტელომერული უბანი და მიმდებარე მონაკვეთი. ზოგჯერ ქრომოსომის შუა (არა ცენტრომერული) მონაკვეთი იკარგება. ასეთ ცვლილებას დელეცია ეწოდება. დანაკლისის შედეგად ქრომოსომა მოკლდება. ქრომოსომის ერთ ჰომოლოგში მონაკვეთის დაკარგვა, მეორე ნორმალურ ჰომოლოგის შესაბამის მონაკვეთში გენთა ჰემიზიგოტურობას იწვევს. თუ ჰეტეროზიგოტაში დომინანტური გენების მქონე მონაკვეთი დაიკარგა, მაშინ მათი ყველა რეცესიული ალელი ფენოტიპურად გამოვლინდება. ქრომოსომის დიდი მონაკვეთის დაკარგვა ორგანიზმისათვის ლეტალურია-ინდივიდი იღუპება. მცირე მონაკვეთების დაკარგვა ასევე ქრომოსომის გენეტიკური სისტემის დარღვევას იწვევს, იცვლება გენთა განლაგების ხასიათი და ურთიერთკავშირი, ირღვევა გენთა მოქმედების თანაფარდობა. დელეციები, ჩვეულებრივ, ლეტალურია, რაც მიუთითებს, რომ ქრომოსომას აღარ



სურ.3.20.ქრომოსომული მუტაციების ფორმები

გააჩნია სასიცოცხლო მნიშვნელობის გენები. მოკლე დელეციები ჰეტეროზიგოტაში ყოველთვის არ იწვევს სიცოცხლისუნარიანობის დარღვევას. დუპლიკაცია და დელეცია ქრომოსომის გაწყვეტის შემდეგ წარმოიქმნება, რომელსაც მაიონიზებელი რადიაცია, ზოგიერთი ქიმიური ნივთიერება ან ვირუსის მოქმედება იწვევს. ქრომოსომის ამ ტიპის გარდაქმნა შეიძლება არათანაბარმა კროსინგოვერმაც გამოიწვიოს.

აღწერილია ადამიანის მძიმე მემკვიდრული დაავადება, ე.წ. "კატის კნავილის" სინდრომი. ამ დაავადებამ სახელწოდება ბავშვის სპეციფიკური ტირილის გამო მიიღო. ავადმყოფებს აღენიშნებათ გონებრივი ჩამორჩენა, მთვარისებრი სახე, ზრდაში ჩამორჩენა, ჰიპერტელორიზმი და ზოგი სხვა ანომალია. მას იწვევს მეხუთე ქრომოსომის მოკლე მხრის დელეცია. ამჟამად, ეს დაავადება ამ სახელწოდებით მოიხსენიება. დაავადებული ბავშვები მეტწილად ადრეულ ასაკში იხოცებიან.

ქრომოსომაში ან სხვადასხვა არაჰომოლოგიურ ქრომოსომებში ერთზე მეტი ანალოგიური მონაკვეთის არსებობას **დუპლიკაცია** ეწოდება. პირდაპირი მნიშვნელობით იგი ქრომოსომის ერთი და იმავე მონაკვეთის გაორმაგებას გულისხმობს. ცნობილია მრავალჯერადი განმეორების შემთხვევები, რომელსაც **მულტიპლიკაცია** (ამპლიფიკაცია) ეწოდება. დუპლიკაცია ქრომოსომის შიგნით ხდება და გენეტიკური მასალის ასლები (ერთი და იგივე გენები) ერთიმეორის გვერდითაა განლაგებული. დუპლიკაციის შედეგად წარმოქმნილი მონაკვეთები ქრომოსომაში შეიძლება ტანდემურად (ABCBCDE...) ან ინვერტირებულად (ABCCBDE...) იყოს განლაგებული. ზოგჯერ ხდება ასლის გადატანა ანუ ტრანსპოზიცია იმავე ქრომოსომის სხვა უბანში ან სხვა არაჰომოლოგიურ ქრომოსომაში. მობილურ ელემენტს, რომელსაც ქრომოსომის ერთი მონაკვეთიდან სხვა უბანში გადაადგილების უნარი აქვს, **ტრანსპოზონი** ეწოდება.

პოლიმერული გენების წარმოშობას რომელიმე დომინანტი გენის დუპლიკაცია და მისი სხვა ქრომოსომაში ტრანსპოზიცია იწვევს. დათიშვის სურათი შესაბამისი ნიშნის მიხედვით იცვლება. ასეთი დიპლოიდური მუტანტის ამავე გენის რეცესიული ალელის მქონე ინდივიდთან შეჯვარებით მონოგენური 3:1 დათიშვის ნაცვლად მიიღება პოლიმერული, კერძოდ 15:1 დათიშვა. კლონირებულ პოლიმერულ გენებში დნმ-ის ჰიბრიდიზაციის უნარის შემოწმებამ და გენთა პირველადი სტრუქტურის ურთიერთ შედარებამ გამოავლინა მათი ჰომოლოგიურობა, რაც მათ დუპლიკაციური გზით წარმოშობაზე მეტყველებს.

მრავალჯერადი განმეორებები-ამპლიფიკაციები გამოვლენილია ზოგიერთი დამაზიანებელი აგენტებისადმი (მეტატრექსატი, კოლხიცინი, მძიმე მეტალები) მდგრად ძუძუმწოვრების ქსოვილთა კულტურის უჯრედებში. მაგ. გენი, რომელიც განაპირობებს მდგრადობას მეტატრექსატისადმი, შედგება რამდენიმე ასეული ასლისაგან, რის გამოც ამ ნივთიერებისადმი მდგრადობა რამდენიმე ათასით არის გაზრდილი.

დუპლიკაციურ ცვლილებას იწვევს არათანაბარი კროსინგოვერი. იგი გენომის ევოლუციაში დიდ როლს თამაშობს. დუპლიკაციით იქმნება დამატებითი გენეტიკური მასალა, შემდგომში ისინი გენური მუტაციისა და ბუნებრივი გადარჩევის შედეგად შესაძლოა შეიცვალოს (იხ.სურ.3.20).

ქრომოსომის მონაკვეთის 180°-ით შემობრუნებას **ინვერსია** ეწოდება. ამ ტიპის აბერაციები კროსინგოვერის პროცესის დარღვევის შედეგად წარმოიქმნება, რის გამოც ქრომოსომაში გენთა თანმიმდევრობა იცვლება, ხოლო მათი რაოდენობა იგივე რჩება. დავუშვათ, რომ ქრომოსომაში გენები განლაგებულია შემდეგი თანმიმდევრობით: ABCDEF და ხდება BCD მონაკვეთის ინვერსია, მაშინ ახალ ქრომოსომაში გენები განლაგებული იქნება ADCBEF თანმიმდევრობით. თუ ინვერტირებული მონაკვეთი ცენტრომერის გარეთაა, ასეთ ინვერსიას **პარაცენტრშილს** უწოდებენ; თუ ინვერტირებული მონაკვეთი ცენტრომერს მოიცავს-**პერიცენტრშილს**. ამ უკანასკნელის დროს აკროცენტრული ქრომოსომა მეტაცენტრულად გარდაიქმნება და პირუკუ. ინვერსია გენეტიკური მასალის გარდაქმნის ფართოდ გავრცელებული საშუალებაა. გენთა შეჭიდულ ჯგუფში იწვევს გენთა თანმიმდევრობის შეცვლას. ინვერსია ხშირად იწვევს ე.წ. მდებარეობის ეფექტს (სიცოცხლისათვის უმნიშვნელოვანეს გენებს შორის კავშირის გაწყვეტა იწვევს ლეტალურ ეფექტს). იგი მნიშვნელოვან როლს ასრულებს გენომის ევოლუციაში, აპირობებს გენეტიკურ იზოლაციას. გორილასა და ადამიანის ქრომოსომების შედარებითმა ანალიზმა ცხადყო, რომ ადამიანის მეოთხე, მეხუთე, მეთორმეტე და მეჩვიდმეტე ქრომოსომაში პერიცენტრული ინვერსიაა მომხდარი.

არაჰომოლოგიურ ქრომოსომებს შორის უბნების რეციპროკული გაცვლა ან ქრომოსომის მონაკვეთის სხვა ქრომოსომაზე მიმაგრება იწვევს აბერაციულ ცვლილებას, რომელსაც **ტრანსლოკაცია** ეწოდება. ერთი ქრომოსომის გენების ნაწილი სრულიად სხვა შეჭიდულ გენთა ჯგუფში ერთიანდება, ამ სახის ცვლილება იწვევს გენთა შეჭიდული ჯგუფების დარღვევას და შეცვლას. ჰომოზიგოტებში ტრანსლოკაცია მეტწილად ლეტალურ ეფექტს იწვევს. იგი დიდ გავლენას ახდენს გენთა გამოვლენაზე, წარმოიქმნება მდებარეობის ეფექტი. ტრანსლოკაციურ ჰეტეროზი-

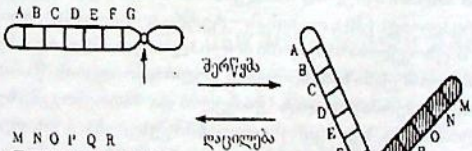
გოტურ ცხოველებში იშვიათია, მცენარეებში კი ფართოდ გავრცელებული მოვლენაა. ადამიანში 21-ე ქრომოსომის ტრანსლოკაცია იწვევს დაუნის სინდრომს, ტრანსლოკაცია მნიშვნელოვან როლს ასრულებს გენომის ევოლუციაში, ვინაიდან იწვევს გენეტიკური მასალის თვისობრივ ცვლას. იგი აპირობებს გენეტიკურ იზოლაციას.

გენომური მუტაციები

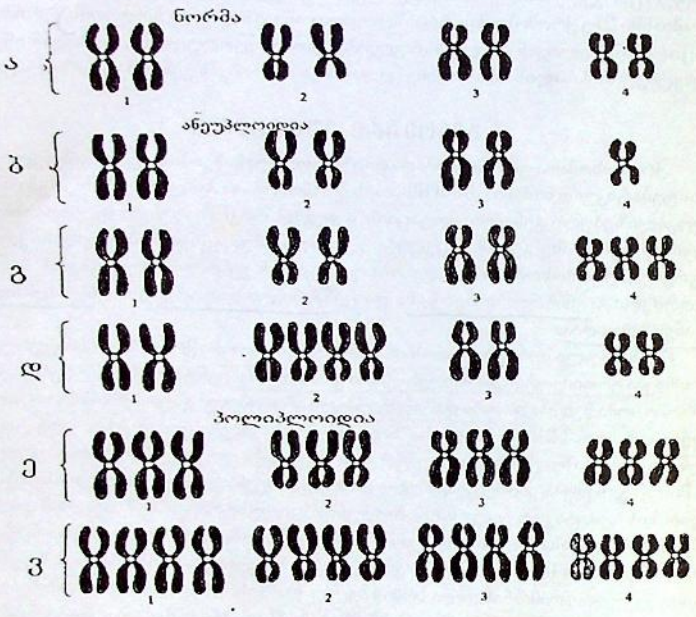
ქრომოსომათა ფორმა, ზომა და რიცხვი ყოველი სახეობისათვის მნიშვნელოვანი სისტემატიკური ნიშანია. **გენომი** არის ქრომოსომათა ჰაპლოიდური ნაკრები მასში ლოკალიზებული გენებით. მუტაციის შედეგად, როგორც გენები და ქრომოსომთა სტრუქტურა, ისე გენომი იცვლება. გენომური მუტაციების შედეგად იცვლება, აგრეთვე, ქრომოსომათა რაოდენობა. გამოყოფენ გენომური მუტაციების შემდეგ ფორმებს: 1.ცენტრული შერწყმა და ცენტრული დაშორება; 2.პოლიპლოიდია; 3.ანეუპლოიდია.

ცენტრული შერწყმის დროს არაჰომოლოგიური ორი ქრომოსომა ზოგჯერ უკავშირდება ერთიმეორეს და მიიღება ერთი ქრომოსომა. ცენტრული დაშორების დროს ქრომოსომა წყდება და ორი დამოუკიდებელი არაჰომოლოგიური ქრომოსომა ყალიბდება (იხ.სურ.3.21). ეს მოვლენა ზოგჯერ მოიხსენიება რობერტსონული ტრანსლოკაციის სახელწოდებით. ცენტრული შეერთება ცოცხალ ბუნებაში გაცილებით ხშირად გვხვდება, ვიდრე ცენტრული დაშორება. მცენარეთა და ცხოველთა ნებისმიერ დიდ სისტემატიკურ ჯგუფში ამ მოვლენის საილუსტრაციოდ მრავალი მაგალითი შეიძლება დავასახელოთ. ადამიანს 2n=46 ქრომოსომა, ხოლო ადამიანის მსგავს მაიმუნებს 2n=48 ქრომოსომა აქვთ. ეს განსხვავება ქრომოსომათა შერწყმითაა გამოწვეული. ადამიანის დიდი ზომის მეორე ქრომოსომის ორი მხარი მაიმუნების ორ სხვადასხვა ქრომოსომას (მაგ. შიმპანზეს მე-12 და მე-13) შეესაბამება. ცენტრული დაშორებით ქრომოსომათა რიცხვის გაზრდა აღწერილია დროზოფილას გვარში. მასში გაერთიანებულ სახეობებს ქრომოსომათა ჰაპლოიდური რიცხვი სამიდან მოყოლებული ვიდრე ექვსის ჩათვლით აქვთ. ქრომოსომათა რიცხვის ამ ტიპის ცვლილება გენეტიკურ იზოლაციასა და შიდასახეობრივ დივერგენციას იწვევს.

ეუკარიოტული ორგანიზმის სასიცოცხლო ციკლში ხდება ქრომოსომათა ჰაპლოიდური კომპლექტის რიცხვთა რეგულარული ცვლილება (n⇔2n). მეიოზი იწვევს ქრომოსომათა ჰაპლოიდური კომპლექტის ჩამოყალიბებას, განაყოფიერება კვლავ აღადგენს დიპლოიდურ კომპლექტს. მიტოზი და მეიოზი უჯრედის გაყოფის ზუსტი მექანიზმებია, რომლებიც უზრუნველყოფენ ქრომოსომათა რიცხვის მუდმივობას. ზოგჯერ ეს მექანიზმი ირღვევა, რამაც შეიძლება გამოიწვიოს ქრომოსომათა არათანაბარი განაწილება პოლუსებზე-ქრომოსომათა განურიდებლობა, ასევე



სურ.3.21.ცენტრული შერწყმა და დაცილება



სურ.3.22.გენომური მუტაციის ფორმები: ა. დიპლოიდი, ბ. მონოსომიკი, გ. ტრისომიკი, დ, ტეტრასომიკი, ე. ტრიპლოიდი, ვ. ტეტრაპლოიდი

ქრომოსომათა გაორმაგება ციტოკინეზის გარეშე. ამ დარღვევების შედეგად წარმოიქმნება ქრომოსომათა შეცვლილი რაოდენობის მქონე უჯრედები.

უჯრედში ქრომოსომათა რიცხვის ჰაპლოიდური კომპლექტის (n) პროპორციულად (ჯერადად) ზრდას **პოლიპლოიდია** ეწოდება, ცალკეული ან რამდენიმე ქრომოსომის რიცხობრივ ცვლილებას კი **ანეუპლოიდას** უწოდებენ (იხ. სურ. 3-22).

როგორც აღვნიშნეთ, პოლიპლოიდიის დროს ქრომოსომათა რიცხვი (ჰაპლოიდური კომპლექტი) უჯრედში პროპორციულად იზრდება. სამი ასეთი კომპლექტის მქონე ორგანიზმს ეწოდება ტრიპლოიდი (3n), ოთხისას – ტეტრაპლოიდი (4n), ხუთისას – პენტაპლოიდი (5n) და ა.შ. ცხოველთა სამეფოში პოლიპლოიდია იშვიათია. სქესის განსაზღვრის ქრომოსომული მექანიზმი ხელუხლებელ პოლიპლოიდების წარმოშობას, ამიტომაც ასეთი ფორმები ჰერმაფროდიტ (ჭიაყელა) და პართენოგენეზურ (ზოგიერთი მწერი, თევზი, სალამანდრა, ხვლიკი) ცხოველებში გვხვდება. მცენარეთა სამყაროში პოლიპლოიდია ფართოდ და არათანაბარადაა გავრცელებული. მაღალი სიხშირით გვხვდება ფარულთესლოვანებში (47% პოლიპლოიდებია) და გვიმრებში, იშვიათია შიშველთესლოვანებში. კულტურულ მცენარეთა შორის მრავალია ბუნებრივი პოლიპლოიდური ფორმები (ხორბალი, კარტოფილი, შვრია, მარწყვი, ქლიავი,

ვაშლი, მსხალი და სხვ.). პოლიპლოიდები ადვილად ეგუებიან მკაცრ გარემო პირობებს. ჩრდილოეთ და ეკვატორის განედის, ასევე მაღალმთიანი რაიონების ყვავილოვან მცენარეთა დიდი ნაწილი (მაგ. გრენლანდიაში 72%, პამირში 86%) პოლიპლოიდებია. პოლიპლოიდია მნიშვნელოვან როლს ასრულებს მცენარეთა ევოლუციის პროცესში. იგი ახალ ფორმათა და სახეობათა წარმოშობის მნიშვნელოვანი გზაა.

ისეთ ინდივიდებს, რომლებშიც პროპორციულად არის გაზრდილი ერთი და იგივე გენომი, **ანეუპლოიდებს** ეწოდება. ქრომოსომების რიცხვის ზრდა ზოგჯერ იწვევს უჯრედების ზომის გადიდებას, რის გამოც მთლიანად მცენარის ზომა იზრდება. კულტურულ მცენარეთა პოლიპლოიდებში რიგ შემთხვევაში გაზრდილია მოსავლიანობა (მაგ. წიწიბურა, ჭარხალი, ჭვავი და ა.შ.). ინდივიდებს, რომლებშიც განსხვავებული გენომებია ჯერადად გადიდებული, **ალოპლოიდებს** ეწოდება. ისინი სახეობათა შორის ჰიბრიდებს წარმოადგენენ. მათ დიდი პრაქტიკული მნიშვნელობა აქვთ. ბუნებრივი ალოპლოიდებია ხორბალი, ქლიავი და მისთ. ხელოვნურად ალოპლოიდი პირველად გ. კარპეჩენკომ მიიღო კომბოსტოსა და ბოლოკის შეჯვარებით წარმოქმნილ ჰიბრიდებში. ძიღებულია ძრავალი ალოპლოიდი. მაგ. ჭვავისა და ხორბლის (ტრიტიკალე); ჭანგასა და ხორბლის; ხორბლისა და ქერის ჰიბრიდი და სხვა. ბოლო პერიოდში ამ მიზნით ფართოდ იყენებენ უჯრედულ ინჟინერიას.

ანეუპლოიდიის (ჰეტეროპლოიდიის) დროს დიპლოიდურ კომპლექტს აკლია ან მეტი აქვს ერთი ან ორიოდე ერთზე მეტი ქრომოსომა. პირველად ანეუპლოიდია 1916 წელს შეისწავლა ბრიჯესმა დროზოფილაში (იხ. 3.5). ამ მოვლენას იწვევს მეიოზის დროს ქრომოსომების განურიდებლობა. დიპლოიდურ კომპლექტში ერთერთი ჰომოლოგის სამი ქრომოსომით წარმოდგენას **ტრისომიკი** (2n+1) ეწოდება; თუ ჰომოლოგიურ წყვილს ერთი ქრომოსომა აკლია-**მონოსომიკი** (2n-1), როდესაც ჰომოლოგიური ქრომოსომებიდან ერთი წყვილი არ გააჩნია-**ნულისომიკი** (2n-2). ხშირად ორგანიზმში (განსაკუთრებით, ძუძუმწოვრებსა და ადამიანში) დამატებითი ქრომოსომის თანაპოვნიერება ანვითარებს დეპრესიას და აპირობებს ლეტალურობას. მაგ. ზედმეტი 21-ე ქრომოსომა და X-ქრომოსომა ადამიანში იწვევს მძიმე ანომალიებს.

თითქმის ყველა ანეუპლოიდი დაბალი სიცოცხლისუნარიანობით და ნაყოფიერებით გამოირჩევა, ქრომოსომების მომატება ან დაკარგვა ორგანიზმის განვითარებაში შესამჩნევ ცვლილებებს იწვევს. ირღვევა ორგანიზმის ნორმალური განვითარება, განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია დარღვევები უმაღლეს ცხოველებსა და ადამიანში. უმაღლეს მცენარეებში ანეუპლოიდიას იყენებენ გენეტიკურ ანალიზში, საზღვრავენ გენების ლოკალიზაციას ქრომოსომებში.

ინდუცირებული მუტაგენეზი

მუტაცია შეიძლება წარმოიქმნას სპონტანურად ან ხელოვნურად (ინდუცირებულად) მუტაგენების ზემოქმედებით. ცნება "მუტაცია" ორი მნიშვნელობით ცვალებადობის წარმოქმნისა და თვით ცვლილების აღსანიშნავად იხმარება. მუტაციის წარმოქმნის პროცესს **მუტაგენეზი** ეწოდება, ხოლო ცვლილების გამომწვევ ფაქტორს-**მუტაგენი**. ამ პროცესის შედეგად შეცვლილ ინდივიდს, რომელშიც ფენოტიპურადაა გამოვლენილი მემკვიდრული ცვლილება, **მუტანტი** ეწოდება. აქამდე დადგენილია, რომ მუტაციური პროცესი რთული და მრავალსაფეხურიანია. გენე-

ტიკურ სტრუქტურაში (დნმ) მომხდარი ცვლილება მის გენოტიპურ და ფენოტიპურ რეალიზაციამდე გრძელსა და რთულ გზას გადის. იგი მოიცავს დნმ-ის რეპლიკაციისა და რეპარაციის, ასევე ტრანსკრიპციისა და ტრანსლაციის პროცესებს. მნიშვნელოვანია, აგრეთვე, რეკომბინაციის მექანიზმი. ყველა ჩამოთვლილი პროცესი რთული ფერმენტული სისტემებით ხორციელდება და გენეტიკური აპარატით კონტროლირდება. პროცესის ნებისმიერი რგოლის დაზიანება მუტაციას იწვევს.

გენეტიკის განვითარების ადრეულ ეტაპებზე გენეტიკურ კანონზომიერებებს სპონტანურად წარმოქმნილი მუტაციების შეშვეობით იკვლევდნენ. სპონტანურ მუტაგენებს ეგზოგენური (კოსმოსური სხივები, ბუნებრივი რადიოაქტიური ფონი, ულტრაიისფერი სხივები და სხვა) და ენდოგენური (რეპლიკაციის, რეპარაციისა და რეკომბინაციის პროცესებში დაშვებული შეცდომები, მიგრირებადი გენეტიკური ელემენტების ტრანსპოზიცია და სხვა) ფაქტორები იწვევენ.

რადიაციის ზემოქმედებით ინდუცირებული მუტაციები უმდაბლეს სოკოებში პირველად მიიღეს და შეისწავლეს გ.ნადსონმა და გ.ფილიპოვმა (1925). ამერიკელმა გენეტიკოსმა ჰ.მელერმა (1927) დროზოფილაზე რენტგენის სხივების ზემოქმედებით მიიღო და შეისწავლა სხვადასხვა სახის მუტაციები. მანვე შეიმუშავა ამჟამად კლასიკურად აღიარებული მუტაციის რაოდენობრივი აღრიცხვის მეთოდები. მან დაადგინა, რომ რენტგენის სხივები მნიშვნელოვნად (ათეულჯერ) ზრდიან მუტაციის წარმოქმნის სიხშირეს. ლ.სტადლერმა (1928) ქერსა და სიმინდში რენტგენის სხივების ზემოქმედების გენეტიკური ეფექტი შეისწავლა.

მუტაგენურ ფაქტორს წარმოადგენს ყველა სახის მაიონიზებელი (რენტგენის სხივები, γ—გამოსხივება, ნეიტრონები და ა.შ.) რადიაცია და ულტრაიისფერი სხივები. თავდაპირველად მიაჩნდათ, რომ მაიონიზებელი რადიაცია უშუალოდ მოქმედებს გენეტიკურ მასალაზე და ცვლის მის სტრუქტურას (ე.წ. "სამიზნის" თეორია). დადგენილია, რომ რადიაციის უშუალო მოქმედებით დნმ-ის მოლეკულებში წარმოიქმნება ნაირგვარი დარღვევები. ასევე დადგენილია, რომ რადიაცია არაპირდაპირი გზითაც მოქმედებს დნმ-ის სტრუქტურაზე. ყველაზე მნიშვნელოვანია წყლის დაშლა (რადიოლიზი), რის შედეგადაც მიიღება ატომური წყალბადი, ჟანგბადი და $OH^{\cdot}$ და $HO_2^{\cdot}$ რადიკალები. ისინი რეაგირებენ ერთმანეთთან და წყალთან, რის შედეგადაც მიიღება წყალბადის ზეჟანგი. ქიმიურად ძლიერ აქტიური რადიკალები და წყალბადის ზეჟანგი შლიან უჯრედის შემადგენელ ორგანულ ნივთიერებებს, მათ შორის დნმ-საც. მაიონიზებელი რადიაცია მოქმედების ფართო სპექტრით არის ცნობილი. ინდუცირდება მუტაციის ყველა სახე, რომელიც იწვევს ორგანიზმის ნებისმიერი ნიშნის ნაირგვარ ცვლილებას. გენური მუტაციისა და მცირე ზომის ქრომოსომული აბერაციების წარმოქმნის სიხშირე დასხივების დოზის პროპორციულია, ხოლო დიდი ზომის ქრომოსომული აბერაციების სიხშირე დოზის კვადრატის პროპორციულად მატულობს. რადიაციის მოქმედებას ქვედა ზღურბლი არ გააჩნია, ნებისმიერი დოზა ახდენს მუტაციის ინდუქციას.

ადამიანში რენტგენისა და γ—გამოსხივების 1,0-1,5 გრეი დოზა მუტაციის სიხშირეს ორმაგად ზრდის. სხვადასხვა სახეობები განსხვავებული რადიორეზისტენტულობით გამოირჩევა. მცენარეები ბევრად უფრო რადიორეზისტენტულებია, ვიდრე ცხოველები. ლეტალური დოზა თაგვისათვის 9 გრეია, ადამიანისათვის-6 გრეი, ხოლო

ამებისათვის-1000 გრეი. თუ ორგანიზმი ხანგრძლივად ექვემდებარება რადიაციის მეტად დაბალი დოზის ზემოქმედებას, იგი უკვალოდ არ ქრება, მისი მოქმედება გროვდება იმ შემთხვევაშიც კი, როდესაც ბუნებრივი რადიოაქტიური ფონი დაბალია. ადამიანი მთელი სიცოცხლის მანძილზე 0,03 გრეი დოზას იღებს.

ფიზიკურ მუტაგენს მიეკუთვნება ულტრაიისფერი სხივები. მათი ქსოვილში შეღწევადობა ძალიან დაბალია. იგი ძლიერ მუტაგენურ მოქმედებას ავლენს ეროუჯრედიან ორგანიზმებში, მტვრის მარცვლებსა და სპორებში. ულტრაიისფერი სხივები ძირითადად გენურ მუტაციებს, ი შვიათად კი ქრომოსომულ აბერაციებს წარმოქმნის. იგი დნმ-ის მოლეკულაში ორი მეზობელი პირიმიდინის ფუძეების დიმერიზაციას იწვევს, რაც პოტენციური მუტაციური ცვლილებაა.

ქიმიური ნივთიერებებით მუტაციების ინდუქცია დროზოფილაში პირველად მოახდინეს რუსმა მეცნიერებმა ვ.სახაროვმა (1932) და მ.ლობაშევმა (1933). ძლიერი მოქმედების ქიმიური მუტაგენები 1946 წელს რუსეთში ი.რაპოპორტმა (ეთილენიმინი) და ინგლისში შ.აუერბახმა და ჯ.რობსონმა (იპრიტი) გამოავლინეს. ამჟამად მიღებულია ნარგვარი ჯგუფის ქიმიური მუტაგენები, რომლებიც სპეციფიკური მოქმედების ფართო სპექტრით გამოირჩევიან. ისინი მოქმედებენ დნმ-ის მოლეკულაზე და მაში ცვლილებებს იწვევენ. ქიმიურ მუტაგენებს მიეკუთვნება აზოტოვანი ფუძის ანალოგები (5-ბრომურაცილი, 2-ამინოპურინი). რეპლიკაციის პროცესში ხდება ბუნებრივი ფუძეების ნაცვლად მათი ჩართვა. აზოტოვანი ჟანგა და ჰიდროქსილამინი, რომლებიც აზოტოვანი ფუძის მოდიფიცირებას იწვევენ, აკრიდინი და მისი წარმოებულები, რომელთა ინტერკალირება ხდება დნმ-ის მოლეკულაში, ზოგიერთი მუტაგენი იწვევს აზოტოვანი ფუძეების ალკილირებას (მაგ.ეთილენიმინი, ეთილმეთანსულფონატი და სხვა). გამოვლენილია ბიოლოგიური მუტაგენები (ვირუსები, ეგზოგენური დნმ, ზოგიერთი ობის სოკოს მიერ გამოყოფილი ტოქსინი და სხვა). ფიზიკური და ქიმიური მუტაგენები ფართოდ გამოიყენება სასოფლო-სამეურნეო პრაქტიკაში. მიღებული მუტანტები ითვლება მნიშვნელოვან საწყის მასალად მცენარეთა სელექციისათვის. მათი გამოყენებით მიღებულია დაავადებისადმი გაძლე და უხვმოსავლიანი მცენარეთა ჯიშები. მიკროორგანიზმებში მიღებულია მაღალპროდუქტიული (ანტიბიოტიკები, ვიტამინები, ცილები და სხვ.) შტამები.

გარემოს მუტაგენები

სამეცნიერო-ტექნიკურმა პროგრესმა კაცობრიობის წინაშე წამოჭრა გარემოს დაცვის პრობლემა უარყოფითი ხანგრძლივი და შეუქცევადი ცვლილებებისაგან. ადამიანის საქმიანობამ გამოიწვია ბუნებრივი ლანდშაფტების დიდი ფართობების მკვეთრი შემცირება; მდინარეების, ხღვებისა და ოკეანეების, ატმოსფეროს, ნიადაგების გაჭუჭყიანება. ბოლო ათწლეულებში ამ პროცესებმა გლობალური მასშტაბები შეიძინა. მეცნიერთა აზრით, საშიშადაა მიჩნეული შემდეგი ფაქტორები (განლაგებულია სტრესული მნიშვნელობის თანმიმდევრობით): 1.პესტიციდები; 2.მძიმე მეტალები; 3.ნახშირბადის (II) ოქსიდი; 4.გოგირდის (II) ოქსიდი და მისი დაჟანგვის პროდუქტები: 5.დაღვრილი ნავთობი; 6.საწარმოებიდან ჩანადენი წყლები; 7.ქიმიური სასუქები; 8.ორგანული ნარჩენები; 9.აზოტის ოქსიდები; 10.რადიოაქტიური ნარჩენები; 11.ქალაქის ნაგავი; 12.ატომური ელექტროსადგურების რადიაცი-

ული ნარჩენები; 13.ფოტოქიმიური ოქსიდანტები; 14.ჰაერის ნახშირწყალბადები; 15.ნახშირბადის (IV) ოქსიდი; 16.ქალაქის ხმაური.

ჩამონათვალი გვიჩვენებს თუ რარიგ მრავალფეროვანია ადამიანის ზემოქმედება ბუნებაზე. დედამიწაზე არ მოიპოვება უბანი, სადაც ასეთ ზემოქმედებას მეტნაკლები ინტენსიურობით ცოცხალი სისტემა არ ექვემდებარებოდეს. გარემოს გამაჭუჭყიანებელ მრავალ ფაქტორს გენეტიკური აქტიურობა აღმოაჩნდა. გარემოში მუტაგენების გავრცელება მუტაციის სიხშირის გაზრდას იწვევს. წარმოქმნილი მუტაციები მეტწილად რეცესიული და საზიანოა (იზრდება **ᲒᲔᲜᲔᲢᲘᲙᲣᲠᲘ ტᲕᲘᲠᲗᲝ**), იგი არღვევს ევოლუციის პროცესში ჩამოყალიბებული ორგანიზმის ერთიან გენეტიკურ სისტემას. საფრთხე ემუქრება როგორც ადამიანის ამჟამინდელ და მომდევნო თაობებს, ისე მთელ ბიოსფეროს. ამ საფრთხემ განაპირობა ახალი დარგის, **ᲒᲔᲜᲔᲢᲘᲙᲣᲠᲘ ტᲝᲥᲡᲘᲙᲝᲚᲝᲒᲘᲘᲡ** ჩამოყალიბება. იგი იკვლევს ანთროპოგენური ბუნების ფაქტორების მუტაგენურ აქტიურობას, უმთავრესად შეისწავლება ქიმიურ ნივთიერებათა გენეტიკური აქტიურობა, ამუშავებს მათი განსაზღვრის მეთოდებსა და შეფასების საშუალებებს, მიზნად ისახავს მინიმუმამდე დაიყვანოს მუტაგენური ზემოქმედების რისკი, უკიდურესად შეზღუდოს ადამიანის ისეთი საქმიანობა, რომელიც გენეტიკურ საშიშროებას იწვევს.

მუტაციური პროცესის შესწავლამ ნათელყო, რომ მუტაგენეზს, რეკომბინაციასა და რეპარაციას დნმ-ის რეპლიკაციასთან დაკავშირებული მრავალი საერთო ეტაპი მოეპოვება. ამიტომ გენეტიკური ტოქსიკოლოგია იკვლევს გარემო ფაქტორებით ინდუცირებულ როგორც მუტაგენურ და რეკომბინაციურ აქტიურობას, ისე მათ მოქმედებას რეპარაციის პროცესზე. ამ უნარის მიხედვით ადგენენ ამა თუ იმ ფაქტორის გენეტიკური აქტიურობის უნარს. გენეტიკურად აქტიური ფაქტორები სამ ჯგუფად იყოფა: ფიზიკური, ქიმიური და ბიოლოგიური.

ფიზიკურ ფაქტორებს მიეკუთვნება სხვადასხვა სახის მაიონიზებელი რადიაცია და ულტრაიისფერი სხივები. როგორც უკვე აღვნიშნეთ, მაიონიზებელი რადიაციის გენეტიკური ეფექტის შესწავლით დადგენილია, რომ დოზას ქვედა ზღურბლი არ გააჩნია, უმცირესი დოზაც კი ახდენს მუტაციის ინდუქციას. ცოლქმრული წყვილიდან თუ ერთ-ერთი 1,0-1,5 გრეი დოზას მიიღებს (იგი მუტაციის ინდუქციას ორჯერადად ზრდის), დაავადებული შვილის ყოლის ალბათობა უმნიშვნელოდ (4-5%-დან 5-6%-მდე) იზრდება. სურათი მკვეთრად იცვლება, თუ იმავე დოზას რეგიონის მთელი მოსახლეობა მიიღებს. მომდევნო თაობაში დაავადებულთა რაოდენობა ორჯერ მოიმატებს. იაპონელმა მეცნიერებმა შეისწავლეს ჰიროსიმასა და ნაგასაკში ატომური დაბომბვის შედეგად დასხივებულ ადამიანთა ლეიკოციტებში ქრომოსომული აბერაციები. 30 წლის შემდეგაც კი მათში ქრომოსომული დარღვევები აღინიშნებოდა. ამასთანავე, დადგენილ იქნა მკაფიო ურთიერთდამოკიდებულება 0,01-დან 5,0 გრეიმდე დოზის დიაპაზონში დასხივების დოზისა და მუტაციის ინდუქციის სიხშირეს შორის. ნათელია, რომ ბუნებრივი რადიაციული ფონის გაზრდამ (რასაც იწვევს ბიროვული იარაღის გამოცდა, რადიონუკლეიდებით გარემოს გაბინძურება, მედიცინაში რადიაციის გამოყენება და მისთ.) შეიძლება ისეთ დონეს მიაღწიოს, რომელიც საშიში იქნება დედამიწაზე მცხოვრები ყოველი ცოცხალი ორგანიზმისათვის.

გენეტიკურად აქტიური ფაქტორია, აგრეთვე, ულტრაიისფერი სხივები. ოზონის ეკრანი არ ატარებს გრძელტალღოვან ულტრაიისფერ სხივებს. ტექნოგენური მოქ-

მედებით შესაძლებელია ოზონის შრის დაზიანება, რის გამოც ამ ფაქტორმა შეიძლება ზემოქმედება მოახდინოს ცოცხალ სისტემაზე. საშიშია, აგრეთვე, ულტრაბგერები, მაღალი სიხშირის დენი, ცვლადი მაგნიტური ველი.

სინთეზებულია და სახალხო მეურნეობაში გამოიყენება 4 მილიონზე მეტი ორგანული ნაერთი, რომელსაც სხვადასხვა მიზნებისათვის იყენებენ. ბევრი მათგანი ევოლუციის პროცესის განმავლობაში ბიოსფეროში არასდროს ყოფილა. ამდენად, მათი დაშლა (მინერალიზაცია) არ ხდება და დიდხანს რჩებიან გარემოში. ნაერთთა გარკვეული ნაწილი სხვადასხვა გზით ვრცელდება გარემოში. უშუალოდ ან კვებითი ჯაჭვების გზით ხვდებიან ორგანიზმში, რასაც თან სდევს გაუთვალისწინებელი შედეგი. გამაჭუჭყიანებელ ფაქტორთა შორის ყველაზე საშიშადაა მიჩნეული პესტიციდები. მრავალი მათგანისათვის ნიშანდობლივია გენეტიკური აქტიურობა. თუ თავდაპირველად მავნებელთა წინააღმდეგ ბრძოლის ქიმიური მეთოდი დიდ მიღწევად ითვლებოდა, ამჟამად ის რთულ პრობლემად იქცა. ყველაზე კარგადაა შესწავლილი ქლორშემცველი ნახშირწყალბადის დდტ-ის გენეტიკური აქტიურობა. მას ფართოდ იყენებდნენ 40-70-იან წლებში (სინთეზებული იყო 1,8 მილიონი ტონა ნივთიერება, რომლის 80% სოფლის მეურნეობაში გამოიყენეს, ხოლო 20% დაავადებათა გამავრცელებელი მწერების წინააღმდეგ). იგი მთელ დედამიწაზეა გავრცელებული ანტარქტიდის ჩათვლით. ეს ნაერთი კვებით ჯაჭვებში დიდი კუმულაციის უნარითა და მაღალი გენეტიკური აქტიურობით გამოირჩევა. მოვიყვანთ გაუთვალისწინებლობის კლასიკურ ნიმუშს: ტბა კლირ-ლეიკში (კალიფორნია, აშშ) კოღოების წინააღმდეგ გამოიყენეს დდტ. წყალში მისი რაოდენობა აღმოჩნდა 0,02 წილი, პლანქტონში -10, პლანქტონის მჭამელ თევზებში -909, მტაცებელ თევზებში- 2690, თევზიჭამია ფრინველებში -2134. კვებით ჯაჭვში დონის ამაღლების კვალობაზე მატულობდა დდტ-ს შემცველობა. ჩვენ მიერ შესწავლილი საქართველოს მევენახეობაში გამოყენებული 30 პესტიციდიდან 16 (55,2%) გენეტიკურად აქტიური აღმოჩნდა.

ფართოდ გამოყენებული ნიტრატები ბიოქიმიური გზით გარდაიქმნებიან ნიტრიტებად. ძუძუმწოვართა, მათ შორის ადამიანის, კუჭის მჟავა არეში ნიტრიტებისა და ამინონაერთებიდან ძლიერი მუტაგენები (ე.წ. სუპერმუტაგენები)-ნიტროზონაერთები წარმოიქმნება. გენეტიკურ აქტიურობას ავლენენ მძიმე მეტალები და მრავალი სამკურნალო პრეპარატი (აქტინომიცინი, ამინოპტერინი, ბიომიცინი, სტრეპტომიცინი, ზოგიერთი სულფანილამიდი და სხვა), მრავალი ომის საღებავი და მისთ.

გამოვლენილია ბიოლოგიური ფაქტორები, რომლებიც გამოირჩევიან გენეტიკური აქტიურობით. მათ რიცხვს მიეკუთვნება ორგანიზმისათვის პათოგენური და არაპათოგენური მრავალი ვირუსი. სომატურ უჯრედებში ქრომოსომულ აბერაციებს იწვევს წითელას, ჩუტყვავილას, ყვავილის, გრიპის, ეპიდემიური პარატიტის, ჰეპატიტის და სხვა ვირუსები. ისინი მუტაციის ინდუქციას ახდენენ მიკროორგანიზმებსა, მცენარეებსა და ცხოველებში. მუტაგენური აქტიურობა გამოავლინა, აგრეთვე, მიკოპლაზმამ (Mycoplasma pulmonis) და ზოგიერთი ობის სოკოს მიერ გამოყოფილმა ტოქსინმა, ჰემოლიზური სტრეპტოკოკის ტოქსინმა-სტრეპტოლიზინმა. დიდი ყურადღება ეთმობა ვაქცინაციით გამოწვეულ მუტაგენეზს. ვაქცინაცია მნიშვნელოვან როლს ასრულებს ზოგიერთ ინფექციურ დაავადებასთან ბრძოლაში. ბოლო წლებში ვაქცინაციას მოსახლეობის ფართო მასები დაექვემდებარნენ. ამასთანავე,

ხშირად ის განმეორებით ტარდება, რაც ზრდის მუტაციის ინდუქციის ალბათობას. გენეტიკური აქტიურობა აქვს ეგზოგენურ დნმ-ს.

3.10. მემკვიდრეობის მოლეკულური საფუძვლები

ნუკლეინის მჟავების როლი მემკვიდრეობაში

მემკვიდრეობის ქრომოსომული თეორიის მიხედვით მემკვიდრეობის დისკრეტული ერთეულია გენი. იგი განსაზღვრავს ნიშან-თვისებას და ლოკალიზებულია ქრომოსომაში. დადგინდა, რომ გენები ქრომოსომაში ხაზობრივადაა განლაგებული და თაობიდან თაობას გადაეცემა. ქრომოსომები შედგება ცილებისა და ნუკლეინის მჟავებისაგან. რომელი მათგანია მემკვიდრეობის მატერიალური საფუძველი? რომელი შეიცავს მემკვიდრულ ინფორმაციას? აღნიშნული საკითხი იწვევდა აზრთა სხვაობას. ამჟამად ეს საკითხი გადაწყვეტილია-ნუკლეინის მჟავები ესაა მემკვიდრეობის მატერიალური სუბსტრატი. არსებობს ამის დამამტკიცებელი პირდაპირი და არაპირდაპირი არგუმენტები.

არაპირდაპირი არგუმენტები შემდეგია. სხვადასხვა ორგანიზმს დნმ-ის განსხვავებული რაოდენობა აქვს. ერთსა და იმავე ორგანიზმის სხვადასხვა სომატური უჯრედების ბირთვში მისი რაოდენობა თანაბარია:სასქესო უჯრედებში ორჯერ ნაკლებია, ვიდრე სომატურში. გამეტების წარმოქმნის დროს მისი რაოდენობა ნახევრდება, ზიგოტაში კი ორმაგდება. მეიოზი და განაყოფიერება არეგულირებს დნმ-ის რაოდენობას გამეტებსა და ზიგოტაში, რაც მიუთითებს, რომ მემკვიდრეობის სუბსტრატი არის დნმ.

ულტრაიისფერი სხივები მუტაგენური ფაქტორია. ცილებსა და დნმ-ს ამ სხივების შთანთქმის განსხვავებული სპექტრი მოეპოვება. მუტაგენური მოქმედების სპექტრი შეესაბამება დნმ-ის შთანთქმის სპექტრს, რაც მნიშვნელოვანი არგუმენტია, რომ მემკვიდრული თვისებები დაკავშირებული ყოფილა დნმ-თან.

დნმ-ის გენეტიკური ფუნქციის დამამტკიცებელი არგუმენტია შემდეგი: ხელოვნურად სინთეზებული ა ზოტოვანი ფუძეების-პურინისა და პირიმიდინის ანალოგები უჯრედზე ზემოქმედებისას ჩაერთვებიან დნმ-ის მოლეკულაში, რასაც თან სდევს მემკვიდრული ცვლილებების წარმოშობა.

ბაქტერიების ტრანსფორმაცია

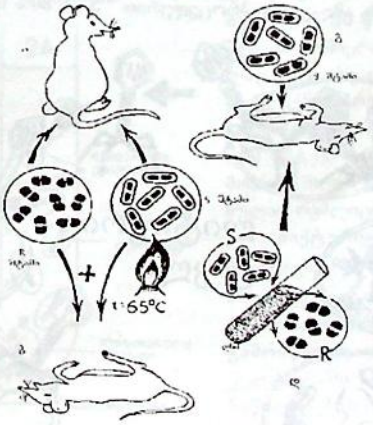
დნმ-ის გენეტიკურ როლზე პირველი პირდაპირი სარწმუნო არგუმენტია ფ.გრიფითის მიერ დიპლოკოკებში (Diplococcus pneumoniae) აღმოჩენილი ტრანსფორმაციის მოვლენა.

ცნობილია პნევმოკოკების ორი შტამი. ისინი განსხვავდებიან კოლონიის ფორმით, ზომით, აგრეთვე უჯრედის გარსის გარეთ მკვრივი პოლისაქარიდული კაფსულის თანაპოვნიერებით. ეს უკანასკნელი ბაქტერიას იცავს ფაგოციტოზისაგან. S ფორმის შტამს აქვს მკვრივი კაფსულა და მყარ არეზე იკეთებს დიდი ზომის პრიალა გლუვზედაპირიან კოლონიას. იგი ვირულენტურია. ბაქტერიის ეს შტამი იწვევს პნევმონიას ადამიანში და ძუძუმწოვრებში, ბუნებრივია თაგვებშიც, რაზედაც ცდები ფ.გრიფითმა ჩაატარა. S ფორმა მუტაციის შედეგად დაბალი სიხშირით გარდაიქმნება

R ფორმად.

მეორე შტამი-R ფორმა უკაფსულოა, ავირულენტურია. მყარ საკვებ არეზე იგი იძლევა პატარა ზომის, ხორკლიანი ზედაპირის მქონე კოლონიას. ფ.გრიფითმა დაადგინა, რომ 65°C ტემპერატურაზე დახოცილი S ფორმის ან ცოცხალი R ფორმის შეყვანა თაგვებში დაავადებას არ იწვევდა, ხოლო S ფორმის ცოცხალი უჯრედები დაავადებას იწვევდა. მოულოდნელი აღმოჩნდა ცდა, როდესაც თაგვებში შეყავდავდათ დახოცილი S და ცოცხალი R ფორმის ბაქტერიების ნარევი. ისინი აავადებდნენ თაგვებს პნევმონიით და მათი ნაწილი იხოცებოდა. დახოცილი თაგვები შეიცავდნენ S ფორმის ბაქტერიებს. S ფორმის გარდაქმნა R ფორმად საცდელი ობიექტის ორგანიზმზე არ იყო დამოკიდებული. ანალოგიურ შედეგი დადასტურდა in vitro პირობებშიც. სინჯარაში R ფორმის მოზარდ პნევმოკოკებს უმატებდნენ S შტამიდან მიღებულ ექსტრაქტს და გარკვეული დროის შემდეგ მათი ნარევი გადაჰქონდათ მყარ არეზე. ხორკლიან პატარა კოლონიებს შორის ჩნდებოდა დიდი პრიალა ზედაპირიანი S შტამის კოლონიებიც. R ფორმის უჯრედები გარდაიქმნენ-ტრანსფორმირდნენ კაფსულიან S ფორმად (სურ.3.23).

გამოკვლევის შემდეგი ეტაპი დაკავშირებულია ო.ეივერისა და მისი თანამშრომლების გამოკვლევებთან. 1944 წ. მათ დაადგინეს, რომ მატრანსფორმირებელ აგენტს დნმ წარმოადგენს. მართლაც, როდესაც R ფორმის შტამის მოზარდ უჯრედებს უმატებდნენ S შტამიდან მიღებულ დნმ-ს, ჩნდებოდა უჯრედების გარკვეული ნაწილის ტრანსფორმირება. ექსტრაქტის დამუშავება ფერმენტით (დეზოქსირიბონუკლეაზა,



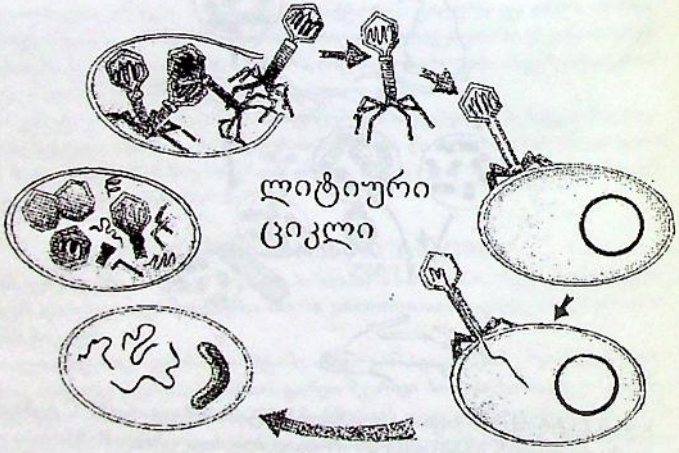
სურ.3.23.ტრანსფორმაცია. ა- ცოცხალი R შტამი ან მკვდარი (65°C ტემპერატურაზე გაცხელებული) S შტამი თაგვებს არ აავადებენ; ბ-ცოცხალი R-შტამისა და მკვდარი S შტამის ნარევით თაგვები ავადდებიან; გ-ცოცხალი S-შტამით თაგვები ავადდებიან; დ-ცოცხალი R-შტამისა და S შტამიდან გამოყოფილი დნმ-ის ნარევით თაგვები ავადდებიან.

რომელიც სპეციფიკურად შლის დნმ-ს) ორგუნავდა აღნიშნულ პროცესს. გამოირკვა, რომ გენეტიკური ინფორმაციის-გენების შემცველი დნმ-ის ფრაგმენტები ადსორბირდებიან R შტამის უჯრედებზე, შემდეგ კი შედიან უჯრედში. ხდება კროსინგოვერის გზით მათი ჩაშენება (ინტეგრაცია) ბაქტერიის ქრომოსომაში.

ბაქტერიოფაგების გამრავლება

ნუკლეინის მჟავების გენეტიკური როლის შესახებ მეორე მნიშვნელოვან არგუმენტს წარმოადგენს ბაქტერიოფაგის გამრავლება. ა.ჰერშმა და მ.ჩეიზმა 1952 წელს შეისწავლეს T2 ფაგის გამრავლება. იგი ნაწლავის ჩხირის (Escherechia coli) ვირუსია, მცირე ზომისაა, შედგება ჰექსაგონალური ფორმის თავისაგან (მასში მოთავსებულია დნმ-ის მოლეკულა) და გრძელი კუდისაგან. ფაგი გარედან დაფარულია ცილოვანი გარსით-კაფსიდით. კუდი ცილინდრული ფორმისაა და ბოლოვდება ბაზალური ფირფიტით. იგი აღჭურვილია ექვსი კბილაკით, რომლიდანაც გამოდის თითო ფიბრილი. ე.ი. ფაგი ორი მაკრომოლეკულური კომპონენტისაგან ცილისა და დნმ-გან შედგება (სურ.3.24).

ცდებში ა.ჰერშმა და მ.ჩეიზმა ბაქტერიოფაგის ცილა მონიშნეს ^{35}S რადიაქტიური იზოტოპით. გოგირდს ცილის შემადგენელი ორი ამინომჟავა ცისტეინი და მეთიონინი შეიცავს. დნმ კი მონიშნეს ^{32}P ფოსფორის იზოტოპით. ფოსფორის 99% T2 ფაგის დნმ-შია მოთავსებული. იზოტოპებით მონიშნული ფაგით დაასნებოვნეს ბაქტერიები. საწყისი პერიოდის შემდეგ (ფაგის ადსორბცია ბაქტერიაზე) ფაგები ჩამორეცხვით ჩამოაცილეს ბაქტერიებს. ამდაგვარი პროცედურით ^{35}S-ის 80% სცილდება ბაქტე-



სურ.3.24. ფაგის გამრავლება

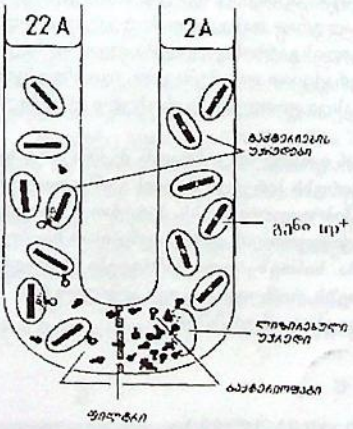
რიებს და ფაგის შემდგომ განვითარებაზე გავლენას არ ახდენს. ^{32}P-ის ძირითადი მასა არ სცილდება უჯრედებს, ვინაიდან უჯრედში იყო შეჭრილი.

გამოირკვა, რომ ბაქტერიაზე ფაგის ადსორბციის პროცესში ეს უკანასკნელი კუდით ემაგრება ბაქტერიის ზედაპირს. კუდზე არსებული ფერმენტი შლის ბაქტერიის გარსის უბანს, ფაგის კუდის შალითა იკუმშება, ცენტრალური მილი იჭრება უჯრედში და ფაგის თავში არსებული დნმ მილის გავლით გადადის ბაქტერიის უჯრედში. ინფიცირებიდან 20 წუთის შემდეგ უჯრედი იშლება და საშუალოდ გამოთავისუფლდება 100 შვილეული ფაგის ნაწილაკი (იხ.სურ.3.24).

ამ ექსპერიმენტით დამტკიცდა, რომ დნმ-ს აქვს თვითწარმოქმნის უნარი: ბაქტერიულ უჯრედში შედის დნმ-ის ერთი მოლეკულა და დაშლილი ბაქტერიიდან გამოდის ფაგის მრავალი ნაწილაკი, რომლებიც შეიცავენ დნმ-ის თითო მოლეკულას. ამასთან, დნმ შეიცავს მემკვიდრულ ინფორმაციას: დნმ-ში არსებული ინფორმაციის მიხედვით უჯრედში სინთეზირებულ თითოეულ ფაგს აქვს ისეთივე სახის აგებულების და ქიმიური შედგენილობის ცილის გარსი, როგორც საწყის ნაწილაკს.

ტრანსდუქცია

დნმ-ის გენეტიკური ფუნქციის სარწმუნო პირდაპირი არგუმენტია ტრანსდუქციის მოვლენა, რომელიც 1951 წ. აღმოაჩინა ნ.ზინდერმა და ჯ.ლედერბერგმა. ტრანსდუქციას უწოდებენ ერთი ბაქტერიული უჯრედიდან ფაგის მეშვეობით მეორეში დნმ-ის მონაკვეთის (ბუნებრივია, გენის) გადატანას. ფაგები ორ კატეგორიად იყოფა: ვირულენტური და ზომიერი. ვირულენტური ფაგი უჯრედში შეჭრისას იწვევს ლიტიურ რეაქციას. ინფექციური ნაწილაკები მრავლდებიან, მწიფდებიან და ფაგის



სურ.3.25. 22A შტამი ვერ ასინთეზებს ტრიპტოფანს (trp⁻). 2A შტამს გააჩნია ტრიპტოფანის მასინთეზებელი (trp⁺) გენი და ახდენს ამ ამინომჟავას სინთეზს

შეჭრიდან 20 წუთის შემდეგ უჯრედს შლიან. ზომიერი ფაგი იწვევს როგორც ლიტიურ, ისე ლიზოგენურ რეაქციას. ლიზოგენური რეაქციის დროს ფაგი გადადის პროფაგის მდგომარეობაში, ვირუსის დნმ ინტეგრირდება ბაქტერიის ქრომოსომაში და მასთან ერთად სინქრონულად რეპლიცირდება.

ბაქტერიას, რომელიც შეიცავს პროფაგს, **ლიზოგენურს** უწოდებენ. ასეთი უჯრედი იმუნური ხდება იმ ფაგების მიმართ, რომლებმაც ლიზოგენურობა გამოიწვიეს, ზოგჯერ ლიზოგენურ კულტურაში ხდება ფაგის ინფექციური ნაწილაკების მომწიფება და უჯრედის ლიზისი.

ტრანსდუქციის არსი შემდეგში მდგომარეობს: U-ს ფორმის მილის (შუაში გამოჯვნულია ბაქტერიული ფილტრით) ერთ ნახევარში მოათავსეს სალმონელის

Salmonella typhimurium 22A შტამი. იგი ვერ ახდენდა ტრიპტოფანის (trp) სინთეზს, ხოლო მეორე მხარეს 2A შტამი, რომელიც ასინთეზებდა ამ ამინმჟავას (trp⁺).

U-ს მაგვარ მილში ამ ორი შტამის ინკუბაციის შემდეგ 22A შტამი დაითესა მყარ არეზე. გამოირკვა, რომ ზოგიერთმა ბაქტერიულმა უჯრედმა შეიძინა ტრიფტოფანის სინთეზის უნარი. ასეთი უჯრედები 1.10⁵ სიხშირით წარმოიქმნებოდა. გამოირკვა, რომ 2A შტამის ლიზოგენურ უჯრედებში ფაგის დნმ-ის დეინტეგრაციის დროს ხდებოდა ტრიფტოფანის მასინთეზებელი დომინანტი გენის წარტაცება ბაქტერიის ქრომოსომიდან. ბაქტერიოფაგი თავისუფლად გადიოდა ბაქტერიულ ფილტრში, იჭრებოდა 22A შტამის უჯრედში და მასში შეჰქონდა ქრომოსომის მონაკვეთი, რომელშიც trp⁺ გენი იყო მოთავსებული. გენეტიკური რეკომბინაციით ხდებოდა ამ მონაკვეთის ინტეგრაცია ბაქტერიულ ქრომოსომაში, რის გამოც ზოგიერთი ბაქტერიული უჯრედი ტრიპტოფანის სინთეზის უნარს იძენდა (იხ.სურ.3.25).

რნმ-ის გენეტიკური ფუნქცია

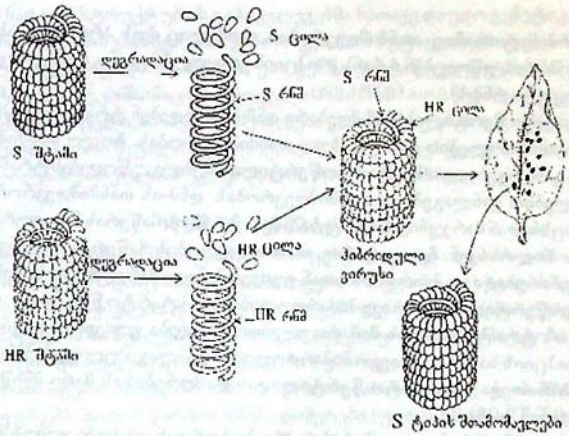
უჯრედული ორგანიზაციის მქონე ორგანიზმებში მემკვიდრული ფუნქციის გენეტიკურ მასალას მხოლოდ დნმ წარმოადგენს. ზოგიერთ ვირუსში, მაგ. თამბაქოს მოზაიკის ვირუსი-თმვ, პოლიომიელიტისა და ენცეფალიტის გამომწვევ ვირუსებში, რეტროვირუსებში, ზოგიერთ ბაქტერიოფაგში მემკვიდრულ ინფორმაციას რნმ შეიცავს.

ცდებით დამტკიცებულ იქნა, რომ ამ სახის ვირუსებში მემკვიდრულობის ფუნქცია რნმ-თანაა დაკავშირებული. ცდები ჩაატარეს თმვ-ზე. იგი ცილინდრული ფორმისაა, შუაში მოთავსებულია რნმ-ის სპირალურად დახვეული მოლეკულა, ხოლო გარს აკრავს ცილოვანი გარსი. რნმ-ისა და ცილის გარსის დაცილება ადვილად ხდება. თუ თამბაქოს ფოთოლს ვირუსის ცილის ფრაქციით დავაშუშავებთ, იგი ინფექციას არ იწვევს. რნმ-ის ფრაქციით დამუშავებისას კი ფოთლებს ნეკროზული ლაქები უჩნდებათ.

თმვ-ის ორი განსხვავებული შტამიდან ფრანკლინ-კონრადმა შექმნა ორი ჰიბრიდული ვირუსი: ერთი სახის ჰიბრიდულ ვირუსს პირველი შტამის გარსი და მეორე შტამის რნმ გააჩნდა, ხოლო მეორე სახის ჰიბრიდულ ვირუსს, პირიქით – პირველი შტამის რნმ და მეორე შტამის ცილა. თამბაქოს ფოთლის დასნებოვნებისას ხდებოდა ვირუსული ნაწილაკების რეპროდუცირება. სინთეზებული ჰიბრიდები ახდენდნენ ისეთი შეღგენილობის ცილის გარსის სინთეზს, რომლიდანაც იყო აღებული რნმ. ჰიბრიდული შტამების რეპროდუქცია არ ხდებოდა (სურ.3.26).

გენის ნატიფი აგებულება

გენი გენეტიკური ინფორმაციის სტრუქტურული ერთეულია. იგი წარმოადგენს დნმ-ის (ზოგიერთ ვირუსებში რნმ-ის) მონაკვეთს, რომელიც კოდირებს საინფორმაციო ან სატრანსპორტო რნმ-ს. ორგანიზმში გენთა ერთობლიობა ქმნის გენოტიპს. ტერმინი "გენი" 1909 წელს შემოიღო ვ.იოჰანესმა. გენის თეორია დაამუშავეს თ.მორგანმა და

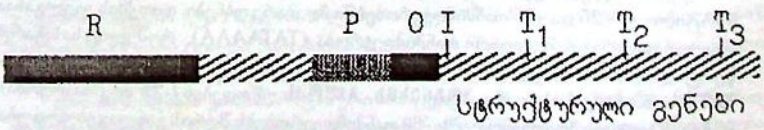


სურ.3.26.რნმ-ის გენეტიკური ფუნქციის შესწავლა თამბაქოს მოზაიკის ვირუსში (თმვ). ვირუსის დაყოფა (სეგრეგაცია) რნმ-ისა და ცილის სუბერთეულებად. S და HR შტამების სუბერთეულებისაგან ჰიბრიდული ვირუსის რეკონსტრუირება. მცენარის ინფიცირების შედეგად მიღებულ შთამომავლებში ცილის სტრუქტურას განსაზღვრავს რნმ. ჰიბრიდული თმვ-ის ცილის თვისებები შთამომავლობას არ გადაეცემა

მისმა თანამშრომლებმა. მათ დაადგინეს, რომ გენი არის ფუნქციის, რეკომბინაციისა და მუტაციის ელემენტარული ერთეული. ჩვენი საუკუნის 20-იან წლებში ს.სერებროვსკიმ და ნ.დუბინინმა დროზოფილაზე ჩატარებული გამოკვლევებით დაადგინეს, რომ გენი რთული აღნაგობისა. სადღეისოდ დადგენილია, რომ გენი წრფივად განლაგებული დისკრეტული უბნებისაგან შედგება (სურ.3-27).

როგორც სურათიდან ჩანს, გენში შეიმჩნევა რნმ-პოლიმერაზას დაკავშირების უბანი (p) და რიბოსომის დაკავშირების უნარის მქონე თანმიმდევრობა (R). გარდა აღნიშნულისა, მნიშვნელოვანია მაინიცირებელი (სასტარტო წერტილი) და ტერმინირებადი კოდონების (T_1, T_2 და T_3) უბნები. მათ შორის განლაგებული კოდონები განაპირობებენ მოცემული გენის მიერ სინთეზებული ცილის მოლეკულის ამინმჟავურ თანმიმდევრობას.

გენის ექსპრესია იწყება პრომოტორთან რნმ-პოლიმერაზას დაკავშირებით, რომლის შემდეგ ფერმენტი სასტარტო წერტილიდან იწყებს მოძრაობას მატრიცის გას-

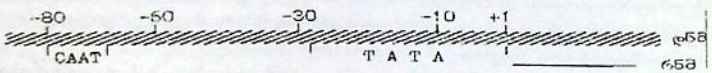


სურ.3-27.გენის რეგულატორული ელემენტების ზოგადი სქემა

წვრივ ტერმინატორამდე. თანმიმდევრობას, რომელიც ძევს პრომოტორსა და ტერმინატორს შორის უწოდებენ ტრანსკრიპციის ერთეულს (უბანი, რომელიც კოდირებს ერთ მოლეკულა რნმ-ს).

სასტარტო წერტილის წინ მდებარე დნმ-ს უწოდებენ ტრანსკრიპციის საწინააღმდეგო მიმართულებით განლაგებულ თანმიმდევრობას. ხოლო თანმიმდევრობას, რომელიც განლაგებულია სასტარტო წერტილის შემდეგ, უწოდებენ ტრანსკრიპციის მიმართულებით განლაგებულ თანმიმდევრობას. დნმ-ის თანმიმდევრობის ჩაწერა ხდება მარცხნიდან მარჯვნივ, რაც შეესაბამება 3'-რნმ-ის ჩაწერას 5'-კიდურა ბოლოდან 3'-კიდურა ბოლოსაკენ. ჩვეულებრივ, თანმიმდევრობის ჩაწერას ახდენენ მხოლოდ ტრანსკრიბირებადი ჯაჭვიდან. ამასთან ფუძეების მდგომარეობის აღნიშვნას იწყებენ სასტარტო წერტილიდან ორივე მიმართულებით: სასტარტო წერტილი აღინიშნება, როგორც +1. ტრანსკრიპციის მიმართულებით იზრდება ფუძეების რიგითი ნომერი. ტრანსკრიპციის საწინააღმდეგო მიმართულებით განლაგებულ ფუძეებს აღნიშნავენ მინუსი ნიშნით და სასტარტო წერტილიდან დაშორებისას მათი მნიშვნელობები იზრდება (სურ.3-28).

რნმ-პოლიმერაზას დაკავშირებას პრომოტორთან უზრუნველყოფს რამდენიმე უბანი. განვიხილოთ პროკარიოტული გენის პრომოტორთან რნმ-პოლიმერაზას დაკავშირების უბნები. დაკავშირებისათვის აუცილებელია ორი სახის თანმიმდევრობა: ფერმენტის შეცნობისა და მტკიცე დაკავშირების უბნები. შეცნობის უბანს წარმოადგენს ჰექსანუკლეოტიდური თანმიმდევრობა (TTGACA) –35 ნუკლეოტიდური ნაშთის ცენტრით. აღნიშნულ უბანს –35 თანმიმდევრობას უწოდებენ. ფერმენტის მტკიცე დაკავშირების ცენტრი ასევე შეიცავს 6 ნუკლეოტიდურ თანმიმდევრობას (TATAAT), რომელსაც პრიბნოვის ბლოკს უწოდებენ. იგი განლაგებულია სას-



სურ.3-28.ეუკარიოტული რნმ-პოლიმერაზას პრომოტორის უბნები

ტარტო წერტილიდან 10 ნუკლეოტიდის წყვილის სიგრძე'ზე ტრანსკრიპციის საწინააღმდეგო მიმართულებით. ამიტომ აღნიშნულ ბლოკს –10 მდგომარეობასაც უწოდებენ. გარდა აღნიშნული უბნებისა, მნიშვნელოვანია დნმ-ის ორმაგი სპირალის გაშლის (დაცარვის) უბანი, რომელიც მოიცავს პრიბნოვის ბლოკის მარჯვენა ბოლოს და სასტარტო წერტილს: -9 - +3 ნუკლეოტიდური წყვილის ფარგლებში.

ეუკარიოტული გენის შემთხვევაში მნიშვნელოვანია სამი უბანი: სასტარტო წერტილი და –25 და –75 თანმიმდევრობებში მდებარე უბნები. თითქმის ყველგანაა 7 ნუკლეოტიდისაგან შემდგარი თანმიმდევრობა (TATAAAA), რომელიც სასტარტო წერტილიდან 19-27 ნუკლეოტიდური წყვილითაა დაშორებული. ამ თანმიმდევრობას TATA-თანმიმდევრობას ანუ ჰოგნესის ბლოკს უწოდებენ (-25 მდგომარეობა). ჰოგნესის ბლოკის მომდევნოა –70 - -80 თანმიმდევრობებს შორის განლაგებული უბანი (GGCCAATCT), მას აღნიშნავენ, როგორც CAAT-ბლოკი ან –75 მდგომარეობა (სურ.3.28).

გენის ნატიფი სტრუქტურის გამოკვლევებმა სათავე დაუდო გენეტიკაში მოლეკულური ერთეულების გამოყენებას. გამოირკვა, რომ მუტაციის ერთეული (მუტონი) ერთ წყვილ ნუკლეოტიდს შეადგენს, ე.ი. გენში ერთი ნუკლეოტიდის ცვლილება იწვევს მუტაციას. რეკომბინაციის ერთეული (რეკონი) ორი წყვილი ნუკლეოტიდის ტოლია. უბნების გაცვლა, რომელიც შეიძლება კროსინგოვერის დროს გენის შიგნით განხორციელდეს, ორი წყვილი ნუკლეოტიდის ტოლია. ფუნქციური ერთეული (ცისტრონი) რამდენიმე ათეული ნუკლეოტიდის ტოლი აღმოჩნდა.

დნმ-ის რეპარაცია

უჯრედში მიმდინარე სპონტანური პროცესების გარდა დნმ-ის დაზიანებას იწვევს მაიონიზებელი რადიაციის, ულტრაიისფერი სხივებისა და სხვადასხვა ქიმიური ნივთიერებების ზემოქმედება. დაზიანების აღდგენა (რეპარაცია) შესაძლებელია სხვადასხვა სისტემების საშუალებით განხორციელდეს: ფოტორეაქტიულობა, ექსციზიური რეპარაცია და რეპლიკაციის შემდგომი რეპარაცია.

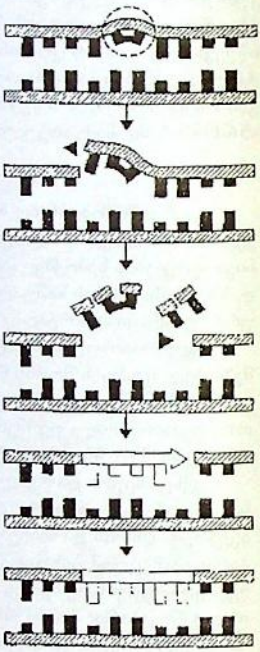
ულტრაიისფერი სხივებით დნმ-ის დაზიანებისას ერთი ჯაჭვის პირიმიდინის მეზობელ ფუძეებს შორის წარმოიქმნება დიმერები (უფრო ხშირად T-T დიმერი). ეს დაზიანება აღდგება ხილული (ლურჯი უბანი) სინათლით (ფოტორეაქტიულობა). ამასთან, რეპარაციული ფერმენტი ხლეჩს დიმერს და კომპლემენტურ ჯაჭვებს შორის აღადგენს T-A წყალბადურ ბმებს.

ექსციზიური და რეპლიკაციის შემდგომი რეპარაცია არ არის დამოკიდებული სინათლეზე. ექსციზიური (ლათინურიდან excisio-ამოკვეთა) რეპარაციის დროს ამოიკვეთება დნმ-ის დაზიანებული უბანი. ფოტორეაქტიულობა და ექსციზიური რეპარაცია შეცდომების გარეშე მიმდინარეობს და ამის გამო არ იწვევენ მუტაციებს. უჯრედი იყენებს, აგრეთვე, SOS-რეპარაციას, რომლის დროსაც ერთჯაჭვიანი დნმ-ის დაგროვება წარმოადგენს რეპარაციაში მონაწილე ცილების კოდირებადი გენების (15-მდე გენი) ტრანსკრიპციის სიგნალს.

შეცდომების თავიდან აცილების მექანიზმები დაფუძნებულია მარტივ ფერმენტულ რეაქციებზე, თუმცა თვითონ შეცდომების გასწორების (კორექციის) მექანიზმი-რეპარაცია რამდენადმე რთული პროცესია. ამჟამად რეპარაციის ერთ-ერთი ყველაზე კარგად შესწავლილი მექანიზმია პირიმიდინის დიმერის ამოკვეთა. ამ პროცესში მნიშვნელოვანია ოთხი ფერმენტული სისტემა (სურ.3-29): მათ შორის პირველი-ულტრაიისფერსპეციფიკური ენდონუკლეაზა ეძებს დაზიანების ადგილს და 5'-კიდურა ბოლოდან ახდენს დიმერის ახლოს ერთჯაჭვიან გახლეჩას. დიმერის შემცველი უბანი გამოიბურცება ორმაგი სპირალიდან. შედეგად I დნმ-პოლიმერაზა ახდენს რეპარაციულ სინთეზს 5'→3' მიმართულებით. ამ დროს დედის როლს გახლეჩილი ჯაჭვის 3'-კიდურა ბოლო ასრულებს, ხოლო მატრიცის როლს-ინტაქტური კომპლემენტური ჯაჭვი. მომდევნო ეტაპზე დნმ-პოლიმერაზას 5'→3' ნუკლეაზური აქტიურობის საშუალებით ამოიკვეთება პირიმიდინის დიმერის შემცველი უბანი. დაზიანებული ჯაჭვის დარჩენილი ნაწილი აღდგება დნმ-ლიგაზას საშუალებით.

დნმ-ში მიმდინარეობს სპონტანური პროცესებიც. მაგ. ციტოზინი სპონტანურად დეზამინირდება და წარმოიქმნება ურაცილი. წარმოქმნილი ურაცილი უწყვილდება ადენინს, შედეგად, ერთ-ერთ შვილეულ ჯაჭვში, საწყისი G-C წყვილის ნაცვლად

იქნება A-U წყვილი. მაშასადამე ციტოზინის დეზამინირება მუტაგენურია. მუტაციის თავიდან აცილება შეიძლება დნმ-ის მოლეკულაში უცხო ურაცილის შემცნობი რეპარაციული სისტემის საშუალებით. ურაცილ-დნმ-გლიკოზიდაზა აჰ იდროლიზებს ურაცილის ნაშთის გლიკოზიდურ ბმას დეზოქსირიბოზასთან. ამ ეტაპზე დნმ-ის ჩონჩხი ინტაქტური რჩება, მხოლოდ ერთი ფუძე აკლია. შემდეგ ეტაპზე სპეციფიკური ენდონუკლეაზა შეიცნობს ამ დეფექტს და ამოგდებული ფუძის გვერდით ხლეჩს ჩონჩხს. I დნმ-პოლიმერაზა ამოკვეთს დარჩენილ დეზოქსირიბოზოფოსფატს და ჩართავს დაუზიანებელი ჯაჭვის გუანინის კომპლემენტურ ციტოზინს. უკანასკნელ ეტაპზე რეპარირებული ჯაჭვი აღდგება დნმ-ლიგაზას საშუალებით.

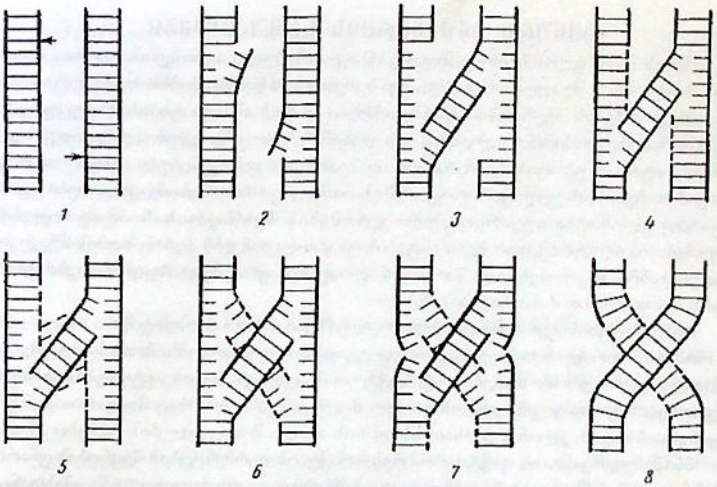


სურ.3-29.თიმინის დიმერის შემცველი დნმ-ის უბნის რეპარაცია

რეკომბინაციის მოლეკულური მექანიზმები

რეკომბინაცია ფართო მნიშვნელობით არის შთამომავლობაში მშობლების გენეტიკური მასალის გადანაწილება (იხ.კომბინაციური ცვალებადობა), ვიწრო მნიშვნელობით კი დნმ-ის მოლეკულების ურთიერთქმედება, რომლის დროსაც ხორციელდება დნმ-ის მონაკვეთების ერთი მოლეკულიდან მეორეზე გადატანა. დნმ-ის მოლეკულებს შორის შეიძლება მოხდეს როგორც მონაკვეთების ურთიერთგაცვლა (**რეციპროკული რეკომბინაცია**), ისე მონაკვეთის ცალმხრივი გადატანა (**არარეციპროკული რეკომბინაცია**). რეკომბინაცია ეუკარიოტებში ძირითადად სასქესო უჯრედებში მიმდინარეობს (იხ. მეიოზი, კროსინგოვერი). ზოგჯერ დაბალი სიხშირით სომატურ უჯრედებშიც (მიტოზი) ხდება. რეკომბინაციის (ვიწრო მნიშვნელობით) სამ ფორმას გამოყოფენ: ზოგადს ანუ კროსინგოვერს, საიტ-სპეციფიკურს და რეპლიკაციურს.

რეკომბინაციას, რომელიც მოიცავს დნმ-ის ჰომოლოგიურ თანმიმდევრობებს შორის ურთიერთქმედებას, **ზოგადი რეკომბინაცია** ეწოდება. თანმიმდევრობების სპეციფიკურ წყვილებს შორის რეკომბინაციას კი **საიტ-სპეციფიკურს** უწოდებენ. იგი განაპირობებს ფაგის გენომის ინტეგრაციას ბაქტერიულ ქრომოსომაში. რეკომბინაციის მესამე ტიპის შემთხვევაში დნმ-ის ერთი თანმიმდევრობა ჩაერთვება მეორეში მათ შორის ჰომოლოგიის არსებობაზე დამოუკიდებლად. ასეთი **რეპლიკაციური რეკომბინაცია** განაპირობებს გენომში განსაზღვრული ელემენტების გადანაცვლების უნარს, ე.ი. გენომის დინამიურობას.



სურ.3-30.გენეტიკური რეკომბინაციის ზოგადი სქემა. ახსნა მოცემულია ტექსტში.

რეკომბინაციის პროცესი ზოგადად შეიძლება ასე წარმოვიდგინოთ (სურ.3-30). რეკომბინაცია იწყება დნმ-ის ორი დაწყვილებული მოლეკულის (სურ.3-30-1) ჰომოლოგიური ჯაჭვების შესაბამის წერტილებში გაკვეთით (სურ.3-30-2). შედეგად წარმოქმნილი თავისუფალი ბოლოები ხდება მოძრავი (სურ.3-30-3) და თითოეული ჯაჭვი უწყვილდება მეორე მოლეკულაში მყოფ კომპლემენტურ ჯაჭვს (რეციპროკული მიმოცვლა-სურ.3-30-4). ამრიგად, რეციპროკული მიმოცვლის შედეგად ორი წყვილჯაჭვიანი დნმ უკავშირდება ერთმანეთს. დასაწყისში დაკავშირება ხდება წყალბადური ბმების საშუალებით, შემდეგ კი წარმოიქმნება კოვალენტური ბმა. შეჭიდულ მოლეკულაში თითოეულ ორჯაჭვიან დნმ-ს აქვს უბანი, რომელშიც დნმ-ის მშობლიური მოლეკულის თითო ჯაჭვია ლოკალიზებული. ასეთმა უბანმა მიიღო ჰიბრიდული დნმ-ის ანუ ჰეტეროდუპლექსური დნმ-ის სახელწოდება. მომდევნო ეტაპზე ქოლიდეის სტრუქტურა (ჯვარისმაგვარი სტრუქტურის წარმომქმნელი პალინდრომული თანმიმდევრობა) გადაინაცვლებს დნმ-ის ჯაჭვის გასწვრივ (სურ.3-30-5). ამასთან, რეკომბინაციულ შუალედურ სტრუქტურას შეუძლია ნებისმიერი მიმართულებით გადანაცვლება, ხოლო ბრუნვის შედეგად შეიძლება წარმოიქმნას ბრტყელი მოლეკულა (სურ.3-30-6). შეჭიდული მოლეკულის ორ ცალკეულ წყვილჯაჭვიან მოლეკულად გაყოფის მიზნით საჭიროა ორი დამატებითი გაკვეთა (სურ.3-30-7), რის შედეგად წარმოიქმნება დნმ-ის ორი რეკომბინანტული მოლეკულა.

გენური ინჟინერიის საფუძვლები

დნმ-ის შესწავლის მეთოდებიდან განსაკუთრებული აღნიშვნის ღირსია მეთოდები, რომელთა საშუალებით სხვადასხვა ბუნებისა და წარმოშობის ნუკლეოტიდური თანმიმდევრობების შეერთებით წარმოიქმნება დნმ-ის ახალი ტიპის მოლეკულები. მათ ხშირად რეკომბინანტულ დნმ-ს უწოდებენ, ხოლო გამოყენებულ მეთოდებს-გენურ ინჟინერიას. ეს მეთოდები თანაბრად შეიძლება გამოყენებულ იქნეს როგორც პროკარიოტების, ასევე ეუკარიოტების მიმართ, თუმცა მათი შესაძლებლობები უფრო აშკარად ვლინდება ეუკარიოტული გენომების შესწავლისას. ამ მეთოდების საფუძველია რესტრიქციის ფერმენტების უნარი-დაყონ დნმ მცირე ზომის ნუკლეოტიდურ თანმიმდევრობებად და წარმოქმნილი დნმ-ის ფრაგმენტის კლონირება ნებისმიერი რაოდენობით მისი მიღების მიზნით.

რესტრიქციის ფერმენტები ენდონუკლეაზებია, მათი ბიოლოგიური როლი დნმ-ის ორმაგი სპირალის ორივე ჯაჭვის გაკვეთაში მდგომარეობს. მათი საშუალებით შესაძლებელია ქრომოსომების სტრუქტურის კვლევა, ნუკლეოტიდების თანმიმდევრობების განსაზღვრა დნმ-ის გრძელ მოლეკულაში და, რაც მთავარია გენური ინჟინერიისათვის, კლონირებისათვის დნმ-ის ახალი მოლეკულების მიღება.

მნიშვნელოვანია ის ფაქტი, რომ რესტრიქციის ფერმენტების შეცნობის უნარის მქონე ფუძეების წყვილების თანმიმდევრობა წარმოადგენს პალინდრომს. ამასთან, ამ ფერმენტების უმრავლესობა შეიცნობს ფუძეების ოთხიდან ექვსამდე წყვილის სიგრძის დნმ-ის თანმიმდევრობებს და ორივე ჯაჭვის ამ უბანში აჰიდროლიზებს ფოსფოდიეთერულ ბმებს.

დღეისათვის გამოყოფილია და დახასიათებულია 100-ზე მეტი ფერმენტი. მათი სახელწოდება წარმოდგება მიკროორგანიზმის სახეობისა და გვარის შემოკლებული დასახელების სამი ასოსა (მაგ. Eco-E.coli-გან, Hin-Haemophilus influenzae-გან), შტამისა (EcoR) და რომაული ციფრისაგან (იმ შემთხვევაში თუ შტამში არის რამდენიმე ასეთი ფერმენტი).

შესაცნობი ნუკლეოტიდური თანმიმდევრობის ხასიათზე, გახლეჩის ადგილზე და რეაქციის პირობებზე დამოკიდებულებით რესტრიქტაზები სამ კლასად იყოფა: I, II და III ტიპის.

დნმ-ის კლონირება შესაძლებელია ბაქტერიული პლაზმიდებისა და ფაგების გასაოცარი უნარის წყალობით, მათ გენომში დნმ-ის დამატებითი თანმიმდევრობების ჩართვის შემდეგ ისინი ინარჩუნებენ ნორმალური ფუნქციონირების უნარს. ჩართვა იწვევს ჰიბრიდული ან ქიმერული პლაზმიდებისა და ფაგების წარმოქმნას, რომლებიც შედგება საკუთარი გენომისა და ჩართული "უცხო" დნმ-ის თანმიმდევრობებისაგან. ასეთი ჰიბრიდული თანმიმდევრობები ბაქტერიებში რეპლიცირდება ზუსტად ისევე, როგორც საწყისი პლაზმიდები ან ფაგები და ამიტომ შეიძლება მათი დიდი რაოდენობით მიღება. ჩანერგილი ფრაგმენტების ასლები შემდეგ შეიძლება შეილეული უჯრედებიდან ისევ გამოვყოთ. იმის გამო, რომ "უცხო" თანმიმდევრობების ჩართვა ძირითადად არ ახდენს გავლენას ქიმერული შტამების თვისებებზე, ამიტომ ასეთი მეთოდით დნმ-ის ნებისმიერი თანმიმდევრობის კლონირება შეიძლება, ე.ი. ფაგი ან პლაზმიდა უზრუნველყოფს "უცხო" დნმ-ის, როგორც გენომის ინერტული ნაწილის, გადატანას, ამიტომ მათ ხშირად უწოდებენ კლონირებად ვექტორებს.

გენების კლონირებისა და ექსპრესიის მეთოდები გამოყენებულია ბიოტექნოლოგიაში. მათ ფართო აღიარება ჰპოვეს მედიცინაშიც. ბიოლოგიურად აქტიური ნივთიერებები, რომელთა მიღება მხოლოდ ძალიან მცირე რაოდენობით შეიძლებოდა, დღეს დიდი რაოდენობით მიიღება და გამოიყენება დაავადებათა მკურნალობისათვის. მაგ. ინსულინი, რომელიც მიიღება E.coli-ში ჩართული ადამიანის ინსულინის გენის საშუალებით, გამოცადეს ადამიანებზე. იგი ადამიანის ჯანმრთელობისათვის უსაფრთხო აღმოჩნდა. თუ ადრე ინტერფერონები მიიღებოდა ადამიანის ლეიკოციტებიდან მცირე რაოდენობით, ამჟამად მისი წარმოება მიმდინარეობს რეკომბინანტული დნმ-ის ტექნოლოგიის საფუძველზე. ამ უკანასკნელის გამოყენებით მიიღება, აგრეთვე, ზრდის ჰორმონი და სხვადასხვა ვაქცინები.

უჯრედული ინჟინერიის საფუძვლები

მეთოდების სხვა ჯგუფი, რომელიც გამოყენებულია უჯრედულ ინჟინერიაში საშუალებას იძლევა მივიღოთ შიდასახეობრივი და სახეობათაშორისი ჰიბრიდები. მუშაობა მიმდინარეობს როგორც მცენარეული, ასევე ცხოველური უჯრედების კულტურებზე.

უჯრედების შერწყმის პროცესი ზოგადი მოვლენაა და იგი შეიძლება ინდუცირებული იყოს ცხოველურ უჯრედებში, მცენარეების პროტოპლასტებსა და მიკროორგანიზმებში. პროტოპლასტების (მემბრანით შემოფარგლული ციტოპლაზმური წარმონაქმნები შიდაუჯრედული ორგანოიდებით) შერწყმის ინდუქციის მეთოდების შემუშავებამ დასაბამი მისცა მცენარეთა ჰიბრიდიზაციის – პარასექსუალური ანუ სომატური ჰიბრიდიზაციის ძალზე საინტერესო და პერსპექტიულ მეთოდს. ამ მეთოდის არსი იმაში მდგომარეობს, რომ მშობლებად გამოიყენება არა სასქესო უჯრედები (გამეტები), არამედ მცენარის სხეულის (სომის) უჯრედები, რომლებიდანაც ახდენენ პროტოპლასტების იზოლაციას. სქესობრივი შეჯვარებისაგან განსხვავებით, სადაც პროტოპლაზმა ცალმხრივად გამორიცხება, სომატური ჰიბრიდიზაციის დროს წარმოქმნილ ჰიბრიდში ორივე პარტნიორს აღენიშნება ტოლფასი ციტოპლაზმური სტატუსი.

მცენარეთა ქსოვილების კულტურების საშუალებით შეიძლება სასოფლო-სამეურნეო კულტურების ჯიშების გაუმჯობესება: დაავადებისა და გარემოს არახელსაყრელი პირობების მიმართ მათი მდგრადობის, საქაროზისა და სახამებლის შემცველობისა და მოსავლიანობის ზრდა. ამ მეთოდით შეიძლება პროდუქტიული მერქნიანი ჯიშების გამოყვანა და სხვა.

უჯრედების შერწყმის გზით ძუძუმწოვრების უჯრედების შიდასახეობრივი ან სახეობათაშორისი ჰიბრიდების მიღება მეთოდურად უფრო ადვილია, ვიდრე მიკროორგანიზმებისა ან მცენარეების შემთხვევაში. ეს განპირობებულია ძუძუმწოვრების უჯრედებში უჯრედული კედლის უქონლობით.

ძუძუმწოვრების უჯრედების შერწყმის ერთ-ერთი მეთოდი ამჟამად ფართოდ გამოიყენება ბიოტექნოლოგიაში. ეს არის უჯრედული ხაზები, რომლებიც მიღებულ იქნა ჰიბრიდიზაციის დროს მიელომის (ანტისხეულების წარმომქმნელი უჯრედების სიმსივნე) უჯრედების მონაწილეობით (ე.წ. "ჰიბრიდომები"). მათი საშუალებით გამომუშავდება მონოკლონური ანტისხეულები. მეთოდი, რომელიც შემუშავდა კემ-

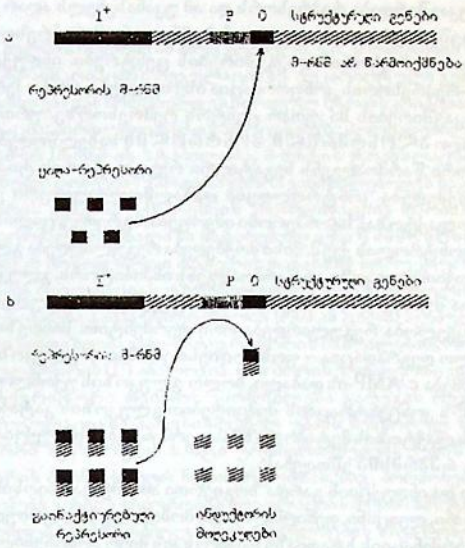
ბრიჯში ც.მილშტეინისა და სხვათა მიერ (1975 წ), დაფუძნებულია მიელომის უჯრედებთან შერწყმის ხარჯზე ანტისხეულების მწარმოებელი "უკვდავი" უჯრედების შექმნაზე.

მონოკლონური ანტისხეულები გამოიყენება ადამიანის სხვადასხვა დაავადებების დიაგნოსტიკასა და თერაპიაში. მაგ. სიმსივნის ანტიგენების მიმართ ანტისხეულები (ტოქსინებთან კოვალენტურად დაკავშირებულებს იმუნოტოქსინებს უწოდებენ) შეიძლება გამოვიყენოთ ადამიანის ორგანიზმში სიმსივნური უჯრედების გასანადგურებლად.

გენის მოქმედების რეგულაცია პროკარიოტებში

პროკარიოტებში გენეტიკური აქტიურობის ყველაზე მარტივი და ეფექტური კონტროლი ხორციელდება ტრანსკრიპციის დონეზე. აღნიშნული ტიპის რეგულაციის კლასიკური მაგალითია β–გალაქტოზიდაზას სინთეზის რეგულაციის სისტემა. E.coli-ის მიერ ლაქტოზის უტილიზაციის პროცესების შესწავლისას ფ.ჟაკობმა და ჟ.მონომ 1961 წელს მოგვაწოდეს გალაქტოზიდაზას სინთეზის უნარის მქონე გენების ჯგუფის (ოპერონის) სტრუქტურულ-ფუნქციური ორგანიზაციის მოდელი (სურ.3-31). ამ მოდელის მიხედვით ლაქტოზის ოპერონი (lac-ოპერონი) შეიცავს სამ სტრუქტურულ გენს: $lacZ^+$ (კოდირებს β–გალაქტოზიდაზას), $lacY^+$ (კოდირებს ლაქტოზას ტრანსპორტის უზრუნველმყოფელ გალაქტოზიდპერმეაზას) და $lacA^+$ (კოდირებს თიოგალაქტოზიდაცეტილაზას, რომლის ფიზიოლოგიური როლი უცნობია). ავტორებმა გამოთქვეს მოსაზრება, რომ სტრუქტურული გენების მოქმედება რეგულირდება უბნით, რომელსაც **ოპერატორი** (O^+) ეწოდება. იგი განსაზღვრავს სტრუქტურული გენების ექსპრესიის ხარისხს და ასრულებს ორ ფუნქციას: მისგან იწყება i-რნმ-ის სინთეზი დნმ-ის მოლეკულის ერთი ჯაჭვის გასწვრივ და იგი (ან მისი პროდუქტი) ურთიერთქმედებს რეპრესორის სპეციფიკურ მოლეკულასთან, რომლის სინთეზი ხორციელდება lac-ოპერონის შემადგენლობაში შემავალი გენი-რეგულატორის (I^+) საშუალებით. ამრიგად, სტრუქტურული გენების, პრომოტორისა (P) და ოპერატორის (O^+) უბნების ერთობლიობა წარმოქმნის ოპერონს, ამასთან, სტრუქტურული გენები (Z,Y,A) ყოველთვის ოპერატორის მარჯვნივაა განლაგებული. რაც შეეხება **რეგულატორულ გენს** (I^+), იგი შეიძლება იმყოფებოდეს ოპერონის მარცხნივ (სურ.3-31) ან საერთოდ არ იყოს მოცემულ ოპერონზე.

რეგულატორული გენის მოქმედება შეცვლილი გარემო პირობებითაა გამოწვეული. E.coli-თვის ნახშირბადის ერთადერთი წყარო შაქრებია. არის გენები, რომლებიც განუწყვეტლივ მოქმედებენ (მაგ. გლუკოზის დამშლელი), ფერმენტებს, რომლებიც ამ გზით სინთეზდება, **კონსტიტუციურს** უწოდებენ. გენების მეორე ჯგუფი მოქმედებს მხოლოდ მაშინ, როდესაც უჯრედში სუბსტრატი იმყოფება (მაგ. ლაქტოზა), სხვა შემთხვევაში გენები რეპრესირებულია. ე.ი. ლაქტოზა წარმოადგენს ინდუქტორს, რომელიც ახდენს β–გალაქტოზიდაზას ინდუქციას. ასეთ ფერმენტებს **ინდუცირებადი** ფერმენტები ეწოდება. მაგი სინთეზი უჯრედში სტრუქტურული გენებით ხორციელდება და მხოლოდ მაშინ ხდება, როდესაც იგი უჯრედს ესაჭიროება (სურ.3-31).



სურ.3-31. რეპრესორის, ინდუქტორისა და ოპერატორის ურთიერთქმედება lac- ოპერონის გენების ტრანსკრიპციის რეგულაციის პროცესში: ა-ინდუქტორის უქონლობისას რეპრესორი უკავშირდება ოპერატორს და აფერხებს რნმ-პოლიმერაზას დაკავშირებას პრომოტორთან; ბ-ინდუქტორი უკავშირდება რეპრესორს, აინაქტიურებს მას და აძლევს პრომოტორთან დაკავშირების შესაძლებლობას რნმ-პოლიმერაზას.

ფ.ჟაკობისა და ჟ.მონოს აზრით ოპერატორის უბანზე ტრანსკრიპციის რეგულაცია ხორციელდება რეპრესორით (I+-გენის პროდუქტით). მას ორი ფუნქცია აქვს: ოპერატორთან დაკავშირების შედეგად იორგუნება ტრანსკრიპცია და ინდუქტორთან დაკავშირების შედეგად ხდება რეპრესორ-ოპერატორის კომპლექსის დისოციაცია და ტრანსკრიპციის აღდგენა.

ამრიგად, რეპრესიის მექანიზმის საფუძველია რეპრესორის დაკავშირება ოპერატორთან, რის გამოც ნაწილობრივ მაინც ხდება რნმ-პოლიმერაზას შემცნობი ნუკლეოტიდური თანმიმდევრობის გადაფარვა, რეპრესორის მოქმედება კი რეგულირდება მისი შეეროებით ინდუქტორის (მაგ.ლაქტოზა) ან ეფექტორის მოლეკულებთან.

ცილა-რეპრესორის ურთიერთქმედება lac-ოპერონის ოპერატორთან განაპირობებს lac-გენების ნეგატიურ რეგულაციას. აღმოჩნდა, რომ პროცესზე გავლენას ახდენს ინდუქტორი. ასეთი რეგულაციის მექანიზმი შემდეგში მდგომარეობს: ინდუქ-

ტორი მტკიცედ უკავშირდება რეპრესორს და ამ უკანასკნელს აღარ ეძლევა შესაძლებლობა დაუკავშირდეს ოპერატორს. აღმოჩნდა, რომ რეპრესორს მოეპოვება ინდუქტორისა და ოპერატორის დაკავშირების ცენტრები. ინდუქტორის დაკავშირებისას ცილა-რეპრესორის კონფორმაცია ისე იცვლება, რომ ოპერატორი ველარ უკავშირდება დაკავშირების საკუთარ ცენტრს რეპრესორზე. ურთიერთქმედების ასეთმა ტიპმა მიიღო **ალოსტერული კონტროლის** სახელწოდება.

lac-რეპრესორი წარმოადგენს ნეგატიური რეგულატორის ტიპურ მაგალითს. რეპრესორის მოქმედება კონტროლდება დაბალმოლეკულური ეფექტორებით (მაგალითად, ალოლაქტოზა). lac-ოპერონი იმყოფება, აგრეთვე, ცილის – პოზიტიური რეგულატორის კონტროლის ქვეშ. მისი მოქმედება რეგულირდება გლუკოზით. უნდა აღინიშნოს, რომ თვით გლუკოზა არ წარმოადგენს ინჰიბიტორს. გლუკოზის ეფექტზე პასუხისმგებელია შუამავალი, რომლის როლსაცუჯრედში ასრულებს c-AMP. უჯრედში მისი შემცველობა რეგულირდება ორი ფერმენტით: სინთეზი – ადენილატციკლაზათი, ხოლო დეგრადაცია – ფოსფოდიესერაზათი. გლუკოზის თანაობისას უჯრედში შეინიშნება c-AMP-ის დაბალი, ხოლო გლუკოზის უქონლობისას – მაღალი დონე. ე.ი. c-AMP-ს კონცენტრაციის შემცირებით გლუკოზის კატაბოლიზმის პროდუქტი თრგუნავს ლაქტოზის მეტაბოლიზმის ფერმენტების ინდუქციას (ამ მოვლენას **კატაბოლური რეპრესია** ეწოდება).

რეპრესიისა და ინდუქციის გარდა ზოგიერთი ამინმჟავას ბიოსინთეზში (ტრიფტოფანი, ჰისტიდინი, ლეიცინი, ფენილალანინი) მონაწილე ბაქტერიული ოპერონების შესწავლისას ტერმინაციის სტადიაზე ჩ.იანოვსკის მიერ აღმოჩენილ იქნა კიდევ ერთი რეგულატორული ელემენტი, რომელსაც **ატენუატორი** უწოდეს. იგი ლოკალიზებულია ოპერატორსა და ტრიფტოფანის ბიოსინთეზის გზის პირველი ფერმენტის გენს შორის. ტრიფტოფანის სიჭარბისას ტრანსკრიპციის ინიციაცია ბლოკირდება ოპერატორთან ტრიფტოფან რეპრესორის კომპლექსის დაკავშირების შედეგად. უჯრედში ტრიფტოფანის კონცენტრაციის შემცირებისას მცირდება რეპრესიაც და იწყება ტრანსკრიპცია. აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ რნმ-პოლიმერაზას ზოგიერთი მოლეკულა ატენუატორის მიღწევისას შორდება მატრიცას, ხოლო დანარჩენები აგრძელებენ სინთეზს. ტრიფტოფანის კონცენტრაციის შემცირებისას იზრდება ატენუატორის უბნის გავლის უნარის მქონე რნმ-პოლიმერაზას მოლეკულების წილი. ამ პროცესს **ატენუაცია** უწოდეს.

პროკარიოტების გენების ექსპრესიის რეგულაცია ხორციელდება არა მარტო ცილა-რეგულატორების, დაბალმოლეკულური ეფექტორებისა და რეგულატორული ცენტრების (ატენუატორი), არამედ საიტ-სპეციფიკური რეკომბინაციის საშუალებითაც.

გენის მოქმედების რეგულაცია ეუკარიოტებში

ეუკარიოტული გენების ექსპრესიის კონტროლი შეიძლება განხორციელდეს როგორც ტრანსკრიპციის, ასევე სპლაისინგის დონეზე. გარდა ამისა, ეუკარიოტული უჯრედების დნმ ორგანიზებულია ნუკლეოსომების სახით, რომლებიც წარმოქმნიან უფრო მაღალი რიგის - ქრომატინის სტრუქტურებს. ქრომატინის ლოკალურ სტრუქტურაზე დამოკიდებულებით დნმ-ის არსებული უბნები შეიძლება იყოს რნმ-პოლი-

შერაზასათვის ხელმისაწვდომი ან მიუწვდომელი. ე.ი. ქრომატინის სტრუქტურა გავლენას ახდენს ტრანსკრიპციის რეგულაციაზე. ეუკარიოტული გენების ექსპრესიის რეგულაცია შეიძლება განხორციელდეს ბირთვულ (ტრანსკრიპცია: ინიციაცია, ტერმინაცია-ატენუაცია; ბირთვული რნმ-ის პროცესინგი:: პოლიადენილება, სპლაისინგი) და ციტოპლაზმურ (მ-რნმ-ის სტაბილობა, მ-რნმ-ის ტრანსლაციის ეფექტურობა) დონეზე. აღნიშნული დონეების გარდა საჭიროა განიხილებოდეს საკითხი სხვადასხვა ლოკუსებს შორის გენების ექსპრესიის კოორდინაციის თაობაზე. ასეთი შესაძლებლობების ფორმალური ანალიზი ჩატარებულ იქნა **ლევიდსონისა და ბრიტენის** მიერ. მათ მიერ მოწოდებული მოდელის თანახმად სტრუქტურული გენის აქტიურობის დადებით რეგულაციას უზრუნველყოფს რეცეპტორული საიტი, რომლის აგებულება შეესაბამება გამააქტიურებელის (რნმ ან ცილა) აგებულებას (სურ.3-32). ეს უკანასკნელი სინთეზდება გენი-ინტეგრატორის საშუალებით, რომელიც ბაქტერიული გენი-რეგულატორის (I') ანალოგია. მათ შორის ერთადერთი განსხვავება იმაშია, რომ გენი-ინტეგრატორი თვითონ ემორჩილება გარეგან რეგულაციას. მისი აქტიურობის რეგულაციაზე პასუხისმგებელ უბანს სენსორულ საიტს უწოდებენ. სავარაუდოა, რომ სენსორული საიტი ურთიერთქმედებს გენის ექსპრესიის რეგულაციის უნარის მქონე ქიმიურ ნივთიერებებთან, მაგ. ჰორმონებთან. აღნიშნული მოდელი გვიჩვენებს გენის აქტიურობის რეგულაციის მექანიზმს ტრანსკრიპციამდე, მაგრამ იგი შეიძლება გამოყენებულ იქნეს რეგულაციის სხვა დონეების მიმართაც.

ეუკარიოტული უჯრედები შეიცავს დნმ-თან დაკავშირების უნარის მქონე საიტსპეციფიკური ცილების დიდ რაოდენობას, რომელთა ძირითადი ფუნქცია გენის ექსპრესიის რეგულაციაა. ასეთი ცილების მიერთება იწვევს მათ გვერდით მდებარე გენების ტრანსკრიპციას (პოზიტიური რეგულაცია) ან დაორგუნვას (ნეგატიური რეგულაცია). მრავალუჯრედიანი ორგანიზმების უჯრედების სხვადასხვა ტიპს სხვადასხვა ცილა-რეგულატორი აქვს, შედეგად უჯრედების თითოეული ტიპი ტრანსკრიბირებს გენების საკუთარ კრებულს.

რაც შეეხება ქრომატინის სტრუქტურის როლს ტრანსკრიპციის პროცესში,

სურ.3-32.ეუკარიოტული გენის რეგულაციის დევიდსონისა და ბრიტენის სქემა.

აღმოჩნდა, რომ ინტენსიურად ტრანსკრიბირებადი თანმიმდევრობების უბანში ქრომატინს მოეპოვება I დნმაზას მიმართ ჰიპერმგრძნობიარე უბნები, რომელთა დელეცია წყვეტს ტრანსკრიპციას. აქვე უნდა აღინიშნოს ქრომოსომული დნმ-ის თანმიმდევრობების გარდაქმნებზე დაფუძნებული გენების ექსპრესიის კონტროლი. რეგულაციის ასეთი ტიპი აღმოჩენილი და შესწავლილია ისეთ ორგანიზმებში, როგორიცაა საფუარი S.cerevisiae, ტრიპანოსომები და B-ლიმფოციტები. აღნიშნული ფენომენის ასეთმა ფართო ფილოგენეტურმა გავრცელებამ განაპირობა ვარაუდი, რომ დნმ-ის გარდაქმნები ასევე განაპირობებს გენების რეგულაციას ორგანიზმის განვითარების პროცესში.

ჯ.ჰიუმ და რ.ქოლიდეიმ მოგვაწოდეს გენური აქტიურობის ჩართვაში დნმ-ის მეთილების ან დემეთილების მონაწილეობის შესახებ ზოგიერთი მოსაზრება. პირველი დაშვება იმაში მდგომარეობს, რომ გადართვაში მონაწილეობს ციტოზინგუანინის დუპლეტების მხოლოდ მცირე წილი (დნმ-ში ამ დუპლეტების დიდი რაოდენობაა, მაგრამ რეგულატორული როლი ყველას ვერ მიეწერება). მეორეც, გადართვისათვის მნიშვნელოვანი დუპლექსები უნდა იყოს უფრო გრძელი თანმიმდევრობების ნაწილი, რომლებიც შეიცნობა განსაზღვრული გენების მიმართ სპეციფიკური რეგულატორული ცილებით. დანარჩენი დუპლეტები თვითნებურადაა განლაგებული და არ გამოირჩევა სპეციფიკურობით.

გენის ექსპრესიის რეგულაციაში ჰისტონების მონაწილეობის რიგი დამამტკიცებელი მონაცემები მიღებულ იქნა in vitro ექსპერიმენტებში 1986 წელს ჯ.ქნეზეტიკისა და ჯ.ლუიზის მიერ. რ.კორნბერგის მიერ კი კონკრეტულად იქნა ნაჩვენები რნმ-პოლიმერაზას ფუნქციირების შეჩერება ნუკლეოსომებში TATA- ბლოკების შერჩევითი ჩართვისას. ამავე დროს ნაჩვენები იქნა ჰისტონების პოტენციური უნარი მონაწილეობა მიიღონ ინტაქტური უჯრედების გენების რეპრესიაში. სავარაუდოა, რომ ჰისტონები ხელს უშლიან დნმ-თან ბაზალური ფაქტორების დაკავშირებას. ამასთან, არ არის გამორიცხული, რომ გენების გააქტიურებისათვის ჰისტონური ოქტამერი უნდა გამონთავისუფლდეს TATA-ბლოკის კომპლექსიდან.

ტრანსლაციის დონეზე რეგულაცია დაკავშირებულია სხვადასხვა სახის იზოაქცეპტორული ტ-რნმ-ის არსებობასთან. მათ რიბოსომაზე გადააქვთ ერთი და იგივე ამინმჟავა, რომელიც მ-რნმ-ზე სხვადასხვა კოდონით შეიცნობა. პოლიპეპტიდის სინთეზი უჯრედში რეგულირდება აღნიშნული ტ-რნმ-ის თანაფარდობით. რეგულაციაში გარკვეული როლი შეუძლია შეასრულოს სუპრესორულმა ტ-რნმ (ტ-რნმ, რომელმაც მუტაციის შედეგად მიიღო ნონსენს-კოდონების შეცნობის უნარი). ასეთი ტ-რნმ-ის არსებობისას ცილის სინთეზი შეიძლება ნორმალურად წარიმართოს ნონსენს-მუტაციის წარმოქმნის შემთხვევაშიც კი.

ადამიანის გენეტიკის საკითხები

ადამიანის გენეტიკა წარმოადგენს როგორც ფუნდამენტურ, ისე გამოყენებით დარგს. ადამიანის გენეტიკურ კვლევას უდიდესი მნიშვნელობა აქვს. ის ფუნდამენტური დარგია, ვინაიდან ჩვენთვის ყველაზე მნიშვნელოვან, განვითარების უმაღლეს საფეხურზე მდგომ ობიექტში-ადამიანში სწავლობს მემკვიდრეობისა და ცვალება-

დობის კანონზომიერებებს. ამდენად, მიღებულ შედეგს აქვს ზოგადგენეტიკური მნიშვნელობა. ადამიანის გენეტიკა გამოყენებითიცაა, ვინაიდან სამედიცინო გენეტიკა არა მარტო პათოლოგიათა მემკვიდრეობასა და მათ წარმოშობის საკითხებს შეისწავლის, არამედ სახავს ამ დაავადებათა დიაგნოსტიკისა და მკურნალობის პერსპექტივასაც. ამდენად, ადამიანის გენეტიკა თანამედროვე მედიცინის ერთ-ერთი თეორიული საფუძველია.

ადამიანის გენეტიკას საფუძველი ჩაუყარა ფრენსის გალტონმა, მის მიერ 1865 წელს გამოქვეყნებული ნაშრომით "ტალანტისა და ხასიათის მემკვიდრეობა". იგი სტატისტიკური მეთოდებით იკვლევდა ნიშან-თვისებათა მემკვიდრეობას ადამიანში. მან ჩამოაყალიბა ადამიანის გენეტიკის ახალი მიმართულება-**ᲔᲕᲒᲔᲜᲘᲙᲐ.** რაც მიზნად ისახავს ადამიანთა მოდგმის გაუმჯობესებას. 1876 წელს ადამიანის გენეტიკაში მან შემოიტანა **ტᲬᲘᲨᲐᲛᲔᲑᲘᲡ ᲙᲕᲚᲔᲕᲘᲡ ᲛᲔᲗᲝᲓᲘ.** გალტონმა პირველმა შეისწავლა ადამიანის იდენტიფიკაციის შესაძლებლობა თითის ანაბეჭდებით, შექმნა **ᲓᲐᲥᲢᲘᲚᲝᲡᲙᲝᲞᲘᲘᲡᲐ და ᲓᲔᲠᲛᲐᲢᲝᲒᲚᲘᲤᲘᲙᲘᲡ** მეთოდოლოგია.

მენდელიზმის განვითარებამ დიდი გავლენა მოახდინა ადამიანის გენეტიკის განვითარებაზე. მნიშვნელოვან ეტაპადაა აღიარებული ა.გეროდის (1902) გამოკვლევა, რომლითაც დადგენილია ფერმენტოპათიის-ალკაპტონურიის მემკვიდრეობის ბუნება. მას სამართლიანად თვლიან ბიოქიმიური გენეტიკის ფუძემდებლად. ჩვენი საუკუნის 10-იან წლებში ბიომეტრული მეთოდით იკვლევდნენ ზოგიერთი ნორმალური და პათოლოგიური ნიშნის მემკვიდრეობას. ასევე შეისწავლიდნენ ნიშან-თვისებათა მენდელირების კანონზომიერებებს. გამოიკვეთა ორი განსხვავებული კონცეფციით ადამიანის გენეტიკური კვლევის გზა: მენდელისტურით და გალტონის მიერ მოწოდებული-ბიომეტრულით. კ.ლანდშტეინერმა (1900) აღწერა სისხლის ჯგუფობრიობა, ხოლო ფ.ბერნშტეინმა (1924) დაასაბუთა, რომ ამ ნიშანს ერთი გენის სამი (ABO) ალელი განსაზღვრავს. ჯ.ტიომ და ა.ლევანმა (1955), სფორდმა და ჯ.ჰამერტონმა (1956) განსაზღვრეს ადამიანის დიპლოიდური კომპლექტის ზუსტი რიცხვი (2n=46).

3.11.ᲔᲕᲒᲔᲜᲘᲙᲐ

ტერმინი "ევგენიკა" 1869 წელს შემოიღო ფ.გალტონმა. მას საჭიროდ მიაჩნდა ადამიანის გენოტიპში სასარგებლო ალელების დაგროვების გზით და საზიანო ალელების შემცირების შედეგად ადამიანთა მოდგმის გაუმჯობესება. ამის მისაღწევად, გალტონის აზრით, საჭირო იყო ნიჭიერი ადამიანების გამრავლებისათვის ხელის შეწყობა, ხოლო დევიანტური ქცევის (ასოციალური) პირთა რეპროდუქციის შეზღუდვა. მოგვიანებით რიგ ქვეყნებში ევგენიკური პროგრამა პოლიტიკას დაუკავშირეს. მან არაჰუმანური და საშიში სახე მიიღო, მაგალითისათვის ფაშისტური გერმანია იკმარებს.

ამჟამად, დადგენილია, რომ ევგენიკური პროგრამის განხორციელება ამ სახით შეუძლებელია, ვინაიდან ადამიანთა ნებისმიერი პოპულაცია "გენეტიკური ტვირთის" სახით საკმაო სიხშირით შეიცავს საზიანო რეცესიულ მუტაციას. ყოველი ადამიანის გენოტიპი საშუალოდ ორიდან ოთხამდე რეცესიულ მუტანტურ ალელს ატარებს, რომელიც ჰომოზიგოტების სიკვდილს იწვევს. თანამედროვე ეტაპზე ევგენიკამ სახე იცვალა, რაზედაც დიდი გავლენა მოახდინა მოლეკულური ბიოლოგიისა და გენეტიკის

სწრაფმა განვითარებამ. ადამიანის გენეტიკისა და, ბუნებრივია, ევგენიკის მიზანია ადამიანის ჯანმრთელობაზე ზრუნვა. ამჟამად მსოფლიოში ახალშობილთა 4-5%-ს მემკვიდრული დარღვევები აქვს. ახალშობილთა შორის სიკვდილიანობის 10-20% მემკვიდრული პათოლოგიებითაა გამოწვეული. დაავადებულ ბავშვთა 25-30%-ს მემკვიდრული დაავადებები აღენიშნებათ. ამჟამად მემკვიდრული დაავადებები ინტენსიურად შეისწავლება და გამოვლენილია 2500-მდე დაავადება. ზოგიერთი მათგანი მაღალი სიხშირით გვხვდება პოპულაციაში, ზოგიც მეტად იშვიათია. დიდი თანხა იხარჯება დაუნის სინდრომით დაავადებულ პაციენტებზე, თითქმის იმდენივე, რამდენიც გრიპის წინააღმდეგ. ადამიანის გენეტიკის ერთ-ერთი განხრის-სამედიცინო გენეტიკის მიზანია მემკვიდრულ დაავადებათა პროფილაქტიკა, ჰეტეროზიგოტი ინდივიდების (რისკის ჯგუფის) გამოვლენა, ასეთი რისკის ჯგუფებში გარკვეული სამედიცინო-გენეტიკური კონსულტაციების ჩატარება. ჰეტეროზიგოტ ცოლქმრულ წყვილებში აუცილებელია პრენატალური დიაგნოსტიკა და სკრინინგი. საჭიროა ახალგაზრდებს განემარტოთ, რომ გვიან ასაკში ბავშვის გაჩენა გარკვეულ რისკთანაა დაკავშირებული. კერძოდ, 35 წლის ზემოთ ქალებში იზრდება აუტოსომური ტრისომიებით დაავადებული ბავშვის გაჩენის ალბათობა. მამაკაცის მომატებული ასაკის დროს კი დომინანტური მუტაციების ალბათობა იზრდება (იხ.ცხრილი 3-3).

ასევე საზიანოა ახლონათესაური ქორწინება. იგი იწვევს ინბრიდინგს. ადამიანში ახლონათესაური ქორწინებები ხელს უწყობენ საზიანო რეცესიული ალელების გამოვლენას. გაანგარიშებულია, რომ ჰეტეროზიგოტურ პოპულაციაში ყოველ 70-ე ადამიანს 1 რეცესიული ალელი აქვს 1/70 X 1/70 = 1/4900 ე.ი. 4900 ცოლქმრული წყვილიდან მოსალოდნელია, რომ საშუალოდ ერთს ეყოლოს რეცესიული ნიშნის მქონე შვილი (ე.ი. 1/4 X 1/4900). ჰეტეროგენულ პოპულაციაში რეცესიული ნიშანი 20.000 ინდივიდიდან მხოლოდ ერთ ბავშვში ვლინდება. ახლონათესაური ქორწინება ამ ალბათობას ზრდის. რეცესიული გენების სიხშირით ინბრიდინგის ხარისხს ადგენენ ბიძაშვილების, დეიდაშვილებისა და მამიდაშვილების ქორწინებისას (ასეთი ქორწინება ზოგიერთ სახელმწიფოში ნებადართულია). ამ დროს პოპულაციაში რეცესიული გენების გამოვლენის სიხშირე იზრდება. ასეთი ოჯახების შესწავლისას გამოირკვა, რომ შვილების სიკვდილიანობა მათში 4-ჯერ მეტია. აშშ-ში ახლონათესაური ქორწინების შედეგად დაბადებულთა ადრეულ ასაკში სიკვდილიანობა 22,5%, საფრანგეთში 9,3%, იაპონიაში 4,6% აღმოჩნდა. ინბრიდინგის ხარისხი პორტუგალიაში 1,4-ს შეადგენს, ესპანეთში-4,8-ს, ბრაზილიაში 19,6-ს, ინდოეთში 12,9-ს, ფიჯის კუნძულებზე 29,7-ს.

ადამიანის გენეტიკაში ევგენიკური მიმართულება ანტიჰუმანურ, ფსევდო-

ცხრილი 3.3.დაუნის დაავადების სიხშირე დედის წლოვანებასთან დაკავშირებით

დედის ასაკი	სიხშირე
30 წლამდე	1:1000
30-34 წელი	1,6:1000
35-39 წელი	4:1000
40-44 წელი	14:1000
45 და მეტი	25:1000

მეცნიერულ შეხედულებათა დამკვიდრების საფუძველს არასოდეს იძლეოდა. სადღეისოდ აქტუალური მიმართულებაა საზიანო გენების მომავალ თაობებში გადაცემის შეზღუდვა (სამედიცინო-გენეტიკური კონსულტაციით და პრენატალური დიაგნოსტიკის გამოყენებით), ადამიანის "გენეტიკური ტვირთის" შემცირება, ადამიანისა და მისი საარსებო გარემოს დაცვა მუტაგენური ფაქტორებისაგან.

3.12. ადამიანის გენეტიკის თავისებურება და კვლევის მეთოდები

ადამიანის გენეტიკაში იყენებენ კლასიკურ ტრადიციულ და უახლეს მეთოდებს, რაც ამ გენეტიკური ობიექტის დიდ მნიშვნელობაზე მეტყველებს. მისი გენეტიკური შესწავლა რამდენადმე გაძნელებულია შემდეგ გარემოებათა გამო:

1. შეუძლებელია გენეტიკური ანალიზისათვის საჭირო მიზანმიმართული შეჯვარებების ჩატარება;

2. დაუშვებელია მუტაციის ექსპერიმენტული ინდუცირება;

3. დამახასიათებელია გვიანი სქესობრივი მომწიფება, რის გამოც თაობათა მონაცვლეობა ხანგრძლივია. მშობლებსა და შვილებს შორის შუალედი საშუალოდ 20-25 წელია;

4. შთამომავლობა მცირერიცხოვანია. ცოლ-ქმარს საშუალოდ 2-3 შვილი ჰყავთ;

5. სხვადასხვა ქორწინებით მიღებულ შთამომავლობაში შეუძლებელია განვითარების ერთნაირი და კონტროლირებადი პირობები შეიქმნას;

6. არც თუ დიდი საგვარტომო ნუსხები და მემკვიდრული ნიშნების რეგისტრაციის არასაკმარისი სიზუსტე;

7. აქვს შედარებით მრავალრიცხოვანი ($2n=46$), ძნელად გასარჩევი ქრომოსომები.

როგორც უკვე აღვნიშნეთ, ადამიანის გენეტიკაში შეუძლებელია ყველა იმ მეთოდების (მაგ. ჰიბრიდოლოგიური, მუტაციური) გამოყენება, რომელსაც კლასიკური ობიექტების (დროზოფილა სიმინდი, საფუარი, ნაწლავის ჩხირა და სხვა) კვლევისას იყენებენ. ადამიანის გენეტიკაში იყენებენ გენეტიკური ანალიზის ზოგიერთ იმ მეთოდს, რომლითაც სხვა ობიექტების კვლევისას სარგებლობენ, მაგრამ მას მოეპოვება სპეციფიკური მეთოდებიც, რომელიც პირველად ადამიანის გენეტიკაში დაინერგა. ამ მეთოდებიდან ზოგიერთი ამჟამად გენეტიკის სხვა დარგებში გამოიყენება.

ადამიანში გენეტიკურ ანალიზს ახდენენ გენეალოგიური, ტყუპების, პოპულაციურ-სტატისტიკური, ციტოგენეტიკური, იმუნური, ბიოქიმიური, ონტოგენეზური, სომატურ უჯრედთა ჰიბრიდიზაციის, დნმ-დიაგნოსტიკისა და სხვა მეთოდებით. ამ მეთოდების გამოყენებით შედგენილია ადამიანის ქრომოსომების გენეტიკური რუკები. მასში ასეულობით ლოკუსია იდენტიფიცირებული და კარტირებული. გამოვლენილია შეჭიდულ გენთა 24 ჯგუფი. 100-ზე მეტი ლოკუსია განსაზღვრული სასქესო ქრომოსომებში. ადამიანში X და Y ქრომოსომას აქვს ჰომოლოგიური უბნები და მათ შორის კროსინგოვერი მიმდინარეობს. სასქესო ქრომოსომებში ლოკალიზებულ გენებს სამ ჯგუფად ყოფენ: პირველ ჯგუფში აერთიანებენ სქესთან შეჭიდულ

იმ გენებს, რომლებიც მხოლოდ X ქრომოსომაშია ლოკალიზებული. მისი ჰომოლოგიური უბნები Y ქრომოსომას არ გააჩნია. ამ ჯგუფის გენები სრულადაა შეჭიდული სქესთან და შთამომავლობას მხოლოდ X ქრომოსომის მეშვეობით გადაეცემა.

მეორე ჯგუფს მიეკუთვნება მცირე ჯგუფი იმ გენებისა, რომელიც მხოლოდ Y ქრომოსომაშია ლოკალიზებული და ᲐᲛᲚᲐᲜᲓᲠᲣᲚᲐᲓ მემკვიდრეობს, ვლინდება მხოლოდ მამაკაცებში. ნიშანი მამიდან ვაჟიშვილს გადაეცემა (მაგ. იხტიოზი-ფეხისთითებს შორის აპკის განვითარება; ყურის ნიჟარის გარეთა კიდის თმიანობა, ჰიპერტრიქოზმი და სხვა).

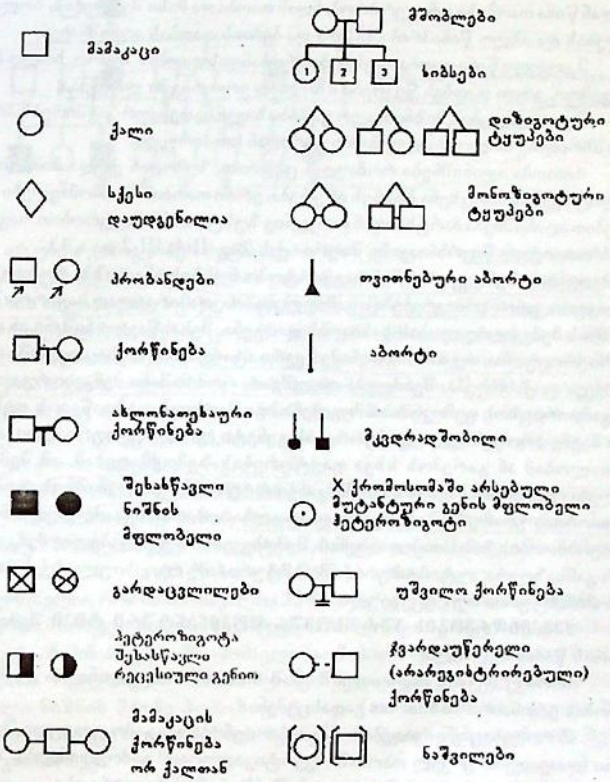
მესამე ჯგუფს მიეკუთვნება გენები, რომელიც ორივე სასქესო (X და Y) ქრომოსომის ჰომოლოგიურ უბნებშია განლაგებული. მათ სქესთან არასრულად შეჭიდულ ნიშნებს უწოდებენ. კროსინგოვერის შედეგად წარმოიქმნება ამ გენების რეკომბინაცია.

ᲛᲔᲛᲙᲕᲘᲓᲠᲔᲝᲑᲘᲡ ᲒᲔᲜᲔᲐᲚᲝᲒᲘᲣᲠᲘ ᲛᲔᲗᲝᲓᲘ

ადამიანის გენეტიკურ კვლევაში, ექსპერიმენტული გენეტიკის სხვა დარგებისაგან განსხვავებით, შეუძლებელი და იმავდროულად მიუღებელია ჰიბრიდოლოგიური მეთოდის გამოყენება. მის ნაცვლად მისი ნაირსახეობა-გენეალოგიური (საგვარტომო ნუსხის შედგენა) მეთოდი გამოიყენება. იგი პირველად ფ.გალტონმა შეიმუშავა და დანერგა ადამიანის გენეტიკაში. გენეალოგიური მეთოდით შესასწავლი ნიშნის მემკვიდრეობის ხასიათს შეისწავლიან ოჯახური მონაცემების საფუძველზე. გენეალოგიური მეთოდი კლასიკურ, ყველაზე უნივერსალურ მეთოდებს მიეკუთვნება. მისი მეშვეობით შესაძლებელია თეორიული და პრაქტიკული პრობლემების გადაწყვეტა. კერძოდ: 1.მემკვიდრეობის ხასიათის დადგენა; 2.მემკვიდრეობის ტიპისა და ვარიანტების განსაზღვრა; 3.გენის ექსპრესულობისა და პენეტრანტულობის შესწავლა; 4.გენთა ურთიერთქმედების ფორმების დადგენა; 5.გენთა შეჭიდულობისა და ქრომოსომაში მისი ლოკალიზაციის დადგენა.

ამ მეთოდს სამედიცინო გენეტიკაში კლინიკურ-გენეალოგიურს უწოდებენ. იკვლევენ ოჯახში პათოლოგიური ნიშნის მემკვიდრეობის ხასიათს. მეთოდი მარტივი და შრომატევადია ყველა პრაქტიკოსი ექიმისათვის, ვინაიდან დაავადების ბუნების შესახებ შესაძლებელია საინტერესო ინფორმაციის ადვილად მიღება. იგი სწორი დიაგნოზის დასმისა და ასევე სწორი მკურნალობის ტაქტიკის შემუშავების საშუალებას აძლევს ექიმს. მაგ. შარკო-მარის ნევრალურ ამიოტროფიას და მიოტონურ დისტროფიას (ნერვ-კუნთოვანი სისტემის მემკვიდრული დაავადება) მსგავსი კლინიკური სურათი აქვს. პირველი წარმოადგენს აუტოსომურ-რეცესიულ, ხოლო მეორე აუტოსომურ-დომინანტური ტიპის დაავადებას. შაკო-მარის დაავადება 5-6 წლის განმავლობაში იწვევს ინვალიდობას, მიოტონური დისტროფიის დროს კი შრომისუნარიანობა ადამიანს მხოლოდ გარკვეულ ასაკამდე აქვს შენარჩუნებული.

საგვარტომო ნუსხის შედგენა გარკვეულ პრინციპებს ემყარება. ინდივიდს, რომლის საგვარტომო ნუსხას ადგენენ, პრობანდს უწოდებენ. პრობანდის შესახებ გენეალოგიური მონაცემების შეგროვება ხდება ანკეტური მონაცემებით, გამოკითხვით ან ოჯახის წევრების უშუალო გამოკვლევით. ძირითად დაბრკოლებას მიღებულ ცნობათა სიმცირე ან მათი უზუსტობა ქმნის. მეტწილად პრობანდის ირგვლივ შეკრე-



სურ.3.33.ადამიანის საგვარტომო ნუსხის შესადგენად გამოყენებული სიმბოლოები

ბილი ინფორმაცია სამ თაობას (მშობლები, შვილები, შვილიშვილები) მოიცავს, ოშვეათად მეტსაც. საჭიროა ცნობების, რაც შეიძლება მეტი ნათესავის შესახებ შეკრება. პრობანდის ირგვლივ მასალის მოძიების შემდეგ გრაფიკულად აგებენ საგვარტომო ნუსხას. ნუსხის შესადგენად იყენებენ სტანდარტულად მიღებულ სიმბოლოებს (იხ.სურ.3.33). საგვარტომო ნუსხის აგების დროს საჭიროა შემდეგი პირობების დაცვა:

1.საგვარტომო ნუსხის შედგენა პრობანდიდან იწყება. პრობანდის და-ძმებს სიბსებს უწოდებენ. მათ განალაგებენ ასაკის მიხედვით მარცხნიდან მარჯვნივ. თითოეულ თაობას წარმოადგენენ ერთ მწკრივში, საგვარტომო ნუსხას ადგენენ მოძღვნო

თაობიდან წინა თაობისაკენ. ჯერ პრობანდის თაობა და მისი შვილების, ხოლო შემდეგ მშობლების და ახლო წინაპრის- პაპისა და ბებიის თაობას აღნიშნავენ;

2.ყოველი წინა თაობა თავსდება პრობანდის თაობის ზემოთ, ხოლო მომდევნო - მის ქვემოთ. ერთი თაობის წევრები მხოლოდ ერთ რიგში ლაგდება;

3.გაადვილების მიზნით ჯერ გამოსახავენ ნათესაურ კავშირებს პრობანდის დედის მხრიდან, ხოლო შემდეგ მამის მხრიდან (ან პირუკუ);

4.თაობა აღინიშნება რომაული ციფრით, ზემოდან ქვედა მიმართულებით, რომელიც სქემის მარცხენა მხარეს იწერება. ერთი თაობის შთამომავლები არაბული ციფრებით აღინიშნება მარცხნიდან მარჯვნივ ზუსტი თანმიმდევრობით. საგვარტომო ნუსხის თითოეულ წევრს თავისი შიფრი აქვს (მაგ. II-4; III-2 და ა.შ.).

შედგენის შემდეგ ახდენენ საგვარტომო ნუსხის ანალიზს, რომლის მიზანია გენეტიკური კანონზომიერებების გაშვლენა. თავდაპირველად საჭიროა შესასწავლი ნიშნის მემკვიდრულობის ხასიათის დადგენა. შესასწავლი ნიშანი ან დაავადება ოჯახში ეროვნულია, თუ მას რამდენიმე წევრი ატარებს. როდესაც ოჯახში რამდენიმე შემთხვევა ფიქსირდება, შეიძლება დავუშვათ, რომ ნიშანი მემკვიდრულია. მაგრამ უნდა გამოირიცხოს ფენოკოპიის მოვლენა. იგი შეიძლება გამოიწვიოს ფეხმძიმობის დროს მავნე პროფესიული ფაქტორების გენეტიკურად აქტიური მედიკამენტებით მკურნალობამ ან გარემოს სხვა ფაქტორების ზემოქმედებამ. ამ შემთხვევაში შეიძლება რამდენიმე ბავშვს მსგავსი განვითარების მანკი აღენიშნოს, რომლის დადგენა თაობათა ურთიერთშედარებით დიდი ალბათობითაა შესაძლებელი. ნიშნის მემკვიდრეობითობის ხასიათის დადგენის შემთხვევაში აუცილებელია მემკვიდრეობის ტიპის განსაზღვრა: აუტოსომურ-დომინანტურია თუ რეცესიული, სქესთან შეჭიდული დომინანტურია თუ რეცესიული.

მემკვიდრეობის აუტოსომურ-დომინანტური ტიპი შემდეგი ნიშნებით არის წარმოდგენილი:

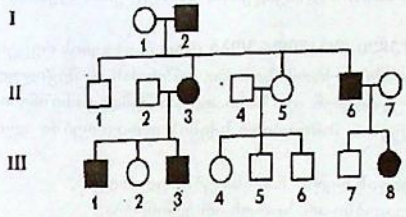
1.ორივე სქესის ინდივიდებში ნიშანი თანაბრად ვლინდება და მას შთამომავლობას ერთნაირი სიხშირით გადასცემენ.

2. როდესაც ინდივიდები საკმაო რაოდენობითაა გამოკვლეული, შესასწავლი ნიშანი (დაავადება) ყოველ თაობაში (ვერტიკალურად) გამოვლინდება. შედარებით მეტია ნიშნის მქონენი პრობანდის თაობაში (ჰორიზონტალურად).

3.როდესაც ერთ-ერთი დაავადებული-მშობელი ჰეტეროზიგოტურია (Aa), მეორე კი-ჯანმრთელი (ჰომოზიგოტა -aa), დაავადებული ბავშვის დაბადების ალბათობა 50%-ია.

4.ოჯახში თუ რაიმე ნიშნის მატარებელი ინდივიდია, მაშინ ერთ-ერთ მშობელს იგივე ნიშანი აქვს. ჯანმრთელ მშობლებს ჯანმრთელი შვილები შეეძინებათ.

გასათვალისწინებელია ისიც, რომ შესაძლოა რომელიმე თაობაში მუტანტური დომინანტური გენი ვერ გამოვლინდეს, მისი ექსპრესიულობის ან პენეტრანტულობის გამო. ასევე შესაძლოა მუტანტური გენის მოქმედება დათრგუნოს გენოტიპში არსებულმა რომელიმე ეპისტაზურმა გენმა. გასათვალისწინებელია ისიც, რომ ზოგიერთი დომინანტური ნიშანი (დაავადება) ხანდაზმულობისას იჩენს თავს, თუ პირი ადრეულ ასაკში გარდაიცვალა, მაშინ ნუსხაში სწორი მონაცემები ვერ აისახება, ხოლო მის შთამომავლებში შესაძლოა დაავადება გამოვლინდეს. მხედვე-



სურ.3.34.აუტოსომურ-დომინანტური ნიშნის (პანტინგტონის ქორეა) მემკვიდრეობა

ლობიდან არ უნდა გამოგვრჩეს მუტაციური პროცესიც. პირუკუ მუტაცია საწყისი ნორმალური ფენოტიპის განვითარებას გამოიწვევს. 3.34 სურათზე მოცემულია ერთ-ერთი ოჯახის საგვარტომო ნუსხა. ჰანტინგტონის ქორეა ვლინდება ყველა თაობაში. ისეთი ქორწინებიდან, როდესაც ცოლქმრიდან ერთ-ერთი დაავადებულია, მეორე კი ჯანმრთელი, ჩნდებიან დაავადებული ბავშვები, ე.ი. ადგილი აქვს ნიშნის დომინანტურ მემკვიდრეობას. ჯანმრთელი მშობლების შთამომავლობაში (II-4,5) დაავადებულები არ გვხვდებიან, რაც ადასტურებს, რომ ნიშანი დომინანტურია. ვინაიდან დაავადება ორივე სქესის ინდივიდებში თანაბარი ალბათობით ვლინდება, ბუნებრივია, გენი აუტოსომურ ქრომოსომებშია ლოკალიზებული.

მემკვიდრეობის აუტოსომურ-რეცესიული ტიპის არსებობისას ნიშანი ვლინდება მხოლოდ მაშინ, როდესაც ალელები ჰომოზიგოტურ მდგომარეობაშია. თუ მშობლები ჰეტეროზიგოტებია, მაშინ მიიღება შემდეგი შთამომავლობა:

Aa X Aa = 1AA : 2Aa : 1aa.

ე.ი. მოსალოდნელია, რომ შთამომავალთა 25% იყოს რეცესიული ნიშნის მქონე. როდესაც ერთ-ერთი მშობელი ჰეტეროზიგოტულია, ხოლო მეორე რეცესიული ნიშნით ჰომოზიგოტური, მაშინ ამგვარი შთამომავლობაა მოსალოდნელი: AaXaa=1Aa:1aa. ამ შემთხვევაში რეცესიული ნიშნის მქონე შვილის გაჩენის ალბათობა 50%-ია. რეცესიული ნიშნის მქონე ჰომოზიგოტათა (aa X aa = aa) ყველა შვილი დაავადებულია (რეცესიული ნიშნის მქონეა). ამ ტიპის მემკვიდრეობა შემდეგი ნიშნებით გამოირჩევა:

1.როდესაც გამოკვლეულია საკმაო რაოდენობის ინდივიდები, საკმაოდ მცირეა დაავადებული პირები. ისინი ძირითადად პრობანდის (ჰორიზონტალურად) თაობაში გვხვდება. სხვა თაობებში (ვერტიკალურად) თითქმის არ გვხვდება. ნიშანი (დაავადება) თანაბრად ვლინდება ორივე სქესის წარმომადგენლებში.

2.დაავადებული შვილის მშობლები მეტწილად ჯანმრთელებია, ისინი ნიშანს ფარულად ატარებენ (ჰეტეროზიგოტურებია). ასეთ ოჯახებში ნიშნის გამოვლენის ალბათობა 25%-ს შეადგენს.

3.როდესაც ორივე მშობელი დაავადებულია, მაშინ ნიშანი ყველა შვილში გამოვლინდება.

4.როდესაც ერთ-ერთი მშობელი დაავადებულია, მეორე კი-ფარული მატარებელი (ჰეტეროზიგოტი), მაშინ დაავადებული შვილის გაჩენის ალბათობა 50%-ია.

5.ნათესაური ქორწინებისას ნიშნის (დაავადების) გამოვლენის ალბათობა მეტია (იხ. სურ.3.35).

შემდეგი ტიპია სქესთან შეჭიდული მემკვიდრეობა, როდესაც გენის რეცესიული ალელი ლოკალიზებულია X სასქესო ქრომოსომაში, მაშინ მას X-შეჭიდული რეცესიული ნიშნის მემკვიდრეობას უწოდებენ. იგი ხასიათდება შემდეგი ნიშნებით:

1.ნიშანი (დაავადება) უპირატესად მამრობითი სქესის ინდივიდებში ვლინდება;

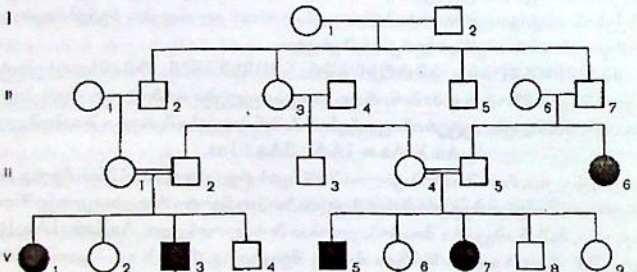
2.ნიშანი (დაავადება) პრობანდის დედის ნათესავებში ვლინდება;

3.მამის ნიშანი (დაავადება) ვაჟებში არასდროს არ ვლინდება;

4.თუ პრობანდი დაავადებული ქალია, მაშინ მამა უსათუოდ დაავადებულია, დაავადება მხოლოდ პრობანდის ვაჟებში იჩენს თავს;

5.ჯანმრთელი (ჰომოზიგოტა) ქალისა და დაავადებელი მამაკაცის შთამომავლობა ყოველთვის ფენოტიპურად ჯანმრთელია, მაგრამ ყველა ქალიშვილი გენის ფარული მატარებელია (ჰეტეროზიგოტებია).

6.ჯანმრთელი მამაკაცისა და ჰეტეროზიგოტური ქალის ქორწინებისას, დაავადების გადაცემა ვაჟების 50%-შია მოსალოდნელი. ყველა ქალიშვილი ჯან-



სურ.3.35.აუტოსომურ-რეცესიული ნიშნის მემკვიდრეობა

მრთელია, მაგრამ მათი 50% გენის რეცესიული ალელის მატარებელია (ჰეტეროზიგოტებია).

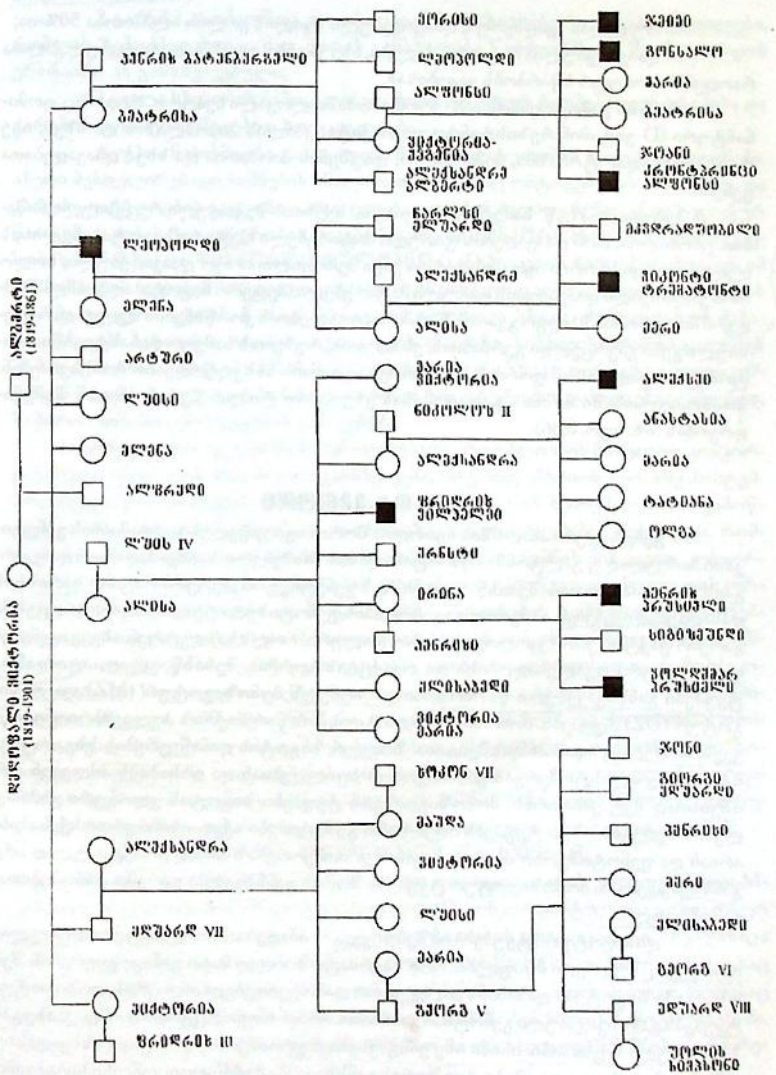
X-შეჭიდული დომინანტური ნიშნის მემკვიდრეობას შემდეგი ნიშნები ახასიათებს:

1.თუ მამა დაავადებულია, ყველა ქალიშვილი დაავადებულია, ვაჟები კი- ჯანმრთელი;

2.შვილები დაავადებულია იმ შემთხვევაში, თუ ავადმყოფია ერთ-ერთი მშობელი;

3.დაავადებულთა ჯანმრთელი შთამომავლების შვილები ჯანმრთელები არიან;

4.დაავადება ყოველ თაობაში იჩენს თავს;



სურ.3.36.დედოფალ ვიქტორიას გენეალოგია (მოცემულია ზოგიერთი ოჯახი)

5.თუ დედაა ავადმყოფი, დაავადებული შვილის ყოლის ალბათობა 50%-ია;

6.დაავადებულია როგორც ქალები, ისე ვაჟები. ოჯახში დაავადებულ ქალთა რაოდენობა ორჯერ სჭარბობს ვაჟებისას.

ადამიანში გამოვლენილია X-ქრომოსომაში ლოკალიზებული, როგორც დომინანტური (D ვიტამინ რეზისტენტული რაქიტი, კბილის ჰიპოპლაზია და სხვ.), ისე რეცესიულ (დალტონიზმი, ჰემოფილია, დიუშენის მიოპათია და სხვ.) დაავადებათა გენები.

A ჰემოფილია (ე.წ. სამეფო ჰემოფილია) სქესთან შეჭიდული რეცესიული ნიშანია. ცნობილია, რომ დაავადების ფარული მატარებელი (ჰეტეროზიგოტა) ინგლისის დედოფალი ვიქტორია იყო. მისი ერთი ვაჟი ჰემოფილიით იყო დაავადებული, ხოლო ორი ქალიშვილი დაავადების ფარული მატარებელი (ჰეტეროზიგოტა) აღმოჩნდა. შემდგომში, ევროპის სამეფო გვარის წარმომადგენლებთან ქორწინების შედეგად, რეცესიული გენი გავრცელდა გერმანიის, ესპანეთის, რუსეთის სამეფო დინასტიებში. ამიტომაც დაავადების ამ ფორმას სამეფო ჰემოფილიის სახელწოდებით მოიხსენიებენ. შთამომავლობაში ნიშნის გადაცემისას ვხვდებით ტიპურ "კრის-კროს" შემკვდრეობას (იხ. სურ. 3.36)

ტყუპთა მეთოდი

გენეტიკური ანალიზის მეთოდთა შორის იგი უძველესია. ადამიანის გენეტიკაში პირველად ფ.გალტონმა შემოიტანა და მას მნიშვნელობა ამჟამადაც არ დაუკარგავს. ტყუპთა მეთოდს შესასწავლი ნიშნის გენეტიკური დეტერმინაციის ხარისხის დასადგენად იყენებენ. ამ მეთოდით გენოტიპის ფენოტიპური რეალიზაციის პროცესში გარემო ფაქტორების (ეკოლოგიური, სოციალური) როლს საზღვრავენ, ასევე იყენებენ ფენოტიპური ცვალებადობისა და რეაქციის ნორმის შესასწავლად. ადამიანთა ტყუპები განსხვავებული წარმოშობისაა. არჩევენ მონოზიგოტურ (MZ) და დიზიგოტურ (DZ) ტყუპებს. მონოზიგოტური ტყუპების წარმოქმნას პოლიემბრიონია იწვევს, რომელიც ადამიანში იშვიათია. ზოგჯერ ზიგოტის დანაწევრების სხვადასხვა სტადიაზე ბლასტომერები ერთიმეორეს სცილდებიან და დასაბამს აძლევენ ორ, იშვიათად მეტ ემბრიონს. მონოზიგოტური ტყუპები ზიგოტის კლონური გამრავლების შედეგია. ასეთ ტყუპებს იდენტური გენოტიპები აქვთ. ისინი ერთი სქესისანი არიან და ფენოტიპურად ძლიერ ჰგვანან ერთიმეორეს, ხშირად პრაქტიკულად არც განსხვავდებიან. მონოზიგოტურ ტყუპებს შორის განსხვავება გარემო პირობებითაა გამოწვეული.

დიზიგოტური ტყუპები იმ შემთხვევაში იბადებიან, როდესაც ერთდროულად ორი კვერცხუჯრედი მწიფდება. ორი სპერმატოზოიდით მათი განაყოფიერების შემთხვევაში ზიგოტები დასაბამს აძლევენ ორ დამოუკიდებელ ინდივიდს. დიზიგოტურ ტყუპებს განსხვავებული გენოტიპი გააჩნიათ. არიან როგორც ერთი და იმავე, ისე განსხვავებული სქესისანი. ისინი ისე ემსგავსებიან ერთიმეორეს, როგორც სხვადასხვა დროს დაბადებული და-ძმები. მათ შორის განსხვავება მეტწილად გენოტიპითაა გამოწვეული. ტყუპთა მეთოდი შემდეგ პოსტულატებს ემყარება:

1.მონოზიგოტურ ტყუპებს იდენტური გენოტიპი აღენიშნებათ, დიზიგოტურს

კი განსხვავებული;

2.გარემო, რომელშიც ვითარდებიან მონოზიგოტური ტყუპის წყვილები, რომლის ზემოქმედებითაც მათ შორის განსხვავება წარმოიქმნება, შეიძლება იყოს ერთნაირი ან განსხვავებული;

3.ყველა სხვაობის ჩამოყალიბება მონოზიგოტურ ტყუპებში გენოტიპისა და გარემოს ურთიერთქმედებით ხორციელდება.

ტყუპთა ნებისმიერი გამოკვლევა მათი ზიგოტურობის დადგენას ეფუძნება. ისეთი მენდელირებადი ნიშნების ანალიზით, რომელიც ონტოგენეზის მანძილზე და გარემო ფაქტორების გავლენით არ იცვლება, ადგენენ ტყუპთა მონო- ან დიზიგოტურ წარმომავლობას. ზიგოტურობის დიაგნოსტირებას **კონკორდანტული** (მსგავსობის ხარისხი) და **დისკორდანტული** (განსხვავების ხარისხი) ახდენენ. ამ მიზნისათვის იყენებენ მორფოლოგიურ ნიშნებს (თვალის გარსის შეფერილობა, თმის ფორმა და ფერი, ყურის, წარბების, ნიკაპის ფორმა და სხვა), იმუნოლოგიურ მახასიათებლებს (ერითროციტების ანტიგენების ანალიზი, სისხლის შრატის ცილების შემადგენლობა, სისტემა HLA-ს ჰაპლოტიპები და სხვა), დერმატოგლიფიკურ მაჩვენებლებს. ცალკეული ნიშანი უკმარისია ზიგოტურობის დასადგენად. ამდენად, საჭიროა ნიშანთა კომპლექსის გამოყენება.

მონოზიგოტურ ტყუპებში ნიშან-თვისებათა ერთობლიობის მიხედვით კონკორდანტული უნდა იყოს. მათ შორის განსხვავება, როგორც ემბრიონული, ისე პოსტემბრიონული, განვითარების პროცესში გარემო ფაქტორების ზემოქმედებითაა გამოწვეული. დიდ ინტერესს იწვევს ისეთი მონოზიგოტური ტყუპების შესწავლა, რომლებიც განსხვავებულ გარემოში აღიზარდნენ. მათში ნიშნის მიხედვით კონკორდანტულობის შენარჩუნება გენოტიპის გავლენითაა გამოწვეული, ხოლო დისკორდანტულობა-ეკოლოგიური და სოციალური ფაქტორების ზემოქმედებით. ბუნებრივია, დიზიგოტური ტყუპები ნაწილობრივ იქნებიან კონკორდანტულნი. მათი შესწავლით ადგენენ განსხვავებულ გენოტიპებზე ერთნაირი აღზრდისა და გარემოს (ეკოლოგიური და სოციალური ფაქტორების) გავლენას (იხ. ცხრილი 3-4). ცხრილის მიხედვით ირკვევა, რომ ისეთი ნიშნები, როგორიცაა სისხლის ჯგუფობრიობა, თმის ფერი, თვალის შეფერილობა და სხვა მთლიანად გენოტიპითაა განპირობებული. ზოგიერთი ინფექციური დაავადებებისადმი (ტუბერკულოზი, პოლიომიელიტი) ორგანიზმის მდგრადობას გენოტიპი განსაზღვრავს. ნიშნის ჩამოყალიბებაში მემკვიდრულობის როლის შეფასებას ჰოლცენდერის მიერ მიღებული ფორმულით ადგენენ:

$$H = (M\% - D\%)/(100-D\%); \quad E = 100\% - H;$$

სადაც H (ინგლ.herediti-მემკვიდრულობა) მემკვიდრეობითობის კოეფიციენტია; M-კონკორდანტულობა მონოზიგოტურ ტყუპებში; D-კონკორდანტულობა დიზიგოტურ ტყუპებში; E-გარემოს გავლენა. მემკვიდრეობითობის კოეფიციენტი სხვადასხვა ნიშნისათვის განსხვავებულია; როდესაც H=O, მაშინ E=100% და პირუკუ. როდესაც H=1, მაშინ ნიშნის ჩამოყალიბება მთლიანად გენოტიპითაა განპირობებული, როდესაც H=0,5, გენოტიპი და გარემო ერთნაირ როლს თამაშობენ ნიშნის ჩამოყალიბებაში, ხოლო როდესაც H=O, მაშინ გარემო არსებით როლს ასრულებს ნიშნის ფორმირებაში.

ცხრილი 3-4.ადამიანის ზოგიერთი ნიშნის კონკორდანტულობა მონოზიგოტურ (MZ) და დიზიგოტურ (DZ) ტყუპებში

ნიშანი	კონკორდანტულობა	
	MZ	DZ
სისხლის ჯგუფი ABO	100	46
წარბის ფორმა	100	64
თვალის ფერი	99,5	28
თმის ფერი	97	23
თითების ნახაზი	92	40
ბრტყელტერფიანობა	32	2
"კურდღლის ტუჩი"	33	5
ბარძაყის თანდაყოლილი ამოვარდნილობა	41	3
დაავადება წითელათი	98	94
დაავადება ყივანახველათი	97	93
ეპიდემიური პაროტიტი	82	74
ტუბერკულოზი	67	23
რევმატიზმი	67	17
შაქრიანი დიაბეტი	65	18
ეპილეპსია	67	3
შიზოფრენია	69	10
"მგლის ხახა"	33	5
ბრონქიალური ასთმა	19	4,8
დიფტერია	50	38
ჰიპერტონია	26,2	10
პოლიომიელიტი	36	6

დერმატოგლიფიკის მეთოდი

თითის ბალიშებზე, ასევე ხელსა და ფეხის გულზე განვითარებული ეპიდერმისის წანაზარდები სპეციფიკურ ხაზებს ქმნის, რომელიც მკაცრად დეტერმინირებული და ინდივიდური ნიშანია. მას შეისწავლის დარგი-დერმოგლიფიკა. დედამიწაზე არ მოიძებნებიან ისეთი ადამიანები, რომელთაც კანის ერთნაირი მოხაზულობა აღენიშნებოდეთ. 1892 წელს ფ.გალტონმა მოახდინა ამ მოხაზულობის შესწავლა, რომელიც ადამიანის იდენტიფიცირებისათვის გამოიყენა.

კანის რელიეფის განვითარებას ადიტიური მოქმედების პოლიგენები განსაზღვრავენ და პოლიმერული ტიპის კანონზომიერებით მემკვიდრეობენ. პოლიმერულ გენთა რაოდენობითა და მათი ურთიერთქმედებით იმდენად ნაირგვარი კომბინატორიკა მიიღება, რომ ყოველ ადამიანს უნიკალური, მხოლოდ მისთვის დამახასიათებელი კანის რელიეფი უვითარდება. ზოგიერთი მემკვიდრული დაავადების (მაგ. დაუნის სინდრომი და სხვ.), ან განვითარების მანკების დროს კანის რელიეფი სპეციფიკურად იცვლება. ეს მეთოდი გამოიყენება კლინიკურ მედიცინაში, როგორც ერთ-ერთი დამხმარე ტესტი.

პოპულაციური მეთოდი

ამ მეთოდის ფუძემდებლები არიან ინგლისელი მათემატიკოსი ჯ.ჰარდი და

გერმანელი ექიმი ვ.ვაინბერგი. პოპულაციური მეთოდი ფართოდ გამოიყენება ადამიანის გენეტიკაში. ამ მეთოდით იკვლევენ ცალკეული გენის გავრცელების სიხშირეს პოპულაციებში. ადგენენ პოპულაციის გენეტიკურ სტრუქტურას, სწავლობენ იმ ფაქტორებს და კანონზომიერებებს, რომლებიც აპირობებენ გენთა სიხშირის შენარჩუნებას ან ცვლილებას თაობათა მანძილზე. იკვლევენ ადამიანის ცალკეული პოპულაციის ჰეტეროგენულობისა და პოლიმორფიზმის დონეს. უკეთაა შესწავლილი სისხლის ABO ჯგუფის ალელთა გავრცელება სხვადასხვა პოპულაციებში (იხ. ცხრილი 3-5). ვარაუდობენ, რომ I გენის კონკრეტულ ალელთა ნაირგვარი კონცენტრაცია ინფექციური დაავადებების მიერ სხვადასხვა გენოტიპების შერჩევითი ელიმინაციის შედეგია. I^0 ალელის კონცენტრაციის დაქვეითება ზოგიერთ პოპულაციაში შავი ჭირის ეპიდემიებმა გამოიწვია. შავი ჭირის აღმძვრელ Yersinia pestis ანტიგენ O-ს თვისებები გააჩნია. I^Aალელის კონცენტრაციის დაქვეითებას ყვავილის ეპიდემიებს უკავშირებენ, რომელმაც უპირატესად A ანტიგენის მქონე პირთა ელიმინაცია გამოიწვია. მსოფლიოს მოსახლეობა ფრიად განსხვავებულია I

ცხრილი 3-5. სისხლის ჯგუფობრიობის (ABO) სიხშირე სხვადასხვა ეროვნების ადამიანთა პოპულაციებში (თ.დობჟანსკი, 1966)

პოპულაცია	O	A	B	AB
ევროპა				
შოტლანდიელ.	51,2	34,2	11,8	2,7
ფრანგები	41,6	47,0	8,0	3,3
სერბები	32,5	41,9	18,2	7,3
პოლონელები	33,1	39,3	19,0	8,5
რუსები	33,3	37,4	22,8	6,5
აზია				
სპარსელები	37,9	33,3	22,2	6,6
ინდუსები	31,8	29,2	28,3	10,8
სიამელები	37,3	21,8	33,1	7,8
ბურიატები	30,4	21,9	37,8	9,9
ჩინელები	28,6	26,6	32,0	12,8
იაპონელები	30,1	38,4	21,9	9,7
აფრიკა				
ეგვიპტელები	32,6	35,5	24,4	7,5
კიკუია (კენია)	60,4	18,7	19,8	1,1
ბანტუ (სამხ.აფ)	46,4	29,5	19,4	4,7
ბუშმენები	56,0	33,9	8,5	1,6
ავსტრალია				
აბორიგენები	60,7	39,3	0	0
ამერიკა				
ესკიმოსები	38,1	44,1	13,1	4,8
ნავახო	72,6	26,9	0,2	0,2
მაია	97,8	1,3	0,5	0,5
ბორერო (ბრაზ)	100	0	0	0

ცხრილი 3-6. სისხლის ჯგუფობრიობისა (ABO) და Rh სისტემის გავრცელება (%) ქართულ მოსახლეობაში (ნასიძე და სხვ, 1990)

პოპულაცია	0(I)	A(II)	B(III)	AB(IV)	Rh+	Rh-
კახეთი (საგარეჯო)	41,4	37,0	13,8	0,8	85,7	14,3
ქართლი (გორი)	40,0	43,3	11,7	0,5	88,3	11,7
ხევი (ყაზბ.)	46,7	33,3	16,7	0,3	83,3	16,7
მთიულეთი (თიანეთი)	39,1	43,5	13,0	0,4	87,0	13,0
თუშეთი (ალვანი)	36,0	36,0	20,0	0,8	88,0	12,0
აჭარა (ბათუმი)	59,8	35,5	0,5	0,1	91,9	8,1
გურია (ოზურგეთი)	58,0	34,0	0,7	0,1	90,0	10,0
შესხეთი (ასპინძა)	29,0	48,4	16,5	0,6	93,1	6,9
იმერეთი (თერჯოლა)	61,1	27,9	0,8	0,3	80,6	19,4
სამეგრელო (ზუგდიდი)	60,5	28,0	0,7	0,5	76,7	23,2
რაჭა (ონი)	46,1	37,1	14,1	0,3	85,7	14,3
სვანეთი (მესტია)	57,0	35,1	0,5	0,3	83,8	6,2

ლოკუსის შემადგენელი ალელების კონცენტრაციით. ზოგიერთ პოპულაციებში მხოლოდ I^O ალელი (მაგ. ბორერო) გვხვდება, ზოგიერთი კი I^B ალელს (მაგ. ავსტრალიის აბორიგენები) არ შეიცავს. საქართველოს მკვიდრ მოსახლეობაში მაღალია I^O და I^A ალელების კონცენტრაცია (იხ. ცხრილი 3-6).

პოპულაციური მეთოდით ახდენენ კონკრეტული გენოტიპების ადაპტური მნიშვნელობის განსაზღვრას. მრავალი ნიშანი და შესაბამისად მათი განმსაზღვრელი გენი ადაპტური მნიშვნელობით ნეიტრალურია. პოპულაციაში ისინი ავლენენ პოლიმორფულობას (მაგ. თმის ფერი და ფორმა, თვალის შეფერილობა და ა.შ.) ზოგიერთი ნიშანი კონკრეტულ გარემოსთან ადაპტაციის შედეგად წარმოიშვა (მაგ. მზის რადიაციისადმი შეგუება ზანგებში შავ შეფერილობას იწვევს). ზოგიერთი ალელი პირობით ადაპტაციას იწვევს, მაგ. გენეტიკური ანომალია-ნამგლისებრუჯრედოვანი ანემია. ჰეტეროზიგოტებს მალარია არ ემართებათ, გადარჩება ჰეტეროზიგოტებში HbS ალელის შენარჩუნების გზით მიმდინარეობდა და ხდებოდა ჰომოზიგოტების ელიმინაცია.

ადამიანის პოპულაციას ჰეტეროზიგოტურ მდგომარეობაში მნიშვნელოვანი **შენიტბაკური** ანუ რეცესიული ალელები მოეპოვებათ, რომლებიც ნაირგვარ მემკვიდრულ დაავადებებს იწვევენ. ინბრიდინგის ხარისხის გაზრდა (ახლონათესაური ქორწინება, მცირერიცხოვან ეთნიკურ ჯგუფებში, სექტებში ქორწინებები და ა.შ.) რეცესიული ალელების ჰომოზიგოტიზაციას იწვევს. მემკვიდრული ანომალიები ასეთ ჯგუფებში გაცილებით მაღალია. გენეტიკური ტვირთის წყაროა მუტაციები (იხ. ცხრილი 3-2), რომლებიც სპონტანურად ან გარემოს მუტაგენებით ინდუცირდება.

ასხვავებენ პოპულაციაში გენის გავრცელების ორ კატეგორიას: 1.უნივერსალური გავრცელების, როდესაც გენები მეტნაკლები სიხშირით უმეტეს პოპუ-

ლაციებში გვხვდება. მაგ. დალტონიზმის, რიგი ფერმენტოპათიების (მაგ. ფენილკეტონურია, გალაქტოზემია და ა.შ.), ჰემოფილიის და სხვა პათოლოგიების გამომწვევ გენებს. 2.ლოკალური გავრცელების. მაგ. ნამგლისებრუჯრედიანი ანემიის გამომწვევი გენი. გვხვდება ტროპიკულ აფრიკასა და ინდოეთში, ხმელთაშუა ზღვის აუზის ქვეყნებში, სადაც მალარია იყო გავრცელებული, "ბომბეის ფენომენის" გამომწვევი ეპისტაზური გენი და სხვ.

ბიოქიმიური მეთოდები

პირველად გენური დაავადებების დიაგნოსტირება ბიოქიმიური მეთოდებით განახორციელეს XX საუკუნის დასაწყისში. ბოლო 30 წლის მანძილზე მოლეკულური ბიოლოგიის სწრაფი განვითარების შედეგად ბიოქიმიური მეთოდები დაიხვეწა და ფართოდ დაინერგა ადამიანის გენეტიკაში, რამაც ამ დარგის აღმავლობას შეუწყო ხელი. ბიოქიმიური მეთოდებით სწავლობენ როგორც გენური მუტაციებით გამოწვეულ მემკვიდრულ დაავადებებს, ისე გენის სხვადასხვა ალელების ნორმალური პირველადი პროდუქტის პოლიმორფულობას. ამ მეთოდებით გამოვლენილია ნივთიერებათა ცვლის დარღვევით გამოწვეული 1000-ზე მეტი დაავადება. მრავალი მათგანისათვის განსაზღვრულია გენის პირველად პროდუქტში მოძხდარი ანომალური ცვლილება. ამ სახის დაავადებებიდან ყველაზე ხშირად ის ფორმები გვხვდება, რომელიც ფერმენტის, სტრუქტურული, ტრანსპორტული და სხვა სახის ცილების სტრუქტურის ანომალური ცვლილებითაა გამოწვეული.

ამა თუ იმ ნივთიერების მეტაბოლიზმის სხვადასხვა ეტაპის ბლოკირება ორგანიზმში ამ პროდუქტების დეფიციტს იწვევს. ამასთანავე გროვდება შუალედი პროდუქტები, რომლებიც სისხლსა და შარდში მომატებულია ან შარდში გამოიყოფა. ფერმენტის დეფექტს შარდსა და სისხლში შესაბამისი მეტაბოლური პროდუქტის არსებობის მიხედვით ადგენენ. გამოკვლევებს ორ ეტაპად ატარებენ. პირველ ეტაპზე მარტივი თვისობრივი მეთოდებით, ე.წ. ექსპრეს-მეთოდით სავარაუდო (ნორმიდან ამა თუ იმ გადახრის მქონე) ავადმყოფებში ტარდება სკრინინგი (ინგლ.screening-გაცხრილვა). სკრინინგისათვის მიკრობიოლოგიური ტესტებიც გამოიყენება. იგი დაფუძნებულია იმაზე, რომ ბაქტერიის ზოგიერთი აუქსოტროფული შტამი მხოლოდ იმ შემთხვევაში ვითარდება თუ საკვები არე შეიცავს მათი განვითარებისათვის საჭირო ნივთიერებას (ამინმჟავები, ნახშირწყლები და სხვა). სითხეში (შარდი ან სისხლი) გაჟღენთილ ფილტრის ქაღალდს ათავსებენ გარკვეული მიკრობებით დათესილ პეტრის ჯამზე. თუ ფილტრის ქაღალდის ირგვლივ განვითარდა მიკრობები, მაშინ საანალიზო შარდი ან სისხლი შესაბამის მეტაბოლიტს შეიცავს. მეორე ეტაპზე კი გამოვლენილ სავარაუდო ავადმყოფთა ჯგუფში რთული ბიოქიმიური (რაოდენობრივი) მეთოდებით აზუსტებენ დიაგნოზს.

ბიოქიმიური მეთოდებით შესაძლებელია რისკის ჯგუფების (ცოლ-ქმარი, რომელთაც დაავადების გამომწვევი ალელი ჰეტეროზიგოტურ მდგომარეობაში აქვთ) გამოვლენა. ასეთი ალელის გამოვლენა კოდომინანტობისა და გენის დოზის ეფექტის შემთხვევაშია შესაძლებელი. მაგ. ელექტროფორეზული ანალიზით შესაძლებელია ნორმალური და ანომალური ჰემოგლობინის იდენტიფიცირება. ბიოქიმიური მეთოდებით პრენატალურ ან უშუალოდ დაბადების შემდეგ შესაძლებელია პათოლოგიის

გამოვლენა და სპეციფიკური სამედიცინო ღონისძიების (მაგ. ფენილკეტონურიის, გალაქტოზემიის და სხვ.) ჩატარება.

ციტოგენეტიკური მეთოდი

1955 წლამდე ადამიანის ქრომოსომების ზუსტი რიცხვი დადგენილი არ იყო. ჯ.ტიომ და ა.ლევანმა შეიმუშავეს ახალი მეთოდი, რომლის მეშვეობითაც შესაძლებელი გახდა ადამიანის ქრომოსომათა რიცხვის დადგენა. როგორც უკვე აღვნიშნეთ, ადამიანს ქრომოსომათა დიდი რიცხვი აქვს, ზომითა და აგებულებით მათი გარჩევა ჯგუფის შიგნით გაძნელებული იყო. მას შემდეგ, რაც შვედმა გენეტიკოსმა ტ.კასპარსონმა (1969) შეიმუშავა ადამიანის ქრომოსომების დიფერენცირებული შეღებვის მეთოდი, შეძლეს ცალკეული ქრომოსომის იდენტიფიცირება. ამ მეთოდის შემდგომმა სრულყოფამ ნათელჰყო, რომ ადამიანის ქრომოსომის უბნები სპეციფიკურად იღებება, აქვს მუქი და ღია უბნები (სეგმენტები), ხოლო ცალკეულ ქრომოსომას-ინდივიდუალური და სპეციფიკურად განლაგებული ზოლები.

ადამიანის ყველა აუტოსომურ ქრომოსომას (ზომის, ფორმის, ცენტრომერის მდებარეობით) შვიდ ჯგუფად ყოფენ. ჯგუფს ლათინური ანბანით (A,B,C,D,E,F,G) აღნიშნავენ. ყველა აუტოსომურ ქრომოსომას აქვს რიგობრივი ნომერი 1-დან 22-ის ჩათვლით. სასქესო ქრომოსომები X და Y სიმბოლოებით აღინიშნება. X ქრომოსომა დიდი ზომისაა, Y-კი პატარა (იხ. ცხრილი 3-7).

ციტოგენეტიკური კვლევისათვის მასალად ადამიანის სხვადასხვა ქსოვილების (პერიფერიული სისხლის ლიმფოციტები, ძვლის ტვინის უჯრედები, ფიბრობლასტები, სიმსივნის უჯრედები, ემბრიონის ქსოვილები და სხვა) უჯრედებს იყენებენ. აუცილებელია ისინი მიტოზური გაყოფის პროცესში მყოფ უჯრედებს შეიცავდნენ. ასეთი უჯრედები მათში ძალზე მცირეა. კვლევისათვის მეტად ხელსაყრელია პერიფერიული სისხლის ლიმფოციტები. ჩვეულებრივ ეს უჯრედები არ იყოფიან. სათანადო დამუშავების შემდეგ სპეციფიკურ არეზე ისინი მიტოზურ დაყოფას იწყებენ. ქრომოსომები მაქსიმალურადაა სპირალიზებული მეტაფაზის სტადიაზე, ადვილია ცალკეული ქრომოსომის ფორმის, ზომის შესწავლა და მათი რიცხვის განსაზღვრა (ს ურ.3.37). მეტაფაზის სტადიაზე უჯრედის გაყოფას კოლხიცინის ან კოლცემიდის ზემოქმედებით აჩერებენ. ეს ნივთიერებები შლიან გაყოფის თითისტარას და ქრომოსომები ეროიმეორეს გელარ შორდებიან. შეღებილი პრეპარატების მიკროსკოპირებისას ახდენენ მეტაფაზური ფირფიტების ანალიზს და შემდგომ ფოტოგრაფირებას. მიღებული ფოტომასალის მიხედვით ადგენენ კარიოგრამას (ქრომოსომებს ჯგუფების მიხედვით ალაგებენ წყვილებად), რომლის ანალიზით საზღვრავენ ქრომოსომების რაოდენობას, აღგენენ ქრომოსომაში მომხდარ სტრუქტურულ ცვლილებას.

სასქესო ქრომოსომების რიცხვის ცვლილებას აღგენენ ინტერფაზულ ბირთვში ექსპრეს მეთოდით-**სასქესო ქრომატინის განსაზღვრის მეთოდით.** X-სასქესო ქრომატინი (ე.წ.ბარის სხეულაკი) არის ბირთვის გარსთან მდებარე პატარა ზომის დისკოს ფორმის სხეული, რომელსაც შეიცავს ინტერფაზული ბირთვი. სასქესო X-ქრომატინი აღმოაჩინეს მ.ბარმა და ჩ.ბერტრამმა (1949) კატის ნეირონის სხეულების ბირთვებში. იგი მხოლოდ მდედრი ინდივიდების ბირთვებს ჰქონდათ. სასქესო

ცხრილი 3-7. ადამიანის ქრომოსომების კლასიფიკაცია

ჯგუფი	ნომერი	ზომა, მკმ	დახასიათება
A	1,2,3	11-8,3	1და 3 მეტაცენტრული; სუბმეტაცენტრული (ყველა დიდი ზომის)
B	4,5	7,7	დიდი ზომის ძლიერ სუბმეტაცენტრული
C	6-12	7,2-5,7	საშუალო ზომის სუბმეტაცენტრული
D	13-15	4,2	საშუალო ზომის აკროცენტრული
E	16-18	3,6-3,2	მცირე ზომის სუბმეტაცენტრული
F	19-20	3,2-2,8	ყველაზე მცირე ზომის მეტაცენტრული
G	21-22	2,3	ყველაზე მცირეზომის აკროცენტრული
	X	7,2	საშუალო ზომის სუბმეტაცენტრული
	Y	2,3	მცირე ზომის აკროცენტრული

ქრომატინი სპირალიზებული ინაქტივირებული X ქრომოსომაა. ქალებში ერთ-ერთი X ქრომოსომა ემბრიოგენეზის ადრეულ საფეხურზე ინაქტივირდება სასქესო ქრომატინის სახით, რის გამოც ქალებისა და მამაკაცების სასქესო ქრომოსომებში თანაბარი რაოდენობის გენთა ბალანსი იქმნება. სასქესო ქრომატინს შეიცავენ ნებისმიერი ქსოვილის ბირთვები. მაგრამ ყველაზე ადვილია მისი გამოვლენა ისეთ უჯრედებში, რომელთაც მსხვილი ინტერფაზული ბირთვები მოეპოვებათ. ადვილია მისი გამოვლენა ეპითელურ ქსოვილებში (მაგ. ბიოფსირებული კანი, ლოყის შიგნითა ზედაპირის ან ვაგინალური ეპითელი, შარდის ცენტრიფუგირებით მიღებული ეპითელური უჯრედები). ბარის სხეულის გამოვლენა ადვილი და მოსახერხებელია პირის ღრუს ლორწოვანი გარსის ეპითელურ უჯრედებში.

ქალის ნორმალური კარიოტიპი ორ X ქრომოსომას შეიცავს, ერთ-ერთი მათგანიდან სასქესო ქრომატინი ყალიბდება. ამრიგად, ბირთვში სასქესო ქრომატინის რაოდენობა X სასქესო ქრომოსომების რაოდენობაზე ერთით ნაკლებია. მაგ. ნორმალური მამაკაცის ბირთვს იგი არ გააჩნია. თუ ქალის კარიოტიპია 45,X, მაშინ მასაც არ გააჩნია სასქესო ქრომატინი (იხ. ცხრილი 3-8). სათანადო წესით

დამუშავებულ მამაკაცის უჯრედის ინტერფაზულ ბირთვებში ლუმინესცენტური მიკროსკოპირებით შესაძლებელია Y ქრომოსომის იდენტიფიცირება.

სასქესო ქრომატინის განსაზღვრის მეთოდს იყენებენ როგორც სამედიცინო გენეტიკაში, ისე სასამართლო მედიცინაში (როდესაც სისხლის ლაქის მიხედვით სქესის დადგენა უნდათ ან როდესაც საჭიროა განსაზღვრონ სქესი, ნაპოვნი გვამის ნაწილი ქალისაა თუ მამაკაცის).

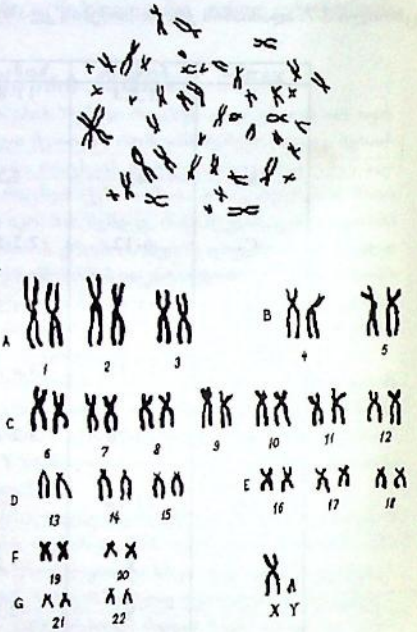
ციტოგენეტიკური მეთოდით შესაძლებელია:

1. კარიოტიპისა და ნორმალური ქრომოსომის მორფოლოგიისა შესწავლა;

2. სქესის დადგენა;

3. ანეუპლოიდიისა და ქრომოსომული აბერაციებით გამოწვეული ქრომოსომული დაავადებების დიაგნოსტირება;

4. ქრომოსომულ და გენომურ დონეზე მუტაციური პროცესის შესწავლა;



სურ.3.37.მამაკაცის კარიოტიპი და კარიოგრამა

5. პრენატალურად, დაბადებამდე, ქრომოსომულ დაავადებათა დიაგნოსტირება.

სომატურ უჯრედთა გენეტიკის მეთოდები

ადამიანის სომატურ უჯრედთა გენეტიკას 60-იან წლებში ჩაეყარა საფუძველი. ამ მეთოდებით ახდენენ სომატურ უჯრედთა მემკვიდრულობისა და ცვალებადობის შესწავლას. ადამიანის სომატური უჯრედები შეიცავს ქრომოსომათა დიპლოიდურ კომპლექტს. ბუნებრივია, ინდივიდის მთელი გენეტიკური ინფორმაცია მასშია მოთავსებული. ამდენად, ამ მეთოდებით როგორც ორგანიზმის ცალკეულ უჯრედში, ისე მთლიან ორგანიზმში მიმდინარე გენეტიკური პროცესების შესწავლაა შესაძლებელი. ქსოვილთა კულტურებზე იკვლევენ მრავალ ისეთ გენეტიკურ პროცესს, რომლის ანალიზი ადამიანში შეუძლებელია. სომატურ უჯრედებს სხვადასხვა ორგანოებიდან (კანი, ძვლის ტვინი, პერიფერიული სისხლი, სიმსივნის ქსოვილი, ემბრიონის ქსოვილები, ამნიონურ სითხეში არსებული უჯრედები და ა.შ.) ბიოფსიით გამოყოფენ. საკვლევად მეტწილად შემაერთებელ ქსოვილს (ფიბრობლასტები) და სისხლის ლიმფოციტებს იყენებენ. უჯრედებს ამრავლებენ ხელოვნურ საკვებარეზე.

ცხრილი 3-8. X სასქესო ქრომოსომებისა და ბარის სხეულაკთა თანაფარდობა ადამიანის პირის ღრუს ეპითელური ქსოვილის უჯრედებში

1X ქრომოსომა		ბირთვში ბარის სხეულაკი არაა. ჯანმრთელი მამაკაცი 46,XY ან დაავადებული ქალი 45.X (ტერნერის სინდრომი)
2X ქრომოსომა		ბირთვში ბარის ერთი სხეულაკია. ნორმალური ქალი 46,XX ან დაავადებული მამაკაცი 47, XXY (კლაინფელტერის სინდრომი)
3X ქრომოსომა		ბირთვში ბარის ორი სხეულაკია. დაავადებული ქალი 47, XXX (ტრიპლო X) ან დაავადებული მამაკაცი XXXY (კლაინფელტერის სინდრომი)

ქსოვილთა კულტურაში გენეტიკური ანალიზის სხვადასხვა მეთოდებით (ციტოგენეტიკური, ბიოქიმიური, იმუნოლოგიური და ა.შ.) იკვლევენ გენეტიკურ პროცესებს. სომატურ უჯრედთა გენეტიკური გამოკვლევისათვის იყენებენ შემდეგ ხერხს: კულტივირება, კლონირება, სელექცია, ჰიბრიდიზაცია. კულტივირების მეშვეობით მიიღებენ სომატური უჯრედების მასალას, რომელშიც გენეტიკური ანალიზის სხვადასხვა მეთოდებით სწავლობენ გენეტიკურ კანონზომიერებებს. კლონირების გზით ერთი უჯრედიდან იღებენ კლონურ (გენეტიკურად იდენტურ) უჯრედების მასას, რომელშიც სხვადასხვა (ბიოქიმიური, იმუნოლოგიური და ა.შ.) მეთოდებით ადგენენ გენეტიკურ კანონზომიერებებს. სომატურ უჯრედთა სელექციას მიმართავენ სპეციალურ (ლიმიტირებულ) საკვებ არეზე მუტანტური ან სპეციფიკური თვისებების მქონე უჯრედთა გადასარჩევად. ატარებენ როგორც განსხვავებული გენოტიპის, ისე გენომის მქონე უჯრედების ჰიბრიდიზაციას. მეტწილად წარმოიქმნება ჰეტეროკარიონული (ორივე მშობლის ბირთვების შემცველი) უჯრედები. ხშირად ორბირთვიან უჯრედებში მიმდინარეობს კარიოგამია და სინკარიონი (ჰიბრიდული უჯრედი) წარმოიქმნება. ახდენენ როგორც შიდასახეობრივ, ისე გვართა, რიგთა, კლასთა და ტიპთაშორის ჰიბრიდიზაციას. მიღებულია ადამიანის და ცხოველთა (მაიმუნი, ვირთაგვა, ზაზუნა, ქათამი, კოღო) უჯრედთა შორის ჰიბრიდები. ჰიბრიდული უჯრედების, რომელთა ბირთვში ორი განსხვავებული გენომია გაერთიანებული, შემდგომი გამრავლების პროცესში ერთ-ერთი სახეობის ქრომოსომების თანდათანობითი ელიმინაცია მიმდინარეობს. მაგ. "ადამიანი-თაგვის" ჰიბრიდულ უჯრედებში ადამიანის ქრომოსომები თანდათან იკარგება, მაშინ როდესაც „ადამიანი-ვირთაგვას„ ჰიბრიდულ უჯრედებში ვირთაგვას ყველა ქრომოსომა იკარგება ერთის გარდა. ჰიბრიდული უჯრედებიდან ადამიანის ქრომოსომების თანდათანობითი დაკარგვისა და პარალელურად მათში ფერმენტის ეტაპობრივი განსაზღვრით ადგენენ შესაბამისი ფერმენტის მაკონტროლირებელი გენის ლოკალიზაციას ქრომოსომაში. ამნიონური სითხის უჯრედებიდან მიღებულ ქსოვილურ კულტურაში ბავშვის დაბადებამდე ჩატარებული ანალიზით (ბიოქიმიური, ციტოგენეტიკური და სხვა) შესაძლებელია

100-ზე მეტი დაავადების დიაგნოსტირება. სომატურ უჯრედთა გენეტიკის მეთოდებით ადგენენ:

1.გენთა შეჭიდულობას და საზღვრავენ გენის ლოკალიზაციას ქრომოსომაში;

2.გენის პირველადი მოქმედების მექანიზმებს და გენთა ურთიერთმოქმედებას;

3.გენის მოქმედების რეგულაციას;

4.მემკვიდრულ დაავადებათა ჰეტეროგენულობას; მემკვიდრული დაავადებების პათოგენურობას მოლეკულურ და უჯრედულ დონეზე;

5.პრენატალურად მემკვიდრულ დაავადებათა ზუსტ დიაგნოსტირებას.

მოლეკულური ბიოლოგიის მეთოდები

მოლეკულური ბიოლოგიის სწრაფმა განვითარებამ განაპირობა რიგი მეთოდების ადამიანის გენეტიკაში გამოყენება. სტრუქტურული გენების შემცველი დნმ-ის ფრაგმენტებში სეკვენირების მეთოდებით განსაზღვრულია ნუკლეოტიდების თანმიმდევრობა. კერძოდ, სეკვენირებულია ჰემოგლობინის შემადგენელი α– და β–გლობინის, ზოგიერთი პოლიპეპტიდური ჰორმონის (ინსულინი, ზრდის ჰორმონი, ქორიონული სომატოტროპინი, პროლაქტინი) მაკოდირებელი გენები. ამჟამად გამოყოფილია აქტინის, ტუბულინის, ინტერფერონების მაკოდირებელი გენები და ახდენენ მათ სეკვენირებას.

გენური ინჟინერიის მეთოდებით ხორციელდება როგორც სტრუქტურული გენების გამოყოფა და სეკვენირება, ისე მათი კლონირება. სტრუქტურული გენის შემცველ ადამიანის დნმ-ის ფრაგმენტს ჩართავენ ბაქტერიულ პლაზმიდაში და ბაქტერიულ უჯრედში ახდენენ აღნიშნული სტრუქტურული გენის შესაბამისი პროდუქტის სინთეზს. ამ მიმართულების განვითარება გენის ანომალური პროდუქტით გამოწვეულ ზოგიერთი მემკვიდრული დაავადების თერაპიის პერსპექტივას იძლევა. ი-რნმ-დან უკუ ტრანსკრიპციის მეთოდებით მიღებულია დნმ-ის ზონდები. პაციენტის დნმ-თან მათი ჰიბრიდიზაციით ახდენენ სახიანო გენური მუტაციის ზუსტ იდენტიფიცირებას. დნმ-ის ნატიფი აგებულების შესწავლის მიზნით ადამიანის დნმ-ის მოლეკულაზე მოქმედებენ რესტრიქტაზებით (ფერმენტებით, რომლებიც სპეციფიკურ ადგილებში ხლეჩენ ნუკლეოტიდურ თანმიმდევრობებს) და ადვილად ახდენენ მიღებული მცირე ზომის ფრაგმენტების სეკვენირებასა და კლონირებას.

ამრიგად, გენური ინჟინერიის მეთოდების მეშვეობით შესაძლებელია ადამიანის სტრუქტურული გენების გამოყოფა, სეკვენირება და კლონირება. იგი საშუალებას იძლევა ჭარბად იქნას მიღებული გენით კოდირებული პოლიპეპტიდი. მეთოდების შემდგომი სრულყოფით შესაძლებელი გახდება რეგულატორული გენების სეკვენირება, დახიანებული მუტანტური ლოკუსების ნორმალური ალელებით შეცვლა. ამ მიმართულებით ისახება გენური თერაპიის დიდი პერსპექტივები.

3.13.ნიშნების მემკვიდრეობა ადამიანში

ადამიანში, ყველა პრო- და ეუკარიოტული ორგანიზმების მსგავსად, გენეტიკურ ინფორმაციას დნმ შეიცავს, რომელიც ძირითადად ქრომოსომებშია მოთავსებული, მცირე რაოდენობით კი მიტოქონდრიებში. ადამიანის ნორმალური კარიოტიპი 46

ქრომოსომისაგან შედგება, მათ შორის 44 აუტოსომაა, ორი კი სასქესო (X,Y). ვარაუდობენ, რომ ადამიანის გენომი შეიცავს დაახლოებით 50.000 სტრუქტურულ გენს. ამჟამად იდენტიფიცირებულია 3.000, ხოლო კარტირებულია 500 ლოკუსი. გამოვლენილია 24 (ქალს აქვს 23, მამაკაცს კი 24) გენთა შეჭიდული ჯგუფი. 22 ჯგუფი აუტოსომებშია განლაგებული, ორი კი სასქესო X და Y ქრომოსომაში. ყველაზე მეტი ლოკუსი იდენტიფიცირებულია 1,6,7,11 და X ქრომოსომებში. გენების ნორმალური ალელები აპირობებენ ადამიანის ფიზიკურ და ფსიქიკურ ჯანმრთელობას. გენები განსაზღვრავენ: სხეულის აგებულებას, სიმაღლეს, სხეულის მასას, თავისა და სხეულის ფორმას, ჩონჩხის აგებულების თავისებურებას, კანისა და თმის ფერს, დაავადებებისადმი მდგრადობას, სიარულისა და დგომის მანერას, სისხლის ჯგუფობრიობას, უჯრედის ბიოქიმიურ აქტივობას, მეცნიერებისა და ხელოვნების ამა თუ იმ დარგისადმი ძიდრეკილებას და ა.შ. გენის ცვლილება-მუტაცია ადამიანში მეტწილად უარყოფით შედეგს იწვევს. როგორც ყველა ორგანიზმში, ადამიანშიც თითოეული ნიშანი ან თვისება გენებითაა დეტერმინირებული. ორგანიზმის ყველა სომატური უჯრედი ერთნაირ გენეტიკურ მასალას შეიცავს. სხვადასხვა გენის ექსპრესია ონტოგენეზის სხვადასხვა ეტაპზე ხდება. ზოგიერთი გენი განვითარების ადრეულ საფეხურზე იწყებს მოქმედებას, ზოგიც-გვიან. ჰეტეროზიგოტურ მდგომარეობაში ზოგიერთი რეცესიული გენის ექსპრესია საერთოდ არ ძიმდინარეობს. ყოველივე ამის გამო ერთი განაყოფიერებული უჯრედიდან-ზიგოტიდან ყალიბდება ფენოტიპურად განსხვავებული უჯრედები, რომლებიც დასაბამს აძლევს სხვადასხვა ქსოვილებსა და ორგანოებს.

ადამიანი დიდი ჰეტეროგენულობით ხასიათდება. მასში ძიმდინარეობს ყველა ის ზოგადგენეტიკური პროცესი, რომელიც მრავალუჯრედიანი ეუკარიოტებისათვის, კერძოდ, ძუძუმწოვრებისათვისაა დამახასიათებელი. ვხვდებით ალელურ გენთა ურთიერთქმედების ყველა ფორმას: სრულ და არასრულ დომინანტობას, ზედომინანტობას, კოდომინანტობას; არაალელურ გენთა ურთიერთქმედების ყველა ფორმაა გამოვლენილი ადამიანში. კარგადაა შესწავლილი მონო- და პოლიგენური, პლეიოტროპული ნიშნის განსაზღვრის ტიპი. ამ გენეტიკურ კანონზომიერებებს წინა პარაგრაფებში უკვე გავეცანით. 3-9 ცხრილში წარმოდგენილია ზოგიერთი ნიშნის მემკვიდრეობა ადამიანში, რომელსაც სხვადასხვა გენის ალელები განსაზღვრავენ (ე.წ. მენდელირებადი ნიშნები).

ადამიანში საკმაოდ კარგადაა შესწავლილი ფენილთიოკარბამიდის (ფთკ) გემოს შეგრძნების უნარის მემკვიდრეობა. იგი აუტოსომურ-დომინანტურ ნიშანს წარმოადგენს. აშშ-ს მოსახლეობის (პოპულაციის) დაახლოებით 70% გრძნობს ამ ნივთიერების გემოს, ხოლო 30% კი არა. ჩვენ მიერ სტუდენტთა ჯგუფებში პრაქტიკული მუშაობის დროს ისაზღვრებოდა ამ ნიშნის სიხშირე. შესწავლილ ინდივიდებს შორის მგრძნობიარენი საშუალოდ 75% შეადგენდა. ამდაგვარიეე თანაფარდობითაა გავრცელებული ეს ნიშანი ევროპელებში.

ზოგიერთი პირი მაშინაც კი გრძნობს ფთკ-ის გემოს, როდესაც იგი უმცირესი რაოდენობითაა ხითხეში (19.10^{-8} მოლეკ./მლ). პოპულაციაში ამ გენის გამოვლენის ხარისხი განსხვავებულია, ე.ი. ახასიათებს ექსპრესიულობა. ზოგიერთისათვის ფთკ ძლიერ მწარე, ზოგიერთისათვის კი ნაკლებ მწარეა. ოჯახების მიხედვით ამ ნიშნის

ცხრილი 3-9. ზოგიერთი ნიშნის მემკვიდრეობა ადამიანში

ნიშნები	მემკვიდრეობის ტიპი	
	დომინანტური	რეცესიული
თვალის ფერი	ყავისფერი	ცისფერი
თვალის ჩრილი	სწორი	ირიბი
თვალის ზომა	დიდი	პატარა
თვალის ტიპი	შინგოლოიდური	კავკასოიდური
მხედველობა	ახლომხედველობა	ნორმალური
ცხვირის ზომა	დიდი	საშუალო ან პატარა
ცხვირის ფორმა	კეხიანი	ნორმალური,
ნესტოები	ფართო	ვიწრო
ყურის სიგანე	ფართო	ვიწრო
ყურის სიგრძე	გრძელი	მოკლე
ყურის ბიბილო	შეზრდილი	ჩამოშვებული
ლოყის ღრმულები	არის	არ არის
ომა	პატარა კულულებით	სწორი ან ტალღისებრი
სიქანჩლე	მამაკაცებში	ქალებში
თმის გათეთრება	25 წლის ასაკში	40 წლის შემდეგ
თეთრი თმის კულული შუბლთან	არის	არ არის
სახის ფორმა	მრგვალი	ოვალური
ქვედა ტუჩი	მსხვილი	ნორმალური
გაბურძგნული წარბები	არის	არ არის
ენის ჩახვევა მილისებურად	არის	არ არის
ენის უკან მოხრის უნარი	არის	არ არის
კბილები დაბადებისას	არის	არ არის
ჭორფლიანობა	არის	არ არის
ქალას ფორმა	მოკლე	წაგრძელებული
ხიმაღლე	ნორმალური	პროპორციული ჯუჯა
სიმაღლე	დისპროპორციული ჯუჯა(ქონდროპლაზი)	ნორმალური
ხელის ხმარება	მემარჯვნია	ცაცია
ოთვების ზომა	მოკლე (ბრაქიდაქტილია)	ნორმალური
ჰიპერტრიქოზი	არის	არ არის
ხმა(ქალებში)	ხოპრანო	ალტი
ხმა(კაცებში)	ბანი	ტენორი

ანალიზმა ცხადყო, რომ ნიშანი მონოგენურად მემკვიდრეობს. ხდება სრული დომინირება. ფთკ-ის გემოს შეგრძნების უნარს გენის დომინანტური T ალელი განსაზღვრავს, შეგრძნების უუნარობას კი რეცესიული t ალელი. ჰომოზიგოტი (TT) და ჰეტეროზიგოტი (Tt) ინდივიდები გრძნობენ ფთკ-ს გემოს. თუ ორივე მშობელი ვერ გრძნობს ამ ნივთიერების გემოს, მაშინ მათი შთამომავლობაც მოკლებულია ამ უნარს. თუ ერთ-ერთი მშობელი დომინანტი ჰომოზიგოტია (TT), მეორე მშობლის გენოტიპს არა აქვს მნიშვნელობა. მაშინ მათი ყველა შვილი შეიგრძნობს ნივთიერების გემოს (TT X TT; TT X Tt; TT X tt); ჰეტეროზიგოტი ინდივიდის ჰეტეროზიგოტ (Tt X Tt) ან რეცესიულ ჰომოზიგოტ (Tt X tt) პირთან ქორწინებისას ოჯახში იბადებიან როგორც ფთკ-ს გემოს შემგრძნობი, ისე ამ უნარს მოკლებული შვილები. პირველ შემთხვევაში მოსალოდნელი დათმშვის თანაფარდობაა 3:1, ხოლო მეორე შემთხვევაში კი 1:1.

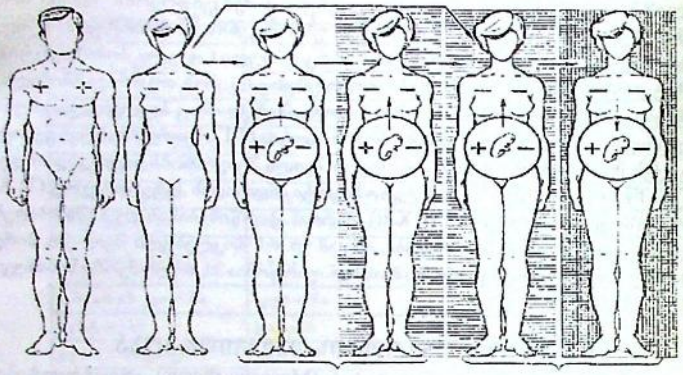
რეზუს ფაქტორის მემკვიდრეობა

1940 წელს მაიმუნ მაკაკა რეზუსის (Macacus rhesus) ერითროციტებიდან გამოყვეს ანტიგენი, რომელსაც რეზუს ფაქტორი (Rh-ფაქტორი) უწოდეს. მოგვიანებით იგი ადამიანშიც აღმოაჩინეს. ევროპელთა 85%-ს აქვს ეს ფაქტორი, ე.ი. წარმოადგენენ რეზუს-დადებითს (Rh^+), 15% რეზუს-უარყოფითია (Rh^-), ე.ი. ანტიგენი არ გააჩნიათ. შესწავლილია ამ ნიშნის გავრცელების სიხშირე საქართველოს სხვადასხვა კუთხის მკვიდრ მოსახლეობაში. 3-6 ცხრილიდან ჩანს, რომ Rh^+ ფენოტიპის სიხშირე პოპულაციაში საკმაოდ მაღალია და 76,7%-დან 93,1-მდეა. რეზუს-უარყოფით სისხლის ჯგუფის მქონე პირებში რეზუს-ფაქტორისადმი ანტისხეულის გამომუშავება არ ხდება, მაგრამ იგი წარმოიქმნება უცხო ანტიგენზე თავდაცვითი რეაქციის შედეგად. თუ მას რეზუს-დადებით სისხლს გადავუსხამთ. რეზუს ფაქტორის მემკვიდრეობას განსაზღვრავს პირველ ქრომოსომაში ლოკალიზებული სამი C,D,K ძლიერ შეჭიდული გენი. რის გამოც ამ ნიშნის მემკვიდრეობა მონოგენური ხასიათისაა. რეზუს-დადებით ფაქტორს გენის დომინანტური ალელები განსაზღვრავენ, ხოლო უარყოფითს-რეცესიული ალელები.

როდესაც რეზუს-უარყოფით დედას რეზუს-დადებითი ჯგუფის შვილი უჩნდება, პირველი მშობიარობა შეიძლება ნორმალურად წარიმართოს. თუ დედის სისხლში ნაყოფის სისხლი მოხვდა (პლაცენტის კედლის დაზიანების გამო), ქალის სხეულში წარმოიქმნება Rh^+ ფაქტორისადმი ანტისხეულები. მომდევნო ორსულობის დროს ანტისხეულები ნაყოფის სისხლში გადადის და შლის Rh^+ ანტიგენის მქონე ერითროციტებს. ყოველი მომდევნო ორსულობისას Rh^+ ანტიგენთან შეუთავსებელი ანტისხეულების რაოდენობა მატულობს. ზოგჯერ ემბრიონი იღუპება, ბუნებრივია, თუ ის Rh^+-ია. შეინიშნება მკვდრადშობადობა. ნაყოფში დედის სისხლის შეჭრის შემთხვევაში ჰემოლიზური დაავადება ვითარდება (სურ.3.38).

გენოტიპისა და გარემოს როლი ადამიანის ფენოტიპის ფორმირებაში

ონტოგენეზის სხვადასხვა ეტაპზე მიმდინარეობს ადამიანის ფენოტიპის



სურ.3.38.რეზუს ფაქტორის მემკვიდრეობა და ჰემოლიზური დაავადება ახალშობილებში. ა)მამა-რეზუს დადებითი (Rh^+). ბ)დედა რეზუს უარყოფითი (Rh^-). გ)პირველი ორსულობა. Rh^+ ანტიგენი შედის დედის სისხლის მიმოქცევის სისტემაში და წარმოიქმნება რეზუს-ანტისხეულები. ვინაიდან მათი რაოდენობა მცირეა, იბადება ნორმალური ბავშვი. დ)მეორე ორსულობა. ხდება Rh^+ ნაყოფით დედის დამატებითი იმუნიზირება. რეზუს-ანტისხეულების რაოდენობა მატულობს. დედიდან ისინი შედიან ნაყოფის სისხლის მიმოქცევის სისტემაში და შლიან ერითროციტებს (ერითრობლასტოზი) ნაყოფი იღუპება.

ჩამოყალიბება, რომელიც მემკვიდრული მასალის რეალიზაციის შედეგია. ვინაიდან ადამიანი ბიოსოციალური ბუნებისაა, ფენოტიპის ჩამოყალიბებაზე გარემო ფაქტორები (კერძოდ, სოციალური) მნიშვნელოვან გავლენას ახდენენ. ამჟამად ადამიანის ეუოლუცია ძირითადად სოციალურ სფეროში მიმდინარეობს. მემკვიდრული მასალის რეალიზაციის ხარისხი დამოკიდებულია იმაზე, თუ როგორ პირობებში მიმდინარეობს ეს პროცესი. ფენოტიპის ფორმირებისას მემკვიდრულობა და გარემო შეიძლება იყოს მიზეზი ან განსაზღვრულ როლს ასრულებდეს დაავადებათა ან მანკის განვითარებაზე. ამ თვალთახედვით ნორმალური განვითარებიდან გადახრები შეიძლება სამ ჯგუფად დაიყოს:

1.მემკვიდრული დაავადებები. მათი განვითარება მხოლოდ მემკვიდრული მასალის დეფექტურობითაა გამოწვეული, გარემო კი დაავადების გამოვლენის მოდიფიცირებას ახდენს. მათ მიეკუთვნება დაუნის დაავადება, ჰემოფილია, ფენილკეტონურია და სხვა.

2.დაავადებები მემკვიდრული მიდრეკილებებით ანუ წინასწარგანწყობით. მათი განვითარება არახელსაყრელი ფაქტორების მოქმედებითაა გამოწვეული. ზემოქმედების რეალიზაცია გენეტიკურ კონსტიტუციაზეა დამოკიდებული, რომელიც მიდრეკილებას განსაზღვრავს. ამგვარი დაავადებები საკმაოდ მრავალრიცხოვანია, რომელიც მეტწილად ზრდასრულ და ხანდასრულ ასაკში ვლინდება. მათ მიეკუთვნება ჰიპერტონიული დაავადება, გულის იშემიური დაავადება, კუჭისა და თორმეტგოჯა ნაწლავის წყლულოვანი დაავადება. ასევე თანდაყოლილი მანკები,

როგორიცაა ნერვული მილის დეფექტები (აენცეფალია, თავისა და ზურგის ტვინის თიაქრები, სახისა და ტუჩის ნაპრალები-„კურდღლის ტუჩი„ „მგლის ხახა„ და სხვ.).

3.მსოლოდ პარემოს ზემოქმედებით პამოწვეული დაავადებები. მათი რიცხვი საკმაოდ მცირეა, ესაა განსაკუთრებული ზემოქმედება ორგანიზმზე (დამწვრობა, ტრავმა, საშიში ინფექციური დაავადებები). ამ სახის პათოლოგიის მიმდინარეობა და საბოლოო შედეგი მნიშვნელოვნადაა დამოკიდებული მემკვიდრულობაზე.

3.14.მემკვიდრული დაავადებები

ადამიანის პოპულაციაში გენეტიკური ტვირთი მეტწილად მემკვიდრული დაავადებების სახით ვლინდება. მემკვიდრული დაავადების სიხშირის შეფასებისათვის შეიძლება მოვიყვანოთ ა.სტივენსონის მიერ ჩრდილოეთ ირლანდიაში ჩატარებული გამოკვლევების შედეგები. გამოირკვა, რომ ახალშობილთა 4%-ს აღენიშნებოდა სერიოზული გენეტიკური დეფექტები. ამ მონაცემში არ შედის სპონტანური აბორტები და მკვდრადშობადობა, რომელიც რეგისტრირებულ ფეხმძიმეთა შორის 14%-ს შეადგენდა. მათი გარკვეული ნაწილი, ბუნებრივია, გენეტიკური ანომალიებითაა გამოწვეული. წარმოდგენილი მაჩვენებელი ასევე არ შეიცავს მოზრდილთა ისეთ გავრცელებულ დაავადებათა მაჩვენებელს, როგორიცაა დიაბეტი და შიზოფრენია, რომელთა განვითარებაში მნიშვნელოვან როლს ასევე გენეტიკური კომპონენტები ასრულებენ. ამავე ავტორის მიერ დადგენილია, რომ ავადმყოფთა 26%-ს, რომელიც საავადმყოფოში მკურნალობდა, მემკვიდრული დაავადება ჰქონდა. ამავე კატეგორიას მიეკუთვნებოდა ასევე კონსულტაციაზე აღრიცხულ პაციენტთა 6-8%. შიზოფრენია ადამიანის პოპულაციაში საშუალოდ 1% სიხშირით გვხვდება, ზოგიერთ ქვეყანაში კიუფრო მაღალი სიხშირით. მაგ. შვედეთის ჩრდილოეთში ამ დაავადების სიხშირე 2-3%-ს შეადგენს. მემკვიდრულ დაავადებებს ორ დიდ ჯგუფად (გენური და ქრომოსომული) ყოფენ.

გენური დაავადებები

ზოგიერთი გენური დაავადება მონოგენურად-მენდელის კლასიკური სქემით მემკვიდრეობს, ზოგიც პოლიგენურ მემკვიდრეობის ტიპს მიეკუთვნება. ამ უკანასკნელში გაერთიანებულია დაავადებები მემკვიდრული მიდრეკილებებით, რომელთა მემკვიდრეობა საკმაოდ რთულია, ე.წ. მულტიფაქტორულია. გენურ მუტაციებს ფენოტიპური გამოვლენის მიხედვით აჯგუფებენ. მათ მიეკუთვნება: ფერმენტული სისტემის მემკვიდრული დარღვევები (ენზიმოპათიები), სისხლის ცილების მემკვიდრული დეფექტები, სტრუქტურული ცილების მემკვიდრული დეფექტები და სხვ. განვიხილოთ ზოგიერთი მაოგანი.

გენეტიკის პოზიციიდან ენზიმოპათიების შესწავლას საფუძველი XX საუკუნის დასაწყისში ჩაეყარა ა.გეროდის (1902) გამოკვლევებით. ენზიმოპათიას იწვევს როგორც ფერმენტის აქტიურობის ცვლილება, ისე ფერმენტის სინთეზის ინტენსიურობის დაქვეითება. დაავადება ვლინდება იმ პირებში, რომელთა გენი ჰომოზიგოტურ მდგომარეობაშია. ჰეტეროზიგოტებში ხდება როგორც ნორმალური (50%), ისე

ანომალური ფერმენტის სინთეზი. ასეთი ინდივიდები კლინიკურად ჯანმრთელნი არიან, მათი გამოვლენა სპეციალური გამოკვლევებითაა შესაძლებელი. უჯრედში ნივთიერებათა ცვლის დარღვევის ხასიათის მიხედვით არჩევენ ენზიმოპათიების შემდეგ ფორმებს:

1.ნახშირწყლების ცვლის დარღვევით გამოწვეული დაავადებები (გალაქტოზემია- ლაქტოზის მეტაბოლიზმის დარღვევა, მუკოპოლისაქარიდოზი-პოლისაქარიდების დაშლის დარღვევა);

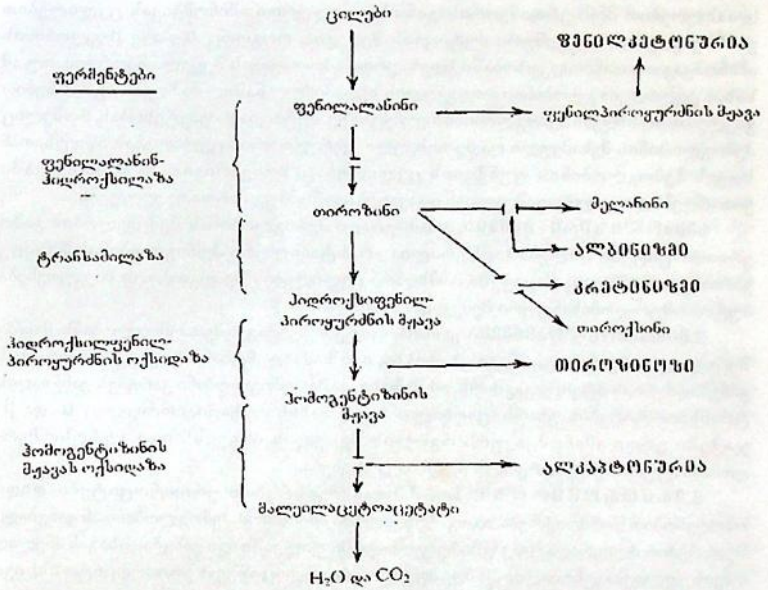
2.ლიპიდებისა და ლიპოპროტეინების ცვლის დარღვევით გამოწვეული დაავადებები (სფინგოლიპიდოზი-სტრუქტურული ლიპიდების დაშლის დარღვევა; სისხლის პლაზმის ლიპიდების ცვლის დარღვევა, რომელიც ქოლესტერინის, ლეციტინის რაოდენობის მომატებას ან დაქვეითებას იწვევს);

3.ამინომჟავების ცვლის დარღვევით გამოწვეული დაავადებები.

განვიხილოთ ფენილალანინის ცვლის დარღვევით გამოწვეული დაავადებები. ფენილალანინის ცვლის სხვადასხვა ეტაპის ბლოკირება ნაირგვარ დაავადებას იწვევს. ფენილალანინი ფერმენტ ფენილალანინჰიდროქსილაზას ზემოქმედებით გარდაიქმნება ტიროზინად. მუტაციის შედეგად, როდესაც ნივთიერებათა ცვლის ეს ეტაპი ირღვევა, ვითარდება დაავადება ფენილკეტონურია. ორგანიზმში დიდი რაოდენობით გროვდება შუალედი პროდუქტები (ფენილალანინის გარკვეული ნაწილი მეორეულ პროდუქტად - ფენილპიროყურძნისმჟავად გარდაიქმნება). ისინი სისხლსა (0,003-0,04 გ/ლ ნაცვლად არის 0,5-0,6 გ/ლ) და შარდში გამოიყოფიან. ფერმენტის ანომალიის გამო ორგანიზმი ვერ ითვისებს ფენილალანინს. ირღვევა ამ ნაერთის გარდაქმნის მომდევნო ეტაპები, აღარ წარმოიქმნება ორგანიზმისათვის ისეთი მნიშვნელოვანი ნაერთები, როგორიცაა ტიროზინი, ადრენალინი, ნორადრენალინი, მელანინი. შუალედური პროდუქტები ტოქსიკურად მოქმედებენ ტვინზე. ირღვევა უმაღლესი ნერვული მოქმედება. ირღვევა ასევე მიელინიზაცია. ვითარდება მიკროცეფალია, თავს იჩენს გონებრივი ჩამორჩენილობა. დაავადება გვხვდება საკმაოდ მაღალი სიხშირით (ახალშობილებში 1:10000, პოპულაციაში კი 1-4:100000). ეს დაავადება ყველაზე კარგადაა შესწავლილი. ახალშობილებში დროული დიაგნოსტირებით და დიეტოთერაპიის მკურნალობით (საკვებიდან უნდა გამოირიცხოს ფენილალანინი) დაავადების ფენოტიპური გამოვლენა არ ხდება. როდესაც ირღვევა მეორე რგოლი, მაშინ დეფექტური ფერმენტი (ტიროზინაზა) ვერ ახდენს ტიროზინიდან პიგმენტ მელანინის სინთეზს, ვითარდება დაავადება ალბინიზმი (პოპულაციაში გვხვდება 1:10000-დან 1:200000-მდე სიხშირით). ავადმყოფებს აღენიშნებათ კანის, თმის, თვალის ფერადი გარსის აპიგმენტაცია. მზის რადიაციისადმი მაღალი მგრძნობელობა, ავადმყოფებს ნამზეურობა არ უვითარდებათ, შეინიშნება კანის კიბოსადმი მიდრეკილება. ფენილალანინის ცვლის მომდევნო რგოლების ბლოკირება იწვევს თიროზინოზსა და ალკაპტონურიას (იხ.სურათი 3.39);

4.ვიტამინების ცვლის დარღვევით გამოწვეული დაავადებები (ჰომოცისტინურია- ვითარდება B_6 და B_{12} ვიტამინების კოფერმენტის გენეტიკური დეფექტის შედეგად)

5.პურინის და პირიმიდინის აზოტოვანი ფუძეების ცვლის დარღვევით გამოწვეული დაავადებები (ლეშ-ნაიანის სინდრომი, გამოწვეულია იმ ფერმენტის დეფე-



სურ. 3-39.ფენილალანინის ფერმენტული გარდაქმნის რეაქციათა ბლოკირებით გამოწვეული დაავადებები (ყველა მათგანი მიეკუთვნება აუტოსომურ-რეცესიულ ტიპს)

ქტით, რომელიც ახდენს ნუკლეოტიდებში თავისუფალი აზოტოვანი ფუძეების ჩართვას. X-შეჭიდული რეცესიული მემკვიდრეობის ტიპი).

6.ჰორმონების ბიოსინთეზის დარღვევით გამოწვეული დაავადებები (ანდრეოგენიტალური სინდრომი, გამოწვეულია გენების მუტაციით, რომლებიც აკონტროლებენ კორტიკოსტეროიდების სინთეზს).

ჰემოგლობინოპათიები. ადამიანის ჰემოგლობინი მეოთხეული სტრუქტურის მქონე ცილაა. მოლეკულა შედგება ოთხი გლობინის (ორი α და ორი β) პოლიპეპტიდური ჯაჭვისაგან, რომლებიც ერთმანეთთან დაკავშირებულია რკინის შემცველი არაცილოვანი კომპონენტით-ჰემით. αპოლიპეპტიდი შედგება 141 ამინმჟავური ნაშთისაგან, β-კი 146-გან. თითოეული ჯაჭვის სინთეზს აკონტროლებს კლასტერები (გენთა ჯგუფისაგან შემდგარი ოჯახი). β-პოლიპეპტიდის მასინთეზებელი გენები მე-11 ქრომოსომაშია ლოკალიზებული, α-პოლიპეპტიდისა კი მე-16 ქრომოსომაში. დღეისათვის კარგადაა შესწავლილი ამ გენთა სტრუქტურა. კლასტერის შემადგენელი გენების ექსპრესია ონტოგენეზის სხვადასხვა ეტაპზე მიმდინარეობს. აღინიშნება გენეტიკური პოლიმორფიზმი. გამოვლენილია ჰემოგლობინის 400 ნაირსახეობა. ჰემოგლობინის ვარიანტთა უმეტესობა

(დაახლოებით 350) ერთიმეორისაგან მხოლოდ ერთი ამინომჟავას ცვლილებით განსხვავდება, რაც გენური მუტაციის შედეგია. როგორც α-, ისე β-გლობინის ამინომჟავათა თანმიმდევრობაში ხდება ერთი ამინომჟავას შეცვლა მეორეით. თუ ამ სახის ცვლილება გლობინის მოლეკულის ზედაპირულ ნაწილში ხდება, იგი არსებით გავლენას არ ახდენს ჰემოგლობინის ფუნქციაზე. მუტაციათა უმეტესობას, რომელიც ჰემოგლობინის მესამეული და მეოთხეული სტრუქტურის ცვლილებას იწვევს, თან სდევს ჰემოგლობინის ფუნქციის ცვლილებაც. ბუნებრივია, ამ შემთხვევაში ვითარდება დაავადება. გამოყოფენ დაავადებათა შემდეგ ძირითად ჯგუფებს:

1.**ჰემოლიზური ანემია.** არამდგრადი ჰემოგლობინის შემცველობის გამო ერითროციტები იშლება (აღწერილია არასტაბილური ჰემოგლობინის 100-მდე ვარიანტი, რომელიც β-ჯაჭვში მომხდარი ცვლილების შედეგია), იგი მიეკუთვნება აუტოსომურ-დომინანტური მემკვიდრეობის ტიპს;

2.**მეთჰემოგლობინემია.** ერითროციტები შეიცავენ მეთჰემოგლობინს. მათში შეცვლილია რკინის დაჟანგვის ხარისხი, იგი სამვალენტიანი ხდება. ამ ნაერთთან ჟანგბადი ქმნის მტკიცე კავშირს. ამ შემთხვევაში ჰემოგლობინი კარგავს ჟანგბადის ტრანსპორტირების უნარს (ცნობილია ხუთი სახის მუტაცია, რომელიც α- და β-ჯაჭვში ერთი ამინომჟავური რგოლის შეცვლას იწვევს). იგი აუტოსომურ-დომინანტური მემკვიდრეობის ტიპს მიეკუთვნება.

3.**ერითროციტოზი.** ნორმასთან შედარებით ერითროციტები დიდი რაოდენობით წარმოიქმნება. იგი გამოწვეულია იმით, რომ ჰემოგლობინთან ჟანგბადი შედარებით ძლიერადაა დაკავშირებული და ქსოვილებში იგი ჟანგბადისაგან ძნელად თავისუფლდება (ცნობილია 30-მდე მუტაცია, რომელიც იწვევს ერითროციტოზს). იგი აუტოსომურ-დომინანტური მემკვიდრეობის ტიპს მიეკუთვნება.

4.**ნამგლისებრუჯრედებიანი ანემია.** ნორმალური A ჰემოგლობინის ნაცვლად ერითროციტებს მისი ერთ-ერთი ვარიანტი-S აღმოაჩნდება. მასში β-ჯაჭვის მე-6 მდგომარეობაში უარყოფითი მუხტის მქონე გლუტამინის მჟავა შეცვლილია ნეიტრალური ვალინით. ჰომოზიგოტი HbS/HbS ინდივიდები ანემიის მძიმე ფორმით არიან დაავადებულნი. ჰიპოქსიის დროს S ჰემოგლობინი წარმოქმნის კრისტალის მსგავს სტრუქტურებს, რის გამოც იცვლება უჯრედის მორფოლოგია. იგი ნამგლისებურ ფორმას იძენს. ჰეტეროზიგოტები HbA/HbS კლინიკურად ჯანმრთელები არიან. ძლიერი ჰიპოქსიის დროს, ზღვის დონიდან 3000 მ-ზე ყოფნისას, მათაც უვითარდებათ ანემია. მიეკუთვნება აუტოსომურ-რეცესიული მემკვიდრეობის ტიპს.

ჰემოგლობინის განხილული მუტანტური ფორმები სტრუქტურულ გენებში მომხდარი ახოტოვანი ფუძეების შეცვლის შედეგია. α და β გლობინის სინთეზის მაკონტროლებელ გენებში ხდება სხვადასხვა ტიპის სპონტანური მუტაციათა ინდუქცია, რაც იწვევს პათოლოგიებს. გენის ცვლილებას განაპირობებს, აგრეთვე, არათანაბარი კროსინგოვერი (ალელურ გენთა შორის რეკომბინაციის დარღვევა). იგი ახდენს ათვლის ჩარჩოს გადაადგილებას. სტრუქტურულ გენებში ცვლილებების გამო ირღვევა α ან β გლობინის სინთეზი, კერძოდ, პროცესი ნელდება ან სერთოდ წყდება. ამ სახის დარღვევებს, რომლებიც იწვევს პათოლოგიის განვითარებას, ერთ ჯგუფად აერთიანებენ და მას თალასემიას უწოდებენ.

ა ჰემოფილია (ე.წ. სამეფო ჰემოფილია). დაავადებას იწვევს X სასქესო

ქრომოსომაში ლოკალიზებული რეცესიული გენი. დაავადების გადაცემისას შეინიშნება "კრის-კროს" მემკვიდრეობა. ვლინდება ძირითადად ვაჟებში. დაავადების გამოვლენის სიხშირე: ყოველი 2500 ახალშობილი ვაჟიდან დაავადებულია ერთი (1:2500). დაავადება ჩვეულებრივ ვლინდება 2-3 წლის ასაკში. თუმცა დაავადების სიმპტომები ადრეულ ასაკშიც შეინიშნება. სისხლის შეუღედებლობა გამოწვეულია ორგანიზმში ანტიჰემოფილური გლობულინის ანუ VIII ფაქტორის დეფექტით ან არარსებობით. დაავადებულებში პრეფიბრინი ფიბრინად არ გარდაიქმნება. სისხლძარღვთა მცირე დაზიანებაც კი საშიშია და იწვევს სისხლდენას. ავადმყოფები მკურნალობის გარეშე ადრეულ ასაკში იღუპებიან. აღწერილია ჰემოფილიის იშვიათი შემთხვევები ქალებში, რაც შეიძლება ჰემოფილიით დაავადებულ მამაკაცთან ჰეტეროზიგოტი ქალის ქორწინების შედეგი იყოს. არსებობს სხვა მექანიზმებიც.

მეორე ტიპი- B ჰემოფილია დიდი ხანი არ არის, რაც აღმოაჩინეს. სისხლის შეუღედებლობა გამოწვეულია თრომბოპლასტინის ანუ IX ფაქტორის დეფექტით, რომელსაც იწვევს X სასქესო ქრომოსომაში ლოკალიზებული გენის მუტაცია.

ქრომატინული დაავადებები. იგი სტრუქტურული ცილების მემკვიდრული ცვლილებების ჯგუფს მიეკუთვნება. დაავადებას იწვევს კოლაგენის ბიოსინთეზისა და დაშლის ეტაპების მაკონტროლებელი გენების მუტაციები. მას მიეკუთვნება მარფანის სინდრომი და სხვა დაავადებები.

ქრომოსომული დაავადებები

ცალკეული ქრომოსომის სტრუქტურის ან კარიოტიპში მათი რიცხვის ცვლილება იწვევს ქრომოსომულ დაავადებებს. ასეთი სახის მუტაციები ევოლუციის პროცესში ჩამოყალიბებულ გენეტიკურ სისტემაში მნიშვნელოვან დისბალანსს იწვევს, რის გამოც ირღვევა ადამიანის ნორმალური განვითარება. ზშირად, ამდაგვარი ცვლილებების შედეგად, ორგანიზმი ონტოგენეზის სხვადასხვა სტადიაზე (მეტწილად ემბრიონული განვითარების ადრეულ ეტაპებზე) იღუპება. ადამიანში აღწერილია პოლიპლოიდიის, კერძოდ, ტრიპლოიდიის მოვლენა. ტრიპლოიდური ნაყოფი მეტწილად ემბრიონული განვითარების ადრეულ სტადიაზე იღუპება, თუმცა აღწერილია ცოცხლადშობის ერთეული შემთხვევები. გენომური მუტაციებიდან ადამიანში შედარებით ხშირია ანეუპლოიდია. სხვადასხვა ქრომოსომების მიხედვით ანეუპლოიდები როგორც აბორტუსებში, ისე დაბადებულ ბავშვებშია აღწერილი. ანეუპლოიდიის ზოგიერთი ფორმა (მაგ. მე-16 ქრომოსომის ტრისომია) ძლიერ არღვევს და აქვეითებს ცხოველმყოფელობის პროცესს. მონოსომია ცოცხლადშობილებში მეტად იშვიათია. ძირითადად აღწერილია X სასქესო ქრომოსომის მონოსომია. ადამიანში შედარებით მეტი რაოდენობითაა გამოვლენილი ტრისომიები. ამჟამად ცნობილია როგორც აუტოსომური (მე-8, მე-9, მე-13, მე-14, მე-18, 21-ე, 22-ე), ისე X სასქესო ქრომოსომების ტრისომია.

ქრომოსომების სტრუქტურის ცვლილებაც გენეტიკური მასალის დისბალანსს იწვევს. ცხოველმყოფელობის დაქვეითების ხარისხი დამოკიდებულია როგორც ქრომოსომული აბერაციის ტიპზე, ასევე გენომში მემკვიდრული მასალის რაოდენობის ცვლილებაზე. მაგ. 22-ე ქრომოსომის გრძელი მხარის მე-9 ქრომოსომაზე ტრანსლოკაცია იწვევს ქრონიკული მიელოლეიკოზის განვითარებას.

ამჟამად შესწავლილია 100-მდე ქრომოსომული სინდრომი, რომელიც სხვადასხვა ქრომოსომის ანომალიითაა გამოწვეული. თუ გამეტებიდან ერთ-ერთს შეცვლილი ქრომოსომათა კომპლექტი აქვს, მაშინ მისი მონაწილეობით ჩამოყალიბებული ზიგოტიდან განვითარებულ ორგანიზმს ყველა უჯრედში ანომალური ქრომოსომული კომპლექტი ექნება. კარიოტიპის განსაზღვრა ნებისმიერი ქსოვილის უჯრედების შესწავლითაა შესაძლებელი. როდესაც ქრომოსომული აბერაციები ან კომპლექტის ცვლილება ზიგოტის დაყოფისას ერთ-ერთ ბლასტომერში ხდება, მაშინ ორგანიზმი მოზაიკურია (უჯრედთა ნაწილს შეცვლილი კარიოტიპი აღმოაჩნდება, ნაწილს კი ნორმალური). ამ შემთხვევაში დიაგნოსტირება რთულია. საჭიროა სხვადასხვა ქსოვილის უჯრედების კარიოტიპის ანალიზი.

<u>პა-13 ქრომოსომის ტრისომია (პატაუს სინდრომი).</u> ანომალია პირველად 1960 წელს კ.პატაუმ აღწერა. პოპულაციაში დაავადების სიხშირე 1:5000 შეადგენს. დაავადებული შვილები უმეტესად ასაკოვან დედებს უჩნდებათ. დაავადების შემთხვევაში აღინიშნება: ცენტრალური ნერვული სისტემის, გულ-სისხლძარღვთა, საჭმლის მომნელებელ, შარდ-სასქესო სისტემების, ასევე კიდურების სხვადასხვა სახის მანკები. ამ დაავადების დამახასიათებელი ნიშანია ტუჩისა და სასის ნაპრალი („კურდღლის ტუჩი„, „მგლის ხახა„). ორივე სქესის ინდივიდები თანაბარი ალბათობით იბადებიან. დაავადებულების სიცოცხლის ხანგრძლივობა ძირითადად ერთ წელზე ნაკლებია.

<u>პა-18 ქრომოსომის ტრისომია (ედვარდსის სინდრომი).</u> ანომალია 1960 წელს ედვარდსისა და მისი თანამშრომლების მიერაა აღწერილი. ადგილი აქვს მე-18-ე ქრომოსომის ტრისომიას. დაავადება თანაბარი სიხშირით ვლინდება ორივე სქესის წარმომადგენლებში. პოპულაციაში დაავადების სიხშირეა 1:10000. შინაგანა ორგანოების განვითარებაში შეინიშნება მრავალმხრივი დარღვევები: პატარა სახე, თავის ზომა რედუცირებულია, დეფორმირებული ყურები, განუვითარებელი ქვედა ყბა. ავადმყოფები უმეტესად იღუპებიან 2-3 ოვის ასაკში, იშვიათად ცოცხლობენ ერთ წლამდე. უმეტესად უჩნდებათ 35-40 წლისა და მეტი ხნის დედებს.

<u>21-ე ქრომოსომის ტრისომია (დაუნის სინდრომი).</u> დაავადება პირველად აღწერა ინგლისელმა ექიმმა ლ.დაუნმა (1866). დაავადების მიზეზი დაადგინეს ფრანგმა გენეტიკოსებმა ჟ.ლეჟენმა და რ.ტიუპირმა (1959). ეს დაავადება ყველაზე კარგადაა შესწავლილი, ვინაიდან მაღალი სიხშირით (1:500-1:800) გვხვდება. გონებაჩლუნგ ბავშვთა შორის 10-12% დაუნის სინდრომზე მოდის. დადგენილია კორელაცია დედის ასაკსა და დაუნის დაავადებას შორის, რაც უფრო ასაკოვანია დედა, მით უფრო მეტია დაავადებული შვილის ყოლის რისკი (იხ. ცხრილი 3-2). ძირითადი სიმპტომებია: შენელებული ფსიქომოტორული განვითარება, აბსტრაქტული აზროვნება შეზღუდულია, ეპიკანტი, ღია პირი, ბრაქიცეფალია, დისპლასტიური ყურები, კბილების ანომალიები, დაღარული ენა. ასევე დამახასიათებელია: თანდაყოლილი გულის მანკი, კატარაქტა, საჭმლის მომნელებელი სისტემის განვითარებაში რიგი პათოლოგიური ცვლილებები. მომატებულია რისკი ლეიკემიისა და ეპილეფსიისადმი. იმუნიტეტის დაქვეითების გამო ადვილად ემართებათ ინფექციური დაავადებები. ამ სახის ტრისომიის შედეგად ნაყოფი მეტწილად იღუპება. დაუნის სინდრომით დაავადებულთა სიცოცხლის ხანგრძლივობა ხანმოკლეა და საშუალოდ შეადგენს 16 წელს.

ამჟამად სათანადო მკურნალობის მეშვეობით სიცოცხლის ხანგრძლივობა გაზრდილია. ზოგიერთი მათგანი სქესობრივი სიმწიფის ასაკსაც აღწევს და ძალზე იშვიათად ტოვებენ შთამომავლობასაც. დაავადება ძირითადად 21-ე ქრომოსომის ტრისომიითაა გამოწვეული. იგი მეიოზში ჰომოლოგიური ქრომოსომების განურიდებლობის შედეგია. იშვიათად მას რობერტსონული ტრანსლოკაციაც იწვევს. ამ შემთხვევაში ქრომოსომათა რიცხვი ფორმალურად იგივერჩება, მაგრამ 21-ე ქრომოსომა რომელიმე აკროცენტრულ ქრომოსომაზეა ტრანსლოცირებული. იგი მეტწილად მე-14 ქრომოსომას უკავშირდება, ზოგჯერ სხვა 21-ე ქრომოსომასთან ან 22, 13 და 15 ქრომოსომებთანაა შეერთებული.

<u>ტერნერის სინდრომი (45,X)</u>. პირველად დაავადების კლინიკური სურათი შერეშევსკიმ აღწერა (1925), ხოლო კლასიკური შესწავლა ტერნერს (1938) ეკუთვნის. ციტოგენეტიკური სურათი (XO) 1959 წელს დაადგინა ფორდმა თანაავტორებთან ერთად. იგი მონოსომიით გამოწვეული დაავადების ერთადერთი შემთხვევაა ადამიანში. დაავადების სიხშირე ახალშობილებში 1:5000 შეადგენს. სომატური უჯრედების ბირთვს სასქესო ქრომატინი არ გააჩნია, მათში მხოლოდ ერთი სასქესო ქრომოსომაა. კლინიკური სურათი მეტად ვარიაბელურია. არიან ტანდაბალი (საშუალო სიმაღლე 140 სმ, აქვთ სფინქსის სახე, მოკლე კისერი, კისერზე ფრთისებრი ნაოჭები, გულმკერდის ყაფაზი ფართოა, ფარის ფორმის. სარძევე ჯირკვლები ძლიერ დაცილებული და განუვითარებელია. აღენიშნებათ გულ-სისხლძარღვთა და შარდსასქესო სისტემების თანდაყოლილი მანკები. გონადების ნაცვლად აქვთ შემაერთებელ-ქსოვილოვანი ხონარი, პრიმორდიალური ფოლიკულები არ გააჩნიათ. სასქესო ორგანოები ინფანტილურია, წესისამებრ დამახასიათებელია უნაყოფობა. დაავადება არ იწვევს გონებრივ ჩამორჩენილობას. შეინიშნება ფსიქიკის თავისებურებანი (ინფანტილიზმი).

<u>სინდრომი "ტრიპლო X"</u>. სინდრომი პირველად 1959 წ. ჯაკობსმა და მისმა თანაავტორებმა აღწერეს. მათ დაავადებული ქალების პირის ღრუს ლორწოვანი გარსის უჯრედის ბირთვში ერთის ნაცვლად ორი სასქესო ქრომატინი შენიშნეს. ამ დაავადებულთა კარიოტიპი შეესაბამება 47,XXX. კლინიკური სურათი მეტად ვარიაბელურია. პოპულაციაში დაავადების სიხშირე შეადგენს 1-1,4:1000 დაბადებულ გოგონაზე. ზოგჯერ ავადმყოფებს განუვითარებელი აქვთ საკვერცხეები, ზოგ შემთხვევაში აღინიშნება საშვილოსნოს ჰიპოპლაზია. სინდრომის მქონე ქალების ნაწილი უნაყოფოა (ნაწილს საშვილოსნო განვითარებული აქვს და ჰყავს შვილები). სომატური ანომალიები იშვიათია, უმეტესად შეიმჩნევა სქესობრივი განვითარების დარღვევები (არარეგულარული მენსტრუალური ციკლი, პრიმორდიალური ფოლიკულების რიცხვი ძლიერ შემცირებულია), ზოგჯერ დაავადებულებში შეინიშნება ინტელექტის დაქვეითება, ფსიქიკური გადახრები, მომატებულია შიზოფრენიის განვითარების რისკი.

<u>კლაინფელტერის სინდრომი (47,XXY)</u>. დაავადების კლინიკა პირველად 1942 წელს აღწერა კლაინფელტერმა. დაავადებული მამაკაცების პირის ღრუს ლორწოვანი გარსის ეპითელური უჯრედების ბირთვში სასქესო ქრომატინის სხეული 1956 წელს პლანკეტმა და ბარმა აღმოაჩინეს. ციტოგენეტიკური სურათი კი 1959 წ. ერთდროულად დაადგინა რამდენიმე მეცნიერმა (ჯაკობი და სტრონგი, ფორდი და სხვ.).

კარიოტიპი შეესაბამება 47,XXY. პოპულაციაში სიხშირე შეადგენს 1:1000 ახალშობილ ვაჟზე. დაავადება მემკვიდრეობით არ გადაეცემა, მათი წარმოქმნა მეიოზში ქრომოსომათა განურიდებლობის შედეგია.

ავადმყოფებს აღენიშნებათ: ახოსპერმია, გინეკომასტია, მცირე ზომის და მკვრივი საყვლეები. წვერი არა აქვთ ან სუსტადაა განვითარებული. აღენიშნებათ საჭურისის მსგავსი და ოდნავ ფემინიზირებული ჰაბიტუსი (ევნუქიზმი), კიდურების დაგრძელების ხარჯზე მაღალტანიანობა, ბოქვენზე ქალის ტიპის თმის საფარველი, ცხიმის განაწილება ორგანიზმში ქალის ტიპისაა. სინდრომის მქონე მამაკაცი უნაყოფოა (სტერილურია). დამახასიათებელია სქესობრივი ლტოლვის შესუსტება, ზოგჯერ იმპოტენცია, მაღალი ევნუქის მსგავსი ხმა. ზოგჯერ შეინიშნება ნევროლოგიური ცვლილებები. აღენიშნებათ ქცევის დარღვევები, მომატებულია შიზოფრენიის რისკი.

სინდრომი 47,XYY. პირველად აღწერეს 1962 წ. დარღვევათა სიხშირე პოპულაციაში შეადგენს 1:1000 ახალშობილ ვაჟზე. დაავადებულები ხშირად მაღლებია (საშუალოდ 180-185 სმ). ინტელექტი ძირითადად არ არის შეცვლილი. ბოლო გამოკვლევებით სინდრომის კავშირი ასოციალურ ქცევასთან არ დადასტურდა. 47,XXX სინდრომის მსგავსად ახასიათებს კლინიკური სურათის ვარიაბელურობა და შეიძლება კლინიკურად არც გამოვლინდეს. ზოგჯერ დაავადებულებში აღინიშნება სხვადასხვა სახის თანდაყოლილი ანომალია, უნაყოფობა, ჰიპოგონადიზმი.

დაავადებები მემკვიდრული წინასწარგანწყობით

მემკვიდრულ დაავადებებს, რომელთა გამოვლენა გარემო ფაქტორების ინიცირებით ხორციელდება, ცალკე ჯგუფად გამოყოფენ და ეწოდება **დაავადებები მემკვიდრული (მიდრეკილებების) წინასწარანწყობით.** ამ სახის დაავადებების პათოგენეზს საფუძვლად უძევს მემკვიდრულ ინფორმაციაში მომხდარი ცვლილებები, მაგრამ მათი გამოვლენისათვის გარკვეული გარემო ფონია საჭირო. იგი წარმოადგენს პათოგენურ რეაქციას სხვადასხვა მაინიცირებელ ფაქტორებზე, როგორიცაა: სტრესი, სამკურნალო პრეპარატები, კვებითი დანამატები (ემულგატორები, კონსერვანტები, საღებავები და ა.შ.), კლიმატური პირობები (დაბალი ან მაღალი ტემპერატურა, მზის სინათლე), ბიოლოგიური (ვირუსული, ბაქტერიული, სოკოვანი დაავადებები, ვაქცინები) და სხვ.

დაავადებები მემკვიდრული წინასწარგანწყობით შეიძლება ორ ჯგუფად დაიყოს: მონოგენური, როდესაც დაავადება ერთი გენის ანომალური ცვლილებითაა გამოწვეული და პოლიგენური. ამ უკანასკნელს განსაზღვრავს ადიტიური მოქმედების მრავალი გენი. მათ გამოვლენას ხელს უწყობს როგორც გენოტიპში ვენთა რაოდენობა და ურთიერთქმედების ხარისხი, ისე გარკვეული ხელშემწყობი, მაინიცირებელი ფაქტორების ერთდროული მოქმედება. ამ სახის დაავადებებს მულტიფაქტორულ დაავადებებს უწოდებენ.

ადამიანში მონოგენური დაავადებები მემკვიდრული წინასწარგანწყობით შედარებით მცირერიცხოვანია. ისინი მენდელირებადი ნიშნებია და მათი განმსაზღვრელი გენები მონოგენური სქემით გადაეცემა შთამომავლობას. მოვიყვანოთ რამდენიმე მაგალითი. ფერმენტ გლუკოზო-6-ფოსფატდეჰიდროგენაზას სინთეზს განსაზღვრავს

X-სასქესო ქრომოსომაში ლოკალიზებული დომინანტი გენი. ფერმენტი ლოკალიზებულია ერიოროციტებში და იგი გლუკოზის დაშლის საწყის ეტაპში მონაწილეობს. რეცესიული მუტანტური ალელის მქონე ჰომოზიგოტებში ფერმენტი მცირე რაოდენობით სინთეზდება. ჩვეულებრივ პირობებში ფერმენტის დეფიციტი ადამიანში არ ვლინდება, მაგრამ მალარიის საწინააღმდეგო პრეპარატების (ქინინი, პრიმაქინა) და ასკორბინის მჟავას მიღებისას ხდება ერითროციტების ჰემოლიზი. ვითარდება ძლიერი პათოგენური რეაქცია. მსგავს, მაგრამ შედარებით მუბუქ რეაქციას ვხვდებით სულფამინამიდური პრეპარატების, ზოგიერთი საკვების (ხურტკმელი, წითელი მოცხარი, ცერცვი) მიღებისას. რეცესიული ჰომოზიგოტ ადამიანთა რაოდენობა დაახლოებით 300 მილიონია, ისინი ძირითადად მალარიის გავრცელების ენდემურ რაიონებში ცხოვრობენ.

რეცესიულ ჰომოზიგოტ ადამიანში α-1-ანტიტრიპსინი მცირე რაოდენობით სინთეზდება. მათ ადრეულ ასაკში ფილტვის შეშუპება (ემფიზემა) ემართებათ. ჰეტეროზიგოტები კლინიკურად ჯანმრთელებია, მაგრამ მათზე მავნე აირების მოქმედება (თამბაქოს წევა, ჰაერში წარმოების გამონაბოლქვები) ასევე იწვევს ფილტვის დაავადების განვითარებას.

მულტიფაქტორულ დაავადებებს მიეკუთვნება: პოდაგრა, ფსორიაზი, შაქრიანი დიაბეტი, გულის იშემიური დაავადებები, კუჭისა და თორმეტგოჯა ნაწლავის წყლულოვანი დაავადებები, შიზოფრენია და სხვა. ადამიანებში, რომელთაც მემკვიდრული წინასწარგანწყობა აქვთ პოდაგრისა და დიაბეტისადმი, სალიცილის მჟავასა და მისი წარმოებულებისაგან დამზადებული პრეპარატები კლინიკურად ჯანმრთელ ადამიანებში დაავადების განვითარებას იწვევენ, ავადმყოფებში კი-დაავადების გამწვავებას. ათეროსკლეროზის დროს ქოლესტერინის მაღალი შემცველობაა სისხლში, რაც მრავალი გენის მოქმედების შედეგია. გენთა ერთი ჯგუფი იწვევს ქოლესტერინის შემცველობის მომატებას სისხლში (ოჯახური ჰიპერქოლესტერინემია), მეორე ჯგუფი ტრიგლიცერიდების კონცენტრაციის გადიდებას (ოჯახური გლიცერიდემია), შესაძე კი ორივე ერთდროულად (კომბინირებული ჰიპერლიპიდემია). ქოლესტერინი და ტრიგლიცერიდები ადრეულ ასაკში კორონალური სისხლძარღვების ათეროსკლეროზის განვითარებას იწვევს. მიაჩნიათ, რომ ეს გენები გარემო ფონთან ერთად ათეროსკლეროზისა და მიოკარდის ინფარქტისადმი განწყობას განაპირობებს.

ხშირად ზოგიერთი დაავადებებისადმი წინასწარგანწყობა შეიმჩნევა სხვა გენთა გარკვეული თანწყობისას. I (0) ჯგუფის ინდივიდებში გაცილებით მაღალია კუჭისა და თორმეტგოჯა ნაწლავის წყლულის სიხშირე, ვიდრე სხვა ჯგუფებში. II (A) ჯგუფის მქონე პირებს უფრო ხშირად ემართებათ კუჭის, ნაწლავების, საშვილოსნოს, სათესლეების, სარძევე ჯირკვლების კიბო, შაქრიანი დიაბეტი, გულის იშემიური დაავადებები, ქოლეცისტიტი, ნაღვლ-კენჭოვანი დაავადება, რევმატიზმი, ვიდრე დანარჩენი ჯგუფის პირებს.

3.15.დიაგნოსტიკის მნიშვნელობა და მემკვიდრულ დაავადებათა მკურნალობა

მედიცინის განვითარების კვალობაზე მემკვიდრულ დაავადებათა გამოვლენის შესაძლებლობა სულ უფრო მატულობს, რაც სამედიცინო გენეტიკისა და ადამიანის გენეტიკაში მიღწეულმა წარმატებებმა განაპირობა. სადღეისოდ მემკვიდრულ

დაავადებათა მკურნალობის ეფექტური მეთოდები, იშვიათი გამონაკლისის გარდა, არ გაგვაჩნია. იმ შემთხვევაშიც კი, როდესაც მედიცინის ჩარევით ზოგიერთი დაავადების განვითარება შეიძლება თავიდან ავიცილოთ, ეს დაავადებები განკურნებულად მაინც ვერ ჩაითვლება, ვინაიდან მემკვიდრული დაავადების მიზეზი გენეტიკურ აპარატში მომხდარი ცვლილებაა, რომლის აღმოფხვრა ამჟამად შეუძლებელია. მოლეკულური ბიოლოგიის, გენეტიკისა და მედიცინის მიღწევები იმედისმომცემ პერსპექტივებს სახავს. მცირე ხანში შესაძლებელი გახდება გენეტიკურ მასალაში მომხდარი ცვლილების გასწორება ან დაზიანებული ნაწილის შეცვლა.

მემკვიდრულ დაავადებათა დიაგნოსტირებისათვის მოწოდებულია შემდგომი რეკომენდაციები: 1.გამოყენებულ იქნეს კლინიკურ-გენეალოგიური მეთოდი, რომლითაც შესაძლებელია "ოჯახური" დაავადების გამოვლენა;

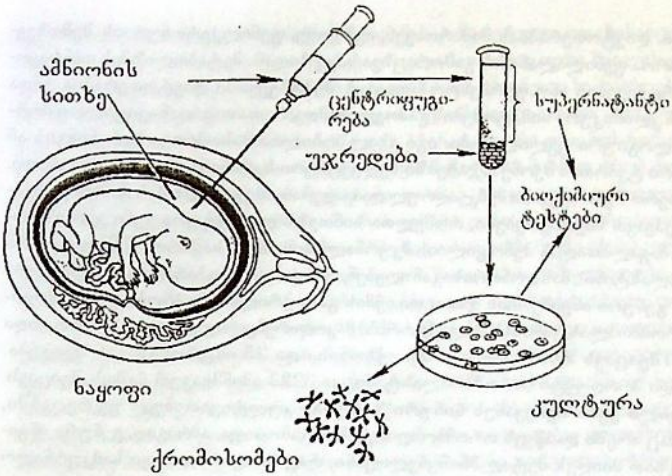
2.ხშირად მემკვიდრულს განეკუთვნება დაავადება, რომელიც ქრონიკულად მეორდება და ხანგრძლივი მკურნალობის კურსი (განსაკუთრებით ბავშვობის ასაკში) შედეგს არ გვაძლევს;

3.შესაძლო მემკვიდრული დაავადების ფორმაზე მიუთითებს სპეციფიკური სიმპტომები, რომლებიც იშვიათად გვხვდება;

4.მრავალი ორგანოს და ორგანოთა სისტემების პათოლოგიური ცვლილებები შესაძლო მემკვიდრული დაავადების მიმანიშნებელია.

მართლაც, მემკვიდრული დაავადებებისათვის დამახასიათებელია პლეიოტროპია, მუტანტური ნიშნის სპეციფიკური გამოვლენა სხვადასხვა სისტემებში. თანამედროვე ეტაპზე საგანგებო ყურადღება ექცევა პროფილაქტიკის მიზნით მემკვიდრული დარღვევების ადრეულ ეტაპზე გამოვლენას. მუცლადყოფნის პერიოდში მემკვიდრულ მასალაში ისეთი დარღვევის აღმოჩენის შემთხვევაში, რომელიც ძძიმე მემკვიდრულ დაავადებას გამოიწვევს, შესაძლებელია ორსულობის შეწყვეტა. ზოგ შემთხვევაში პრენატალურად ან დაბადებისთანავე სათანადო მკურნალობით შესაძლებელია სიმპტომების თავიდან აცილება. დიაგნოსტირებისათვის მასალას ნაყოფიდან სხვადასხვა მეთოდით იღებენ. ერთ-ერთი მეთოდია **ამნიოცენტეზი**. ორსულობის 14-16 კვირიდან ქირურგიული შპრიცით იღებენ 10-15 მლ ამნიონის სითხეს. სინჯი შეიცავს ჩანასახის უჯრედებს და ცხოველქმედების პროდუქტებს. ცენტრიფუგირებით გამოყოფილი უჯრედები გადააქვთ ხელოვნურ საკვებ არეზე და ახდენენ კულტივირებას. მათში ქრომოსომული და გენომური მუტაციების გამოვლენა შესაძლებელია ციტოგენეტიკური მეთოდით. მემკვიდრული ცვლილების ლოკალიზაციას ადგენენ დნმ-ის ზონდების გამოყენებით, სითხეში კი ბიოქიმიური მეთოდებით საზღვრავენ მეტაბოლიტების თანაფარდობას (სურ.3.40).

ამჟამად ამნიოცენტეზით ხდება 100-ზე მეტი ქრომოსომული ანომალიისა და გენური დაავადების, ნივთიერებათა ცვლის დარღვევით გამოწვეული დაავადების, აგრეთვე, დედისა და ნაყოფის ერითროციტარული ანტიგენებით გამოწვეული შეუთავსებლობის დიაგნოსტირება. დიაგნოსტირებისათვის მასალას ქორიონის ბიოფსიის გზითაც იღებენ. ამნიოცენტეზთან შედარებით, ამ შემთხვევაში დიაგნოსტირება ჩანასახის განვითარების გაცილებით ადრეულ ეტაპზე ხორციელდება (ორსულობის 8-9 კვირიდან). მემკვიდრული დარღვევის აღმოჩენის შემთხვევაში ორსულობას წყვეტენ ჩანასახის განვითარების ადრეულ ეტაპზე. ნაყოფის სისხლძარღვების



სურ.3.40.ამნიოცენტე'ზი-მემკვიდრული დაავადების პრენატალური დიაგნოსტირების მეთოდი

პუნქციის მეთოდით მიღებულ მასალაში სისხლის უჯრედების შესწავლით ადგენენ ჰემოგლობინოპათიებს. ასევე აღებული სისხლის ნიმუშით შესაძლებელია ქრომოსომული და მთელი რიგი მონოგენური დაავადების დიაგნოსტირებაც. პრენატალური დიაგნოსტირება ტარდება ორსულობის 20-22 კვირამდე, როცა ნაყოფი ჯერ კიდევ არაა სიცოცხლისუნარიანი.

ინვა'ზიური პრენატალური დიაგნოსტირება ჩანასახისათვის ყველა შემთხვევაში უსაფრთხო არაა, ამასთანავე იგი ძვირადღირებული და შრომატევადია. ამ სახის გამოკვლევას განსაკუთრებულ შემთხვევაში მიმართავენ, კერძოდ: 1.როდესაც მშობლებიდან ერთ-ერთში ქრომოსომული აბერაციაა (ინვერსია, ტრანსლოკაცია) გამოვლენილი; 2.როდესაც მშობელი დომინანტურ მემკვიდრულ დაავადებას ატარებს; 3.როდესაც მშობლებს რეცესიული მემკვიდრული დაავადების მქონე შვილები ჰყავთ, რაც მათ ჰეტეროზიგოტულობას მიგვანიშნებს; 4.როდესაც დედა 35 ან მეტი წლისაა, ამ შემთხვევაში იზრდება ტრისომიები; 5.განმეორებადი სპონტანური აბორტების შემთხვევაში, რაც დედისა და ნაყოფის ერითროციტარულ ანტიგენურ შეუთავსებლობას მიგვანიშნებს; 6.როდესაც მშობლებს ჰყავთ შვილები განვითარების მანკით.

'ზოგიერთ მემკვიდრულ დაავადებას დიეტოთერაპიით მკურნალობენ. გალაქტო'ზემიის დროს უჯრედებში გროვდება გალაქტო'ზა, ვინაიდან არ გააჩნია მისი დამშლელი ფერმენტი β-D-გალაქტო-1-ფოსფატურიდილტრანსფერა'ზა, ავადმყოფებს უ'ხიანდებათ ღვიძლი (ჰეპატომეგალია), უვითარდებათ კატარაქტა, შეინიშნება ფსიქომოტორული ჩამორჩენა. მკურნალობის გარეშე ავადმყოფები იღუპებიან. საჭიროა ახალშობილის საკვებიდან გამოირიცხოს დედის რძე და გალაქტო'ზის შეცვე-

ლი საკვები. დიეტოთერაპიას მიმართავენ, აგრეთვე, ფენილკეტონურიის შემთხვევაშიც. სჭიროა ფენილალანინის გამორიცხვა საკვებიდან. მეტაბოლიზმის თანდაყოლილი დარღვევების ანუ ფერმენტოპათიების შემთხვევაში დიეტოთერაპია უნდა დაინიშნოს კლინიკური სიმპტომების გამოვლენამდე, რათა თავიდან ავიცილოთ მორფოფიზიოლოგიური ცვლილებები. იგი ახალშობილთა მასობრივი სკრინინგის ან გენეტიკური ტვირთის მქონე ოჯახებში სელექციური სკრინინგითაა შესაძლებელი.

ზოგიერთ შემთხვევაში მემკვიდრულ დაავადებათა მკურნალობის მიზნით ორგანიზმში შეჰყავთ ნივთიერებები, რომელთა სინთეზს დეფექტური გენი ვერ ახორციელებს. მაგალითად, A ჰემოფილიის მკურნალობისათვის საჭიროა VIII ფაქტორი (თრომბოპლასტინი), მას დონორისაგან იღებენ, რის გამოც პრეპარატის ღირებულება მაღალია. გენური ინჟინერიის გზით თითქმის გადაჭრილია ეს პრობლემა. გამოყოფილია თრომბოპლასტინის (VIII ფაქტორის) მაკოდირებელი გენი. იგი საკმაოდ დიდი ზომისაა (შეიცავს 186000 ნ.წ.) და 26 ექზონისა და 25 ინტრონისაგან შედგება. პირველადი პროდუქტი (თრომბოპლასტინი) კი 3223 ამინმჟავურ ნაშთს შეიცავს. გამოყოფილი გენი შეიყვანეს ჩინური ზაზუნას კულტივირებულ უჯრედებში, რომლებმაც არეში დაიწყეს თრომბოპლასტინის გამოყოფა. ამრიგად, გენური ინჟინერიის გზით მიიღეს მეტად მნიშვნელოვანი, რაც მთავარია, იაფი სამკურნალო პრეპარატი.

ჰემოლიზური დაავადებისას Rh^- დედებში მშობიარობის შემდეგ შეჰყავთ Rh-გლობულინი. იგი შლის ნაყოფის წარმომავლობის Rh-პოზიტიურ უჯრედებს და აბრკოლებს Rh ანტიგენების წარმოქმნას, რომელიც აზიანებს ნაყოფს შემდგომი ფეხმძიმობისას.

მემკვიდრულ დაავადებათა მკურნალობაში ფართოდ იყენებენ ქირურგიულ მეთოდებს. ავადმყოფს ჰკვეთენ ორგანოს ან მის ნაწილს, ახდენენ დაზიანების კორექციას, ტრანსპლანტაციას. მაგ. ახდენენ მსხვილი ნაწლავის (პოლიპოზი), ელენთის (სფეროციტოზი), თირკმლის (ცისტინოზი) და სხვა ორგანოების ამოკვეთას. მრავალ ანომალიას ქირურგიული კორექციით ("კურდღლის ტუჩი" გულის მანკი, პოლისინდაქტილია და სხვ.) ასწორებენ.

3.16. სამედიცინო გენეტიკური კონსულტაცია

სამედიცინო გენეტიკაში მოპოვებული წარმატებების მიუხედავად, ამჟამად მემკვიდრულ დაავადებათა მკურნალობისა და მათი აღკვეთის ეფექტური მეთოდები არ არსებობს. ზოგიერთი დაავადების მკურნალობის მიუხედავად ეთიოლოგიური ფაქტორი - დეფექტური გენი პაციენტს შენარჩუნებული აქვს. მომავალში მემკვიდრულ დაავადებათა განკურნება გენური ინჟინერიის მეთოდებს დაეფუძნება. ამჟამად მემკვიდრულ პათოლოგიათა წინააღმდეგ ძირითადად გამოიყენება პროფილაქტიკური ღონისძიებები. დიდი მნიშვნელობა აქვს გარემო მუტაგენური ფაქტორების შეზღუდვას და ადამიანის საარსებო გარემოს დაცვას დამაბინძურებელი ფაქტორებისაგან. მემკვიდრულ დაავადებათა აღსაკვეთ მეთოდთა შორის მნიშვნელოვანია სამედიცინო გენეტიკური კონსულტაცია. ეს სამსახური მოსახლეობას უწევს სპეციალიზებულ სამედიცინო დახმარებას, რომელიც კვალიფიცირებული ექიმი-გენეტიკოსის მიერ ტარდება და მიმართულია ოჯახში მემკვიდრული პათოლოგიის მქონე ბავშვის გაჩენის თავიდან ასაცილებლად. სამედიცინო გენეტიკური კონსულ-

ტაცია მიზნად ისახავს: პროგნოზის შედგენას კონკრეტული ოჯახისათვის, რომელთაც ეყოლათ ან მოსალოდნელია მემკვიდრული პათოლოგიური შვილის ყოლა. გენეტიკური რისკის მქონე ცოლქმრული წყვილის მოსალოდნელი საშიშროების შესახებ მისაწვდომად ინფორმირება: მათ ეძლევათ რეკომენდაცია თავი შეიკავონ შვილის ყოლისაგან ან ორსულობისას ჩაუტარდეს პრენატალური დიაგნოსტირება; სპეციალური გენეტიკური მეთოდებით სწორი დიაგნოსტირების მიზნით პრობანდის ნათესავებში გენეტიკური ანალიზის ჩატარება და რისკის ჯგუფის გამოვლენა; მოსახლეობასა და სამედიცინო მუშაკთა შორის გენეტიკური ცოდნის პროპაგანდა.

გენეტიკური პროგნოზის არსი იმაში მდგომარეობს, რომ გამოსაკვლევ ოჯახში განისაზღვროს მემკვიდრული პათოლოგიური შვილის ყოლის ალბათობა. გამოყოფენ შთამომავლობის პროგნოზის ორ (პროსპექტულ და რეტროსპექტულ) ფორმას.

პროსპექტული პროგნოზირებისას მემკვიდრული დაავადების რისკის განსაზღვრა ხდება როდესაც კონკრეტულ ოჯახში ჯერ არ არის დაბადებული ბავშვი. იგი პროფილაქტიკის ყველაზე ეფექტურ ფორმას წარმოადგენს. ამ სახის პროგნოზირებას ატარებენ ახლონათესაური ქორწინებისას; ასევე, როდესაც რომელიმე მშობლის შთამომავლობაში მძიმე მემკვიდრული დაავადებაა დაფიქსირებული; ან რომელიმე მათგანი ექვემდებარებოდა გარემოს მავნე ფაქტორის (მძიმე ინფექცია, მაიონიზებელი რადიაცია, სამკურნალო პრეპარატები და სხვ.) მოქმედებას.

რეტროსპექტული პროგნოზირება ტარდება, როდესაც ოჯახში უკვე ეყოლათ დაავადებული შვილი. იგი მიზნად ისახავს განისაზღვროს მომავალში ჯანმრთელი მემკვიდრეობის ალბათობა. პროგნოზირება როგორც ემპირიული, ისე თეორიული გამოთვლის საფუძველზე ხდება. კონსულტირება სამ ეტაპს მოიცავს. პირველ ეტაპზე ადგენენ დაავადებულის დიაგნოზს. მეტწილად სამედიცინო გენეტიკურ კონსულტაციას მიმართავს ცოლქმრული წყვილი, რომლებსაც ეყოლათ დაავადებული შვილი ან რომელიმე მათგანს დაავადებული ნათესავი ჰყავს. ზუსტი გენეტიკური და კლინიკური დიაგნოზი საშუალებას იძლევა განისაზღვროს გენეტიკური რისკის ხარისხი, შეირჩეს პრენატალური დიაგნოსტირების ეფექტური მეთოდები და პროფილაქტიკური მკურნალობის ეფექტური საშუალებები.

კონსულტირების მეორე ეტაპზე ახდენენ შთამომავლობის პროგნოზს. პროგნოზირება მემკვიდრული დაავადების ფორმის (გენური; ქრომოსომული) მიხედვით სპეციფიკურია. სპეციფიკური გენეტიკური რისკი დაბალია თუ იგი 5%-10% ფარგლებშია; 10%-ის შემთხვევაში არის მომატებული მსუბუქი ფორმით. 20%-მდე საშუალო, ხოლო 20%-ის ზემოთ გენეტიკური რისკი მაღალია. მიაჩნიათ, რომ საშუალო გენეტიკური რისკის დროს შვილის ყოლა არაა მიზანშეწონილი. კონსულტაციის მესამე ეტაპზე ექიმი-გენეტიკოსი მისაწვდომი ფორმით ცოლქმრულ წყვილს განუმარტავს გენეტიკური რისკის რაობას და თუ რა ალბათობით შეიძლება ეყოლოთ დაავადებული შვილი, აუხსნის პრენატალური დიაგნოსტირების არსს და ეხმარება სწორ არჩევანში. ამასთანავე საკითხის საბოლოო გადაწყვეტა მხოლოდ მშობლებს შეუძლიათ.

ნაწილი IV. ორგანიზმთა ინდივიდუალური განვითარება

შესავალი

ცოცხალ ორგანიზმთა ზრდა და განვითარება წარმოადგენს ბიოლოგიურ მოვლენათა ყველაზე დიდ საოცრებას. ადამიანის ერთი პატარა უჯრედიდან-ხიგოტიდან ყალიბდება ჩანასახი, რომელსაც განვითარების გარკვეული სტადიების ვაკლის შემდეგ თანმიმდევრულად უყალიბდება ყველა ორგანო, მასში მიმდინარე პროცესებით, რაც დამახასიათებელია ზრდასრული ადამიანისათვის. დაბადებული ჩვილი ჩამოყალიბებული პატარა ადამიანია.

შეხედულებები ჩანასახის განვითარების შესახებ თანდათან გროვდებოდა. დღესაც მრავალი საკითხი გაურკვეველია და მოითხოვს მეცნიერულ ახსნას. მიუხედავად ამისა, ექსპერიმენტულმა ემბრიოლოგიამ დააგროვა მასალა, რომელიც საშუალებას იძლევა გაეცეს პასუხი განვითარების ძირითად პროცესებს. ადამიანი, როგორც ცნობისმოყვარე არსება, განვითარების პროცესებით მაშინვე დაინტერესდა, როგორც კი დაიწყო აზროვნება და მოვლენების განსჯა. ისტორიამ შემოგვინახა ადამიანის შემოქმედების მრავალი საინტერესო და უცნაური ნააზრევი. ერთ-ერთი ასეთი შეხედულება თარიღდება ძველი წელთაღრიცხვის 500 წლით, რომელიც ბერძენ ფილოსოფოსს პითაგორს ეკუთვნის: სქესობრივი აქტის დროს მამაკაცის ყველა ორგანოში არსებული ორთქლი თავს იყრის სხეულის ქვემო ნაწილში და კონდენსირების შედეგად გადაიქცევა თესლად. თესლი საშვილოსნოში მოხვედრის შემდეგ მიიღებს ადამიანის ფორმას. ჩანასახში თესლის გარკვეული ნაწილიდან ყალიბდება სხვადასხვა ორგანოები, რომლებიც შეესაბამება მამის ორგანოებს. 200 წლის შემდეგ არისტოტელე დააკვირდა ქათმის ჩანასახის განვითარებას. იგი იღებდა კრუხობის სხვადასხვა პერიოდში კვერცხებს და აღნიშნა: ჩანასახის განვითარება მიმდინარეობს ეტაპობრივად. არისტოტელემ დაასკვნა, ემბრიონის წარმოქმნა ჰგდება ორიგე მშობლის სითხეების შერევის შედეგად.

არისტოტელეს შეხედულებამ თითქმის 2000 წელი იარსება. XVII საუკუნეში გამოჩენილმა ინგლისელმა ექიმმა და ბიოლოგმა უილიამ ჰარვეიმ, რომელიც ცნობილია სისხლის მიმოქცევის სისტემაში ჩატარებული შრომებით, გადაწყვიტა შეეშოწმებინა არისტოტელეს შეხედულება. იგი იყო კარლოს პირველის კარის ექიმი. მეფემ თავის კუთვნილ ირმებზე დაკვირვებების ჩატარების ნება დართო. შერჩეულ იქნა 12 დედალი ირემი. იგი ცხოველებს განაყოფიერებიდან სხვადასხვა პერიოდში კლავდა. პირველი ემბრიონი მიღებული იყო განაყოფიერებიდან პირველი კვირის ბოლოს. ემბრიონი იყო ძალიან პატარა და სრულიად არ ჰგავდა მშობლებს. მომდევნო ემბრიონები მიღებულ იქნა განაყოფიერებიდან უფრო მოგვიანებით. დადგინდა, რომ რაც უფრო დიდი იყო ჩანასახი, მით უფრო ჰგავდა იგი მშობლებს.

მიკროსკოპის შექმნამ დაარქარა ცოდნის გაფართოება განვითარების შესახებ. ლეევენჰუკმა პირველმა დაინახა მიკროსკოპით სპერმატოზოიდი, რომელსაც ანიმალკულუსი უწოდა. მისი აზრით ის უკვე ჩამოყალიბებული პატარა ორგანიზმი იყო

და საშვილოსნოში მოხვედრის შემდეგ აგრძელებდა ზრდას. ამ შეხედულებამ დიდი პოპულარობა მოიპოვა ბიოლოგთა შორის. შეიქმნა მიმართულება **პრეფორმიზმი**, რომლის მიხედვითაც ზრდადამთავრებული ორგანიზმი უკვე წინასწარაა მოცემული სასქესო უჯრედებში. პრეფორმიზმი განსაკუთრებით პოპულარული იყო XVII-XVIII საუკუნეებში. მისი მიმდევრები იყვნენ ა.სვამმერდამი და მ.მალპიგი. პრეფორმისტების ერთი ნაწილი ამტკიცებდა, რომ მომავალი ორგანიზმი კვერცხუჯრედშია მოთავსებული, მათ **ოვისტებს** ეწოდათ. მეორე ნაწილს მიაჩნდა, რომ მომავალი ინდივიდი სპერმატოზოიდშია მოთავსებული, მათ **ანიმანკულისტებს** ეწოდათ.

პრეფორმიზმის წინააღმდეგ გაილაშქრა დე გრააფმა, რომელმაც ფრინველისა და ძუძუმწოვრების საკვერცხეებს შორის მსგავსება აღმოაჩინა. მან გამოთქვა მოსაზრება, რომ ყველა ფრინველი და ძუძუმწოვარა ცხოველი წარმოქმნის მხოლოდ პატარა ზომის კვერცხუჯრედს. შეიქმნა პრეფორმიზმის საწინააღმდეგო მიმართულება-**ეპიგენეზი**. ტერმინი 1651 წელს შემოიღო უ.ჰარვეიმ,რაც ნიშნავს: ეპი-შემდეგ, გენეზი-განვითარება. მიმართულებას მხარი დაუჭირა შ.ბონემ (1720-1793), განსაკუთრებით კი - კ.ვოლფმა, რომელმაც 1759 წ. გამოსცა ნაშრომი „განვითარების თეორია„. ეპიგენეზურმა თეორიამ გაიმარჯვა და საფუძველი ჩაუყარა ახალ დარგს-ემბრიოლოგიას. ეპიგენეზური თეორიის მიხედვით სპერმატოზოიდი და კვერცხუჯრედი შეიცავს არადიფერენცირებულ ნივთიერებებს, რომლებიც განაყოფიერების შემდეგ ჩანასახის სხეულის ორგანოების წარმოქმნის უნარიანნი ხდებიან.

მრავალუჯრედიან ორგანიზმთა განვითარება მჭიდროდ არის დაკავშირებული ზრდასთან. ზრდის პროცესის აღწერისათვის ხმარობენ გამოთქმას „ზრდა და განვითარება„. ერთი უჯრედიდან მრავალუჯრედიან ორგანიზმთა წარმოქმნა სამ სტადიად მიიდინარეობს:

1.**უჯრედთა დაყოფა (მიტოზი)**-მიტოზური დაყოფის შედეგად უჯრედთა რაოდენობის მატება;

2.**უჯრედთა ზრდა (მორფოგენეზი)**-უჯრედთა მასის შეუქცევადი ზრდა, რაც გამოწვეულია წყლის ათვისებით და სხვადასხვა ნაეროთა სინთეზით ციტოპლაზმაში;

3.**უჯრედთა დიფერენციაცია**-სხვადასხვა ფორმისა და ფუნქციის შემსრულებელი უჯრედების ჩამოყალიბება.

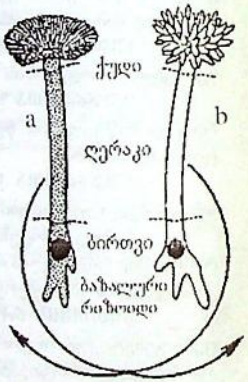
სამივე პროცესის რეგულირებაში აქტიურ როლს თამაშობს ბირთვის დნმ, რომელშიც ჩაწერილია ინფორმაცია ფერმენტთა სტრუქტურის შესახებ. ფერმენტები კი არეგულირებენ უჯრედთა ფუნქციურ აქტივობას.

ბირთვის როლი. ბირთვი არა მარტო ინახავს და შთამომავლობას გადასცემს გენეტიკურ ინფორმაციას, არამედ მასში არსებული ინფორმაციის მიხედვით ახორციელებს ონტოგენეზში ნიშნებისა და თვისებების ჩამოყალიბებას. გერმანელმა მეცნიერმა რ.ჰამერლინგმა 1934 წ. აცეტაბულარიაზე ჩატარებული გამოკვლევებით დაასაბუთა ბირთვის როლი. აცეტაბულარია დიდი ზომის ერთუჯრედიანი წყალმცენარეა. იგი ქუდიან სოკოს ჩამოგავს. აქვს დატოტვილი რიზოიდები, სადაც ერთი დიდი ზომის ბირთვია მოთავსებული, აგრეთვე აქვს 6-10 სმ-ის სიგრძის ვერტიკალური ღერძი, ე.წ.ღეროკი, რომელიც ქოლგის მსგავსი დისკით ბოლოვდება. ხმელთაშუა ზღვაში გავრცელებულია აცეტაბულარიის ორი ეონათესავე სახეობა, რომლებიც

დისკით ანუ „ქუდით„ განსხვავდებიან. Acetabularia mediterranae-ს აქვს მიჯრით განლაგებული სექტორებად დაყოფილი ქუდი, ხოლო A.crenulata-ს სხივისებურად დანაკვთული (იხ. სურ.4-1). ჰემერლინგი ახდენდა ღერაკის ამპუტირებას და ერთი სახეობის მცენარიდან მეორეში (ენუკლეირებულში) ბირთვის გადანერგვას. მცენარე ივითარებდა იმ სახეობისათვის დამახასიათებელ ქუდს, რომლიდანაც გადანერგილი იყო ბირთვი. ქუდის ჩამოყალიბებას და მის ფორმას ბირთვი განსაზღვრავდა. ანალოგიური მოვლენა შეინიშნებოდა მცენარის ქვედა ბირთვიან ნაწილზე მეორე სახეობის ციტოპლაზმის დიდი რაოდენობის შემცველი ღერაკის გადანერგვისას. ამრიგად, ნიშნის ჩამოყალიბებას ინდივიდური განვითარების პროცესში ბირთვი განსაზღვრავდა. გასათვალისწინებელია ორგანიზმის პრიმიტიული დონე. ისმის კითხვა: ანალოგიურ მოვლენა გვაქვს თუ არა რთული ორგანიზაციის მრავალუჯრედიან ორგანიზმებში? მსგავსი ცდები ჩატარებულია მაღალორგანიზებულ ინდივიდებზეც.

ბ.ასტაუროვმა ერთი სახეობის დომინანტური ნიშნების მქონე მდედრი თუთისაბრეშუმხვევიას პეპელა დაასხივა რენტგენის სხივების ისეთი დოზით, რომელიც მხოლოდ ბირთვების ინაქტივაციას (დაღუპვას) იწვევდა. კერცხუჯრედის ციტოპლაზმა ცხოველმყოფელობას ინარჩუნებდა. დასხივებული კვერცხუჯრედები მან გაანაყოფიერა მეორე სახეობის, რეცესიული ნიშნების მქონე ინდივიდის სპერმატოზოიდებით. თუთის აბრეშუმხვევიას ახასიათებს პოლისპერმია. კვერცხუჯრედში შეჭრილი სპერმატოზოიდების ორი ბირთვის ურთიერთშერწყმით ჩამოყალიბდა დიპლოიდური ბირთვი. ამდაგვარი კვერცხუჯრედებიდან ანდროგენეზის შედეგად ჩნდებოდნენ მხოლოდ მამრი ინდივიდები. მათ რეცესიული ნიშნები გააჩნდათ.

ისმის კითხვა: ონტოგენეზური ცვალებადობა გენთა დიფერენცირებული მოქმედების შედეგია თუ გენეტიკური მასალის ცვლილებისა? რანაირ გენთა კომპლექტს შეიცავს განსხვავებულ სომატურ უჯრედთა ბირთვები - განსხვავებულს თუ ერთნაირს? ამ სახის კითხვა ჯერ კიდევ გასული საუკუნის დასასრულს დაისვა. 1883 წ. ბირთვული მემკვიდრეობის ჰიპოთეზის ერთ-ერთმა ფუძემდებელმა ვ.რუმ წამოაყენა ჰიპოთეზა, რომ ზიგოტის დანაწევრების პროცესში წარმოქმნილი ბლასტომერები მემკვიდრულად არატოლფასოვანია. გ.დრიშმა (1892) მოახდინა ექსპერიმენტი და მეზოდერმის უჯრედები ბირთვების შეცვლა. იგი განვითარების პროცესის დარღვევას არ იწვევდა. ამ ცდებით გამოირკვა, რომ სომატური უჯრედები ერთსა და იმავე გენეტიკურ მასალას (გენოტიპი) შეიცავდნენ.



სურ.4.1.ღერაკის ტრანსპლანტაცია აცეტაბულარიას ორ განსხვავებულ სახეობას შორის a - A. mediterranae, b - A.crenulata

უნდა აღინიშნოს, რომ ზოგიერთი ორგანიზმის (პარაზიტი ჭიები, ციკლოპები) ინდივიდური განვითარების პროცესში შეინიშნება ქრომატინის **დიმინუციის** მოვლენა ანუ გენეტიკური მასალის მნიშვნელოვანი ნაწილი (20-80% დნმ) სომატურ უჯრედებში იკარგება.

XX ს. 50-იან წლებში ჩატარებული გამოკვლევებით დადგინდა, რომ ემბრიონული განვითარების ადრეულ ეტაპზე ბირთვების გადანერგვა დიფერენცირების პროცესზე გავლენას არ ახდენს. ასეთ ბირთვებს **ტოტიპოტენტური** ეწოდება. მათ აქვთ უნარი გაიმეორონ ემბრიონული განვითარების ყველა ეტაპი და შეუძლიათ ყველა ტიპის ქსოვილის ჩამოყალიბება. ფორმირებადი ჩანასახის პირველადი ქსოვილების ბირთვები ამ უნარს კარგავენ. მაგ. ექტოდერმული ბირთვის ენუკლეირებულ კვერცხუჯრედში გადანერგვისას დეფექტური ენტოდერმა ვითარდებოდა, პირუკუ ენტოდერმულ ბირთვს არ შეეძლო ექტოდერმის განვითარება.

გამოირკვა, რომ ზოგიერთ შემთხვევაში დიფერენცირებული ქსოვილების ბირთვებს ტოტიპოტენტურობა შენარჩუნებული აქვთ. ჯ.გორდონმა დეზებიან ბაყაყზე (Xenopus laevis) თავკომბალას ნაწლავის ეპითელის ბირთვები გადანერგა ენუკლეირებულ კვერცხუჯრედში. ზოგ შემთხვევაში სრულყოფილი ინდივიდების ჩამოყალიბება ხდებოდა. მართალია, ბირთვი წამყვან როლს ასრულებს ინდივიდურ განვითარებაში, მაგრამ განვითარების შესწავლით დადგენილია კვერცხუჯრედის ციტოპლაზმის გავლენა ჩანასახის განვითარების ადრეულ საფეხურებზე.

4.1. ონტოგენეზი

ონტოგენეზი ბერძნული სიტყვაა და ორგანიზმის ინდივიდუალურ განვითარებას ნიშნავს. ტერმინი შემოიღო გერმანელმა ბიოლოგმა ე.ჰეკელმა 1866 წელს. ონტოგენეზი შეისწავლის ორგანიზმის ისტორიას სასქესო უჯრედების მომწიფებიდან ზიგოტის ჩამოყალიბებით სიკვდილამდე. ორგანიზმთა სქესობრივი გამრავლების გარდა არსებობს უსქესო გამრავლება, რომელიც ხდება სპორებით, ვეგეტატურად და დაკვირტვით. სქესობრივი და უსქესო გამრავლების შედეგად წარმოქმნილ ინდივიდთა ინდივიდუალური განვითარება ერთნაირად მიმდინარეობს. ყოველი ონტოგენეზური ცვლილებების საფუძველია გენომი. ე.ი. ინფორმაცია, რომელიც ყველა უჯრედს მემკვიდრულად აქვს მიღებული. მემკვიდრეობით მიღებული თვისებების არაერთდროული და თანდათანობითი გამოვლინება უჯრედთა დიფერენცირების პროცესში რეგულირდება გენების არჩევითი გააქტიურებით, ე.ი. სპეციფიკური ფერმენტების სინთეზში მათი ერთდროული ჩართვით. იგი კი სხვადასხვა შინაგანი და გარეგანი ფაქტორებით წარიმართება. ონტოგენეზი ევოლუციის საფუძველია, რადგანაც ონტოგენეზური მემკვიდრული ცვლილებები ევოლუციური პროცესის ელემენტარულ მასალას წარმოადგენს. ევოლუციურ პროცესში ბუნებრივი გადარჩევით ხდება იმ ცვლილებების შენარჩუნება და განმტკიცება, რომლებიც უზრუნველყოფენ ორგანიზმის უკეთ შეგუებას.

ონტოგენეზი სამ თანმიმდევრულ პერიოდად მიმდინარეობს: **პრემბრიონული** ანუ **პროგენეზი**, **ემბრიონული** და **პოსტემბრიონული**.

პროგენეზი

პრეემბრიონული განვითარება იწყება გამეტოგენეზით, რის შედეგადაც ყალიბდება კვერცხუჯრედი და სპერმატოზოიდი (იხ. ნაწილი II.გამრავლება). კვერცხუჯრედი მაღალორგანიზებული უჯრედია. შეიცავს საკვებ ნივთიერებას, რომელიც საჭიროა ჩანასახის განვითარებისათვის. იგი ძუძუმწოვრებში აღმოაჩინა

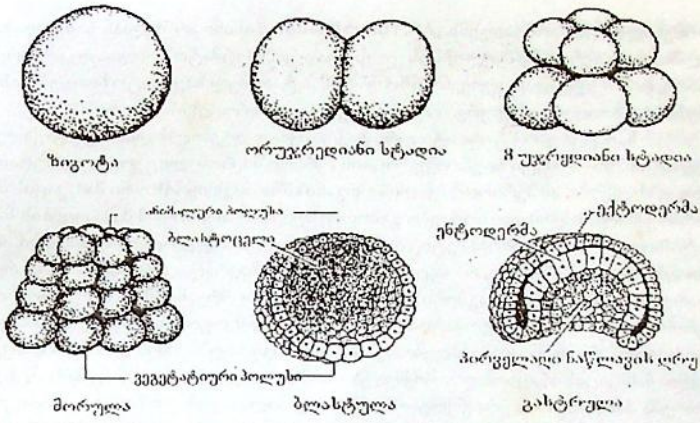
კ.ბერმა 1827 წელს. კვერცხუჯრედი შემოსაზღვრულია შრეებით. პირველად შრეს ქმნის თვითონ კვერცხუჯრედი. მეორეული შრე იქმნება ფოლიკულური უჯრედების მოქმედებით. მესამეული შრე წარმოიქმნება კვერცხსავალში კვერცხუჯრედის გასვლისას. ყვითრის რაოდენობის მიხედვით კვერცხუჯრედი შეიძლება იყოს: ᲐᲚᲚᲝᲚᲔᲪᲘᲗᲐᲚᲣᲠᲘ, ᲛᲔᲖᲝᲚᲔᲪᲘᲗᲐᲚᲣᲠᲘ, ᲝᲚᲘᲒᲝᲚᲔᲪᲘᲗᲐᲚᲣᲠᲘ ᲓᲐ ᲐᲚᲔᲪᲘᲗᲐᲚᲣᲠᲘ. ყვითრის ლოკალიზაციის მიხედვით განარჩევენ ᲢᲔᲚᲝᲚᲔᲪᲘᲗᲐᲚᲣᲠᲡ, ᲞᲝᲚᲘᲚᲔᲪᲘᲗᲐᲚᲣᲠᲡ (ᲘᲖᲝᲚᲔᲪᲘᲗᲐᲚᲣᲠᲘ) ᲓᲐ ᲪᲔᲜᲢᲠᲝᲚᲔᲪᲘᲗᲐᲚᲣᲠᲘ კვერცხუჯრედს.

ᲢᲔᲚᲝᲚᲔᲪᲘᲗᲐᲚᲣᲠᲘ კვერცხუჯრედს ყვითრის განაწილების მიხედვით გამოხატული პოლარობა აღენიშნება. ყვითრის რაოდენობა ნელა, ზოგჯერ კი ერთბაშად მატულობს ანიმალურ-ვეგეტატიური მიმართულებით. ᲞᲝᲚᲘᲚᲔᲪᲘᲗᲐᲚᲣᲠᲘ კვერცხუჯრედში ყვითრი თანაბრადაა განაწილებული. ᲪᲔᲜᲢᲠᲝᲚᲔᲪᲘᲗᲐᲚᲣᲠᲘ კვერცხუჯრედი აქვთ მრავალ ფეხსახსრიანთა წარმომადგენლებს. იგი კვერცხუჯრედის განსაკუთრებული ტიპია, არ გააჩნია გამოხატული პოლარობა. ტერმინების "ᲐᲜᲘᲛᲐᲚᲣᲠᲘ ᲓᲐ ᲕᲔᲒᲔᲢᲐᲢᲘᲣᲠᲘ ᲞᲝᲚᲣᲡᲔᲑᲘ" მაგიერ ხმარობენ ტერმინებს "ᲕᲘᲜᲐ ᲓᲐ ᲣᲙᲐᲜᲐ ᲞᲝᲚᲣᲡᲔᲑᲘ". კვერცხუჯრედის ცენტრში მოთავსებულია ბირთვი, პერიფერიებზე კი ყვითრის არ მქონე ციტოპლაზმა. ცენტრი და პერიფერია დაკავშირებულია ციტოპლაზმური ხიდაკებით, შუამდებარე სივრცე კი ამოვსებულია ყვითრით.

ᲞᲝᲚᲘᲚᲔᲪᲘᲗᲐᲚᲣᲠᲘ კვერცხი ყვითრის განაწილების მიხედვით შეიძლება იყოს ცენტროლეციტალურიც და ტელოლეციტალურიც (ზოგიერთი თევზები, რეპტილიები და ფრინველები. ᲖᲔᲚᲐᲛᲔᲖᲝᲚᲔᲪᲘᲗᲐᲚᲣᲠᲘ კვერცხი იმავდროულად ტელოლეციტალურიცაა (მყვარებში ანუ ამფიბიებში). ᲝᲚᲘᲒᲝᲚᲔᲪᲘᲗᲐᲚᲣᲠᲘ კვერცხი შეიძლება იყოს ჰომოლეციტალური, ზოგიერთ შემთხვევაში კი აქვთ გამოხატული პოლარობა. კვერცხუჯრედში ზედაპირის პარალელურად (ტანგეციალურად) მდებარეობს თითისტარა, რომელიც მონაწილეობს ზიგოტის დანაწევრების ადრეულ სტადიაზე.

განსაყოფიერებლად მომზადებულ მომწიფებულ კვერცხუჯრედს მოწესრიგებული სტრუქტურა აქვსა. განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება სიმეტრიას. მრავალი ცხოველის კვერცხუჯრედში შეიმჩნევა ანიმალური და ვეგეტატიური პოლუსების შემაერთებელი ღერძი (სურ. 4.2). პოლარობა ემყარება მკვებავი ნივთიერების-ყვითრის შრეობრივ განლაგებას, რომლის მასა იზრდება ვეგეტატიური პოლუსისაკენ. თუმცა განაპირობებს კვერცხუჯრედის პოლარობას, ჯერჯერობით დაუდგენელია. გამოთქმულია მოსაზრება, რომ იგი უნდა იყოს გაპირობებული საკვერცხეში კვერცხუჯრედის მდებარეობით. კვერცხისმდებელი ცხოველების კვერცხუჯრედში ყვითრი მეტია, ვიდრე ცოცხალძუძუმწოვრების ცხოველებში. იგი ზომით ჭარბობს სომატურ და მამრობით სასქესო უჯრედებს, რაც ნივთიერებათა ცვლის თავისებურებებით არის განპირობებული.

მცენარეთა კვერცხუჯრედი უმოძრაოა, დიდი ზომისაა და შეიცავს საკვები ნივთიერების დიდ რაოდენობას. იგი აქვს ზოგიერთ წყალმცენარეს, სოკოს და ყველა უმაღლეს მცენარეს. წარმოიქმნება ᲝᲠᲒᲐᲜᲝᲒᲘᲡᲐ და ᲐᲠᲥᲔᲒᲝᲜᲘᲣᲛᲨᲘ. მცენარეთა მამრობითი სასქესო უჯრედი ᲐᲜᲗᲔᲠᲝᲖᲝᲘᲓᲘ წარმოიქმნება ᲐᲜᲗᲔᲠᲘᲓᲘᲣᲛᲨᲘ. თესლოვანი მცენარეების უმრავლესობის სასქესო უჯრედს შოლტი არ გააჩნია,



სურ. 4.2. ლანცეტას ნანასახის განვითარების პირველი სტადიები

ამიტომ ვერ მოძრაობს და **სპერმია შეუძლი** ეწოდება.

ცხოველებში სპერმატოზოიდი აღმოაჩინა 1677 წელს ა.ლევენჰუკმა ძუძუმწოვართა სპერმაში. ტერმინი შემოიღო 1827 წელს კ.ბერმა. სპერმატოზოიდის სიგრძე სხვადასხვა ცხოველში სხვადასხვაა და არ არის დამოკიდებული ინდივიდის განვითარების დონესა და სხეულის ზომაზე. მას აქვს თავი, რომელშიც მოთავსებულია მამის გენეტიკური ინფორმაციის შემცველი ბირთვი. თავის წინა ნაწილში მოთავსებულია აკროსომა, რომლის მეშვეობითაც სპერმატოზოიდი არღვევს კვერცხუჯრედის შრეებს. თავი, ზოგიერთ ცხოველებში, ვიწრო ყელით უკავშირდება შუა ნაწილს, ეს უკანასკნელი გადადის კუდში, რომლის მეშვეობითაც სპერმატოზოიდი მოძრაობს. (იხ. 22).

წიგნში „სექსუალური ომი„ ადამიანთა პრეემბრიონული განვითარების შესახებ ახალი და საპოლემიკო საკითხები წამოაყენა ინგლისელმა ბიოლოგმა რობინ ბეიკერმა. წიგნში განხილულია „სპერმათა ომი„ რომელსაც დიდი მნიშვნელობა აქვს განაყოფიერებისათვის. მამაკაცის საოსლეებში ხდება სამი სახის სპერმატოზოიდების მომწიფება. პირველი სახის სპერმატოზოიდები ცოტაა (წარმოქმნილი სპერმატოზოიდების 1%) და მათ „**ბაბანაპოზიერებელი**„ სპერმატოზოიდები ეწოდებათ. აღნიშნული სპერმატოზოიდები გააპობენ კვერცხუჯრედის გარსს და იწვევენ განაყოფიერებას. მათი თავის აგებულება წააგავს იმ სპერმატოზოიდების აგებულებას, რომელთაც „**მკვლელები**„ ეწოდებათ. ასეთი სპერმატოზოიდები ყველაზე დიდი რაოდენობით წარმოიქმნება (წარმოქმნილი სპერმატოზოიდების 85%) და განაყოფიერებაში არ მონაწილეობენ. აღნიშნული სპერმატოზოიდების თავი შეიცავს მომშხამავ ნივთიერებას, იგი უახლოვდება სხვა მამაკაცის მიერ წარმოქმნილ სპერმატოზოიდს, თავით ეხება, უშვებს მომშხამავ ნივთიერებას და კლავს მას. სპერმატოზოიდ „კილერს„ თავისი აქტიურობიდან გამომდინარე გააჩნია ერთიდან ათამდე უცხო სპერმატოზოიდის მოკვლის უნარი. წარმოქმნილი სპერმატოზოიდების

დარჩენილი 14% წარმოადგენს „ბლოკატორებს„. ისინი არ შედიან საშვილოსნოს მილში, თავს იყრიან საშვილოსნოს ყელში და აქვთ სპერმატოზოიდთა დეკოდირების უნარი, რის შედეგადაც კლავენ უცხო დნმ-ის მატარებელ სპერმატოზოიდებს. ასეთი სპერმატოზოიდები აქტიურები არიან ოვულაციის პროცესის დროს.

საინტერესო სტატისტიკური ფაქტი იქნა დადგენილი: გათხოვილი ქალების ღალატის 50%-ზე მეტი ხდება ოვულაციის პერიოდში, რომელიც ყოველთვიურად 5-6 დღე გრძელდება. ამ პერიოდში ქალის ორგანიზმში თავს იყრის ორი მამაკაცის მიერ წარმოქმნილი სპერმატოზოიდები. გამორიცხული არ არის, რომ მამაკაცების სპერმატოზოიდების რაოდენობა მეტიც იყოს და არა მარტო ოვულაციის პერიოდში. ამ პერიოდში ქალები აწყობენ, რასაკვირველია არაცნობიერად, „სპერმათა ომს„. რეგულარული სექსუალური კავშირის დროს ქალის ერთ ორგანიზმში საშუალოდ თავს იყრის 300 მილიონამდე სპერმატოზოიდი. ქალის ავადმყოფობის შემთხვევაში სპერმატოზოიდთა რაოდენობა შეიძლება შემცირდეს. იგი ხდება 150 მილიონი, რასაკვირველია მამაკაცის არაცნობიერი მოქმედებით. იმ შემთხვევაში, როდესაც მამაკაცს ეჭვი ეპარება პარტნიორის ერთგულებაში, წარმოქმნილ სპერმატოზოიდთა რაოდენობა იზრდება 100 მილიონით (ე.ი. ხდება 400 მილიონი). თურმე მამაკაცი ახალ პარტნიორთან შემთხვევაში გამოყოფს 600 მილიონ სპერმატოზოიდს-ორჯერ მეტს, ვიდრე ეს ხდება რეგულარული სქესობრივი კავშირის დროს. ამიტომ, ახალ პარტნიორ მამაკაცს მეტი ალბათობა უჩნდება გაზდეს მამა და გააგრძელოს თავისი გენების 50%-ის რეპროდუქცია, ვიდრე კანონიერ მეუღლეს ან ძველ პარტნიორს.

ჩანასახის განვითარება

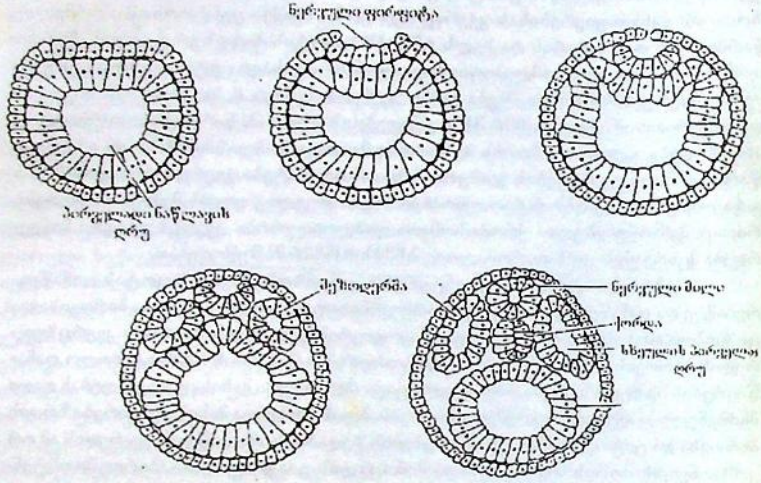
კვერცხუჯრედის განაყოფიერების შედეგად ზიგოტის წარმოქმნიდან იწყება **ემბრიოგენეზი** ანუ **ემბრიონული განვითარება**, რომელიც ორგანიზმის დაბადებამდე გრძელდება, ანუ იმ პერიოდამდე, როდესაც ჩანასახი არღვევს კვერცხის გარსს ან წყვეტს კავშირს დედის ორგანიზმთან. **ემბრიონი** ბერძნული სიტყვაა და ჩანასახს ნიშნავს. **ემბრიოლოგია** არის მოძღვრება ჩანასახის შესახებ. ასეთი განმარტება სრულყოფილად ვერ ასახავს მეცნიერების დღევანდელ შინაარსს. ვინაიდან ზოგიერთი ინდივიდები დაბადების შემდეგაც აგრძელებს განვითარების სრულყოფას, ამიტომ ემბრიოლოგიას უხდება პოსტემბრიონული განვითარების შესწავლა, რის მაგალითს წარმოადგენს მეტამორფოზული განვითარება. ემბრიოლოგია სწავლობს აგრეთვე ოოგენეზსა და სპერმატოგენეზს, რომლის გარეშეც ვერ წარმოიქმნება ზიგოტა, ე.ი. ემბრიოლოგიას უხდება პრეემბრიონული პროცესების გარკვევაც. აქედან გამომდინარე ნათელი ხდება, რომ ემბრიოლოგია სწავლობს არა მარტო ჩანასახის, არამედ მთელი ორგანიზმის ინდივიდუალურ განვითარებას. იგი სწავლობს აგრეთვე რეგენერაციულ პროცესებს, უსქესო გამრავლებას და იმ პათოლოგიურ მოვლენებს, რომლებიც არღვევს ნორმალურ განვითარებას. ემბრიოლოგიის მაგივრად შემოთავაზებულ იქნა სხვადასხვა ტერმინი: განვითარების მექანიკა, განვითარების დინამიკა, განვითარების ფიზიოლოგია და სხვა. ვერცერთმა ტერმინმა ვერ მოიპოვა აღიარება. ალბათ უფრო მართებული იქნება ვიხმაროთ ტერმინი **ორგანიზმის განვითარების ბიოლოგია**, ემბრიოლოგია კი იქნება მისი შემადგენელი ნაწილი, რომელიც შეისწავლის მხოლოდ ჩანასახის განვითარებას.

ზიგოტა, რომელშიც თავმოყრილია ქრომოსომების დიპლოიდური კომპლე-

ქტი, იწყებს ბირთვის სწრაფ მიტოზურ გაყოფას. ზოგიერთი ცხოველის სპერმატოზოიდებს განაყოფიერებისას კვერცხუჯრედში შეაქვს ცენტროსომა, რომელიც წარმოქმნის თითისტარას და ხელს უწყობს ზიგოტის მიტოზურ გაყოფას. წარმოიქმნება ორი უჯრედი, რომლებიც აგრძელებენ ბირთვისა და ციტოპლაზმის გაყოფას. მეორე გაყოფისას წარმოიქმნება ოთხი უჯრედი, შემდეგ 8, 16, 32 და ა.შ. ზიგოტის დანაწევრების ამ სტადიას **მორულა** ეწოდება(იხ. სურ. 4.2). წარმოქმნილი უჯრედები არ იზრდება. გაყოფათა შორის პერიოდში მათი ციტოპლაზმის მასა არ იზრდება. წარმოქმნილი უჯრედების ჯამური მასა არ აღემატება კვერცხუჯრედის მასას განაყოფიერებამდე. დნმ-ის რაოდენობა ბირთვში ყოველი გაყოფის შემდეგ ორმაგდება, რითაც შენარჩუნებულია ქრომოსომათა დიპლოიდურობა. კვერცხუჯრედი ნაწევრდება მცირე უჯრედებად, რომელთაც **ბლასტომერებს** ეწოდებათ.

ჟ.ბრაშემ აღმოაჩინა საინტერესო კანონზომიერება: ზიგოტის დანაწევრებამდე და დანაწევრების შემდეგ წარმოქმნილ უჯრედებში იცვლება ბირთვისა და ციტოპლაზმის მასის ფარდობა. გაუნაყოფიერებელი ზღვის ზღარბის კვერცხუჯრედის ბირთვის მასის შეფარდება ციტოპლაზმის მასასთან 1/550-ია, ხოლო დანაწევრების შემდეგ 1/6 ხდება. ბირთვული-ციტოპლაზმური მასის ცვალებადობას დიდი მნიშვნელობა აქვს ცხოველქმედებისათვის. ბლასტომერთა მასის შემცირება ზრდის ბირთვსა და ციტოპლაზმას შორის შეხების ზედაპირს, რაც იწვევს უჯრედის ამ ორ კომპონენტს შორის ნივთიერებათა მიმოცვლის გააქტიურებას. ბირთვში ინტენსიურად მიმდინარეობს დნმ-ის სინთეზი, რაც აპირობებს ქრომოსომთა დიპლოიდურ მუდმივობას. ამიტომ დანაწევრებისას დიდი მნიშვნელობა ენიჭება ბირთვულ-ციტოპლაზმური მასის ფარდობას. ზღვის ზღარბში მეექვსე დანაწევრებისას ყოველ ბლასტომერში ციტოპლაზმის მასა 2^6=64-ჯერ მცირდება. მეშვიდე დანაწევრების შემდეგ კი 2^7 =128-ჯერ. ზიგოტის დანაწევრების ფუნქცია ერთი მხრივ მრავალი უჯრედის წარმოქმნაა, ხოლო მეორე მხრივ-ბირთვულ-ციტოპლაზმური მასათა ფარდობის გაზრდა.

ქორდიან ცხოველებში კვერცხუჯრედის დანაწევრება სხვადასხვანაირად მიმდინარეობს და დამოკიდებულია ყვითრის რაოდენობაზე. ლანცეტას კვერცხუჯრედი შეიცავს მცირე რაოდენობის ყვითრს და მისი დანაწევრება მიმდინარეობს კანეკლიანების მსგავსად. ბაყაყის კვერცხი მდიდარია ყვითრით, კონცენტრირდება ერთ მხარეს და ქმნის ვეგეტატიურ პოლუსს, რომელიც ყვითელი ფერისაა. ანიმალური პოლუსი შეფერილია და მასში დიდი რაოდენობითაა თავმოყრილი მიტოქონდრიები. ზიგოტის პირველი ორი დანაწევრებით ძირითადად ოთხი უჯრედი, რომელთაგან თითოეული შეიცავს ორივე პოლუსის 1/4 ნაწილს. მესამე დანაწევრება მიმდინარეობს ჰორიზონტალურ სიბრტყეში, ე.ი. გადაწეულია ზიგოტის ანიმალური პოლუსისაკენ, რის გამოც ანიმალურ პოლუსთან წარმოქმნილი 4 უჯრედი პატარაა ვეგეტაციურ პოლუსთან წარმოქმნილი 4 უჯრედთან შედარებით. საგარაუდოა, რომ ყვითრი ანელებს ვეგეტაციური პოლუსის დანაწევრებას. დანაწევრების პროცესის გაგრძელების შედეგად ანიმალურ პოლუსთან თავს იყრის მრავალი პატარა უჯრედი. ამიტომ ბლასტოცელის წარმოქმნა ხდება ანიმალური პოლუსის ახლოს. აქვე იწყება გასტრულაცია: ანიმალური პოლუსის უჯრედები იზრდებიან ვეგეტაციური პოლუსის უჯრედე-



სურ4.3. მეზოდერმისა და ნერვული მილის ჩამოყალიბება ლანცეტაში

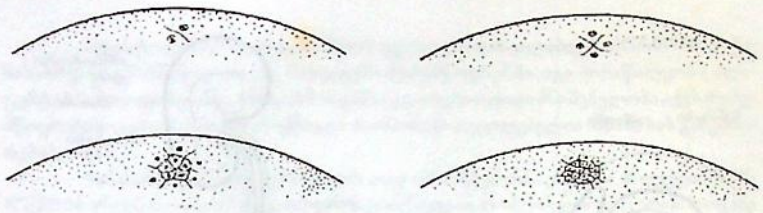
ბის გარშემო ისე, რომ ბლასტოცელი ამოვსებულია ყვითრით მდიდარი უჯრედებით. შემდეგ ემბრიონი გრძელდება, ენტოდერმით ამოფენილი ღრუ გადაიქცევა კუჭისა და ნაწლავების ღრუდ. ექტოდერმიდან წარმოიქმნება კანი და ნერვული სისტემა.

ზოგიერთი ხერხემლიანი ცხოველის კვერცხუჯრედი მდიდარია ყვითრით და ამიტომ ზიგოტის დანაწევრება ბოლომდე არ ხდება. ის განიცდის ნაწილობრივ დანაწევრებას (იხ. სურ4.4.). ეს პროცესი მიმდინარეობს ძვლიან თევზებში, ქვეწარმავლებში და ფრინველებში.

ძუძუმწოვრების ზიგოტა პატარაა და შეიცავს ცოტა რაოდენობის ყვითრს. ამიტომ პირველი დანაწევრება მიმდინარეობს თანაბრად და მოიცავს მთელ ზიგოტას შემდეგ, დანაწევრების შედეგად, ძუძუმწოვრებს წარმოექმნებათ ღრუიანი სფერო-**ბლასტოცისტი.**

ბლასტომერების უმრავლესობა კვერცხუჯრედების დანაწევრების ადრეულ სტადიაში შორდებიან ერთმანეთს, მათ შორის ჩნდება დაყოფის პატარა ზონა, რომელიც შემდეგ იზრდება. მას **ბლასტოცელი** ეწოდება. ამ პერიოდისათვის ბლასტომერები კარგავენ ოვალურ ფორმას და იზრდება მათი შეხების ფართობი, რის შედეგადაც ჩანასახი განიცდის ეპითელიზაციას. შემოხვეულია უჯრედების ერთშრიანი კედლით-**ბლასტოდერმით.** ჩანასახი იღებს სფეროს ფორმას. ჩანასახს, რომელიც ამ სტადიებს გაივლის, **ბლასტულა** ეწოდება, ხოლო პროცესს, რომლის შედეგადაც ყალიბდება ბლასტულა, - **ბლასტულაცია.**

ბლასტულას აგებულება დამოკიდებულია დანაწევრების ხასიათზე. ეს უკანასკნელი კი დამოკიდებულია კვერცხუჯრედში ყვითრის რაოდენობასა და განაწილებაზე. მცირე რაოდენობის ყვითრის შემცველი კვერცხუჯრედისაგან ჯა-

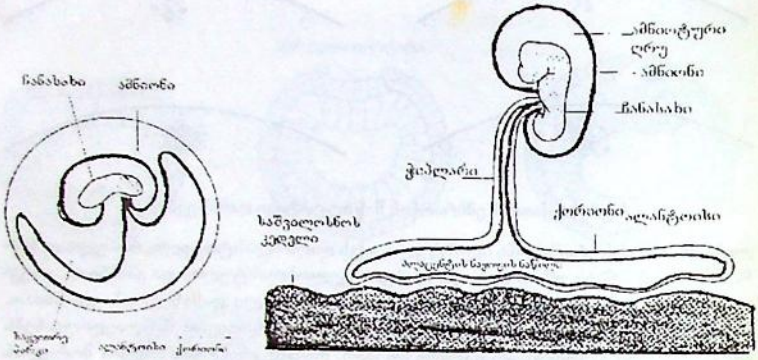


სურ 4.4 ქათმის ემბრიონის ნაწილობრივი დანაწევრება.

ლიბდება თხელი ერთშრიანი ბლასტულა, აქვს დიდი ბლასტოცელი, რომელსაც **ცენ-ლობლასტულას** უწოდებენ. იგი ტიპური ცელობლასტულაა და გააჩნიათ კანეკლიანებს. ნაწლავღრუიანებში, რომელთაც ანარქიული დანაწევრება გააჩნიათ, ბლასტულა გამობურცულია ან არასწორი ფორმისაა. ზოგიერთ ნაწლავღრუიანებს ბლასტოცელი საერთოდ არ წარმოექმნებათ. დანაწევრება მთავრდება მორელის სტადიაზე. არსებობს სტერობლასტულა. იგი გააჩნიათ ჭიებს, მოლუსკებსა და ზოგიერთ ნაწლავღრუიანებს. სტერობლასტულა თანაბარი სისქის შრითაა დაფარული და აქვთ ძალიან პატარა ცენტრალურად მოთავსებული ბლასტოცელი. რაც უფრო მეტ ყვითრს შეიცავს კვერცხუჯრედი, მით უფრო არათანაბრად მიმდინარეობს დანაწევრება. ვეგეტაციური ბლასტომერები დიდებია, ამიტომ ბლასტულის ვეგეტაციური ნაწილი სქელია. ამფიბიის მეზოლეციტალური კვერცხუჯრედის ბლასტულის ძირი მოიცავს მთელ ვეგეტაციურ სფეროს, ხოლო ბლასტოცელი გადაადგილებულია ანიმალური პოლუსისაკენ. ზემოდან დახურულია თხელი უჯრედული შრით. ასეთ ბლასტულას **ამფიბლასტულა** ეწოდება. ძველოვან თევზებს, რეპტილიებს და ფრინველებს პოლილეციტალური კვერცხი გააჩნიათ. დანაწევრება დისკოსებურად მიმდინარეობს. მათ ბლასტულას **დისკობლასტულა** ეწოდება. ცენტროლეციტალური კვერცხი, რომელიც ფენსახსრიანებს აქვთ, წარმოქმნის **პერიბლასტულას**.

ბლასტულის სტადიამდე ჩანასახის ძიღწევის შემდეგ მასში იწყება გარკვეულ უჯრედთა ინტენსიური გადაადგილება, რის შედეგადაც ჩანასახის ერთგვაროვნება ირღვევა და წარმოიქმნება ორი ან სამი საჩანასახე შრე. გარეთა შრეს ეწოდება **ექტოდერმა**, შიდა შრეს **ენტოდერმა**. ნაწლავღრუიანთა გარდა ყველა ცხოველს უვითარდება მესამე შრე-**მეზოდერმა**, რომელიც პირველი ორი შრის შუა თავსდება(იხ. სურ. 4.3). საჩანასახე შრეების წარმოქმნას **გასტრულაციას**, ხოლო ჩანასახს **გასტრულას** ეწოდება.

გასტრულაციის პროცესში ხდება უჯრედთა ჩაზრდა. ქმნიან ერთგასავლიან მილს, რომელსაც **პრიმიტიული ნაწლავის ღრუ** ეწოდება. შემდეგ იგი გარდაიქმნება საჭმლის მომნელებელი სისტემის ღრუდ. პირველად ნაწლავის ღრუს გასტროცელი ეწოდება. ექტოდერმიდან ვითარდება რეცეპტორები და ნერვული სისტემა. მეზოდერმიდან მრავალი კუნთი, ჩონჩხის ყველა ჩრტილოვანი და ძვლოვანი ელემენტი. ენტოდერმიდან ვითარდება ნაწლავისა და სასუნთქი სისტემის ამომფენი ეპითელიუმი. მასთან დაკავშირებული ორგანოების ჩამოყალიბების პროცესს, რომლის შედეგადაც ჩა-



სურ. 4.5. სქემატური სურათი ჩანასახოვანი გარსების, პლაცენტისა და ჭიპლარის ჩამოყალიბებისა უმაღლეს ძუძუმწოვრებში.

ნასახი ქმნის ცალკეულ ორგანოებს, **ორგანოგენეზი** ეწოდება. ცენტრალური ნერვული სისტემის ფორმირება ხერხემლიანებში იწვევს მოლიანი ჩანასახის მორფოლოგიურ გარდაქმნებს. შემდგომი ორგანოგენეზი კი ლოკალური ხასიათისაა. ჩანასახი ნელა ნაწილდება, იქმნება შედარებით დამოუკიდებელი სისტემები, რომლებიც ორგანოებად და სხეულის ნაწილებად გარდაიქმნებიან. მათი დეტალური შესწავლა წარმოადგენს კერძო ემბრიოლოგიის პრობლემას. ორგანოგენეზი არის ორგანოთა გაჩენის, განვითარებისა და გარდაქმნის პროცესი. ორგანოგენეზი ვიწრო გაგებით გულისხმობს მორფოგენეზურ პროცესებს, რომლებიც ვლინდება ორგანოთა ნასახების წარმოქმნით მათში ქსოვილების წარმოქმნამდე. მცენარეთა მიმართ ორგანოგენეზი გამოიყენება არადიფერენცირებული ქსოვილიდან ფესვის, ღეროს, ფოთლისა და ყვავილის წარმოქმნის პროცესების აღსანიშნავად. ორგანოგენეზს იყენებენ ფართო გაგებითაც. მას ეწოდება **შიდაემბრიონული ორგანოგენეზი**. იგი შეისწავლის ევოლუციურ პროცესში ორგანოთა წარმოქმნასა და გარდაქმნას.

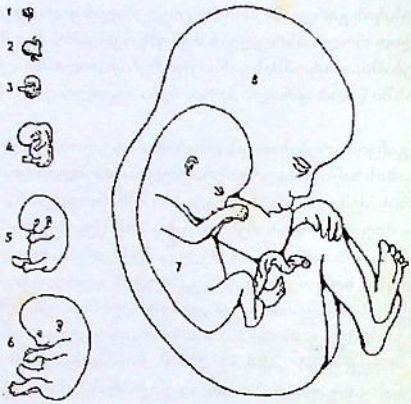
ემბრიონის ნორმალური განვითარება შეუძლებელი იქნებოდა ჩანასახოვანი გარსების გარეშე. ყველაზე პრიმიტიული გარსია **ამნიონის პარკი**, რომელიც ფილოგენეზურად პირველად თევზებში ჩნდება. იგი მოთავსებულია ემბრიონის ქვემოთ და წარმოადგენს სისხლძარღვებით მდიდარ მემბრანას. მისი მეშვეობით ხდება საკვები ნივთიერებების გადატანა ყვითრიდან ემბრიონში. ყვითრის პარკს დიდი მნიშვნელობა აქვს რეპტილიებში და ფრინველებში, რომელთა კვერცხი შეიცავს დიდი რაოდენობის ყვითრის(იხ. სურ. 4.5).

ამნიონის ჩანასახოვანი გარსი ფორმირდება ემბრიონის გარშემო და გააჩნიათ ხმელეთის ხერხემლიანებს. ამნიონი ამოვსებულია სითხით, რომელშიც ემბრიონი ამყოფება. ამნიოტური სითხე ჩანასახს იცავს დახიანებისაგან (იხ.სურ.4.6). პირველადი ნაწლავის უკანა ნაწილიდან წარმოიქმნება **ალანტოისი**. იგი მოთავსებულია ამნიონის ყვითრის პარკის ირგვლივ. ალანტოისი ასრულებს ფილტვების როლს: შთანთქავს ჟანგბადს და გამოყოფს ნახშირბადის (IV) ოქსიდს.

ბლასტოცისტის გარეგანი შრის უჯრედებიდან ყალიბდება ᲥᲠᲝᲜᲘᲜ. ეს ჩანასახოვანი გარსი დიდ როლს ასრულებს ძუძუმწოვრებში. იგი მონაწილეობს პლაცენტის ჩამოყალიბებაში, ამიტომ მას განსაკუთრებით დიდი მნიშვნელობა აქვს ძუძუმწოვრებისათვის. მასში წარმოქმნილი ჰორმონები აუცილებელია ჩანასახის განვითარებისათვის.

ჩანასახის განვითარებისათვის დიდი მნიშვნელობა ენიჭება ინდუქციას. ᲘᲜᲓᲣᲥᲪᲘᲐ არის ჩანასახის ნაწილთა ურთიერთქმედება, რომლის დროსაც ერთი მათგანი განსაზღვრავს მეორის შემდგომი განვითარების მიმართულებას, რაც ამ ნაწილების კონტაქტით ხდება. მოვლენა აღმოჩენილ იქნა 1901 წელს გერმანელი მეცნიერის ჰ.შპემანის მიერ. ჩანასახის ნაწილს, რომელიც მოქმედებს მეორეს განვითარებაზე, ᲘᲜᲓᲣᲥᲢᲝᲠᲘ ეწოდება, ხოლო რომელიც განიცდის გავლენას, -ᲛᲝᲠᲕᲐᲜᲘᲠᲐ ᲐᲜᲣ ᲠᲔᲐᲥᲢᲝᲠᲘ. ინდუქციის მაგალითია ქორდომეზოდერმის, ე.ი. ბლასტოპორის ზედა ბაგის ნაწილის შეხების შედეგად ჩანასახის ზურგის ექტოდერმაში ნერვული ფირფიტის წარმოქმნა. ამ მოვლენას „ᲞᲘᲠᲕᲔᲚᲐᲓ ᲩᲐᲜᲐᲡᲐᲮᲝᲕᲐᲜᲘ ᲘᲜᲓᲣᲥᲪᲘᲐ„ ეწოდება. ამგვარ მოვლენას განეკუთვნება სათვალე ბუშტის კონტაქტის შედეგად ექტოდერმაში ბროლის წარმოქმნა. ექსპერიმენტულად დამტკიცებულია, ინდუქტორის ამოკვეთისას ინდუქცია არ ხორციელდება. ინდუქტორის უჩვეულო ადგილზე გადანერგვისას წარმოიქმნება მორეაგირე სისტემა. თუ ამოვკვეთავთ სათვალე ბუშტს, ბროლი არ წარმოიქმნება. სათვალე ბუშტის გადანერგვისას ჩანასახის მუცელზე, ბროლი მუცლის ექტოდერმიდან განვითარდება, ე.ი. ინდუქციისათვის აუცილებელია ინდუქტორისა და რეაქტორის ფიზიკური კონტაქტი. დადგენილია, რომ ინდუქტორის მოქმედება საზოგადოდ სპეციფიკურია. ჰ.შპემანი ქორდომეზოდერმას უწოდებდა ორგანიზატორს და არაინდუქტორს, რადგანაც თვით მოვლენას იგი უწოდებდა ორგანიზაციას და არა ინდუქციას. ინდუქციის აღმოჩენამ დიდი ბიძგი მისცა ემბრიოლოგიის განვითარებას. დაიწყეს ძიება სპეციფიკური ინდუქტორების აღმოსაჩენად. სურდათ აღმოეჩინათ ის ნივთიერებები, რომელთა მცირე კონცენტრაციები გამოიწვევდა ინდუქციურ მოქმედებას. ფინელი ემბრიოლოგების აზრით, რომელთაც ს.ტოივონენი ხელმძღვანელობდა, ასეთი ნივთიერებები უნდა იყოს აღმოჩენილი ძვლის ტვინში, ღვიძლში და ძუძუმწოვართა თირკმელებში. ზოგიერთი ავტორი გამოთქვამს აზრს, რომ ინდუქციის მატარებლები შეიძლება იყოს არა ნივთიერებები, არამედ უჯრედები. ინგლისელმა მკვლევარმა ე.დიუკარმა დაადგინა, რომ ცალკეული უჯრედები არ რეაგირებენ ინდუქციაზე. საჭიროა უჯრედთა რაოდენობა იყოს დიდი.

დაბადებისთანავე ბავშვის ორგანიზმში ხდება ცვლილებები. ადამიანის სხვადასხვა ასაკის ჩანასახის ზომები ნაჩვენებია 4.6 სურათზე. მუცლად ყოფნის პერიოდში იგი საკვებს და ჟანგბადს იღებდა პლაცენტით, დედის ორგანიზმიდან. ბავშვსა და დედის ორგანიზმს შორის კავშირის შეწყვეტის შემდეგ საჭიროა ამოქმედდეს დაიწყოს სუნთქვისა და საჭმლის მომნელებელი სისტემები, იცვლება სისხლის მიმოქცევის სისტემის მოქმედება, რადგან გადაკვეთილია ჭიპლარის არტერიები და ვენები. სისხლი ფილტვებსა და ვენებში უკვე სხვანაირად იწყებს მოძრაობას.



სურ 4.6 ადამიანის სხვადასხვა ასაკის ჩანასახის ზომები. 1. - 19 დღის, 2 - 25 დღის, 3 - 30 დღის, 4 - 45 დღის, 5 - 55 დღის, 6 -63 დღის, 7 - 3 თვის, 8 - 4 თვის

პოსტემბრიონული განვითარება

ინდივიდის გამოჩეკის ან შობის შემდეგ წყდება ჩანასახის განვითარების ემბრიონული პერიოდი და იწყება პოსტემბრიონული, რომელიც გრძელდება სქესობრივ მომწიფებამდე (ადამიანის შემთხვევაში გრძელდება 13-16 წლამდე). ცოცხლადშობად ცხოველებზე ზშირად იხმარება გამოთქმა-პოსტნატალური განვითარება, რომელიც გრძელდება დაბადებიდან სიკვდილამდე. ზოგჯერ ეს ტერმინი იხმარება ძუძუმწოვრების მიმართ და მოიცავს პოსტემბრიონული განვითარების ადრეულ პერიოდს. უფრო მართებული იქნება პერიოდს დაბადებიდან სიკვდილამდე ვუწოდოთ პოსტნატალური ონტოგენეზი, ხოლო პერიოდს დაბადებიდან სქესობრივ მომწიფებამდე, პოსტნატალური განვითარება. ასეთი შეხედულება შეიძლება გავავრცელოთ პოსტემბრიონულ განვითარებაზეც.

განვითარების პოსტემბრიონულ პერიოდში მორფოგენეზი ინტენსიურია ძირითადად მეტამორფოზის, სქესობრივი მომწიფების, განგურისა და სხვა პერიოდული პროცესების დროს. უმთავრესად კი იგი ვლინდება ჰისტოგენეზის, რეგენერაციისა და ზოგჯერ პათოლოგიურ პროცესებში. ამ პერიოდში მიმდინარეობს ორგანოგენეზი, ზრდა და დიფერენცირება. პოსტემბრიონული განვითარება ნერვული და ენდოკრინული სისტემით რეგულირდება. ზრდა პოსტემბრიონული განვითარების პერიოდში თანდათან ძლიერდება, ხოლო სქესობრივი მომწიფების შემდეგ კი ისევ ნელდება ან სრულიად წყდება. მისი რეგულაცია ძირითადად ხორციელდება ჰიპოფიზის მონაწილეობით.

განასხვავებენ პოსტემბრიონული განვითარების ორ სახეს: 1.არაპირდაპირს (მეტამორფოზს), როდესაც ჩანასახოვანი განვითარების შემდეგ ჩნდება ლარვა. იგი გარეგანი და შინაგანი აგებულების ბევრი ნიშნით, მოძრაობით, კვების ხასიათით და

მთელი რიგი სხვა თავისებურებებით განსხვავდება ზრდასრული ორგანიზმისაგან; 2.პირდაპირს, როდესაც ახალშობილი ორგანიზმი ჰგავს ზრდასრულს.

ახალშობილ ბავშვში კბილები და სასქესო ორგანოები არ არის ფორმირებული. სხეულის პროპორციები განსხვავდება ზრდასრულისაგან. ბავშვის თავი განვითარების ადრეულ პერიოდში ზრდასრული ადამიანის თავთან შედარებით დიდია. ორი თვის ნაყოფის თავი სხეულის ნახევარია. მისი ზრდა მთავრდება ბავშვობის ადრეულ სტადიაზე. ხელები დაბადებიდან სწრაფად აღწევენ პროპორციულ ზომებს, ხოლო ფეხები - დაახლოებით ათი წლის ასაკში. ყველაზე გვიან ფორმირდება ადამიანის გარეგანი სასქესო ორგანოები, მათი ინტენსიური ზრდა მიმდინარეობს 12-დან 14 წლებს შორის. ახალშობილი ბავშვის სხეულის სიგრძე 50 სმ-ია, თითქმის 3ს0-ჯერ მეტი, ვიდრე კვერცხუჯრედია. დაბადებიდან ზრდასრული პერიოდის მიღწევამდე ადამიანის სხეულის სიმაღლე 3,5-ჯერ იმატებს და საშუალოდ აღწევს 175 სმ-ს.

სხვადასხვა სახეობებს შორის მომწიფების ხარისხი და დამოუკიდებლობის უნარი ძალზე განსხვავებულია. ქათმის წიწილები კვერცხის გამოჩეკისთანავე იწყებენ სირბილს და კენკვას. ახლად შობილ ხვლის გოჭებს აქვთ ბეწვი და კბილები და მაშინვე იწყებენ მშრალი საკვების ჭამას. ახლად შობილი თაგვები და ვირთაგვები ჩვილი ბავშვების მსგავსად უმწეონი არიან და ყველაფრით დამოკიდებული არიან მშობლების მზრუნველობაზე.

მეტამორფოზული განვითარება გააჩნიათ ცხოველებსა და მცენარეებსაც. მეტამორფოზი ბერძნული სიტყვაა და ერთი ფორმის სხვა ფორმად გადაქცევას, გარდაქმნას, სახეცვლილებას ნიშნავს. ცხოველებში მეტამორფოზს ხოგჯერ მეტაბოლიას უწოდებენ.

მეტამორფოზი ცხოველებში მიმდინარეობს ლარვებში ღრმა ცვლილებებით, რომლის შედეგადაც იგი ღებულობს ზრდასრულ ფორმას. მეტამორფოზი შეიმჩნევა უხერხემლოთა მრავალ წარმომადგენელში, უმეტესად მწერებში, კანეკლიანებში, აგრეთვე, უთავისქალოებში, ამფიბიებში, ქვეწარმავლებში და თევზებში. ცხოველებში გარდამავალ ფორმებს სხვადასხვა სახელები აქვთ. მაგ. ნაწლავღრუიანებში ეწოდება პლანულა, მწოველებში-რადია, ცერკარია, თასმა ჭიებში-ონკოსფერა, ცისტიცერკი, პოლიხეტებში-ტროქოფორა, კიბოებში-ნაუპლიუსი, ზოზა, მწერებში-ნიმფა, მუხლუხო, მოლუსკებში-ტროხოფორა, ველიგერი, კანეკლიანებში-დიპლევრულა, ველიგერი, მრგვალპირიანებში-პესკოროიკა, ამფიბიებში-თავკომბალა. მეტამორფოზის დროს მიმდინარე სტრუქტურული და ფუნქციური ცვლილებები ორგანიზმს ამზადებს ზრდასრულ ფორმად ახალ გარემო პირობებისათვის. მეტამორფოზი რეგულირდება და კონტროლდება ენდოკრინული სისტემით.

მეტამორფოზი მიმდინარეობს მცენარეებში. იგი გამოიხატება ძირითადი ორგანოების სახესხვაობაში, იცვლება ფუნქცია ან ფუნქციონირების პირობები. ორგანოთა წარმოქმნის დეტერმინაცია და მისი შემდგომი გარდაქმნა გაპირობებულია მცენარეში დაგროვილი ფიზიოლოგიურად აქტიური ნივთიერებებით, რომელთა გააქტიურება დამოკიდებულია მთელ რიგ შინაგან და გარეგან ფაქტორთა ზემოქმედებაზე.

პოსტემბრიონულ ონტოგენეზში ცხოველთა და მცენარეთა სასიცოცხლო ციკლში შეიმჩნევა პერიოდები, როდესაც მეტაბოლური აქტივობა დაქვეითებულია მინიმუმამდე. მას მოსვენების პერიოდი ეწოდება. იგი გაპირობებულია ფიზიოლო-

გაურად დეტერმინირებული რეაქციებით. მოსვენების პერიოდი გამოწვეულია გარემოში მომხდარი ცვლილებებით. მისი ბიოლოგიური როლი იმაში მდგომარეობს, რომ ორგანიზმს, შემდგომი სასიცოცხლო ციკლის გასაგრძელებლად, ენერგიის აკუმულირების საშუალება ეძლევა. მოსვენების პერიოდს **დიაპაუზასაც** უწოდებენ. დიაპაუზა სხვადასხვანაირადაა გამოხატული სხვადასხვა ორგანიზმებში. მისი გამომწვევია: სინათლე, ტემპერატურა, დღის ხანგრძლივობა და ჰორმონები.

მაღალგანვითარებული ცხოველებისა და ადამიანის პოსტემბრიონულ განვითარებაში ზოგჯერ თავს იჩენს ემბრიოგენეზში მომხდარი დარღვევები. უჩნდებათ ისეთი ნიშნები, რომლებიც ნორმალურ პირობებში არ გააჩნიათ, მაგრამ ჰქონდათ მათ წინაპრებს. ამ ნიშნებს **ატავიზმებს** უწოდებენ. თუ ეს ნიშნები აქვეითებენ ინდივიდის ცხოველუნარიანობას და მეჯვარეებიან როგორც მორფოლოგიური ანომალიები, მათ **ატავისტურ შრს** ანუ **ანაცისტრალურ შრს** უწოდებენ.

წარმომქმნელი მექანიზმების მიხედვით განარჩევენ ატავიზმის სამ ვარიანტს. ფართოდ გავრცელებული ატავიზმები ადამიანებში დაკავშირებულია განუვითარებელ ორგანოებთან-მორფოგენეზის იმ ეტაპზე, როდესაც ხდება წინაპართა ნიშნების რეკაპიტულირება. ანომალიის ამგვარ მაგალითებს წარმოადგენს ორი ან სამსაკნიანი გული, ჰიპოპლაზია, დიაფრაგმის განუვითარებლობა და სხვ. ატავიზმის მეორე ვარიანტი დაკავშირებულია რედუქციის დარღვევასთან, რომელიც გამოხატულია ხერხემლის კისრის ნაწილთან დაკავშირებულ ნეკნებში. ატავიზმის მესამე ვარიანტი დაკავშირებულია ონტოგენეზში ორგანოთა გადაადგილებასთან, რომლის შედეგია მათი განლაგება სხეულის იმ ნაწილებში, როგორც მათ წინაპრებს გააჩნდათ. მისი მაგალითია თირკმლის მდებარეობა მენჯის ღრუში და კრიპტორხიზმი. ყოველგვარი ატავიზმის მოვლენის განმსაზღვრელი უნდა იყოს შეუქცევადი შეტანა, რომელიც აყალიბებს წინაპრის ფენოტიპს.

4.2 ზრდა

ბიოლოგიაში ზრდის ცნება მრავლისმომცველი ტერმინია. იგი დაკავშირებულია ონტოგენეზის კონსტრუქციულ პროცესებთან. შეიძლება საუბარი ამა თუ იმ პოპულაციის ზრდაზე, რაც გულისხმობს მასში შემავალი ინდივიდების მატებას. შეიძლება ადამიანის პოპულაციის ზრდის შესწავლა. პოპულაციის ზრდის დინამიკა შეიძლება გამოხატული იქნას გრაფიკულად, რაც აჩვენებს ინდივიდთა რაოდენობის მატებას დროში. ზრდა ახასიათებს ცალკეულ ინდივიდებსაც ერთუჯრედიანი ორგანიზმებიდან დაწყებული და მაღალგანვითარებული მცენარეებითა და ცხოველებით დამთავრებული.

ინდივიდური ზრდა ხდება ორი გზით: უჯრედის რაოდენობის მატებითა და უჯრედთა მოცულობის გაზრდით. მრავალუჯრედიან ორგანიზმთა ზრდის დროს ეს ორი პროცესი შეიძლება ყოველთვის სინქრონულად არ მიმდინარეობდეს. მათ შორის არ არსებობს გამოხატული კორელაცია. მაგ. ზიგოტის დაყოფისას წარმოიქმნება მრავალი ბლასტომერი და სათანადოდ არ ხდება ციტოპლაზმის მასის მატება. არის შემთხვევები, როდესაც ზრდა მიმდინარეობს უჯრედთა ციტოპლაზმის მასის გაზრდით, ხოლო მათი რაოდენობა უცვლელი რჩება. ბიოლოგს აინტერესებს არა მარტო ზრდის ხასიათის აღწერა, არამედ იმ ფაქტორების გამოვლენა, რომლებიც იწვევს მის

სტიმულირებას და შეფერხებასაც. ეს ფაქტორები შეიძლება იყოს როგორც შინაგანი, ასევე გარეგანი.

ორგანიზმთა ზრდა დამოკიდებულია ბიოქიმიურ აქტივობაზე. განსაკუთრებული როლი ენიჭება ფერმენტების სინთეზს, რომელიც ხორციელდება იმ ინფორმაციის საფუძველზე, რაც ჩაწერილია დნმ-ის მოლეკულაში. ფერმენტები არეგულირებენ უჯრედთა ფუნქციურ აქტივობას. უჯრედულ დონეზე მიმდინარე ცვლილებები გამოხატულებას პოულობს ორგანოსა და ორგანიზმის დონეზე, იცვლება მათი სტრუქტურა, ამ პროცესს **მორფოგენეზი** ეწოდება. მორფოგენეზთან ერთად ხდება ზრდა. **ზრდა** არის ციტოპლაზმის მშრალი მასის შეუქცევადი მატება. განმარტება ვრცელდება ყველა ცოცხალ ორგანიზმზე ერთუჯრედიანებიდან დაწყებული მაღალგანვითარებული მცენარეებითა და ცხოველებით დამთავრებული. ზრდა შეიძლება იყოს დადებითი ან უარყოფითი. დადებითი ზრდა მაშინ ხდება, როდესაც ანაბოლიზმი სჭარბობს კატაბოლიზმს, ხოლო უარყოფითის დროს კი პირიქით-კატაბოლიზმი სჭარბობს ანაბოლიზმს. თესლის გაღივებისას ხდება უჯრედთა რაოდენობის, მათი მოცულობის, ნედლი მასის და მრავალი სხვა ფიზიკური პარამეტრის მატება.

ზრდა არსებობს შეზღუდული და შეუზღუდავი. ერთ წლიან მცენარეებში ზრდა **შეზღუდულია**. მაქსიმალური ზრდის პერიოდის შემდეგ, როდესაც მცენარე იწყებს გამრავლებას, დგება უარყოფითი ზრდის პერიოდი, რასაც მოსდევს დაბერება და სიკვდილი. მცენარეთა ზოგიერთ ორგანოებს: ნაყოფს, ფოთლებს და ვეგეტატიური გამრავლების ორგანოებს გააჩნიათ შეზღუდული ზრდა უარყოფითი პერიოდის გარეშე. შეზღუდული ზრდა მიმდინარეობს მწერებში, ფრინველებში და ძუძუმწოვრებში. მერქნიანი მცენარეების უმრავლესობაში ზრდა **შეუზღუდავია**. შეუზღუდავია იგი, ავრეთვე, სოკოებში, უმდაბლეს მცენარეებში, კერძოდ, წყალმცენარეებში. შეუზღუდავი ზრდა გააჩნიათ ცხოველებსაც: თევზებს, რეპტილიებს და უხერხემლოთა მრავალ წარმომადგენელს.

ზრდა შეიძლება იყოს იზომეტრული და ალომეტრული. **იზომეტრული** ზრდის დროს რომელიმე ორგანოს ზრდის საშუალო სიჩქარე იმდაგვარია, როგორც სხეულის სხვა ნაწილების. ასეთი ზრდის დროს ორგანოსა და ორგანიზმის საერთო ზომათა ფარდობითობა თითქმის არ იცვლება. **ალომეტრული** ზრდის დროს რომელიმე ორგანო იზრდება განსხვავებული სიჩქარით, ვიდრე სხეულის დანარჩენი ნაწილები. ასეთი ზრდის დროს იცვლება ორგანიზმის პროპორციები.

4.3 რეგენერაცია

ზრდასრულ ორგანიზმში ზოგიერთი უჯრედები ინარჩუნებენ ზრდის და გამრავლების უნარს. ამიტომ ორგანიზმს აქვს დაბერების, ავადმყოფობის, უბედური შემთხვევის შემდეგ დაზიანებულ უჯრედთა და ქსოვილთა აღდგენის უნარი. ხდება უჯრედთა გაყოფისა და დიფერენცირების სტიმულირება, რის შედეგადაც აღდგება ჭრილობები. ძუძუმწოვრებში ხდება მრავალი ქსოვილის განახლება. მაგალითად, კანის უჯრედების, ნაწლავის ეპითელისა და სისხლის უჯრედების წარმოქმნა, რაც მთელი სიცოცხლის მანძილზე იმავე სიჩქარით მიმდინარეობს როგორც სიკვდილი. ზრდასრული ორგანიზმის ორგანოებში (ღვიძლი, ფარისებრი და კუჭქვეშა ჯირკვლები) ნორმალურ პირობებში უჯრედთა გაყოფა არ მიმდინარეობს. თუ სხვადასხვა

მიზეზით მოხდა ამ ორგანოთა უჯრედების დაზიანება, მაშინ დარჩენილი უჯრედები იწყებენ გაყოფას და ორგანოები აღწევენ ბუნებრივ ზომებს. ამ პროცესს **აღდგენითი ზრდა (რეპარაცია)** ეწოდება. ადრე ითვლებოდა, რომ ცენტრალური ნერვული სისტემის უჯრედები ამ უნარს მოკლებული არიან, მაგრამ ბოლო წლების ექსპერიმენტულმა მონაცემებმა გვიჩვენა, რომ რეგენერაციას აქაც აქვს ადგილი.

ტერმინი რეგენერაცია გვიანი ლათინურიდან არის შემოტანილი და ქართულად აღდგენას, აღორძინებას, განახლებას ნიშნავს. ორგანიზმთა უნარს აღადგინოს დაკარგული ან დაზიანებული ორგანო და ქსოვილი, **რეპარაცია** ეწოდება. რეგენერაციას განეკუთვნება, აგრეთვე, მთლიანი ორგანიზმის წარმოქმნა მისი ნაწილებისაგან. რეგენერაციულად ორგანიზმი იქმნება სომატური ემბრიოგენეზისა და ვეგეტატიური გამრავლების გზით. რეგენერაციის უნარი გააჩნიათ როგორც მცენარეებს, ასევე ცხოველებსაც. უნდა აღინიშნოს, რომ რეგენერაციის უნარი მაღალგანვითარებულ ორგანიზმებში დაქვეითებულია. რეგენერაცია მიმდინარეობს ბუნებრივ პირობებში, მაგრამ იგი შეიძლება გამოწვეულ იქნას ექსპერიმენტულადაც. ტერმინი რეგენერაცია შემოიღო 1712 წელს პრეომიურმა, რომელიც აკვირდებოდა წყლის კიბოს კიდურის აღდგენის პროცესს.

ზოგიერთ ცხოველს აქვს უნარი თვითონ მოიშოროს ორგანოები. ხვლიკი, რომელსაც მოსდევს მტერი, იწყვეტს კუდს. კუდი მოძრაობს და იპყრობს მტრის ყურადღებას, ხვლიკი კი თავიდან იცილებს საშიშროებას. ორგანიზმის უნარს სხეულიდან თვითონ მოიშოროს ორგანო **აუტოტომიის** ეწოდება. აუტოტომიის მოვლენას ხვლიკების გარდა ვხვდებით კიბოებში.

განსხვავებენ რეგენერაციის ორ სახეს: **ფიზიოლოგიურს** და **რეპარაციულს**. ზოგიერთი მკვლევარი გამოყოფს მესამე მიმართულებას, რომელსაც **სომატური ემბრიოგენეზი** ეწოდება. იგი არის ახალი ორგანიზმის წარმოქმნის პროცესი ცალკეული სომატური უჯრედებიდან ან მათი კომპლექტიდან. სომატური ემბრიოგენეზი იმ ორგანიზმებში გვხვდება, რომელთაც გააჩნიათ უსქესო გამრავლების უნარი. ჰიდრას ორგანიზმი შეიძლება წარმოიქმნას მისი სხეულის 1/200 ნაწილიდან. პლანარიებზე ჩატარებული ცდების დროს ისინი დაჭრეს 10 ნაწილად, თითოეული დაყოფილი ნაწილიდან წარმოიქმნა დამოუკიდებელი ორგანიზმი. რგოლოვანი ჭიის სხეულს თუ დავყოფთ რამოდენიმე ნაწილად, ყველა დაყოფილი ნაწილი აღიდგენს დაკარგულ ორგანოს და დამოუკიდებელ ინდივიდად გააგრძელებს სიცოცხლეს. სომატური ემბრიოგენეზი ფართოდ არის გავრცელებული ცენარეებში, ვინაიდან მათ გააჩნიათ უსქესო გამრავლების ერთ-ერთი ფორმა-ვეგეტატიური გამრავლება.

ორგანიზმთა სიცოცხლის ხანგრძლივობა აუცილებლად მოიცავს ორ მდგომარეობას: **დასტრუქციულს**, როდესაც აღგილი აქვს უჯრედთა ან ორგანოთა დაკარგვას და **რეპარაციულს**, როდესაც უჯრედულ, ქსოვილურ და ორგანულ დონეზე ხდება მორფოლოგიური აღდგენა. ამ ფორმას, რომელიც ბუნებრივად მიმდინარეობს და სავალდებულოა სიცოცხლის გასაგრძელებლად, **ფიზიოლოგიური რეპარაცია** ეწოდება. ფიზიოლოგიური რეგენერაცია სავალდებულოა ორგანიზმის ჰომეოსტაზის შესანარჩუნებლად, ამიტომ იგი ყველა ორგანიზმს გააჩნია და განსაკუთრებული ინტენსიურობით მიმდინარეობს თბილისხლიან ორგანიზმებში. უჯრედშიდა დონეზე ფიზიოლოგიური რეგენერაცია შეიმჩნევა ორგანოიდთა სტრუქტურის

აღდგენაში, რომელიც ყველა ქსოვილში მიმდინარეობს.

უჯრედულ და ქსოვილურ დონეზე ფიზიოლოგიური რეგენერაცია მიმდინარეობს სწრაფად. 2 დღის განმავლობაში მთლიანად განახლდება წვრილი ნაწლავის ეპითელური უჯრედები. ერითროციტების სიცოცხლის საშუალო ხანგრძლივობა 125 დღეა, ამიტომ ადამიანის ორგანიზმში ყოველ წამში კვდება 4 მილიონი ერითროციტი და ამდენივე წარმოიქმნება იმავე დროში ძვლის ტვინში. მკვდარი უჯრედები ხვდებიან შინაგან გარემოში და მათ ორგანიზმი მოიხმარს სხვადასხვა სასიცოცხლო პროცესების განხორციელებაში. ფიზიოლოგიურ რეგენერაციაზე გავლენას ახდენს შინაგანი და გარეგანი ფაქტორები. მაგ. ატმოსფერული წნევის დაწევა იწვევს ერითროციტების რაოდენობის მომატებას. ამიტომაა მთაში მუდმივად მცხოვრებთ ერითროციტების რაოდენობა გაცილებით მეტი აქვთ ვიდრე ბარში მცხოვრებთ. ერითროციტების რაოდენობაზე გავლენას ახდენს აგრეთვე ფიზიკური დატვირთვა, კვება და სინათლე. ფიზიოლოგიურ რეგენერაციას მიეკუთვნება ბუმბულის, კანის, ფრჩხილებისა და რქების ცვლა.

ორგანიზმის მიერი ორგანოთა იძულებითი დაკარგვის შემთხვევაში მიმდინარეობს აღდგენითი პროცესები, რომელსაც რეპარაციული რეგენერაცია ეწოდება. იგი სხვადასხვა ორგანიზმებში სხვადასხვანაირი უნარით მყღავნდება. რეპარაციული რეგენერაცია შეიძლება იყოს ტიპური, როდესაც აღსდგება დაკარგულის მსგავსი ორგანო. მას ჰომომორფოზი ეწოდება. თუ აღდგენილი ორგანო არ ჰგავს დაკარგულს საქმე გვაქვს ატიპურ რეგენერაციასთან ანუ ჰეტერომორფოზთან.

რეპარაციული რეგენერაცია შეიძლება განხორციელდეს სამნაირად: ეპიმორფოზულად, მორფალაქსისურად და ენდომორფოზულად. დაკარგული ორგანოს ჰომორფოზული აღდგენა იწყება ჭრილობის ადგილიდან. ჭრილობაში ხდება ახლომდებარე ქსოვილთა უჯრედების შეზრდა, წარმოიქმნება ინტენსიური ზრდის ზონა, უჯრედები იწყებენ გაყოფას, ხდება ორგანოს აღდგენა. მორფალაქსის დროს ხდება ორგანიზმის უჯრედთა გადაადგილება, იწყება უჯრედთა ზრდა და დიფერენცირება, რის შედეგადაც აღდგება დაკარგული ორგანო ან წარმოიქმნება ახალი ორგანიზმი. ეპიმორფოზი და მორფალაქსისი თანმიმდევრული პროცესებია, მაგრამ ზოგიერთ შემთხვევაში სჭარბობს ერთ-ერთი. მაგ. ხვლიკის კუდის ან ტრიტონის კიდურის აღდგენისას სჭარბობს ეპიმორფოზი, ხოლო პლანარიის, ჰიდრისა და ტარაკანის კიდურის რეგენერაციისას - მორფალაქსისი.

ორგანოს შიგნით მიმდინარე აღდგენას ენდომორფოზი ანუ რეპარაციული აპომორფოზია ეწოდება. ენდომორფოზის დროს ხდება ორგანოს არა ფორმის, არამედ მასის აღდგენა. ამგვარად მიმდინარეობს ღვიძლის აღდგენა ჰეპატექტომიის დროს.

ზოგიერთ შემთხვევაში ადგილი აქვს პათოლოგიურ რეგენერაციას. ხდება არა უშუალოდ დაზიანებულ ან დაკარგული ქსოვილის აღდგენა, არამედ, მის ადგილს იკავებს შემაერთებელი ქსოვილი. რეგენერაციული პროცესები მჭიდროდ უკავშირდება ორგანოთა ტრანსპლანტაციას და იმუნოლოგიას.

აღსანიშნავია, რომ მცენარეულ ორგანიზმს ცხოველურთან შედარებით რეგენერაციის მეტი უნარი გააჩნია. რეგენერაციის უნარი დამოკიდებულია ასაკთან და ორგანიზმის განვითარების დონესთან. ასაკში შესული ადამიანში მიმდინარეობს რეგენერაციული პროცესები. დაზიანების შემდეგ აღდგენას განიცდის: კანი, ძვალი,

კუნთები და სხვა ქსოვილებიც. აღსანიშნავია, რომ ადამიანის ქსოვილებში რეგენერაციის უნარი დაბალია, ემბრიონში კი-მაღალი. იგი დაახლოებით იგივე ინტენსიურობით მიმდინარეობს, როგორც დაბალგანვითარებულ მრავალუჯრედიანებში. დაბადების შემდეგ ბავშვს დაქვეითებული აქვს რეგენერაციის უნარი, თუმცა იგი გაცილებით მაღალია ასაკოვან ინდივიდთან შედარებით. ხშირ შემთხვევაში მოხუც ადამიანებში თეძოს მოტეხვის შემდეგ არ ხდება ძვლების რეგენერაცია, ვინაიდან ძვლოვანი ქსოვილი კარგავს რეგენერაციის უნარს.

აზრთა სხვადასხვაობაა იმის შესახებ, თუ რომელი უჯრედების ხარჯზე ხდება რეგენერაცია. გამოთქმულია სამი შეხედულება: არსებობს სარეზერვო უჯრედები, რომელთა დიფერენცირება ჩერდება განვითარების რომელიმე ეტაპზე იმ დროიდან, ვიდრე არ მიიღებენ რეგენერაციისათვის საჭირო სტიმულს; 2.დროებითი დედიფერენცირების ანუ მოდულაციის ჰიპოთეზა. რეგენერაციული პროცესის დაწყების სტიმულის მიღების შემდეგ უჯრედები კარგავენ სპეციალიზაციის ნიშნებს, მაგრამ ინარჩუნებენ ხელმეორედ დიფერენცირების უნარს. შედეგად აღდგებიან იმავე ტიპის უჯრედებად და არ კარგავენ დეტერმინაციას; 3.სპეციალიზებული უჯრედების იმ დონემდე სრული დედიფერენცირება, რაოა შემდეგ მოახდინონ ტრანსდიფერენცირება, ე.ი.უჯრედები გარდაიქმნას სხვა ტიპად. ამ შემთხვევაში უჯრედი კარგავს არა მარტო სპეციალიზაციას, არამედ დეტერმინაციასაც. კვლევის თანამედროვე მეთოდები არ იძლევა სამივე ჰიპოთეზის აბსოლუტური საიმედოობით დამტკიცების საშუალებას. ბიოლოგიაში დაღგენილი სხვადასხვა საკითხები რეგენერაციული პროცესების შესახებ ეფექტურად გამოიყენება მედიცინაში. მიუხედავად დიდი მიღწევებისა რეგენერაციის მრავალი საკითხი დღემდე გადაუჭრელ პრობლემად რჩება.

4.4 დაბერება და სიკვდილი

დაბადებისთანავე იწყება სიკვდილი, რომელსაც ყოველ წუთს ვუახლოვდებით. ამიტომაც არსებობს გამოთქმა „სიცოცხლის მიზანი სიკვდილიაო„. გოეთეს აზრით ბუნებამ შექმნა სიკვდილი, რათა ჰქონოდა ბევრი სიცოცხლე. ყოველ ადამიანს კარგად აქვს გაცნობიერებული, რომ დადგება მისი გარდაცვალების პერიოდი. მიუხედავად ამისა, ყველას გვეშინია სიკვდილის. ადამიანთა უმრავლესობას არა მარტო სიკვდილის ეშინია, არამედ მათ აშინებს მიცვალებულიც. თუმცა ყველამ იცის, რომ იგი არ შეიძლება ვინმესათვის საშიში იყოს, მას არა აქვს უნარი მოგვაყენოს რაიმე ზიანი, უფრო მეტად ცოცხალი ადამიანია საშიში.

შოპენჰაუერის მიხედვით სიკვდილის შიში აქვს „მეს„ არაცნობიერ ნაწილს. იგი იბადება „მეს„ სიღრმეში ცნობიერების გარეშე და თნდაყოლილია. სიკვდილის შიში ინსტინქტურია. ცნობიერება სხეულებრივად განაპირობებს დაბერებისა და სიკვდილის პროცესს. ამიტომაც სიკვდილი ცნობიერების პირობაა. არ არსებობს ადამიანი, რომელიც გულწრფელად განაცხადებს, რომ მას სიკვდილის შიში არ ჰქონდეს.

სიკვდილის ეშინიათ ცხოველებსაც. მრავალ ძუძუმწოვარს ეშინია თავისი სახეობის მკვდარი ინდივიდის დანახვისა. ურემში შებმულ ცხენს თუ მკვდარ ცხენს დაუდებენ წასაღებად, ცხოველი იწყებს ნერვიულობას, ჭიხვინს, კიდურების ქნევას. სასაკლაოს ტერიტორიაზე შეყვანილი ხარები იწყებენ აფორიაქებას, უჩნდებათ პანი-

კური შიში, ცრემლის დენა მომაკვდავი ხარების ხმის გაგონებასა და სისხლის სუნის აღქმაზე. ძროხამ შეწყვიტა რძის წარმოქმნა და რამოდენიმე ხნით ჭამა, როდესაც დაინახა მის წინ დაკლული ხბო. მრავალი ანალოგიური ფაქტებია აღწერილი კატებისა და ძაღლების ქცევებიდანაც.

ზიგოტის წარმოქმნიდან განვითარების პროცესში ინდივიდი განიცდის იმდაგვარ ცვლილებას, რომ შეგვიძლია გავაცხადოთ: ვიბადებით ყოველ წუთს. პოსტემბრიონული განვითარების პერიოდში ჩვენი „მეს„ ცნობიერება სულ უფრო მატულობს. შესაბამისად ადამიანი ყოველი ღონით ესწრაფვის ქმედებისაკენ და ქმნის კულტურულ ფასეულობებს მომდევნო თაობებისათვის, რის შედეგია ცნობილი გამოთქმა „წარმავალი ცხოვრების მიზანი უკვდავებაშიაო„. ყოველ ორგანიზმში მიმდინარეობს ორი პროცესი: ერთი-ორგანოგენეზის, ზრდის, რეგენერაციის, ცნობიერების ჩამოყალიბებით; მეორე-დაბერების, დაშლისა და სიკვდილის. ეს ორი პოლარობა ერთმანეთს ეწინააღმდეგება და ერთიმეორეს განაპირობებს. სიკვდილი სიცოცხლის გარეშე ვერ განხორციელდება, ხოლო სიკვდილის გარეშე არ იარსებებდა სიცოცხლე. ეს ურთიერთობა ლამაზად შეაფასა ვაჟა-ფშაველამ: „ღმერთმა გიშველოს სიკვდილო, სიცოცხლე შვენობს შენითა, და შენც, სიკვდილო ფასი გძე სიცოცხლის ნაწყენობითა„.

წარმოვიდგინოთ, რა მოხდებოდა, სიკვდილი რომ არ არსებულიყო. იმდენი ფრინველი იარსებებდა, რომ მათი ფრთების გაშლის შემდეგ მზის სხივები ვერ ჩამოაღწევდა დედამიწამდე. ძნელი წარმოსადგენია რა მოუვიდოდა დედამიწის წყლის საფარს მასში მცხოვრები ცოცხალი ორგანიზმები რომ არ მომკვდარიყო. ამგვარი მსჯელობა ვრცელდება ხმელეთის ბინადარ ორგანიზმებზეც.

დედამიწაზე არსებულ ყველა ორგანიზმს გააჩნია საშუალო მაქსიმალური სიცოცხლის ხანგრძლივობა, რომელიც ნაჩვენებია 5.4 ცხრილში (იხ.ნაწილი V. ევოლუციის საფუძვლები). უმრავლესობა ცხოველების სახეობებში სიკვდილი დაპროგრამებულია. კვდებიან მაშინვე, როგორც კი განახორციელებენ ერთ რეპროდუქციულ ციკლს: მამრები კოპულაციის, ხოლო მდედრები კვერცხის დადების ან ახალი თაობის წარმოქმნის შემდეგ. ამგვარ მოვლენას გხვდებით ზოგიერთ ჭიებში, მწერებში და თევზებში. მრავალჯერ გამრავლების უნარის მქონე ცხოველებში და ადამიანში სიკვდილს წინ უსწრებს დაბერება.

დაბერება არის ინდივიდური განვითარების სტადია, რომლის გავლენით კანონზომიერად იცვლება ორგანიზმის ფიზიკური მდგომარეობა, ორგანიზმის გარეგანი გამოხატულება და ექოლოგიური სფერო. დაბერების გავლენა ორგანიზმის მდგომარეობაზე კარგად არის გამოხატული, რაც უფრო თვალსაჩინო ხდება ონტოგენეზის პოსტრეპროდუქციულ პერიოდში. რეპროდუქციული ფუნქციის დაქვეითება ან მისი სრულად გაქრობა არ წარმოადგენს სიბერის ხანგრძლივობის ქვედა ზღვარს. ქალებში მენოპაუზა, რომელიც გამოხატულია მენსტრუალური ციკლის შეწყვეტით (არ ხდება მომწიფებული კვერცხუჯრედების წარმოქმნა), მიუთითებს რეპროდუქციული პერიოდის დამთავრებაზე. ამ პერიოდისათვის გარეგანი ნიშნების მრავალი ფუნქცია არ ჰგავს სიბერის დამახასიათებელ ნიშნებს. მრავალი ფუნქცია, რომელსაც ვთვლით დაბერების მახასიათებლად, თავს იჩენს რეპროდუქციული პროცესის შეწყვეტამდე. ასეთი ნიშნებია გაჭაღარავება და მხედველობის დაქვეითება.

მოხუცებულ მამაკაცებში დამახასიათებელი სასქესო ჰორმონების რაოდენობის დაქვეითება, რომელიც სათესლეებში წარმოიქმნება. ჰიპოფიზის მიერ გონადოტროპული ჰორმონების გამომუშავების მომატება იწყება 25 წლის ასაკიდან.

განარჩევენ ქრონოლოგიურ და ბიოლოგიურ (ფიზიოლოგიურ) ასაკს. თანამედროვე კლასიფიკაციის მიხედვით ᲥᲠᲝᲜᲝᲚᲝᲒᲘᲣᲠᲘ ასაკი ადამიანებში შემდეგნაირადაა ასახული: 60-74 წელი ითვლება ხანში შესულ ასაკად, 75-89 წელი მოხუცად, ხოლო 90 წლის ზევით-დღეგრძელად. ᲑᲘᲝᲚᲝᲒᲘᲣᲠᲘ ასაკის დადგენა გაძნელებულია. სიძნელე იმაში მდგომარეობს, რომ სიბერისათვის დამახასიათებელი ცალკეული ნიშანი თავს იჩენს სხვადასხვა ქრონოლოგიურ ასაკში და მისი გაღრმავების სისქარეც განსხვავებულია. მაგალითად, კანის ელასტიურობა ქალებსა და მამაკაცებში სხვადასხვაა. ერთი და იგივე ბიოლოგიური ასაკი ქალებში იწყება 30 წელს, ხოლო მამაკაცებში 80 წელს. ამითაა გაპირობებული ის ფაქტი, რომ ქალებს მუდმივად უხდებათ ზრუნვა კანის ელასტიურობის შესანარჩუნებლად, რასაკვირველია მეცნიერული რეკომენდაციების გათვალისწინებით.

მეცნიერებას, რომელიც შეისწავლის დაბერების პროცესებს, ᲒᲔᲠᲝᲜᲢᲝᲚᲝᲒᲘᲐ ეწოდება. გერონ ბერძნული სიტყვაა და მოხუცს ნიშნავს. გერონტოლოგია იკვლევს დაბერების ძირითად კანონზომიერებებს მოლეკულურ, უჯრედულ და ორგანიზმულ დონეზე. მისი დარგებია ᲐᲔᲠᲝᲑᲘᲝᲚᲝᲒᲘᲐ და ᲒᲔᲠᲝᲜᲢᲝᲡᲝᲪᲘᲝᲚᲝᲒᲘᲐ. დაბერება ხოგადბიოლოგიური კანონზომიერებაა და ყველა ცოცხალ ორგანიზმს ახასიათებს. ამ საკუთხის დასაწყისში მეცნიერებმა დააყენეს უმარტივესებში დაბერების ან სიკვდილის არ არსებობის საკითხი, რომელიც შემდგომ დამუშავებას საჭიროებს. ცნობილმა ხოლოგმა ვეისმანმა გამოთქვა მოსაზრება, რომ სიკვდილი ხდება მრავალუჯრედიან ცხოველებში, ხოლო ერთუჯრედიანი ცხოველები პოტენციურად უკვდავნი არიან. ვუდრეფუმ შეძლო ექვსი წლის განმავლობაში ინფუზორიათა ოთხი ათასი თაობა მიეღო. არ იქნა შემჩნეული ინფუზორიათა გვამები. ვეისმანმა გააღრმავა თავისი შეხედულება და ჩამოაყალიბა მოსაზრება, რომლის თანახმად მრავალუჯრედიან ცხოველებს გააჩნიათ პოტენციურად უკვდავი უჯრედები. უკვდავ უჯრედებად იგი თვლიდა კვერცხუჯრედსა და სპერმატოზოიდს. მოგვიანებით საინტერესო დაკვირვება იქნა ჩატარებული ამებაზე. ერთი ამებისაგან მიიღეს უჯრედული კულტურა, ე.ი. მოახდინეს კლონირება. დადგენილ იქნა, რომ ცხოველთა გადარჩენა დამოკიდებულია კულტივირების პირობებზე. ინფუზორიები, რომელთაც გააჩნიათ სქესობრივი და უსქესო გამრავლებათა მორიგეობა, კლონირებისას თანდათან კარგავდნენ სქესობრივი გამრავლების უნარს.

ზემოთქმულიდან გამომდინარე ლოგიკურია ისმის კითხვა: რას ეწოდება სიკვდილი? ᲡᲘᲙᲕᲓᲘᲚᲘ არის ინდივიდური განვითარების დამამთავრებელი ეტაპი. იგი ხორციელდება ორგანიზმის შიგნით ნივთიერებათა ცვლის პროცესის დარღვევით, ე.ი. ირღვევა ორგანიზმის ჰომეოსტაზი, რაც შეიძლება გამოწვეულ იქნეს, აგრეთვე, ორგანიზმსა და გარემოს შორის ნივთიერებათა ცვლის დარღვევით. სიკვდილის გამომწვევი მიზეზი ორი სახისაა: 1.გაზრდილი დაბერების პროცესი, პათოლოგიური მოვლენებით; 2.იძულებითი, გარემოს ზეგავლენით განხორციელებული. ამასთან, საჭიროა გაირკვეს რას ვეძახით სიკვდილს ერთუჯრედიან და მრავალუჯრედიან ცხოველებში.

ერთუჯრედიან ცხოველებში სიკვდილი (ინდივიდის ინდივიდური განვითარების შეწყვეტა) ხდება ორი გზით: 1.გარემოს ზემოქმედებით და 2.გამრავლების შედეგად, ახალი თაობის წარმოქმნით. ამ შემთხვევაში ინდივიდის ინდივიდური განვითარების შეწყვეტის დრო ემთხვევა ახალი თაობის წარმოშობის დროს. დედამიწაზე არსებულ ერთუჯრედიან ორგანიზმთა დისკრეტულობა-სიცოცხლის ხანგრძლივ პერიოდი კომპენსირდება გამრავლებით, რაც განაპირობებს სახეობის სიცოცხლეს.

მაღალგანვითარებულ ცხოველებში და ადამიანებში განარჩევენ დაბერებით გამოწვეულ ბუნებრივ (ფიზიოლოგიურ) და რაიმე მნიშვნელოვანი სასიცოცხლო ორგანოს დაზიანებით განპირობებულ ადრაშალს-პათოლოგიურ სიკვდილს. ადრეული სიკვდილი შეიძლება გამოწვეულ იქნეს უბედური შემთხვევითაც.

ადამიანებში სიკვდილი მკაცრად არ მიმდინარეობს. განარჩევენ სიკვდილის ორ ტიპს: კლინიკურს და ბიოლოგიურს. **კლინიკური სიკვდილი** ხასიათდება ცნობიერების დაკარგვით, გულის მუშაობის შეჩერებითა და სუნთქვის შეწყვეტით, რომელიც გრძელდება წუთები. სხვა ორგანოები აგრძელებენ ნორმალურ ფუნქციონირებას, მათი მეტაბოლიზმი მოწესრიგებულია. კლინიკური სიკვდილიდან გამოსული ადამიანები აგრძელებენ ნორმალურ შემოქმედებით მოღვაწეობას და ცხოვრობენ საკმაოდ დიდხანს, ვიდრე არ დაუდგებათ ბიოლოგიური სიკვდილი. **ბიოლოგიური სიკვდილი** ვითარდება ნელა, ინდივიდში წყდება რეგენერაციული პროცესები, ქიმიური რეაქციები არარეგულირებადია, უჯრედში მიმდინარეობს აუტოლიზი, იწყება გახრწნა. ეს პროცესები ორგანოებში სხვადასხვა სიჩქარით მიმდინარეობს, რაც გამოწვეულია ჟანგბადის მიმართ ქსოვილოა მგრძნობელობით. თავის ტვინის ნახევარსფეროების ნეირონები სხვა უჯრედებთან შედარებით ყველაზე მგრძნობიარენი არიან ჟანგბადის მიმართ. საკმარისია 5-6 წუთით შეწყდეს ორგანიზმის ძმარაგება ჟანგბადით, რომ ახალ ქერქში განვითარდება ნეკროზული უბნები. ოუ სუნთქვა და სისხლის მიმოქცევა უფრო დიდი ხნით შეწყდება, მათი აღდგენა შესაძლებელია, მაგრამ ცნობიერება კი ვეღარ აღდგება. მიმართულებას, რომელიც შეისწავლის სიკვდილს, **თანატოლოგია** ეწოდება. დ.ინგვარმა და ლ.ვიდენმა გამოაქვეყნეს სტატია საათაურით "ტვინის სიკვდილი ადამიანის სიკვდილია". მასში აღნიშნულია, რომ თავის ტვინში სისხლის მიმოქცევის შეწყვეტის შედეგად ვითარდება ტოტალური იშემია, რაც ინდივიდის მკვდრად ჩათვლის საფუძველია.

ნაწილი V. ევოლუციური თეორიის საფუძვლები

შესავალი

ორგანული სამყაროს ისტორიულ განვითარებას იკვლევს მეცნიერება – ევოლუციური თეორია. იგი შეისწავლის ორგანული სამყაროს ევოლუციის მოვლენებს, მიზეზებს, გზებს, კანონზომიერებებსა და მართვის ხერხებს. ევოლუციური თეორია განაზოგადებს ბიოლოგიის ცალკეულ დარგში მიღებულ შედეგებს. იგი თანამედროვე ბიოლოგიის, სასოფლო-სამეურნეო და სამედიცინო პრაქტიკის უმნიშვნელოვანესი თეორიული საფუძველია.

ბიოლოგიური ევოლუცია არის ცოცხალი ბუნების შეუქცევადი და მიმართული ისტორიული განვითარება, რასაც თან ახლავს პოპულაციის გენეტიკური შემადგენლობის ცვლილება, ადაპტაციების ფორმირება, სახეობათა წარმოქმნა და ამოწყდომა, ბიოცენოზებისა და მთლიანად ბიოსფეროს გარდაქმნა.

ბიოლოგიური ევოლუცია ხასიათდება შემდეგი ძირითადი ნიშნებით: ორგანული სამყაროს ევოლუცია; იგი, როგორც ყოველი განვითარება, უწყვეტ პროცესს წარმოადგენს. ყოველი სახეობა დროში წარმოდგენილია თაობათა უწყვეტი რიგით, თაობათა მონაცვლეობისას ხდება ახალი ელემენტების ჰარმონიული ჩაშენება ძველის წიაღში. განვითარება არაა ძველის განმეორება. ხდება თვისობრივად ახალი ფორმების წარმოქმნა – ამდენად იგი შემოქმედებით პროცესს წარმოადგენს.

ახალი ცვლილებების დაგროვება იწვევს ცოცხალ ფორმათა თვისობრივ გარდაქმნას. თაობათა უწყვეტ რიგში ერთ-ერთი თაობა იმდენად განსხვავებული შეიძლება აღმოჩნდეს დანარჩენებისაგან, რომ ამ უკანასკნელს ახალ სახეობად მიიჩნევენ. თაობათა უწყვეტ რიგში ხდება თვისობრივი ცვლილება. ახალი სახეობები ძველის ადგილს იკავებენ. ხდება ფორმათა ცვლა დროში.

ევოლუციურ პროცესს შეგუებითი ხასიათი აქვს. სახეობების ევოლუცია მიმდინარეობს საარსებო პირობებთან შეგუების პროცესში. შეგუება (ადაპტაცია) პირველ რიგში გულისხმობს ისტორიულ პროცესს, რომელიც იწვევს ისეთი ორგანული ფორმების განვითარებას, რომელთა აგებულება და ფუნქციები საარსებო პირობებთან სრულ შესაბამისობაშია, მეორე მხრივ ადაპტაცია გულისხმობს ამ პროცესის შედეგსაც, ე.ი. ცოცხალი ფორმების მორფო-ფიზიოლოგიური ორგანიზაციის კონკრეტულ პირობებთან შესაბამისობის მოვლენასაც.

ევოლუციის საერთო მიმართულება იწვევს ცოცხალ ფორმათა ორგანიზაციის დონის ამაღლებას, რაული ორგანიზაციის ფორმები წარმოიშენენ მარტივი ორგანიზაციის ფორმებიდან. იმავდროულად მიმდინარეობს მარტივი და რთული ორგანიზაციის ფორმების თანაარსებობა. ორგანიზაციის დონის ამაღლება ევოლუციის საბოლოო შედეგია. ევოლუციის პროცესი ზოგიერთ შემთხვევაში ორგანიზაციის დონის ამაღლების გარეშეც ხორციელდება.

ევოლუციის პროცესი შეუქცევადია. ისტორიულად წარმოქმნილი ფორმები არ მეორდებიან. ევოლუცია უკუმიმართულებით არ მიმდინარეობს. მისი შედეგი ყოველთვის თვისობრივად ახალი ფორმების წარმოქმნაა. ამდენად ევოლუციის შეუქცევადობა და განუმეორებლობა მისი ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი თვისებაა.

სახეობათა მრავალფეროვნება ევოლუციის შედეგია. ცნობილია ცხოველთა

1,5 მილიონი, მცენარეთა 0,5 მილიონი, სოკოების 44 ათასი, ხოლო მიკრობების 4,5 ათასი სახეობა. ეს მრავალგვარობა სრულად კანონზომიერია და განისაზღვრება სახეობათა შორის ნათესაობის ხარისხით და გარემოსთან შეგუების ფორმებით. ყველა ორგანიზმს საერთო ნიშნების მთელი წყება ახასიათებს. ასეთებია, მაგალითად, ცხოველური და მცენარეული უჯრედის ორგანიზაცია, გამრავლების პროცესები, მემკვიდრეობისა და ცვალებადობის მოვლენები, უჯრედის მიტოზური და მეიოზური გაყოფა, ქრომოსომათა ქცევა, ნივთიერებათა პლასტიკური და ენერგეტიკული ცვლის პროცესები და ა.შ. აღნიშნული ფაქტები ორგანული სამყაროს ერთიანი წარმოშობის მიმანიშნებელია. ამავე დროს ორგანული სამყაროს ერთიანი წარმოშობის ფაქტი მის მრავალფეროვნებას უნდა დაუკავშირდეს. მრავალგვარობა ორგანული ფორმების სხვადასხვა მიმართულების ევოლუციის (დივერგენციის) შედეგია.

ზემოთ ჩამოთვლილ მოვლენებს მოეპოვებათ თავისი მიზეზები, რომელთაც ევოლუციის თეორია შეისწავლის. ევოლუციის მთავარი მიზეზი ბუნებრივი გადარჩევაა, რომელიც ჩ.დარვინმა აღმოაჩინა. ევოლუციის თეორია ორ მთავარ პრინციპს – აქტუალიზმსა და ისტორიზმს ეფუძნება. ისტორიზმის პრინციპის თანახმად თანამედროვე ორგანიზმები შეისწავლება იმ ცოდნის მომარჯვებით, რომელიც წარსულში მომხდარი ევოლუციის საფუძველზეა მიღებული. მის არსს გამოხატავენ თეზით – "წარსულის შესწავლა აწმყოს შემეცნების გასაღებია". აქტუალიზმის პრინციპი კი მდგომარეობს აწმყოს ცოდნის ექსტრაპოლაციით წარსულში მომხდარი მოვლენების შესასწავლად. მის არსს გამოხატავენ თეზით:"აწმყოს შესწავლა წარსულის შემეცნების საფუძველია".

5.1.ევოლუციური თეორიის განვითარების ეტაპები

ევოლუციური თეორიის განვითარების საწყის ეტაპად მიჩნეულია პერიოდი, როდესაც გავრცელებული იყო სამყაროს ერთიანობისა და მისი განვითარების იდეა. ძველი სამყაროს (ჩინეთი, ინდოეთი, მესოპოტამია, ეგვიპტე, საბერძნეთი) მრავალი სწავლული და ფილოსოფოსი იზიარებდა ამ იდეას. ჯერ კიდევ ჩვ.წ.ა.მდე I ათასწლეულის ბოლოს ჩინეთში გავრცელებული იყო მოძღვრება ეროი ფორმის ორგანიზმთა თანდათანობითი ცვლილების გზით მეორედ გარდაქმნის შესახებ. ჩვ.წ.ა.მდე I ათასწლეულში ინდოეთში არსებობდა ფილოსოფიური სკოლები, რომლებიც იზიარებდნენ "პირველადი მატერიიდან" მატერიალური (მათ შორის ორგანული) სამყაროს წარმოშობისა და განვითარების იდეას. აიურვედას უძველეს ტექსტებში გადმოცემულია შეხედულება მაიმუნიდან ადამიანის წარმოშობის შესახებ. სამყაროს ერთიანობისა და განვითარების იდეა სრულყოფილი სახით წარმოდგენილია ანტიკური ფილოსოფოსებისა და სწავლულთა (ჰერაკლიტე, ემპედოკლე, დემოკრიტე, ლუკრეციუსი, არისტოტელე და სხვ.) შრომებში. მათ მიერ მოცემულია მახვილგონივრული მოსაზრებანი ორგანულ სამყაროზე. ამ ეტაპისათვის დამახასიათებელია ორგანული ბუნების შემეცნების ანალიტიკური მიდგომა. იგი ძირითადად წარმოადგენდა აზროვნების ნაყოფს და არ ემყარებოდა ცოცხალ ბუნებაზე უშუალო დაკვირვებას, მათ განზოგადებას. ამდენად ძველი სამყაროს სწავლულები არ შეიძლება მივიჩნიოთ თანამედროვე ევოლუციონისტების უშუალო წინამორბედებად.

XVII-XIX ს. პირველ ნახევარში სისტემატიკის, შედარებითი ანატომიის, ბიოგეოგრაფიის განვითარებამ ხელი შეუწყო ფაქტობრივი მასალის დაგროვებას. მომდევნო ეტაპზე ჩამოყალიბდა შეხედულებათა სისტემა - ტრანსფორმიზმი – მოძღვრება ორგანულ ფორმათა ცვალებადობისა და ერთი სახეობის მეორე სახეობად გარდაქმნის შესახებ. იგი შეიცავდა ევოლუციური იდეის ჩანასახს. ტრანსფორმიზმის იდეის მომხრეთა (რ.ჰუკი, ე.დარვინი, დ.დიდრო, ჟ.სენტ-ილერი, ი.გოეთე და სხვ.). შეხედულებები ზოგჯერ ანტიკური და შუასაუკუნეების სწავლულთა და ფილოსოფოსთა შეხედულებებს ეფუძნებოდა. ტრანსფორმისტები აღიარებდნენ ორგანიზმთა გარდაქმნას, მაგრამ სათანადო არგუმენტებით ვერ ასაბუთებდნენ. მართალია, მათ ვერ შექმნეს სრული ევოლუციური კონცეფცია, მაგრამ გამოიკვეთა ევოლუციური თეორიის ძირითად პრობლემათა სფერო. კერძოდ: ორგანიზმთა ევოლუციის არსი და მიზეზები. ორგანიზმთა მიზანშეწონილობისა და მრავალფეროვნების მიზეზები, ცალკეულ სახეობათა შორის მსგავსებისა და განსხვავების მიზეზები, პროგრესული ევოლუციის და განვითარების სხვადასხვა დონეზე მყოფ ორგანიზმთა ერთდროულად არსებობის მიზეზები, ცალკეულ სახეობათა ამოწყდომის მიზეზები. ამ პრობლემების არსში ჩაწვდომამ და მეცნიერული დონის შემდგომმა განვითარებამ მოამზადა ნიადაგი ახალი ეტაპისათვის. კერძოდ, ხელი შეუწყო ევოლუციური თეორიის პირველი კონცეფციების ჩამოყალიბებას.

პირველი სრული და თანმიმდევრული ევოლუციური თეორიის ფუძემდებელია ჟან ბატისტ ლამარკი (1744-1829), რომლის ძირითადი დებულებები დასრულებული სახით გადმოცემულია შრომაში "ზოოლოგიის ფილოსოფია" (1809). ლამარკის ევოლუციური კონცეფცია მოიცავს ორგანული სამყაროს განვითარების მთელ პერიოდს სიცოცხლის წარმოშობიდან, ადამიანის წარმოშობის ჩათვლით. ლამარკის კონცეფციით ორგანიზმები ცვალებადია, სახეობა (ასევე სხვა სისტემატიკური კატეგორიები) პირობითია და თანდათანობით სხვა სახეობებად გარდაიქმნებიან. ლამარკის აზრით უმარტივესი ორგანიზმები თვითჩასახვით არაცოცხალი მატერიიდან წარმოიქმნებიან. ლამარკის თეორიის მიხედვით ორგანიზმები იცვლებიან და ვითარდებიან უმარტივესიდან ურთულესისაკენ, ნაკლებ სრულყოფილიდან უფრო სრულყოფილისაკენ ორგანიზაციის დონის ამაღლების – "გრადაციის" გზით. ევოლუციის მამოძრავებელ ძალად ლამარკს მიაჩნდა თვით ორგანიზმებში არსებული "სწრაფვა სრულყოფისაკენ", განვითარების პროცესში მათი გარდაქმნის მიზეზად – გარემოს პირობების უშუალო ზემოქმედებით გამოწვეული ცვლილებები მიაჩნდა. გარემო პირობები თავისი ზემოქმედებით ცვლის და არღვევს გრადაციის ბუნებრივ მსვლელობას. მცენარეებსა და დიფერენცირებულ ნერვულ სისტემას მოკლებულ ცხოველებზე გარემო უშუალოდ მოქმედებს და შეჯუებით ცვლილებებს იწვევს. ნერვული სისტემის მქონე ცხოველებზე გარემოს ცვლილება ქცევებისა და ჩვევების შეცვლას იწვევს. ვარჯიშის შედეგად შესაბამისი ორგანო იცვლება საჭირო მიმართულებით (მაგ. ჟირაფის, გედის, ბატის გრძელი კისერი, წულის ფრინველთა თითებს შორის საცურავი აპკი და სხვ.). უვარჯიშობით კი ორგანო სუსტდება, კნინდება და ქრება (მაგ. თხუნელას თვალი, სირაქლემას ფრთები, გველის კიდურების უქონლობა და სხვ.), (ე.წ. პირველი კანონი). ეს ცვლილებები მემკვიდრეობით გადაეცემა (ე.წ. მეორე კანონი). მოგვიანებით, გენეტიკური გამოკვლევებით დადგინდა, რომ

გარემოს ზემოქმედებით გამოწვეული ორგანოთა ცვლილება მოდიფიკაციაა და შეძენილი ნიშანთვისებები არ მემკვიდრეობს. ლამარკის კონცეფციით ადამიანი რომელიღაც უმაღლესი მაიმუნებიდან წარმოიშვა. იგი ანთროპოგენეზის ერთერთ უმთავრეს ფაქტორად გამართულ სიარულზე გადასვლას და მეტყველებას მიიჩნევდა.

ამრიგად, ლამარკის თეორია სწორად ასახავს ევოლუციის პროცესის რეალურად არსებობას, მაგრამ ვერ იძლევა მისი მიზეზების მართებულ ახსნას. ვინაიდან ლამარკის ევოლუციური კონცეფცია სუსტად იყო არგუმენტირებული, თანამედროვეთა შორის აღიარება ვერ პოვა და იგი დავიწყებას მიეცა.

ჟან ბატისტ ლამარკი
(1744-1829)

მეცნიერულად დასაბუთებული ევოლუციური კონცეფცია მხოლოდ XIX ს. მეორე ნახევარში ჩამოაყალიბეს. საკუთარი დაკვირვებების, თავის დროის მეცნიერული ცოდნისა და სელექციის მიღწევათა განზოგადების საფუძველზე ჩარლზ რობერტ დარვინმა (1809-1882) ჩამოაყალიბა ევოლუციური კონცეფცია. თეორია გადმოცემულია ტრილოგიაში: "სახეობათა წარმოშობა ბუნებრივი გადარჩევის გზით, ანუ უკეთ შეგუებულ ჯიშების გადარჩენა სიცოცხლისათვის ბრძოლაში" (1859); "შინაური ცხოველებისა და კულტურული მცენარეების შეცვლა" (1868); "ადამიანის წარმოშობა და სქესობრივი გადარჩევა" (1871).

ჩ.დარვინი "სახეობათა წარმოშობაზე" დაახლოებით ოც წელს (1837-58) მუშაობდა. 1858 წ. 18 ივნისს ჩ.დარვინმა მიიღო ინგლისელი ზოოლოგის ალფრედ რასელ უოლესისაგან (1823-1913) სტატია, რომელშიც ევოლუციის იგივე კონცეფცია იყო გადმოცემული. ნაშრომში იდეა ნათლად იყო ჩამოყალიბებული, ხოლო შესრულებული იყო ნაჩქარევად. ავტორი სთხოვდა დარვინს სტატია გადაეცა გამოჩენილი გეოლოგისათვის ჩ.ლაიელისათვის. აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ ამ კონცეფციამდე ორივე ავტორი თომას რობერტ მალთუსის (1766-1834) ნაშრომმა "ხალხთმოსახლეობის ბუნებრივი კანონი" (1822) მიიყვანა. დადგა პრიორიტეტის – პირველაღმომჩენის საკითხი. დარვინს შეეძლო სტატიის გადაცემა საკუთარი ნაშრომის გამოქვეყნების შემდეგ, რაც მან არაკეთილსინდისიერად მიიჩნია და უოლესს თხოვნა შეუსრულა. ორივე ავტორმა თავიანთი თეორია 1858 წ. 1 ივნისს მოახსენეს ლონდონის ლინეს საზოგადოებას და დაიბეჭდა ამავე წელს საზოგადოების აგვისტოს შრომათა კრებულში. ძოგვიანებით უოლესი წერდა, რომ ევოლუციის თეორიაზე დარვინი გაცილებით ადრე მუშაობდა და პრიორიტეტი მას ეკუთვნის. მანვე შემოიტანა ევოლუციის თეორიის აღსანიშნავად ტერმინი "დარვინიზმი". ხშირად ევოლუციის ამ კონცეფციას დარვინ-უოლესის თეორიას უწოდებენ.

ამ კონცეფციის თანახმად ევოლუციის ფაქტორებია მემკვიდრულობა, ცვალებადობა და ბუნებრივი გადარჩევა. მექანიზმი, რომელიც წინარე სახეობიდან ახალი

ჩარლზ დარვინი
(1809-1882)

ალფრედ უოლესი
(1823-1913)

სახეობების წარმოშობას აპირობებს, არის ბუნებრივი გადარჩევა. ბუნებრივი გადარჩევის პრინციპი სამ მთავარ დაკვირვებასა და ორ დასკვნაზეა დაფუძნებული.

დაკვირვება 1. დარვინმა შენიშნა, რომ ყოველ ინდივიდს დიდი რეპროდუქციული პოტენციალი გააჩნია. მათ გეომეტრიული პროგრესიით გამრავლების უნარი აქვთ.

დაკვირვება 2. ყოველ სახეობაში ინდივიდთა რაოდენობა თაობათა მანძილზე თითქმის უცვლელია. რეალურად არსებულ ინდივიდთა რაოდენობა არ შეესაბამება გამრავლების ინტენსიობას (ჩნდება მრავალი შთამომავალი, მაგრამ სქესობრივ მომწიფებას მხოლოდ ერთეულები აღწევენ).

დასკვნა 1. ვინაიდან მშობლები დიდი რაოდენობით იძლევიან შთამომავლობას, ხოლო ზრდასრულ ასაკს ერთეულები აღწევენ, მათ შორის უნდა მიმდინარეობდეს კონკურენცია საარსებო რესურსებისათვის, ანუ მიმდინარეობს "არსებობისათვის ბრძოლა".

დაკვირვება 3. დარვინმა შენიშნა, რომ ერთსადაიმავე სახეობაში ორი აბსოლუტურად იდენტური ინდივიდი არ გვხვდება. შეინიშნება ნაირგვარობა (პოლიმორფიზმი), სხვაგვარად, ცვალებადობა ცოცხალი ბუნების ერთ-ერთი თვისებაა. თუ განსხვავდებიან ზრდასრული ფორმები, იმავე მოვლენას უნდა ვხვდებოდეთ მოზარდებშიც.

დასკვნა 2. არსებობისათვის ბრძოლაში იმარჯვებენ ის ინდივიდები, რომელთაც მოპოვებათ სასარგებლო ნიშან თვისებები, რითაც უკეთ ეგუებიან გარემო პირობებს და ამიტომ ისინი დიდი რაოდენობით ტოვებენ შთამომავლობას, ე.ი. მათ "რეპროდუქციული უპირატესობა" აღენიშნებათ ნაკლებ შეგუებულებთან შედარებით. დროთა განმავლობაში ამ პროცესის მრავალჯერადი განმეორება საზიანო ვარიაციების ელიმინაციას, ხოლო სასარგებლო ვარიაციების გადარჩენას იწვევს. უკეთ შეგუებულთა გადარჩენა არსებობისათვის ბრძოლაში ბუნებრივი გადარჩევის საფუძველია.

დარვინმა დამაჯერებლად აჩვენა, რომ ბუნებრივი გადარჩევის მეშვეობით

შესაძლებელია აიხსნას ორგანული სამყაროს ყველა მახასიათებელი, ტაქსონომიური იერარქიული სისტემიდან მოყოლებული, ფარშავანგის კაშკაშა შეფერილობის წარმოშობით დამთავრებული, როგორც რუდიმენტული ორგანოების არსებობა, ისე დედამიწაზე ორგანიზმთა განსახლების თავისებურებანი. დარვინის მეცნიერული მემკვიდრეობა შეტყველებს იმაზე, თუ როგორ ღრმად და მრავალმხრივ სწავლობდა იგი ბუნებას, რაოდენ დიდი იყო მისი სამეცნიერო ერუდიცია. ასევე განსაცვიფრებელია მისი თეორიული ნოვატორობა. დიდი წინააღმდეგობის მიუხედავად დარვინ-უოლესის კონცეფცია სწრაფად დამკვიდრდა მეცნიერებაში და საფუძვლად დაედო თანამედროვე ბიოლოგიას. დარვინის თეორია განუწყვეტლივ ვითარდება და მასში შეიძლება სამი პერიოდი გამოვყოთ: რომანტიკული, უარყოფისა და სინთეზური თეორიის (ნეოდარვინიზმი) პერიოდი.

რომანტიკული პერიოდის (1859-1900) ბიოლოგიაში ჩამოყალიბდა ახალი მიმართულებები და დისციპლინები: ევოლუციური ემბრიოლოგია, ეკოლოგია, ევოლუციური პალეონტოლოგია, ბიოცენოლოგია, ისტორიული ბიოგეოგრაფია და სხვ. დადგენილ იქნა მნიშვნელოვანი კანონზომიერებები; ალოგენეზისა და არო-გენეზის წესი, ბიოგენეზური კანონი, არასპეციალიზირებული წინაპრიდან წარმო-შობისა და პროგრესული სპეციალიზაციის წესი, ევოლუციის შეუქცევადობის პრინციპი, ორგანოთა მულტიფუნქციირების და ფუნქციათა შეცვლით ორგანოთა ევოლუციის პრინციპი და სხვა. ამ პერიოდში დარვინის ევოლუციურმა თეორიამ კლა-სიკური სახე მიიღო.

შემდგომი პერიოდი (1901 – 20-იანი წლები) კლასიკური დარვინიზმის უარ-ყოფის სახელწოდებით მოიხსენიება. დარვინის კონცეფციის ქვაკუთხედი ბუნებრივი გადარჩევის თეორიაა. ამ პერიოდში დაიწყო გადარჩევის როლის მკაცრი კრიტიკა. რასაც რამდენიმე მიზეზი ჰქონდა, რომელთაგან მთავარი ის იყო, რომ ცოცხალი ბუნების ორ მთავარ თვისებაზე – მემკვიდრულობასა და ცვალებადობის შესახებ არ არსებობდა მეცნიერული თეორია. გენეტიკისა და ევოლუციურ თეორიას შორის კონფლიქტი ძირითადად გენეტიკოსების მიერ ორი ძირითადი აღმოჩენის – მემკვიდრეობის კორპუსკულური ბუნების დადგენისა და მუტაციური ცვალებადობის გამოვლენის არასწორმა ინტერპრეტაციამ გამოიწვია. საჭიროა აღინიშნოს, რომ ჯერ კიდევ დარვინის სიცოცხლეში შოტლანდიელმა მათემატიკოსმა ფ.ჯენკინმა გამოაქვეყნა სტატია (1867), რომლითაც უარყოფდა ბუნებრივი გადარჩევის თეორიას. მას თავის თანამედროვეთა მსგავსად მემკვიდრეობა განზავების უნარის მქონე სითხედ წარმოედგინა. იგი შემდეგნაირად მსჯელობდა: შემთხვევით წარმოქმნილი მემკვიდრული ცვლილება, რომელიც ბუნებრივ გადარჩევას უნდა დაექვემდებაროს, ერთეულია. ორი ერთნაირი მემკვიდრული ცვლილების მქონე ინდივიდის შეჯვარებით შთამომავლობის წარმოქმნის ალბათობა ძალზე მცირეა. თუ ერთ მშობელს ახალი A ნიშანი ექნა, შვილებს ამ ნიშნის A/2 (ნახევარი) აღმოაჩნდებათ, შვილიშვილებს A/4 (მეოთხედი), შვილთაშვილებს A/8 და ა.შ. ამრიგად, ყოველ მომდევნო თაობაში ძველთან შეჯვარების კვალობაზე ახალი ნიშანი თანდათანობით განზავდება ძველში და ბოლოს გაქრება. ჯენკინის ამ მოსაზრებას უკუგდება მხოლოდ გენეტიკის მონაცემებით შეიძლებოდა.

არსებობდა სხვა შრომებიც, რომლებშიც აკრიტიკებდნენ დარვინიზმს.

კერძოდ, გენეტიკის ფუძემდებლებმა (ჰ. დე ფრიზი, უ.ბეტსონი, ვ.იოჰანსენი) ვერ შეძლეს მართებულად შეეფასებინათ თავიანთი აღმოჩენის უმნიშვნელოვანესი როლი ევოლუციური თეორიის განვითარებაში. ვ.იოჰანსენმა ჩატარებული ცდებით (1903) დაასაბუთა გადარჩევის არაეფექტურობა "წმინდა ხაზებში". ჰ. დე ფრიზმა "მუტაციური თეორია" დაუპირისპირა ბუნებრივი გადარჩევის თეორიას. მისი აზრით მუტაციები უშუალო დასაბამს აძლევენ ახალ გარემო პირობათა მიმართ შეგუებულ სახეობებს.

ჯ.ლოტსის "ჰიბრიდოგენეზის" კონცეფციაში აღინიშნებოდა კომბინაციური ცვალებადობის ევოლუციური როლის აბსოლუტიზაცია. ამ პერიოდში გენეტიკოსები ევოლუციის მთავარ მამოძრავებელ ფაქტორად მემკვიდრულ ცვალებადობას თვლიდნენ. ბუნებრივი გადარჩევა, მათი აზრით, მეორეხარისხოვანი იყო. იგი მხოლოდ საზიანო მუტაციებისა და ნაკლებ შეგუებულ ჰიბრიდულ ვარიანტთა "საცერის" როლს ასრულებდა.

ნეოდარვინიზმის (ევოლუციის სინთეზური თეორიის) ჩამოყალიბებაში (30–50–იანი წლები) არსებითი მნიშვნელობა ჰქონდა გენეტიკის, ეკოლოგიისა და ევოლუციური თეორიის მონაცემთა სინთეზს. გენეტიკისა და ევოლუციური თეორიის სინთეზი ნელი ტემპებით მიმდინარეობდა. დიდი მნიშვნელობა ჰქონდა ა.ავაისმანის მიერ მემკვიდრეობის ქრომოსომული ჰიპოთეზის ჩამოყალიბებას და შეძენილ ნიშან-თვისებათა მემკვიდრეობის შეუძლებლობის პრინციპს. მნიშვნელოვანი იყო ასევე ჯ.ჰარდისა და ვ.ვაინბერგის მიერ პოპულაციაში ალელთა სიხშირის წონასწორობის პრინციპის ფორმულირება (1908). სინთეზის პროცესზე გადამწყვეტი მნიშვნელობა შეასრულა ს.ჩეტვერიკოვის შრომამ "ევოლუციური პროცესის ზოგიერთი კანონზომიერებების შესახებ თანამედროვე გენეტიკის თვალთახედვით" (1926). მან დაასაბუთა, რომ პოპულაციაში მიმდინარე მუტაციური პროცესი იძლევა ახალ მასალას და ამდიდრებს გენოფონდს, რაც აპირობებს გენეტიკურ ჰეტეროგენულობას. ბუნებრივი გადარჩევის მოქმედებით ამ მასალის "გადაშუშავება" მიმდინარეობს და ხორციელდება ევოლუციის პროცესი. 1928-1930 წწ ჩატარებული გამოკვლევებით (ნ.დუბინინი და დ.რომაშოვი, ს.რაიტი და სხვ.) ნაჩვენები იქნა, რომ ევოლუციის პროცესში უდიდეს როლს ასრულებს არა მარტო მუტაციური პროცესი, არამედ გენური სიხშირეების არამიმართული ცვლილებებიც (გენთა დრეიფი). რ.ფიშერმა მათემატიკურად დაასაბუთა (1930) ევოლუციური ცვლილების მიმდინარეობა ბუნებრივი გადარჩევის მოქმედებით. 1937-1939 წწ ფ.დობჟანსკიმ და ნ.ტიმოფეევ-რესოვსკიმ ჩამოაყალიბეს მოძღვრება მიკროევოლუციის შესახებ. ექსპერიმენტული გამოკვლევებით დაფორმულირდა შეხედულებები ელემენტარულ ევოლუციურ სტრუქტურაზე (პოპულაცია), მასალაზე და მოვლენაზე. ჯ.ჰაქსლის შრომამ "ევოლუცია: თანამედროვე სინთეზი" (1942) დააჩქარა ევოლუციის სინთეზური თეორიის დაფუძნება.

ევოლუციის სინთეზური თეორიის ჩამოყალიბებაში არსებითი როლი შეასრულა დარვინიზმის ბაზაზე გენეტიკურ-პოპულაციურმა გამოკვლევებმა, არსებობისათვის ბრძოლის მათემატიკურმა და ექსპერიმენტულმა გამოკვლევებმა, სახეობის თეორიის დაშუშავებამ, მაკროევოლუციის ზოგი სხვა პრობლემების შესწავლამ. ევოლუციის სინთეზური თეორიის ფუძემდებლებია ფ.დობჟანსკი, ე.მაირი, ჯ.სიმპსონი, ჯ.ჰაქსლი და ჯ.სტებინსი.

მიკროევოლუციის კანონზომიერებანი

§2. პოპულაცია-ევოლუციური პროცესის ელემენტარული ერთეული

ბიოლოგიის ნებისმიერ დარგში ზუსტი ანალიზის ჩატარება იმ შემთხვევაშია შესაძლებელი, როდესაც ჩერჩდება ელემენტარული ერთეულის გამოყოფა და შესწავლა, რომლის მონაწილეობით გარკვეული მოვლენა მიმდინარეობს. ბუნებრივია, ამგვარი ერთეული სიცოცხლის გარკვეული ორგანიზაციული დონისათვისაა ელემენტარული, ხოლო მისი შემადგენელი ნაწილები ამ თვისებას მოკლებულია. გენეტიკაში ასეთ ერთეულს წარმოადგენს გენი, სისტემატიკაში – სახეობა, ეკოსისტემაში – ეკოცენოზი და ა.შ. იგი სიცოცხლის დისკრეტულ ბუნებას გამოხატავს. გენეტიკური იდეისა და მეთოდოლოგიის გამოყენებით შეიძლება გამოიკვეთოს ევოლუციური პროცესის ის ერთეული, რომლის შესწავლისთანაც შეიძლება მიკროევოლუციის შესწავლა და ელემენტარული ევოლუციური ერთეულის დადგენა. **მიკროევოლუცია** ევოლუციის საწყისი ეტაპია, რომელიც სახეობის შიგნით მიმდინარეობს, იწვევს მის დიფერენცირებას და სახეობათა წარმოქმნით მთავრდება.

ვინაიდან ბიოლოგიური ევოლუცია წარმოადგენს ორგანიზმების ცვლილებისა და დივერგენციის პროცესს დროში, ამდენად საჭიროა განისაზღვროს ამ პროცესის ელემენტარული ერთეული, რომელიც დააკმაყოფილებს შემდეგ მოთხოვნებს:

1.აღარ უნდა ხდებოდეს მისი შემდგომი დაყოფა უფრო მარტივ ერთეულებად. ე.ი. უნდა წარმოადგენდეს ერთგვარ მოლიანობას დროსა და სივრცეში;

2.მას უნდა ჰქონდეს დროში ანუ ბიოლოგიური თაობების მანძილზე მემკვიდრული ცვლილების უნარი;

3.ბუნებრივ პირობებში იგი რეალურად და კონკრეტულად უნდა არსებობდეს. ასეთი ელემენტარული ერთეული არის პოპულაცია.

ყოველ სახეობას გარკვეული არეალი უჭირავს. ცხოველთა, მცენარეთა და მიკროორგანიზმთა ნებისმიერი სახეობის ინდივიდები მათ მიერ დაკავებულ არეალში სივრცობრივად არათანაბრად არიან განაწილებულნი. ისინი შეიძლება დასახლებული იყვნენ "კუნძულებრივად" (ე.წ. იზოლატები) ან მჭიდროდ დასახლებული ტერიტორიები შედარებით მეჩხერად დასახლებულ ტერიტორიებს ცვლიან (ე.წ. კონტინიუმი). ერთი სახეობის ინდივიდთა ეროთობლიობები, რომლებიც ქმნიან ტერიტორიაზე (ხშელეთზე ან აკვატორიაში) მჭიდროდ დასახლებულ "ცენტრებს", პოპულაციებს წარმოადგენენ. ერთი სახეობის ინდივიდთა ერთობლიობას, რომელიც განვრცლებულ არეალში ცალკეულ ტერიტორიებზე შეიძლება ნაკლებად მკვრივად ან საერთოდ არ იყოს დასახლებული, ეწოდება პოპულაცია.

ამ განმარტებიდან გამომდინარეობს, რომ პოპულაცია საკმაოდ შრავალრიცხოვანი ინდივიდებისაგან შემდგარი ისეთი ჯგუფია, რომელთაც გარკვეული ეკოლოგიური ნიშა უკავიათ და არსებობენ ხანგრძლივად - განუსაზღვრელ თაობათა მანძილზე. პოპულაციის წევრები სხვადასხვა სიხშირით – თავისუფლად ეკავარებიან ერთმანეთს (მიმდინარეობს პანმიქსია) და სივრცობრივად შეტანაკლებად იზოლირებული

არიან ამავე სახეობის სხვა პოპულაციებისაგან. აქვე უნდა შევნიშნოთ, რომ ასეთი განმარტება არის ზოგადი და არსებობს გამონაკლისი. მაგ. ასექსუალური პოპულაციები (ამება, ქლორელა და სხვ.). იგივე ითქმის არეალზე, მაგ. მიმომფრენი ფრინველები შორს მიგრირებენ და ა.შ.

ისმის კითხვა, რატომ ითვლება პოპულაცია ევოლუციის ელემენტარულ ერთეულად და არა სახეობა (როგორც ადრე თვლიდნენ) ან ცალკეული ინდივიდი (როგორც ზოგიერთ მეცნიერს მიაჩნდა). ცალკეული ინდივიდი ვერ აკმაყოფილებს იმ მოთხოვნებს, რომელიც ზემოთ იყო დასახელებული. პოპულაციაში ინდივიდი ევოლუციის მთავარი ფაქტორის - ბუნებრივი გადარჩევის მოქმედების ობიექტია, მაგრამ მას "საკუთარი ევოლუციური ბედი" არ გააჩნია. ეს ნიშნავს, რომ ცალკეული ინდივიდი მცირე ხანს ცოცხლობს, მაშინ როდესაც ევოლუციური მასშტაბი გრანდიოზულია და ათასობით და მილიონობით წლებს ითვლის. ამა თუ იმ ინდივიდის სიცოცხლე, რაგინდ ხანგრძლივი უნდა იყოს ის, მაინც ერთი ბიოლოგიური თაობაა. მასში წარმოქმნილი ვარიაცია, მათ შორის მემკვიდრული, შესაძლოა ვერ გამოვლინდეს. ალელთა დომინანტურ-რეცესიული ურთიერთდამოკიდებულების გამო მისი გამოვლენა სათუოა (შეიძლება გამოვლინდეს ან არა) მომდევნო თაობებში. ამდენად ევოლუციის ელემენტარული ერთეული უნდა იყოს ინდივიდთა რომელიმე ჯგუფი (ევოლუციას ექვემდებარება არა ინდივიდი, არამედ ინდივიდთა ჯგუფი). ელემენტარული ერთეული არაა ისეთი ჯგუფები, როგორიცაა: ოჯახი, ჯოგი და სხვ., ვინაიდან მათი არსებობაც დროში ეფემერულია. სახეობა ჩაკეტილი, რთული, ჰეტეროგენული სისტემა აღმოჩნდა, მართალია მას აქვს ევოლუციური ბედი, მაგრამ მეტად მრავალრიცხოვანი წევრებისაგან შედგება, არაოანაბრად არის განაწილებული სივრცეში და შედგება მცირე ერთეულებისაგან– პოპულაციებისაგან, რის გამოც იგი არაა ელემენტარული ერთეული. ამით სახეობის როლი ევოლუციის პროცესში როდი კნინდება, იგი ამ პროცესის მნიშვნელოვან ეტაპს წარმოადგენს. ამრიგად, პოპულაცია დამოუკიდებელი ევოლუციური სტრუქტურაა. იგი წარმოადგენს უმცირეს, ელემენტარულ ჯგუფს, რომელიც ორგანიზებული ერთიანი სახით ხანგრძლივად არსებობს განსაზღვრულ არეალში, ექვემდებარება ევოლუციური ფაქტორების მოქმედებას და აღენიშნება დამოუკიდებლად ევოლუციის უნარი, ამდენად პოპულაცია ევოლუციის ელემენტარულ სტრუქტურულ ერთეულს წარმოადგენს.

5.3.პოპულაციის ეკოლოგიური დახასიათება

პოპულაცია სახეობისა და ევოლუციის ელემენტარული ერთეულია. პოპულაციის ეკოლოგიურ დახასიათებას ახდენენ: დაკავებული ტერიტორიით – არეალის მონაკვეთით, რიცხოვნობით, ასაკობრივი და სქესობრივი შემადგენლობით, ასევე პოპულაციის დინამიკით.

ყოველ პოპულაციას სახეობის გავრცელების არეალში გარკვეული ტერიტორია უკავია და აქვს სივრცობრივი სტრუქტურა. ნებისმიერ ტერიტორიაზე სასიცოცხლო რესურსები შეზღუდულია და ინდივიდთა მხოლოდ განსაზღვრულ რაოდენობას შეუძლია არსებობა. შეიძლება პოპულაციამ არეალი განავრცოს , მაგრამ მან ახალი ტერიტორია უნდა აითვისოს. ეს იმ შემთხვევაშია შესაძლებელი თუ ტერიტორია პოპულაციის აუცილებელი ნიში გახდება. დაკავებული ტერიტორიით –

არეალით განსხვავდებიან როგორც სხვადასხვა, ისე ერთი და იგივე სახეობის პოპულაციები. მაგ. მარდი ხვლიკის (Lacerta agilis) ერთმა პოპულაციამ შეიძლება 0,1-დან რამდენიმე ათეულ ჰექტარამდე ტერიტორია დაიკავოს; წყლის მეთხრილია (Arvicola terrestris) 1-დან რამდენიმე ათეულ ჰექტარამდე.

ნებისმიერ პოპულაციას ყოველთვის ახასიათებს ინდივიდთა ინდივიდური გადაადგილების სპექტრი. ინდივიდთა ნაწილი მუდმივად რჩება გაჩენის ადგილზე, ნაწილი კი სხვადასხვა მანძილით გადაადგილდება. არეალის სიდიდე მნიშვნელოვნად არის დამოკიდებული ინდივიდთა გავრცელების ხარისხზე – ინდივიდურ ანუ რეპროდუქციული აქტივობის რადიუსზე. თუ ასეთი რადიუსი მცირეა, მაშინ პოპულაციის არეალიც მცირეა და პირუკუ. მაგ. თხუნელას (Scapanus townsedi) რეპროდუქციული აქტივობის რადიუსი 300 მ-ია, ჩვეულებრივი მელიის (Vulpes vulpes) 100000 მ, მარდი ხვლიკის-200მ. მცენარეებში რეპროდუქციული აქტივობის რადიუსი განისაზღვრება იმ მანძილით, რომელზეც ვრცელდება მტვრის მარცვლები, თესლი, სპორები ან გამრავლების უნარის მქონე ვეგეტატიური ნაწილები.

უმეტეს შემთხვევაში ტროფული და რეპროდუქციული (ტერიტორია, რომელზეც ინდივიდი მრავლდება) არეალი ერთმანეთს არ ემთხვევა. მაგ. ორაგული ზღვაში ბინადრობს, ხოლო მათი ტოფობა მდინარეებში მიმდინარეობს. მიმომფრენ ფრინველებს დიდი ტროფული არეალი აქვს, ხოლო რეპროდუქციული კი მცირე. მაგ. თეთრი წერო (Ciconia ciconia) ზაფხულს ევროპაში ატარებს, ხოლო ზამთრობს აფრიკაში. იგი მონოგამური ფრინველია და თითოეული წყვილი ევროპაში თავის ძველ ბუდეს უბრუნდება. მართალია, ზამთრობისას მრავალი ფორმა ერთმანეთს ერევა, მაგრამ გამრავლებისას მცირე ტერიტორია უკავია.

რიცხოვნობა (ინდივიდთა რაოდენობა კონკრეტულ ტერიტორიაზე) პოპულაციის მნიშვნელოვანი მახასიათებელია. პოპულაციის არეალის ფართობის შესაბამისად რიცხოვნობა მნიშვნელოვნად შეიძლება შეიცვალოს. ნორმალურ პირობებში ნებისმიერ პოპულაციას რიცხოვნობის სპეციფიკური სიდიდე გააჩნია. მაგ. თბილისის მიდამოების ტერიტორიაზე ზობინადრე ჩვეულებრივი ტრიტონის რიცხოვნობა ასეულიდან 1500-მდე ინდივიდს შეადგენს, ხოლო სავარცხლიანი ტრიტონისა რამდენიმე ათეულს არ აღემატება. მწერებისა და ზოგიერთი მცირე ზომის მცენარეთა პოპულაციებში ინდივიდთა რიცხოვნობა ზოგჯერ ათეულ ათასს და რამდენიმე მილიონსაც აღწევს. პოპულაციის რიცხოვნობას უკავშირდება მინიმალური რიცხოვნობის პრობლემა. მინიმალური რიცხოვნობა ეს ის ზღვრული რაოდენობაა, რომლის შემდეგაც ინდივიდთა რიცხვის შემცირება ეკოლოგიურ-გენეტიკური მიზეზების გამო პოპულაციის გადაშენებას იწვევს. ეს მაჩვენებელი სხვადასხვა სახეობისათვის განსხვავებული და სპეციფიკურია. შეუძლებლადაა მიჩნეული ისეთი პოპულაციების ევოლუციურად ხანგრძლივი არსებობა, რომელთა წევრები რამდენიმე ასეულზე ნაკლებია. მაგ. ამურის ვეფხვი ერთი პოპულაციისაგან შედგება, რომელშიც 200-მდე ინდივიდია. მიუხედავად დაცვის მკაცრი ზომებისა, შემთხვევითმა (სტოქასტურმა) ფაქტორებმა (ხანძარი, წყალდიდობა და სხვა) შეიძლება ამ რიცხვის შემცირება გამოიწვიოს, ერთეულმა ინდივიდებმა გამრავლების პერიოდში საჭირო სიხშირით ერთიმეორე ვეღარ იპოვონ და რამდენიმე თაობაში ამოწყდნენ. ამ მდგომარეობაში შეიძლება აღმოჩნდეს მრავალი იშვიათი მცენარე და ცხოველი.

პოპულაციის დინამიკის ევოლუციურ მნიშვნელობას პირველად ყურადღება ს.ჩეტვერიკოვმა (1905) მიაქცია. პოპულაციაში რიცხოვნობის მერყეობას (ფლუქტუაციას) მან "პოპულაციის ტალღები" უწოდა. იგი ევოლუციის პროცესში მნიშვნელოვან როლს ასრულებს (იხ.5.7.). პოპულაციის რიცხოვნობა სივრცესა და დროში პერიოდულად მერყეობს. მას მრავალი აბიოტური და ბიოტური ფაქტორი იწვევს. რიცხოვნობის ფლუქტუაციას შეიძლება ციკლური ან აციკლური ხასიათი ჰქონდეს. ინგლისის ერთ-ერთ პატარა კუნძულზე ველურად ბინადრობს ბოცვერი (Oryctolagus cuniculus). მთელი წლის განმავლობაში უხვი საკვების მოპოვებით შემოდგომით ინდივიდებმა მაქსიმალურ რაოდენობას 10000-ს მიაღწია; ერთხელ მკაცრმა ზამთარმა და საკვების ნაკლებობამ მათი რაოდენობა 100-მდე შეამცირა. რიცხოვნობის მკვეთრი სეზონური მერყეობა აღინიშნება უხერხემლო ცხოველებში - ბუზები, კოღოები და სხვ.

პოპულაციას აქვს ასაკობრივი სტრუქტურა. ამრიგად პოპულაცია დიფერენცირებულია როგორც სივრცეში (არეალი), ისე დროში (შედგება სხვადასხვა ასაკის ინდივიდებისაგან). ზოგჯერ სახეობის შემადგენელ ცალკეულ პოპულაციას მისთვის ნიშანდობლივი ასაკობრივი თანაფარდობა ახასიათებს. ამ თანაფარდობაზე მოქმედებს ორგანიზმთა სიცოცხლის ხანგრძლივობა, გამრავლების ინტენსიობა, თუ როდის აღწევენ სქესობრივ სიმწიფეს და სხვ. სწრაფად მზარდი პოპულაციები ძირითადად ახალგაზრდა ინდივიდებისაგან შედგებიან; სტაციონალურ პოპულაციებში ყველა ასაკის ჯგუფები გვხვდება და მათი თანაფარდობა თითქმის თანაბარია. კლებადი რიცხოვნობის პოპულაციებში ხანდაზმული ჯგუფები ჭარბობენ. მცენარეთა და ცხოველთა პოპულაციებში ძირითადად სამ ეკოლოგიურ ასაკობრივ ჯგუფს გამოყოფენ: პრერეპროდუქციულს, რეპროდუქციულსა და პოსტრეპროდუქციულს. ადამიანში ასაკობრივი ჯგუფების თანაფარდობა თანაბარია და თითოეული მათგანის ხანგრძლივობა დაახლოებით 1/3 შეადგენს. მარტივია ბიგას (Sorex) ასაკობრივი სტრუქტურა. ისინი გაზაფხულზე ერთ ან ორ ნაყარს იძლევიან. ზრდასრულები მალე იღუპებიან, შემოდგომაზე მხოლოდ სქესობრივად მოუმწიფებელი ინდივიდებისაგან შედგებიან. გაზაფხულზე ყველა გამოზამთრებული ინდივიდი სქესობრივად მწიფდება და ციკლი კვლავ მეორდება. ზოგიერთი მწერის ლარვული პერიოდი გახანგრძლივებულია და ერთიდან რამდენიმე წლამდე გრძელდება, ზრდასრულის კი – რამდენიმე დღეს. ირმების პოპულაცია რამდენიმე ასაკობრივი ჯგუფისაგან შედგება. მუხნარში ერთდროულად სხვადასხვა ასაკის მცენარეები გვხვდება. ახალგაზრდა-20 წლიანმა მცენარემ შეიძლება დამტვეროს 1000 წლოვანი (მშობელი) ინდივიდი.

ერთი შეხედვით სქესის მიხედვით თანაფარდობის შესწავლა მნიშვნელოვანია მხოლოდ ცალსქესიან ცხოველებსა და ორსახლიანი მცენარეების პოპულაციებში. თითქოს მას მნიშვნელობა არ უნდა ჰქონდეს აგამურ, ჰერმაფროდიტ და პართენოგენეზულ პოპულაციებისთვის. ასეთი შეხედულება მცდარია, რადგან აგამურ ფორმებში აღმოჩენილია სქესობრივი პროცესის თავისებური ვარიანტები, ჰერმაფროდიტებში ობლიგატური თვითგანაყოფიერება მეტად იშვიათია, ხოლო ზოგიერთ პართენოგენეზულ პოპულაციებში აღმოჩენილია მამრები. ყოველივე ეს იმაზე მიგვანიშნებს, რომ სქესთა თანაფარდობა პოპულაციის მნიშვნელოვანი მახასიათებელია.

პოპულაციაში არჩევენ სქესის სამი სახის თანაფარდობას. პირველადი

თანაფარდობა ზიგოტების წარმოქმნისას ყალიბდება და მას გენეტიკური მექანიზმები განსაზღვრავენ. დათიშვა სქესის მიხედვით არის თანაფარდობით 1:1 (იხ. 3.5). მამრობითი და მდედრობითი სქესის განსხვავებული სიცოცხლის უნარიანობის გამო მეორადი თანაფარდობა (დაბადებულ ან გამოჩეკილ ინდივიდებს შორის) განსხვავდება პირველადისაგან. მესამეული თანაფარდობა სქესობრივად მომწიფებული ინდივიდებისათვისაა დამახასიათებელი. მაგ. ადამიანებში ყოველ ახალშობილ 100 ქალზე 106 ვაჟი მოდის (მეორადი თანაფარდობა). 16-18 წლის ასაკში ეს თანაფარდობა თანაბრდება, 50 წლის ასაკში ყოველ 100 ქალზე 85 მამაკაცი მოდის, ხოლო 80 წლის ასაკში ყოველ 100 ქალზე 50 მამაკაცი.

ცხოველებსა და მცენარეების პოპულაციებში სქესის მეორეული და მესამეული თანაფარდობა ხშირად მნიშვნელოვან ფარგალში ვარირებს. ზოგიერთ მწერში რთული გენეტიკური პროცესების შედეგად მამრების ელიმინაცია ხდება და პოპულაცია მხოლოდ მდედრებისაგან შედგება. ასევე ზოგიერთი პართენოგენეზურ პოპულაციებში მხოლოდ მდედრები გვხვდება. სქესთა თანაფარდობაზე გარკვეულ გავლენას ახდენს გარემო პირობები (ე.წ. ეპიგამური ანუ მოდიფიკაციური სქესის განსაზღვრა), რომელიც ჩვენ არისემასა და ბონელიაში უკვე განვიხილეთ.

3.4.პოპულაციის გენეტიკური დახასიათება

გენოტიპებისა და ალელების სიხშირე. ინდივიდთა თავისუფალი შეჯვარების (პანმიქსიის) შედეგად პოპულაციაში იქმნება ერთიანი გენეტიკური სტრუქტურა – გენოფონდი. ამრიგად, პოპულაციის გენთა ერთობლიობას **გენოფონდი** ეწოდება. როდესაც პოპულაციაN რაოდენობის დიპლოიდი ინდივიდებისაგან შედგება, მაშინ მას 2N რაოდენობის გენები გააჩნია, ასევე ცალკეული ალელების რაოდენობა 2N-ის ტოლია. გამონაკლისია სასქესო ქრომოსომაში ლოკალიზებული გენები.

პოპულაციის უმნიშვნელოვანეს მახასიათებლად ალელებისა და გენოტიპების სიხშირე ითვლება. პოპულაციის გენეტიკურ შესწავლას გენების სიხშირისა და გენოტიპების თანაფარდობის განსაზღვრის გზით ახდენენ. პოპულაცია ღია გენეტიკური სისტემაა, რაც იმას ნიშნავს, რომ პოპულაციათა შორის ხდება მიგრაცია. შესაბამისად მათ შორის მიმდინარეობს გენეტიკური ინფორმაციის გაცვლა (ე.წ. გენთა ნაკადი). მაშასადამე ბუნებრივი პოპულაციები განსხვავდებიან ალელთა შეხვედრის სიხშირით და ამა თუ იმ გენოტიპების რაოდენობრივი თანაფარდობით. პოპულაციას აანალიზებენ არა უშუალოდ გენებისა და გენოტიპების, არამედ ფენოტიპის დისკრეტული ერთეულის – ფენის მიხედვით. ამ სახის ფენს ზოგჯერ მარკერულ ნიშანს უწოდებენ. პოპულაციათა შესწავლისა და ურთიერთ შედარებისას მოსახერხებელი და საიმედოა მრავალი განსხვავებული ფენის მიხედვით მათი ანალიზი. ფენთა სიხშირის მიხედვით ადგენენ მათი განმსაზღვრელი გენების შეხვედრის სიხშირეს და წარმოქმნილ გენოტიპთა თანაფარდობას პოპულაციაში. ასევე ადგენენ პოპულაციის საზღვრებს, სხვადასხვა პოპულაციათა შორის მსგავსება-განსხვავების დონეს. ასევე შესაძლებელი ხდება ცალკეული პოპულაციის ისტორიული განვითარების შესახებ დასაბუთებული ჰიპოთეზის წამოყალიბება, სხვადასხვა ელემენტარული ფაქტორის მოქმედების დადგენა.

მაგალითისათვის განვიხილოთ ადამიანში სისხლის MN ჯგუფი. როგორც გენეტიკიდან ვიცით, არსებობს სამი ჯგუფი M, N და MN, მათ ერთი გენის ორი L^M და L^N ალელი განსაზღვრავს. თბილისის პოპულაციის 500 ინდივიდზე ჩატარებული ანალიზისას 198–ს აღმოაჩნდა M ჯგუფის სისხლი, 230–ს MN, ხოლო 72–ს–N. სისხლის ჯგუფის შესაბამისად გენოტიპის სიხშირეს ადგენენ თითოეული მაჩვენებლის საერთო რიცხვთან თანაფარდობით. M ჯგუფის სიხშირე ტოლია 198/500=0,396, შესაბამისად MN–ის – 0,460, N– ის–0,144. ვინაიდან 500 ადამიანი შემთხვევით შერჩეული ერთობლიობაა, მიღებული შედეგი შეიძლება განვიხილოთ, როგორც მთელი პოპულაციისათვის დამახასიათებელი ნიშანი. ალელთა სიხშირის განსაზღვრა გენოტიპური კლასების ანალიზით ხდება: L^ML^M გენოტიპის ინდივიდს ორი L^M ალელი გააჩნია, L^ML^N – თითო L^M და L^N ალელი, ხოლო L^NL^N გენოტიპისას ორი L^N ალელი. ერთობლიობაში L^M ალელის რაოდენობა ტოლია (198x2)+230=626; L^N ალელის რაოდენობა კი (72x2)+230=374. ალელთა რაოდენობა ორჯერ აღემატება შესასწავლ პირთა რაოდენობას, ვინაიდან თითოეულს ორი ალელი აქვს 500x2=1000. ამრიგად L^M ალელის სიხშირე შეადგენს 626/1000=0,626; L^N ალელის სიხშირე კი – 374/1000=0,374.

როდესაც ჰომო- და ჰეტეროზიგოტური კლასები ერთიმეორისაგან ფენოტიპურად განსხვავდებიან (კოდომინანტობა, არასრული დომინანტობა და სხვ.) ფენის მიხედვით ადვილია შესაბამისი გენოტიპის დადგენა. ვინაიდან სრული დომინანტობისას დომინანტ ჰომოზიგოტს (AA) და ჰეტეროზიგოტს (Aa) ერთნაირი ფენი გააჩნიათ, ცალკეული ალელის სიხშირისა და ცალკეული გენოტიპური კლასების თანაფარდობის განსაზღვრა ფენოტიპური კლასების მიხედვით შეუძლებელია. ამ შემთხვევაში რეცესიული და დომინანტური ალელის სიხშირესა და შესაბამისი გენოტიპური კლასების თანაფარდობას ჰარდი-ვაინბერგის ფორმულით საზღვრავენ.

ჰარდი-ვაინბერგის კანონი. 1908 წელს ერთიმეორისაგან დამოუკიდებლად ინგლისელმა მათემატიკოსმა ჯ.ჰარდიმ და გერმანელმა ექიმმა ვ.ვაინბერგმა დაადგინეს კანონზომიერება, რომელსაც შემდგომ ჰარდი-ვაინბერგის კანონი უწოდეს (შევნიშნავთ, რომ 1903 წ. ამერიკელმა გენეტიკოსმა ვ.კასტლმა და ინგლისელმა ბიომეტრისტმა კ. პირსონმა მსგავსი პრინციპი უკვე ჩამოაყალიბეს, მაგრამ ეს შრომები შეუმჩნეველი დარჩა). ამ კანონით მტკიცდება, რომ მემკვიდრეობა არ ცვლის ალელთა სიხშირეს პოპულაციაში. ამრიგად, პოპულაციებში (თუ მასზე გარეშე ფაქტორები არ მოქმედებს) დომინანტური ჰომოზიგოტების (AA), დომინანტური ჰეტეროზიგოტებისა (Aa) და რეცესიული ჰომოზიგოტების (aa) სიხშირე თაობათა მანძილზე უცვლელია, ე.ი. დინამიურ წონასწორობას ინარჩუნებს. თუ დომინანტი A ალელის სიხშირეს აღვნიშნავთ p-თი, რეცესიული a ალელისას კი q-თი, მაშინ პოპულაციაში მოცემული ლოკუსის მხოლოდ ორი ალელის არსებობის შემთხვევაში წარმოიქმნება ტოლობა: $pA + qa = 1$. ამ შემთხვევაში გენოტიპთა თანაფარდობა იქნება: $(pA + qa)^2 = p^2AA + 2pqAa + q^2aa$, რაშიც ადვილად დავრწმუნდებით თუ პენეტის ცხრილს გამოვიყენებთ:

♀♂	pA	qa
pA	p^2AA	pqAa
qa	pqAa	q^2aa

დავუშვათ, რომ პოპულაციაში ერთი გენის ორი განსხვავებული ალელის მქონე ჰომოზიგოტი ინდივიდები AA და aa თანაბარი რაოდენობითაა და თავისუფლად შეეჯვარებიან ერთმანეთს (პანმიქსია). მაშასადამე A და a ალელები გვხვდება თანაბარი – 0,5 სიხშირით. ამ შემთხვევაში F_1-ში გენოტიპურ კლასთა სიხშირე იქნება:

♀\♂	0,5A	0,5a
0,5A	0,25AA	0,25Aa
0,5a	0,25Aa	0,25aa

ამრიგად , 0,25AA + 0,50Aa + 0,25aa = 1. ეს კი გვიჩვენებს, რომ პოპულაციის არსებულ თაობაში ჰომოზიგოტები AA და aa წარმოიქმნება შესაბამისად 0,25 სიხშირით, ხოლო ჰეტეროზიგოტები Aa-0,50 სიხშირით. შემდგომ თაობაშიც ალელებისა და გენოტიპების იგივე სიხშირე შენარჩუნდება. დომინანტი A ალელის მქონე გამეტების სიხშირეა 0,5 (0,25 AA ჰომოზიგოტებიდან + 0,25 Aa ჰეტეროზიგოტებიდან), ასევე რეცესიული a ალელის მქონე გამეტების სიხშირეც 0,5-ია (0,25 aa ჰომოზიგოტებიდან + 0,25 Aa ჰეტეროზიგოტებიდან). თუ ეს წონასწორობა პოპულაციაზე რაიმე ფაქტორის მოქმედებით არ იქნება დარღვეული, იგივე თანაფარდობა იქნება შენარჩუნებული მომდევნო თაობებში.

ბუნებრივ პოპულაციებში ჰომოზიგოტი AA და aa კლასები განსხვავებული სიხშირით გვხვდება. ამის შესაბამისად დომინანტური (A) და რეცესიული (a) ალელების სიხშირეც განსხვავებულია. დავუშვათ, რომ პოპულაციაში დომინანტური A ალელის სიხშირე 0,3-ია, ხოლო რეცესიული a ალელის კი 0,7. მაშინ გენოტიპური კლასების ასეთ სიხშირეს მივიღებთ:

♀\♂	0,3A	0,7a
0,3A	0,09AA	0,21Aa
0,7a	0,21Aa	0,49aa

მაშასადამე 0,09AA + 0,42 Aa + 0,49 aa. ამრიგად, შთამომავლობაში ყოველი 100 ზიგოტიდან 9 ჰომოზიგოტი AA, 49 ჰომოზიგოტი aa და 42 ჰეტეროზიგოტი Aa იქნება. მომდევნო თაობაში გენოტიპური კლასები იმავე სიხშირით წარმოიქმნება. ვინაიდან დომინანტი A ალელის მქონე გამეტები წარმოიქმნება 0,3 სიხშირით (0,09 AA ჰომოზიგოტებიდან + 0,21 Aa ჰეტეროზიგოტებიდან), ხოლო a ალელის მქონე გამეტები კი 0,7 (0,49 aa ჰომოზიგოტებიდან + 0,21 Aa ჰეტეროზიგოტებიდან).

თუ მოცემული გენის ერთი ალელის სიხშირეს აღვნიშნავთ q სიმბოლოთი, მაშინ ამავე გენის ალტერნატიული ალელის სიხშირე შეიძლება გამოისახოს როგორც 1-q. თუ ალელების აღნიშვნელ სიმბოლოებს პენეტის ცხრილში ჩავსვამთ,მაშინ იგი ასეთ სახეს მიიღებს:

♀\♂	q	(1-q)
q	q^2	q(1-q)
(1-q)	q(1-q)	(1-q)(1-q)

იგი შეჯამებული სახით შეიძლება ასე წარმოვადგინოთ: $q^2 + 2qx(1-q) + (1-q)^2$ ან $[q + (1-q)]^2$; ჰარდი-ვაინბერგის ფორმულით შესაძლებელი ხდება პოპულაციაში ალელებისა და გენოტიპური კლასების თანაფარდობის განსაზღვრა. იმ შემთხვევაშიც კი, როდესაც ყველა გენოტიპი არაა იდენტიფიცირებული. მაგ. ადამიანში ალბინიზმს იწვევს რეცესიული გენი. იგი პოპულაციაში დაბალი სიხშირით გვხვდება. თუ ნორმალური პიგმენტაციის განმსაზღვრელი გენის დომინანტურ ალელს ავღნიშნავთ A-თი, ხოლო ალბინიზმის გამომწვევ რეცესიულ ალელს კი a-თი, მაშინ ნორმალური პიგმენტაციის მქონე ადამიანების გენოტიპები იქნება AA ან Aa. ხოლო ალბინოსის – aa. თუ რომელიმე პოპულაციაში ალბინიზმის სიხშირეა 1:10000, მაშინ ჰომოზიგოტური (aa) კლასის სიხშირე იქნება $q^2=0,0001$; $q=0,01$. a ალელის სიხშირე კი 0,01–ის ტოლია. A ალელის სიხშირე კი იქნება $1-q = 1-0,01 = 0,99$; ნორმალური დომინანტური ჰომოზიგოტი (AA) კლასის სიხშირე იქნება $p^2=0,99^2=0,98$. ჰეტეროზიგოტული Aa კლასების სიხშირე $2pq=2x0,99x0,01=0,0198$, ე.ი. დაახლოებით 0,02-ის ტოლია. მაშასადამე, რეცესიული ალელი ჰეტეროზიგოტურ მდგომარეობაში 100-ჯერ მეტია, ვიდრე ჰომოზიგოტურში. ამრიგად, თუ ვიცით პოპულაციაში მხოლოდ რეცესიული ჰომოზიგოტების (aa) სიხშირე, საკმარისია ამ სიდიდიდან კვადრატული ფესვის ამოღება, რომ დავადგინოთ რეცესიული ალელის სიხშირე (q). დომინანტი ალელის სიხშირე კი შეადგენს $p=1-q$-ს. ამ ხერხით პოპულაციაში A და a ალელების სიხშირის განსაზღვრის შემდეგ ადვილია პოპულაციის ყველა გენოტიპური კლასების სიხშირის დადგენა.

ამრიგად, ჰარდი-ვაინბერგის კანონის თანახმად უსასრულოდ დიდი პანმიქსიური პოპულაციები, რომლებზეც არ მოქმედებს გარემო ფაქტორები, დინამიურ წონასწორობაშია, ანუ ალელთა და გენოტიპთა სიხშირე მასში თაობათა მანძილზე მუდმივია. ეს კანონი მოქმედებს იმ შემთხვევაში, თუ: 1.პოპულაცია არის მრავალრიცხოვანი; 2.შეჯვარება შემთხვევითი ხასიათისაა; 3.არ წარმოიქმნება ახალი მუტაციები; 4.ყველა გენოტიპი ერთნაირი სიცოცხლისუნარიანია და, მაშასადამე, გადარჩენა არ მიმდინარეობს; 5.თაობები ერთმანეთს არ ფარავენ; 6.არ მიმდინარეობს ემიგრაცია და იმიგრაცია (გენთა ნაკადი), ე.ი. პოპულაციათა შორის გენეტიკური მასალის მიმოცვლა არ ხდება.

თუ დაცულია ზემოთ ჩამოთვლილი პირობები, მაშინ სხვადასხვა ალელების სიხშირე თაობათა მანძილზე (ე.ი.ხანგრძლივად) მუდმივი რჩება, პოპულაციაში გენეტიკური წონასწორობა მყარდება და მასში არავითარი ევოლუციური ცვლილება არ მიმდინარეობს. ბუნებაში ასეთი პოპულაციები მეტად იშვიათია. მეტწილად პოპულაციის გენეტიკური სტრუქტურის დინამიკაზე მოქმედ ფაქტორთა გავლენით თანაფარდობა ირღვევა.

გენეტიკაში ჰეტეროგენულობა და პრომიანობა

ბუნებრივი პოპულაციების გენეტიკური ჰეტეროგენულობის მნიშვნელობას ეურადღება ს.ჩეტვერიკოვმა (1926) მიაქცია. მან ჰარდი-ვაინბერგის კანონზე დაყრდნობით თეორიულად შეისწავლა რეალური სიტუაცია და გაამოიქვა ვოსაზრება, რომ პოპულაციაში მეტწილად რეცესიული მუტაციები წარმოიქმნება. ისინი პოპულაციაში ჰეტეროზიგოტულ მდგომარეობაში ინახება და არ ცვლის მის გარეგან

სახეს (ფენოტიპს). ამის გამო პოპულაცია როგორც "ღრუბელი", ისეა გაჟღენთილი მუტაციებით. ნებისმიერი პოპულაცია გენეტიკურად ჰეტეროგენულია.

40-50-იან წლებში პოპულაციის გენეტიკური სტრუქტურის შესახებ ორი ალტერნატიული ჰიპოთეზა წამოაყენეს (კლასიკური მოდელი და ბალანსური მოდელი). კლასიკური მოდელის მიხედვით პოპულაცია ძირითადად ჰომოზიგოტი დომინანტური გენებისაგან შედგება. მათში უმნიშვნელო რაოდენობითაა რეცესიული გენები, რომლებიც ჰეტეროზიგოტურ მდგომარეობაშია. პოპულაციის ევოლუციური მიმართულება იმ შვიათ სასარგებლო ალელების გადარჩევას ეფუძნება, მათი სიხშირეც პოპულაციაში ბუნებრივი გადარჩევის შედეგად მატულობს.

ბალანსური მოდელის მიხედვით პოპულაციას პოლიმორფული გენეტიკური სტრუქტურა აქვს. ლოკუსთა დიდი ნაწილი ალელთა სერიებისაგან შედგება, რომლებიც პოპულაციაში სხვადასხვა სიხშირით გვხვდება. პოპულაცია განსხვავებულ გენოტიპთა ერთობლიობას წარმოადგენს. ევოლუციური ცვლილება ბალანსურ დამოკიდებულებაში მყოფი გენებისა და ალელების გადარჩევას ეფუძნება. ორივე მოდელის მიხედვით ახლად წარმოქმნილი სპონტანური მუტაციების დიდი ნაწილი ორგანიზმისათვის საზიანოა.

მოლეკულურ ბიოლოგიაში შემუშავებული მეთოდებით შესაძლებელი გახდა ბუნებრივ პოპულაციებში გენეტიკური ჰეტეროგენულობის შესწავლა. ჩატარებული იქნა სხვადასხვა პოპულაციებში მრავალი გენისა და მისი პროდუქტის-ფერმენტების მოლეკულური ანალიზი. გამოვლენილი იქნა ბუნებრივი პოპულაციების ჰეტეროგენულობა და ჰეტეროზიგოტულობის მაღალი დონე. მაგალითად, ადამიანებში საშუალო ჰეტეროზიგოტულობა 6,7%-ს შეადგენს. თუ დავუშვებთ, რომ ადამიანს დაახლოებით 30000 სტრუქტურული გენი აქვს (რეალურთან შედარებით ეს მაჩვენებელი რამდენადმე შემცირებულია), მაშინ თითოეულ ადამიანს ჰეტეროზიგოტულ მდგომარეობაში $30000 \times 0.067 = 2010$ გენი ექნება. პოტენციურად ასეთ პოლიჰეტეროზიგოტაში $2^{2010} \sim 10^{605}$ განსხვავებული ტიპის გამეტები უნდა წარმოიქმნას. ბუნებრივია გამეტათა რაოდენობის ასეთი პოტენციური კომბინაცია არა მარტო ცალკეულ ადამიანში, არამედ კაცობრიობის მთელი არსებობის პანძილზე არასოდეს არ რეალიზდება. შეღარებისათვის აღვნიშნავთ, ფიზიკოსების შეფასებით სამყარო 10^{76} რაოდენობის პროტონებისა და ნეიტრონებისაგან შედგება. აქედან ცხადია, რომ ბუნებრივ ჰეტეროზიგოტულობაზე დამყარებული კომბინაციური ცვალებადობის პოტენციური შესაძლებლობით, ბუნებრივი გადარჩევისათვის კოლოსალური რეზერვი იქმნება. ამრიგად მუტაციური პროცესითა და შეჯვარებით შენარჩუნებული გენეტიკური ჰეტეროგენულობა პოპულაციას საშუალებას აძლევს საარსებო პირობებთან შეგუებისათვის გამოიყენოს როგორც ახლად ინდუცირებული, ისე ადრე წარმოქმნილი, პოპულაციაში ჰეტეროზიგოტულ მდგომარეობაში არსებული მუტაციები. ამის მიხედვით შეიძლება ითქვას, რომ პოპულაციის ჰეტეროგენულობა უზრუნველყოფს მემკვიდრული ცვალებადობის ე.წ. "საბობილიზაციო რეზერვის" არსებობას (შმალგაუზენი, 1969).

ჰეტეროგენულობის გამო ნებისმიერი პოპულაცია რთულ გენეტიკურ სისტემას წარმოადგენს, იგი დინამიკურ წონასწორობაში იმყოფება. პოპულაცია ინდივიდთა ის უმცირესი ერთობლიობაა, რომელიც ხანგრძლივი დროის განმავლობაში

(თაობათა მანძილზე) არსებობის უნარს ინარჩუნებს. თავისუფალი შეჯვარების შედეგად მრავალი მუტაცია (მათ შორის ისეთიც, რომლებიც ორგანიზმის ცხოველქმედებას აქვეითებს) ჰომოზიგოტურ მდგომარეობაში გადადის და ვლინდება კიდეც. მხოლოდ ბუნებრივ პოპულაციებს გარკვეული რიცხოვნობისას აქვს უნარი საჭირო დონეზე შეინარჩუნოს გენეტიკური სისტემის ნაირგვარობა და მთლიანობა.

ამრიგად, პოპულაციის გენეტიკური მახასიათებელია: მუდმივი გენეტიკური ჰეტეროგენულობა, შიდაგენეტიკური ეროვნობა, ცალკეული ალელებისა და გენოტიპების დინამიკური წონასწორობა. ეს თავისებურებანი განსაზღვრავენ პოპულაციის, როგორც ევოლუციის ელემენტარული ერთეულის, ორგანიზაციას.

5.5. ევოლუციის ელემენტარული მოვლენა – პოპულაციის გენეტიკური შედგენილობის ცვლილება

როგორც უკვე აღვნიშნეთ, ევოლუციის ელემენტარული სტრუქტურა (ერთეული) არის პოპულაცია, ხოლო ევოლუციის ელემენტარულ მოვლენად ამ სტრუქტურის შემკვიდრული ცვლილება არის მიჩნეული. ყველა ცოცხალ ორგანიზმში მიმდინარე სპონტანური მუტაციური პროცესის გამო თაობათა მანძილზე (დროის ამა თუ იმ მონაკვეთში) არსებული ნებისმიერი ერთობლიობა ჰეტეროგენული ხდება. ჰომოგენური მხოლოდ ახლად წარმოქმნილი წმინდა ხაზები და კლონებია. ფენოტიპურად შეუნაკლებად ეროგვაროვანწევრებიანი პოპულაციაც კი განსხვავებული გენოტიპების მქონე ეროთობლიობაა (ჰეტეროგენულია).

ჰეტეროგენულობას იწვევს როგორც მუტაციური პროცესის მუდმივი ზეწოლა, ისე გენეტიკური მასალის რეკომბინაცია (იხ.3.9). თუ ფაქტორები პოპულაციის გენეტიკური სტრუქტურის (გენოფონდის) დინამიკაზე უმნიშვნელოდ მოქმედებს, მაშინ მისი გენეტიკური შედგენილობის უმნიშვნელო ფლუქტუაცია გვექნება. იგი ძირითადად ხანგრძლივი დროის განმავლობაში უცვლელი დარჩება. როდესაც ფაქტორები პოპულაციის გენეტიკურ შედგენილობაზე (გენოფონდზე) ხანგრძლივად და ინტენსიურად მოქმედებს, მაშინ იგი უსათუოდ შეიცვლება. თუ გენოფონდის ხანგრძლივი და მიმართული (ვექტორიზებული) ცვლილება მიმდინარეობს, მაშინ თავს იჩენს ევოლუციურად მნიშვნელოვანი ხდომილება – **ელემენტარული ევოლუციური მოვლენა**. ელემენტარული ევოლუციური მოვლენა არის პოპულაციის გენოფონდის ხანგრძლივი, შეუქცევადი და მიმართული (ვექტორიზებული) ცვლილება.

ევოლუციის ელემენტარული მოვლენა ჯერ კიდევ არ წარმოადგენს ევოლუციურ პროცესს. ამასთანავე, ნებისმიერი ევოლუციური პროცესის მიმდინარეობას (უმცირესით დაწყებული, უდიდესი მასშტაბით დამთავრებული) გენოფონდის ცვლილება უდევს საფუძვლად. პოპულაციის გენეტიკური სტრუქტურის დინამიკაზე მოქმედი ფაქტორი შესაძლოა მრავალი აღმოჩნდეს, ვინაიდან არაერთი მოვლენა სხვადასხვა გზით და მექანიზმებით გავლენას ახდენს გენოფონდზე. მოქმედების ხასიათისა და შედეგის მიხედვით შეიძლება გამოიყოს ძირითადი ელემენტარული ფაქტორები, რომლებიც აუცილებელი და საკმარისია ელემენტარული ევოლუციური პროცესის წარმართვისათვის. ევოლუციის ძირითად ელემენტარულ ფაქტორებს

წარმოადგენს: ბუნებრივი გადარჩევა, მუტაციური პროცესი, გენთა დრეიფი, გენთა ნაკადი, იზოლაცია. მათგან გენოფონდის მდგრად, შეუქცევად მიმართულ ცვლილებას მხოლოდ ბუნებრივი გადარჩევა იწვევს.

5.6.მუტაციური პროცესი – ევოლუციის ელემენტარული ფაქტორი. მუტაციები – ელემენტარული მასალა

მუტაციის წარმოქმნის სიხშირე და მიზეზები

მუტაციური პროცესი პოპულაციის დინამიკაზე მოქმედი ფაქტორია. ყველა ცოცხალ ორგანიზმში მუტაციური პროცესი სპონტანურად და მუდმივად მიმდინარეობს. მუტაციური ცვალებადობის დროს ადგილი აქვს გენეტიკური მასალის თვისობრივ ან რაოდენობრივ ცვლილებას. მუტაციები ესაა ელემენტარული ევოლუციური მასალა. ადაპტური მნიშვნელობის მიხედვით მუტაციები შეიძლება იყოს სასარგებლო, ნეიტრალური ან საზიანო. ეს დაყოფა პირობითია, რადგანაც გარემო პირობების შეცვლისას სასარგებლო მუტაციები შეიძლება გახდეს საზიანო ან – პირიქით. გარემო პირობების შესაბამისად ერთი და იგივე მუტაცია შეიძლება პირობით საზიანო ან პირობით სასარგებლო აღმოჩნდეს. მუტაციების სადღეისოდ არსებული ყველა კლასიფიკაცია არასრულყოფილია (იხ.3.9).

რ. ფონ ბერსტოლის კონცეფციის თანახმად გენური მუტაციის სპონტანური ინდუქცია რეპლიკაციის, რეკომბინაციის ან რეპარაციის პროცესში მომხდარი დარღვევის შედეგია. მიკროორგანიზმების, მცენარეებისა და ცხოველების მრავალ სახეობაში, აგრეთვე ადამიანში შესწავლილია ზოგიერთი გენის სპონტანური მუტაციის სიხშირე. ეს მაჩვენებელი სხვადასხვა გენისათვის განსხვავებულია და საშუალოდ 10^{-5}-10^{-7}-მდე ფარგლებში ვარირებს (იხ.ცხრილი 3-2; 5-1), თუმცა ზოგიერთი გენი უფრო დაბალი ან მაღალი სიხშირით მუტირებს.

გენის სპონტანური მუტაციის სიხშირეს გამოსახავენ ერთი თაობის გამეტების (ან გენომის) საერთო რაოდენობის თანაფარდობით მუტაციის შემცველ გამეტებთან. ერთი და იმავე გენის სპონტანური მუტაციის სიხშირე განსაზღვრულ ფარგალში ვარირებს, რომელიც საკმაოდ დაბალია. იმის გამო, რომ ორგანიზმებს გენთა საკმაოდ დიდი რაოდენობა მოეპოვებათ, მუტაციის მქონე გამეტების საერთო რაოდენობა მნიშვნელოვან სიდიდეს აღწევს. კერძოდ, მისი საერთო რაოდენობა რამდენიმე პროცენტიდან (ბაქტერიები, ერთუჯრედიანი წყალმცენარეები და სოკოები) 25%-მდე (დროზოფილა) ვარირებს. წარმოიქმნება საკმაოდ დიდი მასალა ბუნებრივი გადარჩევისათვის.

გამოირკვა, რომ მუტაციური პროცესი გენეტიკური მექანიზმებით კონტროლდება. გამოვლენილია გენები, რომლებიც ცვლიან (ზრდიან ან ამცირებენ) მუტაციის სიხშირეს. სპონტანურ მუტაციურ პროცესს განიხილავენ, როგორც ადაპტურ ნიშანს. იგი ბუნებრივი გადარჩევის მოქმედების გზით ყალიბდება. მუტირების რეგულირება ევოლუციის დროს სხვადასხვა გზით მიიღწევა: რეპარაციული სისტემის ეფექტურობით და უჯრედში ავტომუტაგენური ან ანტიმუტაგენური ნივთიერებების კონცენტრაციის ცვლილებით.

ცხრილი 5-ს ბაქტერიული მუტაციის წარმოქმნის სიხშირე (ს.ლინგენერტომოვი,1989)

სახეობა და ნიშანი	მუტაციის სიხშირე გენზე
Escherichia coli	
სტრეპტომიცინისადმი მდგრადობა	$4x10^{-10}$
სტრეპტომიცინისადმი მგრძნობელობა	$1x10^{-9}$
T1 ფაგისადმი მდგრადობა	$2x10^{-10}$
Clamidomonas reinhardti	
სტრეპტომიცინისადმი მდგრადობა	$1x10^{-6}$
Neurospora crassa	
ადენინისადმი პროტოტროფიზმის აღდგენა	$8x10^{-8}$
Zea mays	
კბილა თესლი	$1x10^{-6}$
მეწამული თესლი	$2x10^{-6}$
Drosophila melanogaster	
თეთრი თვალები	$4x10^{-5}$
ყვითელი სხეული	$1x10^{-4}$
ყავისფერი თვალი	$3x10^{-5}$
Mus musculus	
ყავისფერი შეფერილობა	$8x10^{-6}$
ალბინიზმი	$3x10^{-5}$

მუტაციის გამოვლენა და სპექტრი

მუტაციის გამოვლენა ერთი მხრივ შეცვლილი ალელის დომინანტურ–რეცესიულ მდგომარეობაზეა დამოკიდებული. დომინანტური მუტაცია პირველსავე თაობაში ვლინდება და ბუნებრივი გადარჩევის მოქმედებას ექვემდებარება. თუ მუტაცია უპირატესობას ანიჭებს ორგანიზმს, იგი შეინახება, საზიანო კი გამორიცხება, რადგან მისი მფლობელი ინდივიდი შესაბამისად ტოვებს შთამომავლობას ან იღუპება. თუ ახლად წარმოქმნილი მუტაცია რეცესიულია, მაშინ იგი ჰეტეროზიგოტულ მდგომარეობაში მრავალი თაობის განმავლობაში შეიძლება ხანგრძლივად დარჩეს პოპულაციაში, რადგან იგი ორგანიზმში ჰეტეროზიგოტულ მდგომარეობაში მოქმედებას ვერ ავლენს. ბუნებრივი გადარჩევა მასზე გავლენას ახდენს მხოლოდ მაშინ, როდესაც მუტანტური ალელი ჰომოზიგოტურ მდგომარეობაში გადადის და ფენოტიპურად ვლინდება.

მეორე მხრივ, მუტანტური ალელის გამოვლენა დამოკიდებულია აგრეთვე იმ გარემოზე, რომელშიც მუტანტური ალელი ჩნდება. ხშირად ეროი და იმავე მუტანტური ალელი სხვადასხვა ორგანიზმში განსხვავებულ ფენოტიპურ ეფექტს ახდენს, რაც ექსპრესიულობითა (გენის ფენოტიპურად გამოვლენის ხარისხი) და პენეტრანტულობით (პოპულაციაში გენის გამოვლენის სიხშირე) არის გამოხატული (იხ. 3.3). ნებისმიერი ნიშან-თვისების (ფენის) ჩამოყალიბება გარემო პირობებისა და გენოტიპის ურთიერთქმედების შედეგად ხორციელდება. მაგალითად, დროზოფილაში მუტაცია vestigial-ის ("ჩანასახოვანი ფრთები") გამოვლენა გარემოს ტემპერატურაზეა დამოკიდებული. 14°C ტემპერატურაზე განვითარებულ ინდივიდს ფრთები

საერთოდ არ გააჩნია, ხოლო 31°C ტემპერატურაზე კი თითქმის ნორმალური ფრთები აქვს.

მუტაციის სპონტანური ინდუქცია ორგანიზმის ონტოგენეზური განვითარების ნებისმიერ პერიოდში ხდება. გამეტებიდან და ზიგოტებიდან მოყოლებული, ვიდრე ორგანიზმის სიბერით დამთავრებული. იგი ორგანიზმის ნებისმიერი ნიშანთვისების განმსაზღვრელ გენში მიმდინარეობს. სპონტანურ მუტაციურ პროცესს ფართო სპექტრი გააჩნია. განსხვავებული დონით ორგანიზმის ყველა ნიშნისა და თვისების (მორფოლოგიური, ფიზიოლოგიური, ბიოქიმიური, ეთოლოგიური და ა.შ.) განმსაზღვრელი გენების მუტაცია ხდება. მუტაციამ შეიძლება შეასუსტოს ან გააძლიეროს ნიშანი. მუტაციის შედეგად ნიშანი შეიძლება მკვეთრად იყოს გამოხატული (ლეტალური მუტაციის ჩათვლით) ან თითქმის უმნიშვნელოდ (ე.წ."მცირე" მუტაციები). წარმოიქმნება საკმაოდ მრავალფეროვანი მასალა ევოლუციის პროცესისათვის.

მუტაციების გავრცელება და მუტაციური პროცესის გავლენა პოპულაციის სტრუქტურაზე

მიკროორგანიზმთა, მცენარეთა და ცხოველთა პოპულაციების შესწავლისას გამოირკვა, რომ ისინი განსხვავდებიან მუტაციის შეხვედრის სიხშირით. ბუნებაში არ გვხვდება ერთი და იმავე სახეობის ორი ერონაირი გენეტიკური სტრუქტურის (გენოფონდის) მქონე პოპულაცია. ეროიმეორისაგან განსხვავდებიან როგორც მეზობელი, ისე საკმაოდ დაცილებული პოპულაციები. მცენარეების (დეკისპირა, ია, თავცეცხლა და სხვ.), უხერხემლო ცხოველების (დროზოფილა, ჭიამაია ...), ხერხემლიანების (სახლის თაგვი, ვირთაგვა. მეშინდვრია და სხვ.) პოპულაციების შესწავლისას გაპოირკვა, რომ ისინი განსხვავდებიან ერთი მეორისაგან გენური, ქრომოსომული ან გენომური მუტაციების შეხვედრის სიხშირით.

ახლად წარმოქმნილი მუტაციების დიდი ნაწილი ორგანიზმისათვის საზიანოა, რადგან ისინი ცვლიან ევოლუციის პროცესში ჩამოყალიბებულ ეროიან გენეტიკურ სტრუქტურას. ინდივიდის გენეტიკური სტრუქტურის (გენოტიპის) ჩამოყალიბება ევოლუციის პროცესში უკეთესი კომბინაციების გადარჩევის გზით მიმდინარეობს. ნებისმიერი გადახრა ამ სისტემაში იწვევს დისბალანსს. ამიტომაც გადახრები მეტწილად საზიანოა. ბუნებრივ პოპულაციებში ეროი მხრივ რეცესიული მუტაციების ფართო გავრცელება წარმოადგენს გენეტიკურ ტვირთს პოპულაციისათვის, მაგრამ მეორე მხრივ, ის, როგორც სამობილიზაციო რეზერვი, ემსახურება პროგრესულ ევოლუციას. გენთა ნაირგვარი მუტაციები, რომლებიც განსხვავებული სიხშირით წარმოიქმნება, არღვევს პოპულაციაში არსებულ წონასწორობას, ხოლო შემდგომ კვლავ მყარდება გენოტიპთა ახალი წონასწორობა. ამრიგად, პოპულაციის გენეტიკური სტრუქტურა იცვლება ერთი წონასწორობიდან მეორე წონასწორობამდე, რაც მისი დინამიკის ხასიათს განსაზღვრავს.

პოპულაციის გენოფონდი ყოველ თაობაში ახალი მუტაციებით იავსება. ამ პროცესს **მუტაციური ნაწოლა** ეწოდება. მუტაციური ზეწოლის დონე განსაზღვრავს სხვადასხვა გენის ალელების სიხშირეს პოპულაციაში. მუტაციის გავრცელებას პოპულაციაში განსაზღვრავს, უწინარეს ყოვლისა, მისი მუტაბილობა (ამა

თუ იმ ლოკუსის მუტაციის უნარი), მაგრამ მისი დონე დამოკიდებულია იმაზე, თუ რა გავლენას ახდენს მუტაცია ინდივიდის ცხოველმყოფელობასა და ნაყოფიერებაზე.

სქესობრივი პროცესის მეშვეობით ხდება სასიანო მუტაციების "გაუვნებელყოფა". კერძოდ, შეინიშნება ამ ტიპის მუტაციების ჰეტეროზიგოტულ მდგომარეობაში გადასვლა. მრავალი მუტაცია ჰეტეროზიგოტულ მდგომარეობაში შეტწილად აძლიერებს სიცოცხლის უნარიანობას (ხდება ე.წ.ჰეტეროზისი). სქესობრივი პროცესით ერთი მხრივ ხორციელდება მუტაციის გზით ახლად წარმოქმნილი გენეტიკური მასალის შენახვა, მეორე მხრივ სასიანო მუტაციების გაუვნებელყოფა, გადაყავს რა იგი "ფარულ" (ჰეტეროზიგოტურ) მდგომარეობაში.

მუტაციათა მცირე ნაწილი სასარგებლო ან ნეიტრალური აღმოჩნდება. ბუნებრივი გადარჩევის მოქმედების შედეგად ხდება თაობათა მანძილზე მათი შენარჩუნება და შეიძლება მნიშვნელოვანი როლიც შეასრულოს ევოლუციის პროცესში. ამჟამად მიაჩნიათ, რომ ევოლუციაში არსებით როლს მცირე მუტაციები ასრულებენ, რადგან ისინი ნიშნის უმნიშვნელო ცვლილებას იწვევენ; სასარგებლო მცირე მუტაციების გენოტიპში დაგროვებისას ნიშნის არსებითი ცვლილება ხდება.

მრავალი მუტაცია პლეიოტროპული მოქმედებისაა: ხოგჯერ ერთ ნიშანზე დადებითად მოქმედებს, მეორეზე კი უარყოფითად. თუ დადებითი ეფექტი ჭარბობს უარყოფითს, მაშინ ასეთი მუტაცია ჰეტეროზიგოტურ მდგომარეობაში ინახება. მიმდინარეობს გენი-მოდიფიკატორებისა და მცირე მუტაციების მეშვეობით პლეიოტროპულ მუტაციაზე ზემოქმედება და უარყოფითი ეფექტის შესუსტება. როდესაც მუტანტურ ინდივიდებს შესამჩნევი უპირატესობა აქვთ საწყის ფორმებთან შედარებით: სწრაფად ვრცელდებიან ბუნებაში და სახლდებიან სახეობისათვის ადრე არსებობისათვის ნაკლებ ხელსაყრელ პირობებში.

ოკეანურ კუნძულებზე, სადაც განუწყვეტლივ ქრის ქარი, გავრცელებულია მწერები, რომლებსაც ფრენის უნარი არა აქვთ. უნდა აღინიშნოს, რომ ეს მოვლენა ჰიპოთეზის სახით ჯერ კიდევ ჩ.დარვინმა განიხილა. იშვიათი მუტაციებიც კი, რომლებიც ფროების რედუქციას იწვევს, სასარგებლო აღმოჩნდებოდა. ფრთიანი მწერები ქარს მიჰქონდა ზღვაში და მასიურად იღუპებოდნენ. დროზოფილაში ინდუცირებულია მრავალი სახის მუტაცია, რომლებიც ფრთის ცვლილებას იწვევს. მაგ. vestigial, apterous ("უფრთო") და სხვა. მუტაცია vestigial-ი პლეიოტროპული მოქმედებისაა, იგი ნაყოფიერებას აქვეითებს.

ხელოვნური პოპულაცია, რომელიც ჩანასახოვანფრთიანი და ნორმალურფრთიანი (ველური ტიპი) ინდივიდებისაგან შედგებოდა, ჯუთებში მოათავსეს და სვის სანაპიროზე განალაგეს. ქარიან ამინდში ორი თვის განმავლობაში პოპულაციის შემადგენლობა შეიცვალა (2,5%-დან ჩანასახოვანფრთიანი ბუზების რაოდენობა 67%-მდე გაიზარდა). უქარო ამინდის დროს კი პოპულაციის შემადგენლობა არ იცვლებოდა. როდესაც ჯუთები დახურულ შენობაში მოათავსეს, ფრთიანმა ფორმებმა, მაღალი ნაყოფიერების გამო, ჩანასახოვანი ფორმები ძლიერ შეავიწროვეს. ოკეანის კუნძულებზე უფრთო ფორმების გაჩენა ბუნებრივი გადარჩევის შედეგად ექსპერიმენტულად იქნა დამტკიცებული.

განუწყვეტელი ცვალებადობა ორგანიზმისათვის სასიანო იქნებოდა, რადგანაც გენების სასარგებლო კომბინაციების დამყარების შესაძლებლობა მოისპობოდა.

ამიტომ ევოლუციის პროცესში გამომუშავდა მექანიზმები, რომლებიც ზღუდავენ როგორც მუტაციის სიხშირეს, ისე სპექტრს. მოლეკულურ დონეზე ასეთი მექანიზმია კოდში სინონიმური ტრიპლეტების არსებობა, რეპარაციის სისტემები, გენეტიკური პროცესების გენეტიკური კონტროლი; უჯრედის დონეზე ქრომოსომების ინდივიდურობა და შეჭიდულ გენთა არსებობა; ორგანიზმის დონეზე მიტოზური გაყოფა და ქრომოსომთა დიპლოიდური კომპლექტის არსებობა; პოპულაციის დონეზე კი პანმიქსიის დარღვევა და არსებობისათვის ბრძოლაში ინდივიდთა გარკვეული ნაწილის დაღუპვა (ელიმინაცია).

მუტაციური პროცესის არამიმართული ხასიათი

გენეტიკასა და ევოლუციურ თეორიაში მნიშვნელოვანი კონცეფციაა ის, რომ მუტაციური პროცესს არამიმართული და შემთხვევითი ხასიათი აქვს. ეს კი იმას ნიშნავს, რომ ახლად წარმოქმნილი მუტაცია არაადექვატურია მასზე მოქმედი ფაქტორის მიმართ. მაგ. კოლხიცინით გამოწვეული პოლიპლოიდია, ორგანიზმს ამ ალკალოიდის მოქმედებისაგან არ იცავს, ხოლო რადიაციით ინდუცირებული მუტაციები არ იწვევენ მისგან დამცველი ნივთიერებების-რადიოპროტექტორების გამომუშავებას. ყოველი მუტაგენი მუტაციების მოლ სპექტრს იწვევს, ისინი სხვადასხვა სახის მუტაციის ინდუქციას იწვევენ. სხვადასხვა მუტაგენს კი აქვს მსგავსი მუტაციის ინდუქციის უნარი. დნმ-ის მოლეკულაში ერთი წყვილი ნუკლეოტიდის ცვლილება მუტაციის ინდუქციას იწვევს. რადიუსი, სადაც მუტაციური ცვლილება ხდება, საკმაოდ მცირეა და 10^{-7} სმ-ის ტოლია. მუტაციური პროცესი შემთხვევითი პროცესია. შეუძლებელია წინასწარ განისაზღვროს, როდის და სად მოხდება ესა თუ ის მუტაცია. მაგრამ შეიძლება ვივარაუდოთ მოცემულ ლოკუსში რა სიხშირით მოხდება მუტაციის ინდუქცია.

მუტაციური პროცესის მნიშვნელობა ევოლუციაში

სხვადასხვა ტიპის მუტაციების წარმოშობის სიხშირით პოპულაციების განსხვავება, მუტაციების ორგანიზმის მნიშვნელოვან ნიშნებზე მოქმედება, ბუნებრივი პოპულაციების ჰეტეროგენულობა და მათი გაჯერება მუტაციებით საშუალებას გვაძლევს დავასკვნათ, რომ მუტაციები ევოლუციის ელემენტარული მასალაა.

მუტაციური პროცესის ევოლუციური როლი, აგრეთვე, იმაში მდგომარეობს, რომ იგი განაპირობებს პოპულაციაში მაღალი დონით ჰეტეროგენულობის შენარჩუნებას. ჰეტეროგენულობას კი ეფუძნება ევოლუციის სხვა ელემენტარული ფაქტორების, მათ შორის ბუნებრივი გადარჩევის, მოქმედება. ამრიგად, მუტაციური პროცესი არის ელემენტარული ევოლუციური მასალის მიმწოდებელი ფაქტორი.

5.7. გენთა დრეიფი. როგორც ევოლუციის ელემენტარული ფაქტორი

პოპულაციაში ალელთა სიხშირეზე გავლენას ახდენს გენთა დრეიფი. ამერიკელმა მეცნიერმა ს.რაიტმა და რუსმა გენეტიკოსებმა ნ.დუბინინმა და დ.რომაშოვმა ერთმანეთისაგან დამოუკიდებლად დაადგინეს (1931) ნებისმიერ განსაზღვრულ პო-

პულაციაში თაობათა მანძილზე ალელთა მოცემული კონცენტრაციის განუსაზღვრელად შენარჩუნების შეუძლებლობა. პოპულაციაში ალელთა კონცენტრაციის დარღვევა შეიძლება მოხდეს მუტაციური პროცესისა და ბუნებრივი გადარჩევის გარეშეც. თაობათა მანძილზე (ბიოლოგიურ დროში) შემთხვევითი პროცესებით გამოწვეულ ალელთა სიხშირის ცვლილებას პოპულაციაში **ჰარდი-ვაინბერგის კანონი** (გენეტიკურ-ავტომატური პროცესი) ეწოდება. გენთა დრეიფი განსაკუთრებით შესამჩნევია მცირერიცხოვან პოპულაციებში.

ალელთა წონასწორობის ჰარდი-ვაინბერგის კანონი 30-იან წლებამდე უნივერსალურად მიაჩნდათ. იგი არ ირღვევა, როდესაც პოპულაცია უსასრულოდ მრავალრიცხოვანია და მიმდინარეობს პანმიქსია (იხ.5.4). მაგრამ სინამდვილეში ბუნებრივ პოპულაციებში ეს პირობა არასდროს არ რეალიზდება. საარსებო პირობების ცვლილების შედეგად ხდება პოპულაციის რიცხოვნობის მკვეთრი გადიდება ან შემცირება, ე.წ. **სიცოცხლის ტალღები**. ნებისმიერი პოპულაცია გადის მაქსიმალური და მინიმალური რიცხოვნობის პერიოდებს, რომელსაც შეიძლება ჰქონდეს ციკლური ან აციკლური ხასიათი. ამ სახის ფლუქტუაციის მიზეზი საკმაოდ მრავალგვარია. იგი შეიძლება გამოიწვიოს როგორც აბიოტურმა, ისე ბიოტურმა ეკოლოგიურმა ფაქტორებმა. ორგანულ ბუნებაში ნაირგვარ პოპულაციურ ტალღებს ვხვდებით. განვიხილოთ ძირითადი მათგანი:

1.სანმოკლედ მცხოვრები ორგანიზმების რიცხოვნობის ციკლური მერყეობა. იგი ახასიათებს ერთწლიან მცენარეებს, მრავალ მწერს, სოკოსა და მიკროორგანიზმს. რიცხოვნობის ამდაგვარი სეზონური მერყეობა მკაფიოდაა გამოხატული მიკროორგანიზმებში. მაგალითად, გრიპისა და სხვა მსგავსი დაავადებების საგაზაფხულო და საშემოდგომო ტალღები, რაც ვირუსების მასობრივი გამრავლებითაა გამოწვეული.

2.რიცხოვნობის აციკლური მერყეობა. გამოწვეული სხვადასხვა ფაქტორის შემთხვევითი თანხვედრით. იგი უმთავრესად გამოწვეულია მოცემული პოპულაციის კვებითი ჯაჭვის თვალსაზრისით ხელსაყრელ პირობებზე. მაგ. მტაცებლების რიცხვის შემცირება მსხვერპლთათვის, მტაცებლებისათვის საკვები რესურსების გაზრდა და სხვა.

3.ახალ რაიონებში სახეობათა რიცხოვნობის აფეთქებები, როდესაც არა ჰყავთ ბუნებრივი მტრები. საილუსტრაციოდ შეიძლება დავასახელოთ XIX- XX სს ავსტრალიაში ბოცვერის მასობრივი გავრცელება; ჩრდილოეთ ამერიკაში-სახლის ბელურისა; ევრაზიაში-კანადური ელოდეას, ცენტრალურ ამერიკული ონდანტრასი და კოლორადოს ხოჭოსი, საქართველოში-დიდი ლაფანჭამიასი და სხვა. XVI-XVII სს ზღვაოსნობის განვითარების შედეგად ვირთაგვები (Ratus norvegicus) განსახლდნენ მთელ მსოფლიოში. ადამიანის სამოსახლოსთან ნაგავსაყრელებმა ხელი შეუწყო ოთახის ბუზის (Musca domestica) რიცხოვნობის მკვეთრ გადიდებას.

4.ბუნებრივ "ექსპერიმენტებთან" დაკავშირებული რიცხოვნობის მკვეთრი მერყეობა. იგი გამოწვეულია ეკოცენოზების ან მთელი ლანდშაფტების დაშლით, გვალვით, ხანძრით და ა.შ. სწრაფი გადაადგილების უნარის მქონე ფორმები (მაგ. მსხვილი ძუძუმწოვრები, ფრინველები და სხვა) და ნიადაგის ღრმა ფენებში ბინადარი ინდივიდები, შედარებით ნაკლებად ნადგურდებიან, ხოლო ხმელეთის

ზედაპირზე ბინადარი უძრავი ან ნაკლებმოძრავი (მცენარეები, მოლუსკები, მყვარები, რეპტილიები და სხვ.) ფორმები დიდი რაოდენობით იღუპებიან.

პოპულაციის გენოფონდის ცვლილება ხდება როგორც მაქსიმალური, ისე მინიმალური რიცხოვნობისას. რიცხოვნობის გაზრდისას ადრე კუნძულებრივად განლაგებული (განცალკევებული) პოპულაციების გენოფონდი ერთიანდება. იმის გამო, რომ თითოეული პოპულაცია თავისი გენეტიკური სტრუქტურით-გენოფონდით უნიკალურია, გაერთიანების გამო მათ საწყისისაგან განსხვავებული გენოფონდი უყალიბდებათ. რიცხოვნობის ზრდა პოპულაციათაშორის მიგრაციების ინტენსიფიკაციას იწვევს, რაც ხელს უწყობს გენოფონდში ალელთა კონცენტრაციის ცვლილებას. რიცხოვნობის ზრდას, ჩვეულებრივ, თან ახლავს შიგასახეობრივი არსებობისათვის ბრძოლის გამძაფრება და არეალის გაფართოება. როდესაც პოპულაციაში რიცხოვნობის მატება პიკს აღწევს, ინდივიდთა ზოგიერთი ჯგუფი არეალის საზღვრებს გარეთ სახლდება. ისინი მათთვის უჩვეულო საარსებო გარემოში აღმოჩნდებიან. განსხვავებული საარსებო პირობების გამო მეტწილად ასეთი მცირერიცხოვანი ჯგუფები იღუპებიან. იშვიათად, სასარგებლო გენეტიკური სტრუქტურის გამო ზოგიერთი პოპულაცია გადარჩება. ისინი იზოლირებული აღმოჩნდებიან პოპულაციის ძირითადი მასისაგან. ბუნებრივია, მათი გენოფონდი განსხვავდება ძირითადისაგან და მასზე ღარიბია.

როდესაც პოპულაციის რიცხოვნობა მკვეთრად ეცემა, შემთხვევით ინდივიდთა მცირე რაოდენობა გადარჩება. ასეთი პოპულაციის გენური სიხშირე საწყისისაგან განსხვავებული იქნება. თუ შემდგომში რიცხოვნობა კვლავ გაიზრდება, მაშინ ახალ აფეთქებას დასაბამს მისცემს ინდივიდთა ეს მცირერიცხოვანი ჯგუფი. ამდაგვარი პოპულაციის გენოფონდს ამ მცირე ჯგუფის გენეტიკური შემადგენლობა განსაზღვრავს. რაც უფრო მცირერიცხოვანია ინდივიდთა ამონაკრები, მით უფრო მაღალია ალელთა სიხშირის შერყეობა. ალელთა ეს მერყეობა (გენთა დრეიფი) შემთხვევითია და გადარჩევის შედეგს არ წარმოადგენს. როდესაც პოპულაცია ბუნებრივ გადარჩევას ექვემდებარება, მაშინ ნებისმიერი იმავე მიმართულებით მიმდინარე შემთხვევითი ცვლილება გადარჩევის ეფექტურობას ზრდის ე.ი. აძლიერებს ან აჩქარებს. პირუკუ გადარჩევის საწინააღმდეგოდ მიმართული ნებისმიერი შემთხვევითი ცვლილება ანელებს გადარჩევას. გენთა დრეიფი არამიმართული პროცესია, ამდაგვარმა პერეტრუბაციამ შეიძლება გამოიწვიოს ადაპტური ღირებულების მქონე ალელების ელიმინაცია და მოხდეს ნაკლები ადაპტური მნიშვნელობის ალელების ფიქსაცია. ამ შემთხვევაში ჩნდება შეუქცევადი ცვლილება (თუ დაკარგული ალელი მუტაციის შედეგად კვლავ არ ინდუცირდა). თუ გენთა დრეიფი შეგუებულობას მკვეთრად აქვეითებს, მაშინ ასეთი ინდივიდები შეიძლება ამოწყდეს. ამრიგად, გენთა დრეიფის შედეგად წარმოქმნილი ყველა ცვლილება როდი შენარჩუნდება. მაგრამ ზოგჯერ წარმოიქმნება მეტად შეგუებული ინდივიდები. ე.მაირმა ამ შემთხვევას "გენეტიკური რევოლუცია" უწოდა. ზოგიერთი ევოლუციონისტი მიიჩნევს, რომ ახალი სახეობა სწორედ ამდაგვარი პროცესის შედეგად ყალიბდება. მაგრამ ამ მოსაზრებას მკვლევართა დიდი ნაწილი არ იზიარებს.

თუ რატომაა ეფექტური მცირერიცხოვან პოპულაციებში გენთა დრეიფი, ამის საილუსტრაციოდ განვიხილოთ შემდეგი მაგალითი: დავუშვათ, რომ ორი

განსხვავებული რიცხოვნობის პოპულაციაში გენთა სიხშირეები თანაბარია და იშვიათი ალელი ინდივიდთა 1%-ში გვხვდება (q=0,01). შემთხვევითი მოვლენის შედეგად მოხდა ამ ალელის მქონე ინდივიდთა ელიმინაცია პოპულაციიდან, ე.ი. q=0. თუ პოპულაცია 1.000.000 წევრისაგან შედგება, მაშინ იშვიათი ალელი 10.000 ინდივიდს ექნება. ხოლო თუ მეორე პოპულაცია 100 წევრისაგან შედგება, მაშინ ალელი მხოლოდ 1 ინდივიდს აღმოაჩნდება. ბუნებრივია ალელის შემთხვევითი დაკარგვის ალბათობა მცირერიცხოვანი (მეორე შემთხვევა) პოპულაციიდან გაცილებით მაღალია, ვიდრე მრავალრიცხოვანიდან.

გენთა დრეიფთანაა დაკავშირებული ე.წ. **ლამფშენიბლის პრინციპი** (ე.მაირი, 1974). ამ მოვლენას ვხვდებით იმიგრაციის შედეგად ახალი პოპულაციის ფორმირებისას. როგორც უკვე აღინიშნა, საწყისი პოპულაციიდან შემთხვევითი ამორჩევით ინდივიდთა ძალზე მცირე ჯგუფი შეიძლება განსახლდეს და სხვა ტერიტორია დაიჭიროს. ბუნებრივია, ინდივიდთა ეს მცირერიცხოვანი ამონაკრები ალელთა შედგენილობით არატიპურია და განსხვავდება საწყისი პოპულაციისაგან. ზოგიერთი ალელის კონცენტრაცია მაღალი იქნება, ზოგიერთი კი მათში საერთოდ არ აღმოჩნდება. ასორტატული შეჯვარების შედეგად ასეთ **პიონერულ** პოპულაციაში ყალიბდება ახალი გენოფონდი, რომელიც ალელთა კონცენტრაციით საწყისისაგან განსხვავებულია. გენთა დრეიფით, იშვიათ ალელთა დაკარგვის გამო წესისამებრ გენეტიკური ცვალებადობა ქვეითდება. ხანგრძლივი ასორტატული შეჯვარება ამცირებს პოპულაციაში ჰეტეროზიგოტების რაოდენობას, მკვეთრად ზრდის ჰომოზიგოტების წილს. ამრიგად, პოპულაცია მეტად დაბალი პოლიმორფულობით ხასიათდება. ახალი პოპულაცია სათავეს ამდაგვარი გაღარიბებული გენოფონდიდან იღებს. პოპულაციის დინამიკაზე მოქმედი ფაქტორების (მუტაციური პროცესი, ბუნებრივი გადარჩევა და სხვ.) ზემოქმედებით იცვლება გენთა კონცენტრაცია გენოფონდში და იგი პოლიმორფული ხდება. **საწყისი განსახლებელი გენოფონდის გავლენას პოპულაციის შემდგომ ბედზე დაიფშენიბლის პრინციპი** ეწოდება.

ოკეანურ კუნძულებზედასახლებულ მრავალ სახეობას, რომლებიც ამჟამად დიდი რიცხოვნობით გამოირჩევა, ოდესღაც შემთხვევით მოხვედრილი ერთი (განაყოფიერებული მდედრი, ჰერმაფროდიტი ორგანიზმი, თესლი და სხვ.) ან რამდენიმე ინდივიდისაგან იღებენ საწყისს. დამფუძნებლის ეფექტი გამოვლენილია ადამიანის მრავალ მცირერიცხოვან პოპულაციაში. კერძოდ, პენსილვანიის შტატში (აშშ) სახლობს ბაბტისტთა სექტა, ქორწინება მხოლოდ სექტის წევრებს შორის ხდება. ამ სექტას საწყისი დაუდო XVIII ს. მეორე ნახევარში გერმანიიდან ემიგრირებულმა 27-მა ოჯახმა. გენთა დრეიფი გაანალიზებულია რამდენიმე ლოკუსის მიხედვით. A ჯგუფის სისხლი (სისტემა ABO) გერმანელებში და გერმანული წარმოშობის ამერიკელებში 40-50%-ია, სექსტანტებში კი 60%; ბაბტისტებში I^B ალელი თითქმის ელიმინირებულია, მისი სიხშირე 2,5%-ია; M ლოკუსის სიხშირე (სისტემა MN) გერმანელებსა და გერმანული წარმოშობის ამერიკელებში 54%-ს, ბაბტისტებში კი 65%-ს შეადგენს.

5.8. გენთა ნაკადი. როგორც ევოლუციის ელემენტარული ფაქტორი

გენთა ნაკადი მიეკუთვნება პოპულაციის გენეტიკური სტრუქტურის დინამიკაზე მოქმედ ფაქტორს. პოპულაციათა შორის გენთა მიმოცვლას **გენთა ნაკადი** ეწოდება. ერთი პოპულაციიდან მეორეში ინდივიდთა მცირე ჯგუფის იმიგრაცია იწვევს მასში განსხვავებულ ალელთა შემოხვევით მოხვედრას. იმის გამო, რომ ერთ პოპულაციას ალელთა გარკვეული ფორმები აკლდება, მეორეს კი ემატება, თითოეული მათგანის გენოფონდში ალელთა ხვედრითი პროპორციები იცვლება. გენთა ნაკადის მეშვეობით პოპულაციაში ცვალებადობის დონე იზრდება. ამ პროცესის უშუალო შედეგი მუტაციების წარმოქმნის პროცესის მსგავსია. გენთა ნაკადი ალელთა კონცენტრაციის გაცილებით სწრაფ ცვლილებას იწვევს, ანუ მუტაციურ პროცესზე უფრო ეფექტურია. მართალია, გენთა ნაკადით გენოფონდი იცვლება, მაგრამ ევოლუციური ცვლილების თვალსაზრისით მისი მოქმედება კონსერვატულია. პოპულაციათა შორისი მიგრაციების მეშვეობით სახეობის გენოფონდი ერთიანი ხდება. ამრიგად, გენთა ნაკადი, ერთი მხრივ პოპულაციათა გენეტიკური ცვალებადობის წყაროა, მეორე მხრივ, არსებით როლს ასრულებს სახეობის, როგორც ევოლუციის ეტაპის, მდგრადობის შენარჩუნებაში. ამდენად, პოპულაციათა შორის გენთა ნაკადის შეწყვეტა (საიზოლაციო მექანიზმების განმტკიცება) ახალ სახეობათა ფორმირების ერთ-ერთი წინაპირობაა.

ამერიკაში (აშშ) თეთრკანიანებსა და ზანგებს შორის შერეული ქორწინების შედეგად გაჩენილ შთამომავლებს ზანგებს აკუთვნებენ. ამდენად, შერეული ქორწინებები შეიძლება ჩაითვალოს როგორც გენთა ნაკადი თეთრკანიანებიდან ზანგთა პოპულაციაში. მაგალითად, რეზუს ფაქტორის განმსაზღვრელი ალელის (R^o) სიხშირე ამერიკაში მცხოვრებ თეთრკანიანებში p=0,028 შეადგენს. აფრიკის ტომებში (საიდანაც სათავეს ამერიკელი ზანგები იღებენ) ამ ალელის სიხშირეა p=0,630, ამერიკელ ზანგებში კი – p=0,446 . ზანგები ამერიკაში 300 წლის (დაახლოებით 10 თაობა) წინ ჩამოასახლეს. გამოთვლილია, რომ გენთა ნაკადი თეთრკანიანი მოსახლეობიდან ზანგების პოპულაციაში თითოეულ თაობაში საშუალოდ 3,6% შეადგენდა. დადგენილია, რომ ზანგებს გენოფონდში გენთა დაახლოებით 30% თეთრკანიანი პოპულაციიდან გენთა ნაკადის მეშვეობით აქვთ მიღებული.

გენთა ნაკადი არამიმართული და შემთხვევითი პროცესია. გენთა ნაკადის გავლენა პოპულაციის დინამიკაზე დამოკიდებულია როგორც პოპულაციათა შორის სივრცობრივ მანძილზე, ისე გამეტების და ინდივიდების გავრცელების რაოდენობასა და სიხშირეზე. მაგალითად, მფრინავი ცხოველები, მტვრის მარცვლები, თესლები აქტიურად ან პასიურად სწრაფად და ადვილად ვრცელდებიან სხვა ადგილებში. გენთა ნაკადის გენეტიკური შედეგი ისაა, რომ თუ ემიგრანტების გენოტიპური თავისებურებანი ახალ პირობებში მათ ადაპტურ უპირატესობას მიანიჭებს, ისინი გამრავლდებიან, თავიანთ წვლილს შეიტანენ პოპულაციის გენოფონდში და ამით გავლენას მოახდენენ პოპულაციის გენეტიკურ სტრუქტურაზე. ხოლო თუ, მათი ადაპტური ღირებულება დაბალი აღმოჩნდება, ისინი პოპულაციიდან ელიმინირდებიან.

5.9. ინბრიდინგი-პოპულაციის დინამიკაზე მოქმედი ფაქტორი

ჰარდი-ვაინბერგის (პოპულაციაში ალელთა წონასწორობის) კანონის მოქმედების ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი პირობაა უსასრულოდ მრავალრიცხოვან წევრთა თავისუფალი შეჯვარება (პანმიქსია). პოპულაციაში ინდივიდთა სასრული რაოდენობის არსებობა კიდევ ერთ მნიშვნელოვან შედეგს—ინბრიდინგს იწვევს. ერთი პოპულაციის ინდივიდთა ახლონათესაური შეჯვარებას **ინბრიდინგი** ეწოდება. რადგან პოპულაცია სასრული რაოდენობის წევრებისაგან შედგება და დაყოფილია შიგაპოპულაციურ სტრუქტურებად (სუბპოპულაციებად), ამიტომ მიმდინარეობს ასორტატული ანუ შერჩევითი შეჯვარება. ადამიანთა საზოგადოებაც კი ოჯახური და ტომობრივი კავშირების, გეოგრაფიული ფაქტორების, ეროვნების, ასევე კულტურული, რელიგიური, სოციალური და ეკონომიკური ფაქტორების შედეგად ფენებადაა დაყოფილი. ერთი და იმავე ფენის წევრებს შორის ქორწინება გაცილებით მაღალი სიხშირით მიმდინარეობს, ვიდრე სხვადასხვა ფენების წევრთა შორის. ყოველივე ზემოთ აღნიშნული ასორტატული ანუ შერჩეითი შეჯვარების ალბათობას ზრდის.

ადამიანთა შორის ნათესაობა გაცილებით მაღალია, ვიდრე ეს ერთი შეხედვით შეიძლება მოგვეჩვენოს. განვიხილოთ კონკრეტული მაგალითი: თითოეულ ჩვენგანს ორი მშობელი ჰყავს, ბებია-პაპების რაოდენობა ოთხია, დიდი ბებია-პაპების – რვა და ა.შ. თუ თვალს გავადევნებთ წარსულს, თითოეულ ჩვენგანს ჰყავს 2^n წინაპარი. ბოლო 20 თაობის მანძილზე თითოეული ჩვენგანის წინაპრების რაოდენობა 2^{20}=700.000 შეადგენს. დავუშვათ, რომ ყოველ საუკუნეში ადამიანის თაობათა რაოდენობა ოთხია, მაშინ ოცი თაობისათვის ხუთი საუკუნეა საჭირო. შემდეგი მსჯელობიდან ნათელია, თუ რამდენად რეალურია აბსოლუტურად არანათესაური ქორწინებები. თუ დავუშვებთ, რომ აშშ მთელი მოსახლეობის გარკვეულ ნაწილს არა აქვს ერთმანეთთან ნათესაური კავშირი (ყოველი 20 ადამიანიდან ერთი, ხოლო წარსულში წინაპართა ნათესაურად სრულიად დამოუკიდებელი ჯგუფები ჰყავდათ), მაშინ XV საუკუნეში ქვეყნის მოსახლეობა 3 ტრილიონი უნდა ყოფილიყო. ეს რიცხვი 500-ჯერ აღემატება პლანეტის ამჟამინდელ მოსახლეობას.

პოპულაციის გენოტიპურ სტრუქტურაზე ინბრიდინგის მოქმედება განვიხილოთ ალელთა ერთნაირი სიხშირის მქონე პოპულაციაზე p=q=0,5. ასეთ პოპულაციაში გენოტიპების თანაფარდობაა: 0,25 AA: 0,50 Aa: 0,25 aa. ნულოვან თაობაში შთამომავლობის ნახევარი ჰეტეროზიგოტურია (0,50 Aa), მეორე ნახევარი – ჰომოზიგოტური (0,25 AA + 0,25 aa). თუ ამის შემდგომ გამრავლება მხოლოდ თვითგანაყოფიერებით განხორციელდება, ყოველ მომდევნო თაობაში ჰეტეროზიგოტურ დგომარეობაში მყოფი ალელების ნახევარი გადადის ჰომოზიგოტურ მდგომარეობაში. ამრიგად, ჰეტეროზიგოტების წილი ყოველ მომდევნო თაობაში ნახევრდება, რაც პრაქტიკულად იწვევს მთლიან ჰომოზიგოტიზაციას (იხ. ცხრილი 5-2). ზოგადი სახით მოსალოდნელი ჰეტეროზიგოტების რაოდენობა n თაობაში შეადგენს $2pq \times (1/2)^n$; სადაც 2pq - ჰეტეროზიგოტების ხვედრითი წილია ნულოვან თაობაში, რომლიდანაც დაიწყო თვითგანაყოფიერება. ინბრიდინგის დროს ჰომოზიგოტურ მდგომარეობაში გადადიან და ვლინდებიან რეცესიული გენები. მათ შორის

არიან ისეთებიც, რომლებიც ორგანიზმის ცხოველმყოფელობაზე მოქმედებენ და მის დაკნინებას, ე.წ. ინბრიდულ დეპრესიას იწვევენ.

ინბრიდინგი პოპულაციაში იწვევს რამდენიმე შედეგს, კერძოდ:

1.ჰომოზიგოტურობის გაზრდას; 2.რეცესიული ალელების გამოვლენას; 3.რეცესიული ალელების უარყოფითი ეფექტის დროს გამოვლინდება ე.წ.

ცხრილი 5-2. პოპულაციაში გენოტიპთა თანაფარდობა თვითთანაყოფიერებით (ინბრიდინგი) გაძრავლებისას

თაობა	გენოტიპები		
	AA	Aa	aa
0	-	1	-
1	1	2	1
2	3	2	3
3	7	2	7
4	15	2	15
5	31	2	31
10	1023	2	1023
n	2^n-1	2	2^n-1

ინბრიდული დეპრესია; 4.ჰომოზიგოტურ მდგომარეობაში მრავალი ალელის გადასვლა იწვევს ფენოტიპური ცვალებადობის ამაღლებას.

5.10.იზოლაცია როგორც ევოლუციის ელემენტარული ფაქტორი

იზოლაცია ევოლუციის მნიშვნელოვან ელემენტარულ ფაქტორს წარმოადგენს. შიდასახეობრივი იზოლაცია არის პოპულაციების ნებისმიერი ბარიერით გამიჯვნა, რომლის შედეგადაც წყდება გენთა ნაკადი. ევოლუციის პროცესში იზოლაციის მნიშვნელობა ცხადყო ჩ.დარვინმა. ოკეანური კუნძულების ფლორისა და ფაუნის შესწავლის საფუძველზე მან დაადგინა, რომ იზოლაციამ შეიძლება გამოიწვიოს მონათესავე ორგანიზმთა შორის სხვაობის გაჩენა, მათი თანდათანობითი გაღრმავება და ბოლოს ბუნებრივი გადარჩევის მოქმედებით ახალი სახეობების ფორმირება. ჩ.დარვინის ამ განზოგადებულ დასკვნას მნიშვნელობა ამჟამადაც არ დაუკარგავს.

მიკროევოლუციის პროცესში იზოლაციის როლი XX ს. 30-40-იან წლებში შეისწავლეს და განისაზღვრა მისი, როგორც ევოლუციის ელემენტარული ფაქტორის, მნიშვნელობა. როდესაც პოპულაციები ან პოპულაციის გარკვეული ნაწილი თაობათა მანძილზე (ხანგრძლივად) რჩება გამიჯნული, შეიძლება მოხდეს გენეტიკური სტრუქტურით მათი დივერგირება ან დიფერენცირება. ეს განსაკუთრებით მაშინაა შესაძლებელი, როდესაც ბუნებრივი გადარჩევა გამიჯნულ პოპულაციებზე განსხვავებული მიმართულებით მოქმედებს. ამდაგვარი პოპულაციების დიფერენცირებამ შესაძლოა ახალ სახეობათა ფორმირება გამოიწვიოს. იზოლაცია გამოიხატება პოპულაციებსა ან მათ გარკვეულ ნაწილთა შორის ამა თუ იმ სახის

ბარიერის არსებობით. ბუნებაში ბარიერთა ხასიათის შესაბამისად იზოლაციაც განსხვავებულია. გამოყოფენ იზოლაციის ორ ძირითად ფორმას: სივრცობრივსა და ბიოლოგიურს.

სივრცობრივი (ტერიტორიული) იზოლაცია გულისხმობს პოპულაციათა გამიჯვნას გეოგრაფიული ხლუდებით (მდინარე, სრუტე, ხრამი, მთები და სხვ.) იგი შეიძლება სხვადასხვა ფორმით განხორციელდეს. ხმელეთის ბინადართ მიჯნავს წყლის ბარიერი, ჰიდრობიონტებს კი-ხმელეთის ბარიერი. დაბლობის პოპულაციებს მთები, მთის პოპულაციებს კი დაბლობი და ა.შ. სივრცობრივი იზოლაცია ასევე შეიძლება ეკოლოგიური ფაქტორებით (მაგ. არახელსაყრელი ფიზიკურ-ქიმიური პირობები) ან გაუვალი ეკოცენოზებით (მაგ.ტყის მასივები, უდაბნოები და სხვ.) მოხდეს.

ვულკანური წარმოშობის (ოკეანურ) პატარა კუნძულ ოახუზე ხმელეთის ლოკოკინას გვარ Achatinella-ში გაეროიანებული 25 ენდემური სახეობაა გავრცელებული. კუნძულზე ერთიმეორისაგან გამიჯნული, ტროპიკული ტყით დაფარული 25 დაბლობია, თითოეულ მათგანზე ცალკეული სახეობა ბინადრობს. სივრცობრივი იზოლაციის არსებობა ზოგ შემთხვევაში გარკვეულ ტერიტორიაზე სახეობის ისტორიული განვითარებით შეიძლება აიხსნას. მაგალითად, ცისფერ კაჭკაჭს (Cyanopica cyana) წყვეტილი (დიზუნქციური) არეალი აქვს. იგი გვხვდება როგორც პირენეის ნახევარკუნძულზე, ასევე შორეულ აღმოსავლეთში, რაც გამყინვარებითაა გამოწვეული. ხანგრძლივი ბიოლოგიური დროის გასვლის მიუხედავად გამიჯნულ პოპულაციებში არსებითი მორფოფიზიოლოგიური ცვლილებები არ მომხდარა. ისინი ერთსა და იმავე სახეობას მიეკუთვნებიან. სივრცობრივი იზოლაციის მიზეზად რიგ შემთხვევაში ანთროპოგენური ფაქტორი გვევლინება. ტიპურ მაგალითს ევრაზიაში გავრცელებული სიასამურის (Martes zibellina) წყვეტილი არეალი წარმოადგენს. იგი XX ს. დასაწყისში ცხოველის უსისტემო რეწვამ გამოიწვია. სივრცობრივი იზოლაცია შეიძლება გამოიწვიოს როგორც გეოგრაფიული ხლუდით გამიჯვნამ, ისე სხვადასხვა მიზეზით გამოწვეულმა შორი მანძილით განსახლებამ.

სივრცობრივი იზოლაცია შეიძლება იყოს სრული ან არასრული (ფარდობითი). მაგ. საქართველოში გავრცელებული პრომეთესეული შემინდვრია (Prometheomys schaposchnicovi) სრულად იზოლირებული ოთხი პოპულაციითაა წარმოდგენილი. ორი პოპულაცია დიდ კავკასიონზე გვხვდება (მის დასავლეთ ნაწილსა და არაგვის სათავეებში), ორიც–მცირე კავკასიონზე (მესხეთისა და არსიანის ქედებზე). დიდ და მცირე კავკასიონზე გავრცელებული არჩვის (Rupicapra rupicapra) პოპულაციები არასრულადაა გამიჯნული, მათ ლიხის ქედი აკავშირებს. სივრცობრივი გამიჯვნა არ იწვევს რეპროდუქციულ იზოლაციას. თუ ინდივიდებმა ხლუდე გადალახეს, მაშინ ისინი ერთიმეორეს თავისუფლად შეეჯვარებიან. იგი ფიზიკურად მიჯნავს პოპულაციებს და აბრკოლებს გენთა ნაკადს. ამრიგად სივრცობრივი იზოლაცია ფიზიკური ხასიათისაა და არსებითად განსხვავდება ბიოლოგიური იზოლაციისაგან.

ბიოლოგიური იზოლაცია ორი ტიპის: **პრეკოპულაციური და პოსტკოპულაციური** მექანიზმით ხორციელდება. ამის გამო შეუძლებელი ხდება თავისუფალი შეჯვარება (პანმიქსია) და წყდება გენთა ნაკადი. პრეკოპულაციურ მექანიზმებში ერთიანდება იზოლაციის ყველა ის ფორმა, რომელიც ინდივიდთა შეჯვარებას აბრკოლებს. მათ მიეკუთვნება **ეკოლოგიური, მორფოფიზიოლოგიური და ეთო-**

ლოკალური იზოლაციის ფორმები. პოსტკოპულაციური იზოლაციის მექანიზმები შეჯვარებულ ინდივიდებში გენომთა შეუთავსებლობას იწვევს, მას მიეკუთვნება **საკმაოდ** **ვენეტიკური** იზოლაცია.

იზოლაციის **ძალოვანი** ფორმას სახეობის ის საარსებო პირობები განსაზღვრავს, რომელიც გამრავლების ადგილსა და ვადებთანაა დაკავშირებული. ამიტომ გამოყოფენ **სეზონურ** და **ბიოტოპურ** იზოლაციას. მონათესავე ინდივიდების შეჯვარებას აბრკოლებს სქესობრივი აქტივობისა და გამეტების მომწიფების ვადების სხვადასხვაობა. გამრავლების სეზონური გამიჯვნა მკვეთრ და სწრაფ დაცილებას იწვევს.

მცენარეებში დიდი მნიშვნელობა აქვს განვითარებისა და ვეგეტაციის პერიოდების დაცილებას (ასინქრონულობას). მათში გამოვლენილია ისეთი სახეობები, რომლებშიც გაერთიანებული ინდივიდები ყვავილობისა და მტვრის მარცვლების გავრცელების პერიოდით განსხვავდებიან. ნ.ცინგერმა ხრიალაზე (Alectorolophus major) დაკვირვებისას (1920) შენიშნა მემკვიდრეობით განსაზღვრული საადრეო და საგვიანო ფორმები. ადამიანის მიერ თაობათა მანძილზე წარმოებულმა შეუგნებელმა გადარჩევამ (გათიბვამ) ხრიალაში ფენოლოგიურად განსხვავებული ფორმების ჩამოყალიბება გამოიწვია. სეზონური იზოლაცია გამოვლენილია ცხოველებშიც. სეზონური (ე.წ. "საგაზაფხულო" და "საშემოდგომო") რასები აღწერილია სალამურაში (Lampetra), თევზებიდან ძირითადად გვხვდება ორაგულისებრთა, ზუთხისებრთა და კობრისებრთა რიგში გაერთიანებულ სახეობებში, ტოფობის ვადებით მკვეთრად განსხვავდებიან ერთსა და იმავე ტბაში ბინადარი თევზები. მაგ. ორხიდისა (იუგოსლავია) და სევანის (სომხეთი) ტბაში გავრცელებული კალმახის ენდემური სახეობები განსხვავდებიან ტოფობის პერიოდით, საქვირიოე ადგილითა და სიღრმით. იზოლაციის მსგავსი ფორმები გვხვდება მწერებშიც. მაგ. მუხის აბრეშუმხვევიას (Lasiocanpa quercus) პეპლები ჩნდებიან იელის-აგვისტოში, მისი მორფოლოგიურად მსგავსი ქვესახეობა (L.q. collunae) კი – მაის-ივნისში, ამდენად მათი შეჯვარება გამორიცხულია.

ბუნებაში გაცილებით უფრო ხშირად გვხვდება ბიოტოპური იზოლაცია. პოტენციური პარტნიორები გამრავლების პერიოდში ერთიმეორეს ვერ ხვდებიან. მაგალითად, გომბეშოს ერთი ფორმა (Bufo americanus) მრავლდება ჭაობებსა და ტბებში, მეორე (B.fewleri) კი – გუბურებსა და ნაკადულებში. ბიოტოპური იზოლაციის საინტერესო მაგალითია სიმპატრული შიდასახეობრივი ფორმების არსებობა ჩვეულებრივ გუგულში (Cuculus conorus), ევროპაში გუგულის რამდენიმე განსხვავებული ფორმა ბინადრობს, რომლებიც მხოლოდ გენეტიკურად დეტერმინირებული კვერცხის შეფერილობით განსხვავდებიან. კერძოდ, აღმოსავლეთ ევროპაში გავრცელებული გუგულის ერთი ფორმა დებს ცისფერ კვერცხს, რომელსაც ბოლოცეცხლას ან მდელოს ოვსადის ბუდეში ათავსებს, მეორე კი თეთრ დაწინწკლულ კვერცხს დებს, რომელსაც პატარა ბელურისნაირ ფრინველთა ბუდეში ათავსებს. გუგულის განსხვავებულ ფორმებს შორის იზოლაციის შენარჩუნება მასპინძელი ფრინველის მიერ ნაკლებშენიღბული კვერცხების განადგურების შედეგად ხორციელდება.

იზოლაციის **მორფოფიზიოლოგიური** ფორმა გამრავლების ორგანოების

განსხვავებული აგებულებითა და ფუნქციითაა გამოწვეული. იზოლაციის ამ ფორმის დროს მკვეთრად ქვეითდება განაყოფიერების ალბათობა, ე.ი. რეპროდუქტულ პერიოდში სასქესო პროდუქტების (გამეტების) შეხვედრის ალბათობა მეტად დაბალია. მცენარეებში ასეთ ბარიერს ქმნის ჰეტეროსტილია (ყვავილში მტვრიანების და ბუტკოს სხვადასხვა დონეზე განლაგება). იგი აბრკოლებს თვითდამტვერვას. მაგ. ჩვეულებრივ ფურისულაში (Primula vulgaris) პოპულაციები გრძელ და მოკლებუტკოიანი ყვავილების თანაფარდობით განსხვავდება (დადინგტონი, 1972). ზოგიერთი ენტომოფილური ყვავილი როული აგებულებისაა, რაც ყვავილის დამტვერავ მწერებთან შეგუებითაა გამოწვეული. მცენარეებში იზოლაციის ამავე ფორმას მიეკუთვნება გენეტიკურად დეტერმინირებული მტვრის მარცვლის განსხვავებული გაღივების უნარი და სისწრაფე. თუ დინგზე სხვა სახეობის მცენარის მტვერი მოხვდა, იგი ვერ ან ნელა ღივდება. სამტვერე მილი ნელა ყალიბდება, რომელიც ხშირად წყვეტს განვითარებას. ყოველივე ზემოთ აღნიშნული აბრკოლებს გამეტების შეხვედრას.

ცხოველებში მონათესავე სახეობებს ზოგიერთ შემთხვევაში განსხვავებული აგებულების საკოპულაციო ორგანოები აქვთ, რის გამოც შეუძლებელი ხდება განაყოფიერება. იგი აღწერილია ზოგიერთ ფილტვიან მოლუსკებში, მწერებსა და მღრნელებში. მაგ. სასქესო ორგანოების განსხვავებული აგებულების გამო ვერ შეჯვარდებიან ერთსა და იმავე ბიოტოპში გავრცელებული მოლუსკები Cepaea nemoralis და C.hortensis. ზოგჯერ ახლომდგომ სახეობებში კოპულაცია ნორმალურად მიმდინარეობს. მაგრამ იმუნური შეუთავსებლობის გამო მდედრის სასქესო გზებში სპერმატოზოიდები იღუპებიან. ეს შემთხვევა აღწერილია Drosophila-ს გვარში გაერთიანებულ სახეობებში.

იზოლაციის **ეთოლოგიური** ფორმა ქცევის თავისებურებათა განსხვავების მეშვეობით უზრუნველყოფს მონათესავე ფორმების გამიჯვნას. ბუნებრივია, იზოლაციის ეს სახე გვხვდება მხოლოდ იმ ცხოველებში, რომელთაც კარგად აქვთ განვითარებული ნერვული სისტემა (მაგ. მწერები, ოვეზები, მყვარები ანუ ამფიბიები, რეპტილიები, ძუძუმწოვრები). მრავალ მათგანს აქვთ სპეციფიკური ნიშნები (მეორადი სასქესო ნიშნები), რითაც მონათესავე ფორმები ადვილად პოულობენ ერთიმეორეს, ასევე ასხვავებენ სხვა სახეობის ინდივიდებს. ახლომდგომი ცხოველები სპეციფიკური სიგნალებით ადვილად ცნობენ და უკავშირდებიან ერთიმეორეს. ასეთი სიგნალები სხვადასხვა გამღიზიანებლებია (მაგ. მხედველობითი, სმენითი, ყნოსვითი და სხვ.). ეთოლოგიური იზოლაციის ნაირგვარი მექანიზმებია გამოელენილი. მაგ. საქორწინო რიტუალში, ასევე მხედველობით, სმენით გაღიზიანებაში უმნიშვნელო ცვლილება ინდივიდების შეხვედრის ალბათობას მკვეთრად აქვეითებს. ცხოველები გამოყოფენ სპეციფიკურ ნივთიერებებს-ფერომონებს, რომელიც შორ მანძილზე ვრცელდება. გენეტიკურად ახლომდგომი ინდივიდები ადვილად პოულობენ ერთიმეორეს და შეჯვარდებიან. საკმარისია შეიცვალოს ფერომონის ქიმიური შედგენილობა, რომ ინდივიდებს შორის ჩნდება ბარიერი. მაგ. გარეული იხვი (Anas crecco) და ბოლოსადგისა (A.acuta) ერთსა და იმავე ბიოტოპში ბინადრობენ, მაგრამ ბუნებაში ძალიან იშვიათად შეჯვარდებიან, ეოლიერებში კი შეჯვარდებიან და მათი შთამომავლობა ფერტილურია.

ჩრდილოეთ ამერიკაში გავრცელებული ციცინათელების გვარში (Photurus)

გაერთიანებულია გენეტიკურად ახლომდგომი სახეობები და ზოგჯერ ერთი სახეობის პოპულაციებიც კი ნაოების ხანგრძლივობით, სიხშირით და ინტენსიურობით განსხვავდებიან.

საიზოლაციო მექანიზმების მეორე ჯგუფი (ე.წ. პოსტკოპულაციური) შეჯვარების შემდეგ მოქმედებენ და იწვევენ გამოჯვნას. მას **საბოლოო ვერიფიკაცია** იზოლაცია მიეკუთვნება. აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ ზემოთ განხილული პრეკოპულაციური მექანიზმები გენეტიკური ფაქტორების მოქმედებითაა გამოწვეული. მაგრამ საჭიროა გამოიყოს საკუთრივ გენეტიკური ფაქტორები. მათ მიეკუთვნება: 1.პოლიპლოიდია; 2.ქრომოსომული აბერაციები; 3.ბიროვულ-ციტოპლაზმური შეუთავსებლობა; 4.მუტაციის შედეგად გამოწვეული ცალკეული გენის ექსპრესიის შეუთავსებლობა.

გენეტიკური საიზოლაციო მექანიზმების მოქმედებით იღუპება ჰიბრიდები ან ონტოგენეზის ადრეულ ეტაპზე ჩანასახები. მართალია, ზოგჯერ ახლომდგომი სახეობების შეჯვარებით წარმოქმნილი ჰიბრიდები სიცოცხლისუნარიანნი არიან, მაგრამ მათში ნაყოფიერება მკვეთრადაა დაქვეითებული, მეტწილად სტერილურები არიან. ისინი საწყის ფორმებს კონკურენციას ვერ უწევენ და ელიმინირდებიან. ამრიგად, როგორც გენეტიკური, ისე ბიოლოგიური იზოლაციის სხვა ფორმები ამაღლებენ მონათესავე ინდივიდების შეჯვარების ალბათობას, რის გამოც მკვეთრად ადიდებენ ინბრიდინგს პოპულაციაში.

იზოლაცია შემთხვევით, არამიმართულ და განუზღვრელი მოქმედების ფაქტორს წარმოადგენს. იგი, როგორც ევოლუციის ფაქტორი, არ წარმოქმნის ახალ გენოტიპებსა და შიდასახეობრივ ფორმებს. ევოლუციის პროცესში იზოლაციის მნიშვნელობა იმაში მდგომარეობს, რომ იგი გენეტიკური დიფერენცირების საწყის სტადიებს განამტკიცებს, აღრმავებს და აძლიერებს. აგრეთვე, იზოლირებულ პოპულაციებსა ან პოპულაციის შემადგენელ ნაწილზე გარდაუვალია ბუნებრივი გადარჩევის განსხვავებული ზეწოლა. იზოლაცია დივერგირებულ ფორმებში ჩამოყალიბებულ სპეციფიკური გენოფონდის შენარჩუნებას აპირობებს. ხანგრძლივი მოქმედება-იზოლაციის, როგორც ევოლუციის ელემენტარული ფაქტორის, მთავარი დამახასიათებელი ნიშანია. იზოლაციის შეშვეობით საწყისი ერთიანი პოპულაცია ორ ან მეტ შემადგენელ ნაწილად იყოფა. ინდივიდთა თითოეული ჯგუფი ხანგრძლივი დროით გამოჯვნული რჩება. ამრიგად, ევოლუციის პროცესის ნებისმიერი ხანგრძლივი ეტაპი იზოლაციის მოქმედებით მიმდინარეობს.

ბიოლოგიური იზოლაციის ყველა მექანიზმი ევოლუციის შედეგია და იგი ჩამოყალიბდა როგორც ადაპტური თვისება, რომელიც სახეობის მდგრადობას უზრუნველყოფს. ამიტომაც იზოლაციის ეკოლოგიურ, მორფოფიზიოლოგიურ და გენეტიკურ ფორმას განიხილავენ როგორც სახეობის ძირითად კრიტერიუმს.

5.11. ბუნებრივი გადარჩევა–მოლეკულების მთავარი და წარმმართველი ფაქტორი

ბუნებრივი გადარჩევის წინაპირობები

როგორც აღვნიშნეთ, ევოლუციის ელემენტარული ფაქტორებია: გენთა ნაკადი, მუტაციური პროცესი, გენთა დრეიფი და იზოლაცია არამიმართული, სტოქასტური და განუსაზღვრელი მოქმედებისაა. ევოლუცია ქაოსური როდია, არამედ შეუქცევადი და მიმართული პროცესია, რომლისთვისაც ნიშანდობლივია ახალი ადაპტაციების ფორმირება, ახალ სახეობათა წარმოქმნა და ზოგიერთის ამოწყდომა, ტაქსონების იერარქიული სისტემის წარმოქმნა, ორგანული ბუნების პროგრესული განვითარება. ცნობილია მხოლოდ ერთადერთი მიმართული ფაქტორი — ბუნებრივი გადარჩევა, რომელიც აწესრიგებს და წარმართავს ევოლუციურ პროცესს.

ბუნებრივი გადარჩევის ხელშემწყობი პირობაა: 1.პოპულაციის გენეტიკური ჰეტეროგენულობა; 2.გამრავალების პროგრესია; 3.ბრძოლა არსებობისათვის.

პოპულაციის ჰეტეროგენულობა.

გენეტიკური ჰეტეროგენულობა პოპულაციის ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი თავისებურებაა. პოპულაციათა გენეტიკური შესწავლით გაირკვა მნიშვნელოვანი მოვლენა, კერძოდ, ის რომ ბუნერივი პოპულაციები ფარული მემკვიდრული ცვალებებით (მუტაციებით) ყოფილა გაჯერებული. პოპულაციის ყოველი ინდივიდის გენოტიპი ჰეტეროზიგოტულ მდგომარეობაში შეიცავს, როგორც ახლად ინდუცირებულ, ისე ადრე წარმოქმნილ და მემკვიდრეობით გადმოცემულ მუტაციებს. ჰეტეროგენულობა მუტაციური პროცესის განუწყვეტელი მოქმედებით და რეკომბინაციით შენარჩუნდება. სხვადასხვა მეთოდებით დადგენილია ცილებისა და მათი განმსაზღვრელი ლოკუსების მაღალი პოლიმორფულობა. გამოირკვა, რომ მრავალი ლოკუსი პოპულაციაში ორზე მეტი ალელითაა (ე.წ. პოლიალელური ლოკუსები) წარმოდგენილი. ცენარეებისა და ცხოველების მრავალრიცხოვან სახეობებში ჩატარებული გამოკვლევებით მათში განისაზღვრა საშუალო ჰეტეროგენულობის დონე. გამოირკვა, რომ ინდივიდში ლოკუსთა საერთო რაოდენობიდან 15-53% პოლიალელურია, ხოლო 4-15% ჰეტეროზიგოტური. დადგენილია, რომ ასევე მაღალი ჰეტეროგენულობა ახასიათებთ პართენოგენეზულ პოპულაციებს (მაგ. ზოგიერთი პეპელა, ხოჭო, ტარაკანი და სხვ.) და თითქმის არ განსხვავდებიან ტიპური სქესობრივი გამრავლების უნარიანი (პანმიქტური) პოპულაციებისაგან. ჰეტეროგენულობით უზრუნველყოფილია მემკვიდრული ცვალებადობის "სამობილიზაციო რეზერვის არსებობა". იგი ბუნებრივი გადარჩევის მოქმედების ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი ხელშემწყობი პირობათაგანია (იხ.5.4).

გამრავლების პროგრესია.

ბუნებრივი გადარჩევის მეორე აუცილებელ წინაპირობას გამრავლების პროგრესია წარმოადგენს. ბუნებრივი გადარჩევა მხოლოდ იმ შემთხვევაშია შესაძლებელი, როდესაც მშობლების მიერ პროდუცირებული ინდივიდები მათი შეცვლისათვის საჭირო რაოდენობას აღემატება. თუ პოპულაციის თითოეული წყვილი მხოლოდ ორ ზრდასრულ ინდივიდს დატოვებს, მაშინ ბუნებრივი გადარჩევის გზით ევოლუცია ვერ

ცხრილი 5-3.სეზონის განმავლობაში ერთი ინდივიდის რეპროდუქციის რიცხოვნობა

სახეობა	ლათინური სახელწოდება	შთამომავალთა რაოდენობა
ადამიანი	Homo sapiens	1
ძაღლი	Canis familaris	7 (1–22)
მგელი	Canis lupus	3 – 10
შოშია	Sturnus vulgaris	5 – 8 კვერცხი
ჩვეულებრივი ანკარა	Natrix natrix	15 – 30 კვერცხი
გიურზა	Vipera lebetina	15 – 20 კვერცხი
სამეფო კობრა	Ophiphagus hannah	20 – 40 კვერცხი
ჩვეულებრივი გომბეშო	Bufo bufo	1200 – 7000 ქვირითი
ტბის ბაყაყი	Rana ridibunda	5000 – 10000 ქვირითი
ბაყაყი – ხარი	Rana catesbiana	6000 – 20000 ქვირითი
ვირთევზა	Cadus morhua	2,5 – 10 მილიონი ქვირითი
კალმახი	Salmo truta	200 – 6000 ქვირითი
ადამიანის ასკარიდა	Ascaris lumbricoides	200000 კვერცხი 24 სთ-ში
ოთახის ბუზი	Musca domestica	600 – 2000 კვერცხი
ხილის ბუზი	Drosophila melanogaster	100 კვერცხი
ლენცოფა	Hyascyanus niger	~446500 თესლი
წიწაკტურა	Capsella bursa-pestoris	~73000 თესლი
ძინძურას ნარი	Cirsium arvence	~35000 თესლი
ბაბუაწვერა	Taraxacum officinale	~100000 თესლი
ხაშხაში	Papaver somniterum	~30000 თესლი

განხორციელდება.

ორგანულ სამყაროში ხდება გამრავლების პროგრესია. ყოველი ორგანიზმი შთამომავლობის მოცემის დიდი უნარით გამოირჩევა (იხ. ცხრილი 5-3). იგი ყოველ სახეობაში ინდივიდთა ჭარბ რაოდენობას წარმოქმნის. ინდივიდები გაცილებით დიდი რაოდენობით ჩნდებიან, ხოლო ზრდასრულ ფორმას უმნიშვნელო რაოდენობა თუ აღწევს. ინდივიდების გეომეტრიული პროგრესიით გამრავლების უნარიანობას მრავალმა მეცნიერმა (უ.სენტ-ილერი, კ.ლინე, თ.მალთუსი ...) მიაქცია ყურადღება. მათ გამოაელინეს საგულისხმო ფაქტი, რომ ყოველ სახეობას ჰქონია უნარი გამრავლების პოტენციური შესაძლებლობის რეალიზაციის შემთხვევაში უმოკლეს დროში განსახლდეს და დედამიწის ზედაპირი დაფაროს. ჩ.დარვინამდე ვერავინ შეძლო ამ მოვლენის არსს ჩასწვდომოდა. მან განსაზღვრა გამრავლების პროგრესიის მნიშვნელობა ევოლუციის პროცესში, რაც არსებობისათვის ბრძოლის წინა პირობაა.

ცხრილი 5-3-დან ჩანს, რომ ინდივიდები გამრავლების დიდი უნარით გამოირჩევიან. ერთი ქაშაყი ყოველწლიურად 40 ათასამდე ქვირითის ყრის, ვირთევზა 10 მილიონამდე, ხოლო ტბის ბაყაყი 10 ათასამდე. წყვილ ბეღურას 10 წლის მანძილზე 200 მილიარდი ინდივიდის მოცემა შეუძლია. გამრავლების პროგრესიის დასახასიათებლად პირობით (ჰიპოთეზურ) მაჩვენებელს-**ბიოტიკურ პოტენციალს** იყენებენ,

10,000,000

რითაც გამოხატავენ თუ ინდივიდს შეუხღუდველი გამრავლების შემთხვევაში დროის რა მონაკვეთში შეუძლია თანაბარი ზრიო დაფაროს დედამიწა. ბაბუაწვერას ეროი მცენარე შეორე წელს 100 ინდივიდს წარმოქმნის. 5 წლის განმავლობაში 10^7-ს, 10 წლის განმავლობაში კი-10^7-ს. 10 წლის განმავლობაში მას შეუძლია დედამიწის ზედაპირი 20 სმ-ის სისქის ფენით დაფაროს. ჩაშჩაშს კი ჩვენი პლანეტის ზედაპირის დაფარვა 3-4 წლის განმავლობაში შეუძლია. გაცილებით მაღალი გამრავლების უნარი ახასიათებს მიკროორგანიზმებს. მაგალითად, ფიშერის ბაქტერიას 1,5 დღე-ღამის განმავლობაში შეუძლია დედამიწის ზედაპირის ფართობი ოხელი ზრიო დაფაროს. გამრავლების პროგრესია ორ მნიშვნელოვან შედეგს იწვევს:

1.იქმნება ერთგვარი "სიცოცხლის ზეწოლა", რაც არსებობისათვის ბრძოლის საფუძველია; 2.მიიღება მემკვიდრული ცვალებადობის ფართო სპექტრი, რომელიც მასალაა ბუნებრივი გადარჩევისათვის.

ბრძოლა არსებობისათვის.

ორგანიზმის აქტივობას, მიმართულს სიცოცხლის შესანარჩუნებლად და შთამომავლობის არსებობის უზრუნველსაყოფად, არსებობისათვის ბრძოლა ეწოდება. არსებობისათვის ბრძოლას საფუძვლად უდევს ორგანიზმთა ტენდენცია განუსაზღვრელი გამრავლებისაკენ და გარემოს ბიოტური და აბიოტური ფაქტორების წინააღმდეგობა ამ გამრავლებისადმი. როგორც უკვე აღინიშნა, ორგანიზმები გამრავლების დიდი უნარით გამოირჩევიან, მაგრამ მათი არსებობისათვის აუცილებელი პირობები (ტერიტორია, საკვები, წყალი და მისთ.) შეზღუდულია. ამდენად იქმნება შეუსაბამობა ინდივიდთა რაოდენობასა და საარსებო პირობებს შორის, რომელიც არსებობისათვის ბრძოლას უზრუნველყოფს. ბუნებაში გამრავლების პოტენციური შესაძლებლობის სრული რეალიზაცია შეუძლებელია. ყველა გაჩენილ ინდივიდს სრული ასაკისათვის რომ მიეღწია, მაშინ მათთვის საარსებო პირობები აღარ იქნებოდა. ამრიგად, ორგანიზმებს შორის ყოველთვის მიმდინარეობს ბიოლოგიური შეჯიბრი ანუ კონკურენცია საარსებო პირობების მოსაპოვებლად. მეორე მხრივ, ორგანიზმები წინააღმდეგობას უწევენ გარემოს ბიოტური (მტრები, პარაზიტები და სხვ.) და აბიოტური (ტემპერატურის ცვალებადობა, ჟანგბადის, წყლის, სინათლის ნაკლებობა ან სიჭარბე და მისთ.) ფაქტორების მავნე ზემოქმედებას, ორგანიზმებისა და გარემო ფაქტორების ყველა ურთიერთმიმართება ჩ.დარვინმა გააერთიანა კრებსითი ცნებით-ბრძოლა არსებობისათვის, როგორც კლასიკური დარვინიზმში, ისე სინთეზურ ევოლუციურ თეორიაში ცნება-არსებობისათვის ბრძოლა მეტაფორული გაგებით იხმარება.

ადამიანი თუ იმ სახეობის პოპულაცია დამოუკიდებლად და განმხოლოებულად როდი არსებობს, იგი ბიოცენოზის შემადგენელი კომპონენტია. მისი წარმატებული არსებობა დიდად არის დამოკიდებული იმაზე, თუ როგორ ურთიერთობას დაამყარებს მოცემული პოპულაცია სხვა სახეობის პოპულაციებთან. ამ რთული ურთიერთდამოკიდებულების ფორმირება აბიოტური ფაქტორების მოქმედების ფონზე მიმდინარეობს. ამდენად, ორგანულ სამყაროში არსებობისათვის ბრძოლის სახეები შეტად მრავალფეროვანია, გამოყოფენ შემდეგ ძირითად ფორმებს: **შიგასახეობრივს, სახეობათაშორისს და კონსტიტუციურს.**

შიდასახეობრივი ბრძოლა არსებობისათვის მიმდინარეობს ერთი და იმავე სახეობის ინდივიდებს შორის და განსაკუთრებული სიმძაფრით გამოირჩევა. ბრძოლის ეს ფორმა იშვიათადაა პირდაპირი ხასიათის. მეტწილად იგი ვლინდება საკუთარი სიცოცხლის დაცვისა და შთამომავლობის უზრუნველყოფისათვის უფრო ეფექტურ საშუალებათა გამომუშავებაში, რაც უპირატესობას ანიჭებს მას სხვა ინდივიდებთან კონკურენციაში, მტრებისა და გარემოს არახელსაყრელ პირობებისადმი წინააღმდეგობის გაწევისას. პოპულაციის შემადგენელ ინდივიდებს შორის ურთიერთდამოკიდებულება სხვადასხვა პერიოდსა და გარემოსთან მიმართებით შესაძლებელია იყოს ნეიტრალური, კონკურენტული ან შესაძლებელია გამოვლინდეს ურთიერთდახმარების ფაქტები. მაგალითად, როდესაც საკვებ არეში დაბალია დროზოფილას ლარვების სიმჭიდროვე, ისინი ერთმანეთს ეხმარებიან, რათა თავიდან აიცილონ საკვების გამოშრობა და მასზე ობის სოკოს განვითარება. საშუალო სიმჭიდროვის დროს ლარვებს შორის დამოკიდებულება ნეიტრალურია, მაღალი სიმჭიდროვის დროს კი მძაფრი კონკურენცია აღინიშნება.

სახეობათაშორისი ბრძოლა არსებობისათვის მეტწილად პირდაპირი ხასიათისაა. მაგ. ურთიერთობა მტაცებელსა და მსხვერპლს შორის, ასევე პარაზიტსა და მასპინძელს შორის. ზოგჯერ ეს ბრძოლა არაპირდაპირი ხასიათისაა, რაც კონკურენციის სახით ვლინდება.

კონსტიტუციური ბრძოლა არსებობისათვის გამოიხატება თავდაცვითი ფიზიოლოგიური რეაქციებით მავნე აბიოტურ ფაქტორებზე (გვალვა, სიცივე, მარილიანობა ....). მაგ. სიცივეში ხშირია ბეწვის განვითარება, ზამთარში ან ზაფხულის გვალვებისას – ძილქუში, ანაბიოზში გადასვლა და მისთ. ცხოველებში იგი ვლინდება აგრეთვე ქცევითი აქტებით, როგორიცაა სოროში ჩაძრომა, ინცისტირება, ნაადაგში ჩამალვა, საბინადრო ადგილის შეცვლა და სხვ. ხაზგასმით უნდა აღინიშნოს, რომ ბრძოლა არსებობისათვის მოიცავს არა მარტო კონკურენტულ ურთიერთობებს, არამედ ორგანიზმთა უროიერთმიმართებათა სხვა ფორმებსაც (მაგ. კოოპერაცია, ურთიერთდახმარება და სხვ.), რაც მიმართულია სიცოცხლის შენარჩუნებისა და შთამომავლობის დაცვისაკენ.

საარსებო პირობების ნაკლებობის ან მავნე აბიოტური ფაქტორების ზემოქმედების გამო არსებობისათვის ბრძოლის სამივე ფორმას თან სდევს ორგანიზმთა მეტნაკლები ნაწილის ელიმინაცია (მოსპობა) და ინდივიდებს შორის აქტიური ან პასიური კონკურენცია (შეჯიბრი).

ინდივიდებს შორის აქტიური კონკურენცია შედარებით იშვიათია (მაგ. დამოკიდებულება მტაცებელსა და მსხვერპლს შორის, საკვების ან ბუდის წართმევა და მისთ.). კონკურენცია მეტწილად პასიური (ფარული) ხასიათისაა. იგი ნაკლებ შესამჩნევია და რთული ურთიერთდამოკიდებულებით ხორციელდება. იგულისხმება ეროი ფორმის მიერ მეორის თანდათანობით დათრგუნვა, ტერიტორიიდან გაძევება და სხვ.

ელიმინაციას შეიძლება ჰქონდეს საერთო, ჯგუფური, ოჯახური ან ინდივიდუალური ხასიათი. საერთო ელიმინაციის დროს აღინიშნება ინდივიდთა სრული განადგურება რაღაც სტიქიური მიზეზით (გვალვა, ქინება, წყალდიდობა და მისთ.). იგი შემთხვევითი ხასიათისაა. ელიმინაციის დანარჩენი ფორმები (ინდივიდუალური, ჯგუფური, ოჯახური) ვლინდება კონკურენციის პროცესში. იმის გამო, რომ

პოპულაციაში დიდი გენეტიკური ნაირგვარობა იჩენს თავს, ელიმინაციას შერჩევითი ხასიათი აქვს. ბუნებრივია, ზრდასრულობის მიღწევაც შერჩევითია, რაც საფუძვლად უდევს ბუნებრივ გადარჩევას: არსებობისათვის ბრძოლას ჩ.დარვინი განიხილავდა როგორც ბუნებრივი გადარჩევის წინაპირობას.

✕ ბუნებრივი გადარჩევა და მისი ძირითადი ფორმები

ბუნებრივი გადარჩევის არსი.

ბუნებრივი გადარჩევა ევოლუციის მთავარი მამოძრავებელი ფაქტორია. მოძღვრება ბუნებრივი გადარჩევის შესახებ ევოლუციის სინთეზური თეორიის ქვაკუთხედს წარმოადგენს. როგორც აღინიშნა, ბუნებრივი გადარჩევის თეორია ჩამოაყალიბა ჩ.დარვინმა (1837-58). მისი არსებობა დარვინისაგან დამოუკიდებლად დაადგინა ა.უელესმა (1858). ჩ.დარვინის განმარტებით ბუნებრივი გადარჩევა არის სასარგებლო ინდივიდუალურ განსხვავებათა ან ცვლილებათა მქონე ინდივიდების შენარჩუნება და საზიანოთა მოსპობა. დარვინის მიხედვით ბუნებრივი გადარჩევა არსებობისათვის ბრძოლის შედეგია.

მუტაციური და კომბინაციური ცვალებადობის შედეგად ნებისმიერი პოპულაცია ჰეტეროგენულია. მუტაციური ცვალებადობა იძლევა მასალას ბუნებრივი გადარჩევისათვის. პოპულაციაში ინდივიდთა ჰეტეროგენულობა და გაშრავლების პროგრესია განაპირობებს სასიცოცხლო საშუალებათა (საკვები, თავშესაფარი და მისთ.) ნაკლებობას და წარმოადგენს არსებობისათვის ბრძოლის წანამძღვარს, რომლის დროსაც პოპულაციის შემადგენელ ინდივიდთა ეროი ნაწილი იღუპება (ან ვერ ტოვებს შთამომავლობას), ნაწილი კი გადარჩება. მეტწილად იღუპებიან საზიანო ვარიაციის მქონე ინდივიდები, ხოლო გადარჩებიან სასარგებლო ვარიაციის მქონენი. ე.ი. ადგილი აქვს **დიფერენციალურ სიკვდილიანობას.** გადარჩენილი ინდივიდები ნიშან-თვისებებს გადასცემენ შთამომავლობას. ყოველ მომდევნო თაობაში სასარგებლო ვარიაციების წილი გაცილებით მეტი იქნება, ვიდრე წინა თაობაში იყო. ამ პროცესის მრავალჯერადი განმეორება თაობათა მანძილზე (ბიოლოგიურ დროში) იწვევს საზიანო ვარიაციათა მქონე ინდივიდების ელიმინაციას, ხოლო სასარგებლო ვარიაციათა მქონე ფორმების გადარჩენას, რაც უზრუნველყოფს არსებობისათვის ბრძოლაში გამარჯვებას.

ერთი და იგივე პოპულაციის ინდივიდები განსხვავებული რაოდენობით იძლევიან შთამომავლობას. დავუშვათ, რომ ერთსა და იმავე საარსებო პირობებში გავრცელებული ინდივიდები მხოლოდ ამ ნიშნით განსხვავდებიან. მშობელთა რომელი წყვილის შთამომავალი მიაღწევს რეპროდუქციულ ასაკს? ბუნებრივია, მშობელთა იმ წყვილის, რომელიც შედარებით მეტ შთამომავლობას იძლევა, რადგანაც მეტია ალბათობა, რომ რომელიმე მათგანი ზრდასრულ ასაკს მიაღწევს და შთამომავლობას დატოვებს. ამ პროცესს **დიფერენციალური გამრავლება** ეწოდება. ამრიგად, ბუნებრივი გადარჩევის პროცესში მთავარია ინდივიდთა დიფერენციალური სიკვდილიანობა და დიფერენციალური გამრავლება და არა ინდივიდთა გაჩენა ან დაღუპვა. ევოლუციაში პოპულაციის გენეტიკური სტრუქტურის (გენოფონდის) ფორმირებაში მთავარი როლი ენიჭება ინდივიდის გენოტიპს. გენოფონდში იმ ინდივიდს შეაქვს მეტი წვლილი, რომელიც დიდი რაოდენობით ტოვებს რეპროდუქციული უნარის მქონე

შთამომავლობას. გამრავლების გარეშე რაგინდ დიდჩანს უნდა იარსებოს ინდივიდმა, იგი არავითარ როლს არ ასრულებს გენოფონდის ფორმირებაში. იგივე ითქმის იმ ინდივიდებზე, როშლებიც რეპროდუქციულ ასაკამდე დაიღუპნენ. ამრიგად, მათი წვლილი პოპულაციის გენეტიკური სტრუქტურის ფორმირებაში ნულის ტოლია. გარემოს მალიმიტირებელი ფაქტორებისა და პოპულაციის რიცხოვნობის ეროდროული მოქმედება ბუნებრივი გადარჩევის ჩვეულებრივ ფაქტორს წარმოადგენს. მისი მოქმედებით ამა თუ იმ ალელის გავრცელება პოპულაციაში დიდდება ან იხლუდება. გენოფონდში ალელის სიხშირის ცვლილებამ შეიძლება ევოლუციური ცვლილება გამოიწვიოს. პოპულაციაში გარკვეული ალელების ან გენთა კომპლექსის წარმატებული გავრცელება და გამყარება ელემენტარულ ევოლუციურ მოვლენას იწვევს. იგი ნებისმიერი ევოლუციური პროცესის საფუძველს წარმოადგენს.

ბუნებრივი გადარჩევის გენეტიკურ–ევოლუციური არსი იმით გამოიხატება, რომ პოპულაციაში დიფერენცირებულად (არაშემთხვევითად) ინახება გარკვეული გენოტიპები, ასევე მომდევნო თაობას გენები შერჩევით გადაეცემა. ამრიგად, ბუნებრივი გადარჩევა არის უკეთ შეფასებული ინდივიდების გადარჩენა და შემასრულებლობის დატოვება ერთ კონკრეტულ საარსებო გარემოში; გარემოსული ფენოტიპების შერჩევითი შენარჩუნება და მოძღვრული თაობებისათვის გადაცემა.

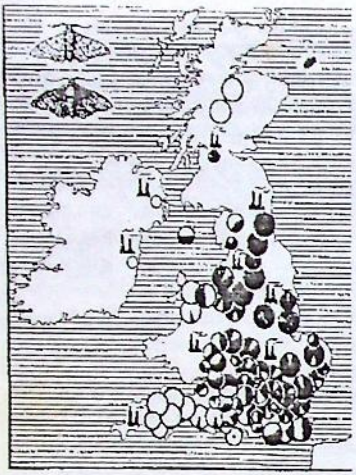
ბუნებრივი გადარჩევის ობიექტია როგორც ცალკეული ინდივიდი, ისე ინდივიდთა ერთობლიობები როგორიცაა ოჯახი, პოპულაცია, პოპულაციათა ჯგუფები, სახეობები და ბოლოს მთლიანად თანასაზოგადოება. შესაბამისად ასხვავებენ ინდივიდურ და ჯგუფურ გადარჩევას, მაგრამ ინდივიდების გადარჩევა მხოლოდ პოპულაციის ფარგალში მიმდინარეობს. პოპულაცია წარმოადგენს ბუნებრივი გადარჩევის არეს, ხოლო ცალკეული ინდივიდი ბუნებრივი გადარჩევის ელემენტარულ ერთეულს.

ბუნებრივი გადარჩევის ობიექტია არა ცალკეული გენები, არამედ მათი ერთობლიობა–გენოტიპი. ამ უკანასკნელის რეალიზაცია ინდივიდური განვითარების პროცესში ხდება. ისინი განსჭვალებიან ადაპტაციური ღირებულებებით. ბუნებრივ გადარჩევას ექვემდებარება ინდივიდის ნებისმიერი ნიშან-თვისება. ძისი მოქმედების სფეროს ფენოტიპი წარმოადგენს. გენოტიპების გადარჩევა ფენოტიპების მეშვეობით ხორციელდება.

ბუნებრივი გადარჩევის დამადასტურებელი არგუმენტები

XIX საუკუნის ბოლოს და XX ს-ში მრავალი ექსპერიმენტული გამოკვლევა ჩატარდა ჩ. დარვინისა და ა. უოლესის მიერ მოწოდებული ბუნებრივი გადარჩევის ჰიპოთეზის დასასაბუთებლად. თვალსაჩინო არგუმენტები მხოლოდ XX ს-ის შუა პერიოდში იქნა მოპოვებული. კერძოდ, დასაბუთდა, რომ ბუნებრივი გადარჩევა მთავარი და ერთადერთი მიმართული ევოლუციური ფაქტორია, რომელიც გადამწყვეტ როლს ასრულებს ორგანული სამყაროს ისტორიულ განვითარებაში. ყოველივე ზემოთ აღნიშნულმა განაპირობა ამ ჰიპოთეზის ბუნებრივი გადარჩევის თეორიად ჩამოყალიბება.

კლასიკური მაგალითია ინდუსტრიული მელანიზმის მოვლენა. XIX-XX სს. განვითარებულ ინდუსტრიულ რაიონებში ქარხნების გამონაბოლქვმა ვარემოს დაბინძურება გამოიწვია. მცენარეული საფარი გაიჭვარტლა. ასეთ რაიონებში წარმო-



სურ.5.1.არეის ხის მზომელას პეპლების განსხვავებული მორფების გავრცელება ინგლისში

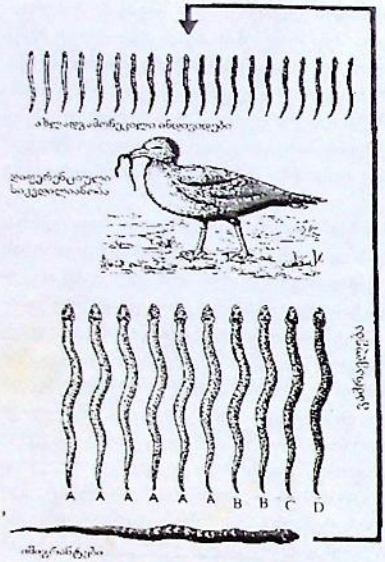
იქმნენ მუქი შეფერილობის მწერები. მათ პოპულაციიდან განდევნეს ღია ფორმები. დ ევროპაში პეპლების 80-ზე მეტ სახეობას შეფერილობა შეეცვალა. მათი შემადგენელი პოპულაციები ძირითადად მუქი შეფერილობისაა. ეს მოვლენა კარგადაა შესწავლილი არეის ხის მზომელას პეპლებში (Biston betularia) (სურ.5.1). ბირმინგემის მიდამოებში მუქი შეფერილობის პეპელა (მელანისტური ფორმა) პირველად 1848 წელს ნახეს, 1953 წელს კი მთელი პოპულაციის 90% მუქი შეფერილობის ინდივიდებისაგან შედგებოდა. საწყისი შეფერილობის პეპლებს აქვთ ღია მონაცრისფრო-კრემისფერი, შავ წინწკლებიანი ფრთები (forma tipica). ისინი ღამის პეპლებია, დღისით უძრავად სხედან არეის ხის ქერქზე. მათი შეფერილობა ეხამება არეის ხეზე არსებულ მღიერებს. ბუნებაში გვხვდება მუქი რუხი (f. insularia) და მურა –შავ (f.carbonaria) ფრთებიანი ინდივიდები. ჩატარებული გენეტიკური ანალიზით დადგინდა, რომ მურა–შავი შეფერილობის განმსაზღვრელი ალელი (C^c) დომინირებს მუქ ნაცრისფერისაზე (C^i), ორივე მათგანი კი ღია შეფერილობისაზე (c). ე.ი. $C^c > C^i > c$. ასი წლის განმავლობაში ბირმინგემის მიდამოებში საწარმოო ნარჩენებით ტყეები იმდენად შეიჭვარტლა, რომ არეის ხეზე მღიერები მოისპო, ხოლო ქერქი შავი შეფერილობის გახდა. ამ ფონზე მუქ ფორმებს მფარველობითი შეფერილობა აღენიშნათ. ისინი ნაკლებ შესამჩნევნი არიან. ბუნებრივი გადარჩევა ფრინველთა მეშვეობით ხდება: ადვილად ამჩნევენ და ჭამენ ღია შეფერილობის პეპლებს. არასამრეწველო რაიონებში საპირისპირო მოვლენას შეინიშნება. ინგლისის ძლიერ დაბინძურებულ რაიონებში გვხვდება carbonaria, შედარებით ნაკლებ დაბინძურებულში– insularia, ხოლო არაინდუსტრიულ რაიონებში, სადაც ტყეები დაუბინძურებელია–tipica.

ბ.ქეთლუელმა (1958) შეისწავლა გადარჩევის გავლენა პეპლების მელანისტური ფორმების გავრცელებაზე. მან ბირმინგემის მახლობლად ძლიერ გაჭვარტლულ ტყეში გაუშვა ხაღებაითო მონიშნული სამივე ფორმის პეპლები, შემდეგ მათ

სატყუარაოი იჭერდა პეპლებს და აღრიცხავდა გადარჩენილი ინდივიდების რაოდენობას. გამოირკვა, რომ ფრინველები ღია შეფერილობის პეპლებს ორჯერ მეტს ანადგურებდნენ, ვიდრე მუქ ფორმებს. ანალოგიური ცდა მან ჩაატარა დორსეტში, სადაც ტყეები გაჭვარტლული არაა. არყის ხის თეორ ფონზე ფრინველები აღვილად ამჩნევდნენ მუქ პეპლებს და ისინი ორჯერ მეტი ნადგურდებოდა, ვიდრე ღია ფორმები. მას შემდეგ, რაც გარემოს დაცვას გაჭუჭყიანებისაგან დიდი ყურადღება მიექცა, კერძოდ ქვანახშირის გამოყენება საწვავად მკვეთრად შემცირდა, ადგილი აქვს უკუ პროცესს.

მღრღნელებში და მწერებში შხამქიმიკატებისადმი, ჩოლო პათოგენურ მიკროორგანიზმებში ფარმაკოლოგიური პრეპარატებისადმი რეზისტენტულობის ამაღლება გადარჩევის წამყვანი როლის დამადასტურებელი მნიშვნელოვანი არგუმენტია. 1944 წელს დაავადების გადამტან და სასოფლო-სამეურნეო მავნებლების წინააღმდეგ ფართო მაშტაბით გამოიყენეს ინსექტიციდი დდტ. 1960 წლისთვის უკვე გამოავლინეს ამ შხამქიმიკატისადმი რეზისტენტული 120 სახეობის მწერი, მათ შორის 60 სახეობა მედეგი აღმოჩნდა რამდენიმე ინსექტიციდის მიმართ. ორფრთიანებში ჩატარებული გამოკვლევებით გამოირკვა, რომ დდტ-ს ზემოქმედებით 4-7 თაობის განმავლობაში ამ შხამქიმიკატისადმი მედეგობა 100-ჯერ იზრდება. ისინი უძლებენ ისეთ დოზებსაც კი, რომელიც საწყისი ფორმების 100%-ით სიკვდილს იწვევდა. შხამქიმიკატის ზემოქმედების შედეგად გადარჩებიან ერთეული რეზისტენტული ინდივიდები. გამრავლების პოტენციალის რეალიზაციის შედეგად ყალიბდება პოპულაცია, რომელიც მხოლოდ შხამქიმიკატისადმი რეზისტენტული ფორმებისაგან შედგება. ბუნებრივი გადარჩევის გზით მწერების პოპულაციაში მიმდინარეობს ისეთი ალელების ფიქსაცია, რომელიც შეგუების ფართო სპექტრს აპირობებს. გენების მოქმედებით ერთი მხრივ ყალიბდება შხამქიმიკატების დამშლელი ეფექტური ფერმენტული სისტემა, მეორე მხრივ იზრდება მათი შეუღწევადობა ორგანიზმში, ასევე უყალიბდებათ რთული ქცევები, რითაც თავს არიდებენ შხამიან გარემოს. მიკროორგანიზმებში გაშოკვლილია სამკურნალო პრეპარატებისადმი (ანტიბიოტიკები, სულფამინამიდური წამლები და მისთ.) მდგრადი შტამები. ჩატარებული გენეტიკური ანალიზით გაირკვა, რომ მუტანტური გენები ლოკალიზებულია R–პლაზმიდაში.

სანიმუშო მაგალითია ნამგლისებრუჯრედიანი ანემიის გავრცელება აღამიანის ხოგიერთ პოპულაციაში. რეცესიული ჰომოზიგოტი (HbS HbS) ინდივიდები აღრეულ ასაკში (იშვიათად ცოცხლობენ ორ წლამდე) იღუპებიან. ამ გენოტიპის შეგუებულობა თითქმის ნულის ტოლია. მიუხედავად ამისა, ლეტალი (HbS) ალელის სიხშირე ხოგიერთ პოპულაციაში საკმაოდ მაღალია, კერძოდ იმ რაიონებში, სადაც დაავადებას იწვევს პარაზიტი Plasmodium falciparium-ი. ა.ალისონის გამოკვლევებით აფრიკის აბორიგენების 20%, ინდოეთის ხოგიერთ რეგიონში მოსახლეობის 10-15% ჰეტეროზიგოტებია (HbA HbS). პოპულაციაში ლეტალური ალელის მაღალი სიხშირით ფიქსაცია იმითაა გამოწვეული, რომ ჰეტეროზიგოტები გაცილებით რეზისტენტულებია დაავადებისადმი, ვიდრე ნორმალური ჰომოზიგოტები (HbA HbA). იმ რეგიონში, სადაც მალარეა გავრცელებული, ჰეტეროზიგოტებს აღუნიშნებათ სელექტიური უპირატესობა ჰომოზიგოტებთან შედარებით: HbS HbS



სურ.5.2.ერის ტბის კუნძულებზე გავრცელებულ ანკარებში მიმდინარე ბუნებრივი გადარჩევა (სქემა)

გენოტიპის ინდივიდები ანემიით, ხოლო HbA HbA გენოტიპის ინდივიდები მალარიით იღუპებიან. ბუნებრივი გადარჩევის ხელსაწყოლის შედეგად ხდება ჰომოზიგოტების ნაწილობრივი ან მოლიანი ელიმინაცია.

ნამგლისებრუჯრედიანი ანემიის გეოგრაფიული გავრცელება კიდევ ერთხელ ადასტურებს, რომ გენოტიპთა შეგუებადობა გარემო ფაქტორებზეა დამოკიდებული. იმ რეგიონებში, სადაც მალარია არ გვხვდება ან ლიკვიდირებულია, დომინანტი ჰომოზიგოტებისა და ჰეტეროზიგოტების შეგუებადობა ერთნაირია. ამასთანავე, იცვლება ბუნებრივი გადარჩევის მიმართულება. იგი ხელს აღარ უწყობს ჰეტეროზიგოტების შენარჩუნებას პოპულაციაში, რეცესიული ჰომოზიგოტების (HbS HbS) წინააღმდეგაა მიმართული და მის ელიმინაციას იწვევს, რის შედეგადაც ლეტალი გენის კონცენტრაცია გენოფონდში თანდათანობით ქვეითდება. აშშ-სა და ბრაზილიის ზანგ მოსახლეობაში ჰეტეროზიგოტ ინდივიდთა რაოდენობა გაცილებით ნაკლებია (9-10%), ვიდრე იმ აფრიკელებში, საიდანაც ისინი იღებენ სათავეს (იხ. შემკვიდრეული დავადებები).

მიკროევოლუციის პროცესი შესწავლილია ჩრდილო ამერიკის ერის ტბის კუნძულებზე გავრცელებულ ანკარას (Natrix sipedon) პოპულაციებში (სურ.5.2). შეფერილობის მიხედვით ანკარები რომ ჯგუფად: A,B,C,D იყოფა. A ჯგუფი თეთრი შეფერილობის თითქმის უხოლოა, D ჯგუფი ძუქი, კარგად გამოხატული ხოლებით, ხოლო B და C ჯგუფის ცხოველებს შუალედი ადგილი უჭირავს ამ ორ კიდურა ჯგუფებს შორის. კუნძულებზე მხოლოდ A,B და C ჯგუფი გვხვდება, მაშინ როდესაც ტბის სანაპიროზე (ძირითადად ქვიშიანი ნაპირები) შენიშნულია D ჯგუფის ინდივიდები. კუნძულთა კლდეები, ხეები და სანაპირო ხოლი კირქვებისაგან შედგება (ფონი მოთეთრო). შეინიშნა, რომ კუნძულზე დაჭერილი განაყოფიერებული მდედრებისაგან მიღებული შთამომავლობა. გამოჩეკილ ინდივიდებში ოთხივე სახის შეფერილობა გვხვდება. ანალოგიური მოვლენა შეინიშნება კუნძულზე ახლად გამოჩეკილ ინდივიდებში. ზრდასრული ინდივიდები კი მხოლოდ A და B ჯგუფებისაგან შედგება. ამ მოვლენას პოსტპლეისტოცენურ პერიოდში ინდივიდთა ამორჩევითი ელიმინაცია იწვევს. თეთრი შეფერილობა უფარველობითია. კუნძულებზე ფრინველები ადვილად არჩევენ ძუქ ფორმებს და ანადგურებენ. საპირისპირო მოვლენას ეხლებით ტბის ნაპირზე

გავრცელებულ ცხოველებში, სადაც დამცველობით როლს ხოლიანი შეფერილობა ასრულებს. კუნძულებზე უზოლო ფორმების გადარჩენის ალბათობა 4-ჯერ მეტია, ვიდრე ხოლიანების. მიუხედავად ბუნებრი გადარჩევის ძლიერი ზეწოლისა, კუნძულებზე მაინც გვხვდება ხოლიანი ფორმები. ეს ძირითადად გენთა ნაკადითაა გამოწვეული, თუმცა ერთეულ ინდივიდებსაც შეუძლიათ ტბის ნაპირებიდან კუნძულებზე მიგრირება.

ბუნებრივი გადარჩევის ეფექტურობა და სიჩქარე

პოპულაციის გენოფონდის თვისობრივი და რაოდენობრივი ცვლილების მიხედვით გადარჩევის ეფექტურობა დამოკიდებულია ბუნებრივი გადარჩევის ზეწოლასა და მიმართულებაზე. ზეწოლის შეფასება ხდება გენოტიპის ადაპტაციური ღირებულებით. გენოტიპური კლასების ადაპტური ღირებულების შეფასების კრიტერიუმია მათ მიერ ყოველ თაობაში წარმოქმნილი სიცოცხლისუნარიანი შთამომავლობის შეფარდებითი რაოდენობა. პოპულაციის სხვა გენოტიპებთან შედარებით გენოტიპის გადარჩენისა და კვლავწარმოქმნის უნარს **ადაპტაციური ღირებულება** ეწოდება. იგი შეფარდებითი შეგუებულობის ხარისხის მახასიათებელია და W–თი აღინიშნება. გენოტიპის ადაპტური ღირებულება 0-დან 1-მდე მერყეობს. როდესაც W=0, მაშინ ინდივიდის გენეტიკური ინფორმაცია შთამომავლობას არ გადაეცემა და ალელი პოპულაციიდან იკარგება. როდესაც W=1, მოცემული ნიშნის განმსაზღვრელი ალელის მქონე გამეტები მაქსიმალური რაოდენობით წარმოიქმნება.

გენოტიპის ადაპტაციურ ღირებულებას გენთა მთლიანი კომპლექსი განსაზღვრავს. ამდენად, შესაძლებელია თუნდაც ალელთა ერთი წყვილით (ჰომოზიგოტურ მდგომარეობაში) განსხვავებულ გენოტიპებს სხვადასხვა ადაპტური ღირებულება აღმოაჩნდეთ. ადაპტაციურ ღირებულებას რაოდენობრივად გამოხატავენ გადარჩევამდე და მის შემდეგ ალელთა სიხშირის %-ით (ე.ი. აღრიცხავენ თაობათა განმავლობაში ალელთა სიხშირეს). იგი დამოკიდებულია გადარჩევის კოეფიციენტზე. გადარჩევის კოეფიციენტს ელიმინაციის ინტენსივობით ან მუტანტური ალელის (დაქვეითებული კვლავწარმოქმნით) საწყის ალელთან შედარებით განსაზღვრავენ (აღინიშნება S–ით). იგი გენოტიპის ადაპტაციური ღირებულების საპირისპირო სიდიდეა და ვარირებს 0-დან 1-მდე. რაც უფრო დიდია გენოტიპის ადაპტაციური ღირებულება, მით უფრო დაბალია გადარჩევის კოეფიციენტი და პირუკუ: თუ $\overline{W}=1$, მაშინ S=0.

ბუნებრივ პოპულაციებში გენოტიპის ადაპტაციური ღირებულების შეფასებას ნიშანთა კომპლექსით ახდენენ, რადგან გადარჩევა მეტწილად კომპლექსური ნიშნების მიხედვით მიმდინარეობს. პოპულაციის ყველა გენოტიპის ადაპტაციური ღირებულების დასახასიათებლად იყენებენ საშუალო შეგუებულობას ($\overline{W}$). იგი გადარჩევის შემდეგ მიღებული გენოტიპების ჯამის ტოლია და გამოითვლება ჰარდი–ვაინბერგის ფორმულით: $\overline{W}=p^2W_0+2pqW_1+q^2W_2$; ამასთანავე დომინანტი ჰომოზიგოტის საშუალო შეგუებულობა მიღებულია 1-ის ტოლად. დანარჩენ გენოტიპთა შეგუებულობას მას ადარებენ. სიდიდე პროცენტებში გამოისახება:

გენოტიპები	AA	Aa	aa
	W_0	W_1	W_2
საშუალო შეგუებულობა	$W_0/W_0=1$	$W_1/W_0=1-S_1$	$W_2/W_0=1-S_2$

ამ ფორმულის გამოყენებით (გენოტიპების შედარებით გადარჩევამდე და გადარჩევის შემდეგ) შესაძლებელია განისაზღვროს გადარჩევის კოეფიციენტი. რაც უფრო მაღალი მნიშვნელობისაა გადარჩევის კოეფიციენტი, მით უფრო ინტენსიურია გადარჩევა, ე.ი. მაღალია გადარჩევის ზეწოლა. იგი დადებით შედეგს (გენების სიხშირის ცვლილებას) იწვევს, ე.ი. გადარჩევა მეტად ეფექტურად მიმდინარეობს. ალელის მეტად მაღალი ან დაბალი კონცენტრაციის დროს გადარჩევა ნელა მოქმედებს, ანუ არაეფექტურია. გადარჩევის სიჩქარე ასევე დამოკიდებულია თაობათა ცვლის ტემპზე (რაც უფრო სწრაფია თაობათა ცვლა, მით უფრო სწრაფად ხდება პოპულაციის გარდაქმნა) და რიცხოვნობაზე (რაც უფრო მცირერიცხოვანია პოპულაცია, მით უფრო სწრაფად იცვლება იგი).

1 ბუნებრივი გადარჩევის ფორმები.

თანამედროვე ევოლუციური თეორიაში საკვანძოა საკითხი ბუნებრივი გადარჩევის ფორმების შესახებ (მკვლევართა მიერ გადარჩევის 30-ზე მეტი ფორმაა გამოვლენილი და გაანალიზებული. თითოეული მათგანი ზოგად, ერთიანი ბუნებრივი გადარჩევის მოქმედების სპეციფიკურ, კერძო მხარეს წარმოადგენს. პოპულაციურ დონეზე გადარჩევის სამ ძირითად ფორმას გამოყოფენ: მასტაბილიზებელს, მამოძრავებელსა და დიზრუპტულს. მასტაბილიზებელი და მამოძრავებელი გადარჩევის ფორმა პირველად ამერიკელმა მეცნიერმა რ.ფიშერმა (1930) გამოყო და მისი მოქმედების მექანიზმი მათემატიკურად დაასაბუთა. გადარჩევის დიზრუპტული ფორმა გამოყო და მისი მოქმედების მექანიზმი თეორიულად დაასაბუთა ჯ.სიმპსონმა (1944). ტერმინები "მასტაბილიზებელი და მამოძრავებელი" გადარჩევა შემოიტანა ს.შმალგაუზენმა (1946).

მასტაბილიზებელი გადარჩევა არის ბუნებრივი გადარჩევის ისეთი ფორმა, რომელიც მიმართულია პოპულაციაში ნიშნის საშუალო, ადრე ჩამოყალიბებული მნიშვნელობის შენარჩუნებისა და მდგრადობის ამაღლების რეალიზაციისაკენ. იგი მიმდინარეობს ნორმიდან ნებისმიერი გადახრის ელიმინაციის გზით.

მასტაბილიზებელი გადარჩევის მოქმედებისას უპირატესად მრავლდებიან და შთამომავლობას ტოვებენ ის ინდივიდები, რომელთაც პოპულაციისათვის დამახასიათებელი ნიშნის საშუალო მაჩვენებელი აქვთ. ინდივიდები, რომელთაც საშუალო ნორმიდან ნებისმიერი მიმართულებით ფენოტიპური გადახრა აქვთ, ელიმინირდებიან. მასტაბილიზებელი გადარჩევა ინახავს და აძლიერებს ადრე ჩამოყალიბებულ ადაპტაციურ ნიშნებს. ამასთანავე, იგი ასტაბილიზებს ორგანიზმების ურთიერთობას გარემოსთან. მასტაბილიზებელი გადარჩევა მოქმედებს მეტნაკლებად უცვლელ გარემო პირობებში (ე.ი. როდესაც გარემო პირობები საშუალო მაჩვენებლის ფარგლებში ფლუქტუირებს). ბუნებრივია, ამ პირობებში მოქმედებას აგრძელებს მუტაციური პროცესი, არსებობისათვის ბრძოლა და ბუნებრივი გადარჩევა, მაგრამ ინდივიდებში ადრე ჩამოყალიბებული ადაპტაციური ნიშნები არ იცვლება. წარმოქმნილი მუტაციები მავნეა, ვინაიდან არღვევენ გარემოსთან იმ შეგუებულობას,

რომელიც ჩამოყალიბდა პოპულაციის ევოლუციის პროცესში, ამიტომაც ახალი ადაპტაციები აღარ წარმოიქმნება. ინახება მხოლოდ უკვე მიღწეული შეგუებითი ნორმა. ამრიგად, მასტაბილიზებელი გადარჩევის ყველაზე ოვალსაჩინო შედეგია უკვე არსებული ადაპტაციური ნიშნებისა და ნიშნებისათვის დამახასიათებელი რეაქციის ნორმის შენარჩუნება და სტაბილიზაცია.

მასტაბილიზებელი გადარჩევის მოქმედების საილუსტრაციოდ მოვიყვანთ რამდენიმე მაგალითს. ამერიკელმა ორნიოლოგმა გ.ბამპერსმა 1898 წლის ზამთარში მანჰეტენის ქუჩებში (ნიუ იორკის უბანი) შეაგროვა ძლიერი ქარბუქისა და ყინვისაგან გათოშილი და ცოცხალმკვდარი 136 სახლის ბეღურა (Passer domenstiaus). ლაბორატორიაში ისინი გაათბეს და ჩაუტარეს ბიომეტრიული ანალიზი. გადარჩნენ ის ბეღურები (მხოლოდ 72), რომელთა ნიშნები პოპულაციის საშუალო მაჩვენებლებს უახლოვდებოდა. ნებისმიერი ნიშნის მიხედვით (ფრთის, ნისკარტის და სხეულის სიგრძე, სხეულის მასა და სხვა) ნორმიდან გადახრილი ფრინველები დაიღუპნენ.

მ.კარნომ და ლ.ჰენრუზმა (1952) ადამიანში გამოავლინეს კავშირი ახალშობილის წონასა და მათ სიკვდილიანობას შორის. რაც უფრო მეტი იყო გადახრა საშუალო მაჩვენებლიდან –3,6 კგ (როგორც კლებადობით, ისე მატებით) მით უფრო იზრდებოდა სიკვდილიანობა. გადარჩევა "იღწვის" საშუალო მაჩვენებლის შენარჩუნებისთვის.

ენტემოფილურ მცენარეებში ყვავილის ფორმა და ზომა შედარებით უფრო სტაბილურია, ვიდრე ანემოფილურებში. ყვავილისა და მათი დამტვერვის მწერების ზომები ერთიმეორეს მიესადაგება. ყვავილის აგებულების მდგრადობა მასტაბილიზებელი გადარჩევით შენარჩუნდება. მდგრადობა ძრავალი მილიონი წლის მანძილზე მიმდინარე ენტემოფილური მცენარეებისა და მათი დამტვერავი მწერების ერთობლივი (შეუღლებული) ევოლუციითაა განპირობებული. ხდებოდა შეცვლილი ყვავილის მქონე მცენარეების "წუნდება". ვინაიდან მწერები მათ ვერ მტვერავდნენ, თესლს მხოლოდ "სტანდარტული" ყვავილის მქონე მცენარეები იკეთებენ.

ცოცხალი სისტემის ორგანიზაციის ნებისმიერ დონეზე ნიშნების შენარჩუნება მასტაბილიზებელი გადარჩევის შედეგია. ორგანიზაციის მოლეკულურ დონეზე მისი მოქმედებით იქმნება სიცოცხლის ბიოქიმიური ერთიანობა და უნივერსალობა, კერძოდ გენეტიკური კოდის უნივერსალობა (ვირუსებში, პროკარიოტებსა და ეუკარიოტებში ერთნაირი გენეტიკური კოდი ფუნქცირებს), ცილის მსგავსი ამინომჟავური შედგენილობა (შენებაში 20 სახის ამინომჟავა მონაწილეობს), ხერხემლიან ცხოველებში ჰემის მოლეკულის ერთნაირი აგებულება და სხვა. ორგანიზაციის უჯრედულ დონეზე მასტაბილიზებელი გადარჩევის მოქმედებით შენარჩუნებულია ორგანოიდების ერთნაირი სტრუქტურა და ფუნქცია (ეუკარიოტებში), ძიტოზური და მეიოზური გაყოფის ერთნაირი მექანიზმი და სხვა. სახეობის დონეზე კი პერისისტენტული ფორმების არსებობა. მასტაბილიზებელი გადარჩევის ხანგრძლივი მოქმედების შედეგად ზოგიერთი სახეობა (ე.წ. პერისისტენტული ფორმები) ძრავალი ათასი და მილიონი თაობის განმავლობაში თითქმის უცვლელი დარჩა. ამგვარი "ცოცხალი ნამარხი" სახეობებია: მოლუსკი ნეოპილინა–Neopilina galatheae (დაახლოებით 600 მილიონი წელია, რაც არსებობს), მოლუსკი ნაოტილუსი–Nautilus pompilis (დაახლოებით 500 მილიონი წელი), მაჯვილკუდიანები–Xiphosura

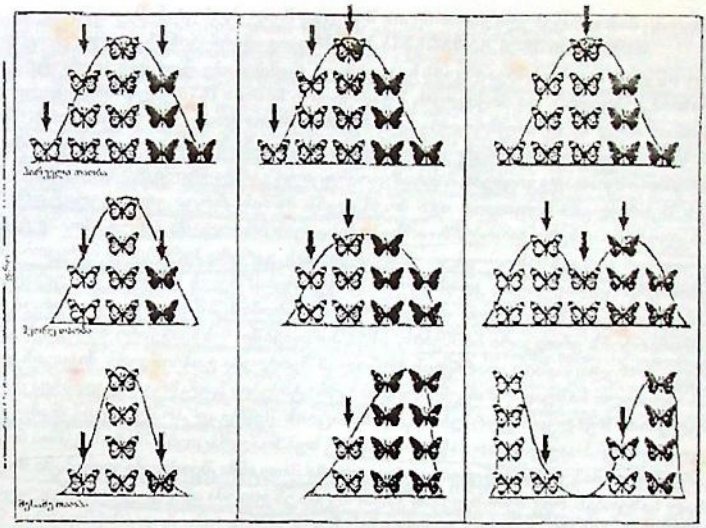
(დაახლოებით 400 მილიონი წელი), ტუატარია (ჰატერია)–Sphenodon punctatus (დაახლოებით 230 მილიონი წელი), გინკო–Gingkgo biloba (დაახლოებით 240 მილიონი წელი), ციანობაქტერიის ზოგიერთი სახეობა (არანაკლებ 1,5-2 მილიარდი წელი) და სხვა.

მამოძრავებელი გადარჩევა – ბუნებრივი გადარჩევის ისეთი ფორმაა, რომელიც ნიშნის ან თვისების საშუალო მნიშვნელობის ცვლილებას განაპირობებს მიმართულებით წარმართავს. ზოგჯერ მას დარვინულ გადარჩევასაც უწოდებენ. იგი მასტაბილიზებელი გადარჩევის ალტერნატიული ფორმაა, რომელიც გარემოს შეცვლისას ვლინდება და ახალი ადაპტაციური ნიშნების ჩამოყალიბებას იწვევს. მამოძრავებელი გადარჩევის შედეგობით ახალ გარემოში გაშუალედაგარი ძველი ნორმა ახლით იცვლება და მისი განმტკიცება ხდება. ამა თუ იმ ნიშნის გამოვლენის ხარისხი შეიძლება შესუსტდეს ან გაძლიერდეს. მამოძრავებელი გადარჩევის დროს ირთვება შეცვლილი გარემო პირობების შესაბამისი მემკვიდრული ცვლილებები, ე.წ. სამობილიზაციო რეზერვი. მუტაციები, რომელიც ადრე საზიანო ან ნეიტრალური იყო, ახლა შეიძლება სასარგებლო აღმოჩნდეს. ის ინდივიდები, რომელთაც ახალ გარემოში უპირატესობა არა აქვთ, ელიმინირდება. პოპულაციაში თანდათანობით ვრცელდება სასარგებლო გადახრა და ყალიბდება ახალ-ახალი ადაპტაციები.

ევოლუციური თეორიის განვითარების საწყის ეტაპზე შოწოდებული ბუნებრივი გადარჩევის დამამტკიცებელი პირდაპირი და არაპირდაპირი არგუმენტების დიდი ნაწილი გადარჩევის ამ ფორმას მიეკუთვნება და დარვინისეული, კლასიკური ბუნებრივი გადარჩევის არსის გამომჟღავნებელია.

მამოძრავებელი გადარჩევის საილუსტრაციოდ რამდენიმე მაგალითს მოვიყვანთ. კლასიკურადაა აღიარებული ინგლისელი ზოოლოგის ვ.უელდონის (1877) მიერ ჯერ კიდევ ჩ.დარვინის სიცოცხლეში კიბორჩხალაზე (Carcinus maenas) ჩატარებული გამოკვლევები. ხუთი წლის განმავლობაში იგი აკვირდებოდა ცხოველებს. ქ.პლიმუტის (ინგლისი) ნავსადგურში ახალი ჯებირის აშენებამ ფართო სალაყუჩე ნაპრალის მქონე ცხოველების ელიმინაცია გამოიწვია. გადარჩნენ ვიწრო სალაყუჩე ნაპრალის მქონე კიბორჩხალები. გამოირკვა, რომ ჯებირმა წყლის ცირკულაციის დარღვევა გამოიწვია. ორი მდინარის მიერ ჩამოტანილი მინარევებით წყალი იმღვრეოდა. წყალში შეტივნარებული კირქვის მინარევები ილექებოდა ფართო ნაპრალიანი კიბორჩხალების ლაყუჩებში და ისინი იღუპებოდნენ. დასკვნა დადასტურებულ იქნა ჩატარებული ექსპერიმენტით: აკვარიუმში მოთავსეს ორივე ფორმის 248 კიბორჩხალა და განუწყვეტლივ ამღვრევდნენ წყალს. სწრაფად დაიღუპა 154 ცხოველი, ყველა მათგანს ფართო სალაყუჩე ნაპრალი აღმოაჩნდათ.

1947 წელს ინგლისში ვირთაგვების წინააღმდეგ გამოიყენეს ანტიკოაგულანტი-ვარფარინი. სატყუარათი ნივთიერების მიღების შემდეგ ცხოველები ჩხუბში ან სხვა გზით წარმოქმნილი ნაკაწრებიდან სისხლდენის შედეგად იღუპებოდნენ. 1958 წელს შოტლანდიაში პირველად აღმოაჩინეს ფორმები, რომლებზედაც პრეპარატი აღარ მოქმედებდა – ვარფარინისადმი მედეგი (ე.წ. "სუპერვირთაგვები") ფორმები. 1960 წ. კი ინგლისის მრავალ მხარეში წარმოიშვნენ რეზისტენტული პოპულაციები, რომლებიც მთელი ალბიონის კუნძულზე განსახლდნენ. გამოირკვა, რომ რეზისტენტულობას იწვევდა ერთი მუტანტური დომინანტი გენი.



სურ.5.3.A - მასტაბილიზებელი, B -მამოძრავებელი და C -დიზრუპტული გადარჩევის მოქმედების სქემა

ფუნქციური უვარგისობის შემთხვევაში მამოძრავებელი გადარჩევა ნიშნის დაკარგვას იწვევს. ზოგიერთ მწერებსა (ოკეანიის კუნძულებზე) და ფრინველებში (მაგ. კივი, სირაქლემა, პინგვინი) ფრთების, გველებში–კიდურების, ჩლიქოსნებში–თითების, მღვიმის ცხოველებში–თვალების, პარაზიტ მცენარეებში–ფოთლებისა და ფესვების დაკარგვა მამოძრავებელი გადარჩევით გამოწვეული ორგანოთა რედუქციის ნათელი მაგალითებია.

ბუნებაში ვიწროქალა მემინდვრიაზე (Microtus gregalis) დაკვირვებით დადასტურებულია მამოძრავებელი გადარჩევის მოქმედება (შვარცი, 1966). ვიწროქალა მემინდვრია დიდი ხანი არ არის, რაც პოლარულ ურალში განსახლდა და ქვესახეობად ჩამოყალიბდა. იგი სამხრეთში გავრცელებული ქვესახეობისაგან მორფოფიზიოლოგიურად განსხვავდება. კერძოდ, მას აქვს დიდი ზომის სხეული (რითაც სხეულის ტემპერატურის გაცემა დაქვეითებულია), ღვიძლი და გული (ენერგეტიკული ცვლა გაზრდილი აქვს), ემბრიონების რიცხვი გაზრდილია.

ბუნებაში გადარჩევის ორივე (მასტაბილიზებელი და მამოძრავებელი) ფორმა მუდმივად მოქმედებს. შესაძლებელია დროის ერთ მონაკვეთში ერთი უფრო მეტად მოქმედებდეს, ვიდრე მეორე. მასტაბილიზებელი გადარჩევა კონსერვატორულ როლს ასრულებს, ხოლო მამოძრავებელი კი – პროგრესულს. ისინი კომპლემენტურ მოქმედებას ავლენენ. მასტაბილიზებელი ინახავს და ამაგრებს ევოლუციურ გარდაქმნებს,

რომელიც მაძოძრავებელი გადარჩევის შედეგად მიიღება (სურ.5.3).

დიზრუპტული გადარჩევა. ბუნებრივი გადარჩევის ისეთი ფორმაა, რომელიც იწვევს თვისობრივად განსხვავებული რამდენიმე ფორმის (ფენოტიპური კლასის) არსებობას და ხელშეწყობს შუალედური ნიშნის (საშუალო მნიშვნელობის) საწინააღმდეგოდ. დიზრუპტული გადარჩევის თეორია დაამუშავა ჯ. სიმპსონმა (1944). მას ხშირად დამანაწევრებელ გადარჩევასაც უწოდებენ. გადარჩევის ეს ფორმა გაცილებით იშვიათად გვხვდება, მაგრამ ევოლუციურ გარდაქმნაში მნიშვნელოვანი როლის შესრულება შეუძლია. იგი ხელშეწყობს მაშინ, როცა ერთ ტერიტორიაზე გარკვეულ საარსებო პირობებში არსებობისათვის ბრძოლაში გენოტიპთა არცერთი ჯგუფი ვერ აღწევს აბსოლუტურ უპირატესობას. გარემო პირობების მერყეობა (მაგ. სეზონური ცვლილებები, კლიმატური ფაქტორები) ხელს უწყობს პოპულაციაში რამდენიმე განსხვავებული ფენოტიპის არსებობას. ამ დროს ერთ პირობებში მიმდინარეობს ერთგვარი ნიშნების, სხვა პირობებში – სხვაგვარი ნიშნების გადარჩევა. პოპულაციაში გადარჩევის ხელშეწყობამ შეიძლება გამოიწვიოს მისთვის დამახასიათებელი საშუალო მაჩვენებლიდან ფენოტიპების გადახრა სხვადასხვა მიმართულებით. შუალედი ფორმების ელიმინაციის შედეგად პოპულაცია რამდენიმე ჯგუფად–სუბპოპულაციად ნაწევრდება, თუ სუბპოპულაციებს შორის გენთა ნაკადი გარკვეული მიზეზით შეწყდება. თითოეულმა მათგანმა შეიძლება დაიბადოს მისცეს ახალ სახეობას. რიგ შემთხვევაში გადარჩევის ეს ფორმა იწვევს ერთ პოპულაციაში რამდენიმე განსხვავებული ფენოტიპის წარმოქმნას (ე.ი. პოლიმორფიზმის წარმოშობას). პოლიმორფიზმის ყველა შემთხვევა დიზრუპტული გადარჩევის მოქმედების შედეგია. მისი საბოლოო შედეგი შეიძლება წარმოვიდგინოთ როგორც მაძოძრავებელი და მასტაბილიზებელი გადარჩევის ერთდროული და მონაცვლეობითი მოქმედება. დიზრუპტული გადარჩევა მაძოძრავებელი გადარჩევის მსგავსად პროგრესულ ფუნქციას ასრულებს.

საილუსტრაციოდ მხოლოდ ერთ კლასიკურ მაგალითს მოვიყვანთ. ბაღის ლოკოკინას Cepeae namorallis-ის ინდივიდები ნიჟარის შეფერილობისა და ზოლების რაოდენობით განსხვავდებიან. გვხვდება ყვითელ ფერ, ვარდისფერ და ყვითელნიჟარიანი მოლუსკები. ნიჟარის ნაირგვარი შეფერილობა მფარველობითია, რაც იცავს მოლუსკებს ფრინველებისაგან. ბაღის ლოკოკინას ერთიანი პოპულაცია რამდენიმე ფორმად (ფენა) იყოფა და არცერთ ჯოგანს არა აქვს უპირატესობა სხვების მიმართ. დიზრუპტული გადარჩევის მოქმედებით ლოკოკინაში რამდენიმე ფენოტიპური კლასია ჩამოყალიბებული (დაწვრილებით იხ. 5.12).

სექსობრივი გადარჩევა. ბუნებრივ გადარჩევას, რომელიც ცალსქესიან ინდივიდებში მხოლოდ ერთი სქესის ინდივიდებს ეხება, სქესობრივი გადარჩევა ეწოდება. სქესობრივ გადარჩევას ყურადღება მიაქცია ჩ.დარვინმა "სახეობათა წარმოშობაში". იგი აღნიშნავს: "გადარჩევის ეს ფორმა განისაზღვრება არსებობისათვის ბრძოლით არა სხვა ორგანიზმების ან გარემო პირობების წინააღმდეგ, არამედ ერთი და იგივე სქესის ინდივიდთა, უპირატესად მამრებს შორის მეორე სქესის ინდივიდთა დაუფლებისათვის. ამის შედეგად წარუმატებელი მამრი კი არ კვდება, არამედ ხდება მისი შთამომავლობის შეზღუდვა ან სრული შეწყვეტა".

სქესობრივი გადარჩევა ბუნებრივი გადარჩევის კერძო შემთხვევაა, რომელიც

მიმდინარეობს პოპულაციის ერთი სქესის ინდივიდებს შორის გამრავლებისა და შთამომავლობის დატოვებისათვის. ჩ.დარვინი გამოყოფდა სქესობრივი გადარჩევის ორ ფორმას. ერთ შემთხვევაში მდედრი პასიური რჩება და ბრძოლა მიმდინარეობს მამრებს შორის მდედრის დასაუფლებლად. ბრძოლაში გამარჯვებული ძლიერი, ჯანსაღი, კარგად განვითარებული მამრი ამ თვისებებს გადასცემს შთამომავლობას. მეორე შემთხვევაში მამრები ერთმანეთს კონკურენციას უწევენ მდედრის მოხიბლვაში. ამ დროს მდედრი აქტიურია და ირჩევს მამრს. ამ შემთხვევაში ძლიერდება მეორეული სასქესო ნიშნები (მამრის მოკაზმულობა, კაშკაშა შეფერილობა და მისთ.).

ზოგჯერ მკვეთრი შეფერილობა, გალობა, სპეციფიკური სუნი და სხვა ისეთი გენოტიპის გადარჩევას იწვევს, რომლებიც გამრავლებას უზრუნველყოფენ. მეორეს მხრივ, ეს ნიშნები არღვევენ შენიღბვას და აქვეითებენ გადარჩენადობას. ამ უარყოფით თვისებებს ზოგჯერ დადებითი მნიშვნელობა აქვს მთელი სახეობისათვის, ვინაიდან სასარგებლო ნიშნების მქონე მამრები ტოვებენ შთამომავლობას და ამით თავისი წვლილი შეაქვთ პოპულაციის გენოფონდის ფორმირებაში. სქესობრივი გადარჩევის შედეგია სქესობრივი დიმორფიზმი.

✕ ბუნებრივი გადარჩევის მნიშვნელობა.

პოპულაციის განვითარებას მხოლოდ ბუნებრივი გადარჩევა წარმართავს. იგი ბიოლოგიური ევოლუციის ერთადერთი მაორგანიზებელი და წარმმართველი ფაქტორია. ამ პროცესში ბუნებრივი გადარჩევა იყენებს ელემენტარულ ევოლუციურ მასალას - მუტაციებს, იგი მოქმედების პროცესში იქვემდებარებს ევოლუციის დანარჩენ ელემენტარულ ფაქტორებს, კერძოდ მუტაციურ პროცესს, გენთა ნაკადს და გენთა დრეიფს. ამასთანავე, ბუნებრივი გადარჩევა აერთიანებს და ერთიმეორესთან ათანხმებს ყველა ელემენტარული ფაქტორის მოქმედებას. ამდენად იგი მიკროევოლუციის მაკონტროლებელი და მაორგანიზებელი ფაქტორია. პოპულაციაში ბუნებრივი გადარჩევის მოქმედება სამ შესაძლო შედეგს იწვევს, კერძოდ:

1. უცვლელი სახით ინახავს ადრე ჩამოყალიბებულ ნიშნებს, ვინაიდან იგი სასარგებლოა ინდივიდებისათვის კონკრეტულ საარსებო პირობებში. გადარჩევით ძველი, უკეთ შეგუებული ვარიანტების (გენოტიპების) შენარჩუნება ხდება.

2. ყალიბდება ახალი ადაპტაციური ნიშნები, რომლებიც ძველის (ახალ საარსებო პირობებში ადაპტაციურ ღირებულება დაკარგულის) ადგილს იკავებენ. გადარჩევით ახალი, უკეთ შეგუებული ვარიანტებით (გენოტიპებით) იცვლება ძველი.

3. ხდება ეროდროულად მკვეთრად განსხვავებული ნიშნის რამდენიმე ვარიანტის (გენოტიპის) შენარჩუნება.

ბუნებრივი გადარჩევის როლი მხოლოდ ნაკლებშეგუებულ ინდივიდთა ელიმინაციით როდი შემოიფარგლება. მასი მოქმედებით ყალიბდება ახალ-ახალი ადაპტაციები, რისი მეშვეობითაც ინდივიდები ეგუებიან შეცვლილ საარსებო გარემოს. ამდენად, ბუნებრივი გადარჩევა ერთადერთ **შემოქმედებით** ფაქტორს წარმოადგენს. იგი ერთი და იმავე მასალიდან (მემკვიდრული ცვალებადობა) საარსებო პირობებისა და გადარჩევის მიმართულების მიხედვით აყალიბებს ნაირგვარ ადაპტაციურ ნიშნებს. განსხვავებული გენოტიპების მქონე ინდივიდების დიფერენცირებული გამრავლება

თვისობრივად ახალი ფორმების ჩამოყალიბებას იწვევს. ბუნებრივი გადარჩევის მოქმედება შეიძლება მოქანდაკის შემოქმედებით პროცესს შევადაროთ. უფორმო თიხის მასისაგან მოქანდაკე თანდათანობით საოცარ ქმნილებებს ძერწავს. ბუნებრივი გადარჩევის შედარება მოქანდაკის საქმიანობასთან ნაწილობრივ შეიძლება. მოქანდაკეს აქვს მომავალი ქმნილების გეგმა, ბუნებრივ გადარჩევას კი არა. მისი მოქმედების მიმართულება სტიქიურად წარმოიქმნება. სამაგიეროდ ბუნებრივი გადარჩევის პროცესში დიდ როლს ასრულებს დროის ფაქტორი. იგი განუსაზღვრელი დროის (მილიონობით და მილიარდობით წელი) განმავლობაში მოქმედებს და განუსაზღვრელად დიდ მემკვიდრულ მასალას იყენებს. ბიოლოგიურ დროში (თაობათა მანძილზე) მეტად უმნიშვნელო ცვლილებების სუმაციით მნიშვნელოვანი ცვლილება ყალიბდება. ნაკლებ სრულყოფილი ფორმებიდან უფრო სრულყოფილი ფორმები მიიღება.

5.12. შიგაპოპულაციური (გენეტიკური) პოლიმორფიზმი

პოპულაციაში რეგულარულად და ერთდროულად რამდენიმე გენეტიკურად მკვეთრად განსხვავებული ფორმის (მორფის) არსებობას, რომელიც შეუძლებელია განმეორებითი მუტაციების ინდუქციით აიხსნას, შიგაპოპულაციური (გენეტიკური) პოლიმორფიზმი ეწოდება. შიგაპოპულაციური პოლიმორფიზმი (გენეტიკურად განსხვავებული რამდენიმე მორფის არსებობა) ცოცხალ სამყაროში ფართოდ გავრცელებული მოვლენაა. იგი დიზრუპტული გადარჩევის შედეგია, რომელიც ხელს უწყობს განსხვავებული მორფის წარმოშობასა და შენარჩუნებას პოპულაციაში. ორი ან მეტი გენეტიკურად (ფენოტიპურად) განსხვავებული მორფი პოპულაციაში თაობათა განმავლობაში (ბიოლოგიურ დროში ხანგრძლივად) გაწონასწორებულ მდგომარეობაში იმყოფება. პოპულაციაში ფენოტიპურად (ბუნებრივია გენოტიპურად) განსხვავებული მორფების არსებობა მიუთითებს, რომ მოქმედებს გადარჩევის ისეთი ფორმა (დიზრუპტული), რომელიც ხელს უწყობს პოლიმორფიზმის შენარჩუნებას. ამჟამად ორგანულ სამყაროში არსებული პოლიმორფიზმის მრავალი ფორმაა გამოვლენილი და შესწავლილი. საბოლოოდ პოლიმორფიზმის ერთიანი, საყოველთაოდ მიღებული კლასიფიკაცია არ გაგვაჩნია, რაც მოვლენის სირთულეზე მიუთითებს. წარმოშობისა და შენარჩუნების მექანიზმების მიხედვით გამოყოფენ ორ დიდ ჯგუფს: **ჰეტეროზიგოტულ** და **ადაპტაციურ** პოლიმორფიზმს.

როდესაც ბუნებრივი გადარჩევის ზეწოლა ჰეტეროზიგოტების სასარგებლოდ მიმდინარეობს, მაშინ ყალიბდება ჰეტეროზიგოტული პოლიმორფიზმი. ჰეტეროზიგოტული პოლიმორფიზმის კლასიკური მაგალითია HbS ალელის ფიქსაცია ადამიანის იმ პოპულაციებში, სადაც მალარიაა გავრცელებული. ჰეტეროზიგოტები (HbA HbS) ამ დაავადებისადმი რეზისტენტულებია. ალელი ჰომოზიგოტურ მდგომარეობაში ნამგლისებრუჯრედიან ანემიას იწვევს (იხ. 3.14, 5.11).

შეისწავლეს დროზოფილას ხელოვნურად გაწონასწორებული პოპულაცია, რომელიც რუხი და შავი (იწვევს რეცესიული გენი eboni) შეფერილობის ინდივიდებისაგან შედგებოდა. რამდენიმე თაობის შემდეგ შავსხეულიანი ინდივიდების რაოდენობა მკვეთრად (10%-მდე) შემცირდა. მომდევნო თაობებში კი ალელთა კონცენტრაცია პოპულაციაში სტაბილური გახდა. გამოირკვა, რომ ჰეტეროზიგოტები

გაცილებით მეტი სიცოცხლისუნარიანობით ხასიათდებიან დომინანტურ და რეცესიულ ჰომოზიგოტებთან შედარებით. ჰეტეროზიგოტების სელექციურ უპირატესობას ადგილი აქვს ზედომინანტობის დროს.

როდესაც გენეტიკურად განსხვავებული ფორმები სხვადასხვა ეკოლოგიურ პირობებში ექვემდებარებიან გადარჩევას, ყალიბდება ადაპტაციური პოლიმორფიზმი. საილუსტრაციოდ მოვიყვანთ რამდენიმე მაგალითს. ორწერტილიან ჭიამაიას (Adalia bipunctata) პოპულაცია შედგება შავი და წითელი ფორმებისაგან. შემოდგომით პოპულაციაში ჭარბობს შავი ფორმები (50-70%). გაზაფხულზე (გამოზამთრების შემდეგ) მათი რაოდენობა საკმაოდ (30-45%) მცირდება. გამოირკვა, რომ წითელი ფორმები კარგად იტანენ ზამთარში სიცივეს, ხოლო შავი ფორმები ინტენსიურად მრავლდებიან ზაფხულში. ბუნებრივი გადარჩევა იწვევს წითელი შეფერილობის ჭიამაიების შენარჩუნებას ზამთარში, ხოლო შავი შეფერილობის მქონეთა ზაფხულში შენარჩუნებას.

ადაპტაციური პოლიმორფიზმის კლასიკური ნიმუში გამოავლინა პ.შეპარდმა თანაავტორებთან ერთად ბაღის ლოკოკინაში (Cepeae namoralis). ლოკოკინები განსხვავდებიან ნიჟარის შეფერილობით. მათ აქვთ ყვითელი (როდესაც ცხოველი ცოცხალია, მწვანედ გამოიყურება), ვარდისფერი და ყავისფერი (ნაირგვარი ელფერით) ნიჟარები. იგი უხოლო ან ხოლიანია (ხოლების რაოდენობა 1-5-ია). განსხვავდებიან ნიჟარის ბაგის შეფერილობით, რომელიც თეთრი, ვარდისფერი ან მუქი ყავისფერია. ყველა ჩამოთვლილი ნიშანი გენეტიკურადაა დეტერმინებული. ნიჟარის შეფერილობას ერთი გენის სამი ალელი განსაზღვრავს. ყავისფერის განმსაზღვრელი Y^B ალელი დომინანტობს ვარდისფერისაზე–Y, ორივე კი ყვითლისაზე–y. ე.ი. $Y^B>Y>y$. ხოლიანობა დომინანტური ნიშანია (U), უხოლობა კი რეცესიული (u). ნიჟარის შეფერილობისა და ხოლიანობის განმსაზღვრელი გენები შეჭიდულია, ისინი ქმნიან ეროიან სისტემას. დამოუკიდებელი გენები განსაზღვრავენ ნიჟარაზე ხოლისა და ბაგის შეფერილობას.

ლოკოკინებით ფრინველები (ძირითადად შაშვი) იკვებებიან. ისინი ქვაზე ამტვრევენ ნიჟარას და გამოაქვთ შიგთაესი. დამსხვრეული ნიჟარების შესწავლით გამოირკვა, რომ მოქმედებს სელექციური ფაქტორები. მეტწილად ნადგურდებიან ფონისაგან განსხვავებული ინდივიდები. სადაც გარემო ფონი ეროვგაროვანია (მაგ. ბალახი, ტყის საფარი) სელექციური უპირატესობა ყვითელ და ყავისფერ უხოლო ფორმებს აქვთ. ჭრელ ფონზე (მაგ. საძოვრები, სხლტეები) მუქხოლიანი ფორმები იძენენ სელექციურ უპირატესობას. პოპულაციის საარსებო გარემოს ფონი იცვლება წლიური სეზონების მიხედვით. პოლიმორფულ პოპულაციებს ფონით განსხვავებული ადგილები უჭირავთ. მართალია, ფრინველების მიერ ფონისაგან განსხვავებული ინდივიდები განუწყვეტლივ ნადგურდება ვინაიდან არცერთ მათგანს არ გააჩნია სელექციური უპირატესობა, წლიდან წლამდე განსხვავებულ ფორმათა თანაფარდობა უცვლელია. გამოირკვა, რომ პოპულაციაზე მოქმედებს სხვა სელექციური ფაქტორებიც. კერძოდ, ფიზიოლოგიური. ყვითელი ინდივიდები აღვილად იტანენ სიცივეს, ასევე, უხოლო ფორმები ხოლიანებთან შედარებით სიცივისადმი მედეგები არიან.

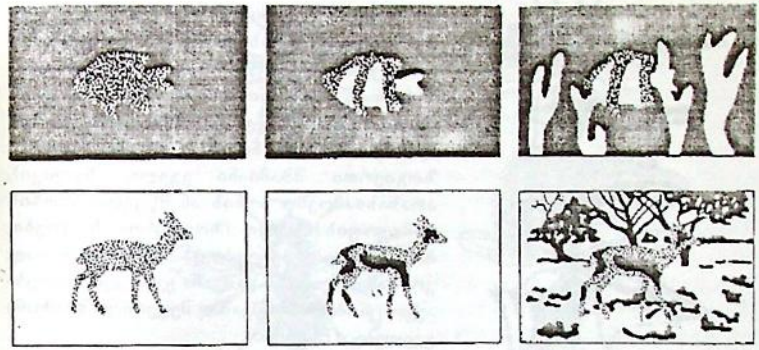
5.13 ადაპტაცია - ბუნებრივი გადარჩევის შედეგი

ადაპტაცია არის ორგანიზმთა მორფოლოგიურ, ქცევით, პოპულაციურ და სხვა ნებისმიერ თავისებურებათა ერთობლიობა, რომელიც ხელს უწყობს კონკრეტულ საარსებო გარემოში სახეობის არსებობას. ადაპტაცია ბუნებრივი გადარჩევის მოქმედების შედეგად ყალიბდება. ტერმინი „ადაპტაცია„ ორი მნიშვნელობით-შეგუების წარმოქმნის პროცესის (ადაპტაციოგენეზი) და ოვით მისი შედეგის (ადაპტაციური ნიშნის) აღსანიშნავად იხმარება. ადაპტაცია ინდივიდის სასიცოცხლო სტადიის ნებისმიერ ეტაპზე ყალიბდება. ჩ.დარვინის მიერ ორგანული სამყაროს ევოლუციის შექანიზმების აღმოჩენამ დაადასტურა, რომ მთელი ევოლუცია არსებითად ადაპტაციაა. ამიტომაც ევოლუცია შეიძლება განხილულ იქნეს, როგორც ადაპტაციის წარმოქმნის, განვითარებისა და გარდაქმნის პროცესი. ვიწრო მნიშვნელობით ადაპტაცია არის კონკრეტული მორფოფიზიოლოგიური თვისებების ჩამოყალიბება, რითაც ორგანიზმი შესაბამის საარსებო გარემოს ეგუება და სიცოცხლის შენარჩუნებასა და შთამომავლობის დატოვებას ემსახურება.

+ ადაპტაციის მაგალითები

მფარველობითი (არიპტული) შეფერილობა. მფარველობით შეფერილობაში იგულისხმება გარემო ფონთან ორგანიზმის შეფერილობის მსგავსება, რის გამოც ცხოველი ძნელად შესამჩნევი ხდება. იგი პასიური თავდაცვის საშუალებაა. მფარველობითი შეფერილობა ფართოდ არის გავრცელებული ცხოველთა სამყაროში. იგი გამოიყენება მტაცებელთაგან თავდასაცავად. მაგრამ ამგვარი თავდაცვითი ფორმა ხშირად გვხვდება მტაცებლებშიც, რაც ხელს უწყობს შეუმჩნეველად ჩაუსაფრდეს ან მიეპაროს მსხვერპლს. მფარველობითი შეფერილობა ონტოგენეზის ნებისმიერ სტადიას ახასიათებს. ხვლის პლანქტონის მრავალი ცხოველის კვერცხები, ლარვები და ზრდასრული ფორმები გამჭვირვალე და მტრებისათვის შეუმჩნეველია. კვერცხები, რომლებსაც მწერები ფოთლებზე და ყლორტებზე დებენ, მწვანეა, იქედან გასული ლარვებიც მეტწილად მწვანე ფერისაა. ფრინველები, რომლებიც ბუდეს ფარულ ადგილას (ხორო, ხის ფუღუროდა მისთ.) იშენებენ, კვერცხებს თეთრს დებენ, ხოლო რომლებიც ღია ადგილებში იშენებენ ბუდეს, კვერცხები ნაირგვარი შეფერილობისაა და ეხამება გარემო ფონს. როგორც ბუდე, ისე კვერცხები მტაცებლებისათვის ნაკლებშესამჩნევია.

ზრდასრული ცხოველების უმეტესობა ეხამება გარემო ფონს. მწვანე გარემოში მობინადრე ცხოველი უმეტესად მწვანე ფერისაა. მაგალითისათვის შეიძლება დავასახელოთ კუტკალია, მწვანე ხოქელა, მწვანე ბაყაყი, ვასაკა, მწვანე ხვლიკი, ხის გველი და სხვ. ნექტონურ თევზს ხშირად ვერცხლისფერი შუცელი და შურა მწვანე ზურგი აქვს, რის გამოც ზემოდან ხვლის წყლის ფონზე და ქვემოდან წყლის მოვერცხლისფრო ხედაპირზე ძნელად შესამჩნევია. ღამის ცხოველებს აქვთ ოდნავ შესამჩნევი რუხი შეფერილობა (ბუ, ღამურა, ვირთაგვა, თაგვი). უდაბნოს ცხოველები მოყვითალო ან შურა – ყვითელია (მაგ. უდაბნოს კალია, ვარანი, კობრა და სხვ.). ჰოლარულ მხარეში ცხოველები თეთრად არიან შეფერილნი (თეთრი დათვი, ყარყაცი, თეთრი ბუ და სხვ.). ზოგ ცხოველს (კამბალა, სკაროსი, ქამელეონი ....) შეფერილობა ძალე ეცვლება გარემო ფონის მიხედვით. ჩრდილოეთის ცხოველებს ახასიათებთ შეფერი-



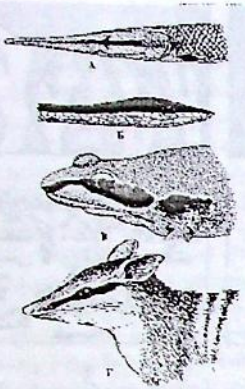
სურ.5.4.დანაწევრებითი შეფერილობის მნიშვნელობა:1-მთლიანი შეფერილობა; 2-დანაწევრებითი შეფერილობა; 3-დანაწევრებითი შეფერილობის ცხოველი შესაბამის ფონზე

ლობის სეზონური ცვლილება (სიასამური, ყარსაღი, თეთრი კურდღელი, თეთრი გნოლი და სხვ.).

ცხოველთა საერთო შეფერილობას თან ერთვის მოხატულობა (წინწკლები, ზოლები, ხაზები), რის გამოც იგი ფონს მეტად ემსგავსება. მაგ. ღამის პეპლები ხის ქერქზე გარინდულად ყოფნისას მოხატულობით მღიერებს ან დაბზარულ ქერქს ემსგავსებიან.

დანაწევრებითი (დიზრუპტული) შეფერილობა. მფარველობითი შეფერილობის ნაირსახეობას წარმოადგენს (სურ.5.4). ცხოველს აქვს კონტრასტული ზოლები ან ხალები (კერძოდ, სხეულზე მუქი და ნათელი უბნები ერთიმეორეს ენაცვლება). მკვეთრი ხაზებით თითქოს შემოსაზღვრულია სრულიად განსხვავებული სხეული, რომელიც არაცოცხალ საგნებს ან მცენარეებს ჩამოჰგავს. სხეულის ერთიანი ფორმა გარემო-ფონზე იკარგება. ამდაგვარი შეფერილობა ბუნებაში ფართოდაა გავრცელებული. იგი ახასიათებს ზოგიერთ მწერს, თევზებს, მცურავებს, ქვეწარმავლებს, ფრინველებსა და ძუძუმწოვრებს. მაგალითად ზებრა (Equs bohme, E.zebra) ვეფხვი (Panthera tigris) გაშლილ ველზეც კი 50-70 მ-ის მანძილიდან ძნელი შესამჩნევია სხეულზე არსებული ზოლებისა და გარემოს შუქ-ჩრდილების თანხვედრის გამო. რიგ შემთხვევაში მარტო ცხოველის კონტურები კი არ ერწყმის გარემოს, არამედ გაძნელებულია ცხოველის სასიცოცხლო მნიშვნელობის ორგანოების გარჩევა. მაგალითად, მრავალ არამონათესავე ცხოველს მსგავსი აქვთ მუქი ზოლებით ან ლაქებით შენიღბული თვალი (იხ. სურ.5.5). დიზრუპტული შეფერილობა ეფექტურია თავდასაცავად გარემოში ადეკვატური ფონის არსებობისას.

პამაფრთხილებელი (აპოსემატური) შეფერილობა. ცხოველს აქვს მკვეთრი, თვალშისაცემი შეფერილობა. იგი ახასიათებს ზოგ ცხოველს, რაც ძის საჭმელად

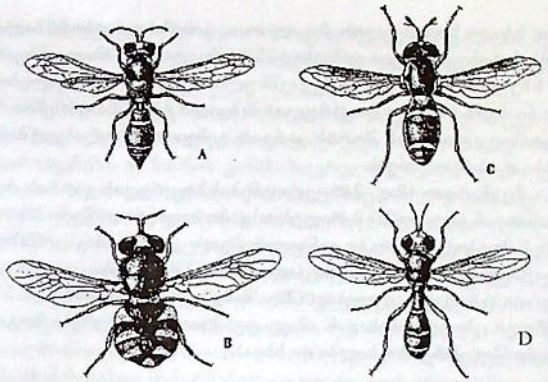


სურ.5.5.თვალის მუქი ზოლით შენიღბვა: ა-თევზი; ბ-გველი; გ-ბაყაყი; დ-ჩანთოსანი ჭიანჭველჭამია

უვარგისობაზე მიანიშნებს. გამაფრთხილებელი შეფერილობა ახასიათებს იმ ცხოველებს, რომლებსაც აქვს მსუსხავი უჯრედები (მრავალი აქტინია), შხამიანი ჯირკვლები და ეკლები (ზოგი თევზი და მწერი), შხამიანი სხეული ან ლორწო (სალამანდრა, გომბეშო, ვასაკა, ზოგიერთი შხამიანი გველი, ხვლიკი), არასასიამოვნო სუნის ან მწველი სითხის გამოყოფის უნარი (ზოგიერთი ხოჭოები, ბაღლინჯოები, პეპლები და სხვ.). მაგალითად, კრაზანას და ბაზს კაშკაშა ყვითელი ზოლები აქვთ, ცნობილია კაშკაშად შეფერილი შხამიანი გველებიც (Elapidae).

მიმიკრია. მფარველობითი შეფერილობის ერთ-ერთი ნაირსახეობაა. მიმიკრია არის ერთი სახეობის ცხოველის მიმსგავსება კარგად დაცულ და საჭმელად უვარგის არამონათესავე სახეობებთან ან არაცოცხალ საგნებთან. მაგალითად, პეპელა მზომელას მატლი საშიშროების შემთხვევაში ხის ტოტზე იჭიმება და ირინდება და ხის როკს ემსგავსება. ჩოქელა სხეულის ფერითა და ფორმით მარცვლოვანთა ფოთოლს ემსგავსება, ჩხირულები ხის ტოტებს ემსგავსებიან.

ვიწრო მნიშვნელობით მიმიკრია (ე.წ. მიმეტიზმი) საჭმელად უვარგისი და კარგად დაცული გენეტიკურად არამონათესავე სახეობასთან მსგავსების აღსანიშნავად იხმარება. ცხოველებში გამოყოფენ ორ ფორმას: ბეიტსისა და მიულერის მიმიკრიას. ბეიტსის მიმიკრიის დროს (პირველად აღწერა გამოჩენილმა ბუნებისმეტყველმა და მოგზაურმა გ.ბეიტსმა) საჭიროა საარსებო გარემოში იყოს მოდელები (საჭმელად უვარგისი ან შხამიანი ცხოველები) და იმიტატორები (სურ.5.6). მოდელს უწოდებენ იმ ინდივიდს, რომელსაც ბაძავენ, იმიტატორს კი, რომელიც მიბაძვით ემსგავსება მოდელს. მიბაძვითი მსგავსება მხოლოდ გარკვეულ პირობებში გამოდგება. მოდელს უნდა ჰქონდეს გამაფრთხილებელი (აპოსემატური) შეფერილობა და რაოდენობრივად უნდა ჭარბობდეს იმიტატორს. მოდელი და იმიტატორი ერთსა და იმავე ტერიტორიაზე უნდა ბინადრობდნენ და უნდა ჰქონდეთ მსგავსი ინსტინქტები. წინააღმდეგ შემთხვევაში მიმიკრია იმიტატორისათვის არ არის სასარგებლო. მტაცებლები ადვილად ამჩნევენ „სიყალბეს„ და იწყებენ მათ განადგურებას. მაგ. პეპლების ოჯახის ჰელიკონიდების წარმომადგენლები, რომელთაც გამაფრთხილებელი შეფერილობა და არასასიამოვნო სუნი აქვთ, ემსგავსებიან საჭმელად ვარგის ამაზონის ველის პეპლებს თეორულასებრთა ოჯახიდან. ძრავალი მწერი ბაძავს ნესტრიან მწერებს. ბეიტსის მიმიკრია აღწერილია ხერხემლიან ცხოველებშიც. მაგალითად, გუგულის მიმსგავსება ქორთან. მარჯნისებრ ასპიდს (Micrurus frontalis, აღენიშნება მორიგეობით განლაგებული შავი, წითელი და ყვითელი ირგვლივი ზოლები) იმიტირებს ამერიკული ანკარა სიმოფისი (Simophis rhinostoma).



სურ.5.6.ბეიტსის მიმიკრია ბუზებში (ბაძავენ კრაზანას). A)პოლიმორფული შეფერილობის კრაზანა ოდინერი (Odinerus parientum); B)ბუზი სტრატიომია (Stratyomia chamaeleon) კრაზანას ბაძავს მუცლის შეფერილობით და ულვაშების ფორმით; C)ბუზი-სილფიდა (Chrysotoxum bicinetum) კრაზანას ბაძავს შეფერილობით და ნაწილობრივ სხეულის ფორმით; D)ბუზი-თავდიდა (Conops flavipes) გარეგნობით წარმოადგენს ზოგიერთი კრაზანას ასლს

ზოგჯერ იმუნური ფორმები ერთიმეორეს ბაძავენ. ეს მოვლენა პირველად გამოჩენილმა ენტომოლოგმა ფ.მიულერმა აღწერა. მიმიკრიის ამ ფორმას მიულერის მიმიკრიას უწოდებენ. სამხრეთ ამერიკაში გავრცელებული პეპლების სხვადასხვა ოჯახების წარმომადგენლები (Danaidae, Neotropidae, Heliconidae) ერთიმეორეს ემსგავსებიან და ისინი ერთად ბინადრობენ. ამ იმუნური პეპლების ურთიერთმიბაძვით „მიმიკრიის რგოლები„ წარმოიქმნება. ფრინველები იმუნურ ფორმებს საკუთარი გამოცდილების საფუძველზე ცნობენ. პეპლების გარკვეული ნაწილი ახალგაზრდა ან გამოუცდელი ფრინველების მსხვერპლი ხდება. პეპლების ეს რაოდენობა სხვადასხვა სახეობების პოპულაციათა შორის ნაწილდება, რის გამოც ამა თუ იმ სახეობის ინდივიდთა ელიმინაცია მცირდება.

მცენარეებში მიმიკრია ძირითადად სასარგებლო ცხოველთა მიზიდვასა და მავნე ცხოველთა დაშინებას ემსახურება. მაგალითად, ჭინჭარს (მოდელი) ძლიერ ემსგავსება სრულიად სხვა ოჯახში გაერთიანებული ჭინჭრის დედა (იმიტატორი). ზოგიერთი მცენარე (იმიტატორი) მხოლოდ გარკვეული ორგანოთი ემსგავსება სხვა მცენარეებს (მოდელს) და ამით ატყუებს ცხოველებს. მაგალითად, უნექტრო ყვავილები ემსგავსებიან ნექტრიანებს და მწერებს დასამტვერად იზიდავენ. ჯადვარის ყვავილი ემსგავსება მდედრ ფუტკარსა და კრაზანას და მამრ ინდივიდს იზიდავენ. ზოგიერთი მწერიჭამია მცენარის ფოთოლი ყვავილს ბაძავს ფორმით და გამოყოფს სურნელოვან მწებავარე ნივთიერებას (მაგ. დროზერა, ვენერას ბუზიჭერია).

პასიური თავდაცვის სხვა საშუალებებს მიეკუთვნება ისეთი სტრუქტურები და თავისებურებები (სამარჯვეები), რაც არსებობისათვის ბრძოლაში სიცოცხლის შენარჩუნებას ემსახურება. ზოგიერთი ცხოველი გარედან დაფარულია

მკვრივი, სქელი საფარველით. მაგალითად, კიბოსა და კიბორჩხალას აქვს ჯავშანი, ხოჭოებს ქიტინოვანი ზედა ფრთები და საფარველი. ჯავშნითაა დაფარული ეკალკანიანების სხეული. კუს სხეული შეჯავშნულია ძლიერი ფურცლებისაგან შემდგარი ბაკნით. ნიანგის სხეული დაფარულია მსხვილი რქოვანი ფარებით. ძუძუმწოვრების თანამედროვე ფორმებს შორის კარგად განვითარებული ჯავშანი აქვთ ჯავშნიანებსა და პანგოლინებს.

მცენარეთა (მაგ. მარცელოვნების) უჯრედის გარსის მინერალიზაციის (კაჟოვანაობა ან კალციუმის მარილებით) გამო ზოგიერთი მწერი მას არ ჭამს. ზოგიერთ მცენარეს მოპოვება კარგად განვითარებული ეკლები (მაგ. კოწახური, კაქტუსი და სხვ.) და ქაცვები (მაგ. ასკილი, მაყვალი და სხვ.), რომლებიც იცავენ ცხოველებისაგან. ზოგიერთი ცხოველი ეკლებით (მაგ. მაჩვხლარბა, ზღარბი და სხვ.) თავს იცავს მტაცებელი ცხოველებისაგან. ამავე ფუნქციას ემსახურება ზოგიერთ მცენარეში ბუსუსები (მაგ. ჭინჭარი, სალბი და სხვა).

ადაპტაციის კლასიფიკაცია და წარმოქმნის გზები

ადაპტაციას ავჯგუფებენ წარმოშობის, სხვადასხვა გარემოს ასპექტებისადმი კუთვნილების და მასშტაბის მიხედვით.

წარმოშობის გზების მიხედვით გამოყოფენ **პრეადაპტაციურ, კომბინაციურ და პოსტადაპტაციურ** ადაპტაციებს. პრეადაპტაციის გზის დროს პოტენციური ადაპტაციური ცვლილების წარმოქმნა ხდება გაცილებით ადრე, ვიდრე ანებით კი ხორციელდება მისი რეალიზაცია შეცვლილ საარსებო გარემოში. მუტაციური პროცესისა და შეჯვარების (რეკომბინაციის) მეშვეობით სამობილიზაციო რეზერვი იქმნება (იხ.5.4). ახალ საარსებო გარემოში შესაგუებლად ხდება მათი ნაწილის გამოყენება, ახალი შეგუების ჩამოსაყალიბებლად. გენოფონდში ფარულად არსებული ადრე წარმოქმნილი მუტაციის ადაპტაციურ ნიშნად გარდაქმნის კარგი მაგალითია ჩვენ მიერ ზემოთ განხილული ინდუსტრიული მელანიზმის მოვლენა (იხ.5.11). ბაქტერიაში ფაგისადმი რეზისტენტულობის განმსაზღვრელი გენის ინდუქცია ადრე ხდება, ხოლო მისი რეალიზაცია შესაბამის გარემოში (ფაგით დასნებოვნებისას) მიმდინარეობს. იმავე მოვლენას ვხედავთ ბაქტერიაში ანტიბიოტიკებისადმი რეზისტენტული ნიშნის ჩამოყალიბების დროს. ანტიბიოტიკებიან არეში მოხვედრისას გადარჩებიან და შთამომავლობას ტოვებენ მხოლოდ ის ორგანიზმები, რომლებიც რეზისტენტულობის განმსაზღვრელ გენებს შეიცავენ.

ახალი მუტაციების ერთმანეთთან და გენოტიპთან უროიეროქმედების გზით ყალიბდება **კომბინაციური** ადაპტაციები. მუტაციის ეფექტი დამოკიდებულია იმ გენოტიპურ გარემოზე, რომელშიც ახალი მუტანტური ალელები აღმოჩნდებიან. შეჯვარების მეშვეობით მუტანტური ალელების შემცველ გენოტიპთა ნაირგვარი ვარიანტები-კომბინაციები მიიღება. სხვადასხვა გენებთან დამოკიდებულების კვალობაზე მუტანტური ალელების ფენოტიპური გამოვლენის ეფექტი გენოტიპურ ვარიანტებს განსხვავებული ექნებათ. შესაძლებელია, რომ ნიშნის ფენოტიპური გამოვლენა გაძლიერდეს (კომპლემენტაცია) ან დაითრგუნოს (ეპისტაზი) ან მრავალი ადიტიური გენის მოქმედებით გრადუირებული გახდეს (პოლიმერია). ყველა

შემთხვევაში ერთი ადაპტაციის მეორეით სწრაფად შეცვლის რეალური შესაძლებლობა იქმნება. მიაჩნიათ, რომ ადაპტაციის ჩამოყალიბების ეს გზა ყველაზე ფართოდაა გავრცელებული ბუნებაში.

პოსტადაპტაციური გზით ადაპტაციის წარმოქმნის შემთხვევაში ძველი ნიშნის რედუქცია ხდება. ზოგჯერ ადრე ჩამოყალიბებული ნიშან-თვისებები სრულიად სხვა მიზნით გამოიყენება. ამ ნიშნის განმსაზღვრელი გენები რეცესიულ მდგომარეობაში გადადიან. ისინი გენოფონდის სამობილიზაციო რეზერვში ჩაერთვებიან. ხდება გენების შენარჩუნება პოპულაციაში, რომლებიც დრო და დრო ფენოტიპურად ატავისტური ნიშნის სახით ვლინდებიან. თუ გენები ახალ საარსებო გარემოში სასარგებლო აღმოჩნდება, მაშინ ისინი ახალი ადაპტაციური ნიშან-თვისების განვითარებას იწვევენ. ამრიგად ადრე ადაპტაციური მნიშვნელობის მქონე ნიშანთა ნაწილი, რომელთაც ადაპტაციური მნიშვნელობა დაკარგეს, შესაძლოა ახალ გარემოში კვლავ ადაპტაციური აღმოჩნდეს. მეტწილად არაადაპტაციური ღირებულების მქონე ნიშნები რუდიმენტების სახით შემორჩებიან და ევოლუციის პროცესში იკარგებიან.

სხვადასხვა ბიოტოპში უარმყოფელი კუთვნილების მისაღები ადაპტაციები განსხვავებულია. ადაპტაცია ბიოტური გარემოს ამა თუ იმ ცვლილების კვალობაზე ყალიბდება. იგი სიცოცხლის ორგანიზაციული დონის შესაბამისად შეიძლება დაიყოს მოლეკულურ, უჯრედულ, ორგანიზმულ, პოპულაციურ და ბიოცენოზურ არეებად. მოლეკულურ დონეზე ადაპტაციებით ყალიბდება გენოტიპი, როგორც ერთიანი და რთული სისტემა; იგი განსაზღვრავს გენთა დომინირების ხასიათს და კოადაპტაციის (ურთიერთშეგუების) განვითარებას. ამ დონეზე შეინიშნება მოლეკულათა ადაპტაციური ორგანიზაცია და მათი ურთიერთქმედება. იგი განაპირობებს მოლეკულათა ავტორეპროდუქციასა და ბიოპოლიმერების კონსტრუირებას. უჯრედულ დონეზე შეინიშნება მრავალი ორგანოიდის რთული სტრუქტურული ორგანიზაცია და მულტიფუნქციონირება, რის შედეგადაც უჯრედი ერთიანი რთული სისტემის ფორმას იძენს. ინდივიდის დონეზე ადაპტაციები შეიძლება იყოს მორფოლოგიური, ფიზიოლოგიური და ეთოლოგიური (მრავალი მაგალითი ზემოთ უკვე განვიხილეთ). პოპულაციურ გარემოში ყალიბდება პოპულაციურ-საზოგადოებრივი ადაპტაციები. მათ მიეკუთვნება პოპულაციის ჰეტეროგენულობა, სქესობრივი პროცესი, სიმჭიდროვე და მისთ.

მასშტაბის მიხედვით გამოყოფენ: 1.**სპეციალიზებულ** ადაპტაციებს, რომელიც სასარგებლოა მხოლოდ ლოკალურ საარსებო პირობებში. მაგ. ენის აგებულება ჭიანჭველაჭამიაში, გრძელი ენა და მოკლე სატეხისებური ფორმის ნისკარტი კოდალაში, სამ-სამი თითით საკიდურა კიდურები ზარმაცაში, რითაც ხეზე ცხოვრების ნიროან არის შეგუებული; 2.**ზოგად ადაპტაციებს**, რომელიც ნაირგვარ გარემო პირობებში ფართო სპექტრისთვისაა სასარგებლო. მაგ. ხერხემლიანებში გულისხმძარღვთა, საჭმლის მომნელებელი, სასუნთქი და ნერვული სისტემების აგებულება. ძუძუმწოვრებში ცოცხალმშობიარობა, მცენარეებში ფოტოსინთეზის შექანიზმები და სხვ.

ადაპტაციის წარმოშობის აუცილებელი წინა პირობაა ელემენტარული ევოლუციური მასალის-მემკვიდრული ცვალებადობის არსებობა. იგი უნდა დაექვემდებაროს ევოლუციის ელემენტარული ფაქტორების, უპირველეს ყოვლისა ბუნებრივი გადარჩევის მოქმედებას. პოპულაციაში სასარგებლო გენების შემცველი

გენოტიპების ფორმირება ადაპტაციას ჯერ კიდევ არ წარმოადგენს. სელექციური ღირებულების მქონე გენოტიპების ჩამოყალიბება არის ელემენტარული ადაპტაციური მოვლენა. ელემენტარული ადაპტაციური მოვლენა არ ნიშნავს ადაპტაციის ჩამოყალიბებას. ადაპტაციის წარმოშობა ხდება მას შემდეგ, როდესაც პოპულაციაში გარემოს ელემენტების მიმართ სპეციალიზებული ნიშანი წარმოიქმნება. თუ ჩამოყალიბებული ნიშნით პოპულაციაში ინდივიდთა ელიმინაცია ქვეითდება, ასეთ ნიშანს სელექციური ღირებულება ენიჭება. როდესაც ნიშანი მამოძრავებელი გადარჩევის მოქმედებით მიესადაგება საარსებო გარემოს ელემენტებს, მასზე მოქმედებას იწყებს მასტაბილიზებელი გადარჩევა და პოპულაციაში მისი შენარჩუნება ხდება. როდესაც ნიშანი სელექციურ მნიშვნელობას კარგავს, ე.ი. არ ექვემდებარება მამოძრავებელი, მასტაბილიზებელი ან დიზრუპტული გადარჩევის მოქმედებას, იგი რედუცირდება და ქრება. ამრიგად, ადაპტაციის ჩამოყალიბება და მისი სრულყოფა ბუნებრივი გადარჩევის მოქმედების შედეგად ხორციელდება.

ნებისმიერი ადაპტაცია კონკრეტული საარსებო პირობებისათვის ყალიბდება. იგი უზრუნველყოფს ინდივიდის გადარჩენას და შთამომავლობის დატოვებას მხოლოდ იმ კონკრეტულ პირობებში, რომელშიც ევოლუციის ელემენტარული ფაქტორების ზემოქმედებით ჩამოყალიბდა. მაგრამ ამ პირობებისთვისაც ადაპტაცია შეფარდებითია. მაგ. კუს ჯავშანი ეფექტურად იცავს ზოგიერთი თავდამსხმელისაგან, მაგრამ არაეფექტურია მტაცებელი ფრინველების წინააღმდეგ. მტაცებელი ფრინველი ბრჭყალებით იტაცებს ცხოველს, ააქვს ჰაერში და ჩამოაგდებს. ბაკანი სკდება და სხეული შიშვლდება. მრავალი ფრინველი მფარველობითი შეფერილობით საიმედოდ ეხამება გარემო ფონს, მაგრამ სუნი ააშკარავებს და მტაცებლის მსხვერპლი ხდება. თეთრი კურდღელი თოვლზე შეუმჩნეველია, მაგრამ, ტყეში ხეების შუქ ფონზე, თუ თოვლი ადრე არ მოვიდა, მაშინ ასეთი შეფერილობა მას ააშკარავებს. მრავალი ცხოველი არ ეტანება ეკლიან მცენარეს, მაგრამ ზოგიერთი ცხოველი მათ საკვებად იყენებს (მაგ. აქლემი იკვებება ცერცვეკალათი). ყველა ეს ფაქტი მოწმობს, რომ ადაპტაცია შეფარდებითი ხასიათისაა.

5.14. სახეობა და სახეობათა წარმოქმნა

სახეობა-ევოლუციის პროცესის ძირითადი ეტაპი

პოპულაციაში მიმდინარე მიკროევოლუციურმა პროცესებმა შეიძლება გამოიწვიონ ახალი სახეობების წარმოქმნა, რაც ორგანული სამყაროს ევოლუციის მნიშვნელოვანი და ცენტრალური ეტაპია. ტერმინი „სახეობა„ ჯერ კიდევ არისტოტელეს შრომებში გვხვდება. იგი ამ ტერმინს მსგავსი ცხოველების აღსანიშნავად იყენებდა. სახეობის ცნებას არისტოტელესთან ლოგიკური და ფილოსოფიური დატვირთვა აქვს.

სახეობის ბიოლოგიური კონცეფცია ჯ.რეიმ (1627-1705) წამოაყენა. მან სახეობას სისტემატიკური კატეგორიის მნიშვნელობა მიანიჭა. სახეობის შესახებ თეორიას საფუძველი შვედმა ნატურალისტმა კ.ლინემ ჩაუყარა. იგი თავის ნაშრომში „ბუნების სისტემა„ (1735) სახეობას განიხილავდა როგორც სისტემატიკის ძირითად

სტრუქტურულ ერთეულს. მისი შეხედულებით სახეობა არის ბუნებაში რეალურად არსებული უნივერსალური დისკრეტული კატეგორია, რომელიც მდგარადი და უცვლელია.

ბუნებაში სახეობის მუდმივობისა და მდგრადობის ფაქტებმა ხელი შეუწყო მისი უცვლელობისა და შექმნის იდეის გაბატონებას (ე.წ.კრეაციონიზმი). ამ იდეას დაუპირისპირდა ტრანსფორმიზმი-მოძღვრება სახეობათა ცვლილების შესახებ. ჟ.ბ.ლამარკი თავის ევოლუციურ თეორიაში უარყოფდა სახეობის დისკრეტულობას, ბუნებრივია, აქედან გამომდინარე მის რეალურად არსებობას ბუნებაში. მას მიაჩნდა, რომ სახეობა და სხვა სისტემატიკური ერთეულები ხელოვნურად გამოგონილი კატეგორიებია, რათა ადვილად მოახდინონ ბუნებაში არსებული ფორმების დაჯგუფება. ჩ.დარვინის ევოლუციური კონცეფციის თანახმად სახეობა არის ბუნებაში რეალურად არსებული კატეგორია, რომელიც არამდგრადი და დინამიურია.

სახეობის თანამედროვე ბიოლოგიური კონცეფციის თანახმად, იგი არის რეალურად არსებული რთული გენეტიკური სისტემა. ერთ სახეობაში გაერთიანებული ინდივიდების გენთა ეროობლიობა ქმნის გენოფონდს. სახეობა სხვა სახეობის გენების შედწევისაგან საიზოლაციო მექანიზმებით არის დაცული. სახეობა ზოგიერთ შემთხვევაში შეიცავს შიგასახეობრივ ფორმებს (პოპულაციათა ჯგუფი, ქვესახეობა და მისთ.). ამ ფორმების წარმომადგენლები შეიძლება დრო და დრო ეროძეორეს შეეჯვარონ და ფერტილური შთამომავლობა წარმოქმნან. სახეობის თანამედროვე კონცეფციის ჩამოყალიბებაზე გადამწყვეტი როლი გენეტიკის უახლესმა მიღწევებმა შეახდინა. სახეობის თეორიის დამუშავებაში დიდი როლი შეასრულა ჯ.ჰაქსლის, ე.მაირის, ჯ.სიმპსონის, ფ.დობჟანსკის, ნ.ვავილოვისა და სხვათა გამოკვლევებმა.

როგორც უკვე აღვნიშნეთ, ორგანულ ბუნებაში ვხვდებით სახეობათა დიდ მრავალფეროვნებას. თანამედროვე ცხოველთა სამყაროში 1,4 მილ. სახეობაა აღწერილი, ხოლო მცენარეთა სამეფოში 267.540 სახეობა. ყოველ წლიურად ათეულობით ახალი სახეობის გაშოველენა ხდება. მიაჩნიათ, რომ ამჟამად დედამიწაზე 5 მილ. მეტი სახეობა სახლობს (გრანტი, 1991). სისტემატიკურ ტაქსონებში (გვარი, ოჯახი, რიგი, კლასი და მისთ.) სახეობები არათანაბრადაა განაწილებული. მაგ. მწერების კლასი 750 ათასზე მეტ სახეობას შეიცავს, ხოლო რეპტილიების ნისკარტთავიანისებრთა რიგში ამჟამად მცხოვრები ერთადერთი სახეობა ტუატარია (პატერია) (Sphenodon punctatus) არის გაერთიანებული, ასევე შიშველთესლიანების გინკოალების რიგში ამჟამად ერთი ოჯახია თავის ერთი სახეობით-გინკგოთი (Ginkgo biloba) წარმოდგენილი.

სადღეისოდ სახეობის ცნების საყოველთაოდ აღიარებული განმარტება ჯერ კიდევ არაა შემუშავებული. გვაქვს მხოლოდ სახეობის ფორმულირება. სახეობა წარმოადგენს ევოლუციის პროცესის ოვისობრივ ეტაპს. **სახეობა არის ინდივიდთა ერთობლიობა, რომელთაც აქვთ საერთო მორფოფიზიოლოგიური ნიშნები და ერთმანეთთან შეჯვარების შესარი. ქმნიან პოპულაციებების სისტემას, რომელებიც საერთო ცხოლიან ან წყვეტილ) არეალს იკავებენ.** ბუნებრივ პირობებში სახეობები არეალით გამოყნულია ერთმანეთისაგან და წარმოადგენენ გენეტიკურად მდგრად სისტემას. წარმოდგენილი სახეობის ფორმულირება არ არის სრული, მას უნდა დაემატოს რომ პოპულაციათა სისტემას შესაბამის ბიოცენოზში გარკვეული ეკოლოგიური ნიში უკავიათ და გააჩნიათ საერთო ევოლუციური ბედი.

სახეობები ერთმანეთისაგან მრავალი ნიშან-თვისებით განსხვავდებიან. ერთ გვარში გაერთიანებული მონათესავე სახეობები საერთო მსგავსების მიუხედავად. განსხვავდებიან მორფოლოგიურად, გეოგრაფიული გავრცელებით, ასევე ქცევებით, ფიზიოლოგიური ნიშნებით და სხვ. სახეობისათვის დამახასიათებელ ნიშან-თვისებებს კრიტერიუმებს უწოდებენ. კრიტერიუმებს ბუნებიდან სახეობის გამოსაყოფად იყენებენ. განასხვავებენ სახეობის რამდენიმე კრიტერიუმს.

მორფოლოგიური კრიტერიუმი. მეცნიერებაში გამოყენებულ კრიტერიუმთა შორის ერთ-ერთი უძველესია. იგი ეფუძნება ერთ სახეობაში გაერთიანებული ინდივიდების მორფოლოგიურ მსგავსებას. იგი ერთადერთი კრიტერიუმია, რომელიც პალეონტოლოგიაში გამოიყენება. ამ მეთოდით მსჯელობენ გარდაქმნის დონეზე. ერთიმეორეს ადარებენ თანამედროვე ფორმებს, ასევე თანამედროვე და წინაპარ ფორმებს. ერთ გვარში გაერთიანებული (მონათესავე) სახეობების ერთი ნაწილი მორფოლოგიურად მკვეთრად განსხვავდებიან, მეორე ნაწილი კი უმნიშვნელოდ. უკანასკნელ შემთხვევაში ახლომონათესავე სახეობები მორფოლოგიური ნიშნებით ერთიმეორეს ფარავენ, რის გამოც გაძნელებულია ბუნებიდან სახეობის გამოყოფა-იდენტიფიკაცია.

ჩრდილო ამერიკაში გავრცელებულ დროზოფილაში (D.pseudoobscura) უწინ აერთიანებდნენ ორ ქვესახეობას. გენეტიკური გამოკვლევებით დაადგინეს, რომ ისინი ორი რეპროდუქციულად იზოლირებული სახეობაა. ეს ორი სახეობა მორფოლოგიური ნიშნების მიხედვით (სანერწყვე ჯირკვლების ფორმა, ფრთების ზომა და სხვ.) უმნიშვნელოდ განსხვავდებიან. ასევე ეკოლოგიური თავისებურებებით განსხვავება უმნიშვნელოა. ერთი მათგანი სიცივის ამტანია, გავრცელებულია უფრო ჩრდილოეთით და მთიან რაიონებში. განსხვავდებიან სქესობრივი მომწიფების ვადებით: ერთი მწიფდება გამოჩეკიდან 32-36 სთ, მეორე კი 44-48 სთ-ის შემდეგ.

მორფოლოგიური კრიტერიუმით შეუძლებელია სახეობა-ორეულების გამოყოფა. სახეობა-ორეულები გარეგანი ნიშნებით თითქმის არ განსხვავდებიან, რადგან ევოლუცია სადიაგნოსტო ნიშნების დივერგენციის გზით არ მიმდინარეობდა. ასეთი ფორმები ხშირად გვხვდება უხერხემლო ცხოველებში, ხერხემლიანებში კი იშვიათია. იგი გამოვლენილია ამფიბიებში, ქვეწარმავლებში, ფრინველებში, ძუძუმწოვრებშიც (მცირე ზომის მღრღნელებში). ჩვეულებრივ მემინდვრიაში გვხვდება ორი სახეობა-ორეული. ერთს 46, მეორეს კი 54 ქრომოსომა აღენიშნება. ასევე შავ ვირთაგვაში ერთ სახეობას 38, ხოლო მეორეს 42 ქრომოსომა აქვს. ვინაიდან ზოგჯერ სახეობები მორფოლოგიურად მკაფიოდ არ არიან გამიჯნული, ხოლო ზოგიერთი მათგანი (სახეობა-ორეულები) პრაქტიკულად მორფოლოგიური ნიშნებით არ განსხვავდებიან, ამდენად მხოლოდ ეს კრიტერიუმი არ არის საკმარისი იმის განსასაზღვრავად, თუ რომელ სახეობას ეკუთვნის ინდივიდი.

ფიზიოლოგიურ-ბიოქიმიური კრიტერიუმი. ამ კრიტერიუმის მიხედვით ერთსა და იმავე სახეობაში გაერთიანებულ ინდივიდებში მსგავსი ცხოველქმედების პროცესები უნდა მიმდინარეობდეს. გამოირკვა, რომ მონათესავე სახეობები ფიზიოლოგიური და ბიოქიმიური ნიშნებით ნაკლებ განსხვავდებიან. გარკვეული სპეციფიკური სახის მაღალმოლეკულური ორგანული ნივთიერებების სინთეზი

დამახასიათებელია ცალკეულ სახეობათა ჯგუფებისათვის. მაგ. ალკალოიდების სინთეზით და დაგროვების უნარით ერთიმეორისაგან განსხვავდებიან ერთ ოჯახში (ძაღლყურძენასებრთა, შროშანისებრთა, ორქიდეისებრთა და სხვ.) გაერთიანებული სახეობები.

მოლეკულური ბიოლოგიის უახლესი მეთოდების გამოყენებით შესწავლილია C ციტოქრომისა და სისხლის პიგმენტების სტრუქტურა ცხოველებში. გამოირკვა, რომ ჰემოგლობინის სტრუქტურა სისტემატიკურად ახლო მდგომ სახეობებში მსგავსია. იგივე კანონზომიერება ვლინდება მრავალი სპეციფიკური ცილის მიმართაც. ინსულინი მხოლოდ ქორდიანებშია აღმოჩენილი. ამ ჰორმონის სტრუქტურის შესწავლამ ცხადყო, რომ ამინომჟავური შემადგენლობა ყველა მათგანში თითქმის მსგავსია. მსგავსი შედეგებია მიღებული გენოსისტემატიკის მეთოდების გამოყენებითაც. მონათესავე სახეობათა დნმ ნუკლეოტიდების თანმიმდევრობით უმნიშვნელოდ განსხვავდებიან. ზოგიერთი ამინომჟავის (მაგ. ლიზინი) მეტაბოლიზმის გზა მონათესავე ცხოველებში განსხვავებულია, მაშინ როდესაც სისტემატიკურად დაცლებულ სახეობებში (E.coli, N.crassa) ზოგიერთი ამინომჟავას (მაგ. არგინინი, ჰისტიდინი) მეტაბოლიზმი ერთნაირია. ამრიგად მხოლოდ ეს კრიტერიუმი არ არის საკმარისი სახეობის იდენტიფიცირებისათვის.

ᲒᲔᲝᲒᲠᲐᲤᲘᲣᲚᲘ ᲙᲠᲘᲢᲔᲠᲘᲣᲛᲘ. სახეობას განსაზღვრული არეალი უჭირავს, ე.ი. მისთვის ხელსაყრელ პირობებში გვხვდება. სახეობის არეალის განსაზღვრულობა ეკოლოგიური პირობების დისკრეტულობაზე მიუთითებს. ამიტომაც მას ეკოლოგიურ კრიტერიუმთან ერთიანებენ და ეკოლოგიურ-გეოგრაფიულ კრიტერიუმს უწოდებენ. არეალის ფართობი, ფორმა და განლაგება ბიოსფეროში მნიშვნელოვანი სახეობრივი ნიშანია. ყოველ სახეობას თავისთვის გამოსადეგი ტერიტორია უჭირავს, აქვს წარმოშობის კერა. იგი სპეციფიკურ დამოკიდებულებას ამყარებს არეალში გავრცელებულ სხვა სახეობებთან. სახეობის დახასიათება არაა სრულყოფილი, თუ არ მიეწინა არეალის სპეციფიკური თავისებურებები.

მაგრამ ამ კრიტერიუმსაც არაერთი ნაკლოვანება აღენიშნება, რის გამოც იგი სახეობის დასახასიათებლად უნივერსალური არ არის. არსებობენ ისეთი სახეობები, რომელთაც ერთი და იგივე არეალი გააჩნიათ. მაგალითად, ქონდარა ფიჭვს (Prunus pumila), მიდენდორფის არყს (Betula middendorfii), დაურიის ლარიქსს (Larix daurica) და სურნელოვან ვერხვს (Populus suaveolens). ისინი მჭიდროდ არიან ერთმანეთთან დაკავშირებულნი და ერთსა და იმავე თანასაზოგადოებაში შედიან. ბუნებაში გვხვდება კოსმოპოლიტი სახეობები, რომლებიც გავრცელებულია მთელი დედამიწის ზედაპირზე ან მის უმეტეს ნაწილში. ზოგ მათგანს ესა თუ ის კონტინენტი ან აკვატორია უკავია. ამ შემთხვევაში გეოგრაფიული კრიტერიუმი თავის მნიშვნელობას კარგავს. კოსმოპოლიტი სახეობებია მაგ. დელფინი ორცინუსი (Orcinus orca), ჭაობის ბუ (Asio flammeus), ყორანი (Corvus corax), ლელი (Phragmites communis), წყლის მრავალძარღვა(Alisma plantago), ჭინჭარი (Urtika dioica) და სხვ. სწრაფ-განსახლებად სახეობებს შემთხვევაში არეალი არ გააჩნიათ. არეალი არ გააჩნია ადამიანის მიერ უნებურად გავრცელებულ სახეობებს (სახლის თაგვი, ვირთაგვა, ტარაკანა, ოთახის ბუზი და სხვ.) და რუდერულ მცენარეებს. ამრიგად, მხოლოდ გეოგრაფიული კრიტერიუმი არაა საკმარისი სახეობის განსასაზღვრავად.

ვენეტიკური კრიტერიუმი სახეობის რანგის განსაზღვრისათვის მოავარი და ყველაზე სარწმუნო კრიტერიუმია. ამ კრიტერიუმის საფუძველია სახეობის გენეტიკური ერთიანობა. სახეობა არის ჩაკეტილი რეპროდუქციულად იზოლირებული სისტემა. იგი შედგება ღია ქვესისტემებისაგან-პოპულაციებისაგან. რეპროდუქციული იზოლაცია ძირითადი დებულებაა სახეობის ბიოლოგიურ კონცეფციაში. სახეობაში გაერთიანებულ პოპულაციებს შორის მიმდინარეობს გენთა ნაკადი. იგი ცალკეული პოპულაციის იზოლირებული გენოფონდების ინტეგრაციას უზრუნველყოფს, რაც სახეობის ერთიანობას განაპირობებს (იხ.5.8). არსებობს წყვეტილი არეალის მქონე სახეობები (მაგ. ციფერი კაჭკაჭი და სხვ.), ასევე აგამური ფორმები, ობლიგატური პართენოგენეზური სახეობები. ფორმები, რომლებიც მხოლოდ თვითგანაყოფიერებით მრავლდებიან. ზემოთ დასახელებულ ფორმებს შორის გენეტიკური ინფორმაციის გაცვლა არ მიმდინარეობს და ინდივიდთა გენეტიკური ერთიანობა არ წარმოიქმნება.

მეორე მხრივ, ხოგჯერ ახლო მდგომ სახეობებში გაერთიანებული ინდივიდები ერთმანეთს ეჯვარებიან და ფერტილურ შთამომავლობას წარმოქმნიან. ასეთ სახეობებში დამოუკიდებელი გენეტიკური სისტემის რღვევა არ ხდება. ამდენად სახეობა წარმოადგენს გენეტიკურად მდგრად სისტემას.

ოეორიულად შემუშავებული კრიტერიუმების პრინციპების პრაქტიკული გამოყენება გაძნელებულია. სახეობის დასადგენად ყველა კრიტერიუმის გამოყენება შეუძლებელია. კონკრეტულ შემთხვევაში ინდივიდების დაჯგუფების რანგის განსაზღვრა ხელმისაწვდომი კრიტერიუმებით ხორციელდება. მართალია, სახეობა დისკრეტული სისტემაა, მაგრამ თუ როგორ სახეობას ეკუთვნის ესა თუ ის ინდივიდი, მისი განსაზღვრა ყოველთვის არ არის ადვილი.

სახეობა ევოლუციის ეტაპია

პოპულაციის განხილვისას (იხ.5.2) აღვნიშნეთ, რომ მასში შესაძლებელია გამოიყოს გენეტიკურად ახლომდგომ ინდივიდთა დაჯგუფებები. ცხოველებში ასეთ ჯგუფებს დემებს, ხოლო მცენარეებში ბიოტიპებს უწოდებენ. სახეობაში კი არსებენ ზეპოპულაციურ დაჯგუფებებს, როგორიცაა ცხოველებში რასები და ქვესახეობები, მცენარეებში კი ეკოტიპები და ქვესახეობები. ამჟამად ყველა სამეფოსათვის საყოველთაოდ აღიარებული ერთიანი შეიგასახეობრივი რანგების ნომენკლატურა არ არსებობს.

ნებისმიერი სახეობა წარმოადგენს ორგანიზაციის სხვადასხვა დონეზე მყოფი იერარქიული რანგებისაგან შემდგარ რთულ სისტემას, ხოლო რანგებს შორის ინტეგრაცია გენეტიკური ინფორმაციის გაცვლის მეშვეობით ხორციელდება. მიუხედავად იმისა, რომ სახეობაში თავს იჩენს პოლიმორფიზმი და ჰეტეროგენულობა, სხვადასხვა იერარქიული დაჯგუფების არსებობისას, იგი ევოლუციური პროცესის უმცირესი დისკრეტული გენეტიკურად მდგრადი სისტემაა. სახეობის ბიოლოგიური არსი იმაში მდგომარეობს, რომ მას აქვს ნაირგვარი საიზოლაციო მექანიზმებით სხვა სახეობების გენთა ნაკადისაგან დაცული გენოფონდი. ერთი მხრივ სახეობა, როგორც ევოლუციის შედეგი, ერთიანი და მთლიანი სტაბილური სისტემაა; მეორე მხრივ იგი, როგორც ევოლუციური პროცესის საწყისი ეტაპი, დინამიურია, მკაფიო საზღვრები

არ გააჩნია და ლაბილურია.

ნებისმიერი სახეობა შედგება დისკრეტული, დამოუკიდებელი საკუთარი ევოლუციური ბედის მქონე ერთეულებისაგან-პოპულაციებისაგან. პოპულაციათა შორის კავშირი გენთა ნაკადით მყარდება, რის შედეგადაც ერთიანი რთული სისტემა წარმოიქმნება. გენთა ნაკადი ხელს უშლის ცალკეული პოპულაციასა და მის ჯგუფებში მნიშვნელოვანი ცვლილებების დაგროვებას. მისი მეშვეობით სახეობა რთული ინტეგრირებული სისტემის სახით არსებობს.

როდესაც პოპულაციათა შორის გენთა ნაკადი წყდება და მისი აღდგენა ხანგრძლივი დროის განმავლობაში არ ხდება, მაშინ ორი განსხვავებული პოპულაციური ღია სისტემიდან ორი დამოუკიდებელი განსხვავებული სისტემა წარმოიქმნება ანუ ადგილი აქვს ორი განსხვავებული სახეობის ჩამოყალიბებას. ახალი სახეობის წარმოშობით მთავრდება ცოცხალ ბუნებაში გრანდიოზული და მუდმივ მიმდინარე ევოლუციური პროცესის ერთ-ერთი უმნიშვნელოვანესი ეტაპი და იწყება მეორე ეტაპი. ამდენად ნებისმიერი სახეობა იმავდროულად არის ევოლუციური პროცესის თვისობრივი ეტაპი.

სახეობათა წარმოქმნა

საწყისი სახეობიდან ერთი ან რამდენიმე ახალი სახეობის წარმოქმნის პროცესს სახეობათა წარმოქმნა ეწოდება. სახეობათა წარმოქმნა არის გენეტიკურად ღია სისტემის (პოპულაცია) ჩაკეტილ სისტემად გარდაქმნის პროცესი. სახეობათა წარმოქმნა ხორციელდება სახეობის შიგნით მუდმივად მიმდინარე მიკროევოლუციის პროცესის შედეგად. სახეობათა წარმოშობაზე დაკვირვება ბუნებაში ძალზე ძნელია, რადგან მისი ხანგრძლივობა საკმაოდ დიდია. მის მექანიზმზე მხოლოდ თეორიული მსჯელობა შეიძლება. სახეობათა წარმოქმნის წამყვანი და ერთადერთი მიმართული ფაქტორი არის ბუნებრივი გადარჩევა. სახეობათა წარმოქმნა მიკროევოლუციის საბოლოო შედეგია. იგი სახეობის შიგა დონეზე პოპულაციების დიფერენცირებით იწყება, რომელიც დივერგენციის შედეგად ახალ სახეობებად გარდაიქმნებიან. სახეობის არეალში ელემენტარული ევოლუციური ფაქტორების მოქმედების შედეგად სხვადასხვა პოპულაციებში მიმდინარეობს ელემენტარული ევოლუციური მოვლენა-პოპულაციის გენეტიკური სტრუქტურის (გენოფონდის) მდგრადი, შეუქცევადი მიმართული ცვლილება. ევოლუციის ელემენტარული ფაქტორების ზემოქმედებით ასეთი ცვლილებები შეიძლება დაგროვდეს პოპულაციებში, რის შედეგადაც სხვაობა ღრმავდება, რასაც ქვესახეობების წარმოქმნა მოჰყვება. იგი ახალი სახეობების წარმოქმნის წინა ეტაპს წარმოადგენს. იზოლაციის ხანგრძლივი მოქმედების გამო გენთა ნაკადი წყდება, რის გამოც ასეთი პოპულაციები ან ქვესახეობები ახალ სახეობებად გარდაიქმნებიან. ამჟამად განასხვავებენ სახეობათა წარმოშობის ორ ძირითად გზას: ალოპატრულს და სიმპატრულს.

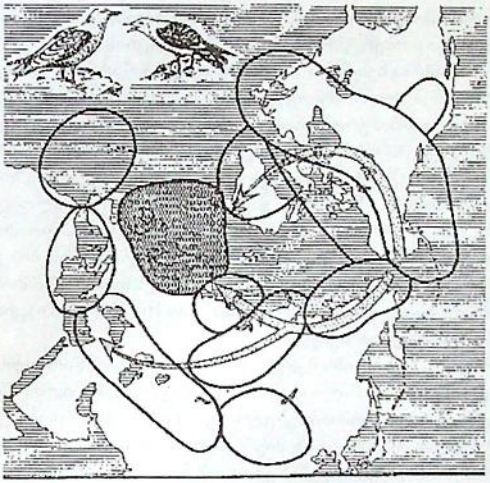
სახეობათა ალოპატრული წარმოქმნა. სახეობათა ალოპატრული წარმოქმნა ეწოდება სივრცობრივად იზოლირებულ პოპულაციათა დიფერენციაციას, რაც ისე შორს მიდის, რომ შემთხვევითი კონტაქტის დროს თავისუფალი შეჯვარება (პანმიქსია) შეუძლებელია. ახალი სახეობა შეიძლება არეალის პერიფერიაზე ჩამოყალიბდეს. იგი არის სახეობათა წარმოშობის ყველაზე ბუნებრივი და გავრცელებული

გზა. ახალი სახეობის ჩამოყალიბების ერთ-ერთი ხერხი დაკავშირებულია არეალის იზოლირებულ ნაწილებად დაყოფასთან. საწყისი, ფართო გავრცელების სახეობის ფრაგმენტაციის შედეგად შეიძლება ორი ან მეტი ახალი სახეობა ჩამოყალიბდეს. ამ გზით წარმოიშვა შროშანას გვარში (Convallaria) გაერთიანებული სახეობები. საწყისი სახეობა გავრცელებული იყო ევრაზიის ფოთლოვან ტყეში და დიდი არეალი ეჭირა. მეოთხეულ პერიოდში გამყინვარების შედეგად არეალი ნაწილებად დაიყო. მცენარე შემორჩა ამიერკავკასიის, სამხრეთ ევროპისა და შორეულ აღმოსავლეთის ტყიან ზოლში. ცალკეულ ტერიტორიაზე გადარჩენილი ფორმებიდან სამი დამოკიდებული სახეობა ჩამოყალიბდა, ევროპაში C.majalis. ამიერკავკასიაში C.trauscavcasica, შორეულ აღმოსავლეთში კი C.keiskii.

სახეობის ჩამოყალიბების მეორე ხერხი დაკავშირებულია საწყისი სახეობის არეალის გაფართოებასთან. არეალის გაფართოების დროს სახეობის პოპულაციები ახალ საარსებო გარემოში აღმოჩნდებიან. შემდგომ მიკროევოლუციურმა პროცესმა შეიძლება ახალი სახეობის წარმოქმნა გამოიწვიოს. ბალტიისა და ჩრდილოეთის ზღვების სანაპიროზე გავრცელებულია თოლიას ორი სახეობა: ვერცხლისფერა თოლია (Larus argentatus) და კლუშა თოლია (L.fuscus) (სურ.5.7). ეს ორი სახეობა ერთიმეორეს უკავშირდება ქვესახეობებით წარმოქმნილი უწყვეტი რგოლებით. ისინი ერთი მხრივ გვხვდება ჩრდილო ევრაზიაში, მეორე მხრივ გრენლანდიასა და ჩრდილოეთ ამერიკაში. ზემოთ დასახელებული სახეობების წარმოშობის ისტორია შემდეგია. ამ თოლიების წინაპარი რამდენიმე ათასი წლის წინათ ბერინგის სრუტესთან ბინადრობდა. იგი განსახლდა აღმოსავლეთით და დასავლეთით. ჩამოყალიბდა ქვესახეობებისაგან შემდგარი ორი უწყვეტი ჯაჭვი. ყველა მეზობელ ქვესახეობაში გაერთიანებული ინდივიდები ერთიმეორეს ევკვარებიან და ფერტილურ შთამომავლობას იძლევიან. ბალტიისა და ჩრდილოეთი ზღვის რაიონში აღმოსავლეთისა და დასავლეთის ჯაჭვის კიდურა ქვესახეობის რგოლები ერთიმეორეს შეხვდნენ. მიკროევოლუციის პროცესში ცალკეულ ქვესახეობებში ბიოლოგიურ განსხვავებათა დაგროვება საკმარისი აღმოჩნდა ორი დამოუკიდებელი სახეობის ჩამოსაყალიბებლად. თუ ორი სახეობის დამაკავშირებელი რომელიმე რგოლი გაწყდა, მაშინ ორი, სრულიად დამოუკიდებელი სახეობა ჩამოყალიბდება.

სახეობათა ალოპატრულ წარმოქმნას სივრცობრივი იზოლაციის ესა თუ ის ფორმა უძევს საფუძვლად. იგი შედარებით ნელა, ასეულ ათას თაობათა განმავლობაში მიმდინარეობს. დროის ასეთ დიდ შუალედში იზოლირებულ პოპულაციათა შორის ისეთი ბიოლოგიური ცვლილებები ყალიბდება, რაც მათ რეპროდუქციულ იზოლაციას იწვევს. სახეობათა ალოპატრული წარმოქმნა ყოველთვის სახეობრივი არეალის ფორმირებასთან არის დაკავშირებული.

სახეობათა სიმპატრული წარმოქმნა. სახეობათა სიმპატრული წარმოქმნის დროს ახალი სახეობის ჩამოყალიბების პროცესი ძველი სახეობის არეალში მიმდინარეობს. იგი რამდენიმე გზით შეიძლება განხორციელდეს. პირველი მათგანი დაკავშირებულია უეცარ გარდაქმნასთან (ე.წ.სახეობათა მყისიერი წარმოქმნა). იგი ავტოპოლიპლოიდიის დროს ხდება (იხ.3.5). სახეობათა ამგვარი წარმოქმნა ძირითადად მცენარეებისთვისაა დამახასიათებელი. მცენარეთა ზოგიერთ გვარში გაერთიანებული სახეობები ქრომოსომათა ჯერადი რიცხვით განსხვავდებიან. იგი



სურ.5.7.ვერცხლისფერი თოლიასა (Larus argentatus) და კლუშა თოლიას (L.fuscus) ქვესახეობების გავრცელება. გამოყოფილია ცალკეული ქვესახეობის არეალი. ჩრდილო-დასავლეთ ევროპაში (ორშაგი შტრიხი) კიდურა რგოლები ერთად სახლობს. ისინი ბუნებაში ერთიმეორეს არ ეჯვარება. ისრით ნაჩვენებია წარმოშობის ცენტრიდან (ბერინგის სრუტის რეგიონი) მათი განსახლების სავარაუდო მიმართულება

საწყის სახეობაში მომხდარი ქრომოსომათა რიცხვის პროპორციულად გადიდების შედეგია. ასეთ გვარებში გაერთიანებული სახეობები პოლიპლოიდურ რიგს ქმნიან. ძაღლყურძენას (Solanum) გვარში ქრომოსომათა ჰაპლოიდური კომპლექტი არის n=6. პოლიპლოიდური რიგი წარმოდგენილია 12, 24, 36, 48, 60.....146 ქრომოსომიანი სახეობებით. ბუნებრივი პოლიპლოიდური რიგები გვხვდება ვარდის, მარწყვის, ჭანგას, შვრიის და სხვ. გვარში.

პოლიპლოიდური ინდივიდები მეტწილად დიდი ზომისაა. რეპროდუქციულად იზოლირებული არიან საწყისი დიპლოიდი სახეობისაგან. ადვილად ეგუებიან მკაცრ საარსებო პირობებს. არქტიკისა და მაღალმთიანი რაიონების ფლორა მდიდარია პოლიპლოიდი ფორმებით. ცხოველთა სახეობათა წარმოქმნაში პოლიპლოიდების როლი უმნიშვნელოა. ისინი პართენოგენეზურ ცხოველებში (მაგ. ზოგიერთი მწერი, ეკალკანიანი და სხვ.) გვხვდება. ახალი სახეობის წარმოქმნა შეიძლება სხვა სახის მუტაციამაც (რობერტსონულმა ტრანსლოკაციამ) გამოიწვიოს (იხ.3.5). მცირე ზომის მღრღნელს ბრუცას (Ellobius talpinus) დიდი არეალი (უკრაინიდან მონგოლეთამდე) უჭირავს. ქრომოსომათა დიპლოიდური რაოდენობა აქვს 2n=54. თუმცა მდინარე სურხობ-ვიხშის (ალტაი) მიდამოებში გავრცელებულ ფორმებს 2n=16

ქრომოსომა აღმოაჩნდათ. ასეთი კარიოტიპი აკროცენტრული ქრომოსომების მეტაცენტრულ ქრომოსომებთან შეერთებით ჩამოყალიბდა. ამრიგად ახალი სახეობა-ორეული წარმოიშვა რობერტსონული ტრანსლოკაციის გზით.

მეორე არის სახეობათა ჰიბრიდოგენური წარმოქმნა. იგი მცენარეებისთვისაა დამახასიათებელი, რომელიც განსხვავებული სახეობების შეჯვარების გზით წარმოქმნილ ჰიბრიდებში, ქრომოსომათა რიცხვის გაორმაგებით (ე.წ. ალოპოლიპლოიდია) ხორციელდება (იხ.3.5). ზოგიერთი მეცნიერის მოსაზრებით მცენარეთა სახეობების 50%-ზე მეტი ჰიბრიდოგენული (ალოპლოიდები) გზითაა ჩამოყალიბებული. გვარ ხორბალში (Triticum) გაერთიანებული პოლიპლოიდური რიგი წარმოდგენილია 14, 28 და 42 ქრომოსომიანი სახეობებით. ტეტრაპლოიდ და ჰექსაპლოიდ სახეობებში ცალმარცვალა ხორბლისა და ეგილოფსის გენომებია გაორმაგებული. ასევე კულტურული ქლიავი (Prunus domenstica, 2n=48) წარმოიშვა კვრინჩხის (P.spinosa, 2n=32) და ალუჩის (P.divericata, 2n=16) ჰიბრიდიზაციისა და შემდგომ ქრომოსომათა გაორმაგების შედეგად.

სეზონური იზოლაციის შედეგად ახალ სახეობათა წარმოქმნა არის სახეობათა სიმპატრული წარმოქმნის მესამე გზა. მცენარეებში ცნობილია მკვეთრად გამოხატული გენეტიკურად დეტერმინირებული ფენოლოგიური რასები. ეს მოვლენა კარგად არის შესწავლილი ცინგერის მიერ ნახევრად პარაზიტ მცენარე ხრიალაზე (Alectorolophus major) დაკვირვების გზით (იხ.5.10). იგი ყამირ მდელოზე მთელი ზაფხულის განმავლობაში ყვავილობს. პოპულაციაში გვხვდება ადრე და გვიანმოყვავილე ფორმები. ეს ნიშანი გენეტიკურად არის დეტერმინირებული. ისინი საწყის ფორმებადაა მიჩნეული. სათიბ მდელოზე ადამიანის უნებური მოქმედებით (გათიბვა) შენარჩუნებულ იქნა ადრემოყვავილე ინდივიდები, საიდანაც ჩამოყალიბდა ადრემოყვავილე ფორმა (Al.m.aestivalis), მას შემდეგ, რაც წელწადში მდელოს ორჯერ გათიბვა დაიწყეს, ეს უკანასკნელი თავის მხრივ ორ ფორმად გაიყო: საადრეო საზაფხულო ფორმად (Al.m.vernalis) და საგვიანო საზაფხულო ფორმად (Al.m.polycladus). ისინი ერთმანეთისაგან რეპროდუქციულად იზოლირებულნი არიან. ამრიგად, ხრიალაში ერთი ფორმიდან გადარჩევის შედეგად რამდენიმე ფორმა ჩამოყალიბდა. თუ გადარჩევის პირობები შენარჩუნებული იქნება, მაშინ შესაძლებელია თითოეული მათგანისგან ახალი სახეობები ჩამოყალიბდეს.

„საგაზაფხულო„ და „საშემოდგომო„ ფორმები გვხვდება ცხოველებშიც (ზოგიერთი მწერი, სალამურა, თევზი და სხვ.). ეს ფორმები მორფოლოგიურად მსგავსია, გენეტიკურად კი განსხვავდებიან. სახეობათა სიმპატრული წარმოქმნისათვის დამახასიათებელია ძველი სახეობიდან მორფოფიზიოლოგიურად მსგავსი ახალი სახეობების წარმოქმნა.

მაკროევოლუციის კანონზომიერებანი

მიკროევოლუციის კანონზომიერებების განხილვის შემდეგ მოკლედ გავეცნოთ იმ ძირითად პროცესებსა და მოვლენებს, რომლებიც ზესახეობრივ კატეგორიებში მიმდინარეობს. ზესახეობრივი დონის ევოლუციური პროცესებისა და მოვლენების ერთობლიობას **მაკროევოლუცია** ეწოდება. მიკროევოლუციის პროცესი იწვევს პოპულაციების დივერგენციას, რომელიც ახალ სახეობათა

წარმოქმნით მთავრდება. ახლად ფორმირებულ სახეობებში ეს პროცესი როდი წყდება, არამედ შეუწერებლად აგრძელებს მოქმედებას მაკროევოლუციის დონეზე. ახლად წარმოქმნილ სახეობათა შორის ირღვევა შეჯვარების პროცესი, რაც გამორიცხავს განსხვავებათა ნიველირებას. მაკროევოლუცია განაპირობებს სახეობაზე მაღალი რანგის ორგანიზმთა ახალი დიდი ჯგუფების ჩამოყალიბებას და მათ ფილოგენეზურ გარდაქმნას.

მაკროევოლუცია ვლინდება როგორც მთელი ორგანიზმების, ისე მათი ცალკეული ნაწილების აგებულების გარდაქმნაში. იგი მიმდინარეობს გრანდიოზულ პერიოდში. მაგ. ახალი ოჯახებისა და რიგების წარმოქმნა მოიცავს ათეულობით მილიონ წელს, რაც გამორიცხავს ექსპერიმენტული შესწავლის შესაძლებლობას. მაკროევოლუციის შესასწავლად ძირითადად პალეონტოლოგიაში, ბიოგეოგრაფიასა და მორფოფიზიოლოგიაში დამუშავებულ აღწერილობით მეთოდებს იყენებენ. ბოლო პერიოდში მოლეკულური ბიოლოგიის მეთოდებიც დაინერგა (დნმ-ისა და ზოგიერთი ცილის სტრუქტურის შედარება). მაკროევოლუციას საფუძვლად უდევს იგივე ფაქტორები და პროცესები, რაც მიკროევოლუციას. ამდენად არ შეიძლება მათი მკვეთრი გამიჯვნა და დაპირისპირება.

5.15. ონტოგენეზის ევოლუცია

ევოლუციური ცვლილებები იწვევენ ონტოგენეზური განვითარების გარდაქმნას. ონტოგენეზი სიცოცხლის ერთ-ერთი ფენომენია. ამ დროს მიმდინარეობს ჩანასახის უჯრედებში არსებული მემკვიდრული ინფორმაციის რეალიზაცია. იგი ნებისმიერი ინდივიდის განუყოფელი თვისებაა. მარტივი ინდივიდური განვითარება ახასიათებთ ერთუჯრედიან ორგანიზმებს. ორგანიზაციის დონის ამაღლების კვალობაზე ევოლუციის პროცესში ხდებოდა ონტოგენეზური განვითარების გართულება და გახანგრძლივება. ისტორიული განვითარების პროცესში (ფილოგენეზში) მცენარეებსა და ცხოველებს ჩამოუყალიბდათ რთული სასიცოცხლო ციკლი. სხვადასხვა ტიპების, კლასების, რიგების წარმომადგენლებში ონტოგენეზის ხანგრძლივობა განსხვავებულია (იხ.ცხრ.5.4). იგი მნიშვნელოვანი სახეობრივი თავისებურებაა. სიცოცხლის ხანგრძლივობა ინდივიდებში განსაზღვრულია, რასაც გარკვეული ბიოლოგიური მნიშვნელობა აქვს. იგი განაპირობებს თაობათა მონაცვლეობას.

ონტოგენეზის ერთიანობა და მდგრადობა. ნებისმიერი ორგანიზმი ვითარდება და ყალიბდება როგორც ერთიანი ანუ მთლიანი. მისი სტრუქტურული და ფუნქციური ერთიანობა ემყარება ონტოგენეზური დიფერენცირების ურთიერთკავშირსა და ურთიერთქმედებას. ონტოგენეზური დიფერენცირების ეტაპები ურთიერთდაკავშირებულია. ისინი ერთიმეორეს ავსებენ. წინა ეტაპი მომდევნო ეტაპის საფუძველს წარმოადგენს. ორგანიზმის სტრუქტურებს შორის ევოლუციის პროცესში ჩამოყალიბდა მჭიდრო დინამიური კავშირი. ეს პროცესი ვლინდება ემბრიოგენეზის დროსაც. ნებისმიერი ბლასტომერი სხვებთან კავშირის დროს ვითარდება როგორც მთელის შემადგენელი ნაწილი. განვითარების ადრეულ ეტაპზე ბლასტომერებს თუ დავაცილებთ, თითოეული მათგანი დასაბამს აძლევს დამოუკიდებელ ორგანიზმს. რამდენიმე დაყოფის შემდეგ ბლასტომერებს შორის იმდენად მჭიდრო ფუნქციური კავშირი მყარდება, რომ ცალკეული ბლასტომერი კარგავს დამოუკიდე-

ცხრილი 5.4.ონტოგენეზის ხანგრძლივობა ზოგიერთ სახეობებში

სახეობა	ხანგრძლივობა
ციანობაქტერიები	რამდენიმე საათი
პენიცილიუში Penicillium notarum	რამდენიმე კვირა
აბედა სოკო Fomes fomentarius	25 წლამდე
ხორბალი Triticum vulgare	1 წლამდე
ვაზი Vitis vinifera	80-100 წელი
ვაშლი Malus domestica	200 წელი
კაკალი Juglans regia	300-400 წელი
ცაცხვი Tilia grandifolia	1000 წელი
მუხა Quercus robur	1200 წელი
მამონტის ხე Sequoia gigantea	5000 წელი
ფუტკარი Apis mellifera	5 წლამდე
ლოქო Silurus glanis	60 წელი
ვომბეშო Bufo Bufo	36 წლამდე
კუ Testudo sumeiri	150 წლამდე
ველური მტრედი Columba livia	30 წლამდე
აფრიკული სპილო Elephas maximus	60 წელი
გიბონი Hylobates lar	32 წლამდე

ბელ ორგანიზმად ჩამოყალიბების უნარს.

ონტოგენეზური დიფერენცირების პროცესში ნაწილებს შორის მყარდება ახალ-ახალი კავშირები. მაგ. ხერხემლიანებში გასტრულის წარმოქმნა იწვევს ექტოდერმისა და ენტოდერმის ფორმირებას, მაია ურთიერთქმედება კი ნერვული მილისა და ქორდის ფორმირებას და ა.შ.

ბუნებრივი გადარჩევა ხელს უწყობს ისეთი ფენოტიპების ჩამოყალიბებას, რომელთაც განვითარების ეტაპებს შორის მჭიდრო კავშირი აღენიშნებათ. სიცოცხლის ევოლუციას თან ახლდა ონტოგენეზის ერთიანობისა და დიფერენცირების თანდათანობითი გაძლიერება. ცხოველთა ემბრიოგენეზში გამოვლენილია ჩანასახის განვითარების როგორც მეტად მგრძნობიარე, ისე მდგრადი პერიოდები.

ონტოგენეზის ძირითადი მიმართულება მისი ავტონომიზაციაა. ონტოგენეზის ავტონომიზაცია ხორციელდებოდა მორფოგენეზის განმსაზღვრელი გარემო ფაქტორების შინაგანი ფაქტორებით შეცვლის კვალობაზე. ევოლუციის პროცესში ის მაღეტერმინირებელი გარემო ფაქტორები, რომლებიც პერიოდულად მეორდებოდნენ, მორფოგენეზის ნორმალურ პირობად გადაიქცნენ. ისტორიული განვითარების პროცესში ჩამოყალიბდა რეგულაციის ისეთი მექანიზმები, რომ შეშთხვევითი მოქმედების ხანმოკლე ფაქტორები მორფოგენეზის სტაბულაციას ვერარ ახდენენ.

მაგალითად, უმღაბლეს ხერხემლიანებში, კერძოდ აქსოლოტლში რესპირატორული ნაწილი მას შემდეგ ფორმირდება, როდესაც ფილტვის ტომსიკები ჰაერით

იჭიმება, ე.ი.სუნთქვის შემდეგ. გარემო მასტიმულირებელ გავლენას ახდენს ნიშნის ჩამოყალიბებაზე. ხმელეთზე ცხოველების გადასვლის შედეგად გარემოს მასტიმულირებელი გავლენა დაქვეითდა. მაგ. ბაყაყში ალვეოლები ლარვულ სტადიაზე (თავკომბალებში) ყალიბდება. ისინი ატმოსფერული ჰაერით არ სუნთქავენ, ე.ი. ჩამოყალიბება ხდება ორგანოს ფუნქცირებამდე. ფილტვების განვითარება ფარისებრი ჯირკვლის ჰორმონის მოქმედებით ხორციელდება. უმაღლეს ხერხემლიანებს (რეპტილიები, ფრინველები, ძუძუმწოვრები) ფილტვები ემბრიონულ პერიოდში უყალიბდებათ და შობამოსაელებს გამოსუნთქვის ან დაბადებისთანავე შეუძლიათ სუნთქვა. ამრიგად გარეგანი ფაქტორის მადეტერმინირებელი მოქმედება ევოლუციის პროცესში თანდათანობით შინაგანი ფაქტორებით (ენდოკრინული სისტემა) შეიცვალა.

ონტოგენეზის ევოლუციის პროცესში ბუნებრივი გადარჩევის მოქმედების შედეგად ჩამოყალიბდა ორგანიზმის ნაწილთა სტრუქტურული და ფუნქციური ურთიერთგანპირობებული კავშირები. პროცესს, როდესაც ერთი ორგანოს ცვლილება აპირობებს მეორის (ე.ი.შეუღლებულ) ცვლილებას ონტოგენეზში, უწოდებენ **კორელაციას.** ხოლო ფილოგენეზში-**კორრდინაციას.**

გამოყოფენ კორელაციის სამ ფორმას: 1.**მემორშრი** (კორელაცია გამოწვეულია გენომის ოავისებურებებით, სახელდობრ, პლეიოტროპიით ან გენთა შეჭიდულობით); 2.**მორფოგენეზრი** კორელაციის დროს მიმდინარეობს ჩანასახის ნაწილების ურთიერთქმედება, რომელიც განსაზღვრავს მათ შემდგომ განვითარებას (იხ.ჩანასახის განვითარება); 3.**ჰორმონული** კორელაციისას ინდივიდური განვითარების პროცესში ისეთი ნაწილების ურთიერთდამოკიდებულება ყალიბდება, რომლებიც ერთმანეთთან საბოლოო ფუნქციითაა დაკავშირებული. მაგ. ხონჩის კუნთების განვითარება გავლენას ახდენს ძვლების სტრუქტურაზე.

ონტოგენეზის ემბრიონიზება. ევოლუციის პროცესში ორგანიზმებს ჩამოუყალიბდათ ისეთი ადაპტაცია, როდესაც განვითარების გარკვეული ფაზები მიმდინარეობს დედის სხეულში ან სპეციალური გარსებით დაცულ (ცხოველებში კვერცხში, მცენარეებში თესლში) სტრუქტურებში. ჩანასახი დაცულია გარემოს არახელსაყრელი ფაქტორების ზემოქმედებისაგან. ამ მოვლენას **ონტოგენეზის ემბრიონიზებას** უწოდებენ. იგი გამოხატავს განვითარების საერთო ტენდენციებს – განხორციელდეს ჩანასახის განვითარება შედარებით დაცულ და მუდმივ შინაგან გარემოში. ემბრიონიზებას თან ახლავს მრავალი ისეთი ცვლილება, რომლის მეშვეობითაც ჩანასახის განვითარებაში იზრდება შინაგანი გარემოს როლი. ემბრიონიზების ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი შედეგია ჩანასახის უხრუნველყოფა საკვებით და მისი სწრაფი განვითარება. ბუნებრივი გადარჩევის მოქმედების შედეგად ემბრიონიზების გაძლიერებას თან სდევს კვერცხების ან ჩანასახების რაოდენობის შემცირება. ამ პროცესის უმაღლესი საფეხურია პლაცენტასთან დაკავშირებული ცოცხალშობიარობის ჩამოყალიბება და ნაშიერის კვება რძით.

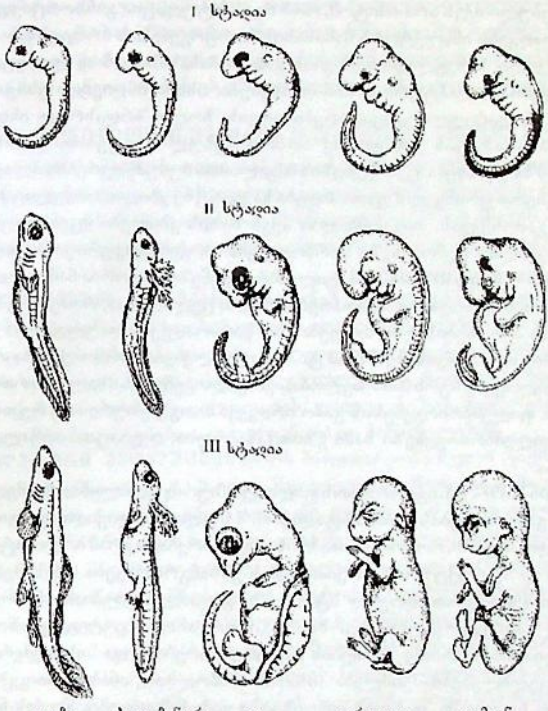
ონტოგენეზის ერთიანობის გაძლიერება ევოლუციის პროცესში ხორციელდება ნეოტენიისა და ფეტალიზაციის მეშვეობით. **ნეოტენია** არის ევოლუციის პროცესში ორგანიზმის სქესობრივი გამრავლების უნარი ლარვულ პერიოდში. ამ შემთხვევაში ხდება ონტოგენეზის ბოლო ფაზების ამოვარდნა ან შევიწროება და

შუალედური ფაზების გაფართოება. ნეოტენია გვხვდება როგორც ცხოველებში, ისე მცენარეებში. კლასიკური მაგალითია აქსოლოტლი. ლარვები მეტამორფოზის დასრულებამდე იწყებენ გამრავლებას. მთელი სიცოცხლის მანძილზე შეიძლება შენარჩუნებული ჰქონდეს ლაყუჩები და კუდის ფარფლი. აქსოლოტლს მეტამორფოზი შენარჩუნებული აქვს. ზოგიერთ ამფიბიას, მაგ. დიდ სირენას (Sirena lacertina) მეტამორფოზის უნარი აღარ აქვს. კერძოდ, ონტოგენეზის ბოლო ფაზა მთლიანად ამოვარდნილია. განვითარების მთელი პერიოდი ლარვულ სტადიაზე იმყოფებიან: მიაჩნიათ, რომ ნეოტენიამ მნიშვნელოვანი როლი შეასრულა დიდი სისტემატიკური ჯგუფების ევოლუციაში. ამ გზით წარმოიშვნენ მწერები მრავალფეხიანების ლარვებისაგან, ხოლო ხე-მცენარეებიდან-მრავალი ბალახოვანი მცენარე.

ფატალიზაცია. იგი ევოლუციური ცვლილების ხერხია, როდესაც ცხოველთა ორგანოების ან მათი სისტემის ონტოგენეზის ტემპები ნელდება. ზრდასრულ ორგანიზმს ამის გამო ემბრიონულ მდგომარეობაში შენარჩუნებული აქვს შესაბამისი ნიშანი. მაგ. ემბრიონული ხონჩის ქსოვილი (ხრტილი) შენარჩუნებული აქვთ ზრდასრული მრგვალპირიანების, ხრტილოვანი თევზებისა და ამფიბიების ჩონჩხს. ზრდასრულ ადამიანს შენარჩუნებული აქვს ქალას სახის ნაწილთან შედარებით დიდი ზომის ტვინის ნაწილი.

რეკაპიტულაცია. XIX ს. მეორე ნახევარში ჯერ კიდევ კ.ბერმა შენიშნა, რომ ხერხემლიანების ჩანასახები განვითარების ადრეულ ეტაპებზე ერთიმეორის მსგავსია. უმდაბლეს ფორმათა ნიშნების გამოვლენა მაღალი ორგანიზაციის ორგანიზმთა ონტოგენეზში ჯერ კიდევ ჩ.დარვინამდე იყო ცნობილი. მხოლოდ ჩ.დარვინმა შეძლო განემარტა ეს მოვლენა და განიხილა იგი, როგორც წინაპრული ნიშნების განმეორება. რეკაპიტულაცია განაპირობებს ერთი და იმავე ტიპის ფარგლებში სხვადასხვა ცხოველის ემბრიონთა მსგავსებას (ჩ.დარვინი, ფ.მიულერი). ჩანასახების მსგავსების საფუძველზე ჩ.დარვინმა და ე.ჰეკელმა გამოიტანეს დასკვნა: ონტოგენეზის პროცესში მიმდინარეობს წინაპრული ნიშნების გამეორება (რეკაპიტულაცია). ეს მოვლენა ბიოგენეზური ანუ რეკაპიტულაციის კანონის სახით ჩამოაყალიბა ე.ჰეკელმა (1866). ამ კანონის არსი შემდეგში მდგომარეობს: ცალკეული ინდივიდის განვითარება (ონტოგენეზი) არის სახეობის ისტორიული განვითარების (ფილოგენეზის) უმთავრესი ეტაპების მოკლე და სწრაფი განმეორება-რეკაპიტულაცია.

განვითარების ადრეულ ეტაპზე ვლინდება ძლიერ შორეული წინაპრული ნიშნები, ხოლო განვითარების უფრო გვიან სტადიაზე კი შედარებით ახლო მონათესავე წინაპრის ნიშნები. ყველა მრავალუჯრედიანი ორგანიზმი გადის ერთი უჯრედის სტადიას (ზიგოტა ან სპორა). იგი მრავალუჯრედიანების ერთუჯრედიანებიდან წარმოშობის მიმანიშნებელია. მრავალუჯრედიანი ცხოველები გადიან აგრეთვე ერთშრიანი უჯრედებისაგან წარმოქმნილ სფერულ (ბლასტულის) სტადიას. იგი აგებულებით ზოგიერთ თანამედროვე კოლონიურ ორგანიზმს (მაგ.ვოლვოქსს) ჩამოჰგავს. ცხოველებში განვითარების შემდგომი სტადია (გასტრულა) ორშრიან ტოპრაკს ან სფეროს ჩამოჰგავს. აგებულებით თანამედროვე ნაწლავღრუიანებს (მაგ.ჰიდრა) შეესაბამებიან. ყველა ხერხემლიან ცხოველს განვითარების ადრეულ სტადიაზე გააჩნიათ ქორდა. მიაჩნიათ, რომ მათ წინაპარ ცხოველებს ქორდა მთელი ონტოგენეზის მანძილზე აღენიშნებოდათ.



სურ. 5.8 ჩანასახების მსგავსება ხერხემლიან ცხოველებში. ემბრიონები საწყის სტადიაზე უფრო მეტად ჰგვანან ერთმანეთს, ვიდრე მომდევნო სტადიებზე.

ანალოგიური კანონსომიერებები შეიმჩნევა ადამიანის ემბრიონულ განვითარებაშიც. ადამიანის ჩანასახი განვითარების ადრეულ სტადიებზე ჰგავს თევზის, ამფიბიის, ქვეწარმავლის ჩანასახებს. შედარებით გვიან სტადიებზე კი-ძუძუმწოვრებს. ყველაზე გვიან სტადიაზე ადამიანის მსგავს მაიმუნების ნაყოფს (იხ.სურ.5.8). წინაპრული ნიშნების გამოვლენას სუცენტურ ორგანიზმებში **პალინგენეზი** ეწოდება.

უნდა აღინიშნოს, რომ ონტოგენეზში როდი ხდება ისტორიული განვითარების ეტაპების მკაცრი განმეორება. ასე მაგალითად, ადამიანის ჩონჩხი არასდროს არ იმეორებს ზრდასრული თევზის, ამფიბიის და რეპტილიის სტადიებს. იგი მხოლოდ მათ ჩანასახებს ემსგავსება. ემბრიოგენეზის ადრეული ეტაპებისათვის დამახასიათებელია კონსერვატიულობა, რის გამოც ფილოგენეზურად შორეულ წინაპრებს ემსგავსებიან. წინაპრული ნიშნების არსებობა გამოწვეულია იმით, რომ ისინი მნიშვნელოვან როლს ასრულებენ ფორმაწარმომქმნელ პროცესში. მაგ. ჩანასახს ქორდა

შენარჩუნებული აქვს არა იმიტომ, რომ რეკაპიტულაცია განხორციელდეს, არამედ იგი წარმოადგენს ინდუქტორს ჩანასახის ძორფოგენეზის პროცესში.

ძველი პირველადი ნიშნების გარდა ჩანასახოვან ან ლარვულ სტადიაზე აღმოცენდებიან ადაპტური ნიშან-თვისებები. ისინი ინდივიდს ესაჭიროება ჩანასახოვანი ან ლარვული განვითარებისათვის, ხოლო ზრდასრულ ინდივიდებს უქრებათ. ჩანასახოვან სტადიაზე აღმოცენებულ შეგუებით ნიშან-თვისებებს **ცენოგენეზი** ეწოდება. ცენოგენეზის მაგალითია ძუძუმწოვრებში პლაცენტის არსებობა. ზოგიერთ ფრინველს უვითარდება საკვერცხე კბილი, რომელიც ხელს უწყობს ბარტყის გამოჩეკვას. თაგუმბალას აქვს ხახის კბილები მცენარეული საკვების დასამუშავებლად. ცენოგენეზი წარმოადგენს ბიოგენეტიკური კანონიდან გადახრას.

ფილემბრიოგენეზი. ფილემბრიოგენეზის თეორია ჩამოაყალიბა ა.სევერცოვმა. იგი ჩანასახოვანი განვითარების ისეთი ცვლილებაა, რომელიც ჩანასახოვანი ცხოვრების პირობებისადმი შეგუებას არ წარმოადგენს და ვლინდება ზრდასრული ორგანიზმის ნიშან-თვისებებში. ამ ტიპის ცვლილებები წარმოიქმნება ონტოგენეზში და აქვთ ფილოგენეზური ძნიშვნელობა. იგი ფილოგენეზის ახალ მიმართულებას განაპირობებს. ფილემბრიოგენეზის გამო ირღვევა ბიოგენეზური ანუ რეკაპიტულაციის კანონი. ფილემბრიოგენეზი სამი გზით (ანაბოლია, დევიაცია, არქალაქისი) ხორციელდება.

ანაბოლია. იგი ორგანოს ფილოგენეზური ცვლილებაა, რომელიც განპირობებულია განვითარების გვიანი სტადიების შეცვლით. ინდივიდის განვითარება იმავე გზით მიმდინარეობს, როგორც წინაპრის განვითარება, მაგრამ ბოლო სტადიაზე ხდება ორგანოს ან სტრუქტურის განვითარების გახანგრძლივება. ამის შედეგად გვიანი სტადიები შედარებით ადრეულ სტადიებზე გადაადგილდებიან. ანაბოლია ყველაზე ფართოდ გავრცელებული ხერხია. იგი ორგანოთა ცვლილებას იწვევს. მაგ. ხერხემლიანთა ჩონჩხის, კუნთების დიფერენცირებისა და სისხლძარღვთა განაწილებაში ცვლილებები შეიძლება აიხსნას ანაბოლიით. ანაბოლია გვხვდება მცენარეებსა და სოკოებში. ოესლის ფრთისებრი გამონაზარდები, სოკოს ნაყოფსხეული წარმოადგენს განვითარების გვიანი სტადიების გადახრას.

დევიაცია. იგი არის ორგანოს ფილოგენეზური ცვლილება, რომელიც განპირობებულია მათი ინდივიდური განვითარების რომელიმე შუა სტადიის შეცვლით, რომელსაც მოსდევს ამ ორგანოს საბოლოო აგებულების შეცვლა. მაგ. ქერცლის ჩანასახოვანი ნერგის შეცვლის გამო ქვეწარმავლებს უვითარდებათ რქოვანა და არა თევზებისათვის დამახასიათებელი ძვლოვანი ქერცლი. რეპტილიებში ქერცლის განვითარება ზვიგენისებრთა თევზების პლაკოიდური ქერცლის ფორმირების საწყის ეტაპებს ემსგავსება. შემდგომ ხდება განვითარებაში გადახრა და ყალიბდება ტიპური რქოვანი ქერცლი.

არქალაქისი – ორგანოს ფილოგენეზური ცვლილების ერთ-ერთი გზა, რომლის დროს ხდება თვით ემბრიონული ნერგის განვითარების საწყისი სტადიის შეცვლა. ამ დროს იცვლება ორგანოს შემდგომი განვითარება და მისი საბოლოო აღნაგობა. ამ სახის ცვლილებების დროს წარმოიქმნება ახალი ორგანოები, რომლებიც წინაპრებს არ ჰქონდათ. არქალაქისის მაგალითებია ძუძუმწოვრებში ბალნის წარმოშობა მათი წინაპარი ქერცლებისაგან, გველების ხერხემალში მალების

რაოდენობის გაზრდა, კბილიან ვეშაპებში კბილების რაოდენობის ცვლილება და სხვ. მცენარეებში არქალაქსისის გზით ორლებნიანებიდან წარმოიშვნენ ერთლებნიანები. არქალაქსისი იწვევს კორელაციური სისტემების მნიშვნელოვან გარდაქმნას. ამით უნდა აიხსნას, რომ განვითარების ეს გზა გაცილებით იშვიათად გვხვდება, ვიდრე დანარჩენი.

5.16. ფილოგენეზური ჯგუფების ევოლუცია

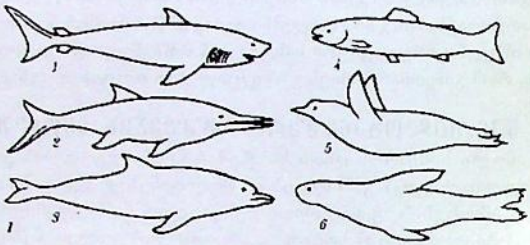
ორგანული სამყაროს დიდი სისტემატიკური ჯგუფების ევოლუციას შეისწავლის ფილოგენეტიკა. განსხვავებულ ფილოგენეზურ ჯგუფებში მიმდინარე ევოლუციური პროცესის შედარებითი შესწავლით გამოვლენილია ზოგადი კანონზომიერებები, რომელიც ისტორიული განვითარების (ფილოგენეზი) პროცესში მიმდინარეობდა.

ფილოგენეზის ფორმები. ფილოგენეზური ჯგუფების ევოლუცია სხვადასხვა გზით შეიძლება წარიმართოს, რაც დამოკიდებულია ობიექტზე და იმ პირობებზე, რომელშიც მას უხდება განვითარება. გამოყოფენ ფილოგენეზის ორ ელემენტარულ ფორმას: ფილეტურ და დივერგენტულ ევოლუციას, რომლებიც საფუძვლად უდევს ტაქსონების ნებისმიერ ცვლილებას. ფილოგენეზის შედარებით უფრო გართულებული მეორადი ტიპებია: კონვერგენცია და პარალელიზმი.

ფილეტური ევოლუციის დროს მიმდინარეობს ძველი ტაქსონის თანდათანობითი გარდაქმნა ახალ ტაქსონად, შვილეული ტაქსონების ჩამოყალიბების გარეშე. იგი იცვლება როგორც ერთი მთლიანი. ვინაიდან ამ სახის ცვლილებების გარეშე ევოლუციური პროცესის მიმდინარეობა შეუძლებელია, ამიტომ ფილეტური ევოლუცია შეიძლება მივიჩნიოთ ევოლუციის ელემენტარულ ფორმად. ფილეტური ევოლუციის შედეგად წარმოიქმნება ერთი დაუტოტავი ფილოგენეზური ხაზი. იგი შედგება დროში უწყვეტი ჯგუფების (პოპულაცია, სახეობა) რიგებისაგან. ცალკეული ჯგუფი წინარე ჯგუფისაგან იღებს სათავეს და შემდგომი ჯგუფის წინაპარია. ფილეტური ევოლუციის კლასიკურ მაგალითს ცხენის, სპილოს, მარტორქას პალეონტოლოგიური რიგები წარმოადგენს. მაგ. ცხენის პალეონტოლოგიური რიგი შემდეგი ფორმებისაგან შედგება: ფენაკოდუსი – ეოჰიპუსი – მიოჰიპუსი – პარაჰიპუსი – პლიოჰიპუსი – თანამედროვე ცხენი.

დივერგენცია – ტაქსონის ევოლუციის პირველადი, ელემენტარული ფორმაა. დივერგენტული ევოლუცია იწვევს საარსებო პირობებთან შეგუების პროცესში ტაქსონის დაყოფას რამდენიმე ჯგუფად. დივერგენტული ევოლუცია სხვადასხვა დონეზე ხორციელდება. მიკროევოლუციის დონეზე მისი მოქმედებით ყალიბდება განსხვავებული პოპულაციები. იზოლაციის შემთხვევაში მათგან რამდენიმე ახალი სახეობის ფორმირებაა შესაძლებელი. ამ დონეზე დივერგენცია შექცევადი პროცესია. ერთი სახეობის ორ განსხვავებულ პოპულაციას შორის საიზოლაციო მექანიზმების მოხსნა გენთა ნაკადის გამო მათ გაერთიანებას (განსხვავების ნიველირებას) იწვევს.

მაკროევოლუციის დონეზე დივერგენციის პროცესი შეუქცევადია, ვინაიდან მოქმედებს რეპროდუქტული იზოლაცია. ნებისმიერი ზესახეობრივი მასშტაბის დონეზე დივერგენცია ევოლუციის მამოძრავებელი ფაქტორების (ძირითადად ბუნებრივი გადარჩევა და იზოლაცია) მოქმედების შედეგია. ძველი სახეობის დივერგენციის შედეგად ყალიბდება ახალი სახეობები. ფუძემდებელი ძველი სახეობა დასაბამს აძლევს



სურ. 5.9 სხეულის ფორმის კონვერგენტული ევოლუცია ხერხემლიან ცხოველებში.
1. ზვიგენი, 2. იქტიოზავრი, 3. დელფინი, 4. ძვლოვანი თევზი, 5. პინგვინი, 6. სელაპი.

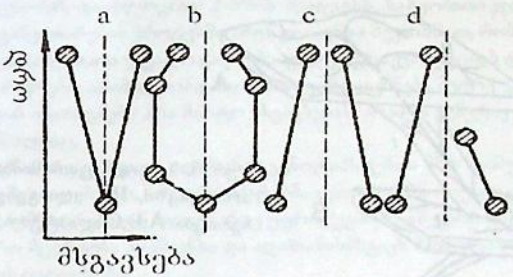
ახალ გვარს. ასევე, ძველი გვარი, რომელიც ახალ გვარებს აძლევს დასაბამს, ახალი ოჯახის ჩამოყალიბების საფუძველია. გარდაიქმნება და ა.შ. ამრიგად მიმდინარეობს ტაქსონების დიფერენცირების პროცესი.

დივერგენციის ერთ-ერთი კლასიკური მაგალითია ჩ.დარვინის მიერ შესწავლილი გალაპაგოსის კუნძულებზე გავრცელებული მთიულები. კონტინენტიდან არქიპელაგზე შემთხვევით მოხვედრილმა მცირე პიონერულმა ჯგუფმა სათავე დაუდო ცამეტ განსხვავებულ სახეობას, რომლებიც სამ სხვადასხვა გვარშია გაერთიანებული.

კონვერგენცია არის ორ ან მეტ არამონათესავე ჯგუფში ფენოტიპური მსგავსების ჩამოყალიბების პროცესი. არამონათესავე ტაქსონომიური ჯგუფები ზოგიერთ შემთხვევაში მსგავს გარემო პირობებში ერთნაირ ადაპტურ ნიშნებს იძენენ. იგი ერთნაირად მიმართული ბუნებრივი გადარჩევის შედეგია. ევოლუციის ეს ფორმა ნებისმიერი ტაქსონომიური დონისთვისაა (გვარი, ოჯახი, რიგი და მისთ.) დამახასიათებელი. მაგ. წყალში ცხოვრების ნირმა ზოგიერთ ხერხემლიან ცხოველში (ზვიგენი, იხტიოზავრი, პინგვინი, დელფინი, სელაპი) გამოიწვია სხეულისა და მოძრაობის ორგანოების დიდი მსგავსება (იხ.სურ.5.9). ჩანოოსან და პლაცენტიან ძუძუმწოვრებში სავსებით დამოუკიდებლად წარმოიშვნენ მსგავსი ადაპტაციები. ჩანოოსანი მიწის კურდღელი ჩვეულებრივ კურდღელს ემსგავსება, ჩანოოსანი თხუნელა-ჩვეულებრივ თხუნელას, ჩანოოსანი მგელი-ჩვეულებრივ მგელს და სხვ.

ზოგჯერ საკმაოდ ძნელია კონვერგენტული მსგავსების განსხვავება დივერგენტულისაგან. მაგ. XX ს. შუა წლებამდე კურდღლისნაირი ცხოველები გაერთიანებული იყო მღრნელებთან. მაგრამ გამოკვლევებით დადასტურდა, რომ მათ შორის მსგავსება კონვერგენტულია, ისინი დამოუკიდებელი რიგებია. კონვერგენტული მსგავსება არასოდეს არაა ღრმა, ცვლილებები ყოველთვის ზერელეა.

პარალელიზმი არის ევოლუციის პროცესში საერთო წინაპრიდან წარმოშობილი ტაქსონომიურ ჯგუფთა განვითარება ერთი მიმართულებით. პარალელიზმი ჩვეულებრივ ახასიათებთ დივერგენციის შედეგად ჩამოყალიბებულ განსხვავებულ ჯგუფებს, რომლებსაც ერთნაირ გარემო პირობებში მოუხდათ არსებობა. ბუნებრივი გადარჩევის ერთი მიმართულებით მიმდინარეობის გამო მათ შთამომავლობაში ყალიბ-



სურ. 5. 10. ფილოგენეზის ფორმები: დივერგენცია (a), პარალელიზმი (b), კონვერგენცია (c - სინქრონული, d - ასინქრონული).

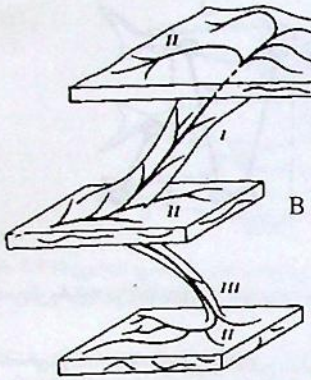
დება მსგავსი ადაპტაცია. მაგ. ღრმა წყლის თევზების განსხვავებულ გვარში გაერთიანებულ სახეობებს განუვითარდათ მსგავსი მანათებელი ორგანოები. ასევე, იქტიოზავრებს (ამომწყდარი ქვეწარმავლები) და დელფინებს გააჩნიათ მსგავსი ღერძული ჩონჩხი და კბილები.

განარჩევენ სინქრონულ და ასინქრონულ პარალელიზმს. სინქრონული პარალელიზმის დროს მსგავსი ადაპტური ნიშნის ჩამოყალიბება ერთსა და იმავე დროს მცხოვრებ ტაქსონომიურ ჯგუფებში ყალიბდებოდა, ასინქრონული პარალელიზმის შემთხვევაში კი სხვადასხვა დროს მცხოვრებ ჯგუფებში (იხ. სურ. 5.10).

ევოლუციის მიმართულებები. გამოყოფენ ფილოგენეტიკური ჯგუფების ევოლუციის ორ მთავარ მიმართულებას: **ალოგენეზსა** და **აროგენეზს.**

ალოგენეზი ევოლუციის ისეთი მიმართულებაა, როდესაც ჯგუფის განვითარება ერთსა და იმავე ადაპტურ ზონაში მიმდინარეობს. ჯგუფის წევრები ადაპტური სონიდან არ გამოდიან და მასში ხდება **ადაპტოგენეზი.** ევოლუციის შედეგად ჩამოყალიბებული ჯგუფები განსხვავდებიან ერთი და იგივე მასშტაბის ადაპტაციებით. ადაპტური ზონა კი წარმოადგენს ეკოლოგიურ ნიშათა ეროობლიობას, რომლებიც ორგანიზმებზე ძირითადი ფაქტორების მოქმედების მიმართულებით მსგავსია. ისინი განსხვავდებიან მხოლოდ დეტალებით. **ალოგენეზის** დროს ორგანიზმებს უნარჩუნდებათ აგებულებისა და ფუნქციების საერთო თავისებურებები, რის გამოც მათი ორგანიზაციის დონე უცვლელი რჩება. აღმოცენდება ორგანოთა აგებულებისა და ფუნქციების კერძო მნიშვნელობის ცვლილებები. ამდაგვარ ადაპტაციებს **იდიოადაპტაციები** ანუ **ალომორფოზები** ეწოდება. ალოგენეზის შედეგია ორგანიზმთა ფაროო გავრცელება და დაყოფა მრავალ ნათესაურ შტოდ (ე.წ.ადაპტური რადიაცია). ალოგენეზი ძირითადად ნებისმიერ ტაქსონომიურ ჯგუფში (გვარი, ოჯახი, რიგი). მაგ. მწერიჭამიების რიგში გაერთიანებული ფორმები: ზღარბი, ობობელა, მოიხვი, ბიგა და სხვ. ალოგენეზის შედეგადაა ჩამოყალიბებული.

აროგენეზი ევოლუციის ისეთი მიმართულებაა, როდესაც შედარებით დიდ ტაქსონში ზოგიერთ ჯგუფს უყალიბდება ისეთი მორფოფიზიოლოგიური ნიშნები, რითაც ორგანიზაციის დონე მაღლდება. ამ ახალ პროგრესულ (ადაპტურ) ნიშნებს



სურ. 5. 11. ევოლუციის მიმართულებები: I - არაგენეზი, II - ალოგენეზი, III -დეგენერაცია. A,B,C ადაპტური ზონები.

არომორფოზს უწოდებენ. არაგენეზის დროს ხდება ადაპტური ზონის გაფართოება. ორგანიზმები გადადიან ერთი ადაპტური ზონიდან შეორეში. ე.ი. ხდება ევოლუციური "გარღვევა" ახალ ადაპტურ ზონაში. დიდი მორფოფიზიოლოგიური ცვლილებების მეოხებით ახალ ადაპტურ ზონაში მოხვედრილი ორგანიზმები ეგუებიან საარსებო პირობებს. ახალ ადაპტურ ზონაში, როგორც წესი, ხვდება მხოლოდ ცალკეული მცირერიცხოვანი ჯგუფები. ამ გადასვლის პროცესს **არომენეზი** ეწოდება. ახალ ადაპტურ ზონაში შეღწეულ ჯგუფში ხდება ალოგენური ცვლილებები, რის გამოც ჯგუფი ფართოდ ვრცელდება და იტოტება ნაირგვარ ჯგუფებად (იხ.სურ.5.11). არაგენეზის შედეგად წარმოიქმნება დიდი ტაქსონომიური ჯგუფები (კლასი, ტიპი). ე.ი. არაგენეზის შემდეგ ევოლუცია მიმდინარეობს ძირითადად ალოგენეზის გზით.

არაგენეზის კარგი მაგალითია ფრინველთა კლასის წარმოშობა და გაფურჩქვნა. ტრიასულ პერიოდში დინოზავრების მცირე ჯგუფში არომორფოზულმა ცვლილებებმა (ჩამოუყალიბდათ ფრენის ორგანო-ფრთები, ოთხსაკნიანი გული, ჰაერში ფრენის კოორდინაციის უნარი, თბილისისხლიანობა, რთული აგებულების თავის ტვინი და ქერქი) განაპირობება მათი ახალ ადაპტურ ზონაში გადასვლა, ხოლო ალოგენეზის შედეგად ფრინველებს ჩამოუყალიბდათ ადაპტაციები, რომლითაც ისინი შეეგუენ ველზე, უდაბნოში, ტყეში, წყალსატევებში და ა.შ. ცხოვრებას.

ევოლუცია ყოველთვის გართულების გზით არ მიმდინარეობს. ზოგჯერ არაგენეზი, რითაც ახალი ადაპტური ზონის დაკავება ხდება, შეიძლება ორგანიზაციის დონის გამარტივებით, მორფოფიზიოლოგიური დეგენერაციით-რეგრესით განხორციელდეს. მაგ. ზოგიერთ მრავალუჯრედიან ენდოპარაზიტ ცხოველს გაუმარტივდა ზოგიერთი ორგანოთა სისტემა და ორგანოები, ზოგი კი საეროდ გაუქრა (მაგ. თასმა ჭიები, ნემატოდები და სხვ.).

ჯგუფების აღორძინება. პალეონტოლოგთა ვარაუდით ამჟამად არსებული სახეობები დედამიწაზე ევოლუციის პროცესში წარმოშობილ სახეობათა

საეროო რაოდენობის დაახლოებით 2-5%-ს შეადგენს. სახეობათა დიდი ნაწილი ევოლუციური განვითარების პროცესში ამოწყდა. უნდა შევნიშნოთ, რომ ამოწყდომა ყოველთვის არაა სახეობათა უკვალო გაქრობა. ფილეტური ევოლუციის დროს ჯგუფი უკვალოდ კი არ ქრება, არამედ თანდათანობით გარდაიქმნება მეორე ჯგუფად. იგი ძველ ფორმებთან ინარჩუნებს არა მარტო მსგავსებას, არამედ გენეტიკური ინფორმაციის დიდ ნაწილსაც.

ხატოვნად თუ ვიტყვით, ადამიანის გენოტიპს გენთა 95% მაიმუნისმაგვარი წინაპრებიდან აქვს მიღებული, ხოლო პრიმატებმა გენთა 60-70% ოდესღაც მცხოვრები მწერიჭამია ძუძუმწოვრებიდან მიიღეს. რაც უფრო ქვემოთ ვეშვებით ფილოგენეზურ ხეზე, მით უფრო მცირდება ადამიანსა და ადამიანისმსგავს მაიმუნებში წინაპართა საეროო გენების რაოდენობა.

ამოწყდომა ისეთივე ბუნებრივი ევოლუციური პროცესია, როგორც ახალ სახეობათა წარმოშობა. იგი წარმოადგენს ბუნებრივ ეტაპს, რითაც ფილოგენეზური ჯგუფი ამთავრებს განვითარებას. ამოწყდომას იწვევს ევოლუციის იგივე ფაქტორები, რასაც სახეობათა წარმოშობა. ამოწყდომის დროს ევოლუციის ფაქტორები პირუკუ მოქმედებენ. მაგ. მუტაციური ზეწოლა ვეღარ იძლევა გენოტიპისა და გენოფონდის გარდასაქმნელად საჭირო მასალას, რომელიც შეცვლილ საარსებო პირობებში ადაპტაციების ჩამოსაყალიბებლადაა საჭირო. ბრძოლაციის ზეწოლა შეიძლება იმდენად ძლიერი აღმოჩნდეს, რომ იგი საჭირო საზღვრებს გასცდეს. გენთა ნაკადის შეწყვეტის გამო სახეობის ერთიანობა ირღვევა. ბუნებრივი გადარჩევის ძლიერმა ზეწოლამ შეიძლება რიცხოვნობის მკვეთრი შემცირება გამოიწვიოს.

დადგენილია, რომ დედამიწის განვითარების ისტორიაში არაერთხელ მომხდარა მასიური ამოწყდომა. გაიხსენეთ თუნდაც დინოზავრების ამოწყდომა! ამ მოვლენის ასახსნელად მრავალი ჰიპოთეზაა მოწოდებული. ეს პროცესი მთელ ბიოსფეროს არ მოიცავდა, ე.ი. არ იყო გლობალური, ამასთანავე მრავალი მილიონი წლის მანძილზე გრძელდებოდა.

ადამიანის მიერ ბიოსფეროს არნახული მასშტაბით ათვისებამ (ამჟამად ხმელეთის მხოლოდ 30% დარჩა აუთვისებელი) ანტროპოგენური ზეწოლა გამოიწვია და თავისი გრანდიოზულობით წარსულ გეოლოგიურ ეპოქებში მომხდარ ნებისმიერ კატასტროფას აჭარბებს. ამჟამად დედამიწაზე ყოველდღიურად ერთი სახეობის ცხოველი, ხოლო ყოველკვირეულად 1 სახეობის მცენარე იღუპება. თუ სიტუაცია არ გამოსწორდა, მომავალში ყოველ 1 საათში 1 სახეობა ამოწყდება.

ყველაზე სწრაფად ვიწროდ შეგუებული სახეობები იღუპებიან, ვინაიდან ვერ ეგუებიან გარემოს მკვეთრ ცვლილებებს. იმ შემთხვევაში, თუ გარემო ფაქტორები უმნიშვნელოდ (ნორმის ფარგლებში) განიცდის ფლუქტუაციას, ვიწროდ შეგუებულ სახეობებს ხანგრძლივად შეუძლიათ იარსებონ. ამოწყდომა არაა ფილოგენეზური ჯგუფების განვითარების აუცილებელი ეტაპი, რაზედაც ბუნებაში რელიქტური სახეობების არსებობა მიუთითებს (იხ.მასტაბილიზებელი გადარჩევა).

ფილოგენეზური ჯგუფების ევოლუციის კანონზომიერებები:

ევოლუციის შეუქცევადობის კანონი. ევოლუციის შეუქცევადობის იდეა წამოაყენა და დაასაბუთა ჩ.დარვინმა (1859) ხოლო კანონად ჩამოაყალიბა ლ.დოლომ (1893). იგი ევოლუციური მოძღვრების ერთ-ერთი ძირითადი დებულებაა, რომლის თანახმად ევოლუცია-შეუქცევადი პროცესია და ორგანიზმი ვერ დაუბრუნდება თავისი წინაპრების მდგომარეობას თუნდაც იგი ზუსტად ისეთსავე პირობებს შეეგუოს, რომელშიც მათი წინაპრები ცხოვრობდნენ. წყლის გარემოსთან მეორეულად შეგუებისას ხმელეთის ხერხემლიანები ინარჩუნებენ იმ ჯგუფის თვისებებს, რომელსაც ისინი ეკუთვნიან. მაგ. იქტიოზავრები-ქვეწარმავლებისას, ვეშაპი, დელფინი-ძუძუმწოვრებისას და ისევ თევზებად არ გარდაიქმნებიან. ევოლუციის პროცესში ერთი და იგივე ფორმა მხოლოდ ერთხელ შეიძლება გაჩნდეს. შესაბამისად, ამომწყდარი ფორმების ხელმეორედ გაჩენა შეუძლებელია.

პროგრესული სპეციალიზაციის წესი (შ.დეპერე, 1876). ფილოგენეტიკური ჯგუფში, რომელშიც სპეციალიზაცია იწყება, როგორც წესი, შემდგომი განვითარებისას ეს პროცესი ღრმავდება. მაგ. შეიძლება მოვიტანოთ ცხენის ფილოგენეზური რიგი. ველებზე გადასვლამ განაპირობა თითების რაოდენობის თანდათანობითი შემცირება გარდამავალ ფორმებში, ხოლო თანამედროვე ცხენს მხოლოდ ერთი გააჩნია. ევოლუციის პროცესში ხდებოდა ამ ადაპტაციის შენარჩუნება და გაძლიერება.

არასპეციალიზებული წინაპრიდან წარმოშობის წესი (ე.კოპი, 1896). ახალი დიდი ტაქსონომიური ჯგუფები საწყისს იღებენ შედარებით არასპეციალიზებული წინაპრიდან. მაგ. ძუძუმწოვრები წარმოიშვნენ ქვეწარმავლების გარკვეულ არასპეციალიზებული ჯგუფიდან. მათ ამფიბიების დამახასიათებელი ნიშნებიც გააჩნდათ. შიშველოსლიანებს დასაბამი მისცა პალეოზოურ ერაში გავრცელებულმა არასპეციალიზებულმა თესლიანმა გვიმრებმა. ადამიანის მაგვარ მაიმუნებს სათავე დაუდო აფრიკაში გავრცელებულმა პრიმატებმა, ისინი ნაწილობრივ მიწაზე ცხოვრებასაც ეწეოდნენ. არასპეციალიზებულ წინაპარში ყალიბდება პრინციპულად განსხვავებული ადაპტაციები.

ადაპტური რადიაციის წესი (ჰ.ოსბორნი, 1902). ნებისმიერ საწყის ჯგუფში (გვარი, ოჯახი, რიგი) ალოგენეზი იწვევს მის დაყოფას მრავალ ნათესაურ შტოდ. თითოეულ მათგანს განსხვავებული ადაპტური ნიშნები უყალიბდებათ და ეგუებიან სხვადასხვა საარსებო პირობებს. ადაპტური რადიაცია ორგანიზმების სხვადასხვა მიმართულებით დივერგენციის შედეგია. ადაპტური რადიაციის იდეა ეკუთვნის ჩ.დარვინს, ხოლო კანონზომიერება ჩამოაყალიბა ამერიკელმა პალეონტოლოგმა ჰ.ოსბორნმა. ორგანიზმები იძენენ სპეციალურ ადაპტაციას და იკავებენ ერთი და იმავე ადაპტური ზონის სხვადასხვა ნიშს. მაგ. ძუძუმწოვრებში ადაპტური რადიაციის შედეგად ჩამოყალიბდა მოსიარულე (ძაღლები, კატები), მორბენალი (ცხენები), მხტუნავი (კურდღლები), მიწის მთხრელი (თხუნელები), მეჩხერი (ციყვები, პრიმატები), მფრინავი (ღამურები), მცურავი (ვეშაპები, სელაპები) და სხვა ფორმები.

5.17. ორგანოთა და ფუნქციათა ევოლუციის კანონზომიერებები

ინდივიდი (ორგანიზმი) დამოუკიდებელი დისკრეტული არსებაა. იგი ონტოგენეზში ავლენს ცოცხალის ყველა თვისებას. სტრუქტურული თვალთახედვით ორგანიზმი ინტეგრირებულ იერარქიულ სისტემას წარმოადგენს. იგი შედგება უჯრედებისაგან, ქსოვილებისაგან, ორგანოებისა და ორგანოთა სისტემებისაგან, რომელიც ორგანიზმის ცხოველმყოფელობას აპირობებს.

ორგანო არის მრავალუჯრედიანი ორგანიზმის სხეულის მეტნაკლებად გამოკვრძოებული ნაწილი, რომელსაც თავისი დამახასიათებელი სტრუქტურა, სპეციფიკური ფუნქცია და ლოკალიზაცია აქვს. ორგანოს აგებულება ხშირად ძალზე რთულია და მრავალ ფუნქციას (მულტიფუნქციონალობა) ასრულებს. რთული ფუნქციის ორგანიზაციაში რამდენიმე ორგანო მონაწილეობს. ორგანოები, რომელთა კერძო ფუნქციები ერთ ზოგად ფუნქციას შეადგენს, ერთიანდებიან **ორგანოთა სისტემად**. მსგავსი წარმოშობის ორგანოთა ჯგუფს, რომელიც ერთ რთულ ზოგად ფუნქციას ასრულებს, **სისტემას** უწოდებენ (მაგ. გამომყოფი, სისხლძარღვთა, საჭმლის მომნელებელი და სხვ.). როდესაც საერთო ფუნქციას წარმოშობით განსხვავებული ორგანოები ასრულებენ, მაშინ მას **აპარატი** ეწოდება. მაგ. სუნთქვის აპარატი შედგება როგორც საკუთრივ სუნთქვის ორგანოებისაგან, ისე ჩონჩხისა და კუნთოვანი სისტემის ელემენტებისაგან. ამ უკანასკნელით ხორციელდება სუნთქვითი მოძრაობები.

ონტოგენეზის პროცესში მიმდინარეობს ორგანოთა ჩამოყალიბება, ზოგჯერ ხდება ერთი ორგანოს შეცვლა მეორეთი. ზრდასრული ორგანიზმის ორგანოს **დაფიქსირებული** ეწოდება. ორგანოს, რომელიც უყალიბდებათ და ფუნქციონირებენ ჩანასახოვან ან ლარვულ პერიოდში, **პროვიზორული** ეწოდება. მაგ. მყვარებში ანუ ამფიბიებში ლაყუჩები აქვთ მხოლოდ თავკომბალებს (ლარვა), პირველადი თირკმელი და ჩანასახოვანი გარსები-უმაღლეს ხერხემლიან ცხოველთა (ამნიოტები) ჩანასახს.

მცენარეთა და ცხოველთა სხვადასხვა ტაქსონებში გაერთიანებული სახეობების შედარებითი ანატომიური შესწავლით გამოვლენილია ჰომოლოგიური, ანალოგიური და რუდიმენტული ორგანოები. მათი შესწავლით არა მარტო ევოლუციის ვერსიფიკაცია ხდება, არამედ მიმდინარეობს კანონზომიერებების შესწავლაც. ორგანოებს, რომელთაც აგებულების ერთიანი გეგმა აქვს, ერთნაირი წარმოშობა ახასიათებთ და ანალოგიურ (მაგ. თევზების, ამფიბიების, ქვეწარმავლების, ძუძუმწოვრების გული) ან განსხვავებულ (მაგ. ფრინველის ფრთა და ადამიანის ხელი) ფუნქციას ასრულებენ **ჰომოლოგიური ორგანოები** ეწოდება. ორგანოებს, რომლებიც გარეგნობით ერთმანეთს წააგავს და მსგავსს ფუნქციას ასრულებენ, მაგრამ განსხვავებული აგებულების გეგმა და წარმოშობა აქვთ, **ანალოგიური ორგანოები** ეწოდება. მაგ. ფრინველებისა და მწერების ფრთები, ხერხემლიანი ცხოველებისა და მწერების კიდურები და სხვ.

ევოლუციის პერიოდში ფუნქციადაკარგული დაკნინებულ და ნაშთის სახით შემორჩენილ ორგანოებს **რუდიმენტული ორგანოები** ეწოდება. ევოლუციის პროცესში ის ორგანოები, რომელთა ფუნქციაც ახალ პირობებში უსარგებლო ხდება, რეგრესს განიცდიან, რასაც თან სდევს მათი გაქრობა. ზოგჯერ მათგან რჩება უმნიშვნე-

ლო გამარტივებული ნაშთები, რომელთაც თავისი პირვანდელი ფუნქცია დაკარგული აქვთ (მაგ. ადამიანის კუდუსუნი, ყურის ნიჟარის კუნთები, სიბრძნის კბილი და სხვ.).

ორგანოებს შორფოფუნქციაში გარდაქმნის კანონზომიერებები ფილოგენეზში. ორგანოს ფორმა და ფუნქცია ერთიმეორესთან მჭიდროდაა დაკავშირებული. ნებისმიერი ორგანო მულტიფუნქციურია. ძირითადის გარდა ის ასრულებს მრავალ დამატებით ფუნქციას. ადამიანის ხელს, რომელიც შრომის ორგანოა, სხვა ფუნქციის შესრულებაც შეუძლია. ადამიანი მას იყენებს ცურვის, კლდეზე ცოცვის, ხეზე ასვლის და სხვ. შემთხვევებში. ფილოგენეზში ორგანოთა მორფოფუნქციური გარდაქმნა მათ მულტიფუნქციურობას და ფუნქციის რაოდენობრივ ცვლილებას ეფუძნება. მეცნიერთა მიერ გამოვლენილია ორგანოთა და ფუნქციათა ევოლუციის მრავალი ხერხი (მოდუსი). განვიხილოთ ზოგიერთი მათგანი.

ძირითადი ფუნქციის გაძლიერება (ინტენსიფიკაცია). ორგანოს ძირითადი ფუნქციის გაძლიერება ევოლუციის პროცესში ორი გზით მიმდინარეობდა: ორგანოს აგებულების ცვლილებითა და ორგანოს შემადგენელ კომპონენტთა რაოდენობის გაზრდით. პირველი გზის მაგალითად შეიძლება დავასახელოთ გლუვი მუსკულატურის შეცვლა განივზოლიანით. იგი კუნთური შეკუმშვის ფუნქციის გაძლიერებამ გამოიწვია. ფოტოსინთეზის ფუნქციის გაძლიერებამ ფოთოლში მესრისებრი ქსოვილის ჩამოყალიბება მოახდინა. გულის ფუნქციის გაძლიერებას ამ ორგანოს აგებულების გართულება მოჰყვა. კერძოდ, თევზებს ორსაკნიანი გული აქვთ, ამფიბიებსა და ქვეწარმავლებს სამსაკნიანი, ხოლო ფრინველებსა და ძუძუმწოვრებს ოთხსაკნიანი გული განუვითარდათ.

კომპონენტთა გაზრდის კარგი მაგალითია ფილტვის აგებულების გართულება ხერხემლიან ცხოველებში. ამფიბიებს ფილტვის ტომსიკები აქვთ, უმაღლეს ხერხემლიანებში კი ალვეოლების ჩამოყალიბებითა და მათი რიცხვის გაზრდით შემხები ზედაპირი იზრდება.

ძირითადი ფუნქციის შემცირება. ორგანოს ამდაგვარი ევოლუციური გარდაქმნა ხშირად ხდებოდა. მაგ. ძუძუმწოვრების ერთი ჯგუფის ახალ საბინადრო გარემოში-წყალში გადასვლამ თბორეგულაციასთან დაკავშირებული ბალნის საფარველის ფუნქციის შემცირება გამოიწვია. თანამედროვე ვეშაპებს ბალნის საფარველი არ გააჩნიათ.

ორგანოთა პოლიმერიზაცია. ევოლუციის პროცესში ზოგჯერ მიმდინარეობდა ჰომოლოგიური(ჰომოდინამიური) ორგანოების ან სტრუქტურების რიცხვის გაზრდა (პოლიმერიზაცია). მაგ. გრძელი კუდის მქონე ძუძუმწოვრებს ეს ორგანო კუდში მალების რაოდენობის მომატების შედეგად გაეზარდათ. ვეშაპისნაირებს ფარფლში თითის ძვლების რაოდენობა გაზრდილი აქვთ, ყვავილს გვირგვინის ფურცლებისა და მტვრიანების რიცხვი მოემატათ.

ორგანოებისა და სტრუქტურების ოლიგომერიზაცია იგი პოლიმერიზაციის საპირისპირო მოვლენაა, რომლის დროსაც ხდება მრავალრიცხოვანი ჰომოლოგიური ორგანოების ან სტრუქტურების რაოდენობის შემცირება და გარდაქმნა. იგი ფართოდ გავრცელებული ხერხია. მაგ. მრავალ ხერხემლიან ცხოველს შენჯის განყოფილების მალები ერთიმეორეს შეეზარდა და ერთიან შენჯის ძვლად ჩამოუყალიბდა. იგი უძრავადაა დაკავშირებული მენჯის ძვლებთან. ისინი საყრდენ

ფუნქციას ასრულებენ. ასევე კარგი მაგალითია სეგმენტების რაოდენობის შემცირება ფეხსახსრიანებში. კერძოდ, მრავალფეხიანებთან შედარებით მწერებს სეგმენტები შემცირებული აქვთ.

ფუნქციათა ცვლაარის ევოლუციის პროცესში ორგანოს გარდაქმნის ისეთი ხერხი, როდესაც წინაპართა ორგანოს დამატებითი ფუნქცია ხდება მთავარი, მთავარი კი-დამატებითი. მაგ. წყალში ბინადარი ძუძუმწოვრების (ვეშაპი, სელაპი, ზღვის ლომი და სხვ.) კიდურებმა ცურვის ფუნქცია შეიძინა. ზოგიერთ მწერს კვერცხსადები ნესტრად გარდაექმნა და თავდაცვის ფუნქცია გაუჩნდათ (მაგ. კრაზანა, ფუტკარი).

ორგანოს სუბსტიტუცია (შეცვლა მეორეთი). ზოგიერთ შემთხვევაში წინაპრების ესა თუ ის ორგანო ქრება და მის ფუნქციას სხვა ორგანო ასრულებს. უმდაბლეს ხერხემლიანებში ნოსჩის მხოლოდ ქორდა წარმოადგენს, ხერხემლიანებში ქორდა ქრება და მის ფუნქციას ჯერ ხრტილოვანი, ხოლო შემდეგ ძვლოვანი ხერხემალი ასრულებს. ფრინველების წინაპრებს ჰქონდათ კბილები, თანამედროვე ფრინველებში მის ფუნქციას რქოვანი ნისკარტის ბასრი კიდეები და კუჭი ასრულებს.

5.18. ბიოლოგიური პროგრესი და რეგრესი

პროგრესის ცნება. ორგანიზმთა სრულყოფისა და გართულების ისტორიულ პროცესს ევოლუციური პროგრესი ეწოდება. პროგრესში იგულისხმება უკეთესი და არა ახალი. პროგრესული ცვლილების მასშტაბი ნაირგვარია; იგი შეიძლება იყოს კერძო ან ზოგადი, დიდი ან მცირე. ზოგად პროგრესულ ცვლილებას განეკუთვნება სქესობრივი პროცესის წარმოშობა, ნერვული სისტემის დიფერენცირება, მცენარეებში თალუსის დიფერენცირება, ფოტოსინთეზისა და აერობული სუნთქვის ჩამოყალიბება და ა.შ.

ბიოლოგიური პროგრესი იწვევს ორგანიზაციის დონის ამაღლებას და სრულყოფას. ორგანიზაციის დონის განმსაზღვრელი კრიტერიუმების გამოყოფა საკმაოდ რთულია. ცალკეული ნიშნის მიხედვით შეუძლებელია განისაზღვროს ორგანიზაციის მაღალი ან დაბალი დონე. მაგ. თავფეხიან მოლუსკებს გაცილებით რთული ორგანიზაციის თვალი აქვთ ვიდრე ძუძუმწოვრებს, ხოლო დელფინი ნერვული სისტემის განვითარებით არ ჩამოუვარდება პრიმატებს. ამიტომაც ნიშანთა კომპლექსის გამოყენებით საზღვრავენ ორგანიზაციულ დონეს. პროგრესული ცვლილების მთავარ მახასიათებელს მისი შეფარდებითობა წარმოადგენს.

ბიოლოგიური პროგრესი. ევოლუციური პროგრესის ერთ-ერთ ფორმას წარმოადგენს ბიოლოგიური პროგრესი. იგი არაა მორფოფიზიოლოგიური პროგრესის იდენტური. ბიოლოგიური პროგრესი შეიძლება მიღწეულ იქნას სხვადასხვა გზით. იგი გულისხმობს აღმავლობით, წინსვლით განვითარებას. ბიოლოგიური პროგრესი ორგანიზმთა ევოლუციის მთავარი მიმართულებაა, რომელიც გამოიხატება მათი შეგუების მატებით და არსებობისათვის ბრძოლაში გამარჯვებით. ბიოლოგიურ პროგრესს შემდეგი ნიშნები ახასიათებს: 1.ჯგუფების (პოპულაცია, სახეობა, გვარი და მისთ.) რიცხობრივი მატება: 2.არეალის განვრცობა; 3.ახალ-ახალ დაქვემდებარებულ ჯგუფებად (სახეობა, გვარი, ოჯახი და მისთ.) დაყოფა ანუ ჯგუფების

მრავალგვაროვნების გაზრდა.

ბიოლოგიური პროგრესი ძირითადად ვლინდება მორფოფიზიოლოგიური პროგრესით. იგი მიიღწევა არომორფოზით, რომლის დროსაც ხდება აღნაგობისა და ფუნქციების სრულყოფა, არსებობისათვის ბრძოლის უფრო ეფექტური ფორმების გამომუშავება, ახალ ადაპტურ ზონაში ფართო მნიშვნელობის სასარგებლო და უპირატესობის მოპოვება ადაპტაციების ჩამოყალიბება. უფრო ხშირად მორფოფიზიოლოგიური პროგრესი იდიოადაპტაციების ჩამოყალიბების (ალოგენეზი) გზით ხორციელდება. ზოგჯერ მას მორფოფიზიოლოგიური გაამარტივება (ზოგადი დეგენერაცია) იწვევს. დეგენერაციის დროს ხდება ცხოველთა და მცენარეთა ორგანოების აგებულების გამარტივება. იგი გამოწვეულია განსაკუთრებული პირობებისადმი შეგუებით: ასეთია პარაზიტული ან მჯდომარე ცხოვრების ნირი. მას იწვევს, ავრეთვე, აქტიური კვებიდან პასიურზე გადასვლა.

ბიოლოგიური პროგრესის განსაზღვრის მიზნით კრიტერიუმად ინდივიდთა რიცხოვნობის მაჩვენებელს იყენებენ. უნდა შევნიშნოთ, რომ ეს კრიტერიუმი უნივერსალური არ არის. სისტემატიკურად ძლიერ დაცილებულ სახეობებში ბიოლოგიური პროგრესის განსაზღვრა ძალზე რთულია. მაგ. ქოლერის ვიბრიონის ან ოთახის ბუზის რიცხოვნობა გაცილებით ჭარბობს სპილოს ან ანტილოპას რიცხოვნობას. ანალოგიურ სირთულეს ვაწყდებით კრიტერიუმად არეალის გამოყენების დროსაც. მაგ. 1სმ^3 ნიადაგში დაახლოებით 20 მილიარდი უმარტივესი ორგანიზმი სახლობს, ხოლო საქართველოში არეალის ფარგალში 100 ჰა-ზე დაახლოებით 4 გიურზა გვხვდება. ამდენად აღნიშნულ კრიტერიუმებს მონათესავე სახეობებში ბიოლოგიური პროგრესის განსასაზღვრავად იყენებენ.

ოჯახებში, რიგებში ან კლასებში ბიოლოგიური პროგრესის განმსაზღვრელ კრიტერიუმს მათში დაქვემდებარებულ ტაქსონთა (სახეობა, გვარი და მისთ.) რაოდენობა წარმოადგენს. ერთ რიგში გაერთიანებული ოჯახები განსხვავდებიან მათში გაერთიანებული გვარებისა და სახეობების რაოდენობით. ამრიგად, ბიოლოგიური პროგრესის განმსაზღვრელ მნიშვნელოვან კრიტერიუმს ჯგუფების დანაყოფების ნაირგვაროვნება წარმოადგენს.

ამრიგად, ბიოლოგიური პროგრესი მიიღწევა როგორც ორგანიზაციის დონის გართულებით, ისე გამარტივებით. გამოჩენილი ევოლუციონისტის ჯ.ჰაქსლის რიტორიკულ კითხვაზე „ბიოლოგიურად რომელი უფრო პროგრესულია ადამიანი თუ ტუბერკულოზის ბაცილა?„ შეგვიძლია ვუპასუხოთ: ორივე, ვინაიდან არცერთი მათგანის არეალი არ მცირდება და რიცხოვნობა არ ქვეითდება.

ბიოლოგიური რეგრესი არის დალმავალი განვითარება (უკუგანვითარება), რომლის დამახასიათებელი ნიშნები ბიოლოგიური პროგრესის საპირისპიროა და ვლინდება: 1.ევოლუციის პროცესში ამა თუ იმ ჯგუფის (პოპულაცია, სახეობა, გვარი და მისთ.) ინდივიდების რაოდენობის შემცირებით; 2.არეალის შეზღუდვით; 3.ჯგუფის დანაყოფების (პოპულაცია, სახეობა, გვარი და მისთ.) მრავალგვაროვნების დაქვეითებით. ბიოლოგიური რეგრესის საბოლოო შედეგია ჯგუფის (პოპულაცია, სახეობა, გვარი და მისთ.) სრული ამოწყდომა. ზოგჯერ მისი წარმომადგენლები იშვიათ ფორმებად-რელიქტებად (მაგ.ლატიმერია, ტუატარა ანუ ჰატერია, გინკგო,

ბიჭვინთის ფიჭვი და სხვ.) გვხვდებიან. ბიოლოგიური რეგრესის უკიდურესი გამოხატულება **დეგენერაციაა.**

5.19. ალტერნატიული კონცეფციები თანამედროვე ევოლუციურ თეორიაში

თანამედროვე ეტაპზე ევოლუციის სინთეზურ თეორიას ჯერ კიდევ არ გადაუჭრია მის წინაშე დასახული ყველა პრობლემა. მრავალ კითხვას ჯერ კიდევ არ გასცემია ამომწურავი პასუხი. ბიოლოგიის სწრაფი, აღმავალი განვითარება ყველა მისი შემადგენელი დარგის წინაშე სრულიად ახალ ორიგინალურ პრობლემას წარმოაჩენს. ნებისმიერ დასრულებულ თეორიაშიც კი გარკვეული კორექტივების შეტანა და დაკონკრეტება შეინიშნება. ეს ტენდენცია ნათლადაა გამოხატული ევოლუციური თეორიისთვისაც. ვინაიდან ევოლუციური თეორია განაზოგადებს ბიოლოგიის ცალკეულ დარგში მიღებულ შედეგებს, ამიტომ მის წინაშე სრულიად ახალი მნიშვნელოვანი პრობლემა ისახება. ამ პრობლემათა გადაჭრის პროცესში ზოგიერთი კანონზომიერება უფრო ღრმავდება და ზუსტდება. ზოგჯერ ზოგად კანონზომიერებად მიჩნეული მოვლენა კერძო ხასიათის აღმოჩნდება ხოლო კერძო მოვლენა, - პირიქით ზოგადი ხასიათისა. რიგ შემთხვევაში ახლად მოპოვებული შედეგების ინტერპრეტაციას ალტერნატიული პოზიციიდან ახდენენ.

ნეიტრალური ევოლუციის კონცეფცია. თანამედროვე ეტაპზე ევოლუციურ თეორიაში მწვავე სადისკუსიო პრობლემას ნეიტრალური ევოლუციის კონცეფცია წარმოადგენს. ამ შეხედულების ძირითადი პრინციპები 1968-1969 წ.წ. ჩამოაყალიბეს იაპონელმა მეცნიერმა მ. კიმურამ და ამერიკელმა მკვლევრებმა ჯ. კინგმა, თ. ჯუკსმა და ჯ. კროუმ. კონცეფციის შემდგომ დამუშავებასა და განვითარებაში დიდი წვლილი შეიტანა მ. კიმურამ და მისმა თანამშრომლებმა. ნეიტრალური ევოლუციის კონცეფცია დასრულებული სახით გადმოცემულია მ. კიმურას წიგნში: „მოლეკულური ევოლუცია: ნეიტრალობის თეორია" (1983).

ნეიტრალობის თეორია არის ახალი ევოლუციური კონცეფციის მოკლე სახელწოდება. ამ თეორიის თანახმად მოლეკულურ-გენეტიკურ დონეზე პოლიმორფიზმი და ევოლუციური ცვლილება ძირითადად განპირობებულია ისეთი მუტაციებით, რომელზედაც ბუნებრივი გადარჩევის მოქმედება თითქმის ნეიტრალურია.

პოპულაციაში ნეიტრალური მუტაციების დინამიკას, ფიქსაციას ან ელიმინაციას მუტაციური პროცესი და შემთხვევითი დრეიფი განსაზღვრავს. ამ კონცეფციის თანახმად ევოლუციური პროცესის მიმდინარეობა მოლეკულურ-გენეტიკურ და ფენოტიპურ დონეზე განსხვავებულია.

ნეიტრალური ევოლუციის კონცეფცია ორ ძირითად წყაროს: პოპულაციის გენეტიკის სტოქასტურ (შემთხვევით) თეორიასა და მოლეკულური გენეტიკის მონაცემებს ეფუძნება (იხ. 1.4; 5. 6) გენეტიკური კოდის ანალიზმა ცხადყო, რომ იგი გადაგვარებულია, კერძოდ ამინომჟავათა უმეტესობა ერთზე მეტი ტრიპლეტით კოდირდება. მაგ. ამინომჟავა ლეიცინის კოდირება ექვსი ტრიპლეტით-

პუნქტირალიზმის კონცეფციის ჩელაღებით უარყოფა უმართებულოა, ვინაიდან მრავალი სარწმუნო არგუმენტი მიუთითებს, რომ შესაძლებელია სალტაციის გზით ევოლუციური ცვლილებები. მაგ. მცენარეებში სპორანგიუმისა და ოესლკვირტის ჩამოყალიბება, ორლებნიანებიდან ეროლებნიანების წარმოქმნა და სხვ. მრავალი მაგალითის დასახელებაა შესაძლებელი ცხოველთა სამეფოდანაც, კერძოდ კისრისა და ტანის მალების რიცხვის მომატება ან შემცირება, ძუძუმწოვრებში საძილე არტერიების აორტის რკალის მარცხენა მხარეს, ფრინველებში მარჯვენა მხარეს გადატანა და მისთ.

ევოლუციის სინთეზური თეორია არ გამორიცხავს სახეობის მყისიერ წარმოქმნას, ვინაიდან სახეობის წარმოქმნის გზები და საშუალებები ნაირგვარია. არსებითია სახეობათა წარმოქმნის ადაპტური ხასიათი, რომელიც მხოლოდ ბუნებრივი გადარჩევის შეშვეობით ხორციელდება.

ნაწილი VI. სიცოცხლის წარმოშობა

დედამიწაზე სიცოცხლის წარმოშობა ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი და რთული პრობლემაა. იგი მუდამ იპყრობდა მკვლევართა ყურადღებას. აღნიშნული პრობლემა მეცნიერების განვითარების სხვადასხვა ეტაპზე სხვადასხვაგვარად განიხილებოდა. ცნობილია მრავალი მახვილგონიერული შეხედულება დედამიწაზე სიცოცხლის წარმოშობის შესახებ. საჭიროა აღინიშნოს, რომ ამჟამად არსებული მონაცემებით მეცნიერებას არ ძალუძს უარყოს ან უპირატესობა მიანიჭოს რომელიმე მათგანს. თითოეულ ჰიპოთეზას ეძებნება მნიშვნელოვანი პოსტულატები, რომელთა უარყოფა არც თუ ისე იოლია. იმავდროულად წარმოდგენილ ჰიპოთეზებს მოეპოვებათ სუსტი ადგილები. შემოთავაზებულ ჰიპოთეზებს შორის მნიშვნელოვანია: 1.კრიაციონისტული; 2.თვითჩასახვის (სპონტანური ჩასახვა); 3.სტაციონარული მდგომარეობის (მარადიულობა); 4.პანსპერმიის (კოსმიური); 5.ბიოქიმიური.

კრიაციონისტული ჰიპოთეზის მიხედვით სიცოცხლე შეიქმნა განსაზღვრულ პერიოდში ზებუნებრივი ძალის (ღმერთის) ერთჯერადი შემოქმედებითი აქტის შედეგად. ამ შეხედულებას ავითარებს დღეს გავრცელებული მონოთეისტური (იუდაიზმი, ისლამი, ქრისტინობა) რელიგიები. იუდაისტურ-ქრისტინული ტრადიციული შეხედულება სიცოცხლის წარმოშობის შესახებ გადმოცემულია მოსეს ხუთწიგნეულის პირველ წიგნში (იხ.დანადება 1.1-26) და დაინტერესებულ მკითხველს შეუძლია გაეცნოს. საბუნებისმეტყველო მეცნიერება შეისწავლის იმ მოვლენებს, რომელზედაც დაკვირვებაა შესაძლებელი, ამდენად მას არასოდეს არ შეეძლება უარყოს ან დაასაბუთოს კრიაციონისტული კონცეფცია.

თვითჩასახვის (სპონტანური ჩასახვა) ჰიპოთეზა გავრცელებული იყო ძველ მსოფლიოში (ჩინეთი, შუამდინარეთი, ეგვიპტე, საბერძნეთი). იგი კრიაციონისტული კონცეფციის ალტერნატიულ ჰიპოთეზას წარმოადგენს. ამ ჰიპოთეზის თანახმად სიცოცხლე მრავალჯერ წარმოიშვა თავისთავად (სპონტანურად) არაცოცხალი

ნივთიერებებისაგან. არისტოტელეს (384-322 ძვ.წ.ა.) ა'ხრით არაცოცხალს აქვს "აქტიური საწყისი", რის გავლენითაც ისინი ხელსაყრელ პირობებში ცოცხალ არსებებად გარდაიქმნებიან. XVII საუკუნეში ცნობილმა ექიმმა პარაცელსუსმა აღწერა წყლის, ჰაერის, თივისა და დამპალი ხისაგან თაგვის, ბაყაყის, გველთევზასა და კუს წარმოშობა. XVIII საუკუნეში კი გამოჩენილმა ბელგიელმა ექიმმა ჟან ბატისტ ვან ჰელმონტმა ჩაატარა ექსპერიმენტი და აღწერა ძველი ჰერანგისა და ხორბლისაგან სიბნელეში 21 დღეში თაგვების გაჩენის ხერხი. მისი ა'ხრით, „აქტიურ საწყისს„ ადამიანის ოფლი შეიცავდა. მსგავსი მაგალითების დასახელება მრავლად შეიძლება. ამ მოსა'ხრებას (ა'ბიოგენე'ზური კონცეფცია) ი'ზიარებდა XVIII-XIX ს.ს. მრავალი გამოჩენილი ბუნებისმეტყველი, მათ შორის ჟ.ბ.ლამარკი.

იტალიელმა ექიმმა და ბუნებისმეტყველმა ფრანჩესკო რედიმ (აღიარებდა სახეობათა მუდმივობისა და უცვლელობის იდეას) 1688 წ ნატარებული ცდებით დაასაბუთა თვითჩასახვის გ'ხით ორგანი'ზმთა წარმოშობის შეუძლებლობა. მან რვა ქილაში ჩააწყო გველის, თევ'ზის, გველთევ'ზასა და ხბოს ცურის ნაჭრები. ნახევარს მარმარშა გადააფარა, დანარჩენი კი თავღია დატოვა. თავღია ქილებში მართლაც გაჩნდნენ მატლები, მაგრამ არა თვითჩასახვის შედეგად, არამედ ბუ'ზების მიერ დადებული კვერცხებიდან. აქედან მან დაასკვნა, რომ სიცოცხლე წარმოიშვება მხოლოდ წინარე სიცოცხლისაგან (ბიოგენე'ზური კონცეფცია). მიკროორგანი'ზმების აღმოჩენამ ხელი შეუწყო თვითჩასახვის ჰიპოთე'ზის ხელახალ აღორძინებას. ამ მოსა'ზრების მომხრეები ამტკიცებდნენ, რომ არაცოცხალი მატერიისაგან მხოლოდ პრიმიტიული ფორმები (მიკროორგანი'ზმები) წარმოიქმნებიან. XIX ს. ლ.პასტერმა და ჯ.ტენდალმა ერთმანეთისაგან დამოუკიდებლად მა'ხვილგონივრული მარტივი ცდებით დაამტკიცეს თვითჩასახვის გ'ხით მიკროორგანი'ზმების წარმოშობის შეუძლებლობა. მათ დაასაბუთეს ორგანული ნაეროების შემცველ სით'ზეში (ბულიონში) მიკროორგანი'ზმები თვითჩასახვით კი არ ჩნდებიან, არამედ გარეშოდან ხვდებიან და ხელსაყრელ პირობებში ძრავლდებიან.

ამჟამად დედამიწა'ზე თვითჩასახვის გ'ხით სიცოცხლის წარმოშობა შეუძლებელია ორი მთავარი მი'ზე'ზის გამო. გარე სამყაროში არსებული ჟანგბადი (თავდაპირველ ატმოსფეროში იგი არ იყო) ზემოქმედებს ორგანულ ნივთიერებებ'ზე: შლის ან აინაქტიურებს მათ. მეორე მი'ზე'ზი რედუცენტების (ბაქტერიები, სოკოები და სხვ.) მოქმედებაა. ისინი შთანოქავენ და შლიან ორგანულ ნივთიერებებს

სტაციონარული მდგომარეობის ჰიპოთე'ზის თანახმად როგორც დედამიწა, ისე მასზე დასახლებული სახეობები მუდმივად არსებობდნენ. დედამიწა'ზე ყოველთვის იყო სიცოცხლისათვის აუცილებელი პირობები. ამ ჰიპოთე'ზის მომხრეებს მიაჩნიათ, რომ სახეობები არასდროს წარმოშობილან. ცალკეულ სახეობას აქვს ორი საშუალება: რიცხოვნობის გაზრდისა და განსახლების ან ამოწყდომის. ისინი არ ი'ზიარებენ შეხედულებას, რომ გეოლოგიურ ეპოქებში ხდებოდა გარკვეული სახეობების წარმოშობა, განვითარება, ხოლო ზოგიერთი მათგანის ამოწყდომა. ამ დებულების უარსაყოფად მათ მოჰყავთ შემდეგი არგუმენტი: პალეონტოლოგიური მონაცემებით მტევანფარფლიანი თევ'ზები ამოწყდნენ ცარცული პერიოდის ბოლოს ანუ 70 მილიონი წლის წინ. მაგრამ, მას შემდეგ რაც ინდოეთის ოკეანეში (კუნძულ მადაგასკართან) პირველად მოიპოვეს მტევანფარფლიანი თევ'ზი ლატიმერია, საჭირო გახდა ამ დასკვნის

პუნქტირალი'ზმის კონცეფციის ხელაღებით უარყოფა უმართებულოა, ვინაიდან მრავალი სარწმუნო არგუმენტი მიუთითებს, რომ შესაძლებელია სალტაციის გ'ხით ევოლუციური ცვლილებები. მაგ. მცენარეებში სპორანგიუმისა და ოესპკვირტის ჩამოყალიბება, ორლებნიანებიდან ეროლებნიანების წარმოქმნა და სხვ. მრავალი მაგალითის დასახელებაა შესაძლებელი ცხოველთა სამეფოდანაც, კერძოდ კისრისა და ტანის მალების რიცხვის მომატება ან შემცირება, ძუძუმწოვრებში საძილე არტერიების აორტის რკალის მარცხენა მხარეს, ფრინველებში მარჯვენა მხარეს გადატანა და მისთ.

ევოლუციის სინთე'ზური თეორია არ გამორიცხავს სახეობის მყისიერ წარმოქმნას, ვინაიდან სახეობის წარმოქმნის გ'ხები და საშუალებები ნაირგვარია. არსებითია სახეობათა წარმოქმნის ადაპტური ხასიათი, რომელიც მხოლოდ ბუნებრივი გადარჩევის მეშვეობით ხორციელდება.

ნაწილი VI. სიცოცხლის წარმოშობა

დედამიწ'ზე სიცოცხლის წარმოშობა ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი და რთული პრობლემაა. იგი მუდამ იპყრობდა მკვლევართა ყურადღებას. აღნიშნული პრობლემა მეცნიერების განვითარების სხვადასხვა ეტაპ'ზე სხვადასხვაგვარად განი ხილებოდა. ცნობილია მრავალი მახვილგონივრული შეხედულება დედამიწ'ზე სიცოცხლის წარმოშობის შესახებ. საჭიროა აღინიშნოს, რომ ამჟამად არსებული მონაცემებით მეცნიერებას არ ძალუძს უარყოს ან უპირატესობა მიანიჭოს რომელიმე მათგანს. თითოეულ ჰიპოთე'ზას ეძებნება მნიშვნელოვანი პოსტულატები, რომელთა უარყოფა არც თუ ისე იოლია. იმავდროულად წარმოდგენილ ჰიპოთე'ზებს მოეპოვებათ სუსტი ადგილები. შემოთავა'ზებულ ჰიპოთე'ზებს შორის მნიშვნელოვანია: 1.კრიაციონისტული; 2.თვითჩასახვის (სპონტანური ჩასახვა); 3.სტაციონარული მდგომარეობის (მარადიულობა); 4.პანსპერმიის (კოსმიური); 5.ბიოქიმიური.

კრიაციონისტული ჰიპოთე'ზის მიხედვით სიცოცხლე შეიქმნა განსა'ზღვრულ პერიოდში 'ხებუნებრივი ძალის (ღმერთის) ერთჯერადი შემოქმედებითი აქტის შედეგად. ამ შეხედულებას ავითარებს დღეს გავრცელებული მონოთეისტური (იუდაი'ზმი, ისლამი, ქრისტინობა) რელიგიები. იუდაისტურ-ქრისტინული ტრადიციული შეხედულება სიცოცხლის წარმოშობის შესახებ გადმოცემულია მოსეს ჩუთწიგნეულის პირველ წიგნში (იხ.დაბადება 1.1-26) და დაინტერესებულ მკითხველს შეუძლია გაეცნოს. საბუნებისმეტყველო მეცნიერება შეისწავლის იმ მოვლენებს, რომელ'ზედაც დაკვირვებაა შესაძლებელი, ამდენად მას არასოდეს არ შეეძლება უარყოს ან დაასაბუთოს კრიაციონისტული კონცეფცია.

თვითჩასახვაში (სპონტანური ჩასახვა) ჰიპოთე'ზა გავრცელებული იყო ძველ მსოფლიოში (ჩინეთი, შუამდინარეთი, ეგვიპტე, საბერძნეთი). იგი კრიაციონისტული კონცეფციის ალტერნატიულ ჰიპოთე'ზას წარმოადგენს. ამ ჰიპოთე'ზის თანახმად სიცოცხლე მრავალჯერ წარმოიშვა თავისთავად (სპონტანურად) არაცოცხალი

ნივთიერებებისაგან. არისტოტელეს (384-322 ძვ.წ.ა.) აზრით არაცოცხალს აქვს "აქტიური საწყისი", რის გავლენითაც ისინი ხელსაყრელ პირობებში ცოცხალ არსებებად გარდაიქმნებიან. XVII საუკუნეში ცნობილმა ექიმმა პარაცელსუსმა აღწერა წყლის, ჰაერის, თიხისა და დამჭადი ხისაგან თაგვის, ბაყაყის, გველთევზასა და კუს წარმოშობა. XVIII საუკუნეში კი გამოჩენილმა ბელგიელმა ექიმმა ჟან ბატისტ ვან ჰელმონტმა ჩაატარა ექსპერიმენტი და აღწერა ძველი პერანგისა და ხორბლისაგან სიბნელეში 21 დღეში თაგვების გაჩენის ხერხი. მისი აზრით, „აქტიურ საწყისს„ ადამიანის ოფლი შეიცავდა. მსგავსი მაგალითების დასახელება მრავლად შეიძლება. ამ მოსაზრებას (აბიოგენეზური კონცეფცია) იზიარებდა XVIII-XIX ს.ს. მრავალი გამოჩენილი ბუნებისმეტყველი, მათ შორის ჟ.ბ.ლამარკი.

იტალიელმა ექიმმა და ბუნებისმეტყველმა ფრანჩესკო რედიმ (აღიარებდა სახელობათა მუდმივობისა და უცვლელობის იდეას) 1688 წ ჩატარებული ცდებით დაასაბუთა თვითსასახვის გზით ორგანიზმთა წარმოშობის შეუძლებლობა. მან რვა ქილაში ჩააწყო გველის, თევზის, გველთევზასა და ხბოს ცურის ნაჭრები. ნახევარს მარმარშა გადააფარა, დანარჩენი კი თავღია დატოვა. თავღია ქილებში მართლაც გაჩნდნენ მატლები, მაგრამ არა თვითსასახვის შედეგად, არამედ ბუზების მიერ დადებული კვერცხებიდან. აქედან მან დაასკვნა, რომ სიცოცხლე წარმოიშვება მხოლოდ წინარე სიცოცხლისაგან (ბიოგენეზური კონცეფცია). მიკროორგანიზმების აღმოჩენამ ხელი შეუწყო თვითსასახვის ჰიპოთეზის ხელახალ აღორძინებას. ამ მოსაზრების მომხრეები ამტკიცებდნენ, რომ არაცოცხალი მატერიისაგან მხოლოდ პრიმიტიული ფორმები (მიკროორგანიზმები) წარმოიქმნებიან. XIX ს. ლ.პასტერმა და ჯ.ტენდალმა ერთმანეთისაგან დამოუკიდებლად მარტივი ცდებით დაამტკიცეს თვითსასახვის გზით მიკროორგანიზმების წარმოშობის შეუძლებლობა. მათ დაასაბუთეს ორგანული ნაერთების შემცველ ხსნარში (ბულიონში) მიკროორგანიზმები თვითსასახვით კი არ ჩნდებიან, არამედ გარემოდან ხვდებიან და ხელსაყრელ პირობებში მრავლდებიან.

ამჟამად დედამიწაზე თვითსასახვის გზით სიცოცხლის წარმოშობა შეუძლებელია ორი მთავარი მიზეზის გამო. გარე სამყაროში არსებული ჟანგბადი (თავდაპირველ ატმოსფეროში იგი არ იყო) ზეოქმედებს ორგანულ ნივთიერებებზე: შლის ან ინაქტიურებს მათ. მეორე მიზეზი რედუცენტების (ბაქტერიები, სოკოები და სხვ.) მოქმედებაა. ისინი შთანოქავენ და შლიან ორგანულ ნივთიერებებს

სტაციონარ შლი მდგომარეობის ჰიპოთეზის თანახმად როგორც დედამიწა, ისე მასზე დასახლებული სახეობები მუდმივად არსებობდნენ. დედამიწაზე ყოველთვის იყო სიცოცხლისათვის აუცილებელი პირობები. ამ ჰიპოთეზის მომხრეებს მიაჩნიათ, რომ სახეობები არასდროს წარმოშობილან. ცალკეულ სახეობას აქვს ორი საშუალება: რიცხოვნობის გაზრდისა და განსახლების ან ამოწყდომის. ისინი არ იზიარებენ შეხედულებას, რომ გეოლოგიურ ეპოქებში ხდებოდა გარკვეული სახეობების წარმოშობა, განვითარება, ხოლო ზოგიერთი მათგანის ამოწყდომა. ამ დებულების უარსაყოფად მათ მოჰყავთ შემდეგი არგუმენტი: პალეონტოლოგიური მონაცემებით მტევანფარფლიანი თევზები ამოწყდნენ ცარცული პერიოდის ბოლოს ანუ 70 მილიონი წლის წინ. მაგრამ, მას შემდეგ რაც ინდოეთის ოკეანეში (კუნძულ მადაგასკართან) პირველად მოიპოვეს მტევანფარფლიანი თევზი ლატიმერია, საჭირო გახდა ამ დასკვნის

შესწორება. მათი შეხედულებით დღეს არსებული სახეობებისა და ნამარხი ფორმების შედარებით შესაძლებელია მხოლოდ გაირკვეს ამოწყდა თუ არა კონკრეტული სახეობა. ისინი ნამარხი ფორმების არსებობას ეკოლოგიურ ასპექტში განიხილავენ, კერძოდ რიცხოვნობის ცვლილებით ან ხელსაყრელ პირობებში მათი გადაადგილებით.

პანსპერმიის ჰიპოთეზის მიხედვით სიცოცხლე შეიძლება წარმოშობილიყო ერთხელ ან მრავალჯერ, სხვადასხვა დროს გალაქტიკის ან კოსმოსის სხვადასხვა ნაწილში (ე.ი.განსხვავებულ დროსა და სივრცეში). შემდგომში მოხდა ცოცხალის განსახლება კოსმოსში, საიდანაც სტერილურ დედამიწაზე შემოაღწია. ამ ჰიპოთეზის ყველაზე რადიკალური ვარიანტის მიხედვით კოსმოსურ სივრცეში გაფანტულია მიკროორგანიზმთა სპორები, რომლებიც სტერილურ დედამიწაზე მოხვდნენ და დასახამად მისცეს სიცოცხლეს. ასეთ შეხედულებას ავითარებდა XIX ს. დასასრულს შვედი მეცნიერი, ნობელის პრემიის ლაურეატი სვანტე არენიუსი. სადღეისოდ ამ მიმართულების მიმდევართა აზრით (ფ.ჰოილი, ნ.ჩანდრა ვიკრამასინგხი და სხვ.) გრიპის, შიდსის და სხვა დაავადებათა გამომწვევი ვირუსები არამიწიერი წარმოშობისაა. მრავალი მეცნიერი ერთი მარტივი მიზეზის გამო არ ეთანხმება ამ შეხედულებებს. კერძოდ, კოსმოსში არაა მიკროორგანიზმთა არსებობისათვის შესაფერი პირობები. ექსპერიმენტული გამოკვლევებით კოსმოსში ვერ აღმოაჩინეს მიკრობები და ვირუსები. ამასთან, საკმაოდ რთულია პასუხი გაეცეს კითხვას თუ რა გზით ხვდებიან მოძრაობის უნარს მოკლებული მიკროორგანიზმები ერთი პლანეტიდან მეორეზე? აქვე უნდა დავძინოთ, რომ ამერიკელმა მეცნიერმა მ.გრინბერგმა ექსპერიმენტულად დაამტკიცა, რომ თუ მიკრობებს ყინულის ოხელი შრე ფარავს, მაშინ მათ საკმაოდ დიდხანს (10^7 წლამდე) შეუძლიათ კოსმოსურ სივრცეში არსებობა.

ვინაიდან ამჟამად თავდაპირველ ორგანულ ნაერთთა აბიოგენური სინთეზის მომხრეთა თეორიული ვარაუდები ჩიხში მოექცა, ზოგიერთმა მეცნიერმა პრობლემის გადასაჭრელად პანსპერმიის ჰიპოთეზა მოიშველია. კერძოდ მათი აზრით დედამიწაზე ორგანული ნაერთები კოსმოსიდან მოხვდა. ამდაგვარი ვარაუდი პირველად ჩვენი საუკუნის 60-იან წლებში ამერიკელმა მეცნიერმა ჯ.ოროშ გამოთქვა. მაროლაც ასტრონომებმა მოგვიანებით კოსმოსურ სივრცეში აღმოაჩინეს ნარგვარი ორგანული ნაერთები. ასევე დადასტურდა, რომ დედამიწაზე მოხვედრილი გარკვეული სახის მეტეორები შეიცავენ ამინომჟავებს, სპირტებს, ნახშირწყალბადებს და რიგ ისეთ ორგანულ ნაერთებს, საიდანაც უჯრედის მემბრანის ფორმირებაა შესაძლებელი. კომეტების ფოტოსპექტრული ანალიზით დადგენილია, რომ ისინი გაცილებით დიდი რაოდენობით შეიცავენ ნარგვარ ორგანულ ნაერთებს, ვიდრე მეტეორიტები. სადღეისოდ ეჭვს არ იწვევს დიდი ზომის კომეტების დაცემა დედამიწაზე. 80-იან წლებში ორგელმა და კრიკმა გამოთქვეს სენსაციური მოსაზრება, რომ სიცოცხლის ჩანასახი გამოგზავნილია სხვა პლანეტელების მიერ კოსმოსური ხომალდის მეშვეობით. ეს იდეა ამჟამად "მიმართული პანსპერმიის" სახელწოდებით მოიხსენიება. მიუხედავად იმისა, რომ ავტორებმა შეხედულება რამდენადმე შეიცვალეს, ამ იდეას მრავალი მომხრე გამოუჩნდა. ამრიგად, პანსპერმიის ჰიპოთეზა არავითარ მექანიზმს (ვარაუდს) არ გვთავაზობს, თუ როგორ შეიძლება მოშხდარიყო თავდაპირველად სიცოცხლის წარმოშობა. იგი ავითარებს იდეას მყისეულად წარმოშობილი ცოცხალი სისტემები რა გზით შეიძლება განსახლებულიყო კოსმოსში და მოხვედრილიყო სტერილურ დედა-

მიწაზე.

ბიოქიმიური ჰიპოთეზა. თანამედროვე კოსმოგონური წარმოდგენების თანახმად დედამიწა წარმოიქმნა დაახლოებით 4-5 მილიარდი წლის წინათ კოსმოსში გაფანტულ აირებისა და ნივთიერებების მტვრის გუნდების ურთიერთმიზიდვისა და შემჭიდროების (თავმოყრის) შედეგად. რადიაქტიული დაშლის გამო დედამიწაზე ტემპერატურა საკმაოდ მაღალი (4000-8000°C) იყო. მას შემდეგ, რაც დედამიწა გაცივდა, ნახშირბადისა და რიგი ძნელადდნობადი მეტალებისაგან გამკვრივდა და ჩამოყალიბდა დედამიწის ქერქი. მიასნიათ, რომ 3,8 მილიარდი წლის წინ დედამიწაზე ჯერ კიდევ შეუძლებელი იყო სიცოცხლის არსებობა. დაახლოებით 3,5 მილიარდი წლის წინათ დედამიწაზე უკვე სახლობდნენ პრიმიტიული ფოტოსინთეზის უნარის მქონე (ციანობაქტერიების მსგავსი) ცოცხალი ორგანიზმები. ხოგჯერ ისინი ქმნიდნენ მკვრივ გროვებს, რომელთაც წვენამდე გაქვავებული-სტრომატოლიტების (გვხვდება ავსტრალიისა და სამხრეთ აფრიკის ხღვის სანაპირო ხოლში) მიკროფოსილიების სახით მოაღწიეს.

ბიოქიმიური ჰიპოთეზის თანახმად სიცოცხლე წარმოიშვა დედამიწაზე, მისი განვითარების გარკვეულ ეტაპზე ბუნებრივი განვითარების გზით, თანდათანობით, ფიზიკურ და ქიმიურ პროცესებზე დამყარებული მოვლენების შედეგად. ამ პროცესმა ნახშირბადის შემცველი ნაერთების ევოლუცია გამოიწვია. ბიოქიმიური ჰიპოთეზა წამოაყენა რუსმა ბიოქიმიკოსმა ა.ოპარინმა (1924), ხოლო შემდგომ განავითარა ინგლისელმა მეცნიერმა ჯ.ჰოლდეინმა (1929). ამ ჰიპოთეზის თანახმად სიცოხლის გაჩენას წინ უძღოდა ქიმიური ევოლუციის ხანგრძლივი ეტაპი, რომლის შედეგადაც წყლის აუზში აბიოგენური გზით წარმოიშვა რთული ორგანული ნაერთები. ძომდევნო ეტაპი კი ბიოლოგიურ ევოლუციას წარმოადგენდა.

ამჟამად, სიცოცხლის წარმოშობის პროცესს პირობითად ოთხ ეტაპად ყოფენ:

1.პირველადი ატმოსფეროს აირებიდან დაბალმოლეკულური ორგანული ნაერთების სინთეზი;

2.ცილებისა და ნუკლეინის მჟავების შემადგენელი მონომერების პოლიმერიზაცია;

3.გარემოსაგან მემბრანებით გამოყნული სისტემების ჩამოყალიბება;

4.მარტივი უჯრედის ჩამოყალიბება, რომელსაც მოეპოვებოდა სიცოცხლისათვის დამახასიათებელი ნიშნები. კერძოდ, ჰქონდათ რეპროდუქციული აპარატი, რითაც შვილეულ უჯრედებს გადაეცემოდა მშობლის ყველა ქიმიური და მეტაბოლური თვისებები.

პირველი სამი ეტაპი ქიმიურ ევოლუციას მიეკუთვნება, მეოთხე კი - ბიოლოგიურს. ქიმიური ევოლუციის პერიოდში მოხდა აბიოგენური გზით რთული ორგანული ნივთიერებების სინთეზი. ქიმიური ევოლუციის შესაძლებლობა დედამიწაზე მოდელური ცდებით პირველად დაასაბუთა ჩიკაგოს უნივერსიტეტის 23 წლის ასპირანტმა სტენლი მილერმა (1953) ნობელის პრემიის ლაურეატის ჯ.ურის ხელმძღვანელობით. მან პირველადი ატმოსფეროს საგარაუდო ნივთიერებებზე (მეთანი, ამიაკი, წყლის ორთქლი) ელექტრული მუხტის ზემოქმედებით მიიღო მარტივი ორგანული ნივთიერებები. აღნიშნული ცდები მრავალმა მეცნიერმა გაიმეორა მოდიფიცირებული

საჩით და დაადასტურეს ამიოგენური გ'ჩით 'ხოგიერთი ორგანული ნაერთის (ამინომჟავეები, ა'ხოტოვანი ფუძეები, ნახშირწყლები და მისთ.) სინთე'ზის შესაძლებლობა. გამოთქმულია მოსაზრება, რომ მარტივი ორგანული ნივთიერებები დედამიწის 'ხედაპირზე შესაძლოა აგრეთვე მოჩვედრილიყო ვულკანური მტვერიდან. ვულკანი ერთი ამოფრქვევისას 1000 ტ ორგანულ ნივთიერებას ამოისვრის.

მას შემდეგ რაც გაირკვა დნმ-ის როლი ცილის სინთე'ზში და საზოგადოდ გენეტიკური ფუნქცია, წამოყენებულ იქნა შეხედულება, რომ თავდაპირველ ოვითწარმომქმნელ მოლეკულებს ნუკლეინის მჟავები წარმოადგენენ. ამასთანავე, გაირკვა რომ ცილა-ფერმენტების გარეშე დნმ-ს არ შეეძლო ფუნქცირება. თუ ცილების სინთე'ზისათვის საჭიროა დნმ, დნმ-ის ფუნქცირებისა და სინთე'ზისათვის კი ცილები, ისმის კითხვა: მათგან რომელი წარმოიშვა პირველად? ამ ჩიხიდან გამოსავალი 80-იან წლებში მოიძებნა. კერძოდ, ამერიკელმა მეცნიერებმა თ.ჩეკმა და ს.ალტმანმა რნმ-ის სპლაისინგის რეაქციებში აღმოაჩინეს 'ხოგიერთი რნმ-ის კატალი'ზური ფუნქცია: მათ ჰქონდათ რნმ-ის მოლეკულის განსა'ხღვრულ უბანში გახლეჩისა და შემდგომ ფრაგმენტების შეერთების უნარი. რნმ-ის აუტოსპლაისინგის აღმოჩენისათვის ავტორებს 1989 წ. ნობელის პრემია მიენიჭათ. ამრიგად, სიცოცხლის წარმოშობის პრობლემა შეიძლება სხვა მიმართულებით შევისწავლოთ. ვინაიდან რნმ-ი ეროდროულად გენიცაა და ფერმენტიც, ამერიკელმა მეცნიერმა უ.გილბერტმა თავდაპირველ დედამიწა'ზე არსებულ ამ ნაერთების მქონე ორგანი'ზმებს "რნმ-ის სამყარო" უწოდა. მისი აზრით თავდაპირველ ორგანი'ზმებს ჰქონდათ ფერმენტული და ოვითწარმოქმნის უნარის მქონე მარტივი აგებულების რნმ-ის მოლეკულები. მოგვიანებით ამდაგვარ ორგანი'ზმში ჩამოყალიბდა ცილებისა (რითაც გაი'ზარდა რეაქციის სიჩქარე) და ლიპიდების (განჩორციელდა მემბრანის ფორმირება) სინთე'ზის უნარი. მემბრანის მეშვეობით ორგანი'ზმი გაემიჯნა გარე სამყაროს. ევოლუციის მომდევნო საფე'ხურ'ზე ორსპირალიანი დნმ-ის მოლეკულებით მოხდა გენეტიკური ფუნქციის განჩორციელება.ისინი გაცილებით საიმედოდ იმახსოვრებდნენ გენეტიკურ ინფორმაციას, ვიდრე რნმ-ი. ამ საჩის მოლეკულებით ევოლუციის შესაძლო მსვლელობის დასაბუთება ლაბორატორიულ პირობებში განახორციელეს ჯ.'ზოსტოკმა და მისმა თანამშრომლებმა. მათ ისეთი რნმ-ი მიიღეს, რომელიც მრავალჯერ ახდენდა აუტოსპლაისინგს. გერმანელმა მეცნიერმა მ.ეიგენმა ექსპერიმენტულად დაასაბუთა, რომ "რნმ-ის სამყაროს" ცილებისა და სპეციალურად შერჩეული მასტიმულირებელი ფაქტორების ზეგავლენით შეეძლო ადაპტაცია და ევოლუცია.

"რნმ-ის სამყაროს" კონცეფციის შემდგომი განვითარებისას მკვლევარები გარკვეულ წინააღმდეგობას წააწყდნენ. კერძოდ დაისვა კითხვა: რა გ'ჩით წარმოიშვა პირველი რნმ? ნუკლეოტიდებისა და რნმ-ის ხელოვნური სინთე'ზი საკმაოდ რთული პროცესია. მით უფრო ძნელი წარმოსადგენია მისი განჩორციელება პრებიოტ'ურ პირობებში. რნმ-ის მოლეკულის შემადგენლობაში შედის შაქარი რიბო'ხა. ერთდროულად მიიღება ისეთი შაქრებიც, რომლებიც ა'ხდენენ რნმ-ის შემდგომი სინთე'ზის ინჰიბირებას. ამასთან, გადაუჭრელ პრობლემად რჩება შემდეგი ფაქტი: ბუნებაში საკმაოდ აშკარა ელემენტი ფოსფორი, როგორ გახდა ნუკლეინის მჟავების (დნმ, რნმ) ერთ-ერთი ძირითადი კომპონენტი?

იმის გამო, რომ რნმ-ის აუტოსპლაისინგი ვერ ჩორციელდება ექსპერი-

შენტატორის ჩაურევლად, ხოლო ექსპერიმენტულ პირობებში რნმ-ის სამყაროს განვითარების თავდაპირველი ეტაპებიც შეტად რთულია, გამოითქვა მოსაზრება (ლ.ორგელი), რომ "რნმ-ის სამყაროს" უსწრებდა რაღაც წინამორბედი ნაერთი, რომელმაც ნიადაგი შეუმზადა "რნმ-ის სამყაროს".

ჯ.რებეკამ და მისმა თანამშრომლებმა მოახდინეს მსგავსი ნაერთის სინთეზი (AATE ამინო-ადენოზინ-ტრიაცილეთერი). იგი ქიმიური თვისებებით ჩამოგავს ცილებსაც და ნუკლეინის მჟავებსაც. გარკვეულ არეში მას აქვს აუტორეპროდუქციის უნარი და უშეცდომოდ ახორციელებს აღნიშნულ პროცესს. ევოლუციის პროცესისათვის მნიშვნელოვანია მუტანტური ვარიანტების წარმოქმნა და დაგროვება, რითაც ბუნებრივი გადარჩევისათვის იქმნება საწყისი მასალა.

სიცოცხლის წარმოშობაში საიდუმლოებითაა მოცული ცოცხალი სისტემისათვის დამახასიათებელი **ჰირალური სიმეტრიის** (ბერძ. cheir–ხელი) არსებობის ფაქტი. ასიმეტრია ორგანული მოლეკულების თვისებაა. ცილის მოლეკულები შედგებიან მხოლოდ "მარცხნივ" მბრუნავი (პოლარიზებული სხივის სიბრტყის მარცხნივ მბრუნავი) ამინომჟავებისაგან, ხოლო ნუკლეინის მჟავები "მარჯვნივ" მბრუნავი შაქრებისაგან. პრებიოლოგიურ გარემოში პირველადი სარკისებრი სიმეტრია შეიცვალა ასიმეტრიით და ცოცხალ სისტემაში ქირალური სიწმინდე ჩამოყალიბდა. გამოირკვა, რომ სარკისებრი სიმეტრიის მქონე პოლინუკლეოტიდების რეპლიკაცია არ ხდება, ვინაიდან მისი შემადგენელი ახოტოვანი ფუძეები სხვადასხვა მხარესაა მიმართული. ასეთ პოლინუკლეოტიდს არ გააჩნია, აგრეთვე, სპირალური ორგანიზაცია. ამასთან აღმოჩნდა, რომ ტ-რნმ-ის "მარცხნივ" მბრუნავ შაქრებს მხოლოდ "მარჯვნივ" მბრუნავი ამინომჟავები უკავშირდებიან. ამიტომ სიცოცხლის წარმოშობა გამორიცხავდა სარკისებრ სიმეტრიას პრებიოლოგიურ გარემოში. ამერიკელი მეცნიერის ბერნარის ვარაუდით ქირალური სიწმინდე გამოწვეული იყო იმით, რომ პრებიოლოგიური სინთეზი კვარცის კრისტალების ზედაპირზე ხდებოდა. გამოთქმულია მოსაზრება, რომ ამდაგვარი ასიმეტრია შეეძლო, აგრეთვე, გამოეწვია ბეტა-დაშლას, დედამიწის მაგნიტური ველის მოქმედებას ან წრიულად მბრუნავ პოლარიზებულ სხივს.

ბიოლოგიური სისტემების ჩამოყალიბების საწყისი ეტაპების ასახსნელად მრავალი თეორიული ვარაუდია გამოთქმული. მათ რიცხვს მიეკუთვნება კოაცერვატული ჰიპოთეზა (ა.ოპარინი, ჯ.ჰოლდეინი). პრებიოლოგიური ევოლუციის საწყის ეტაპზე მოხდა შრავალმოლეკულური კომპლექსების: კოაცერვატული წვეთების (ა.ოპარინი) ან მიკროსფეროების (ს.ფოქსი) ჩამოყალიბება. მათ აღენიშნებოდათ გარემოსთან ურთიერთქმედების უნარი. კოაცერვატული სუსპენზიების და მიკროსფეროების ჩამოყალიბების უნარი ჩოგიერთი პოლიმერული ნაერთების დამახასიათებელი თვისებაა. ამდაგვარი სისტემების რეალური არსებობის შესაძლებლობა თავდაპირველ დედამიწაზე მეცნიერებმა ექსპერიმენტულად დაასაბუთეს. ვარაუდობენ, რომ პრებიოლოგიური ევოლუციის პროცესში კოაცერვატულმა წვეთებმა (შედგებოდნენ მარტივი ორგანული ნივთიერებებისა და გარკვეული მეტალთა იონებისაგან) დასაბამი მისცეს ჰიპოთეზურ პროტოუჯრედებს (ე.წ.პრობიონტებს).

ორგანულ ნაერთთა სინთეზი კოაცერვატებში ძლიერდებოდა და თანდათანობით მიზანმიმართულ ხასიათს იძენდა. ენერგიის წყაროდ თავდაპირველად ამოიგე-

ღვთაებრივ საწყისებს შორის, იმას შორის, რაც უფრო დიდია, ვიდრე ადამიანური, და იმას შორის, რაც უფრო მცირეა, ვიდრე ადამიანური".

ადამიანი იმდენად გაძლიერდა, რომ შესწევს ძალა დაანგრიოს ბუნება და მისივე შექმნილი საარსებო გარემო. მისი პრაქტიკული მოღვაწეობა თეორიულ წანამძღვრებთან ერთად იყო და რჩება ქმედებად ბოროტსა და კეთილს შორის. ამიტომ დღეს ადამიანის გარკვევის პრობლემა განსაკუთრებული სიმძაფრით დაისვა მეცნიერების წინაშე. ადამიანის პრობლემას იკვლევს სხვადასხვა მეცნიერული მიმართულებები. ადამიანი ცოცხალი ორგანიზმებიდან ერთადერთია, რომელიც ცდილობს შეიცნოს საკუთარი თავი და გაარკვიოს საკითხი–რა ადგილი უკავია მას სამყაროში. თვითშეცნობის პროცესში ძარტო ის კი არაა დასადგენი, რას წარმოადგენს ადამიანის ბუნება, არამედ ისიც, თუ რას ნიშნავს, იყო ადამიანი. ჰუმბოლდტის აზრით "ადამიანისათვის ადამიანზე საინტერესო ქვეყნად არაფერია".

მარად მაძიებელმა და ცნობისმოყვარე ადამიანის გონმა დაადგინა მისი მოქმედების განსაცვიფრებელი ფაქტები. თუმცა ცოდნის დღევანდელ დონეზე მაინც აუხსნელი რჩება ტვინის მოქმედების მრავალი საკითხი. გარდუვალი ხდება კვლევის ახალი მეთოდების დანერგვა და, ალბათ, არსებულ ცნებათა სისტემის გადახედვა. ამ მხრივ აღსანიშნავია ნობელის პრემიის ლაურეატის, დეზოქსირიბონუკლეინის მჟავას სტრუქტურის დამდგენი ცნობილი ბიოქიმიკოსის ფ.კრიკის აზრი ტვინის მოქმედების შესახებ. იგი უკანასკნელი 30 წელი სერიოზულადაა გატაცებული ნეირობიოლოგიით. აი რას წერს იგი: "ჩვენ ვგრძნობთ, რომ არსებობს რაღაც რთული ასახსნელი, მაგრამ ვერ ვახერხებთ ნათლად და ზუსტად ჩამოვაყალიბოთ ამ არსის სირთულე. ეს კი გვიბიძგებს იქითკენ, რომ მოელი ჩვენი აზროვნების წესი ამგვარი პრობლემის ირგვლივ შესაძლებელია მცდარი იყოს". მიუხედავად არსებითი სიძნელებისა, კაცობრიობამ ერთხელ და სამუდამოდ გადააბიჯა ზღვარს, რომელიც მას ცხოველთა სამყაროსაგან ჰყოფს.

კ.ლინეს ცხოველთა სახეობის კლასიფიკაციაში ადამიანი მოათავსა პრიმატთა რიგში. ამავე რიგშია გაერთიანებული ადამიანისმაგვარი მაიმუნები, უმდაბლესი მაიმუნები და ნახევრად მაიმუნები. ჰომინიდთა კლასიფიკაცია ნაჩვენებია 7.1 ცხრილში. მიუხედავად მრავალწლიანი ინტენსიური შრომისა, ჰომინიდთა ტაქსონომია არ შეიძლება ჩაითვალოს სრულყოფილად. იგი განიცდის დახვეწას, განსაკუთრებით ახალი ბიოქიმიური საკლასიფიკაციო მეთოდების გამოყენების გამო. ამიტომ საჭირო გახდა დაზუსტდეს ორი ტერმინის, ჰომინიდის და ადამიანის ცნება. ძველად ორივე ტერმინი სინონიმად იხმარებოდა. დღეს კი იგი შეიძლება შეცდომის წყაროდ იქცეს და მკვლევართა შორის გაუგებრობა გამოიწვიოს. ჩვენ არ ვიცით რა განსხვავებაა ამომწყდარ და შემორჩენილ ჰომინოიდთა შორის. ამიტომ ჰომინიდი უნდა გამოვიყენოთ ყველა იმ პოპულაციათა და სახეობათა მიმართ, რომელშიც ჩვენ გვაერთიანებს ზოგადად ევოლუციური ისტორია. "ძველ ჰომინოიდად" ითვლებიან ის ჰომინიდები, რომლებმაც მოაღწიეს Homo sapiens-ის გაჩენამდე (ტერმინი "ადამიანი" უნდა ვიხმაროთ მხოლოდ დღეს არსებულ ჰომინიდთა ერთ ქვესახეობაზე Homo sapiens sapiens).

არსებობდა ზოგიერთი მკვლევრის მოსაზრება, რომ ადამიანთა წინაპრები ამოეღოთ Hominoidea-ს ზეოჯახიდან, მაგრამ შედარებითი ანატომიის მონაცემები

ცხრილი 7-1. ჰომინოიდთა ტაქსონომია

ტაქსონი	დასახელება	ტაქსონში გაერთიანებული ცხოველები
კლასი	Mammalia	ძუძუს თბილსისხლიანია. სხეული დაფარული აქვთ ბალნით
რიგი	Primates	ნახევრად მაიმუნები, ადამიანისმაგვარი მაიმუნები და ადამიანი
ქვერიგი	haplorhini	გრძელტერფიანი მაიმუნები, ადამიანისმაგვარი მაიმუნები და ადამიანი
ინფრარიგი	Catarrhini	„ძველი სამყაროს" მაიმუნები, ადამიანისმაგვარი მაიმუნები და ადამიანი
ზეოჯახი	Hominoidea	ადამიანისმაგვარი მაიმუნები და ადამიანი
ოჯახი	Hominidae	ადამიანი და მისი წინაპარი ადამიანი
გვარი	Homo	ადამიანი
სახე	Homo sapiens	ნეოანთროპი
ქვესახე	Homo sapiens sapiens	ანატომიურად თანამედროვე ადამიანი

ამტკიცებენ, რომ ადამიანს უფრო მეტი საერთო ნიშანი აქვს ადამიანისმაგვარ მაიმუნებთან, ვიდრე უმძაბლეს და ნახევრად მაიმუნებთან. გამოთვლილია, რომ ადამიანს აქვს საერთო ნიშნები:

1.ადამიანისმაგვარ მაიმუნებთან –623
2.უმძაბლეს მაიმუნებთან – 60
3.ნახევრად მაიმუნებთან – 17

საინტერესოა რა განმასხვავებელი ნიშნები მოეპოვება ადამიანს ადამიანისმაგვარი მაიმუნებისაგან. ისინი საკმაოდ მრავალრიცხოვანია, ჩამოვთვლით მხოლოდ გარეგნულ ნიშნებს: 1.სხეულის ვერტიკალური პოზა. აღსანიშნავია, რომ ნახევრად ვერტიკალური პოზის მიღება შეუძლიათ პრიმატებსაც, მაგრამ ადამიანს იგი სრულყოფილად აქვს გამოხატული; 2.მოკლე ხელები და გრძელი ფეხები; 3.ფეხის თითები პარალელურია; 4.ხელის თითები ცერა თითის პერპენდიკულარულია; 5.რედუცირებულია კანის ბალნის საფარი; 6.ბალანი აქვს თავზე, იღლიაში და სასქესო ორგანოების არეში; 7.საოფლე ჯირკვლები აქვთ სხეულის მოელ ზედაპირზე; 8.ახალი ტიპის ცხიმოვანი ქსოვილი, განსაკუთრებით ბავშვებს; 9.ქალებს დიდი მკერდი; 10.კაცებს დიდი პენისი; 11.დიდი თავის ქალა; 12.პატარა კბილები; 13.შედარებით ბრტყელი სახე; 14.მაღალი სასა, მოქნილი ენა.

ამ გარეგნულ განმასხვავებელ ნიშნებს შეიძლება დავამატოთ არაერთი შინაგანი ნიშანი. მაგრამ მთავარი, რამაც შეცვალა ჰომინიდთა ევოლუციის მიმართულება, იყო თავის ტვინის განვითარება, რომელმაც წარმოშვა ადამიანის გონიერული ქცევის საკითხები განხილული იქნება მომდევნო ქვეთავში.

ადამიანის წინაპართა ევოლუცია მოიცავს რთულსა და გრძელ პროცესს, რომლის შესწავლაში მონაწილეობს სხვადასხვა მეცნიერული მიმართულებები, პალეოანთროპოლოგია გასცდა სპეციალისტ-ანთროპოლოგთა ინტერესების სფეროს და გადაიქცა მულტიდისციპლინარულ დარგად. იგი თავის კვლევებში იყენებს: ისტორიული გეოლოგიის, ზოოლოგიის, ეკოლოგიის, ეთოლოგიის, სოციოლოგიის, ნეირობიოლოგიის, ნეიროფსიქოლოგიის, ნეიროლინგვისტიკის, მოლეკულური ბიოლოგიის, ქიმიისა და ფიზიკის მიღწევებს.

დადგენილია, რომ ჰომინოიდთა ბიოლოგიური ევოლუცია გრძელდება 14 მილიონი წელი, რის შედეგადაც ადამიანმა მიიღო დაახლოებით იმდაგვარი ანატომიური აგებულება, რომელიც დღეს აქვს. ბიოლოგიური ევოლუციის შემდეგ იწყება კულტურული ევოლუცია, რომელიც მოიცავს 2 მილიონ წელს. ეს პროცესი არ უნდა იყოს გაგებული ისე, თითქოს კულტურული ევოლუციის დაწყებით წყდება ბიოლოგიური ევოლუცია. ეს უკანასკნელი მიმდინარეობს კულტურული ევოლუციის პარალელურად და იგი დღესაც გრძელდება. ე.ი. მიმდინარეობს ბიოკულტურული ევოლუცია, რომელმაც ადამიანი ჩამოაყალიბა ბიოსოციალურ ინდივიდად.

კულტურა რთული და მრავლის მომცველი ტერმინია. მიუხედავად კულტურისადმი ანთროპოლოგთა დიდი ინტერესისა, ტერმინი ზუსტად განმარტებული მაინც არ არის. არსებობს გამოთქმა: ტერმინის იმდენი განმარტება შეიძლება არსებობდეს, რამდენი მეცნიერ-ანთროპოლოგიც არისო. კულტურა გულისხმობს ადამიანთა გვარის არაბიოლოგიური ქცევებს. მასში აერთიანებენ ენას, იარაღის კეთებას, ქცევის ზოგიერთ ფორმებს, სიმბოლებით აზროვნებას და სიმბოლოებითვე ოვითორგანცდის უნარს. კულტურა არ გადაეცემა გენეტიკური აპარატით, იგი ისწავლება და ხდება მისი შეთვისება საზოგადოებაში თანაარსებობით. კულტურა დამახასიათებელია მხოლოდ ადამიანებისათვის. ბუნებრივია იბადება კითხვა: რა როლი შეასრულა კულტურულმა ევოლუციამ ჰომინიდთა გაადამიანებაში? შეიძლება ითქვას, არაფერი. ამის დამამტკიცებელ მასალას იძლევა შემდეგი ფაქტი: თუ ადამიანური კულტურის ცალკეულ ფორმებს განვიხილავთ, აღმოვაჩენთ მათ არსებობას ცხოველებშიც. მაგალითად, შიმპანზე აკეთებს და იყენებს იარაღს, აქვს ხატვის მცდელობა და უპირატესობას ანიჭებს მწვანე და ყვითელ ფერს. შეიძლება მოვიყვანოთ მაგალითები ცხოველთა სამეფოს სხვა წარმომადგენლებისთვისაც: ბუდის შენება, მწერების მიერ გზების გაყვანა და სხვა.

პ.ფოული სავსებით სამართლიანად აღნიშნავს, რომ გაადამიანების პროცესში კულტურული ევოლუციის ნაცვლად უნდა ვიხმაროთ ადექვატური ტერმინი-ქცევის ევოლუცია, ვინაიდან კულტურა ქცევის ევოლუციის შედეგია და არა ფაქტორი. ევოლუციის შედეგად თავის ტვინის ცეფალიზაციამ და ნეირონთა დიფერენცირებამ ადამიანის წინაპრებს გაუფართოვა ქცევითი რეპერტუარი, რომელმაც გადამწყვეტი როლი ითამაშა გაადამიანებაში. ტვინს, ცნობისმოყვარეობის საფუძველზე, გაუჩნდა შრომის მოთხოვნილება. შრომას არ შეუქმნია ადამიანი, შრომა იყო თავის ტვინის მოთხოვნილების შესაბამისი პროცესი.

მოსაზრება, რომ ადამიანი ჩამოყალიბდა ევოლუციურ და ეკოლოგიურ პრინციპთა საფუძველზე, ეჭვარება ერთ ძირითად თვალსაზრისს. ადამიანის სახეობა განხილება, როგორც ბიოლოგიური ორგანიზმი, ხოლო ჩვენ, ცალ-ცალკე აღებული, ვართ სხვადასხვა ეკოლოგიურ პირობებში ჩამოყალიბებული ცხოველთა ევოლუციის

შედეგი. პითაგორამ აღნიშნა, რომ "ადამიანი ნათესავია ცხოველისა". ამ საკითხებზე საინტერესო შეხედულებები აქვს გამოთქმული 1809 წ. ლამარკს "ზოოლოგიის ფილოსოფიაში". 1863 წელს ჰაქსლიმ ჩამოაყალიბა შეხედულება, რომ ადამიანი ადამიანისმაგვარი მაიმუნის შთამომავალია. ჩ.დარვინის კონცეფციის თანახმად, ადამიანის ევოლუცია წარმართა ბიოლოგიურმა და სოციალურმა ფაქტორებმა. 1543 წ. კოპერნიკმა რადიკალურად შეცვალა ადამიანთა წარმოდგენა სამყაროს შესახებ. მან გააქარწყლა მითი, რომ დედამიწა არის სამყაროს უძრავი ცენტრი. ანალოგიური მოვლენა განმეორდა 1859 წლის 24 ოქტომბერს, როდესაც გამოქვეყნდა ჩ.დარვინის შრომა "სახეობათა წარმოშობა". ამ წიგნის 1250 ეგზემპლარი პირველ დღესვე გაიყიდა. მეცნიერთა შორის დარვინი იყო პირველი, რომელმაც ნაშრომში „ადამიანის წარმოშობა და სქესობრივი გადარჩევა" 1871 წ. დამაჯერებლად დაასაბუთა, რომ ადამიანი წარმოიშვა დღეისათვის უცნობი რომელიღაც ადამიანისმაგვარ მაიმუნთა სახეობიდან.

ამ მოსაზრების სარწმუნოობა მტკიცდება შემთხვევით მოპოვებული 30 ადამიანის ბიოგრაფიით. საუბარი ეხება ჩვილ ბავშვებს, რომლებიც უბედური შემთხვევის გამო ჩამოშორდნენ ადამიანთა გარემოს და იზრდებოდნენ ცხოველებში, ძირითადად მგლებს შორის. რამდენიმე წლის შემდეგ ამ ბავშვთა ქცევები შეისწავლეს ფსიქოლოგებმა. აღმოჩნდა, რომ ბავშვები ვერ ლაპარაკობდნენ, მოძრაობის დროს იყენებდნენ ხელებს, ლაპარაკის სწავლა გაუჭირდათ. დამტკიცდა, რომ საზოგადოებისაგან იზოლირებული ადამიანი პირველსავე თაობაში კარგავს ადამიანისათვის დამახასიათებელ თვისებებს. მათი ქცევები მაიმუნების ქცევებს უახლოვდება.

ჩვენს პლანეტაზე სიცოცხლეს 3,5 მილიარდ წელზე მეტი ხნის ისტორია აქვს. Homo sapiens-ი არის ცხოველთა სამეფოში ყველაზე გვიან წარმოშობილი ქვესახეობა. იგი წარმოიშვა დაახლოებით 60.000-100.000 წლებს შორის, ხოლო მისი გადაშენებული შორეული წინაპრები 5-6 მილიონი წლის წინათ ცხოვრობდნენ.

ადამიანი არის დედამიწაზე მცხოვრები ერთადერთი ვერტიკალური პოზით მოსიარულე ცხოველი, რომლისთვისაც ნიშანდობლივია სუსტად განვითარებული თმის საფარი, პატარა კბილები, დაქვეითებული ყნოსვა, კარგი მხედველობა, დიდი თავის ტვინი და კარგად განვითარებული მეტყველება. მან შექმნა სამეცნიერო-ტექნიკური პროგრესი და გაბატონდა ბუნებაზე. ჩამოყალიბდა ბიოსოციალურ ინდივიდად და შეიძინა ყველაზე ძლიერი მტერი ადამიანის სახით. დღეს ადამიანისათვის გაჩნდა სერიოზული პრობლემა, როგორ დაიცვას საკუთარი თავი ადამიანისაგან. ადამიანის მეტოქეობა საკუთარ თავთან განადგურებას უქადის არა მარტო დღევანდელ ცივილიზაციას და კულტურას, არამედ მთელ კაცობრიობას.

7.2.ანთროპოგენეზის ეტაპები

ევოლუცია დროში მიმდინარე პროცესია, ამიტომ ანთროპოლოგიაში დიდი მნიშვნელობა ენიჭება მოპოვებული მასალის დათარიღებას. იგი საშუალებას იძლევა აღვადგინოთ პრიმატთა ფილოგენეზი. ჩონჩხის ნაწილები ჩამარხულია მიწაში. გეოლოგიური კვლევის მეთოდების გამოყენება საშუალებას იძლევა შედარებით ზუსტად დავადგინოთ იმ ფენის ასაკი, რომელშიც ევოლუცირდებოდა მოპოვებული

მასალა. გათხრებისას პრიმატთა ძვლებთან ერთად პოულობენ სხვა ჯგუფის ცხოველების ძვლებს, მცენარეების ნაშთებს. ეს კი აუცილებელს ხდის ანთროპოლოგიის კავშირს გეოლოგიასა და პალეონტოლოგიასთან. პრიმატთა ძვლების აღმოჩენასთან ერთად ფლორისა და ფაუნის წარმომადგენელთა თანაარსებობა საშუალებას იძლევა აღვადგინოთ ის გარემო პირობები, რომელშიც უხდებოდა არსებობა ჩვენს შორეულ წინაპარს.

დათარიღება ხდებ: შეფარდებითობისა და აბსოლუტურობის გზით. შეფარდებითი დათარიღება ხდება მოპოვებული მასალის ერთმანეთთან შედარებით, ხოლო აბსოლუტური– რეალური დროის დადგენის საშუალებას იძლევა. დათარიღების მეთოდების განვითარების შედეგად უფრო პოპულარული გახდა აბსოლუტური მეთოდი, თუმცა დათარიღების შეფარდებით მეთოდსაც არ დაუკარგავს თავისი მნიშვნელობა. სტრატიგრაფია არის შეფარდებითი დათარიღების ძირითადი მეთოდი. იქ, სადაც ხდებოდა გეოლოგიური ფენების დაშრევება, სტრატიგრაფიულად შეგვიძლია ვილაპარაკოთ რომელი ფენაა ძველი და რომელი შედარებით ახალი. სტრატიგრაფიული ანალიზი საშუალებას იძლევა აღვადგინოთ თუ როგორი თანმიმდევრობით მიმდინარეობდა მოვლენები გეოლოგიურ წარსულში. შეფარდებით დათარიღებაში იყენებენ, აგრეთვე, ბიოსტრატიგრაფიულ კორელაციას. ეს მეთოდი, გეოლოგიური შრის დახასიათების დროს იყენებს გადაშენებულ მცენარეთა და ცხოველთა ნაშთებს. შეფარდებითი დათარიღების სიზუსტისათვის იყენებენ ნამარხ ფორმებში ფტორის შემცველობას. იმის გამო, რომ ფტორის რაოდენობა სხვადასხვა ტერიტორიაზე ძლიერ მერყეობს, ის გამოდგება მხოლოდ ერთი გარკვეული რეგიონისათვის. ამიტომ სხვადასხვა რეგიონში მოპოვებული მასალის ერთმანეთთან შედარება არ შეიძლება.

აბსოლუტური დათარიღებისათვის იყენებენ რადიაქტიურ დაშლის პრინციპს. ფიზიკაში ცნობილია, რომ ზოგიერთი ქიმიური ელემენტები არსებობენ არასტაბილურ მდგომარეობაში რადიაქტიური იზოტოპის სახით. იზოტოპები იშლებიან და სხვა ელემენტებად გარდაიქმნებიან. რადიაქტიური დაშლა მიმდინარეობს გარკვეული სიჩქარით, რაც საშუალებას იძლევა ერთმანეთს შევადაროთ სტაბილური და არასტაბილური იზოტოპი. დაშლის სიჩქარე იზომება "დაშლის ნახევარ პერიოდით", რომლის დროსაც არასტაბილური იზოტოპის ნახევარი გადადის სტაბილურ იზოტოპში. ასეთი "იზოტოპური საათი" მეცნიერებას საშუალებას აძლევს დადგენილ იქნეს შესასწავლი მოვლენის არსებობის პერიოდი.

ამ მიზნით ანთროპოლოგიაში გამოყენებულია რადიაქტიური ნახშირბადი. ცნობილია, რომ ყველა ცოცხალი ორგანიზმი ნახშირბადს შეიცავს. სიკვდილის შემდეგ ორგანიზმი ველარ აგროვებს ნახშირბადს და ხდება მისი თავისუფალი დაშლა. 5730 წლის შემდეგ ხდება იზოტოპის ნახევრის დაშლა. 11460 წლის შემდეგ კი რჩება დაგროვილი იზოტოპის მასის მეოთხედი. დაშლა გრძელდება შემდეგაც, რაც ზუსტი დათარიღების საშუალებას იძლევა. რადიაქტიურ ^{14}C-ს აქვს შეზღუდვა: მისი გამოყენება შეიძლება მხოლოდ 40 ათასი წლის ფარგლებში. უფრო ძველი ფორმების დასათარიღებლად იყენებენ ^{40}K-ს, ვინაიდან მისი დაშლა უფრო ნელა მიმდინარეობს. დათარიღებისათვის იყენებენ, აგრეთვე, დედამიწის მაგნიტური ველის მიმართულების ცვალებადობას, რომელიც პალეომაგნეტიზმის მეთოდით არის ცნობილი. აბსო-

ლუტური დათარიღებისათვის გამოყენებულია, აგრეთვე, ურანი.

დათარიღების მეთოდების გამოყენებით შესაძლებელი გახდა გარკვეული სიზუსტით დადგენილიყო გეოლოგიური პერიოდების ხანგრძლივობა. დათარიღების მეთოდების დახვეწა, ბუნებრივია, ცვლის ძველ მონაცემებს. ამიტომ გამუდმებით ხდება როგორც გეოლოგიური წარსულის, ასევე პრიმატთა ნამარხი ფორმების ასაკის დაზუსტება.

ბოლო ათი წლის განმავლობაში კლასიკურ ანთროპოლოგიურ მეთოდებს დაემატა მოლეკულური ბიოლოგიის მონაცემები, რომელზედაც საუბარი გვექნება მომდევნო თავებში.

სხვადასხვა პერიოდში მოპოვებული ძვლების შედარებითი ანატომიის საფუძველზე პალეოანთროპოლოგებმა Hominidae-ს ოჯახის ევოლუცია დაყვეს ოთხ ძირითად ეტაპად.

თანამედროვე ადამიანის წინაპრებს საათაეში უდგას გვარი Ramapithecus, რომლის ჩონჩხის ნაწილები ნაპოვნია: ჩინეთში, ინდოეთში, კენიაში და საბერძნეთში. დათარიღების თანამედროვე მეთოდების გამოყენებით მათი ასაკი 14 მილიონი წელია.

ადამიანის ევოლუციის მეორე ეტაპია Australopithecus. მათი სადგომის რამდენიმე ნაშთი ნაპოვნია აფრიკაში და სამხრეთ-აღმოსავლეთ აზიაში, სადაც საკმაოდ ბევრი ძვლებია ნაპოვნი და ამიტომ შეცნიერება მის ანატომიას, რამაპითეკის ანატომიასთან შედარებით, უკეთ იცნობს. ტეინის განვითარებით მას გარდამავალი ადგილი უკავია ცხოველსა და ადამიანს შორის. კარგად ხმარობს მარჯვე იარაღებს, რაც მიუთითებს მისი ცნობიერების არსებობაზე. ავსტრალოპითეკები ცხოვრობდნენ 2-5 მილიონი წლის წინათ.

ადამიანის ევოლუციის მესამე ეტაპია გვარი Homo. მათი ძვლები თარიღდება 3 მილიონი წლით. მოპოვებული მასალა ამტკიცებს, რომ ისინი აკეთებდნენ ქვის იარაღებს, იყენებდნენ ცეცხლს, ნადირობდნენ და ცხოვრობდნენ ჯგუფებად. გავრცელებული იყვნენ აზიაში, აფრიკაში და ევროპაში. ამ გვარის ერთი სახეობა Homo erectus ითვლება Homo sapiens-ის უშუალო წინაპრად. Homo erectus-ის გამგრძელებლები დაყოფილია რამდენიმე ქვესახედ, ხოლო მათი ფორმები ნაპოვნია მრავალ ადგილას და აქვთ სხვადასხვა ასაკი, რაც კამათის საგანს წარმოადგენს. ამ ქვესახეობებიდან ფართოდ არის გავრცელებული და უკეთაა შესწავლილი ნეანდერტალელი. ადრე მას გამოყოფდნენ ცალკე სახედ, დღეს კი ითვლება ამოშწყდარ ფორმად. მას'ხე საუბარი მომდევნო თავში გვექნება.

ადამიანის ევოლუციის მეოთხე ეტაპი 60-100 ათასი წლის წინათ დაიწყო Homo sapiens sapiens- ის წარმოქმნით, რომელსაც მივეკუთვნებით დღეს არსებული ადამიანები და ვაგრძელებთ ევოლუციას სამეცნიერო-ტექნიკური პროგრესის პირობებში.

პალეოანთროპოლოგებს ადამიანის წინაპართა ნაპოვნი მრავალი ნამარხი ფორმა განაწილებული აქვთ სხვადასხვა ჯგუფებში (ცხრილი 7.2). დაინტერესებულ მკითხველს რომ გაუადვილოთ ორიენტაცია სპეციალურ ლიტერატურაში, ვიძლევით ანთროპოგენეზის ტერმინოლოგიის გავრცელებულ, შედარებით შეთანხმებულ (მაგრამ საკამათო) ზოგად სურათს.

Ramapithecus punjabicus	Kenyapithecus Australopithecus prometheus
Australopithecus Africanus	Meganthropus africanus Meganthropus paleojavanicus Plesianthropus transvaalensis Sinanthropus pekinensis
Australopithecus robustus	Paranthropus crassideus Paranthropus robustus Zinjanthropus boisei
Homo habilis	Athlanthropus mauretanicus Cyphanthropus rhodesiensis
Homo erectus	Homo modjokertensis Homo soloensis Palaeanthropus heidelbergensis Pithecanthropus erectus Pithecanthropus robustus
Homo sapiens Neanderthalensis	Homo steinheimensis (Palaeanthropus heidelbergensis)

ზემოთ მოყვანილ ჩამონათვალში ადგილი ვერ მოეძებნა შედარებით გვიან მოპოვებულ, 120 სმ სიმაღლის ოცი წლის ქალს, რომელსაც ექსპედიციის წევრებმა ლუსი დაარქვეს. იგი აღმოჩენილ იქნა პარი'ხის ადამიანის მუ'ზეუმის დირექტორის ივ. კოპენის მიერ ამერიკელ დ. ჯოჰანსონთან ერთად ეთიოპიის აფარას რაიონში. აქედან გამომდინარეობს მისი სახეობრივი დასახელებაც Australopithecus afarensis. დ.ჯოჰანსონის აზრით ლუსი ჰომინიდთა ევოლუციის სათავეში დგას რამაფიტეკის შემდეგ. დ.ჯოჰანსონის მოსაზრებამ დიდი დისკუსია გამოიწვია ანთროპოლოგთა შორის და ვერ მოხერხდა ლუსისათვის ჰომინიდთა საგვარტომო შტოში ადგილის მოძებნა. ლუსის კარგად ჰქონდა შემორჩენილი ჩონჩხის 40% და იყო ორ ფეხ'ზე მოსიარულე.

ლუსის აღმოჩენიდან ერთი წლის შემდეგ დ.ჯოჰანსონმა ამავე ტიპის ცამეტი ინდივიდი მოიპოვა, აქედან ოთხი ხუთ წელ'ზე მცირე ასაკის იყო. ცამეტივე დაღუპული ჩანდა ერთდროულად. სავარაუდოა სტიქიური უბედურობის გამო – მოიწამლნენ ვულკანური წარმოშობის მომწამლავი გაზებით.

დ.ჯოჰანსონის აღმოჩენამდე მეცნიერებას მოეპოვებოდა მხოლოდ თავის ქალის ფრაგმენტული ნაწილები და ძნელი იყო მოლიანი ორგანიზმის წარმოდგენა. ძვლების დიდმა რაოდენობამ შესაძლებელი გახადა afarensis-ის რეალური აღნაგობის

დადგენა. ამ ვერტიკალურად მოსიარულე ინდივიდის ფიგურა გამოიყურება ადამიანის მსგავსად, გონებრივი შესაძლებლობის შეზღუდული დონით. ტვინის მოცულობა 400 სმ^3-ია (დაახლოებით ადამიანის ტვინის მეოთხედი). მეცნიერებამ მოიპოვა ადამიანის მაგვარი ფიგურა მაიმუნის ტვინით.

ლუსის დათარიღებამ დიდი დავა და კამათი გამოიწვია, იგი შვიდი წელი გრძელდებოდა. საბოლოოდ დადგენილ იქნა, რომ ლუსის უნდა ეცხოვრა 3,5 მილიონი წლის წინათ, ხოლო afarensis-ის სხვა წარმომადგენლებს-3,7 მილიონი წლის წინათ. არ არის ცნობილი ამ სახეობის დასაწყისი, გამოთქმულია მოსაზრება, რომ მაიო წინაპრები არსებობდნენ 6-4 მილიონი წლის წინათ. Afarensis-ის კბილები ძალიან წააგავს რამაპითეკის კბილებს, რომელიც ითვლება ამომწყდარად 8 მილიონი წლის წინათ. რამაპითეკი ფართოდ იყო გავრცელებული ევროპიდან ჩინეთამდე და იყო ტყის ბინადარი.

მოპოვებულმა ფორმებმა ნათლად დაადასტურა, რომ ბიპედია (ორ ფეხზე მოსიარულე) არის ჰომინოიდთა პირველი და არსებითი ადაპტური ევოლუცია. შიმპანზეთა მსგავსად ეს პირველი ჰომინოიდები იარაღად იყენებდნენ ჯოხსა და ბუნებაში არსებულ სხვა საგნებს. კალიფორნიის უნივერსიტეტის ცნობილი ანთროპოლოგის შ. უოშბერნის აზრით პირველი ჰომინიდების გამოჩენიდან ერთი მილიონი წლის შემდეგ აფრიკაშივე ჩნდებიან უფრო დიდტვინა ჰომინიდები. ისინი აკეთებენ ქვის იარაღებს და არსებობენ მასიური ავსტრალოპითეკების (Australopitecus robustus) პარალელურად. 1,5 მილიონი წლის შემდეგ წარმოიშვნენ უფრო განვითარებული ჰომინოიდები Homo erectus. მათ მიერ შექმნილ ქვის იარაღთან ერთად პოულობენ ცხოველთა ძვლებსაც. ეს კი მიუთითებს იმაზე, რომ ნადირობა გახდა ამ ჯგუფის ჰომინიოდებისათვის რეგულარული ქცევითი აქტი (იხ. სურ. 7.2).

მომდევნო 100 ათასი წლის განმავლობაში ხდება თავის ტვინის მცირე მატება და შესაბამისად ჩნდება უფრო რთული ქვის იარაღები. ასე გაგრძელდა მანამ, სანამ არ გამოჩნდა Homo sapiens–ი. ტვინის მოცულობის გაზრდა და ქვის იარაღების უფრო დახვეწილი ფორმები არაპირდაპირ მიუთითებენ იმ ფაქტზე, რომ ჰომინიდებში მოხდა ტვინის სტრუქტურის საგრძნობი ცვალებადობა. Homo sapiens–ის წარმოშობასთან ერთად ქვის იარაღები უფრო მრავალფეროვანი ხდება. Homo sapiens–ის ანატომიური ევოლუცია ყველაზე ძლიერად გამოიხატა თავის ქალის აგებულების ცვლილებაში.

დაახლოებით 60 ათასი წლის წინათ წარმოიშვა ადამიანი, რომელიც მორფოლოგიურად არაფრით განსხვავდება თანამედროვე ადამიანისაგან. იგი სწრაფად გავრცელდა აფრიკიდან სხვა კონტინენტებზე.

1999 წ. 24 ივლისს ქართველმა და გერმანელმა არქეოლოგებმა დმანისის ნაქალაქარში ადამიანის წინაპრის თავის ქალა აღმოაჩინეს. ექსპერტ-მეცნიერთა მიერ ჩატარებული გამოკვლევებით ქალას ასაკი დაახლოებით 1,8 მლნ წლით თარიღდება. დმანისში აღმოჩენილი მასალით მტკიცდება, რომ ადამიანის წინაპარი წარმოშობის კერიდან - აფრიკიდან განსახლდა და ახალი საცხოვრებელი ტერიტორია - კავკასია დაიკავა.

ცხრილი 7-2. ადამიანის უშუალო წინაპართა სავარაუდო ფილოგენეზი

ადამიანის სავარაუდო წინაპრები	არსებობა მლნ წლის წინათ	თავის ტვინის მოცულობა სმ³	აღმოჩენის თარიღი და ადგილი	დახასიათება
Australopithecus afarensis	6	400-500	1974, ჰადარი, ეთიოპია	ვერტიკალურად მოსიარულე, ცხოვრობდა აღმ. აფრიკის მთელ ტერიტორიაზე-ლუსი
Australopithecus africanus	5	400-500	1924, ტუნგო, აფრიკა	გრძელი ხელები, მოკლე სხეული, ლუსის შთამომავალი, ცხოვრობდა ყვავილებად
Australopithecus robustus	4	530	1938, კრომდრაზა, აფრიკა	ითვლება აფრიკანუსის ნათესავად, მეკვიდრეობა არ დაუტოვებია.
Homo habilis	3	600-800	1960, ოლდუვაი ტანზანია	პირველი სახეობა, რომელიც მიეკუთვნება Homo -ს ოჯახს პირველად იყენებს შრომის იარაღს
Homo erectus	2	750-1250	1891, იავა	პირველი სახეობა, რომელიც გამოდის აფრიკიდან, ევროპელები, ახლო და შუა აზიაში, ჩინეთიდე
Homo sapiens sapiens	1	1200-1700	1868, კრომანიონი, საფრანგეთი	ფიქრობს ადამიანის წარმოშობაზე და მის ევოლუციაზე

7.3.ადამიანის თავის ტვინისა და ქცევის ევოლუცია

ბუნებრივია, ისმის კითხვა, რატომ მოხდა, რომ ევოლუციური პროცესის შედეგად მარტო პრიმატთა ერთმა ჯგუფმა შეძლო ჩამოყალიბებულიყო მაღალორგანიზებულ გონიერ ადამიანად, რომელსაც აქვს მისთვის საჭირო პირობების კოლექტიური შრომით შექმნის უნარი. ამ მოვლენას ყურადღება მიაქცია არისტოტელემ "ადამიანი თავისი ბუნებით საზოგადოებრივი ცხოველია". მნიშვნელოვანია ფაქტი, რომ პრიმატთა გაადამიანება ანუ ბიოლოგიური ევოლუცია მიმდინარეობდა სხვა მრავალი სახეობის პარალელურად. სხვა ცხოველებთან შედარებით გონიერი ადამიანის სხეული დაუცველია ისეთი გარემო ფაქტორების ზემოქმედებისაგან, როგორიცაა სიცივე და სიცხე, კბენა და ჭრილობები. ცხოველებს აქვთ კარგად განვითარებული კანის საფარველი, რომელიც ჯაჭვშანიანთ იცავს ორგანიზმს ზემოთ ჩამოთვლილი ფაქტორებისაგან. მოტორიკის მხრივ ადამიანი გაცილებით ჩამორჩება ევოლუციურ საფეხურზე დაბლა მდგარ ცხოველებს. ჩამორჩება სენსორული სისტემის განვითარებითაც. ადამიანები ნაკლებ მგრძნობიარენი და სპეციალიზებულნი არიან. სენსორულ-მოტორული ფუნქციაც ბევრ ცხოველს უკეთ აქვთ განვითარებული. შიმპანზეს ღამის სადგომი, რომელსაც ძილისთვის ქმნის, პრიმიტიულია ფრინველის

ბუდესთან შედარებით. ფუტკრებთან შედარებით ნაკლებ ორგანიზებულია პრიმატთა თანასაზოგადოება. ამიტომ, ზემოთ ჩამოთვლილი ფაქტები თხოულობენ ღრმა ანალიზს, რათა გაერკვეთ ადამიანამდე ჩამოყალიბებულ პრიმატთა ბიოლოგიური ევოლუციის კანონზომიერებებში.

ცნობილია, რომ ბიოლოგიური სუბსტანციის დაბალი დონიდან დაწყებული ყველა ორგანიზმს მოეპოვება ჰომეოსტაზი. 1973 წელს ლორენცის მიერ ექსპერიმენტულად დადგინდა, რომ გარემო სამყაროში ცხოველთა არსებობისათვის საჭირო რაიმე ნივთიერების ნაკლებობა იწვევს ჰომეოსტაზის ინტენსიობის ზრდას. მაგალითად, გარემოში ჟანგბადის ნაკლებობა იწვევს სუნთქვის გახშირებას, ჟანგბადის დიდი რაოდენობა კი სუნთქვის სიხშირის შემცირებას. აქედან გამომდინარე, ცხადია, რომ ჰომეოსტაზის მოვლენა მჭიდროდ უკავშირდება ნერვული სისტემის კოგნიტურ თვისებას. ჰომეოსტაზურ სიგნალთა ინტეგრაცია ნერვულ სისტემაში იწვევს თავის ტვინის სხვადასხვა სტრუქტურებში ინფორმაციულ ურთიერთობას. სენსორული ინფორმაციის გადამუშავების შედეგად თავის ტვინის მოტორული სტრუქტურები იღებენ გადაწყვეტილებებს, რომლებიც ქცევებში გამოიხატება. ექსპერიმენტულად დადგენილია, რომ ჰომეოსტაზურ რეგულატორულ მექანიზმს აქვს უნარი დიფერენცირებულად ცვალოს გემოვნების რეცეპტორების მგრძნობელობა. ჰომეოსტაზის შენარჩუნებისათვის ქცევითი რეპერტუარის გაფართოება უშუალოდ უკავშირდება თავის ტვინის ინტეგრალურ მოქმედებას. ნეირობიოლოგთა აზრით, თანამედროვე ადამიანის წინაპარმა თავის ევოლუციაში ნახტომი გააკეთა იმის მეშვეობით, რომ მისთვის ხელმისაწვდომი გახდა მრავალგვარი ცილები და ცხიმები, რომლებიც აუცილებელია ნერვული ქსოვილის შენებისათვის. ასეთი ცილებისა და ცხიმების მიღება კი უხვად მხოლოდ იმ შემთხვევაში მოხერხდებოდა, თუ თანამედროვე ადამიანის უძველესი წინაპრები სხვადასხვა პროდუქტებით გამოიკვებებოდნენ. პალეობიოლოგთა მონაცემებით ჩვენი შორეული წინაპარი თევზებზე და ხმელეთის ცხოველებზე ნადირობდა, სხვადასხვა მცენარის თესლსა და ნაყოფს კრეფდა, წყალთან ერთად კი მიწიდან გამონარეცხ მინერალურ მარილებს და მიკროელემენტებს ითვისებდა. ექიმთა რჩევა "ჭამეთ თევზი, იგი სასარგებლოა ტვინის განვითარებისათვის", არათუ გამართლებულია, არამედ ადამიანის თავის ტვინის ევოლუციის არსის მნიშვნელოვან ფაქტორსაც მოიცავს.

ცხოველებს ეძებნებათ მრავალი თანდაყოლილი სტერეოტიპული ქცევა, ისინი ყალიბდებიან ევოლუციის პროცესში, არ იცვლებიან დასწავლით და გადაეცემა თაობებს. მათ სახეობრივი ინდივიდუალობა აქვთ: ერთი სახეობის ერთგვაროვანი სტერეოტიპები არ შეიმჩნევა სხვა სახეობის ცხოველებში. ეთოლოგები ასეთ რეაქციებს "ფიქსირებული მოქმედების კომპლექსს" უწოდებენ. ასეთი ქცევები ჰქონდათ ჩვენს წინაპრებს და გვაქვს ჩვენც. ფიქსირებული მოქმედების კომპლექსს ინდივიდი მშობლებისაგან გენების მეშვეობით იძენს. საინტერესოა, როგორ ახორციელებს და არეგულირებს გენი ასეთ ქცევებს?

გენთა მოქმედება ხორციელდება ორი გზით: ჯერ ერთი, გენის ან გენთა მოქმედებით კუნთებთან ყალიბდება მრავალრიცხოვანი ნერვული კავშირის ყველა დეტალი. ემბრიონული განვითარებისას ამ კავშირის ყველა ელემენტი იკავებს გარკვეულ ანატომიურ მდებარეობას. იქმნება რთული ქსელი. სინაპსთა მეშვეობით ნეი-

რონები უკავშირდებიან ერთმანეთს, ჯირკვლებსა და კუნთებს. ნერვული ქსელები ამოქმედებას იწყებენ პოსტნატალური განვითარების გარკვეულ პერიოდში და მოქმედებენ საჭიროების შემთხვევაში. მაშასადამე გენთა მოქმედებით ყალიბდება ნეირომორფოლოგიური სუბსტრატი, რომელმაც უნდა განახორციელოს ფიქსირებული მოქმედების კომპლექსი. გენთა მოქმედების მეორე და მნიშვნელოვანი ფაქტორი იმაში გამოიხატება, რომ ნერვული ქსელის ასამოქმედებლად საჭიროა გარკვეული მედიატორები, რათა განხორციელდეს ფიქსირებული მოქმედების კომპლექსი.

გენთა მოქმედებით თავის ტვინის სტრუქტურები ახდენენ ნერვულ იმპულსთა ინტეგრირებას, რომელთაც გარდაქმნიან და ახორციელებენ გარკვეულ ფიქსირებულ სტერეოტიპს, რომლის ექსპერიმენტული კვლევა საკმაოდ ჭირს. რაც უფრო რთული სტრუქტურისაა ტვინი, მით უფრო ძნელდება ანალოგიური კვლევები. ექსპერიმენტული კვლევისათვის საჭიროა ისეთი ცხოველი, რომელსაც ექნება გამოხატული ფიქსირებული ქცევის კომპლექსი. ამავე დროს ექსპერიმენტატორს უნდა ჰქონდეს საშუალება მონახოს ის ნეირონები, რომლებიც ახორციელებენ ამგვარ ქცევებს. ასეთ ობიექტად შერჩეულ იქნა მოლუსკი–Aprysia. ეს ცხოველი 2-4 კგ იწონის. მისი ცენტრალური ნერვული სისტემა ძუძუმწოვრებთან შედარებით მარტივი აგებულებისაა. შეიცავს 20 ათას ნეირონს. ადამიანთან შედარებით მისი ნეირონი 1000-ჯერ მეტია და დიდი რაოდენობით შეიცავს დნმ-ს. ზრდასრული მოლუსკის ძირითადი ფუნქციაა კვება და გამრავლება. ამ ცხოველში მონახეს ნეირონთა ჯგუფი, რომელიც იწვევს კვერცხის დების ქცევას. შემდეგ აღნიშნულ ნეირონთა ექსტრაქტი შეყავდათ სხვა ცხოველის სხეულში. ექსტრაქტი იწვევდა ფიქსირებული ქცევის ანალოგიურ კომპლექსს. აღსანიშნავია ის ფაქტი, რომ როდესაც ექსტრაქტი შეყავდათ გაუნაყოფიერებელი კვერცხუჯრედის მქონე ცხოველებში, მათაც ეწყებოდათ სტერეოტიპული ქცევები. ექსტრაქტიდან გამოყვეს ის პეპტიდი, რომელიც იწვევდა ამ ქცევებს. იგი აღმოჩნდა 36 ამინომჟავასაგან შემდგარი ცილა. დნმ-ის მოლეკულაში კი გამოყოფილ იქნა გენი, რომელიც ასინთეზირებს აღნიშნულ ცილას. ნეიროფიზიოლოგიური კვლევები მოექცა მოლეკულურ გენეტიკოსთა ინტერესების სფეროში.

მოლეკულური ბიოლოგია ფლობს ორგანიზმის გენების ევოლუციის დადგენის მეთოდურ საშუალებებს, ხოლო ბიოქიმიკოსები – მეთოდებს, რომელთა საშუალებით პოპულაციებში შეიძლება ევოლუციონირებადი ნივთიერებების გამოყოფა და ისტორიის ნებისმიერი პერიოდისათვის მათი დამახასიათებელი ინფორმაციის მიღება. მაგრამ ევოლუციონირებადი ნივთიერება არ უნდა იყოს გაგებული ისე, თითქოს ეს ნივთიერება განიცდიდეს ევოლუციას; მისი მონაწილეობით იქმნება მორფოლოგიური ნიშნის ან ქცევის წარმოქმნის მაკონტროლებელი გენი, რომელიც ექვემდებარება ევოლუციურ კანონზომიერებებს და გარემოსთან ურთიერთობისას განიცდის ცვალებადობას.

ექსპერიმენტულად დადგენილი ფაქტი, რომ Aprysia-ში ქცევა გენის საშუალებით რეგულირდება, უფლებას გვაძლევს გავავრცელოთ იგი ძუძუმწოვრებზეც. ბოლო ხუთი წლის განმავლობაში მიმდინარეობს ინტენსიური კვლევა ძუძუმწოვართა სხვადასხვა სახეობებში "გენთა ნოკაუტის" მეთოდით, რომლითაც იკვლევენ სინაპსთა პლასტიკურობას და ქცევების რეგულირებას. ექსპერიმენტულად დადგენილ იქნა, რომ პოსტნატალური განვითარების სხვადასხვა პერიოდში ჭარბი ინფორმაციის

გადამუშავების გამო ხდება ახალი სინაპსების წარმოქმნა. საინტერესოა ის ფაქტიც, რომ პოსტნატალურ პერიოდში ნეირონთა მიტოზი არ ხდება. სავარაუდოა, რომ ერთი ნეირონიდან ორი ახალი უჯრედის წარმოქმნით შეიცვლებოდა კავშირები ტვინის სტრუქტურებს შორის, რაც გამოიწვევდა ინფორმაციის გადამუშავების სიზუსტის დარღვევას და ქცევების ქაოსურობას. ნეირონთა მიტოზი ხდება პოსტნატალური განვითარების ადრეულ პერიოდში მხოლოდ იმ სახეობებში, რომელთა თავის ტვინი ემბრიონულ განვითარებაში ვერ ასწრებს ფორმირებას.

სრულიად ლოგიკურია, რომ მოლეკულური ბიოლოგიის მონაცემები გავავრცელოთ ჩვენი შორეული წინაპრების თავის ტვინის ევოლუციაზე. საკვებთან ერთად ორგანიზმში მოხვედრილმა სხვადასხვა ქიმიურმა ნივთიერებებმა გამოიწვიეს გენომში მუტაციები, რის გამოც თავის ტვინმა ევოლუციურად იწყო მოცულობაში მატება. სავარაუდოა, რომ მუტაციების წარმოქმნის შედეგად ჩვენმა შორეულმა წინაპრებმა ტანის ვერტიკალური მდგომარეობა მიიღეს. წარმოიშვა ფიქსირებული ქცევების ახალი კომპლექსები. ვერტიკალურმა პოზამ უფრო გაუადვილა ბრუნვა შიამომავლობაზე, რომელიც დამახასიათებელია ბევრი ძუძუმწოვარა ცხოველისათვის, ჩვილის ხელში აყვანა და გადაადგილება, იოლი გახდა საკვების მოპოვება. ხელებით მოძრაობისაგან განთავისუფლებამ შეცვალა ქცევების თანდაყოლილი სახეები. გაიზარდა ქცევების რეპერტუარი, რომელმაც დიდი როლი ითამაშა მომდევნო ევოლუციურ პროცესზე. ამ ფაქტის საილუსტრაციოდ ცხრილში (ცხრილი 7.3 ნუკლეარული ოჯახი შედგებადედმამისა და მათზე დამოკიდებული შვილისაგან) შედარებულია ჩვენი შორეული წინაპრების ზოგიერთი ქცევა ადამიანისმაგვარ მაიმუნებთან.

ისმის კითხვა: აქვს თუ არა მნიშვნელობა თავის ტვინის წონას ცხოველთა და ადამიანის ქცევითი პროცესების რეგულირებაში? ირკვევა, რომ არა. ადამიანებში ყველაზე დიდი თავის ტვინი ჰქონდა ერთ იდიოტს (2 კგ-ზე მეტი). საქვეყნოდ აღიარებული გენიოსის ლეიბნიცის ტვინი 1257 გრამზე ნაკლებს იწონიდა, ბისმარკისა–1867 გრამს. იყო კი ბისმარკი ლეიბნიცზე ჭკვიანი? საინტერესოა გადავხედოთ გამოჩენილ ადამიანთა თავის ტვინის წონებს, გამოხატულს გრამებში:

ტურგენევი	2012	დანტე	1420
კუვიე	1861	ლიბიხი	1352
ბაირონი	1807	ლენინი	1325
კანტი	1600	უიტმენი	1284
შილერი	1580	ტიდემანი	1254
ჰაუსი	1492	დოლინგერი	1207
ბროკა	1484	ფრანსი	1017

ცხოველებში ყველაზე დიდი ტვინი აქვთ ვეშაპებს: 6000-7000 გრამამდე. სპილოებს–4000 გ, დელფინებს–3000 გ. ეფექტური გამოდგა თავის ტვინის წონის შეფარდება სხეულის წონასთან. ასეთი მახასიათებლით ადამიანი სჯობნის ყველა დიდ ძუძუმწოვარს, თუმცა ჩამორჩება ციყვისას.

ზემოთ აღინიშნა, რომ ადამიანის მოქმედებაში ტვინის წონას არა აქვს მნი-

ცხრილი 7.3 ადამიანისმაგვარ მაიმუნთა და ჰომინოიდთა ქცევის ზოგიერთ ფაქტორთა შედარება

ჰომინოიდები	ადამიანისმაგვარი მაიმუნები
თავის ტვინის მოცულობა იზრდება, შედმივი სექსუალური ქცევები.	თავის ტვინის მოცულობა არ იზრდება. ახასიათებს, სექსუალური ქცევები მენსტრუალური ციკლისას.
ტიპიური მიწის ბინადარია	ცხოვრობს ხეზე, ზოგიერთები ხეზე და მიწაზე
მოძრაობს ორ ფეხზე	არ მოძრაობს ორი ფეხით (პატარა მანძილზე შეუძლია ორ ფეხზე გადაადგილება)
წყვილდებიან და ქმნიან "ნუკლეარულ" ოჯახს	არ წყვილდებიან. გამონაკლისია გიბონი. არ ქმნიან "ნუკლეარულ" ოჯახს
მდედრების მოძრაობა ნაშიერებთან ერთად შეზღუდულია, ქმნიან მუდმივ საარსებო გარემოს.	მდედრები მუდმივად მოძრაობენ ნაშიერებთან ერთად, მუდმივი საარსებო გარემო არ გააჩნიათ.
საკვებს იყოფენ	საკვებს არ იყოფენ
ზრუნავენ რამდენიმე შვილზე	ზრუნავენ მხოლოდ ერთ შვილზე
ამზადებენ და იყენებენ იარაღებს	არ ამზადებენ იარაღს. არასისტემატურად იყენებენ გარემოში არსებულ საგნებს.

შენელობა. თუ კარგად დავაკვირდებით 7.2 ცხრილში მოყვანილ ციფრებს, აშკარა გახდება, რომ გაადამიანების პროცესში დიდი როლი შეუსრულებია ტვინის მასის მომატებას. მაშ რაშია საქმე? ტვინის ცეფალიზაცია ევოლუციურად უდავოდ დიდი მოვლენა იყო. მაგრამ უფრო დიდი მნიშვნელობა ჰქონდა მის სტრუქტურულ ცვლილებას. ადამიანის ტვინმა ცხოველებთან შედარებით დიდი ცვლილება განიცადა, ახალი ქერქი უფრო განვითარდა და დანაოჭებული გახდა, წარმოიშვა ახალი, კერძოდ, ვარსკვლავის ტიპის ნეირონები, რომლებიც ყველაზე დიდი რაოდენობით არსებობენ ახალი ქერქის სენსორულ ცენტრებში. ვარსკვლავის მაგვარი ნეირონები სხვა ნეირონებისაგან იმით განსხვავდებიან, რომ მათი აქსონები ბოლოვდებიან საკუთარ სხეულებზე. ამას დიდი მნიშვნელობა ენიჭება შეხსიერებისათვის, რადგანაც შესაძლებელი ხდება ნერვულ იმპულსთა რევერბერაციის გახანგრძლივება. ეს კი ხანმოკლე შეხსიერების საფუძველია. ადამიანის გარდა განსხვავებული ნეირონები აღმოაჩნდათ დელფინებს და მაიმუნებს. იშვიათობას წარმოადგენს ასეთ ნეირონთა არსებობა სხვა ცხოველებში.

დიდი მნიშვნელობა აქვს, აგრეთვე, ტვინის ლატერალიზაციას, რაც კარგად არის გამოხატული ადამიანებში, განსაკუთრებით, ქალებში. ლატერალიზაციამ გაზარდა ტვინის საიმედობა და ინფორმაციის დიდი მოცულობის მიღება და გადამუშავება.

მოკლედ ჩამოვთვალით იმ ძირითად მორფოლოგიურ ცვლილებებს, რომლებმაც გამოიწვია ადამიანის თავის ტვინის მასის მომატება:

1.საგრძნობლად გაიზარდა შუბლის წილი. ხდება ფრონტალური ქერქის

გართულება, რომელიც ასოციაციურ ფუნქციას ასრულებს. შუბლის წილი არეგულირებს სიტყვის წარმოქმნის მოტორულ ფუნქციას და მონაწილეობს კუნთების მოქმედების რეგულირებაში;

2.სხვა ცხოველებისაგან განსხვავებით ახალ ქერქში წარმოიქმნა მრავალი ხვეული და ღარი, მატება მოხდა სისქეშიც;

3.კარგად განუვითარდათ ლიმბური სისტემა, რომლის სტრუქტურები გაერთიანებული არიან პაპების წრეში და მონაწილეობენ ემოციური რეაქციების რეგულაციაში. ისინი აქტიურ როლს ასრულებენ, აგრეთვე, ახალი ინფორმაციის გადამუშავებაში;

4.გაუფართოვდათ კეფის წილი, რომელიც მონაწილეობს მხედველობითი ხატების შექმნაში და ასოციაციურ რეაქციებში;

5.საფეთქლის წილი პრიმატებთან შედარებით უფრო რთული ორგანიზაციისა და მონაწილეობს ბგერითი ინფორმაციის აღქმაში;

6.გადიდებულია ნათხემი და ტვინის ის წარმონაქმნები, რომლებიც მონაწილეობენ მოძრაობის კოორდინირებაში.

ბოლო ათი წლის გამოკვლევებმა ნათლად დაგვანახვა ადამიანის თავის ტვინის ონტოგენეზური განვითარების თავისებურება. ტვინის ფენოტიპურ ჩამოყალიბებაში აქტიურ როლს თამაშობს მისი თვითორგანიზაციის უნარი. დროთა განმავლობაში ნეირონული კავშირები იხვეწება. ზრდადასრულებულ ადამიანში მისი ჩამოყალიბებული ფორმა მხოლოდ ზოგადი სურათით ჰგავს საწყის ემბრიონულ ტვინს. ადამიანი იბადება ნეირონთა მთელი კომპლექტით, მაგრამ ახალშობილის ტვინი წარმოადგენს ზრდადასრულებულის მასის მეოთხედს. დაბადების შემდეგ ნეირონთა სხეულის ზრდის, ახალი დენდრიტების და აქსონების წარმოქმნის შედეგად ხდება ტვინის მასის მატება.

სრულიად ძაროებულად ოვლიან ადამიანის ტვინს სამყაროს ყველაზე რთულ ობიექტად. ის შეიცავს ერთ ტრილიონ უჯრედს, რომელთაგანაც 100 მილიარდი ქმნის ნერვულ ქსელებს. ეს ის ნეირონებია, რომლებიც გლიასთან ერთად ინტელექტის სუბსტრატს წარმოადგენს. მათი მოქმედების შედეგად რეგულირდება ემოციური რეაქციები, იძართება ცნობიერი ქცევები, ხდება დამახსოვრება. ადამიანი აზროვნებს და ქმნის სხვადასხვა მოვლენების თეორიულ მოდელებს.

ნეირობიოლოგებმა, რომლებიც ეუშაობენ თავის ტვინის განვითარების საკითხებზე, დაადგინეს საყურადღებო ფაქტი. ტვინმა, რომ მიიღოს ზრდასრული ანაკისათვის დამახასიათებელი სტრუქტურა, ესაჭიროება ნერვული აქტივობა, რისთვისაც დიდი მნიშვნელობა აქვს გარემოს სხვადასხვა ხასიათის გამაღიზიანებლების მოქმედებას. სხვადასხვა გამაღიზიანებელი სხვადასხვა ნერვულ წრედს ააქტიურებს. თავის ტვინში ერთდროულად მოქმედებას იწყებს და პარალელურად ძიძინარეობს ინფორმაციის გადამამუშავებელი ნერვული წრეები. ნერვული ქსელების ჩამოყალიბება კი ტვინის მასის გაზრდისა და მისი სტრუქტურის ჩამოყალიბების საფუძველია.

ბავშვები, რომლებიც დაბადების შემდეგ ერთ წელს ატარებენ აკვანში, არანორმალურად ნელა ვითარდებიან. ზოგიერთები ვერ ზდომას 21 თვის შემდეგ ახერხებენ. გამოკვლეულ ბავშვთა 15% სიარულს იწყებს სამი წლის ასაკში. ამავე დროს დად-

გენილ იქნა, რომ ბავშვის მოტორული აქტივობა მისი ინტელექტის განმსაზღვრელია. ბავშვის განვითარებისათვის საჭიროა, რომ მან გარემოდან მიიღოს მხედველობითი, ბგერითი, ყნოსვითი სტიმულები. განსაკუთრებით დიდი მნიშვნელობა აქვს ლაპარაკის მოსმენას.

რასაკვირველია, ადამიანისა და ცხოველის თავის ტვინის განვითარება მიმდინარეობს გენომში ჩაწერილი ინფორმაციის საფუძველზე, მაგრამ სავალდებულოა აღინიშნოს ერთი მნიშვნელოვანი მოვლენა. გენომისა და გარემოს ურთიერთობა მიმდინარეობს ემბრიონული და პოსტემბრიონული განვითარების ადრეულ პერიოდში, რის შედეგადაც ტვინი მიიღებს კონკრეტულ ფუნოტიპურ სტრუქტურას. გარემოს მოქმედება გაცილებით ინტენსიურია ადამიანებში პრიმატთა სხვადასხვა წარმომადგენლებთან შედარებით. გარემოს ინტენსიური მოქმედებიდან სხვა ფაქტორებთან ერთად წამყვანი როლი ენიჭება მეტყველებას. ოვითორგანიზაციულობის უნარი ადამიანს გაცილებით მაღალი აქვს, ვიდრე პრიმატებს. ამიტომ, სავსებით გასაგები ხდება, თუ რატომ მიაღწია ევოლუციურად ადამიანის ტვინმა მაღალ ორგანიზაციას.

ონტოგენეზური განვითარების ინტენსივობით ადამიანის ტვინმა აჯობა პრიმატთა ტვინს. თუ მოვახდენთ თავის ტვინის ფილოგენეზის ექსტრაპოლაციას, ადამიანი ყოველთვის გამარჯვებული აღმოჩნდება პრიმატებზე. კაცობრიობა დადგა დილემის წინაშე. ადამიანმა შექმნა ხელოვნური ინტელექტი და გაურკვეველია, თუ რა გავლენას მოახდენს მისი ევოლუცია ადამიანის ყოფაზე. ეს ფუტუროლოგთა კვლევის საგანია და ჩვენ მას არ განვიხილავთ. თუმცა, უნდა გვახსოვდეს კიბერნეტიკის ფუძემდებლის ნორბერტ ვინერის გამონათქვამი "მანქანა მის შემქმნელზე ჭკვიანია".

7.4. მეტყველების ჩამოყალიბება

ახალი წელთაღრიცხვის პირველი საუკუნის ისტორიკოსის იოსებ ფლავიოსის თხზულება "მოთხრობანი იუდაბრივისა ძველსიტყუაობისანი" დღეს ძრავალ ენაზეა თარგმნილი. ქართველებს მოგვეპოვება XIII ს-ის ხელნაწერის მეშვეობით მოღწეული ამ ძეგლის ძველი თარგმანი. პირველ აო წიგნში იგი ეყრდნობა ბიბლიას და მას ტრადიციულ ინტერპრეტაციას. ისტორიკოსმა გააერთიანა ბიბლიის შესახებ არსებული დიდძალი მასალა: ძირითადად ტრადიციული ცოდნა და ცნობები. ი.ფლავიოსი წერს: "მას შემდეგ, რაც ადამიანი გამოძევებულ იქნა სამოთხის ბაღიდან, მან სხვა თვისებებთან ერთად დაკარგა ცხოველებთან მეტყველების უნარი". ამით. ფლავიოსმა გვისწავლა, რომ ძველ ებრაელებს სჯეროდათ, რომ ცოდვით დაცემამდე ადამიანი ელაპარაკებოდა ცხოველებს. მითი, ადამიანის ცოდვით დაცემისა არის შორეულ საუკუნეებიდან მომავალი ცნობა ადამიანის პირველი გამარჯვებისა ბუნებაზე. ეს გამარჯვება იყო საწინდარი ადამიანის გამოყოფისა ბუნებისაგან, რის შედეგადაც მან შექმნა ცხოველისაგან განსხვავებული ადამიანური ენა. რაც უფრო დაშორდა ადამიანი ბუნებას, მით უფრო გაუჩნდა მას გარემომცველი სამყაროს მაროვის მორალური უფლება.. ამიტომ ადამიანის იზოლაცია გახდა არა უბედურება, არამედ ტრიუმფი. ცხოველებისაგან განსხვავებით მან მოიპოვა თავისი სურვილის შესაბამისი სიტყვების გამოყენების პრივილეგია.

მეტყველება არის პროცესი, რომლის დროსაც ერთი ადამიანი მეორე ადამიანს ან ადამიანთა ჯგუფს სიტყვებისაგან შემდგარი ფრაზებით ატყობინებს მის ტვინ-

ში წარმოქმნილ აზრს. მეტყველება არის თავის ტვინში მიმდინარე პროცესების გარეგანი გამოხატულება. მსმენელი სიტყვებს რეცეპტორული აპარატის მეშვეობით გარდაქმნის ნერვულ იმპულსებად, რის საფუძველზეც მის ტვინში ყალიბდება გარკვეული ცნებები. მეტყველება წარმოიშვა, დაიხვეწა და შემორჩა იმიტომ, რომ იგი არის ურთიერთობის ეფექტური საშუალება და, განსაკუთრებით, აბსტრაქტული –რეალობიდან მოწყვეტილი ინფორმაციის გადაცემის საშუალება.

ადამიანის ბიოლოგიური ევოლუციის საწყის პერიოდში, რასაკვირველია, სიტყვები არ არსებობდა. პირველყოფილი ადამიანები გამოსცემდნენ ბგერებს უარყოფითი ან დადებითი ემოციური მდგომარეობის პირობებში. ამის დამამტკიცებელ საბუთად შეიძლება ასეთი ფაქტის მოყვანა: როგორც კი დაიბადება ბავშვი, გაწყდება კავშირი დედის და ახალშობილის ორგანიზმებს შორის, იგი იწყებს ყვირილს, რაც მიუთითებს ფილტვების მოქმედების დაწყებაზე. მეტყველება წარმოიშვა მას შემდეგ, როცა ადამიანის წინაპრებმა შეძლეს წარმოედგინათ და განესხვავებინათ თავიანთი შესაძლო ქცევები. გონებაში წარმოექმნათ ხატი, მოეხდინათ საგნებისა და მოვლენების კლასიფიკაცია და დაეკავშირებინათ ისინი ერთმანეთთან.

ბავშვი სანამ წარმოთქვამს სიტყვას, მანამ ტვინში ცნებისა და მოტორული აქტივობის სქემას იმუშავებს. ტვინი სიტყვის წარმოსათქმელად იყენებს იმავე სტრუქტურებს, რომლითაც ქმნის სხვადასხვა საგნების ხატებს. თუ რა ეტაპებს გაივლის ბავშვი მეტყველების ჩამოყალიბებამდე, დაბადებიდან სხვადასხვა ასაკში, თავის ტვინის წონის მატედით, მოცემულია 7.4 ცხრილში.

1861 წელს ფრანგმა ანთროპოლოგმა და ქირურგმა პ.ბროკამ ადამიანის თავის ტვინში მონახა ადგილი, რომლის დაზიანების შემთხვევაში მას ლაპარაკი არ შეუძლია, მაგრამ აქვს სხვისი ლაპარაკის გაგების უნარი. ამ ადგილს მოგვიანებით ბროკას ცენტრი უწოდეს. იგი მოთავსებულია ადამიანის თავის ტვინის მარცხენა ჰემისფეროში, შუბლის წილის მესამე ხვეულში. მოგვიანებით, 1874 კ.ვერნიკემ პირველმა დეტალურად აღწერა მარცხენა ჰემისფეროს საფეთქლის წილის უკანა მესამე ხვეულში ნეირონთა დაჯგუფება, რომელთა დაზიანების შემთხვევაში ადამიანს ეკარგება ლაპარაკის მოსმენის უნარი, თუმცა მათ შერჩენილი აქვთ ლაპარაკის უნარი. მოგვიანებით ამ ადგილს უწოდეს ვერნიკეს ცენტრი. კლინიკური მონაცემებით, დადგენილ იქნა, რომ მეტყველება ხორციელდება ორი ცენტრის ურთიერთობით: ბროკას ცენტრით, რომელიც წარმოადგენს ლაპარაკის მოტორულ ცენტრს და ვერნიკეს ლაპარაკის სენსორული ცენტრით.

ადამიანის მეტყველების ჩამოყალიბებაში მონაწილეობს სამი ურთიერთდაკავშირებული სტრუქტურული კომპლექსი:

1.მარცხენა და მარჯვენა ჰემისფეროებში მოთავსებულ მრავალ ნეირონთა ერთობლიობა, რომელთა ფუნქციონირებით ყალიბდება პირველადი წარმოდგენა ორგანიზმის სხეულსა და გარემოს შორის კავშირზე. ამგვარი ურთიერთობა ყალიბდება სხვადასხვა სენსორული და მაძოძრავებელი სისტემების მონაწილეობით, რომელიც ასახავს ადამიანის ნებისმიერ ქცევას, მის განწყობას, თუ რას ფიქრობსა და ვრძნობს გარემოსთან ურთიერთობით. ტვინი ახდენს საგნების, ფერის, მოქმედების თანმიმდევრობასა და ემოციური მდგომარეობის ხატების კლასიფიკაციას, რაც აბსტრაქციისა და მეტაფორის საფუძველია.

2.ძირითადად მარცხენა ჰემისფეროშია ლოკალიზებული ნეირონების შედარებით მცირე რაოდენობა. ისინი არეგულირებენ ფონემთა დინამიკას. ამ ნეირონთა ტვინის შიგნიდან სტიმულირება იწვევს იმ წინადადებათა ჩამოყალიბებას, რომელსაც ადამიანი წარმოთქვამს ან წერს.

3.ნეირონთა მესამე კომპლექსი, რომელიც ნეირონთა მეორე კომპლექსის მსგავსად მოთავსებულია მარცხენა ჰემისფეროში და პირველ და მეორე სტრუქტურებს შორის ეროვნულ შუამავალ როლს ასრულებს. ამ ნეირონთა კომპლექსს აქვს უნარი ცნებებზე დაყრდნობით შეარჩიოს სიტყვათა ფორმები, ან მოსმენილი სიტყვის საფუძველზე ტვინს შეუქმნას სათანადო ცნების წარმოქმნის საფუძველი. აღწერილი ჰიპოთეზა ემყარება ფსიქოლინგვისტურ მოსაზრებას, რომელიც წამოაყენა მაქს პლანკის სახელობის ნეიმეჰენის ფსიქოლინგვისტიკის ინსტიტუტის თანამშრომელმა უ.ლეველტმა. ჰიპოთეზას მრავალმა მკვლევარმა დაუჭირა მხარი.

ბეგერის წარმოქმნის მექანიზმი მოითხოვს მრავალი კუნთის და ორგანოს შეთანხმებულ მოქმედებას. ისინი ლოკალიზებული არიან ორგანიზმის სხვადასხვა ნაწილში: მუცლის და გულმკერდის ღრუში, ყელში, ტვინში. ფაქტიურად ორგანიზმის თითქმის ყველა ორგანო უშუალოდ ან არაპირდაპირ მონაწილეობს ბეგერის წარმოქმნაში. ბეგერის წარმოქმნის იდეა იბადება ახალი ქერქის მეტყველების ცენტრში, საიდანაც ნერვული იმპულსები გადაეცემა თავის ტვინის ღეროვან ნაწილსა და ზურგის ტვინში. ნერვული სიგნალები რთავენ ბეგერის წარმოქმნის ანატომიურ სუბსტრატს და პირის ღრუდან წარმოიქმნება სხვადასხვა ფონემები. ფონემათა გაერთიანებით იქმნება სიტყვები.

1966 წლის ივნისში ამერიკელმა ფსიქოლოგებმა ცოლ-ქმარმა ბეატრისა და ალენ გარდინერებმა შეიძინეს ახალგაზრდა დედალი შიმპანზე, რომელიც ცხოვრობდა მათთან ერთად ნევადის შტატის ქ.რინოში. მაო გადაწყვიტეს შიმპანზესათვის ესწავლებინათ ლაპარაკი. ურთიერთობისათვის გამოიყენებოდა ჟესტების ენა–ამსლენი, რომელსაც იყენებენ ყრუ–მუნჯები. შიმპანზეს ერქვა უოშო. პირველი სიტყვა, რომელიც მან წარმოთქვა, იყო–''კიდევ''. ამ სიტყვას იგი ბავშვური სიხარულით ხმარობდა, განსაკუთრებით მაშინ, როდესაც სურდათ ტანი მოეფხანათ, მოფერებოდნენ ან ტკბილეულით გაამასპინძლებოდნენ. ხუთი წლის მანძილზე უოშომ ისწავლა 160 სიტყვა, რომელსაც იყენებდა ცალ-ცალკე და აღმოაჩნდა მათი გაერთიანების უნარიც. შემდეგ უოშო გადაყვანილ იქნა ოკლაჰომაში, სადაც შეიქმნა პრიმატთა შემსწავლელი ცენტრი. 1972 წელს უოშოსთან ერთად თავი მოუყარეს რამდენიმე ათეულ შიმპანზეს და მათ ერთმანეთთან ურთიერთობას ამსლენის ენაზე ასწავლიდნენ.

შეიძლება მრავალი მაგალითი მოვიყვანოთ ცხოველთა სამეფოდან თუ ბეგერების მეშვეობით როგორ გადასცემენ ერთმანეთს ინფორმაციას ევოლუციური განვითარების სხვადასხვა საფეხურზე მდგარი ცხოველები, მაგრამ ლაპარაკი ვერცერთმა ვერ მოახერხა.

7.5.ბანსხვავება ადამიანისა და მაიმუნის ქცევაში

ზემოთ განხილული საკითხების შემდეგ ბუნებრივად ისმის კითხვა: რა განსხვავებაა ადამიანისა და ცხოველის ქცევებს შორის? ქცევათა შედარებითი ანალიზის შედეგად თვალნათლივ ჩანს ძირითადი განსხვავება: გარემოდან მიღებულ ინფორ-

ცხრილი 7.4. ადამიანის მეტყველების განვითარების სტადიები ასაკთან და თავის ტვინის წონასთან შეფარდებით

ადამიანის მეტყველების ჩამოყალიბების წინაპერიოდული ეტაპები	ასაკი (თვე)	თავის ტვინის წონა (გრ)
რეაქცია ადამიანის ხმაზე,	2	480
მოუთმენლობა და უსიამოვნების გამოხატვა.	4	580
ხმით ხმის მიბაძვა.	6	660
პირველი სიტყვის წარმოთქმა	9	770
ბგერებისა და სიტყვების მიბაძვა	11	850
მეორე სიტყვის წარმოთქმა, სიტყვათა მარაგის გამდიდრება	13	930
საგნებისა და სურათებისათვის სახელების დარქმევა	17	1030
მეტყველებისათვის სიტყვების ურთიერთობის გამოყენება	21	1060
წინადადების შედგენისათვის ზმნების ცოდნა და გამოყენება	23	1070

მაციაზე ცხოველი უპასუხებს მუდამ გარკვეული, ეროვნაროვანი რეაქციით. უპასუხებს იმ ქცევათა კომპლექსით, რომელიც მისი სახეობისთვის არის დამახასიათებელი. ქცევის რეგულირება ხორციელდება ცნს-ში არსებულ გენთა მოქმედებით. შეიძლება ითქვას, რომ ქცევები თითქმის დაპროგრამებულია. ცხოველი იქცევა ინსტინქტურად. მას უთუოდ აქვს დასწავლის უნარი, რომელიც რეგულირდება თავის ტვინის სხვადასხვა სტრუქტურების მონაწილეობით. ქცევებში დასწავლა ზოგჯერ წინ უსწრებს ინსტინქტს, ზოგჯერ კი მოსდევს მას. ამიტომ, თავის ტვინის ინტეგრალური მოქმედება ქცევებში გამოხატულია ორი პროცესის ერთდროული მოქმედებით: დასწავლითა და ინსტინქტით. ეს კი მას საშუალებას აძლევს განახორციელოს გონივრული ქცევები. ევოლუციური განვითარების რაც უფრო მაღალ საფეხურზეა ცხოველი, მით უფრო მრავალფეროვანია მისი გონივრული ქცევების რეპერტუარი.

ადამიანის ქცევებიც ცხოველთა მსგავსად, თავის ტვინის იმავე სტრუქტურების მონაწილეობით ხორციელდება. ადამიანს რომ არ გააჩნდეს ინსტინქტური ქცევები, ლაპარაკს ვერ ისწავლიდა. თავის ტვინის ევოლუციამ, ცხოველებისაგან განსხვავებით, ადამიანებში შეამცირა ინსტინქტური ქცევების წამყვანი როლი და გაზარდა დასწავლის მნიშვნელობა. ადამიანსაც შეუძლია ცხოველივით მოიქცეს, მაგრამ მას შესწევს უნარი დასწავლისა და მეხსიერების საფუძველზე ცვალოს დაპროგრამებული გენეტიკური აპარატით განსაზღვრული ქცევები. ადამიანი სიმპათიის ან ანტიპათიის მიხედვით მოქმედებს. ქცევებში თავს იჩენს თავისუფლების ელემენტი, სპეციფიკური, მხოლოდ ადამიანისათვის ნიშანდობლივი და წამყვანი ელემენტი. ამ მოვლენას ყურადღება მიაქცია გოეთემ და ასეთი აზრი ჩამოაყალიბა: "ცხოველს მისი

ორგანოები განსწავლიან, ადამიანი კი განსწავლის თავის ორგანოებს და ფლობს".

მსჯელობის საილუსტრაციოდ მოვიყვანოთ სხვადასხვა ჯგუფის მაიმუნების ქცევების აღწერა

მანჭია მაიმუნების ზოგიერთ სახეობებს აქვთ გარკვეულ ადგილას შეკრების თვისება და ისე კარგად უგებენ ერთმანეთს, თითქოს ლაპარაკობდნენ. მწვანე მანჭია მაიმუნები იოლად პოულობენ საერთოს ანტილოპებთან.

კაპუცინები, რომლებიც იკვებებიან ტყეში, ადვილად ერთიანდებიან სხვა სახეობის მაიმუნებთან და თამაშობენ. ამავე დროს იწყებენ ჩხუბს, რომელიც ყვირილის თანხლებით მიმდინარეობს.

ახალგაზრდა და ბებერ ბაბუინებს ჩაგრავენ ჯგუფის სხვა წარმომადგენლები. საკმარისია წარმოიქმნას საფრთხე, რომ ყველა მამრი ბაბუინი ერთად იკრიბება, დედლებს შვილებთან და მოხუცებთან ერთად შუაგულში მოაქცევენ და იწყებენ მათ თავგამოდებით დაცვას. მამრი ბაბუინები ადრეულ ასაკშივე მეგობრდებიან, რაც მთელი ცხოვრების მანძილზე გრძელდება. ჯგუფის ყველა წევრი ლიდერს უყოყმანოდ ემორჩილება. ლიდერის ერთი შეხედვა საკმარისია იმისათვის, რომ ბაბუინებს შორის ნებისმიერი ჩხუბი შეწყდეს.

საინტერესო ფაქტია აღწერილი ლანგურებში. ჯგუფს სათავეში უდგას ძლიერი მამრი. როგორც კი იგი მოხუცდება, ჯგუფიდან რომელიმე ახალგაზრდა, ასევე მამრი, კლავს მას და მასთან ერთად ხოცავს მის შემკვიდრეებსაც.

მამრი გამადრილები ვერ იტანენ ერთმანეთს და ხშირად ჩხუბობენ. ჯგუფში პირველ ადგილზე დგას მამრი, მეორეზე კი მისი საყვარელი მდედრი–"პირველი ლედი".

საკვების საშოვნელად მდედრი ორანგუტანგი შვილებთან ერთად დადის, მამრი კი –მარტო. როდესაც მამრები ხვდებიან ერთმანეთს, ისინი ყვირიან, ახდენენ ძალის დემონსტრაციას, მაგრამ არ ჩხუბობენ. მდედრები შეხვედრისას ისე იქცევიან, თითქოს ერთმანეთს ვერ ხედავენ. მამრი ორანგუტანგი მდედრის გულს სიმღერით "მოინადირებს". მდედრი ზრუნავს შვილზე: ვარცხნის, აბობს, ასუფთავებს და ცდილობს წვიმაში აბანაოს. მდედრები დიდ დროს ატარებენ შვილებთან.

გიბონები ცხოვრობენ ოჯახებად. ოჯახში არიან: ბებია, ბაბუა, მამა, დედა და სხვადასხვა ასაკის ოთხამდე შვილი. ორ წლამდე შვილი დამოკიდებულია დედაზე. მოწიფულ შვილს მშობლები როგორღაც აგრძნობინებენ, იფიქროს საკუთარი ოჯახის შექმნაზე. იგრძნობს თუ არა მამრი განმარტოებას, ტოვებს მისი ოჯახის მიერ დაკავებულ ტერიტორიას და იწყებს მდედრი პარტნიორის ძებნას. მონახვის შემთხვევაში ყოველდღე დადის მასთან, ღამეს ათენებს საკუთარ ოჯახში, მთელ დღეს კი ატარებს მდედრის გარემოცვაში. ასე გრძელდება დიდ ხანს. გარკვეული დროის შემდეგ წყვილი ღამესაც ერთად ატარებს, რაც ახალი ოჯახის დასაწყისად ითვლება. რეგულარულად, დღეში ორჯერ, მთელი ოჯახი გუნდრუკად მღერის. სიმღერა მელოდიურია და რთული. სიმღერით ისინი შეზობლებს თავიანთ არსებობას ატყობინებენ.

შიმპანზეები საკვებს უყოფენ ერთმანეთს. ამავე დროს აღნიშნულია კანიბალიზმის შემთხვევები. მშობლები ჭამენ საკუთარ შვილებს. საოცრად ცნობისმოყვარენი არიან, უყვართ ყოველივე ახლის შესწავლა, შეხვედრისას ჩუმად ესალმებიან. თუ მეგობრებს დიდი ხანი არ უნახავთ, დანახვისას ყვირილით მიირბენენ ერთმანეთთან

და ურტყამენ ხურგში და მხრებზე. გაბრაზების შემთხვევაში ფეხებს აბაკუნებენ და ესვრიან ყველაფერს, რასაც მოიხელთებენ. გაჭირვების შემთხვევაში იწყებენ კეფის ფხანას.

გორილები ცხოვრობენ ოჯახებად. მამრს რამდენიმე ცოლი ჰყავს. უპირატესობით სარგებლობს პირველი ცოლი, დანარჩენები მას ემორჩილებიან. მოწიფულმა მამრმა გორილამ ჯერ საკუთარი საცხოვრებელი ტერიტორია უნდა მოიპოვოს, რის შემდეგაც შეიძლება გაიჩინოს მდედრი პარტნიორი. ტერიტორიის გარეშე მყოფ მამრს მდედრი არ პარტნიორობს, ის ოჯახს ვერ შექმნის.

მაიმუნთა ქცევების აღწერილ მაგალითებს თუ გავაანალიზებთ, ნათლად დავინახავთ, რომ დღევანდელ ადამიანებს ბევრი საერთო გვაქვს ჩვენს შორეულ ნათესავებთან. ქცევების ასეთი მსგავსება ადასტურებს შედეგს ევოლუციის პროცესისა, რომელიც სხვადასხვა მოდიფიკაციებით დღესაც გრძელდება. მაშინ რა განსხვავებაა ადამიანისა და ცხოველის ქცევებს შორის? ცხოველი არასდროს არ აგებს პასუხს თავისი საქციელის შედეგზე, იგი მუდამ სწორად იქცევა. ადამიანსაც შეუძლია ცხოველივით მოიქცეს და ზოგჯერ იქცევა კიდეც. საამისო მაგალითების მოყვანა შორს წაგვიყვანდა.

მას შემდეგ რაც ადამიანი ბიოსოციალურ ინდივიდად ჩამოყალიბდა, რასაკვირველია, ევოლუციის გარკვეულ ეტაპზე მას გაუჩნდა იმის პასუხისმგებლობა, რომ ნების გავლენით მართოს საკუთარი ქცევა. მას აქვს კარგისა და ცუდის გარჩევის უნარი და შესაბამისი მოქმედების შესაძლებლობა. მაშასადამე ჩვენი ცხოვრებისეული გამოცდილებების, კარგი და ცუდი გადაწყვეტილებების და ქცევების შედეგების ჯამი ჩვენს ინდივიდუალობაში ინახება. ამიტომ ჩვენ პასუხისმგებელნი ვართ ჩვენს ქცევებზე, ვალდებულნი ვართ მივდიოთ საზოგადოების ეთიკურ და მორალურ ნორმებს, რომლებიც მივიღეთ წინაპრებისაგან და ასევე უნდა გადავცეთ მომავალ თაობებს.

7.6.ᲛᲝᲚᲔᲙᲣᲚᲣᲠᲘ ᲑᲘᲝᲚᲝᲒᲘᲘᲡ ᲛᲝᲜᲐᲪᲔᲛᲔᲑᲘ ᲞᲠᲘᲛᲐᲢᲗᲐ ᲔᲕᲝᲚᲣᲪᲘᲐᲨᲘ

მოლეკულური ბიოლოგიის კვლევის მეთოდების გამოყენებამ პალეოანთროპოლოგიაში მოახდინა ადამიანის ევოლუციის ადრეულ პერიოდზე ჩვენი წარმოდგენების ტრანსფორმაცია. ადამიანის სავარაუდო წინაპრების ნონჩხის ნაშთების შესწავლით, ასევე შედარებითი ანატომიისა და შედარებითი გენეტიკის მეშვეობით მხოლოდ პრიმატთა ფილოგენეზური ხის აგება ხერხდება. ამ გზით ადამიანის ევოლუციის მექანიზმების ანალიზი შეუძლებელია.

თანამედროვე ეტაპზე ადამიანის ევოლუციის მექანიზმების ანალიზს მოლეკულური ბიოლოგიასა და მოლეკულურ გენეტიკაში შემუშავებული მეთოდებით ახდენენ. შესაძლებელი ადამიანის სავარაუდო წინაპრების ნონჩხის ნაშთებიდან დნმ-ის გამოყოფა, მისი სეკვენირება და თანამედროვე ადამიანის დნმ-სთან შედარება. ამ მხრივ ნიშანდობლივია მიტოქონდრიები, რომელთაც საკუთარი დნმ მოპოვებათ. ბირთვული და მიტოქონდრიული დნმ სტრუქტურითა და შემადგენლობით განსხვავებულია. ამათანავე ბირთვული დნმ ორივე მშობლის გენეტიკურ ინფორმაციას შეიცავს, მიტოქონდრიული კი მხოლოდ დედისეულს. მიტოქონდრიულ დნმ-ში მუტაციის

ინდუქცია უფრო მაღალი სიხშირით მიმდინარეობს, ვიდრე ბირთვულში. ადამიანის ქრომოსომებში გამოვლენილი და შესწავლილია სახეობასპეციფიკური დნმ-ის ფრაქცია (ე.წ. სატელიტური დნმ), რომელიც შეადარეს ადამიანის მსგავსი მაიმუნების ბირთვებიდან გამოყოფილ ანალოგიური დნმ-ის ფრაქციას. ევოლუციის მექანიზმების შესწავლაში არსებითი მნიშვნელობა ენიჭება სპეციფიკური ფუნქციის ცილების (ჯლობინის ოჯახი, c ციტოქრომი, ფიბრინოპეპტიდი და მისთ.) ევოლუციის შესწავლას (იხ. 1.4.).

ევოლუციური განვითარების სხვადასხვა საფეხურზე მდგომ ხერხემლიანებში მონათესავე ფუნქციის ცილების ამინომჟავური ნაშთების თანამიმდევრობის ანალიზის საფუძველზე ა. უილსონმა დაადგინა, რომ მუტაციის ინდუქცია გენებში გარკვეული ტემპით ხდება. ნეიტრალური მუტაციის ფიქსაცია ნიშანდობლივია ცილის მოლეკულის გარკვეულ საიტებში (იხ. 5.19.). მომდევნო ეტაპზე ა. უილსონმა შეისწავლა ნეიტრალური მუტაციების ფიქსაციის ხასიათი ერთი და იმავე სახეობის სხვადასხვა პოპულაციებში. ანალოგიური გამოკვლევები ჩატარებულია ადამიანებშიც. ამგვარად შესაძლებელი გახდა დნმ-ის მოლეკულა გამოყენებული ყოფილიყო როგორც მოლეკულური საათი. გაჩნდა სახეობებს შორის ნათესაობის დადგენის პერსპექტივა, ავრეთვე, საერთო წინაპრიდან სახეობებს შორის დივერგენციის დაწყების დრო.

პირველად მოლეკულური საათის მეთოდი შემოთავაზებულ იქნა 1962 წელს ე.ცუკერკანდლემისა და ლ.პოლინგის მიერ. მოგვიანებით მეთოდი დახვეწა. დღეს მოლეკულური ანთროპოლოგიის წარმომადგენლებს ხელთ აქვთ სხვადასხვა მეთოდები, როგორიცაა: ბირთვულ და მიტოქონდრიულ დნმ-ში მომხდარი მუტაციების და მსგავსების სტატისტიკური ანალიზის მეთოდი, დნმ-ის ჰიბრიდიზაცია, სახეობათა შორის იმუნოლოგიური დაშორება.

ბერკლის უნივერსიტეტის ბიოლოგებმა ე. უილსონმა და ვ. სარიჩმა ოქსფორდის უნივერსიტეტის პროფ. ჯ.უენსკოტომთან ერთად გადაწყვიტეს შეესწავლათ ადამიანისათვის დამახასიათებელი სპეციფიკური გენები.

ევოლუციური თეორიის პრინციპებიდან გამომდინარე ბუნებრივი გადარჩევის შედეგად სასარგებლო და ნეიტრალური (ან ნაკლებსახიანო) მუტანტური გენები პოპულაციაში ფიქსირდება, ხოლო სახიანო იცხრილება, ვინაიდან მისი მატარებელი ინდივიდები იღუპებიან. ამიტომ გენოფონდიდან სახიანო გენების ელიმინაცია მიმდინარეობს.

დნმ-ის მოლეკულა შეიცავს ისეთ გენებს, რომლებიც ცილის სინთეზში და შესაბამისად, ნიშნის ან თვისების ჩამოყალიბებაში არ მონაწილეობენ. ისინი დუპლიკაციის შედეგად წარმოიქმნება. გენის ახალი ასლი განიცდის მუტაციურ ცვალებადობას. იგი ბუნებრივი გადარჩევის ზეწოლას არ ექვემდებარება, რადგან საწყისი გენი აგრძელებს ნორმალურ ფუნქცირებას. ამ მოვლენის შექანიზმი ჯერჯერობით არაა სათანადოდ გამოკვლეული. ასეთი გზით წარმოქმნილი გენები ადაპტური მნიშვნელობით ნეიტრალურია (არ მიეკუთვნება არც სასარგებლო და არც საზიანო ჯგუფს). ასეთი გენები თაობებს გადაეცემა, მაგრამ არ მონაწილეობენ ინდივიდის ადაპტაციური პროცესების რეგულირებაში. მათში სპონტანურად მიმდინარეობს მუტაციური პროცესი და დრეიფის გზით გროვდებიან გენომში. იმის მიხედვით, თუ რამდენად არიან ინდივიდები საწყისი ფორმიდან დაცილებული (დივერგენცია), გენომში ამ სახის გენების პროცენტული შემცველობა იცვლება. აღნიშნული გენებისა და მათი მუტაციების

ირსახეობების რაოდენობა საწყისი ფორმებიდან დაშორებისას მატულობს. ინაიდან ეს გენები ცალსახად არიან დამოკიდებულნი დროსთან, მკვლევარებს შეუძლება ეძლევათ აღადგინონ დნმ-ის მოლეკულის საწყისი სტრუქტურა.

მოლეკულურმა ქრონომეტრმა ცვლილებები შეიტანა ანთროპოგენეზის ეტაპების დათარიღებაში, რომელიც ეფუძნებოდა ანთროპოლოგთა კლასიკურ მონაცემებს. პირველი ჰომინიდი გამოეყო უმაღლეს პრიმატებს არა 15 მილიონის (როგორც აქამდე იყო ცნობილი), არამედ 5 მილიონი წლის წინათ.

ლუკოტმა ადამიანისა და შიმპანზეს ქრომოსომების ერთმანეთთან შედარებისას მათ შორის დიდი მსგავსება აღმოაჩინა: მათი გენების 99% იდენტური აღმოჩნდა. გუდმენის გამოკვლევებით კი დადგინდა, რომ შიმპანზესა და ადამიანის ანტიგენებიც პრაქტიკულად ერთგვაროვანია. ისინი წარმოშობილია ერთი წინაპრიდან 5 მილიონი წლის წინათ. საკითხავია, რომელთან უფრო ახლოს იდგა ეს საერთო წინაპარი: ადამიანთან თუ შიმპანზესთან? გაურკვეველმა ვითარებამ ზოგიერთ ანთროპოლოგს მისცა საბაბი წამოეყენებინა შეხედულება, რომ შიმპანზე ადამიანისაგან არმოიშვა.

აღიარებული ფაქტია, რომ აფრიკული შიმპანზე და გორილა ითვლება ადამიანის ახლო ნათესავად, ხოლო აზიური გიბონი და ორანგუტანგი კი არა. მოვლენა შემდეგი მოსაზრებით აიხსნება: აფრიკული და აზიური მაიმუნები დაშორდნენ ერმანეთს გაცილებით ადრე, ვიდრე მოხდებოდა შიმპანზეს, გორილასა და ადამიანის საერთო წინაპრიდან ერთდროული დივერგენცია. ამ შეხედულების საილუსტრაციოდ მოვიყვანოთ ზემოთ აღნიშნულ სახეობებს შორის ბირთვული დნმ-ის პროცენტული განსხვავება:

ადამიანი –გორილა 1,4%
ადამიანი –შიმპანზე 1,2%
გორილა –შიმპანზე 1,2%
ადამიანი –ორანგუტანგი 2,4%
გორილა –ორანგუტანგი 2,4%
შიმპანზე –ორანგუტანგი 1,8%

საინტერესო ცნობა გამოაქვეყნეს პრინსტონის უნივერსიტეტის თანამშრომლებმა იმის შესახებ, რომ ნეანდერტალელი ადამიანი არ შეიძლება ჩაითვალოს თანამედროვე ადამიანის წინაპრად, ვინაიდან მისი დნმ არ შეესაბამება ადამიანის დნმ-ს. ნეანდერტალელს და ადამიანს ჰყავდა საერთო წინაპარი. ნეანდერტალელის ევოლუცია მიმდინარეობდა ევროპაში და სახეობა ამოწყდა უმეკვიდროდ. ადამიანის ევოლუცია კი მიმდინარეობდა აფრიკაში და მის შთამომავლებად ითვლებიან თანამედროვე ადამიანები. ადამიანი და ნეანდერტალელი ერთდროულად ცხოვრობდნენ, ადამიანები მათ ცხოველებად თვლიდნენ, რადგან ისინი ვერ ლაპარაკობდნენ.

ანთროპოლოგიური კვლევების მოლეკულურ დონეზე გაფართოების მიზნით მრავალი ლაბორატორიისაგან შეიქმნა საერთაშორისო კონსორციუმი. დაიწყო ინტენსიური კვლევა "პრიმიტიულ" ხალხთა დნმ-ის განსხვავება-მსგავსების დასადგენად. ჩატარებული სამუშაოებიდან გამოსაყოფია ერთი ფაქტი, რომელიც ჯერ კიდევ არ შეიძლება ჩაითვალოს დადასტურებულად. ეს ფაქტი ვრცელდება პიგმეების ერთ

ტომ'ზე –აკაზე, რომელიც დნმ-ის მოლეკულის სტრუქტურის დონე'ზე ითვლება ადამიანის სავარაუდო წინაპრად.

მოლეკულური ანთროპოლოგიის წარმომადგენლებმა 1987 წელს, დღეს მცხოვრებ სხვადასხვა რასის ადამიანთა დნმ-ის მოლეკულაში მომხდარი გენთა მუტაციების ინტერპოლაციის მეთოდის გამოყენებით გამოაქვეყნეს სენსაციური ცნობა. დადგენილი იქნა იმ ჰიპოთეტური პირველი ქალის არსებობის თარიღი, რომელიც ითვლება ყველა ადამიანის დედად. მას უნდა ეცხოვრა 200-300 ათასი წლის წინათ. მოგვიანებით თარიღი შეცვალეს ახალი ვერსიით. იგი მოიცავს 140-290 ათას წელს.

ამ თარიღის დადგენით მეცნიერებს შორის კვლავ აღიძრა ძველი კამათი იმის თაობაზე თუ როდის და როგორ გაჩნდა ადამიანი. ამავე დროს თითქოს დადასტურდა ადამისა და ევას გაჩენის ლეგენდა, რომელიც არსებობდა მსოფლიოს ხალხთა კულტურებში სხვადასხვა ვარიაციებით ბიბლიის შექმნამდე. ხმელთაშუა ზღვის, აფრიკის, ამერიკის და სამხრეთ ნახევარსფეროს კუნძულებზე მცხოვრებმა აბორიგენთა მითოლოგიამ შემოგვინახა ეს ცნობები.

დედამიწაზე არსებული პირველი მდედრის არსებობის თარიღის დადგენა არ უნდა იყოს გაგებული ისე, თითქოს ანთროპოლოგები ამტკიცებდენ, რომ აღმოჩენილია კონკრეტულად ის პირველი ქალი, რომელმაც დასაბამი მისცა შემდგომ თაობებს. დათარიღება ეხება მიტოქონდრიული დნმ-ის მუტაციების მეშვეობით. ცნობილია, რომ ქალისა და მამაკაცის მიტოქონდრიებში დნმ ყოველთვის ქალის მხრიდან მემკვიდრეობს. ამიტომ ამ ქალს პირობითად ევა დაარქვეს. ევა არის თეორიული ექსპერიმენტის შედეგად დათარიღებული ქალი, რომლის გენებიც არსებობენ დღევანდელ სხვადასხვა რასის წარმომადგენელ ყველა ადამიანში. კლასიკურ ანთროპოლოგთაგან განსხვავებით, მოლეკულურ-ბიოლოგიურმა საათმა გვიჩვენა შედარებით ზუსტი დრო, თუ საიდან იღებს სათავეს დღევანდელ ადამიანთა უშუალო წინაპარი. ამავე დროს ამ მეთოდმა, კლასიკური ანთროპოლოგიისაგან განსხვავებით, რომელიც ამტკიცებდა გაცილებით დიდ დროს, უფრო დაგვაახლოვა ჩვენს წინაპრებთან.

გამოთქმულია ვარაუდი, რომ ევა კარგად განვითარებული კუნთების წყალობით მოძრაობდა სწრაფად, ხმარობდა ქვის იარაღებს და ცხოვრობდა აფრიკაში. მიახლოებითი გამოთვლებით დადგენილია, რომ ევადან დღემდე უნდა ეცხოვრა 10 ათას თაობას.

საინტერესოა, თუ როგორ ხდებოდა ევას ძებნა. ბერკლის უნივერსიტეტში რებეკა კანნმა, ელან უილსონმა და მარკ სტოუნკინგმა შეისწავლეს შტატებში 147 ფეხმძიძე ქალის პლაცენტა. ქალები დაჯგუფებული იყო გარკვეული პრინციპით. პლაცენტა იმიტომ იყო გამოყენებული, რომ იგი ორგანიზმის დიდი ქსოვილია და მისი მიღება შედარებით ადვილია. ცალ-ცალკე იქნა შესწავლილი აფრიკის, ევროპისა და აზიის ქვეყნებში მცხოვრები ქალების პლაცენტა. პლაცენტას იღებდნენ ავსტრალიისა და ახალი გვინეის აბორიგენებისაგანაც, ყინავდნენ ადგილზე და ჩამოჰქონდათ ბერკლის უნივერსიტეტში გამოსაკვლევად. სპეციალური მეთოდით პლაცენტიდან მიიღებოდა მიტოქონდრიული დნმ-ი და ახდენდნენ გენეტიკურ ანალიზს მოლეკულურ დონე'ზე. თითოეული პლაცენტიდან მიღებული დნმ დაშლილი იყო ფრაგმენტებად და ხდებოდა მუტაციების განაწილების სტატისტიკური ანალიზი. დადგენილ იქნა საინტერესო ფაქტი. მიუხედავად კარგად გამოხატული რასული მორფოლოგიური

ნიშნებისა, მიტოქონდრულ დნმ-ზე იგი არ აღმოჩნდა, ან თუ აღმოჩნდა, განსხვავება უმნიშვნელო იყო. ეს კი იმას მიგვანიშნებს, რომ სხვადასხვა რასები საერთო წინაპრიდან ყოფილან წარმოშობილი.

ბუნებრივია ისმის კითხვა, სად უნდა გაჩენილიყო ევა? ბერკლის უნივერსიტეტის მკვლევრებმა დნმ გაყვეს ორ ჯგუფად: პირველი ეხება აფრიკულ ხაზს, ე.ი. იმ დნმ-ს, რომელშიც აღმოჩნდა მეტი მუტაციები. ამ დნმ-ის მატარებელ ინდივიდებს უფრო დიდი ხნის განმავლობაში უნდა ეცხოვრათ აფრიკაში. რომელიღაც პერიოდში აფრიკიდან იწყება მიგრაცია და ადამიანების განსახლება სხვა კონტინენტებზე. ამას ადასტურებს დნმ-ის მოლეკულა, რომელშიც მუტაციები ნაკლები რაოდენობითაა ნაპოვნი.

ემორის უნივერსიტეტის მოლეკულური გენეტიკის წარმომადგენლებმა, რომელთაც ხელმძღვანელობდა დუგლას უილსონი, ჩაატარეს გაშიფვლევა ოთხ კონტინენტზე მცხოვრებ ადამიანთა მიტოქონდრიულ დნმ-ზე. მათ მიერ შესწავლილ იქნა 700 ადამიანის სისხლის უჯრედების მიტოქონდრიული დნმ. ამ ჯგუფმა დაადასტურა, რომ თანამედროვე ადამიანი სათავეს იღებს ერთი ქალიდან, რომელსაც უნდა ეცხოვრა 150-200 ათასი წლის წინათ. ბერკლის უნივერსიტეტის მკვლევარებისაგან განსხვავებით, ემორის უნივერსიტეტის წარმომადგენლებმა მონახეს განსხვავება სხვადასხვა რასის დნმ-ებს შორის. მათვე აჩვენეს, რომ ადამიანისმაგვარ მაიმუნებთან დნმ-ის მსგავსება უფრო ხშირად გვხვდება აზიაში. ამიტომ დაუშვეს, რომ ადამიანის საერთო ძირის პოვნა შეიძლება აზიაშიც. შესაძლოა, ევას ეცხოვრა ჩინეთში და მიუთითებენ მის სავარაუდო არეალსაც, სამხრეთ-აღმოსავლეთ ჩინეთს. დ.უილსონი გვაფრთხილებს, რომ ეს არის მათ მიერ მიღებული ექსპერიმენტული შედეგების ერთ-ერთი სავარაუდო ინტერპრეტაცია.

დღეს მიტოქონდრიული დნმ-ის ანალიზს დაემატა ბირთული დნმ-ის ანალიზის შედეგებიც და მკვლევართა უმრავლესობა უპირატესობას ანიჭებს ევას აფრიკულ წარმოშობას. ამ მოსაზრებას აძლიერებს ის ფაქტიც, რომ თანამედროვე ადამიანის წინაპართა ფორმები ნაპოვნია აფრიკაში. მოლეკულური ბიოლოგიის მონაცემების საფუძველზე, ანთროპოლოგთა კლასიკური მონაცემების გათვალისწინებით შეიქმნა ისეთი წარმოდგენა, რომ პირველ ადამიანს უნდა ეცხოვრა 200 ათასი წლის წინათ დღევანდელი ცენტრალური აფრიკის რესპუბლიკის ტერიტორიაზე. უფრო მეტიც, სამოთხის ბაღი, სადაც გაჩნდა ადამი, უნდა ყოფილიყო ქვეყნის სამხრეთ-დასავლეთ ნაწილში სამკუთხედის ფორმის რამდენიმე ასეულ კვადრატულ მეტრ ფართობზე, მდინარეების უბანგის, სანგისა და ლობეას შორის. აღმოსავლეთით მას ესაზღვრება ხაირი, დასავლეთით –კონგო და კამერუნი. ადამი იყო პიგმეი, რაც ქართულად მუჯის ტოლას ნიშნავს. ადამის ყველაზე ახლო შთამომავლები არიან თანამედროვე პიგმეების ტომი აკა, რომელთა საშუალო სიმაღლე 1,5 მეტრზე ნაკლებია. პირველი ცნობა პიგმეებზე გვხვდება ეგვიპტურ წარწერებში, რომლებიც ძველი წელთაღრიცხვის 2-3 ათასწლეულში არის შესრულებული. მოგვიანებით მათ იხსენებს ჰომეროსი "ილიადაში". პიგმეები ქვის იარაღებს არ აკეთებენ ან საერთოდ აკეთებდნენ თუ არა, გასარკვევია. პიგმეებს საკუთარი ენა არ გააჩნიათ, ლაპარაკობენ იმ ენაზე, რომელ ხალხთანაც ახლო ურთიერთობა აქვთ. ლაპარაკში შეიმჩნევა ფონეტიკური თავისებურებები.

ნაწილი VIII. ორგანიზმი და გარემო

8.1. ზოგადი ეკოლოგიის საკითხები

ეკოლოგიის საგანი და ეკოლოგიური ფაქტორები

ეკოლოგია შეისწავლის ცოცხალი ორგანიზმებისა და მათი დაჯგუფებების დამოკიდებულებას ერთმანეთთან და გარემოსთან. ამჟამად ეკოლოგია მეტად ჰოპულარული და სწრაფად განვითარებადი დარგია. იგი შეიჭრა არა მარტო ბიოლოგიის ყველა დარგში (ბოტანიკა, ზოოლოგია, ციტოლოგია, გენეტიკა, ევოლუციური თეორია, ფიზიოლოგია, ეთოლოგია და სხვ.), არამედ სხვა საბუნებისმეტყველო მიმართულებებში (ფიზიკა, ქიმია, გეოგრაფია, გეოლოგია). იგი მჭიდროდ დაუკავშირდა მედიცინასა და სოფლის მეურნეობის მრავალ დარგს, ასევე ფილოსოფიას, კერძოდ სოციოლოგიას. სამეცნიერო-ტექნიკურმა პროგრესმა გარემოში უარყოფითი ცვლილებები გამოიწვია. გარემოს ოპტიმალური მდგომარეობის შენარჩუნება კაცობრიობის ერთ-ერთ უმნიშვნელოვანეს პრობლემად იქცა.

ტერმინი „ეკოლოგია„ შემოიღო გერმანელმა მეცნიერმა ე.ჰეკელმა (1866). ჩ.დარვინის ევოლუციურმა კონცეფციამ ხელი შეუწყო ეკოლოგიის ჩამოყალიბებასა და მის შემდგომ განვითარებას. ევოლუციური პროცესი თავისი არსით ეკოლოგიური მოვლენაა. საზოგადოებაში მიმდინარე ევოლუციური პროცესი ძირითადად ეკოლოგიური თავისებურებებითაა განპირობებული. მოცემული სახელმძღვანელოს ევოლუციური თეორიის ნაწილში ეს პროცესები ჩვენს მიერ ფართოდაა განხილული, ამდენად ზოგადი ეკოლოგიის საკითხებს მოკლედ განვიხილავთ.

ეკოლოგიას ყოფენ სამ ნაწილად: **1.აუტოეკოლოგია** - შეისწავლის ცალკეულ ორგანიზმზე სხვადასხვა ფაქტორის ზემოქმედებას; **2.პოპულაციების ეკოლოგია** - იკვლევს ერთი სახეობის შემადგენელ ორგანიზმთა ბუნებრივი დაჯგუფებების (პოპულაციები) რეაქციას გარემო პირობების ცვლილებებზე, მათი თვითორგანიზაციისა და თვითრეგულაციის შექანიზმებს; **3.სინეკოლოგია** (თანასაზოგადოებების ეკოლოგია)-შეისწავლის ბიოცენოზების ორგანიზაციის კანონზომიერებებს. მათ სტრუქტურასა და ფუნქცირებას, რაც უპირველეს ყოვლისა კვებით ჯაჭვებში ნივთიერებათა წრებრუნვასა და ენერგიის ტრანსფორმაციაში ვლინდება.

ამრიგად, თანამედროვე გაგებით ეკოლოგია არის მეცნიერება, რომელიც ინდივიდების, პოპულაციებისა და თანასაზოგადოებების დონეზე შეისწავლის ორგანიზმების ერთმანეთთან და არაცოცხალ გარემოსთან ურთიერთობას, ორგანიზმების ბუნებრივ დაჯგუფებათა სტრუქტურასა და ფუნქციებას, ენერგიის ნაკადის გამოყენებას ცოცხალ ბუნებაში, ელემენტებისა და ნივთიერებათა წრებრუნვას (ელიაზა და სხვ. 1992).

გარემო არის ცოცხალი და არაცოცხალი ბუნების ის ნაწილი, რომელიც გარს არტყია ორგანიზმებს, უშუალოდ ან არაპირდაპირ მოქმედებს მათ ცხოველმყოფელობაზე, განვითარებასა და გამრავლებაზე. სიცოცხლისათვის ვარგის გარემოს **სასარგებლო გარემო** ეწოდება. გარემო შეიძლება იყოს **ფიზიკური ფაქტორი** ან ორგანიზმების მიერ ჩამოყალიბებული -**ბიოტური**. ფიზიკური გარემო სამი სახისაა:

წყალი, ჰაერი და წყალ-ჰაერი (ინტერსტიციალური გარემო). ბიოტური გარემოს სამ სახეს განარჩევენ: **ინტრალ შრი** (ორგანიზმში მცხოვრები სხვა არსებები, მაგ. პარაზიტები და სხვ.), **ეპიზალ შრი** (ორგანიზმზე მცხოვრები ინდივიდები) და **ბიოცენოტშრი** (ბიოცენოზის შემადგენელი ცოცხალი კომპონენტებისაგან შექმნილი გარემო). პოპულაცია ეკოსისტემაში იჭერს გარკვეულ ფუნქციურ ადგილს, რომელსაც „ნიშა" ეწოდება (გრინელი, 1917).

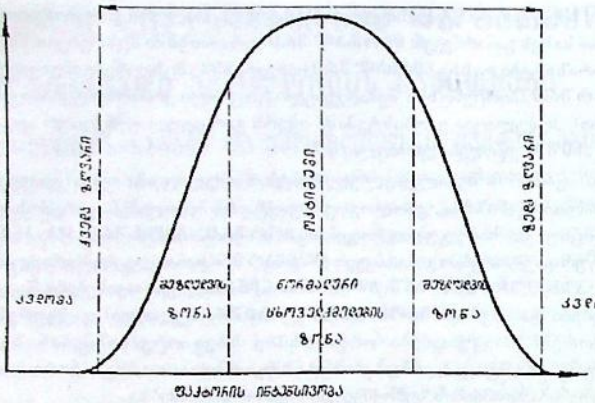
გარემოს შემადგენელ ელემენტს, რომელიც ამა თუ იმ გავლენას ახდენს ცოცხალ ორგანიზმზე, ეკოლოგიურ ფაქტორს უწოდებენ. გარემოს ფაქტორებს ტრადიციულად სამ ჯგუფად ყოფენ: **აბიოტშრი, ბიოტშრი და ანთროპშლი**. აბიოტურ ფაქტორებში განარჩევენ: **კლიმატშრ** (სინათლე, ტემპერატურა, განათება, ქარი და სხვ.), **ედაფშრ ანუ ადგილობრივ** (ნიადაგის თვისებები, წყლის ქიმიური თვისებები და სხვ.) და **ტოპოგრაფიულშრი** (რელიეფი) ფაქტორებს. ბიოტურ ფაქტორებს მიეკუთვნება ორგანიზმზე სხვა ორგანიზმების ზემოქმედება (კონკურენცია, მტაცებლობა, პარაზიტიზმი, სიმბიოზი და სხვ.). ანთროპულ ფაქტორს მიეკუთვნება ადამიანის ზემოქმედება სხვა ორგანიზმებზე.

მოწოდებულია ეკოლოგიური ფაქტორების სხვა სახის კლასიფიკაცია, რომლის მიხედვით გამოყოფენ: პერიოდულ (პირველადი და მეორადი) და არაპერიოდულ ფაქტორებს. **პირველად პერიოდულ ფაქტორებს** ორგანული ბუნება განვითარების ადრეულ ეტაპზე დაექვემდებარა. მას მიაკუთვნებენ: ტემპერატურას, განათებულობას, დღე-ღამურ, სეზონურ და წლიურ პერიოდულობას და სხვ. **მეორადი პერიოდული ფაქტორები** პირველადი ფაქტორების შედეგს წარმოადგენს. მათ მიეკუთვნება: ტენიანობა (დამოკიდებულია ტემპერატურაზე), წყლის გარემოში ჟანგბადის შემცველობა, მარილიანობა, სიმღვრივე და სხვ.

არაპერიოდული ფაქტორების ზემოქმედება ორგანიზმზე ეპიზოლურია ანუ შედარებით ხანმოკლეა. იგი ნორმალურ პირობებში ორგანიზმის ადგილსამყოფელში არ არსებობს. ორგანიზმები მათ მიმართ ვერ ასწრებენ შეგუებას. ამ ტიპის ეკოლოგიურ ფაქტორებს მიეკუთვნება: გრიგალი, ქარიშხალი, ელ-ჭექი, წყალდიდობა, ხანძარი, ვულკანური ამოფრქვევა, მიწისძვრა და სხვ.ასევე ადამიანის ზემოქმედების სხვადასხვა ფორმები, მტაცებელის მოქმედება, პარაზიტებისა და პათოგენური ორგანიზმების (სოკოები, ბაქტერიები, ვირუსები) ზეგავლენა.

ეკოლოგიური ფაქტორების დიდი ნაირგვარობის მიუხედავად შესაძლებელია მათი ურთიერთშედარება და ზოგადი კანონზომიერებების გამოვლენა. ფაქტორები ხელს უწყობენ ან ზღუდავენ სახეობის არსებობას კონკრეტულ გარემოში. ეკოლოგიური ფაქტორის იმ ინტენსიობას, რომელიც ყველაზე ხელსაყრელია, სახეობის არსებობისათვის **ოპტიმუმი** ეწოდება. ფაქტორის მინიმალური (რომლის ქვემოთ სიცოცხლე წყდება) და მაქსიმალური (რომლის ზემოთაც სიცოცხლე შეუძლებელია) ინტენსიობით იქმნება გამძლეობის (ტოლერანტობა) ფარგალი. მინიმუმი და მაქსიმუმი ის კრიტიკული წერტილებია, რომლის შემდგომაც სახეობას არსებობა აღარ შეუძლია და იღუპება (იხ. სურ. 8.1).

გარემოსადმი ორგანიზმთა შეგუების ხარისხს **ეკოლოგიური ვალენტობა** უწოდებენ. ერთსა და იმავე სახეობას სხვადასხვა ეკოლოგიური ფაქტორებისადმი განსხვავებული გამძლეობის ფარგალი გააჩნია. სახეობა, რომელსაც ამა



სურ.8.1. ეკოლოგიური ფაქტორის ზოგადი მოქმედება ორგანიზმზე

თუ იმ ეკოლოგიური ფაქტორისადმი დაბალი ვალენტობენება აქვს, ამ ფაქტორის მხოლოდ უმნიშვნელო ვარიაციებს იტანს. ეკოლოგიური ფაქტორისადმი ვიწროდ შეგუებულ სახეობებს **სტენობიონტებს** უწოდებენ. მათ მხოლოდ ერთ ბიოტოპში შეუძლიათ არსებობა. ფართო ეკოლოგიური ვალენტობენების შემთხვევაში საპირისპირო მოვლენას აქვს ადგილი. ასეთი სახეობები ეკოლოგიური ფაქტორისადმი ფათოდ არიან შეგუებული და შეუძლიათ არსებობა სხვადასხვა ბიოტოპში, მათ **ევრიბიონტებს** უწოდებენ.

ეკოლოგიური ფაქტორები ორგანიზმზე მოქმედებენ არა იზოლირებულად, არამედ ერთობლივად. ფაქტორებს შორის არსებობს გარკვეული დამოკიდებულება. გარემოს ამა თუ იმ ფაქტორისადმი ოპტიმუმი და გამძლეობის ფარგალი სხვა ფაქტორების დონეზეცაა დამოკიდებული. მაგ. ოპტიმალური ტემპერატურის დროს დაბალი ტენიანობისა და საკვების სიმცირისადმი გამძლეობა მატულობს. ფაქტორთა ურთიერთკომპენსაცია ყოველთვის შეზღუდულია. სიცოცხლისათვის აუცილებელი არცერთი ფაქტორი არ შეიძლება შეიცვალოს სხვა ფაქტორით. როდესაც ერთი რომელიმე ეკოლოგიური ფაქტორის რაოდენობრივი მნიშვნელობა გასცდება მინიმუმის ან მაქსიმუმის საზღვარს, მაშინ სახეობის არსებობა შეუძლებელი ხდება, თუნდაც სხვა ფაქტორები ოპტიმალური იყოს. ფაქტორს, რომელიც სცილდება გამძლეობის ფარგალს, **შემზღუდველ ანუ მალიმიტირებელ ფაქტორს** უწოდებენ. მაგ. მაღალმთიანეთში და არქტიკულ ზონაში სახეობის გავრცელებას ზღუდავს სითბოს ნაკლებობა, ხოლო არიდულ რაიონებში-ტენის ნაკლებობა და მაღალი ტემპერატურა. გარემოს შემზღუდველი ფაქტორი განსაზღვრავს სახეობის გეოგრაფიულ არეალს.

§6 აბიოტური ფაქტორები

ევოლუციური განვითარების პროცესში ორგანიზმები შეეგუენ განსაზღვრულ აბიოტურ ფაქტორებს. მაგ. ცხოველებს გააჩნია სხეულის იძულებითი

ფორმა, რომ ზოგიერთი ადვილად ცურავს წყალში, ზოგიც ფრენს, ზოგი ადვილად მოძრაობს ნიადაგში და ა.შ. ორგანიზმები ეგუებიან ისეთ აბიოტურ ფაქტორს როგორიცაა გარემოს ქიმიური შედგენილობა, სინათლისა და ტემპერატურული რეჟიმი, ტენიანობა, მარილიანობა და სხვ.

გარემოს ტემპერატურას უდიდესი მნიშვნელობა აქვს. იგი მოქმედებს ორგანიზმის ზრდასა და განვითარებაზე, მასში მიმდინარე ცხოველმყოფელობის პროცესებზე. იგი წარმოადგენს მნიშვნელოვან მალიმიტირებელ ფაქტორს. ორგანიზმების ნორმალური ცხოველმყოფელობა მიმდინარეობს მაშინ, როდესაც სხეულის ტემპერატურა $0^{o}C$-დან 40^{o}–$45^{o}C$-მდეა. მაგრამ არსებობს გამონაკლისიც. მაგ. არქტიკულ წყლებში გავრცელებულ წყალმცენარეს Sphaerella nivalis შეუძლია ზრდა- განვითარება $-34^{o}C$ ტემპერატურაზე, ხოლო ზოგიერთი ციანობაქტერია გეიზერებში (+85^{o}C და მეტი) ბინადრობს. პოიკილოთერმულ ცხოველებში სხეულის ტემპერატურა გარემოსას უახლოვდება. ჰომოიოთერმულ ცხოველებს (ფრინველები, ძუძუმწოვრები) სხეულის მუდმივი ტემპერატურა აქვთ. იგი უმნიშვნელოდ შერყეობს.

მნიშვნელოვანი ეკოლოგიური ფაქტორია მზის სხივური ენერგია. მრავალ ცხოველსა და მცენარეს განვითარების წლიური ციკლი ახასიათებს, რომელსაც ფოტოპერიოდიზმს (დღის ხანგრძლივობისადმი რეაქცია) უწოდებენ. ეს ციკლი ძირითადად სინათლით რეგულირდება. დღის ხანგრძლივობა მრავალ ცხოველში გავლენას ახდენს სქესობრივ ფუნქციაზე. სინათლის ხანგრძლივობის გაზრდა მასტიმულირებელ გავლენას ახდენს სასქესო ჯირკვლების ცხოველმყოფელობაზე. მრავალ მცენარესა და ცხოველში დღის ხანგრძლივობის შემცირება სასიგნალო როლს ასრულებს გადაზამრთებისათვის მზადებაში (საზამთრო კვირტების განვითარება მცენარეებში, მიგრაციები და ცხიმის დაგროვება ცხოველებში და მისთ.). სინათლის რეჟიმი განსაზღვრავს ზოგიერთი ცხოველის განსახლებას. განათების მიხედვით ორგანიზმებს ყოფენ ფოტოფილებად (სინათლის „მოყვარული") და ფოტოფობებად (სინათლის „მოძულე". გეხვდებიან ნაკლებ განათებულობის პირობებში). მაგ. ბრტყელი ჭიის ფასციოლას ლარვის-მირაციდის ფორმირება კაშკაშა სინათლის დროს ხდება, ხოლო ზოგიერთი მოლუსკის კვერცხის დაყოფა მხოლოდ სიბნელეში მიმდინარეობს. ბაყაყის კვერცხის დაყოფაზე და თავკომბალას ჩამოყალიბებაზე სინათლე გავლენას არ ახდენს.

ხმელეთზე ბინადარ ცხოველთა და მცენარეთა ცხოველმყოფელობისათვის ჰაერს უდიდესი მნიშვნელობა აქვს. ენერგეტიკული ცვლის ჟანგბადიანი ეტაპი ჟანგბადის გამოყენებით ხორციელდება, ხოლო ფოტოსინთეზი დაკავშირებულია ნახშირბადის (IV) ოქსიდის გამოყენებასთან. ორგანიზმებს, რომლებიც არსებობისათვის ჟანგბადს საჭიროებენ, აერობებს უწოდებენ, ხოლო უჟანგბადო გარემოში ბინადარ ორგანიზმებს (ზოგიერთი ბაქტერია, პარაზიტული ჭიების ნაწილი, უმარტივესებში და სხვ.)-ანაერობებს. ზოგჯერ ონტოგენეზში ორგანიზმის დამოკიდებულება ჟანგბადისადმი იცვლება. მაგ. ასკარიდას კვერცხის განვითარებისათვის აუცილებელია ჟანგბადი, ხოლო ზრდასრულ ორგანიზმზე იგი დამღუპველად მოქმედებს. მნიშვნელოვან აბიოტურ ფაქტორს წარმოადგენს წყალი. იგი განსაზ-

ღვრავს სახეობის არეალს. გვხვდება წყალში მცხოვრები სახეობები. ხმელეთზე ბინადარი სახეობების ნაწილი ტენიან პირობებში არსებობასთანაა შეგუებული და გვალვას ვერ იტანენ. ედაფურ პირობებში მცხოვრები სახეობები კარგად ეგუებიან ტენის ნაკლებობას.

ძრავალი სახეობა საარსებო პირობების გაუარესებისას (დაბალი ტენიანობა, მაღალი ან დაბალი ტემპერატურა, საკვების ნაკლებობა და მისთ.) არა აქტიურ მდგომარეობაში-ანაბიოზში გადადიან. **ანაბიოზი** ორგანიზმის ისეთი მდგომარეობაა, როდესაც სასიცოცხლო პროცესები (ნივთიერებათა ცვლა და სხვ.) დროებით შეწყვეტილი ან დაქვეითებულია. ნორმალურ პირობებში ცხოველმყოფელობა კვლავ აღდგება. ანაბიოზი ევოლუციის პროცესში გამომუშავებული შეგუების ერთ-ერთი უძველესი ფორმაა.

ბიოტური ფაქტორები 57.

ყოველ ორგანიზმს არსებობა სხვადასხვა ორგანიზმთა გარემოცვაში უხდება. მათ შორის შეარდება ნაირგვარი დამოკიდებულება. მოქმედების შედეგი ორგანიზმისათვის შეიძლება აღმოჩნდეს დადებითი ან უარყოფითი. ორგანიზმს გარემოში სხვა ორგანიზმების გარეშე-განდგეილად არსებობა არ შეუძლია. სხვა ორგანიზმებთან კავშირი სქესობრივი გამრავლების, კვების, თავდაცვის აუცილებელი პირობაა. მეორე მხრივ, ამდაგვარი გარემოცვა საფრთხეს უქმნის ორგანიზმს. იგი შეიძლება არა მარტო საზიანო, არამედ არსებობისათვის საშიშიც კი აღმოჩნდეს.

გარემოში დასახლებული ორგანიზმების ნებისმიერი ურთიერთქმედება (კავშირი) ბიოტურ ფაქტორებს წარმოადგენენ. განვიხილოთ ზოგიერთი ძირითადი ბიოტური კავშირის ფორმები:

1.ნეიტრალიზმი არის კავშირის ისეთი ფორმა, როდესაც ეროსა და იმავე ტერიტორიაზე გავრცელებული ორი სახეობა ერთმანეთზე არავითარ (დადებით ან უარყოფით) გავლენას არ ახდენს. ნეიტრალიზმის დროს სახეობები უშუალოდ ერთმანეთთან არ არიან დაკავშირებული, მაგრამ დამოკიდებული არიან თანასაზოგადოებაზე. მაგ. ერთ ტყეში ბინადარი ლოსები და ციყვები უშუალო კონტაქტში არ იმყოფებიან, თუმცა ხანგრძლივი გვალვით ან სხვა ფაქტორებით (მაგ. მავნებლები და სხვ.) გამოწვეული ფოთოლცვენა თითოეულ მათგანზე სხვადასხვა დონით ახდენს გავლენას.

2.კონკურენცია ფართო მნიშვნელობით ისეთი ურთიერთობაა, რომელიც ვლინდება მსგავს ეკოლოგიურ პირობებში. ინდივიდები ცდილობენ გამოიყენონ ერთი და იგივე რესურსები. ისინი ერთმანეთის კონკურენტები არიან საკვების მოპოვებაში, თავშესაფრის ძებნაში, გამრავლების ადგილის შერჩევაში და მისთ. კონკურენცია ერთადერთი ეკოლოგიური ურთიერთობის ფორმაა, რომელიც ორივე სახეობისათვის სახიანია. ურთიერთობის ამ ფორმას ყურადღება ჯერ კიდევ ჩ.დარვინმა მიაქცია. იგი არსებობისათვის ბრძოლის ერთ-ერთი შემადგენელი ნაწილია (იხ.5.11). განარჩევენ კონკურენციის ორ ფორმას: შიგასახეობრივს და სახეობათაშორისს.

შიგასახეობრივი კონკურენცია მიმდინარეობს პოპულაციაში გაერთიანებულ ინდივიდებს შორის. ვინაიდან მათ ერთნაირი ეკოლოგიური მოთხოვნილებები აქვთ, კონკურენციის ეს ფორმა მეტად დაძაბულია. შიგასახეობრივი კონკურენტული ურთიერთდამოკიდებულების ფორმები მეტად ნაირგვარია. ცხოველებში მისი

უკიდურესი გამოხატულებაა კანიბალიზმი-მოხრდილი ინდივიდების მიერ შთამომავალთა ნაწილის შეჭმა (მაგ. კალმახი, ქორჭილა და სხვ.). ვინაიდან პოპულაცია ჰეტეროგენულია, გადარჩებიან და შთამომავლობას ტოვებენ სასარგებლო ნიშან-თვისებების მქონე ინდივიდები.

სახეობათაშორისი კონკურენციის დროს ერთი სახეობა თანდათანობით თრგუნავს და აძევებს მეორეს ტერიტორიიდან. ამ მოვლენას **კონკურენტულ გამოდევნას** უწოდებენ. კონკურენციაში იმარჯვებს კონკრეტულ გარემო პირობებისადმი უკეთ შეგუებული სახეობა.

3. სიმბიოზი სხვადასხვა სახეობის ინდივიდთა ისეთი თანაცხოვრებაა, როდესაც ორივე წევრი (სიმბიონტი) უშუალოდ ან შეთანხმებულად ურთიერთქმედებენ გარემოსთან. სიმბიოზი წარმოადგენს ადაპტაციის თავისებურ ფორმას. მასში ერთიანდებიან ცხოველები, მცენარეები და მიკროორგანიზმები, როგორც ერთუჯრედიანი (ე.წ. უჯრედშიგა სიმბიოზი), ისე მრავალუჯრედიანი ორგანიზმები. სიმბიოზის საფუძველია ნივთიერებათა ცვლის პროდუქტების ურთიერთგამოყენება, ერთი ორგანიზმის მეორით დაცვა ან საცხოვრებლად გამოყენება.

სიმბიოზი გულისხმობს ურთიერთსასარგებლო თანაცხოვრებას (ე.წ. **მუტუალიზმი**). მაგალითად, ზოგიერთი უმაღლესი მცენარისა და მის ფესვზე მობინადრე სოკოს (ე.წ. მიკორიზა) შორის სიმბიოზი. სოკო მცენარეს აწვდის წყალსა და მინერალურ მარილებს, მისგან ღებულობს ფოტოსინთეზის პროდუქტებს. სიმბიოზი აღინიშნება მცენარესა და მიკროორგანიზმების შორის. მაგ. პარკოსნები და კოჟრის ბაქტერიები. სიმბიოზი გავრცელებულია ცხოველებში. მაგ. კიბო-ვანდეგეილის ნიჟარაზე მიმაგრებული აქტინია. იგი მსუსხავი ძაფებით იცავს მტრებისაგან კიბოს, მას კი იყენებს გადასაადგილებლად. ტერმინ „სიმბიოზის„ ფართო მნიშვნელობით გამოყენების შემთხვევაში მასში აერთიანებენ თანაცხოვრების ყველა ფორმას პარაზიტიზმის ე.წ. უარყოფითი სიმბიოზის ჩათვლით.

4. კომენსალიზმი. სხვადასხვა სახეობის ორგანიზმების ურთიერთდამოკიდებულების ისეთი ფორმაა, როდესაც ერთი ცხოვრობს მეორის ხარჯზე მუდამ ან დროებით ისე, რომ მეორე წევრი ნეიტრალურია, ე.ი. ასეთ სარგებლობას არ იღებს. კომენსალიზმი მეტწილად კვებით ურთიერთობაში ვლინდება, ზოგჯერ სხვის ხარჯზე მცხოვრები ინდივიდები (კომენსალები) მეორე ორგანიზმს იყენებენ გადაადგილებისათვის, თავდაცვისათვის და მისთ. მაგ. თევზი ეპანი სპეციალური მისაწოვრებით ემაგრება დიდი ზომის თევზებს და გადაადგილებისათვის იყენებს მათ. ზოგიერთი ორსაგდულიანი მოლუსკის ნიჟარაში თავშესაფარს პოულობენ სხვა ორგანიზმები.

5. პარაზიტიზმი. სხვადასხვა სახეობის ორგანიზმების ურთიერთდამოკიდებულების ისეთი ფორმაა, როდესაც ერთი (პარაზიტი) იყენებს საარსებო გარემოდ და საკვების წყაროდ მეორეს (მასპინძელს), ასევე აკისრებს მას გარემოსთან ურთიერთობის რეგულაციას. დამოკიდებულება პარაზიტი-მასპინძელი არის ისეთი კვებითი კავშირი, რომელიც ერთი პარტნიორისათვის დადებითია, მეორისათვის კი უარყოფითია. განარჩევენ **ექტოპარაზიტებს** (მასპინძლის სხეულზე მცხოვრები პარაზიტები) და **ენდოპარაზიტებს** (მასპინძლის სხეულში მცხოვრები პარაზიტები), ხანგრძლივობის მიხედვით გამოყოფენ დროებით და ობლიგატურ პარაზიტებს. პარაზიტიზმი ცოცხალ ბუნებაში ფართოდაა გავრცელებული. პარა-

ხიტია ყველა ვირუსი, ზოგიერთი ბაქტერია და სოკო. პარაზიტები გვხვდება მცენარეებშიც (მაგ. აბრეშუმა, პირიმზე, ნაწყობილა, კელაპტარა და სხვ.). ცხოველებიდან პარაზიტული ცხოვრების ნირი ახასიათებს მრავალ უმარტივესს, ზოგიერთ ჭიასა და მწერს.

ნ.მტაცებლობა არის სხვადასხვა სახეობის ორგანიზმების ურთიერთობის ისეთი ფორმა, როდესაც ერთი (მტაცებელი) ჭამს მეორეს (მსხვერპლს, ნადავლს). ზოგჯერ მტაცებლობაში ერთი ორგანიზმის მეორეო კვებას გულისხმობენ. ამ შემთხვევაში ფიტოფაგი ცხოველი (პირველადი კონსუმენტი) მტაცებელია, ხოლო მსხვერპლი-მცენარე (პროდუცენტი). ანალოგიური დამოკიდებულება იგულისხმება პარაზიტსა და მასპინძელს შორის.

მტაცებლობა კვებითი კავშირის ისეთი ფორმაა, როდესაც ერთი სახეობისათვის დადებითი (მტაცებელი), მეორესთვის კი უარყოფითია (მსხვერპლი). იგი გვხვდება ცხოველთა ყველა ტიპში, ასევე სოკოებსა და მცენარეებში (მაგ. მწერიჭამია მცენარეები: დროზერა, ვენერას ბუზიჭერია, ნეპენთესი და სხვ.). მტაცებლობა აპირობებს მორფო-ფიზიოლოგიურ პროგრესს. ურთიერთდამოკიდებულება მტაცებელი-მსხვერპლი იწვევს მტაცებელისა და მსხვერპლის შეუღლებულ ევოლუციას. მტაცებელში მიმდინარეობს მსხვერპლის მოპოვების სამარჯვების, ხოლო მსხვერპლიში თავდაცვის საშუალებების სრულყოფა.

ეკოსისტემა

პოპულაციები ბუნებაში შემთხვევით როდი არიან განაწილებული. ისინი გარკვეული კანონზომიერებით არიან ერთმანეთთან დაკავშირებული და ქმნიან თანასაზოგადოებას, როგორიცაა ტყე, მდელო, ტბისა და ჭაობის თანასაზოგადოებები და მისთ. თანასაზოგადოებაში გაერთიანებული სხვადასხვა სახეობის პოპულაციები საარსებო გარემოსადმი მსგავს მოთხოვნებს ავლენენ. სხვადასხვა სახეობებსა და გარემოს შორის მჭიდრო ურთიერთდამოკიდებულება მყარდება.

ეკოსისტემა არის ცოცხალი ორგანიზმების (მიკროორგანიზმები, მცენარეები, ცხოველები) და მათი გარემოს ფუნქციური ურთიერთდამოკიდებულების შედეგად ჩამოყალიბებული ერთიანი მდგრადი დინამიური სისტემა. ტერმინი „ეკოსისტემა„ შემოიღო ინგლისელმა მეცნიერმა ა.ტენსლიმ (1935). ყოფილ საბჭოთა კავშირში იყენებდნენ თითქმის ანალოგიური შინაარსის ტერმინს-„ბიოგეოცენოზი„. იგი რუსმა მეცნიერმა ვ.სუკაჩევმა (1940) შემოიღო.

ეკოსისტემა ორი კომპონენტისაგან შედგება, ცოცხალი ორგანიზმების ერთობლიობისაგან, მას **ბიოცენოზი** ეწოდება და არაცოცხალი ბუნების ელემენტთა ერთობლიობისაგან, რომელსაც **ბიოტოპი** ეწოდება. ბიოცენოზი და ეკოტოპი ერთმანეთთან დაკავშირებულია ენერგიისა და ნივთიერებათა განუწყვეტელი ციმოცვლით. ეკოსისტემა თვითრეგულირებადი მდგრადი დინამიური ღია სისტემაა. ეკოსისტემის შემადგენელ კომპონენტებს შორის კავშირი ძირითადად კვებითი კავშირებისა და ენერგიის მიღების ხერხებს ემყარება. ეკოსისტემაში ენერგიის ძირითადი წყარო მზის სხივური ენერგიაა. ენერგიის გარდა მას მიეწოდება მინერალური ნივთიერებები, ატმოსფეროს აირები, წყალი და სხვ. მისგან გამოყოფა სითბო, ჟანგბადი, ნახშირბადის (IV) ოქსიდი, ბიოგენური ნივთიერებები და სხვ.

ეკოსისტემის უმეტესობა მსგავსია და შედგება შემდეგი ტროფული ანუ

კვებითი დონეებისაგან:

1.პროდუცენტები. ავტოტროფი ორგანიზმები (მწვანე მცენარეები, რომლებიც ახდენენ ფოტოსინთეზს, ფოტო და ქემოსინთეტიკოსი ბაქტერიები).

2.კონსუმენტები. ისინი იყენებენ პროდუცენტების მიერ სინთეზირებულ ორგანულ ნივთიერებებს. გაანახვავებენ რამდენიმე სახის კონსუმენტებს: **პირველი რიგის ანუ ფიტოფაგები** (მცენარის მჭამელი) ცხოველები. **მეორე რიგის ანუ ხორცის მჭამელი** ცხოველები, რომლებიც ფიტოფაგებით იკვებებიან. **მესამე რიგის ანუ შერეულები.** რომლებიც ფიტოფაგებით და მეორე რიგის კონსუმენტებით იკვებებიან და ა.შ.

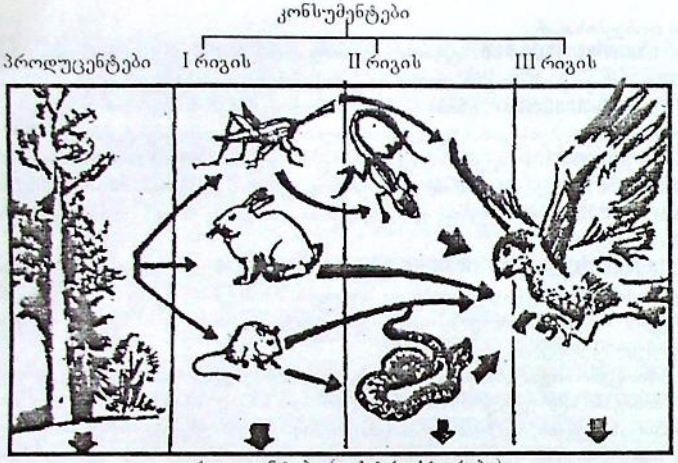
3.რედუცენტები (დესტრუქტორები)-ორგანული ნივთიერებების დამშლელები. ძირითადად ბაქტერიები და სოკოები, რომლებიც მკვდარ ცხოველებს, მცენარეებს ან მათ ნაწილებს (ფოთლები, ტოტები, ნაყოფები) შლიან მარტივ არაორგანულ ნაერთებად.

ბიოცენოზი გარემოდან განუწყვეტლივ იღებს ენერგიას, რომელსაც გარდაქმნის და შინაგანი სტრუქტურის ორგანიზაციისა და სხვადასხვა სასიცოცხლო პროცესებისათვის იყენებს. იგი ხმარდება ნივთიერებათა წრებრუნვას და სისტემის მთლიანობის შენარჩუნებას. ეკოსისტემაში ენერგიის ნაკადი სხვადასხვა კვებით (ტროფულ) დონეებს გაივლის. დედამიწაზე დაცემული მზის სხივური ენერგიის მხოლოდ 1-2% ასიმილირდება მცენარეების მიერ. შთანთქმული ენერგიის მხოლოდ 30-70% ხმარდება ცხოველმყოფელობას.

ავტოტროფების ბიომასას ეკოსისტემის **პირველად პროდუქციას** უწოდებენ, ხოლო ორგანული ნივთიერებების წარმოქმნის ინტენსივობას კი **პირველად პროდუქტიულობას**. კონსუმენტები, რომლებიც საკვებად პირველად პროდუქციას იყენებენ, ქმნიან **მეორად პროდუქციას**, მისი წარმოქმნის ინტენსივობას **მეორეულ პროდუქტიულობა** ეწოდება.

ეკოსისტემაში ხორციელდება ნივთიერებათა გადაცემა ერთი ჯგუფიდან მეორეში. თანმიმდევრულ კვებით (ტროფიკულ) ჯგუფებს, რომელშიც მიმდინარეობს ერთი ჯგუფიდან მომდევნოში ნივთიერებათა გადაცემა, **ეშელონ ჯაჭვებს** უწოდებენ. (იხ. სურ. 8. 2) მაგ. მარცვლოვანი მცენარეებიდან ნივთიერებები გადაეცემა მემინდვრეებს, კალიებს, პარაზიტ სოკოებს და ყველა იმ ორგანიზმს, რომელიც კონკრეტულ მდელოზე სახლობს და საკვებად მარცვლოვნებს იყენებს. ამ შემთხვევაში პროდუცენტი მცენარე-მარცვლოვნები ყველა მომდევნო რგოლის საფუძველია. კვებით ჯაჭვში გადადის პროდუცენტების მიერ სინთეზირებულ ორგანულ ნივთიერებებში აკუმულირებული ენერგია. ამდენად, კვებითი ჯაჭვის რგოლი იმავდროულად ენერგეტიკულ ჯაჭვსაც წარმოადგენს.

პროდუცენტების ბიომასას (ფიტობიომასა) ფიტოფაგები (მცენარის მჭამელი ცხოველები) იყენებენ ენერგიის წყაროდ და საკუთარი და ბიომასის შესაქმნელად. ივი ხმარდება არა მარტო ბიომასის შექმნას, არამედ ისეთ მნიშვნელოვან სასიცოცხლო პროცესებს, როგორიცაა სუნთქვა, მოძრაობა, კვება, გამრავლება და სხვ. იგივე პროცესი მიმდინარეობს მომდევნო რგოლებში. მომდევნო რგოლში, წინა რგოლთან შედარებით, ენერგიისა და ბიომასის რაოდენობა მცირდება. ასევე მცირდება რიცხოვნობაც. ტროფიკული დონის პროდუქტიულობა წინა რგოლის მხოლოდ 5-20% შეად-



რედუცენტები (დესტრუქტორები)

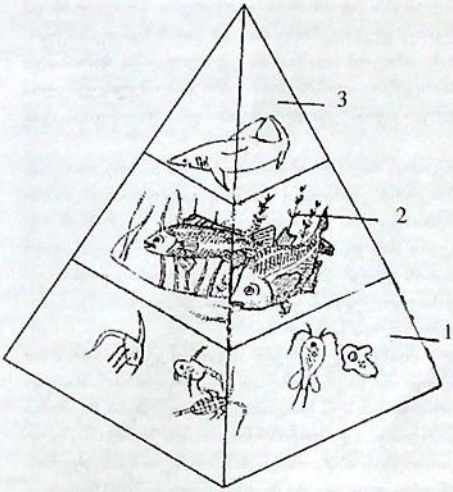
სურ 8.2 კვებითი ჯაჭვები

გენს ამრიგად, პროდუცენტები წარმოქმნიან ყველაზე მაღალ ტროფიკულ დონეს. ნაკლებ პროდუქტიულები არიან ფიტოფაგები (პირველი რიგის კონსუმენტები). კიდევ უფრო ნაკლები ტროფიკული დონეა ხორცის მჭამელი ცხოველები და ა.შ. მაშასადამე ყოველ მომდევნო რგოლში რიცხოვნობა, ენერგია და ბიომასა პროგრესულად მცირდება. ამდენად ამ დანაკარგების გამო კვებითი ჯაჭვი შეტისმეტად გრძელი როდია, იგი 3-5 რგოლს არ აღემატება.

კვებითი ჯაჭვის შემადგენელ რგოლებში ბიომასისა და ენერგიის შემცირების მოვლენა შეისწავლა ინგლისელმა მეცნიერმა ჩ.ელტონმა (1927). მან ააგო ამ მოვლენის გამომსახველი პირამიდა. ამ მეტად მნიშვნელოვან კანონზომიერებას **პირლი-ეიშრი პირამიდის წესი** ეწოდება (იხ. სურ.8.2). პირამიდის პრინციპი უნივერსალურია და ასახავს ენერგიის ნაკადს ბიოცენოზში. განასხვავებენ ეკოლოგიური პირამიდის რამდენიმე სახეს: რიცხვთა, ბიომასისა და ენერგიის პირამიდას.

ეკოსისტემის მთავარი შემადგენელი კომპონენტი, რომელიც განსაზღვრავს მის არსებობას და ცვლილებას დროში, არის ბიოცენოზი. ბიოცენოზები ერთმანეთისაგან განსხვავდებიან სახეობათა მრავალფეროვნებით, პოპულაციათა სიმჭიდროვით (რიცხოვნობით) და ბიომასით.

მიუხედავად იმისა, რომ ეკოსისტემა მდგრადი სისტემაა, იგი მუდმივი როდია. ეკოსისტემაში მიმდინარეობს ევოლუციის პროცესი, რაც მასში გაერთიანებულ სახეობათა ევოლუციას ეფუძნება. ევოლუციის შედეგად ყალიბდება ახალი სახეობების შემცველი თანასაზოგადოება. გარემოს განსაზღვრულ უბანზე ერთი ბიოცენოზის შეცვლას მეორეთი **სუქცესია** ეწოდება. განარჩევენ პირველად და მეორად სუქცესიას. პირველადი სუქცესიის დროს ნიადაგით დაუფარავი გრუნტი (კლდეები, ქვა-ღორღიანი ადგილები, ნაშალი, ქვიშნარი დიუნები, დამშრალი ტბის ფსკერი და



სურ.8.3. ეკოლოგიური პირამიდა. 1. პლანქტონი, 2. მშვიდობიანი თევზები, 3. მტაცებელი თევზები

სხვ.) თანდათანობით იფარება პიონერული მცენარეებით და მასთან ერთად ჰეტეროტროფებით (ბაქტერიები, სოკოები, ცხოველები). თანდათანობით ფორმირდება სტაბილური ბიოცენოზი, რომელშიც ყველა კომპონენტი გაწონასწორებულ (ჰომეოსტაზურ) მდგომარეობაშია. იგი სუქცესიის დასკვნითი ეტაპია. სტაბილურ ბიოცენოზს *კლიმაქსური* ბიოცენოზი ეწოდება.

მეორეული სუქცესია ვითარდება დარღვეული ბიოცენოზის ადგილას, სადაც შემორჩენილია ნიადაგი და ცოცხალი ორგანიზმები. მეორადი სუქცესია შეიძლება გაპირობებული იყოს გარემოს შეცვლით, ორგანიზმების ურთიერთქმედებით ერთმანეთთან და გარემოსთან (ბიოეკოლოგიური უპირატესობის გამო ტერიტორიიდან ერთი სახეობის მიერ მეორის განდევნა, მცენარეთა გარკვეული სახეობების განადგურება ცხოველებისაგან, მჟავურ-ნიადაგური პირობების შეცვლა და მისთ.) ადამიანის საქმიანობით (ტყის გაჩეხვა, გადაბუნა, გამოძოვება და მისთ.). მეორეული სუქცესია ძირითადად ანთროპული ფაქტორის შედეგად წარმოიქმნება და საკმაოდ დიდ ფართობებს მოიცავს. მეორეული სუქცესიის შედეგად ტერიტორიაზე აღდგება საწყისი ან ზოგჯერ ჭალიბდება სრულიად განსხვავებული ბიოცენოზი.

8.2.ადამიანის ეკოლოგიის ასპექტები

ტერმინი „ადამიანის ეკოლოგია„ მოიცავს საკითხების ჯერ კიდევ გამოუკვეთავ კომპლექსს, რომელიც ეხება ადამიანის დამოკიდებულებას გარემოსთან. ადამიანის ეკოლოგიის ძირითადი მახასიათებელი ის არის, რომ იგი ვითარდება სხვადასხვა მეცნიერულ მიმართულებათა ინტეგრაციის საფუძველზე. ინტეგრაციას საფუძვლად უდევს გეოგრაფიაში, სოციოლოგიაში, ბიოლოგიასა და მედიცინაში

წამოყენებული კონკრეტული პრობლემები. ადამიანის ეკოლოგია სწავლობს იმ ფიზიოლოგიურ მექანიზმებს, რომლებიც ექვემდებარებიან სხვადასხვა ფიზიკურ-გეოგრაფიულ გარემოს ზემოქმედებას. ამიტომ ადამიანის ეკოლოგიაში ძირითადი ყურადღება ეთმობა ფიზიოლოგიურ პროცესთა ადაპტაციას. ამის გამო შეუძლებელია ეკოლოგიური ფიზიოლოგია განხილულ იქნას ევოლუციური ფიზიოლოგიისაგან იზოლირებულად.

თანამედროვე ადამიანი, როგორც მაღალგანვითარებული საზოგადოების წევრი, ექვემდებარება ახალი ფიზიკური, ქიმიური და სოციალური გამღიზიანებლების გავლენას. ისინი ხშირ შემთხვევაში ადამიანზე ახდენენ საგრძნობ ზეწოლას. თავი რომ გაართვას და შეეგუოს მის ზემოქმედებას, ადამიანს უწდება დიდი ძალის დახარჯვა. დღევანდელი ადამიანის ცხოვრების ნირი რადიკალურად განსხვავდება იმისაგან, რასაც იგი ეწეოდა თავისი ევოლუციის განმავლობაში და რამაც განაპირობა მისი სახეობრივი მდგრადობა ცხოველთა სამეფოში.

მეოცე საუკუნის დასასრულს მიახლოებულები აშკარად ვგრძნობთ, რომ სამყარო, რომელშიც ჩვენ გვიხდება არსებობა, საგრძნობლად შეცვლილია არა მარტო საუკუნის დასაწყისთან შედარებით, არამედ მის შუა ხნიდანაც. ცვლილებები, საკმაოდ დიდი სისწრაფით, დღესაც მიმდინარეობს. ადამიანის ძირითადი სასიცოცხლო მოთხოვნილებები მთელი მისი განვითარების ისტორიის მანძილზე რჩება. ტექნოლოგიურ ეპოქათა ცვალებადობასთან ერთად იცვლება მოთხოვნილებების მხოლოდ ფორმა და საშუალებები. ადამიანის განვითარების მთელი ისტორია შეიძლება დაიყოს სამ ტექნოლოგიურ ეპოქად. საზოგადოების ტექნოლოგიური კულტურა დაიწყო საკვების შეგროვებით და ნადირობით, რომელიც გადაიზარდა აგრარულ მეურნეობაში. მესამე ეპოქაა ევროპაში XVIII საუკუნეში დაწყებული სამეცნიერო-ტექნიკური რევოლუცია, რომელიც გაბატონებულია ჩვენს პლანეტაზე.

ცხოველების მსგავსად ადამიანის ორგანიზმი აღჭურვილია ჰომეოსტაზური მექანიზმებით, რომლებიც საშუალებას იძლევა მუდმივად ცვლად გარემოში შეინარჩუნოს შინაგანი გარემოს გარკვეული მდგრადობა და წონასწორობა. უმაღლესი ორგანო, რომელიც ამ პროცესებს არეგულირებს, თავის ტვინია. მასში მიმდინარე ნეიროფიზიოლოგიური პროცესები არეგულირებენ ადამიანის ფსიქიკურ მოქმედებას. ორგანიზმის სხვადასხვა ორგანოთა ფუნქციონირება გავლენას ახდენს ერთმანეთზე. ფუნქციათა ერთმანეთზე გავლენიდან უნდა გამოიყოს ნეიროფიზიოლოგიურ და ფსიქიკურ პროცესებს შორის კავშირი. ნეიროფიზიოლოგიური პროცესები გავლენას ახდენენ ფსიქიკურ მოქმედებაზე. თავის მხრივ, ფსიქიკური პროცესების გავლენით იცვლება მრავალი ფიზიოლოგიური პროცესი. ასეთ ურთიერთობათა ერთობლიობას „ფსიქოსომატური დამოკიდებულება„ ეწოდება. ფსიქოსომატური ურთიერთობა წამყვან როლს თამაშობს იმ დაავადებათა წარმოშობაში, რომელიც ცნობილია ცივილიზაციასთან დაკავშირებულ დაავადებათა სახელით.

ადამიანის საარსებო გარემო თავისი მრავალფეროვნებით და ფიზიკურ, ქიმიურ, ბიოლოგიურ და სოციალურ გამღიზიანებელთა ცვალებადობის ზემოქმედებით წარმოადგენს მთლიან კომპონენტს. ზემოთ ჩამოთვლილი ვერცერთი გამღიზიანებელი ვერ იმოქმედებს ადამიანზე იზოლირებულად. ადამიანი იძულებულია შეეგუოს ამ პირობებს. ადამიანის ადაპტაციის უნარი ზეა დამოკიდებული მისი

ჯანმრთელობის მდგომარეობა, ანუ გააგრძელებს ინდივიდუალურ განვითარებას, თუ ელის დაღუპვა.

ადამიანს შესწევს უნარი ცვალოს თავისი საარსებო გარემო, გარდაქმნას იგი საკუთარი მოთხოვნილებისა და სურვილის მიხედვით. ამიტომ ადამიანის მოქმედება შეიძლება იყოს დამანგრეველიც და აღშენებლობითიც. ადამიანის ზემოქმედება ბიოსფეროზე დაიწყო ნეოლითში. იმ პერიოდში ადამიანის გავლენა გარემოზე შეუმჩნეველი იყო. ასევე უმნიშვნელო იყო იგი ადამიანის განვითარების მომდევნო ეტაპებზე. შემდეგ ადამიანის გავლენამ გარემოზე ნელა იწყო მატება და სამეცნიერო-ტექნიკურ ეპოქაში იგი პროგრესირებადი გახდა. ადამიანის გავლენა ბიოსფეროზე სხვადასხვა მიმართულებით წარიმართა: 1.ენერგიის მოპოვება; 2.საამშენებლო მასალების მოპოვება; 3.საკვების წარმოება; 4.ახალი მიწების ათვისება საექსპლოატაციოდ, რასაც ხშირ შემთხვევაში ტყეების გაჩეხვა მოსდევს; 5.სხვადასხვა მიზეზით გამოწვეული ადამიანთა მიგრაციები, რასაც თან სდევს გარემოს დაბინძურება.

თანამედროვე ადამიანს აწუხებს არა ის ბუნებრივი გარემო, რომელშიაც არსებობა უხდება, არამედ ის მდგომარეობა. რომელიც მას მოელის გარემოს პროცესებში აქტიური ჩარევით. ადამიანმა წაამჭრა პარადოქსალური ამოცანა, დაიცვას თავისივე დამანგრეველი მოქმედებისაგან არა მარტო საკუთარი თავი, არამედ ის გარემოც, რომელშიაც უხდება არსებობა.

ადამიანის ურთიერთობა გარემოსთან ორი მიმართულებით მიმდინარეობს: პირველი ეხება იმ ბიოქიმიურ ცვლილებებს, რომელიც გარემო ფაქტორთა ზემოქმედებით მიმდინარეობს ორგანიზმში (ამ შემთხვევაში ცალ-ცალკეა გამოყოფილი ქალის, მამაკაცის და ბავშვის ინდივიდუალური რეაქცია. ასეთ პროცესებს სწავლობს **აუტეკოლოგია**), ხოლო მეორე მიმართულებაა მოვლენებისადმი ჯგუფური რეაქცია (ასეთ პროცესებს სწავლობს **სინეკოლოგია**). ბუნებრივია, ადაპტაციის ორივე მიმართულება ჰომეოსტაზის შენარჩუნებას ემსახურება. აუტეკოლოგიაში განსაკუთრებული ყურადღება ეთმობა კვებას, ალკოჰოლიზმსა და ნარკოტიკულ ნივთიერებათა მოხმარებას და მათი ზეგავლენით გამოწვეულ პათოლოგიური პროცესების მიმდინარეობას ინდივიდში. . დღეს სხვადასხვა ხასიათის პრობლემები განსაკუთრებული სიმძაფრით ისმება სინეკოლოგიაში. მათ შორის მნიშვნელოვანია საზოგადოებაში მომხდარ ცვლილებებთან დაკავშირებული მოვლენები, რომლებიც გამოწვეულია რევოლუციებით, ფორმაციათა ცვლილებით, შეიარაღებული შეტაკებებითა და, რასაკვირველია, ომებით. ამ მიმართულებათა პრობლემატიკის გაერთიანებამ ხელი შეუწყო ახალი მიმართულების ჩამოყალიბებას, რომელსაც **სოციბიოლოგია** ეწოდება. სოციბიოლოგია სწავლობს ცოცხალ ორგანიზმთა სოციალურ ქცევებს. ამ დარგში მოპოვებული ფაქტები საშუალებას იძლევა უკეთ გავერკვეთ ადამიანის მოღვაწეობაში, უკეთ დავინახოთ და შევაფასოთ მისი ბიოსოციალური მდგომარეობა და მოვახდინოთ ექსტრაპოლაცია მისი შესაძლებელი ქცევებისა ექსტრემალურ პირობებში. გამოვარკვიოთ ინდივიდისა და კოლექტივის დამოკიდებულება, თავის მხრივ კოლექტივის დამოკიდებულება ინდივიდთან, აგრეთვე კოლექტივის ურთიერთობა ისეთ კოლექტივთან, რომელიც განსხვავებული მსოფლმხედველობის მატარებელია. ამ კანონზომიერებათა ცოდნა და მისი სწორად გამოყენება მდგრადი საზოგადოებრივი ურთიერთობათა არსებობის საფუძველია.

ბიოლოგიური პროცესების გარდა, ჰომეოსტაზის შენარჩუნებაში მონაწილეობს საზოგადოებრივი და ტექნიკური მოქმედების სხვადასხვა სახე. ისინი საშუალებას აძლევენ ჯგუფებს შეეგუონ გარემოს და გამოიყენონ საკუთარი მიზნებისათვის. საჭიროა გვახსოვდეს, რომ არა მარტო არაბიოლოგიური ფაქტორები (როგორიცაა შრომის ორგანიზაცია და განაწილება, საზოგადოებაში გაბატონებული ზნეჩვეულებები), არამედ მრავალი საზოგადოებრივი ინსტიტუტიც, რომელთაც არა აქვთ უშუალო კავშირი საზოგადოების წევრების ბიოლოგიურ მოთხოვნილებათა დაკმაყოფილებასთან, ემსახურებიან ბიოლოგიურ მიზნებს.

ათასწლეულების განმავლობაში ადამიანები ცხოვრობდნენ პატარ-პატარა დასახლებებში, დიდი ქალაქები იშვიათობას წარმოადგენდა. XIX საუკუნის დასაწყისში 10000 მოსახლეზე მეტი რაოდენობით ქალაქებში ცხოვრობდა კაცობრიობის 2%. საუკუნის ბოლოს ეს ციფრი თითქმის ათჯერ გაიზარდა. დღეს, ინდუსტრიულად განვითარებულ ქვეყნებში 20000 მოსახლეზე მეტი რაოდენობით ქალაქებში პლანეტის მოსახლეობის ნახევარზე მეტი ცხოვრობს.

დღევანდელი ადამიანის საზოგადოების მახასიათებელია ინტენსიური ურბანიზაცია. 2000 წლისათვის ქალაქებში იცხოვრებს პლანეტის მოსახლეობის 70-90%. იზრდება დიდ ქალაქებში მოსახლეობის რაოდენობა. ქალაქში ცხოვრებას თავისი თავისებურებები ახასიათებს: გაიოლებულია შრომითი მოწყობა, საშედიცინო მომსახურება და საკვები პროდუქტების მოპოვება. შეცვლილია ქალაქის ბუნებრივი გარემო ადამიანის მოღვაწეობის შედეგად, რასაც უარყოფით შედეგებამდე მივყავართ. ადამიანთა მჭიდრო დასახლება იწვევს ინფექციურ და პარაზიტულ დაავადებათა გაიოლებულ ცირკულაციას. სამრეწველო ნარჩენები აჭუჭყიანებს ნიადაგს, წყალსა და ჰაერს. ქალაქში ცხოვრების მაღალი ტემპი, მუდმივი სტრესები მოქმედებს ადამიანის ჯანმრთელობაზე. ირღვევა ნერვული, გულ-სისხლძარღვთა სისტემების ნორმალური ფუნქციები, დარღვეულია ნივთიერებათა ცვლა. ქალაქის მცხოვრებლებს, სოფლის მოსახლეობასთან შედარებით 1,5%-ით აქვთ გაზრდილი დაავადებები, დაქვეითებული აქვთ შობადობა. ქალაქის მოსახლეობის ზრდა ძირითადად სოფლიდან გადმოსულთა შედეგად ხდება.

თანამედროვე ადამიანის ჯანმრთელობისათვის საჭიროა სამი პირობა: 1.კვება; 2.გარემოს ფაქტორთა საშიში ზეგავლენისაგან დაცვა; 3.ევოლუციის პროცესში ჩამოყალიბებული ცხოვრების ნირის უცვლელობა. ამ პირობათა გათვალისწინებით უნდა ჩამოყალიბდეს ჰუმანური ადამიანი. ცნობილი ეთოლოგის, ნობელის პრემიის ლაურეატის, კ.ლორენცის აზრით თანამედროვე ადამიანი ესაა ცხოველსა და ნამდვილ ჰუმანურ ადამიანს შორის შუალედური ფორმა.

8.3.ბიოსფერო და ადამიანი

ბიოსფერო არის დედამიწის განსაკუთრებული გარსი, რომელიც დასახლებულია და აქტიურად გარდაიქმნება ცოცხალი ორგანიზმებით. მის საფუძველს ეკოსისტემები ქმნიან. „ბიოსფერო„ პირველად მოიხსენია თავის გეოქიმიურ შრომებში ჟ.ბ.ლამარკმა, ხოლო ტერმინად შემოიღო ავსტრიელმა გეოლოგმა ე.ზიუსმა (1875). ბიოსფეროში იგი გულისხმობდა დედამიწის თხელ გარსს, რომელშიც არსებობს და ვითარდება სიცოცხლე. ბიოსფეროს პლანეტარული მნიშვნელობის დადგენაში მნი-

შვნელოვანი როლი შეასრულა რუსი მეცნიერის ვ.ვერნადსკის გამოკვლევებმა.

ბიოსფეროს სტრუქტურა და ფუნქციები. ბიოსფერო მრავალი დონის შემცველი სისტემაა, რომელშიც სხვადასხვა სირთულის ქვესისტემებია გაერთიანებული. მისი შედგენილობა, აგებულება და ენერგეტიკა ცოცხალი ორგანიზმებითაა განპირობებული. ბიოსფერო შედგება მყარი, თხიერი და აეროვანი ნივთიერებებისაგან. მას აქვს ძოხაიკური აგებულება. ბიოსფერო მოიცავს ლითოსფეროს (კონტინენტური ქერქი) და ატმოსფეროს ნაწილებს და მთელ ჰიდროსფეროს, რომელშიც ცოცხალი ორგანიზმები გვხვდება. ბიოსფეროს ზედა საზღვარი დაახლოებით 10-15 კმ-ს აღწევს. ცოცხალი ორგანიზმები გვხვდება ტროპოსფეროსა და სტრატოსფეროს ქვედა შრეში. მალიმიტირებელ ფაქტორს ულტრაიისფერი სხივები წარმოადგენს. ოზონის შრის ზემოთ ცოცხალ ორგანიზმებს არსებობა არ შეუძლიათ. ჰიდროსფერო არის დედამიწის წყლის გარსი, რომელიც პლანეტის 7/10 ნაწილს ფარავს. ცოცხალი ორგანიზმები გავრცელებულია მთელ ჰიდროსფეროში. მისი უკიდურესი სიღრმე 10-11 კმ-ია. ლიითოსფერო დედამიწის მკვრივი გარსია. სიცოცხლე კონცენტრირებულია მის ზედა შრეში (ნიადაგი). ლითოსფეროში სიცოცხლის ქვედა უკიდურესი საზღვარი 7,5 კმ-ს აღწევს. უფრო ღრმა ფენებში ორგანიზმებს არსებობა არ შეუძლიათ.

ატმოსფერო აეროვანი გარსია, რომელიც ჰიდროსფეროსა და ლიითოსფეროს აკრავს. იგი ფენოვანი აღნაგობისაა. ატმოსფეროს ქიმიური შედგენილობა არაერთგვაროვანია. იგი ძირითადად შედგება აზოტისა (78%) და ჟანგბადისაგან (20,9%), მცირე კონცენტრაციით ატმოსფეროში არის CO_2 (0,03%) და სხვ. აეროვანი ელემენტები. ჰაერის შემადგენელი კომპონენტების შეფარდება არ იცვლება. ატმოსფეროს მდგომარეობა დიდ გავლენას ახდენს ჰელეთისა და წყლის გარემოს ფიზიკურ, ქიმიურ მდგომარეობაზე, განსაკუთრებით კი ბიოლოგიურ პროცესებზე.

სტრატოსფეროში 15-20 კმ-ის სიმაღლეზე შხის რადიაციის ზემოქმედებით ჟანგბადი ოზონად გარდაიქმნება. იგი ეკრანს წარმოქმნის, რომელიც ირეკლავს ცოცხალი ორგანიზმებისათვის დამღუპველ კოსმოსურ სხივებს და ულტრაიისფერი სხივების გარკვეულ ნაწილს. ბიოლოგიურ პროცესებზე დიდ გავლენას ახდენს ჟანგბადი. აერობი ორგანიზმები მას სუნთქვით პროცესში იყენებს. იგი ხმარდება აგრეთვე მკვდარი ორგანული ნარჩენების მინერალიზაციას. ნახშირბადის (IV) ოქსიდს ფოტოსინთეტიკოსები (მწვანე მცენარეები და ზოგიერთი ბაქტერია) ფოტოსინთეზის პროცესში იყენებენ. ატმოსფეროს გარეშე ორგანიზმებს არსებობა არ შეუძლიათ. პლანეტის ისტორიული განვითარების პროცესში შეიცვალა პირველადი ატმოსფეროს შემადგენლობა, რაც გეოქიმიურმა პროცესებმა და ცოცხალმა ორგანიზმებმა გამოიწვიეს (მაგ. O_2 წარმოიქმნა ფოტოსინთეზის შედეგად).

წყალი ქმნის წყვეტილ გარსს-ჰიდროსფეროს, რომლის მოავარ შემადგენელ ნაწილს მსოფლიო ოკეანე წარმოადგენს. იგი წყლის ძირითად ნაწილს (95%) შეიცავს. ცოცხალი ორგანიზმები დაახლოებით 0.001 მილ.კმ^3 წყალს შეიცავენ. წყალში გახსნილი აირებიდან მნიშვნელოვანია ჟანგბადი და ნახშირბადის (IV) ოქსიდი. მათი შემცველობა დიდ ფარგლებში ვარირებს, რაც გარემოს ტემპერატურასა და ცოცხალ ორგანიზმთა სიმჭიდროვეზეა დამოკიდებული. ოკეანეში ნახშირბადის (IV) ოქსიდი 60-ჯერ მეტია, ვიდრე ატმოსფეროში. ოკეანის წყლების ფიზიკური

თვისებები და ქიმიური შედგენილობა საკმაოდ მუდმივია. იგი სიცოცხლისათვის ხელსაყრელ გარემოს ქმნის.

ლითოსფერო (კონტინენტური ქერქი) შედგება ზედა დანალექი, შუა „გრანიტული„ და ქვედა „ბაზალტური„ ფენებისაგან. ლითოსფეროს ზედაპირს ნიადაგი წარმოადგენს. ორგანიზმთა დიდი ნაწილი ამ სფეროში გვხვდება. ჰოლუსებიდან ეკვატორისაკენ სახეობათა რაოდენობა და მრავალფეროვნება მატულობს.

ცოცხალი ორგანიზმები (ცოცხალი ნივთიერებები). ორგანული ბუნება დიდი ნაირგვარობით ხასიათდება. დღეისათვის აღწერილია ცხოველთა 1,5 მილიონი სახეობა. მათი 93% ხმელეთზეა გავრცელებული. ჰიდროსფეროში მხოლოდ 7% გვხვდება. ცოცხალი ორგანიზმების საერთო ბიომასის 99,2% ($2{,}4 \cdot 10^{12}$ტ) ფიტომასაა, 0,8% ($0{,}2 \cdot 10^{11}$ტ) ცხოველები და მიკროორგანიზმები. სახერისახერო მოვლენა გვაქვს ადგილი ჰიდროსფეროში. ფიტომასა 6,3% ($0{,}2 \cdot 10^{11}$ტ) შეადგენს, ხოლო ცხოველებისა და მიკროორგანიზმების 93,7% ($0{,}3 \cdot 10^{11}$ტ). მიუხედავად იმისა, რომ ჰიდროსფეროს უკავია დიდი ფართობი (70%), მასზე საერთო ბიომასის მხოლოდ 0,13% მოდის.

შესწავლილი სახეობების საერთო რაოდენობის 21%-ს მცენარეები შეადგენენ. ისინი საერთო ბიომასის 99%-ს ქმნიან. ცხოველები სახეობათა საერთო რაოდენობის 79%-ია. მათი ბიომასა კი საერთო ბიომასის 1%-ზე ნაკლებია. ზემოთ მოყვანილი მონაცემებით ვლინდება ბიოსფეროს ფუნდამენტური კანონზომიერება: ბიოსფეროში რაოდენობრივად ჭარბობს ისეთი ფორმები, რომელთაც ევოლუციის პროცესში მარტივი მორფოფიზიოლოგიური დონე ჩამოუყალიბდათ.

ბიოსფეროში ცოცხალი ნივთიერებების წლიური პროდუქცია 232,5 მლრდ. ტ შეადგენს. ამავე პერიოდში პლანეტაზე ფოტოსინთეზის შედეგად სინთეზდება 46 მლრდ. ტ ნახშირბადის შემცველი ორგანული ნაერთი, რისთვისაც საჭიროა $170 \cdot 10^{9}$ტ ნახშირბადის (IV) ოქსიდი და $68 \cdot 10^{9}$ტ წყალი. ატმოსფეროში კი გამოიყოფა $123 \cdot 10^{9}$ტ ჟანგბადი. აქედან ნათელია, რომ ცოცხალი ნივთიერება არის ბიოსფეროს მეტად აქტიური კომპონენტი, რომელიც უზარმაზარ გეოქიმიურ სამუშაოს ასრულებს.

ბიოლოგიური წრებრუნვა. ბიოსფეროს ერთ-ერთი ძირითადი ფუნქცია ქიმიური (ბიოგენური) ელემენტების წრებრუნვაა. ბიოგენური ნივთიერებები გარემოდან აღწევენ ორგანიზმში, ხოლო ამ უკანასკნელიდან კვლავ გარემოში ხვდებიან. ბიოსფეროში მიმდინარეობს წყლისა და ბიოგენური ელემენტების (ორგანიზმის შემადგენელ ნივთიერებათა შენებაში მონაწილე ელემენტები, რომელთაც გარკვეული ბიოლოგიური მნიშვნელობა აქვთ) წრებრუნვა. მწვანე მცენარეები (აგრეთვე ფოტოსინთეტიკოსი ბაქტერიები) მზის ენერგიის გამოყენებით ასინთეზებენ ორგანულ ნივთიერებებს, რომლის ნაწილს იყენებენ ჰეტეროტროფები (კონსუმენტები და რედუცენტები) და შლიან მათ. დაშლის საბოლოო პროდუქტებს კვლავ მცენარეები იყენებენ ორგანულ ნაერთთა სინთეზისათვის.

უმნიშვნელოვანესი როლი ენიჭება წყლის წრებრუნვას. წყალი დედამიწის ზედაპირიდან ორთქლდება (გარკვეულ ნაწილს აორთქლებს მცენარეები), იგი ჰაერის ძრაობას შორ მანძილზე გადააქვს. კონდენსირებული წყალი ნალექების სახით (წვიმა ან თოვლი) დედამიწაზე მოდის. ნალექები შთაინთქმება ნიადაგის მიერ ან ჩადის ხევებსა და ოკეანეებში. ნალექების ნაწილს შთანთქავენ მცენარეები და შემდეგ ორ-

თქლდება ატმოსფეროში. წყალში იხსნება ლითოსფეროში არსებული ნივთიერებები. მას ადვილად ითვისებენ მცენარეები და მიკროორგანიზმები. ნივთიერებათა დიდი ნაწილი წყალს ოკეანესა და ზღვებში შეაქვს დედამიწის ზედაპირიდან 1 წთ-ში დაახლოებით 1 მლრდ. ტ წყალი აორთქლდება (1 გ წყლის აორთქლებაზე იხარჯება 2,248 კჯ ენერგია). წყლის აორთქლება სიცოცხლის არსებობის მნიშვნელოვანი პირობაა. მისი მეშვეობით ცოცხალი ორგანიზმები ურთიერთქმედებენ არაცოცხალ ბუნებასთან.

ბუნებაში მიმდინარეობს აგრეთვე ელემენტების ბიოგენური წრებრუნვა. მაგალითისათვის შეიძლება განვიხილოთ აზოტისა და ნახშირბადის წრებრუნვა. ნახშირბადის წრებრუნვა ატმოსფერული ნახშირბადის (IV) ოქსიდის ფიქსაციით იწყება ფოტოსინთეზის პროცესში. სინთეზებული ნახშირწყლების ნაწილს მცენარე იყენებს ენერგიის მისაღებად. ნაწილი კი გამოიყენება ცხოველების მიერ. ნახშირბადის (IV) ოქსიდი გარემოში გამოიყოფა მცენარეებისა და ცხოველების მიერ სუნთქვითი პროცესების დროს. მკვდარი მცენარეებისა და ცხოველების ხრწნისას მათი არსებული ნახშირბადი იჟანგება და კვლავ გარემოს უბრუნდება. ანალოგიური პროცესი მიმდინარეობს ჰიდროსფეროში.

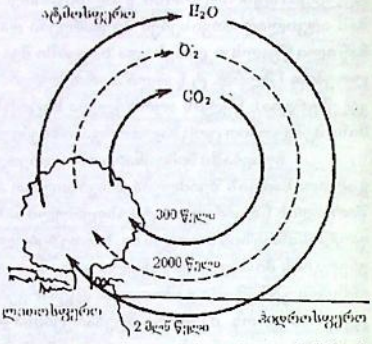
აზოტის წრებრუნვა ბიოსფეროში ძალზე რთულად მიმდინარეობს. მიუხედავად ამისა, იგი წინააღმდეგობების გარეშე სწრაფად ხორციელდება. ატმოსფეროში არსებული მოლეკულური აზოტი ელექტრული განმუხტვისას (ელვა-ქუხილი) ჟანგბადთან წარმოქმნის შენაერთს, რომელიც წვიმის წყლით ხვდება ნიადაგში, საიდანაც მას მცენარე ითვისებს ფესვებით. აზოტი ყველაზე მეტი რაოდენობით აზოტის მაფიქსირებელი ბაქტერიების მეშვეობით ხვდება ეკოსისტემებში. ცილებისა და აზოტის შემცველი სხვა ორგანული ნივთიერებების დაშლის შედეგად აზოტი კვლავ გარემოს უბრუნდება.

ბიოტური წრებრუნვის მასშტაბის მნიშვნელოვანი მაჩვენებელია წყლის, ჟანგბადისა და ნახშირბადის (IV) ოქსიდის მიმოქცევა. გამოირკვა, რომ ატმოსფეროში არსებული მთელი ჟანგბადი გაივლის ყველა ორგანიზმს (შეიერთებს სუნთქვისას და გამოათავისუფლებს ფოტოსინთეზისას) 2000 წლის განმავლობაში. საწინააღმდეგო მიმართულებით ატმოსფეროში არსებული მთელი ნახირბადის (IV) ოქსიდი წრებრუნვას ანდომებს 300 წელს. ფოტოსინთეზის პროცესში დედამიწაზე არსებული მთელი წყალი იშლება და კვლავ წარმოიქმნება 2 მილიონი წლის განმავლობაში (იხ.სურ.8.4).

ცოცხალი ნივთიერება შემდეგ ფუნქციებს ასრულებს: აიროვანს (აიროა მიგრაცია და მათი გარდაქმნა); კონცენტრულს (გარემოდან ცოცხალი ორგანიზმების მიერ ქიმიური ელემენტების აკუმულაცია); დამჟანგველ-აღმდგენელის (ცვალებადი ვალენტობის მქონე ატომების შემცველ ნივთიერებათა-რკინის, მანგანუმის, მიკროელემენტების და ა.შ. ქიმიური გარდაქმნა); ბიოქიმიურის (დაკავშირებულია სუნთქვასა, კვებასა და გამრავლებასთან, მკვდარი ორგანიზმების დაშლასა და ლპობასთან).

ნოოსფერო. ორგანული სამყაროს ევოლუცია რამდენიმე ეტაპად წარიმართა. პირველ ეტაპზე ჩამოყალიბდა პირველადი ატმოსფერო და ბიოტური წრებრუნვა. მეორე ეტაპზე ალინაშნა ბიოსფეროს კომპონენტების გართულება, რაც მრავალუჯრედიანი ორგანიზმების წარმოშობამ და განვითარებამ განაპირობა. ძირეულად შეი-

ცვალა პირველადი ატმოსფერო და გართულდა ბიოტური წრებრუნვა. ვინაიდან ორივე ეტაპი ბიოლოგიური კანონზომიერებებით ხორციელდებოდა, მას აეროთიანებენ და ბიოგენეზის პერიოდს უწოდებენ. განვითარების მესამე ეტაპი ადამიანის საზოგადოების ჩამოყალიბებასთანაა დაკავშირებული. ევოლუცია ხორციელდება სოციალური ფაქტორების (წამყვანია შრომითი საქმიანობა) ზემოქმედების ფონზე და მას ნოოგენეზის პერიოდი ეწოდება.



სურ.8.4. წყლის, ჟანგბადისა და ნახშირბადის (IV) ოქსიდის წრებრუნვის ტემპი ბიოსფეროში.

ბუნებისა და საზოგადოების ურთიერთქმედების სფეროს, სადაც ადამიანის გონივრული მოქმედება წარმოადგენს მთავარ მამოძრავებელ ფაქტორს, ნოოსფერო ეწოდება. ტერმინი „ნოოსფერო„ შემოიღეს ჰ.ტეიარ დე შარდენმა და ე.ლერუამ 1927 წელს. ისინი ამ ცნებაში გულისხმობდნენ დედამიწის ირგვლივ არსებულ იდეალურ მოახროვნე გარსს, რომლის ფორმირებაც დაკავშირებულია ადამიანის ცნობიერების წარმოშობასა და განვითარებასთან.

ნოოსფერო არის ბიოსფეროს ახალი, უმაღლესი სტადია, რომელიც დაკავშირებულია კაცობრიობის წარმოშობასა და განვითარებასთან. იგი წარმოადგენს უდიდეს ძალას, რომელიც განმსაზღვრელ გავლენას ახდენს ბიოსფეროზე. კაცობრიობა თავისი შრომით განაპირობებს ღრმა ცვლილებებს მოქმედების არეში მოქცეულ ბუნებაზე. იგი წარმოადგენს ბუნების გარდამქმნელ მძლავრ ფაქტორს.

ადამიანის მოქმედება ბიოსფეროზე

კაცობრიობის ინტენსიური ზემოქმედება ბუნებაზე ჯერ კიდევ ქვის ხანაში დაიწყო, რაც ძირითადად მსხვილი ძუძუმწოვრების განადგურებაით გამოიხატა. ნეოლითში, მიწათმოქმედებასთან ერთად, ადამიანი იწყებს ტყის განადგურებას. ბუნების განადგურება ინტენსიური გახდა ბოლო 100-200 წლის მანძილზე. ამ მცირე ხნის განმავლობაში ლანდშაფტები უფრო მეტად შეიცვალა ვიდრე წინა ათასწლეულებში. ბიოსფეროს მკვეთრი შეცვლა სამმა მოვლენამ გამოიწვია:

1.მოსახლეობის რაოდენობის მკვეთრმა ზრდამ და ურბანიზაციამ;

2.სამეცნიერო-ტექნიკურმა რევოლუციამ;

3.ბუნებრივი რესურსების გაძლიერებულმა გამოყენებამ.

ამჟამად კაცობრიობა **ეკოლოგიური კრიზისის** პირას იმყოფება; საარსებო გარემო იძლებადა შეცვლილი, რომ შემდგომი ზემოქმედების შედეგად იგი ადამიანის საზოგადოებისათვის გამოუსადეგარი აღმოჩნდება. ადამიანი თავისი საქმიანობით გავლენას ახდენს რელიეფზე, ჰიდროგრაფიულ ქსელზე, მცენარეთა და ცხოველთა სამეფოზე. ეს გავლენა შეიძლება იყოს დადებითი ან უარყოფითი, უშუალო ან მეშვეობითი. განადგურების პირასაა მისული როგორც აღდგენითი (მაგ. ნიადაგი, მცენარეულობა, ცხოველები), ისე აღუდგენადი (მაგ. წიაღისეული) ბუნებრივი რესურსები. ამიტომაც კაცობრიობის წინაშე წამოიჭრა მნიშვნელოვანი პრობლემა-თავიდან აიცილოს

ადამიანის საარსებო გარემოს ხელყოფა და ბუნების აღდგენითი უნარის მოსპობა.

ბუნებრივი ეკოსისტემების საერთო მოცულობის შემცირება თანამედროვეობის ერთ-ერთი საჭირბოროტო ტენდენციაა. განსაკუთრებით განადგურდა ამაზონის აუზის ტროპიკული ტყეები. მაგ. ზომიერი ტყის ფართობი 70%-ით შემცირდა. უდაბნოდ იქცა 9 მილ.კმ^2-ზე მეტი ფართობი. უდაბნოდ ქცევის პროცესი 20ჰა/წთ შეადგენს. 140 წლის მანძილზე დედამიწის საეროო ბიომასა 21%-ით შემცირდა, ხმელეთის ბიომასამ 20%-ით იკლო (რამადი, 1981). აღდგენითი რესურსების ცვლილების ტენდენციები ტყის მაგალითზე შეიძლება განვიხილოთ. ისტორიამდელ პერიოდში ტყეს მთელი ხმელეთის 70% ეკავა. ტყე განსაკუთრებით მასიურად განადგურდა იმ ტერიტორიებზე, სადაც ძველი ცივილიზაციები ყვაოდა (ჩინეთი, ინდოეთი, ეგვიპტე, შუამდინარეთი და ა.შ.). მაგ. 5000 წლის წინ მეფე სოლომონის ბრძანებით 80.000 ხის მჭრელმა სასახლისა და ტაძრის მშენებლობისათვის ლიბანის კედრის ტყეები მნიშვნელოვან ტერიტორიაზე გაანადგურა. ხშირად ტყეებს წვავდნენ შეგნებულად-საძოვრების შექმნის მიზნით. 10.000 წლის წინ ჩრდ.ამერიკაში აბორიგენებმა ტყის მასივები გადაწვეს ბიზონების საძოვრების გაფართოების მიზნით. ტყის ადგილი პრერიებმა დაიჭირა.

საქართველოს ტერიტორიის მნიშვნელოვანი ნაწილი (38,6%) ტყეს უკავია. ისტორიული წყაროები მოწმობს, რომ 600000 ჰა-მდე ტყე განადგურდა. ვახუშტი ბაგრატიონის ცნობით ობილისის შემოგარენი გაუვალი ტყით იყო დაფარული. 70-80 წლის წინ გარე კახეთში, შირაქში, ელდარში, ჭალის, ვაკის, ზოგან კი ნათელი ტყის მასივები იყო. ამჟამად ჭალის ტყე საქართველოში დიდი იშვიათობაა. ნათელი ტყე მხოლოდ ვაშლოვანის ნაკრძალშია შემორჩენილი. ტყეების განადგურების შედეგს (წყალდიდობა,ღვარცოფები,მეწყერები,ეროზია, ნიადაგის ჩამორეცხვა, გამოშრობა, მდინარეებში წყლის შემცირება, წყაროების დაშრობა) ყველა ქვეყანაში ვხვდებით.

თანამედროვე პირობებში დიდი ყურადღება ექცევა დედამიწის გარსების (ატმოსფერო, ჰიდროსფერო, ლითოსფერო, ბიოსფერო) დაცვას დაბინძურებისაგან. გარემოს დამაბინძურებელი ფაქტორები და მისი ზემოქმედება ჩვენს მიერ ვრცლადაა განხილული „ეკოლოგიკის საფუძვლებში„ (იხ.გარემოს მუტაგენები), ამიტომაც მას მოკლედ განვიხილავთ. დაბინძურება გამოწვეულია სწრაფი ურბანიზაციით. დაბინძურების ძირითად კერას ქალაქები წარმოადგენს. გარემოს აბინძურებს საყოფაცხოვრებო და სამრეწველო ჩანადენი, ატმოსფერული მტვერი, ეგოცირდოვანი აირი, ნახშირბადის (II) ოქსიდი, ფაბრიკა-ქარხნების მიერ გამოყოფილი სხვა აირები. გარემოს მნიშვნელოვნად აბინძურებს ავტოტრანსპორტის გამონაბოლქვი. თითოეული ავტომობილი გარემოში ყოველწლიურად 1კგ ტყვიას გამოყოფს. მნიშვნელოვან დამაბინძურებელ ფაქტორს წარმოადგენს სოფლის მეურნეობაში გამოყენებული შხამ-ქიმიკატები. განსაკუთრებით საშიშია რადიაქტიული გამოსხივება, რადიონუკლიდები (იხ.სურ.8.5).

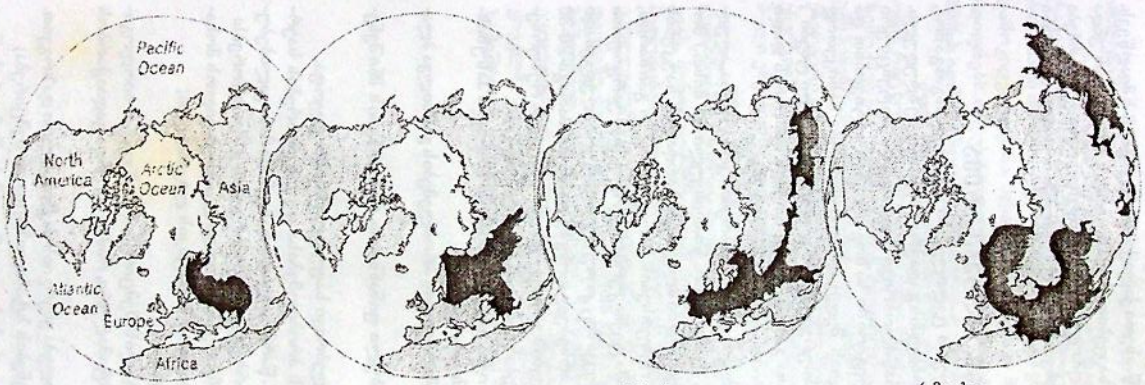
უარყოფითმა ანთროპულმა ფაქტორმა გამოიწვია ბიომრავალფეროვნების მკვეთრი დაქვეითება. მოსახლეობის რიცხოვნობის ზრდა განაპირობებს სახეობათა გადაშენებას (იხ.ჯგუფების ამოწყდომა). ტექნოგენურმა პროგრესმა გამოიწვია სასმელი წყლის მარაგის შემცირება. ოკეანეების, მდინარეებისა და ტბების დაბინძურებამ გლობალური ხასიათი მიიღო. საყოფაცხოვრებო ნარჩენები (სარეცხი საშუალებები, სინთეზირებული ნივთიერებები და მისთ.) წარმოების ნარჩენები, შხამქიმიკატები აბინძურებს მდინარეებს, რომელთა საშუალებით ისინი ხვდება

ზღვებსა და ოკეანეებში. გარემოს მნიშვნელოვნად აბინძურებს ნავთობპროდუქტები. ამჟამად ზღვებში ყოველწლიურად 1მილიარდი ტ ნავთობის ტრანსპორტირება ხდება. დაბინძურებას იწვევს ბალასტი, ტანკერების ავარიები, ზღვაში ნავთობის ჭაბურღილები და მათი ავარია და მისთ. მსოფლიო ოკეანეში ყოველწლიურად სხვადასხვა მიზეზით 5 მილიონი ტ ნავთობი იღვრება. შავ ზღვაში ნავთობის კონცენტრაცია ხშირად 1მგ/ლ შეადგენს. ატომურ რეაქტორებს, ელექტროსადგურებს წყლის დიდი რაოდენობა ესაჭიროებათ. წყლის ნაწილი გარემოში ხვდება, რაც რადიაქტიური ნივთიერებებით ჰიდროსფეროს დაბინძურებას იწვევს. სურათი მკვეთრად ძძიმდება ავარიების შემთხვევაში. ძრავალ ქვეყანაში მდინარეები ისეა დაბინძურებული, რომ არათუ მათი სასმელად გამოყენება, ბანაობაც კი არ შეიძლება.

ჟანგბადის წყაროა ფოტოსინთეზი. ქარხნები, მანქანები, თვითმფრინავები, და სხვ. დიდი რაოდენობით შთანთქავენ ჟანგბადს და გამოყოფენ მავნე აირებს. ყოველწლიურად იხარჯება 2.10^{10} ტ ჟანგბადი. დამაბინძურებელი ფაქტორები მცენარის ზრდა-განვითარებას ორჯერ ამცირებს. ფოტოსინთეზის ინტენსივობა ინდუსტრიულ რაიონებში გაცილებით დაბალია, ვიდრე ბუნებრივ ეკოსისტემებში. მომავალში ჟანგბადის ხარჯვის გადიდება მის გამომუშავებასთან შედარებით მნიშვნელოვან პრობლემებს შექმნის. ჟანგბადის რაოდენობის შემცირების პარალელურად ატმოსფეროში მატულობს მავნე აირების შემცველობა. სხვა უარყოფით ცვლილებებთან ერთად იგი იწვევს ინფრაწითელი სხივების გადამეტებულ შთანთქმას, რაც დედამიწაზე ტემპერატურის გლობალური ცვლილების მიზეზია. იგი გამოიწვევს ე.წ. „სათბურის ეფექტს" რაც უარყოფით გავლენას მოახდენს ბიოსფეროზე. გარემოს დაცვა „თბური დაბინძურებისაგან„ ერთ-ერთ საჭირბოროტო პრობლემათა რიცხვს მიეკუთვნება. ფოტოქიმიური პროცესების შედეგად გაიზარდა ოზონის შემცველობა ჰაერში. დასავლეთ ევროპაში მისი კონცენტრაცია 2-4-ჯერ, კალიფორნიაში (აშშ), ავსტრიაში ზოგჯერ 10-11-ჯერ აღემატება დასაშვებ ნორმას. ოზონი მავნე ზემოქმედებას ახდენს ცხოველებსა და მცენარეებზე. სტრატოსფეროში შეინიშნება საწინააღმდეგო მოვლენა. რიგი აირების (ქლორფტორნახშირწყალბადები) მოქმედების შედეგად სტრატოსფერული ოზონის შრე თხელდება. ზოგიერთ რეგიონებში (ანტარქტიდის თავზე) წარმოიქმნება „ოზონის ხვრელი„. ჩრდილო ნახევარსფეროს ზომიერ და მაღალ განედებში ოზონის დანაკარგი 2-10%-ს შეადგენს. ბუნებრივია, ოზონის ეკრანის დახიანება უარყოფით გავლენას მოახდენს ბიოსფეროზე.

თანამედროვე კაცობრიობის ყველაზე სასიცოცხლო პრობლემათა რიცხვს ეკუთვნის ხალხთრიცხოვნობის პრობლემა. ახალი წელთაღრიცხვის დასაწყისში დედამიწაზე 200 მილიონი ადამიანი ცხოვრობდა, 1000 წ.- 257 მილიონი. XVII ს.-500 მილიონი. 1900 წ.-1,6 მილიარდი, 1970 წ.-4 მილიარდი, ხოლო 2000 წლისათვის ადამიანთა რიცხვი 6 მილიარდს მიაღწევს, ხოლო 2050 წლისათვის 10-11 მილიარდს. ჩვეულებრივ ფართობი $1,5.10^{14}$ მ²-ის ტოლია, რაც საკმარისია 15-20 მილიარდი ადამიანისათვის, სიმჭიდროვე იქნება 300-400 ადამიანი 1 კმ². ასეთი სიმჭიდროვე ამჟამად გვაქვს ნიდერლანდებში, ბელგიასა და იაპონიაში. ამრიგად, დედამიწაზე მიმდინარეობს მოსახლეობის რიცხვის მკვეთრი ზრდა. ამ მოვლენას „დემოგრაფიულ აფეთქებას„ უწოდებენ და გეოლოგიურ კატასტროფას ადარებენ.

მოსახლეობის ზრდასთან ერთად ხდება ინტენსიური ურბანიზაცია. 1950 წ. მხოლოდ 5 ქალაქში ცხოვრობდა 5 მილიონი ადამიანი. 1980 წ. ასეთი ქალაქების რიც-



სურ.8.5.ჩერნობილის ვ.ი.ლენინის სახელობის ატომურ ელექტროსადგურში მომხდარი კატასტროფის შედეგად წარმოქმნილი რადიაქტიული ღრუბლის გავრცელება.1986 წ. 26 აპრილს ჩერნობილის ატომურ ელექტროსადგურში მომხდარი ავარიის შედეგად გარემოში გაიფანტა რადიაქტიული ნივთიერებები, რომელმაც გიგანტური რადიაქტიური ღრუბელი წარმოქმნა. მან ევროპისა და აზიისა ტერიტორიის მნიშვნელოვანი ნაწილი დაფარა. რადიაქტიულმა ღრუბელმა საქართველოს მთელი ტერიტორია მოიცვა. მომხდარი ფაქტი საბჭოთა მთავრობამ დანაშაულებრივად მიჩქმალა. ინციდენტი მხოლოდ ორი კვირის შემდეგ ამცნეს მოსახლეობას. ძირითადი მონაცემები ამჟამადაც გასაიდუმლოებულია. ავარიის დროს 31 ადამიანი დაიღუპა, მომდევნო თვეებში სხივური დაავადებით ასეულობით ადამიანი გარდაიცვალა. საფრთხე ემუქრება 300-400 მილიონი ადამიანის ჯანმრთელობას. მკვეთრად მოიმატებს ლეიკემიით, ავთვისებიანი სიმსივნეებითა და რადიაციით ინდუცირებული სხვა დაავადებები. ამ ფაქტმა მილიონობით ადამიანი ატომური ელექტროსადგურების მშენებლობის წინააღმდეგ განაწყო.

ჩვენ 26-ს მიაღწია. ვარაუდობენ, რომ 2000 წ. ასეთი ქალაქების რიცხვი 60-ს მიაღწევს. საჭიროა მოსახლეობის უზრუნველყოფა საკვებით. მოსახლეობის ზრდას თან უნდა სდევდეს ეკონომიკური და კულტურული აღმავლობა. იგი მნიშვნელოვნად ჩამორჩება ადამიანთა გამრავლების ინტენსივობას. განვითარებად ქვეყნებში მრავალი ადამიანი შიმშილით იღუპება.

ეკოლოგიური ალტერნატივა

ბიოსფეროში მომხდარი გლობალური ცვლილებები აშკარად საგანგაშოა, ხოლო გზები, რითაც შესაძლებელია ამ პრობლემის გადაჭრა - საკმაოდ შეზღუდული. არსებობს ამ გლობალური პრობლემის ნაწილობრივი მოგვარების პოტენციური შესაძლებლობა. დედამიწის ცალკეულ რეგიონში საზოგადოების აქტივობით და მთავრობის სწორი ეკოლოგიური პოზიციის შედეგად მდგომარეობა სასიკეთოდ შეიცვალა. წარსულში უკიდურესად დაბინძურებული ჩრდ.ამერიკის „დიდი ტბები", ასევე ევროპაში მდ. რეინი ბევრად სუფთა გახდა. იგივე ითქმის იაპონიის დიდი ქალაქების ჰაერზე. იგი ჩატარებული კოლოსალური მუშაობის შედეგია.

ბოლო წლებში შემუშავებულია „მდგრადი განვითარების კონცეფცია„აღუდგენადი ბუნებრივი რესურსების (ნაეთობი, ქვანახშირი, წიაღისეული და მისთ.) მოპოვებისა და გამოყენების ტემპები ბოლო პერიოდში ძლიერ გაიზარდა. XX საუკუნის დასაწყისთან შედარებით ენერგეტიკული რესურსების ხარჯვა 32-ჯერ გაიზარდა, სამრეწველო წარმოება - 53-ჯერ. ამდაგვარმა ტექნიკურმა რევოლუციამ უარყოფითი შედეგები მოუტანა კაცობრიობას. იმ შემთხვევაშიც კი თუ დეფიციტური აღუდგენადი ბუნებრივი რესურსების გამოყენება დღეს არსებულ დონეზე დარჩება, მარაგი 20-30 წელში გამოილევა. აუცილებელია რეზერვების გამოვლენა და სანაცვლო რესურსების ძიება. საჭიროა ბიოსფეროს პრობლემებისადმი გონიერული მიდგომა.

70-იან წლებში ჩამოყალიბებულ იქნა გარემოს მიმართ „მაღალი პასუხისმგებლობის კონცეფცია", მისი ძირითადი მოთხოვნებია:

1.ბუნებათსარგებლობისა და გარემოს დაცვის პრობლემების განხილვა პლანეტარულ დონეზე;

2.ამ პრობლემებთან დაკავშირებული ფინანსური რესურსების მნიშვნელოვანი გაზრდა;

3.ბუნებათსარგებლობის სამართლებრივი საფუძვლების სრულყოფა.

გაეროს ეგიდით შეიქმნა „გაეროს პრობლემებისა და განვითარების საერთაშორისო კომისია". კომისიის მიერ 1987 წ. წარმოდგენილ დასკვნაში ჩამოყალიბებულია ღონისძიებები, რომელთა გატარება არსებულ მდგომარეობას გამოასწორებს:

1.ეკონომიკური განვითარების დაჩქარება. მან უნდა დააკმაყოფილოს მოსახლეობის მზარდი მოთხოვნილებები, მოახდინოს სიღატაკის ლიკვიდაცია;

2.მოსახლეობის ზრდის შემცირება;

3.ძირითადი ბიოლოგიური კაპიტალის შემცირების შეწყვეტა. ბიოლოგიური რესურსების ხარჯვა უნდა გახდეს ოპტიმალური, რამაც არ უნდა გადააჭარბოს აღწარმოებას;

4.წარმოების რადიკალური ცვლილება ენერგიის მაქსიმალური დაზოგვით. იგულისხმება ენერგორესურსების გამოყენების სტაბილიზაცია ან შემცირება;

5.კაპიტალდაბანდებების გაზრდა გარემოს დაცვაში და მისი შემცირება შეი-

არაღებაში.

კომისიის ა'ზრით გარემოს დეგრადაციის ერთ-ერთი მთავარი მი'ზე'ზი სიღატაკეა, რომელიც ამუ'ხრუჭებს სა'ზოგადოების პროგრესს. განვითარებად ქვეყნებში ძირითადი ბიოლოგიური კაპიტალისა და ენერგორესურსების მიმართ მტაცებლური დამოკიდებულებაა. პლანეტა'ზე ღატაკი მოსა'ხლეობა მნიშვნელოვნად აღემატება მდიდრებს. ინდუსტრიულ რაიონებში მოსა'ხლეობის 25% საეროაშორისო დოვლათის 80%-ს იყენებს, ხოლო განვითარებად ქვეყნებში მოსა'ხლეობის 75%-'ზე 20% მოდის.

დიდი მნიშვნელობა ენიჭება ენერგიის გამოყენების სტრატეგიას. მოსა'ხლეობის რიცხოვნობა, ენერგეტიკული რესურსების ხარჯვა და გარემო'ზე უარყოფითი 'ზემოქმედება ერთმანეთთან მჭიდროდაა დაკავშირებული. სამივე მაჩვენებელი ექსპონენციალურად იზრდება. ამ პრობლემების გადაჭრა შესაძლებელია ბირთვული ენერგეტიკის (აუცილებელია საიმედო პროექტების დამუშავება და დანერგვა), ქარის ენერგიის, „ოკეანური მოქცევის„ ენერგიის გამოყენებით; მ'ზის ენერგიის, გეოთერმული ენერგიისა და ოკეანის თბური ენერგიის ათვისებით.

დიდი მნიშვნელობა ენიჭება სოფლის მეურნეობის ეკოლოგი'ზაციას. იგი გულის'ხმობს მცენარეთა ბიოლოგიური დაცვის ღონისძიებათა დამუშავებასა და დანერგვას, მონოკულტურებიდან პოლიკულტურებ'ზე გადასვლას, გენური ინჟინერიის მეთოდებით მაღალპროდუქტიული ჯიშების გამოყვანას და სხვ. მოსა'ხლეობაში ეკოლოგიური ცოდნის გავრცელება და ათვისება დიდ გავლენას მოახდენს ბუნების დაცვა'ზე. ბუნებრივი რესურსების გეგმა'ზომიერი გამოყენება ნებისმიერი სა'ხალხო-სამეურნეო გადაწყვეტილების განხორციელებისას აუცილებელია მოსალოდნელი ეკოლოგიური ცვლილებების შედეგების გათვალის'წინებით. ამასთან, საჭიროა ყოველმა ადამიანმა გაიცნობიეროს მოსალოდნელი ეკოლოგიური კატასტროფის საშიშროება და აქტიური მონაწილეობა მიიღოს ბუნების დაცვაში.

საგანთა საძიებელი

აგრეგატები ცილის 30
ადაპტაცია
-განმარტება 292
-მაგალითები 292
-კლასიფიკაცია 296-298
-წარმოშობა 296
ადაპტური ზონა 315,316
-რადიაცია 318
ადიტიურობის კანონი 146
აერობი 5, 361
ავტოპლოიდია 160, 304
ალანტოისი 230
ალბინიზმი 208, 256
ალელი 112
ალელიზმი მრავლობითი 117, 118, 154,291
ალოგენეზი 315
ალკილირება 163
ალოპლოიდია 161, 306
ალოსტერული კონტროლი 180
ამოწყდომა ჯგუფების 316
ამნიოცენტეზი 216
ამპლიფიკაცია 157
ამფიბლასტულა 229
ანაბოლია 312
ანაბიოზი 362
ანაერობი 5, 333, 361
ანდროგენეზი 102
ანემია ჰოშოლიზური 210
-ნამგლისებრუჯრედიანი 130, 196, 197, 281, 282, 290
ანეუპლოიდია 160, 211
ანთერიდიუმი 224
ანთეროზოიდი 224
ანთროპოგენეზის ეტაპები 337-341
ანიმალკულისტები 221
ანტიგენი 80, 118, 178
ანტისხეული 80, 118, 177,178
აპომიქსისი 101
არეალი 249, 250, 270,301
-იზოლატი 249
-კონტინიუმი 249
-პოპულაციის 250,251
-რეპროდუქტული 251
-სახეობის 301
-ტროფიკული 251
წყვეტილი (დიზუნქტური) 270
აროგენეზი 314
არომორფოზი 315
არქალაქსისი 312
არქეგონიუმი 224
ატავიზმი 234
ატენუაცია 180
ატმოსფერო 371
აუტეკოლოგია 358, 369
აუტოტომია 236
აუტოტროფი ნ, 333
აქტინი 61
აქტუალიზმი 243
ახლონათესაური ქორწინება 184, 187, 196
ბარის სხეულაკი 198, 201
ბაქტერიოფაგი 82, 168, 169
ბივალენტი 97
ბიოგენეზის პერიოდი 374
ბიოგენეზური კანონი 310
ბიოლოგიურ მეცნიერებათა სისტემა 7-8
ბიოლოგიური პროგრესი 321
- რეგრესი 322
ბიოგეოცენოზი 364
ბიოცენოზი 364
- კლიმაქსური 367
ბიპედია 341
ბიროვაკი 56
ბირთვი 52
ბირთვის როლი 221-223
ბიოტექნოლოგია 177
ბიოტური პოტენციალი 275
ბლასტოდერმი 228
ბლასტომერი 227
ბლასტოცელი 228
ბლასტულა 228

ბლასტულაცია 228
ბლოკი პრიბნოვის 172
-ჰოგნესის 172
ბმა -გლიკოზიდური 35
-დისულფიდური 28
-იონური 27
-კოვალენტური 27
-პეპტიდური 28
-წყალბადური 27
-ბროკას ცენტრი 349
ბრძოლა არსებობისათვის 276
-კონსტიტუციური 277
-სახეობათაშორისი 277
-შიგასახეობრივი 277
ბუნებრივი გადარჩევა
-არე 279
-განმარტება 279
-დამამტკიცებელიარგუმენტები 279-283
-დიზრუპტული 288
-ეროეული 279
-ეფექტურობა 283
-ზეწოლა 279, 284, 354
-ინდივიდური 279
-კოეფიციენტი 383, 384
-მამოძრავებელი 286
-მასალა 263, 278
-მასტაბილიზებელი 284
-მნიშვნელობა 289
-ობიექტი 279
-სიჩქარე 283
-სქესობრივი 288
-ფორმები 284
-შემოქმედებითი როლი 288
-წინაპირობა 274
-ჯგუფური 279
ბალაქტოზემია 208, 217
გამეტათა სიწმინდის წესი 113
გამეტოგენეზი 94
გამონები 100
გამრავლების პროგრესია 274-276
განვითარება პოსტემბრიონული 232-234
განვითარების -ბიოლოგია 8, 226
-მექანიკა 226
-მექანიკა 226
-ფიზიოლოგია 226
განურიდებლობა გენეტიკური 138, 159, 161
გარემო -აბიოტური 360
-ბიოტური 358
-ბიოცენოტური 359
-ეკზალური 358
-ეკოტოპი 358
-ინტრალური 359
-საარსებო 358
-ფიზიკური 358
გარემო ფაქტორები -აბიოტური 276, 359, 360
-ანთროპული 359
-არაპერიოდული 359
-ბიოტური 276, 359, 362
-ედაფური 359
-ევრიტოპური 360
-კლიმატური 359
-მალიმიტირებელი 360
- პერიოდული 359
-შემზღუდველი 360
გასტრულა 229
გასტრულაცია 229
გაყოფა ეკვაციური 98
გენეალოგიური მეთოდი 186-192
გენეტიკური აქტივობა (გარემო ფაქტორების) 164
გენეტიკური რუკა 146
გენეტიკური ტვირთი 164, 183, 185, 196, 207, 261
გენთა -დრეიფი 263-266
-ნაკადი 253, 267, 302, 303
-ურთიერთქმედება 116, 122-129
-შეჭიდულობა 140-143
გენი(გენები) 107, 111, 112, 116, 129, 170
-ლეტალური 130
-მოდიფიკატორი 129

-რეგულატორი 178
-სუპრესორი 125
-ჰიპოსტაზური 125
გენის რეგულაცია ეუკარიოტებში 180-182
- პროკარიოტებში 178-180
გენოთერაპია 106
გენოტიპი 112, 118, 122, 149,150
გენოტიპის ადაპტური ღირებულება 283
გენოფონდი 253, 264, 299
გენური დაავადებები 207
გერენტოლოგია 240
გინოგენეზი 102
გლიკოკალიქსი 49
გლიკოლიზი 76
გლიოქსისომები 59
დაავადებები მემკვიდრული წინასწარ-განწყობით 206, 214
დაბერება 239-241
დათარიღება -აბსოლოუტური 338
-შეფარდებითი 338
დამფუძნებლის პრინციპი 266
დარვინ-უოლესის ევოლუციური კონცეფცია 245-247
დარვინიზმი კლასიკური 247
დდტ-ს ზემოქმედება 165, 281
დევიაცია 312
დელეცია 156, 157
დენატურაცია 30, 41
დერმატოგლიფიკის მეთოდი 194
დესმოსომები 52
დესტრუქტორი 365
დეფიშენსი 156
დიაკინეზი 98
დიაპაუზა 234
დივერგენცია 313
დიმინუცია 222
დიპლონემა 97
დისკობლასტულა 229
დისკორდანტულობა 193
დიფერენციალური გამრავლება 278
- სიკვდილიანობა 278
დიფერენციაცია უჯრედთა 221
დიფუზია 50
- გაიოლებული 50
დიქტიოსომა 58
დნმ -დენატურაცია 41
-ლიდერული 43
-ლიგაზა 43
-მინორული 43
-პოლიმერაზა 43
-პოლიმორფიზმი 41
დომენები სტრუქტურული 29
დომინანტობა 110-113
დომინირება -სრული 110, 117
-არასრული 113, 117
დრეიფი ნეიტრალური მუტაციების 33, 324, 354
დუპლიკაცია 155, 156
ეგზოციტოზი 51
ევგენიკა 182-184
ევოლუცია-ნეიტრალური 323, 354
-ონტოგენეზის 307
-ორგანოთა 319
-ფილეტური 313
-ფილოგენეზური ჯგუფების 313
ევოლუცია ჰომინოიდთა
-ქცევის 345-348
-ტვინის 342
ევოლუციის სინოეზური თეორია 248
ევოლუციის ფაქტორები 259-289
- შეუქცევადობის კანონი 316
„ევოლუციური ბედი„ 250-299
ევოლუციური მოვლენა 258
ეკოლოგიური ვალენტოვნება 359
- კრიზისი 374
- პირამიდა 366
ეკოლოგიური ფაქტორების ინტენსივობა
- მაქსიმუმი 359
- მინიმუმი 359
- ოპტიმუმი 359
ეკოსისტემა 364
ეკოტოპი 364
ელიმინაცია 277

ემბრიოგენეზი 226
ემბრიოგენეზი სომატური 236
ემბრიოლოგია 8, 226
ემბრიონი 226
ენდომიტოზი 69
ენდოპლაზმური ბადე 57
ენდოციტოზი 50
ენტოდერმა 229
ეპიგენეზი 221
ეპიმორფოზი 237
ეპისტაზი 125
ეპიტოპი 80
ერითროციტოზი 210
ეუქრომატინი 53
ექზონი 39
ექსპრესულობა გენის 118, 188, 260
ექტოდერმა 228
ზაკუოლები 60
ვერნიკეს ცენტრი 349
ვექტორი 176
ვირუსი 81-86
ზედმინანტობა 117
ხიგონემა 97
ხრდა -ალომეტრული 235
-იზომეტრული 235
-უარყოფითი 235
-შეზღუდული 235
-შეუზღუდავი 235
მალასემია 210
თილაკოიდები 60
თრომბოპლასტინი 216
დიოადაპტაცია 315
იზოლაცია -ბიოლოგიური 269
-ბიოტოპური 270
-ეთოლოგიური 272
-ეკოლოგიური 271
-მორფოფიზიოლოგიური 271
-პოსტკოპულაციური 270
-პრეკოპულაციური 270
-რეპროდუქციული 270
-საკუთრივ გენეტიკური 273
-სეზონური 271
-სივრცობრივი 269
იმუნიტეტი 80
იმუნოგლობულინები 80
ინბრიდინგი 184, 196, 268
ინბრიდული დეპრესია 269
ინდივიდი 10
ინდუქცია 230
ინდუქცია (ფერმენტების) 178
ინვერსია 156, 158
-პარაცენტრული 158
-პერიცენტრული 158
ინიციალური რეპლიკაცია 71
-ტრანსკრიპცია 71
-ტრანსლაცია 72
ინჟინერია -გენური 176-177
-უჯრედული 177-178
ინტერფაზა 66
ინტენსიფიკაცია ფუნქციის 320
ინტრონი 39
ისტორიზმი 243
კარიოგრამა 54
კარიოტიპი 53
კატაბოლური რეპრესია 180
კედელი უჯრედული 50
კვებითი ჯაჭვი 165, 365
კვერცხუჯრედი 93, 223-224
-შრეები 224
-პოლარობის მიხედვით:
-ანიმალური 224,225
-ვეგეტატიური 224,225
-ყვითრის განაწილების მიხედვით:
-ტელოლეციტალური 224
-ცენტროლეციტალური 224
-ჰომოლეციტარული 224
-ყვითრის რაოდენობის მიხედვით:
-ალეციტალური 224
მეზოლეციტალური 224
-ოლიგოლეციტალური 224
-პოლილეციტალური 224
კოაცერვატული ჰიპოთეზა 331

კოვარიონები 33
კოდი გენეტიკური 70
კოდომინანტობა 117
კომენსალიზმი 363
კომპარტმენტაცია 47
კომპლემენტურობა -გენების 122
-მოლეკულების 40
კომპლექსი -გოლჯის 57
-სინაპტონემური 97
კონვერგენცია 314
კონკორდანტულობა 193
კონკურენცია 246, 276, 277, 362
კონკურენტული გამოთიშვა 363
კონსტიტუციური სინოეზი 178
კონსუმენტი 365
კონუგაცია 91
კონუგაცია ბაქტერიებში 92, 148
კონფიგურაცია 30
კონფორმაცია–β 29
- ცილის 30
კოორდინაცია 309
კორელაცია -გენომური 309
-ერგონტული 309
-მორფოგენეტიკური 309
კორი ჰისტონური 55
კრეაციონიზმი 293
კრის-კროს მემკვიდრეობა 135, 137-138, 192
კროსინგოვერი 140, 143-145, 174
ლამარკის ევოლუციური კონცეფცია 244-245
ლაქტოზური ოპერონი 178
ლეპტონემა 97
ლიზოგენური ბაქტერია 169
ლიზოსომები 58
ლითოსფერო 372
ლიპიდები 36
ლიპიდები ნეიტრალური 36
ლიტიური ციკლი 168-169
ლოკუსი 114, 146
მაკროევოლუცია 306
მატრიქსი ბირთვის 53
მდებარეობის ეფექტი 158
მეზოდერმა 228, 229
მეთაჰემოგლობინემია 210
მეზოსომა 64
მეიოზი 97
მემკვიდრეობა 103, 104, 106
-ქრომოსომული 107, 114, 131
-ციტოპლაზმური 146
-ჰოლანდრული 138, 186
მემკვიდრულობა 103-104
მენდელის კანონები 110, 111, 120
მეტამორფოზი 233
მეცნიერული მეთოდები 11-14
-მცდარი წარმოდგენები 12
-ავტორიტეტის დამოწმება 12
-ინტუიცია 12
-ექსპერიმენტული შემოწმება 13
მიკროევოლუცია 249
მიკროელემენტები 24
მიკრომილაკები 62
მიკროფილამენტები 61
მიკროფოსილია 329
მიკროცეფალია 208
მიმიკრია -ბეიტსის 294
-მიულერის 294
მიმეტიზმი 293
მიოზინი 61
მისენსი 155
მიტოზი 67
მიტოქონდრიები 59
მოლეკულები ამფიპატიური 28
მონოსაქარიდები 34
მობილური ელემენტი 157
მორულა 227
მორფოზი 152
მორფოლაქსისი 237
მჟავები ცხიმოვანი 36
მტაცებლობა 364
მუტაგენეზი 161
მუტაგენი 161-163, 165
-გარემოს 163-166
-რადიაცია 162
-ულტრაიისფერი სხივების 163

-ქიმიური 163-166
მუტანტი 161
მუტაცია 153-166, 259-263
-გამოვლენა 260
-ინდუცირებული 161-163
-მიზეზები 259
-მცირე 261
-ნეიტრალური 261
-საზიანო 259, 261, 354
-სიჩშირე 259
-სპექტრი 261
-სპონტანური 154, 155, 259
-წერტილოვანი 154
მუტაციის ტიპები 154, 259
მუტაციური თეორია 153, 248
მუტაციური პროცესი 154-165, 258-263
-არამიმართული ხასიათი 263
-ზეწოლა 261
-მნიშვნელობა ევოლუციაში 263
მუტონი 173
მუტუალიზმი 363
ნეირობიოლოგია 5
ნეოდარვინიზმი 248
ნერვული მილი 228
ნიშანი 112
-დომინანტური 110
-რეცესიული 110
-მეორეული სასქესო 140
-სქესით განსაზღვრული 140
-სქესით კონტროლირებული 140
ნონსენსი 154
ნოოგენეზის პერიოდი 374
ნოოსფერო 373
ნოოტენია 309
ნუკლეოზიდი 39
ნუკლეოპლაზმა 52
ნუკლეოსომა მინიმალური 55
ნუკლეოსომები 55
ნუკლეოტიდი 39, 64
(P)ვისტები 221
ოოგენეზი 94, 223,224
ოლიგოგენი 129
ოლიგოსაქარიდები 35
ონტოგენეზი 223
ოპერატორი 178
ოპერონი 177, 179
ორგანოები
-ანალოგიური 319
-აპარატი 319
-დეფინიტური 319
-რუდიმენტული 319
-სისტემა 319
-პროვიზორული 319
-ჰომოლოგიური 319
ორგანოგენეზი 229, 230
ორიენტაცია -აქსიალური 34
-ეკვატორული 34
ოსმოსი 50
პანმიქსია 249
პარაზიტიზმი 363
პარალელური ევოლუცია 314
პართენოგენეზი 101
პაქინემა 97
პენეტის ცხრილი 113, 121
პენეტრანტულობა 119, 188, 260
პერიბლასტულა 229
პეროქსისომები 59
პესტიციდები 165
პინოციტოზი 51
პირველადი ჩანასახოვანი ინდუქცია 231
პირველადი ნაწლავის ღრუ 229
პირიმიდინი 39
პლაზმიდა 148, 176, 177
პლაზმოდესმები 51
პლაზმონი 147
პლასტიდები 59
პლაცენტა 230
პლეიოტროპიზმი 129
პოლიდაქტილია 119
პოლიმერია 127, 158
პოლიმერიზაცია ორგანოთა 320
პოლიმორფიზმი -გენეტიკური 290
-ადაპტური 290, 291
-დნმ-ის 41

-ჰეტეროზიგოტული 290
პოლიპლოიდია 160, 305-306
პოლისაქარიდები 95
პოპულაცია -არეალი 250
-ასაკობრივი შემადგენლობა 252
-დინამიკა 252
-ევოლუციის ერთეული 249
-ერთიანობა 256
-რიცხოვნობა 251
-სტრუქტურა 257
-სქესობრივი შედგენილობა 252,253
-ჰეტეროგენულობა 255-257, 274
პოპულაციების ეკოლოგია 358
პოპულაციის ტალღები 252, 264-266
პოპულაციური მეთოდი 194
პრაიმაზა 44
პრენატალური დიაგნოსტირება 215-217
პრეფერმენტი 31
პრეფორმიზმი 221
პრობიონტი 331-333
პროგენეზი 223-226
პროგნოზირება -პროსპექტული 219
-რეტროსპექტული 219
პროდუქცია -პირველადი 365
-მეორადი 365
პროდუცენტი 365
პროტოპლასტი 177
პროფაგი 169
პროფაზა 67
პროცესინგი 45
პუნქტირალიზმი 325
პურინი 39
რეაქციის ნორმა 150
რეგენერაცია 235-238
-რეპარაციული 236
-ფიზიოლოგიური 236
რეგულირების თეორია 18
რედუცენტი 365
რედუპლიკაცია კონვარინტული 9, 10
რეზუს ფაქტორი 145, 196, 205-206
რეკაპიტულაცია 310
რეკომბინაცია 153, 154, 174-175
-არარეციპროკული 175
-ზოგადი 142-145, 154
-მეიოზური 175
-მიტოზური 175
-რეპლიკაციური 174
-რეციპროკული 174
-საიტ-სპეციფიკური 174
რეკონი 173
რენატურაცია 30
რეპარაცია 173
-ფოტორიაქტიული 173
-ექსციზიური 173
-რეპლიკაციის შემდგომი 173
-SOS 173
რეპლისომა 43
რეპრესორი 178
რეტროვირუსები 85
რეცესიულობა 110-111
რიბოსომა 56
რნმ -მატრიცული 46
-პოლიმერაზა 71
-რიბოსომული 46
-ჰეტეროგენული ბირთვული 45
-5S 46
-5,8S 46
"რნმ-ის სამყარო" 300-301
სალტაციონიზმი 325
სამედიცინო გენეტიკა 22, 105, 184
სამედიცინო-გენეტიკური კონსულტაცია 218
„სამიზნის თეორია„ 162
სამობილიზაციო რეზერვი 257, 274
საჩანასახე შრეები 229
სახეობა -განმარტება 299
-ევოლუციის ეტაპი 302
-კრიტერიუმები 300, 302
-ორეულები 300
-პერსისტენტული 285
სახეობათა წარმოქმნა 303-306
-ალოპატრული 303
-სიმპატრული 304

სეიმსენსი 155
სიკვდილი 238-241
-კლინიკური 241
-პათოლოგიური 241
-ფიზიოლოგიური 241
სიმბიოზი 363
სინდრომი -დაუნის 159, 183, 206, 212
-ედვარდსის 212
-„კატის კნავილის„ 157
-კლაინფელტერის 213
-ლიბერის 148
-მარფინის 119, 130
-პატაუს 212
-ტერნერის 213
-„ტრიპლო X" 213
-47.XXY 213
სინეკოლოგია 358, 369
სინერგეტიკა 20
სინკარიონი 201
სისტემა 18-19
-ბიოლოგიური 18-19
-ხელოვნური 18-19
-მართვა 19
სისხლის ჯგუფები (ადამიანის)
-ABO 118, 119, 151, 194, 195, 266
-MN 117, 119, 254
სტრომატოლიტები 329
სიცოცხლის ხეწოლა 276
სიცოცხლის ორგანიზაციული დონეები 9-10
-მოლეკულურ-გენეტიკური 9
-უჯრედული 10
-ონტოგენეზური 10
-პოპულაციურ-სახეობრივი 11
-ეკოსისტემური 11
სიცოცხლის (პოპულაციური) ტალღები 264
სიცოცხლის წარმოშობის ეტაპები 326
სიცოცხლის წარმოშობის ჰიპოთეზები
-ბიოქიმიური 329
-თვითჩასახვის 326
-კრიაციონისტული 326
-პანსპერმიის 328
-სტაციონალური 327
სომატური ჰიბრიდიზაცია 177
სოციობიოლოგია 369
სპერმატოგენეზი 94
სპერმატოზოიდი 94, 225
-ბლოკატორი 225
-გამანაყოფიერებელი 225
-მკვლელები (კილერი) 225
სპერმია 225
სპლაისინგი 45, 181
სუპერმუტაგენი 165
სუქცესია 366
სქესი 132
სქესის განსაზღვრა -პროგამური 132
-ეპიგამური 132,150
-სინგამური 132
ტანატოლოგია 241
ტერპენები 38
ტონოპლასტი 61
ტოპოიზომერაზები 43
ტოტიპოტენტური ბირთვი 223
ტოქსიკოლოგია გენეტიკური 163
ტრანზიცია 154
ტრანსაქტივაცია 88
ტრანსვერსია 155
ტრანსდუქცია 169
ტრანსკრიპტი პირველადი 45
ტრანსკრიპცია 172
ტრანსპოზიცია 155
ტრანსპოზონი 157
ტრანსპორტი აქტიური 50
ტრანსლოკაცია 155, 158
ტრანსლოკაცია რობერტსონული 158
ტრანსფორმაცია ბაქტერიების 165
ტრანსფორმიზმი 243, 299
ტრეილერი 47
ტროპომიოზინი 62
ტროპონინი 62
ტუბულინი 62

ტყუპთა მეთოდი 190
შკუტრანსკრიპტაზა 86
ურბანიზაცია 370
ურთიერთქმედებები
-დიპოლ-დიპოლური 27
-ჰიდროფობური 27
შაგოციტოზი 51
ფატალიზაცია 310
ფენი 112, 116
ფენილკეტონურია 105, 207
ფენოტიპი 112, 148, 149
ფერმენტი ინდუციბელური 178
ფონემა 350
ფოსფოლიპიდები 38
ფოსფატიდები 38
ფოტოპერიოდიზმი 361
ფოტოსინთეზი 73
ფრაგმენტები ოკაზაკის 44
ფრეიმშრიფტი 155
ქემოსინთეზი 74
ქიაზმები 98
ქირალური სიწმინდე 331
ქოლესტეროლი 38
ქორდა 227
ქორიონი 231
ქრომატინი 53, 181
ქრომატინი სასქესო 198
ქრომოსომები
-აკროცენტრული 53
-აუტოსომური 133
-მეტაცენტრული 53
-პოლიტენური 55, 69
-სასქესო 135
-სუბმეტაცენტრული 53
-ჯაგრისისებრი 55
ქრომოსომული დაავადებები 211-214
შვითრის პარკი 230
შავი ყუთი 20
შეგუებულობა -ევრიტოპული 360
-სტენოტოპური 360
შეფერილობა -მფარველობითი 292
-დანაწევრებითი 293
-გამაფრთხილებელი 293
შეჯვარება -ასორტატული 268
-გამაანალიზებელი 115
-დიჰიბრიდული 120
-მონოჰიბრიდული 110
-რეციპროკული 135
ჩანართები 61
ჩარგაფის წესი 40
ცვალებადობა -არამემკვიდრული 149
-კომბინაციური 149, 153
-მემკვიდრული 149, 153
-მუტაციური 153
-ონტოგენეზური 149
-მოდიფიკაციური 150
ცელობლასტულა 229
ცენტრი აქტიური ფერმენტისა 31
ცენტრიოლი 60
ცენტრომერი 53
ციკლი -უჯრედული 65
-კალვინის 74
-პეტჩი-სლეკის 74
-სასიცოცხლო 95
ცილები -ინტეგრალური 48
-პერიფერიული 48
ცილის სტრუქტურა -ზემეორეული 29
-მეოთხეული 30
-მეორეული 28
-მესამეული 29
-პირველადი 28
ცისტრონი 173
ციტოგენი (პლაზმოგენი) 147
ციტოპლაზმა 56
ციტოზოლი 56
ცოცხალის თვისებები -გამოყოფა 6
-გამრავლება 6
-გაღიზიანებადობა 6
-ზრდა 6
-თვითრეგულაცია 7
-კვება 6
-მოძრაობა 6
-სუნთქვა 5
ძალები -ვან-დერ-ვაალსის 27

-ლონდონის 27
წესი -პროგრესული სპეციალიზაციის 318
-არასპეციალიზებული წინაპრიდან წარმოშობის 316
-ადაპტური რადიაციის 318
ჭიპლარი 230
ჭანტინგტონის ქორეა 189
ჰაპლოდიპლოიდია 135
ჰარდი-ვაინბერგის კანონი 107, 193, 194, 254
ჰელიკაზა 44
ჰემიზიგოტა 136
ჰემოგლობინი 208-209
ჰემოგლობინოპათია 208
ჰემოფილია 190, 195, 205, 209, 211, 218
ჰეტეროგამეტა 133
ჰეტეროზიგოტა 113, 114
ჰეტეროზისი 261
ჰეტეროტროფი 6, 333
ჰეტეროკარიონი 200
ჰეტეროქრომატინი 53
ჰომეოსტაზი 17
ჰომინოიდები ძველი 334
ჰომინოიდთა ტაქსონომია 335
ჰომოგამეტა 133
ჰომოზიგოტა 112, 114
ჰომომორფოზი 237
ჰიბრიდომი 177
ჰიდროსფერო 371
ჰინანდრომორფი 139
ჰიპერპლაზია 221
ჰიპერტროფია 221
ჰიპოთეზა 13-14
ჰისტონები 55

ლიტერატურა

ალექსიძე ნ. – ბიოქიმიის საფუძვლები. თბ., 1994.
გაგნიძე რ. – მცენარეთა გეოგრაფია. თბ., 1996.
დარვინი ჩ. – მოგზაურობა დედამიწის გარშემო გემ „ბიგლით„ თბ.,1951.
ელიავა ი., ნახუცრიშვილი გ., ქაჯაია გ., ეკოლოგიის საფუძვლები. თბ.,1992.
თუმანიშვილი გ. – განვითარების ბიოლოგია, თბ., 1989.
კემპი პ. არმსი კ. ბიოლოგია, ტ.1,2; რედ.პროფ. ე.აბზიანიძე, თბ., 1998.
ჟორდანია რ. – ხერხემლიანთა ზოოლოგია. თბ., 1997.
ლეჟავა თ. – ადამიანის გენეტიკა. თბ., 1998.
ნათაძე ლ. – ხერხემლიან ცხოველთა შედარებითი ანატომია. თბ., 1962.
ქაჯაია გ. ბიოსფერო და საზოგადოება. თბ., 1997.
შათირიშვილი ა., იმნაძე ლ.,შალაშვილი ქ. სამედიცინო ბიოლოგია, თბ., 1996.
ცარციძე მ. – მოლეკულური ბიოლოგია (მოკლე კურსი). თბ., 1996
ცარციძე მ. – უჯრედული ბიოლოგია (მეთოდური მითითება). თბ., 1997
ცარციძე მ., ცაგარელი ს., შათირიშვილი ა. ბიოლოგიის შესავალი . თბ., 1999.

ჟურაშვილი ბ. – უხერხემლოთა ზოოლოგია. თბ., 1996.
ჭუჭულაშვილი ი. – მიკროევოლუცია (ხელნაწერი).
ჯანაშვილი ა. – ზოოგეოგრაფია. თბ., 1974.
ჯოხაძე დ. – მოლეკულური გენეტიკის შესავალი. თბ., 1992.
Айала Ф. Кайгер Дж. Современная генетика, т.1-3,М, 1987.
Албертс Б., Брей Д., Льюис Дж., Рэфф М., Робертс К., Уотсон Дж. Молекулярная биология клетки. М., 1994.
Алиханян С.И. Акифиев А.П. Чернин Л.С. – Общая генетика,М.,1985.
Бочков Н.П. Клиническая генетика. М., 1997.
Грант В. Эволюционный процесс. М.,1991.
Гершензон С.М. - Основы современной генетики. Киев, 1983.
Грин Н. Стаут У. Тейлор Д. Биология, т.1-3. М., 1990.
Дарвин Ч. Происхождение видов путем естественного отбора, М., 1987.
Джохансон Д., Иди М.- Люси. Истоки рода человеческого. М., 1984.
Дубинин Н.П. – Генетика, Кишинев, 1985.
Захаров И.А. Экологическая генетика и проблемы биосферы. Л., 1978.
Инге-Вечтомов С.Г. Генетика с основами селекции. М., 1989.
История биологии, т.1-2, М., 1972, 1975.
Кристесашвили Дж. Генетические аспекты перинатальной патологии,Тб, 1995.
Лобащев М.Е. Генетика. Ленинград, 1967.
Лобащев М.Е. Ватти К.В. Тихомирова М.М. – Генетика с основами селекции. М., I, 1979.
Льюин Б. Гены. М., 1987.
Майр Э. Популация, виды и эволюция. М., 1974.
Одум Ю. Основы экологии. т 1-2, М., 1986.
Основы общей биологии (под ред. Э.Либерта), М., 1982.
От молекул до человека (авт.Ф.Добжанский), М., 1973.
Парамонов А.А. Дарвинизм. М., 1978.
Пехов А.П. Биология и общая генетика. М., 1994.
Рейвн П. Эверт Р. Айкхорн С. Современная ботаника. т.1-2, М.,1990.

Слюсарев А.А. Жукова С.В. Биология, Киев, 1994.
Солбриг О. Солбриг Д. Популационная биология и эволюция. М., 1982.
Тимофеев-Ресовский Н.В. Воронцов Н.Н. Яблоков А.В. Краткий очерк по теории эволюции. М., 1987.
Токин Б.П. Общая эмбриология, М., 1987.
Фаули Р.-Еще один неповторимый вид. Экологические аспекты эволюции человека. М., Мир, 1990.
Физиологическая генетика. Под ред.М.Е.Лобащова, С.Е.Инге-Вечтомова, Л,1976.
Фогель Ф., Мотульски А., Генетика Человека, т 1-3. М., 1989-1990
Ходорн Э. Венер Р. Общая зоология. М., 1989
Шварц С.С. Экологические закономерности эволюции. М.,1980
Шмалгаузен И.И. Проблемы дарвинизма. М., 1969
Ченцов Ю.С. – Общая цитология, М.,1984
Яблоков А.В. Популационная биология. М., 1987
Яблоков А.В. Юсуфов А.Г. Эволюционное учение. М., 1989
Яригин В.Н. Васильева В.И. Волков И.Н. Синельщикова В.В. Биология, кн. 1-2. М., 1997
Campbell N.A. Biology, Benjammin/Cummings Pub. company inc, NY,Sidney,1993
Godman H.B, Emmal T.L. Graham L., Slowiczek F., Shecheter Y. Biology, Annotated Teacher's edition, Orlando, NY, Chicago, 1986
Gottfried S.S. Biology Today, 1993
Starr C. Biology, concepts and applications. Wadsworth publishing company-belmont, california. 1994
Starr C. Taggart R. Biology 1992
Osche Y. Evolution, Grundlagen-Erkenntnisse-Entwicklungen der Abstammungscehre. Herder Freiburg, Basel, Wien, 1975

სარჩევი

შესავალი 4
1. ბიოლოგიის საგანი და ცოცხალი მატერიის თვისებები 4
ბიოლოგიურ მეცნიერებათა სისტემა 7
სიცოცხლის ორგანიზაციული დონეები 8
მეცნიერული მეთოდი 11
მეცნიერება და საზოგადოება 14
ჰომეოსტაზი 17
რეგულირების თეორია და ბიოლოგიური სისტემები 18
ბიოლოგია-მედიცინის თეორიული საფუძველი 21
ნაწილი 1. უჯრედისა და ვირუსების ბიოლოგია 22
1.1. უჯრედული თეორია 22
1.2.უჯრედის ქიმიური შედგენილობა 24
1.3.უჯრედის არაორგანული ნივთიერებები 25
1.4..უჯრედის ორგანული ნივთიერებები 26
ცილები 27
ცილების სტრუქტურული ორგანიზაცია 28
ცილების ფუნქციები 30
ცილების ევოლუცია 32
ნახშირწყლები 34
ლიპიდები 36
ნუკლეინის მჟავები 39
დნმ 39
რეპლიკაცია 41
დნმ-ის რეპლიკაციის ფერმენტული სისტემები 42
რნმ 44
1.5.უჯრედის სტრუქტურული კომპონენტები 47
1.6.ეუკარიოტული უჯრედი 47
უჯრედული ანუ პლაზმური მემბრანა 48
უჯრედული მემბრანის ფუნქციები 50
უჯრედის ბირთვი 52
ციტოპლაზმა 56
ორგანოიდები 56
ციტოჩონჩხი 61
1.7.პროკარიოტული უჯრედი 63

1.8..უჯრედული ციკლი 65
მიტოზი 67
1.9.ნივთიერებათა ცვლა და ენერგიის გარდაქმნა უჯრედში 70
1.10.ასიმილაცია ანუ პლასტიკური ცვლა (ანაბოლიზმი) 70
ცილის ბიოსინთეზი 70
ტრანსკრიპცია 71
ტრანსლაცია 72
ფოტოსინთეზი 73
ქემოსინთეზი 74
1.11.დისიმილაცია ანუ ენერგეტიკული ცვლა (კატაბოლიზმი) 75
სუნთქვა 75
გლიკოლიზი 76
უჯრედის ევოლუცია 77
1.12.ანტისხეულები და მათი ფუნქციები 80
1.13. ქიმიური სიგნალიზაციის ძირითადი ტიპები 81
1.14..ვირუსების ბიოლოგია 81
1.15.დნმ-შემცველი ვირუსები 82
1.16..რნმ-შემცველი ვირუსები 84
რეტროვირუსები 85
ნაწილი II.გამრავლება 89
2.1.უსქესო გამრავლება 89
2.2.სქესობრივი გამრავლება 91
გამეტოგენეზი 94
სასიცოცხლო ციკლი 95
მეიოზი 97
განაყოფიერება 100
სქესობრივი გამრავლების არარეგულარული ტიპები 101
ნაწილი III.გენეტიკის საფუძვლები 103
.შესავალი 103
3.1.გენეტიკა და მედიცინა 105
3.2.გენეტიკის განვითარების მოკლე ისტორია 106
მემკვიდრულობის კანონზომიერებანი და მემკვიდრეობს პრინციპები 109
3.3.მენდელის მიერ დადგენილი კანონზომიერებანი 109

ჰიბრიდოლოგიური მეთოდი 109
მონოჰიბრიდული შეჯვარება 110
პირველი თაობის ჰიბრიდთა ერთგვაროვნების კანონი 110
დათიშვის კანონი 110
არასრული დომინირება 113
მონოჰიბრიდული შეჯვარების ციტოლოგიური მექანიზმი 114
გამაანალიზებელი შეჯვარება 115
გენი და ალელურ გენთა ურთიერთქმედების ფორმები 116
მრავლობითი ალელიზმი 117
გენის პენეტრანტულობა და ექსპრესულობა 118
დიჰიბრიდული შეჯვარება 120
3.4.გენების ურთიერთქმედება 122
პლეიოტროპიზმი 129
მემკვიდრეობის ქრომოსომული თეორია 131
3.5.სქესის განსაზღვრის ქრომოსომული მექანიზმი 131
სქესთან შეჭიდულობა 135
სასქესო ქრომოსომების განურიდებლობა 138
სქესის გავლენა გენის ექსპრესიაზე (გამოვლენაზე) 140
3.6.გენთა შეჭიდულობა და კროსინგოვერი 140
3.7.ციტოპლაზმური მემკვიდრეობა 147
ცვალებადობის კანონზომიერებები 149
3.8.არამემკვიდრული ცვალებადობა 149
3.9.მემკვიდრული ცვალებადობა 153
კომბინაციური ცვალებადობა 153
მუტაციური ცვალებადობა 153
გენური მუტაციები 154
ქრომოსომული მუტაციები 156
გენომური მუტაციები 159
ინდუცირებული მუტაგენეზი 161
გარემოს მუტაგენები 163
3.10.მემკვიდრეობის მოლეკულური საფუძვლები 166
ნუკლეინის მჟავების როლი მემკვიდრეობაში 166
ბაქტერიების ტრანსფორმაცია 166
ბაქტერიების გამრავლება 168
ტრანსდუქცია 169

რნმ-ის გენეტიკური ფუნქცია 170
გენის ნატიფი აგებულება 170
დნმ-ის რეპარაცია 173
რეკომბინაციის მოლეკულური მექანიზმები 174
გენური ინჟინერიის საფუძვლები 176
უჯრედული ინჟინერიის საფუძვლები 177
გენის მოქმედების რეგულაცია პროკარიოტებში 178
გენის მოქმედების რეგულაცია ეუკარიოტებში 180
ადამიანის გენეტიკის საკითხები 182
3.11.ევგენიკა 183
3.12.ადამიანის გენეტიკის თავისებურება
და კვლევის მეთოდები 185
მემკვიდრეობის გენიალოგიური მეთოდი 186
ტყუპთა მეთოდი 192
დერმატოგლიფიკის მეთოდი 194
პოპულაციური მეთოდი 194
ბიოქიმიური მეთოდები 197
ციტოგენეტიკური მეთოდი 198
სომატურ უჯრედთა გენეტიკის მეთოდები 200
მოლეკულური ბიოლოგიის მეთოდები 202
3.13.ნიშნების მემკვიდრეობა ადამიანში 202
რეზუს ფაქტორის მემკვიდრეობა 205
გენოტიპისა და გარემოს როლი ადამიანის
ფენოტიპის ფორმირებაში 205
3.14.მემკვიდრული დაავადებები 207
გენური დაავადებები 207
ქრომოსომული დაავადებები 211
დაავადებები მემკვიდრული წინასწარგანწყობით 214
3.15.დიაგნოსტიკის მნიშვნელობა და
მემკვიდრულ დაავადებათა მკურნალობა 215
3.16.სამედიცინო გენეტიკური კონსულტაცია 218
ნაწილი IV.ორგანიზმთა ინდივიდუალური
განვითარება 220
4.1.ონტოგენეზი 223
პროგენეზი 223

ჩანასახის განვითარება 226
პოსტემბრიონული განვითარება 232
4.2.ზრდა 234
4.3.რეგენერაცია 235
4.4.დაბერება და სიკვდილი 238
ნაწილი V. ევოლუციური თეორიის საფუძვლები 242
შესავალი 242
5.1.ევოლუციის თეორიის განვითარების მოკლე ისტორია 243
მიკროევოლუციის კანონზომიერებანი 249
5.2.პოპულაცია-ევოლუციური პროცესის ელემენტარული ერთეული 249
5.3.პოპულაციის ეკოლოგიური დახასიათება 250
5.4.პოპულაციის გენეტიკური დახასიათება 253
გენეტიკური ჰეტეროგენულობა და ერთიანობა 256
5.5.ევოლუციის ელემენტარული მოვლენა-პოპულაციის გენეტიკური შედგენილობის ცვლილება 258
5.6.მუტაციური პროცესი-ევოლუციის ელემენტარული ფაქტორი
მუტაციები - ელემენტარული მასალა 259
მუტაციის წარმოქმნის სიხშირე და მიზეზები 259
მუტაციის გამოვლენა და სპექტრი 260
მუტაციების გავრცელება და მუტაციური პროცესის გავლენა პოპულაციის სტრუქტურაზე 261
მუტაციური პროცესის არამიმართული ხასიათი 263
მუტაციური პროცესის მნიშვნელობა ევოლუციაში 263
5.7.გენთა დრეიფი, როგორც ევოლუციის ელემენტარული ფაქტორი 263
5.8.გენთა ნაკადი, როგორც ევოლუციის ელემენტარული ფაქტორი 267
5.9.ინბრიდინგი-პოპულაციის დინამიკაზე მოქმედი ფაქტორი 268
5.10.იზოლაცია როგორც ევოლუციის ელემენტარული ფაქტორი 269
5.11.ბუნებრივი გადარჩევა-ევოლუციის მთავარი და წარმმართველი ფაქტორი 274

ბუნებრივი გადარჩევის წინამძღვრები 274
პოპულაციის ჰეტეროგენულობა 274
გამრავლების პროგრესია 274
ბრძოლა არსებობისათვის 276
ბუნებრივი გადარჩევა და მისი ძირითადი ფორმები 278
ბუნებრივი გადარჩევის არსი 278
ბუნებრივი გადარჩევის დამამტკიცებელი არგუმენტები 279
ბუნებრივი გადარჩევის ეფექტურობა და სიჭარე 283
ბუნებრივი გადარჩევის ფორმები 284
ბუნებრივი გადარჩევის მნიშვნელობა 289
5.12.შიგაპოპულაციური (გენეტიკური) პოლიმორფიზმი 290
5.13.ადაპტაცია-ბუნებრივი გადარჩევის შედეგი 292
ადაპტაციის მაგალითები 292
ადაპტაციის კლასიფიკაცია და წარმოქმნის გზები 296
5.14.სახეობა და სახეობათა წარმოქმნა 298
სახეობა-ევოლუციის პროცესის ძირითადი ეტაპი 298
სახეობის კრიტერიუმები 300
სახეობა ევოლუციის ეტაპია 302
სახეობათა წარმოქმნა 303
მაკროევოლუციის კანონზომიერებანი 306
5.15.ონტოგენეზის ევოლუცია 307
5.16.ფილოგენეზური ჯგუფების ევოლუცია 313
ფილოგენეზური ჯგუფების ევოლუციის კანონზომიერებები 318
5.17.ორგანოთა და ფუნქციათა კანონზომიერებები 319
5.18.ბიოლოგიური პროგრესი და რეგრესი 321
5.19.ალტერნატიული კონცეფციები თანმედროვე ევოლუციურ თეორიაში 323
ნაწილი VI. სიცოცხლის წარმოშობა 326
ნაწილი VII.ვინ არის, როდის, სად და როგორ გაჩნდა ადამიანი 333
7.1.ადამიანის ადგილი ბუნებაში 333
7.2.ანთროპოგენეზის ეტაპები 337
7.3.ადამიანის თავის ტვინის და ქცევის ევოლუცია 342
7.4.მეტყველების ჩამოყალიბება 348
7.5.განსხვავება ადამიანისა და მაიმუნის ქცევაში 350

7.6.მოლეკულური ბიოლოგიის მონაცემები
პრიმატთა ევოლუციაზე 353
ნაწილი VIII.ორგანიზმი და გარემო 358
8.1.ზოგადი ეკოლოგიის საკითხები 358
ეკოლოგიის საგანი და ეკოლოგიური ფაქტორები 358
აბიოტური ფაქტორები 360
ბიოტური ფაქტორები 362
ეკოსისტემა 364
8.2.ადამიანის ეკოლოგიის ასპექტები 367
8.3.ბიოსფერო და ადამიანი 370
ადამიანის მოქმედება ბიოსფეროზე 374
ეკოლოგიური ალტერნატივა 378
საგანთა საძიებელი 380
ლიტერატურა 389