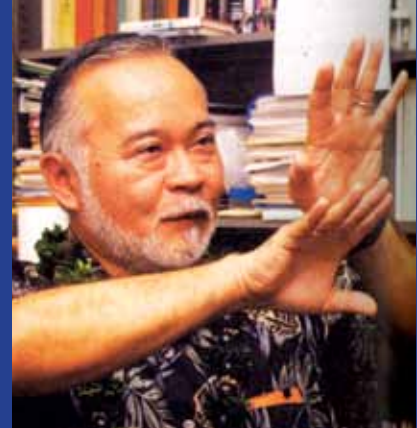




ინტერვიუ

ევოლუციის მექანიზმები

თუ ჩვენ გვინდა შევისწავლოთ ევოლუციის მექანიზმები და გავერკვიოთ მათში, ჰავაის კუნძულები ამისთვის ერთ-ერთ ყველაზე დიდ ბუნებრივ ლაბორატორიას წარმოადგენენ. დოქტორი კენეს კანეშირო ერთ-ერთი მათგანია, ვისი წვლილიც ამ მექანიზმების შესწავლაში ძალიან დიდია. ის სწავლობს ჰავაის ბუზის დროზოფილას (*Drosophila*) მრავალრიცხოვან სახეობებს. პროფესორი კანეშირო ჰავაის უნივერსიტეტის, (მანოა), ევოლუციური ბიოლოგიის პროგრამის დირექტორია. ის აგრეთვე კონსერვაციული კვლევების და ტრენინგების ცენტრის დირექტორია ამავე უნივერსიტეტში. 2003 წელს, მე პირველად შევხვდი დრ. კანეშიროს. ამ დროს მე ვიყავი სტიპენდიანი ვიზიტორი ჰონოლულუს იოლანის ინსტიტუტის ფაკულტეტზე. ამავე ფაკულტეტზე კანეშირომ დაიწყო მისი განათლების მიღება. ერთი წლის შემდეგ დიდი სიხარულით დავბრუნდი ჰავაიზე იმისთვის, რომ ეს ინტერვიუ ჩამეწერა. მე ძალიან მიყვარს ეს სამუშაო.

ბოლომდე მისწავლის ჰავაის კუნძულების ფორმირება?

გეოლოგიური თვალსაზრისით ეს ძალიან ახალგაზრდა კუნძულებია. კუნძულებს შორის ყველაზე ძველია კუნძული აუაი. მისი ასაკი მხოლოდ 5-6 მილიონ წელიწადს შეადგენს. კუნძულები ქრონოლოგიური თანმიმდევრობით მოულოდნელად აღიმართა. ეს მოხდა წყნარი ოკეანის ტექტონური ფილის ჩრდილო-დასავლეთით მოძრაობის და ზღვის ფსკერზე არსებული ვულკანურად აქტიური არეალის დაფარვის შედეგად. ჰავაის დიდი კუნძული არის ყველაზე ახალგაზრდა და განლაგებულია ვულკანურად აქტიური არეალის მაღლა. ახლა მიმდინარეობს ახალი კუნძულის ლოიჰის ფორმირება. მისი ფორმირება დაიწყო დიდი კუნძულის სამხრეთ-აღმოსავლეთით, წყალქვეშა მთის სახით.

ბოლომდე აბის ჰავაის კუნძულები ევოლუციის შესასწავლად ასეთი მიმზიდველი ადგილი?

პირველ რიგში, მსოფლიოში ეს ხმელეთის ყველაზე იზოლირებული ნაწილია. ის განლაგებულია წყნარი ოკეანის შუაში, და

კონტინენტებისგან ყველა მხრიდან დაახლოებით 2 000 მილით არის დაშორებული. ასე რომ საწყისი პოპულაციის ჩამოყალიბება ხდებოდა ორგანიზმების ნებისმიერი სახეობის მიერ, რომელსაც შეეძლო კუნძულებზე მოხვედრა ოკეანის გადაკვეთის შედეგად, მაგალითად ქარის დახმარებით. შემდგომში ეს პოპულაცია ხდებოდა იზოლირებული გენების ნაკადისგან, ანუ ამავე სახეობის სხვა პოპულაციებისგან.

აქ დამკვიდრებულმა ზოგმა ორგანიზმმა შემდგომში დასაბამი მისცა მრავალ ახალ სახეობას. ეს ხდებოდა ამ ორგანიზმებით ჰავაის სხვა კუნძულების კოლონიზაციის შედეგად. კუნძულები განლაგებულია ერთ მწკრივად: აუაი-დან დიდ კუნძულამდე, მათი ამოწევა ასეთი ქრონოლოგიით ხდებოდა. ქრონოლოგიური თანმიმდევრობა არსებობს სახეობათა წარმოშობაშიც, ვინაიდან ორგანიზმები გადადიოდნენ უფრო ძველი კუნძულებიდან უფრო ახალ კუნძულებზე. *Drosophila*-ს შემთხვევაში, ყველაფერი მიუთითებს იმაზე, რომ ერთმა ბუზმა (განაყოფიერებულმა მდედრმა), რომელიც მოხვდა კუნძულზე რამდენიმე მილიონი წლის წინ, დასაბამი მისცა ჰავაის დროზოფილების 500-ზე მეტ სახეობას. დღესაც ყველა სახეობა არ არის აღწერილი. ეს მსოფლიოს დროზოფილების ცნობილი სახეობების დაახლოებით მეოთხედია.

ბოლომდე ილუზიის სახეობების ბოლომდე გაცილებით მეტია, ვიდრე კუნძულების ბოლომდე. პასუხისმგებელია თუ აბა ყოველი კუნძულის ფაქტორებში არსებული განსხვავებული გარემო პირობები სახეობების ასეთ მრავალფეროვნებაზე?

დიახ, იმის გამო, რომ ცალკეული კუნძულის ფარგლებში არსებობს სხვაობა სიმაღლეში, ნალექების რაოდენობასა და სხვა ფაქტორებში, ყოველი კუნძულის ბუნებრივი პირობები ძალიან მრავალფეროვანია. ყოველ კუნძულზე არსებობს ის, რასაც ჩვენ “კიპუკას” ვეძახით, ე სარის ლავით გარშემორტყმული “მცენარეების კუნძულები”. ასე რომ კუნძულებზე დამატებით არსებობენ ლავით გარშემორტყმული კუნძულები. ლავა რო-

მელიც კიბუკასებს შორის ქმნის ბაიერებს. მაგალითად, ჩვენ ვსწავლობთ დიდ კუნძულზე მდებარე ორ კიბუკას. ლავის ნაკადმა ისინი ზუსტად 100 წლის წინ დააცილა ერთმანეთს. იქამდე ისინი დაკავშირებული იყვნენ ერთმანეთთან. ჩვენ უკვე ვამჩნევთ მნიშვნელოვან გენეტიკურ სხვაობას ამ ორ კიბუკაზე მობინადრე *Drosophila*-ს პოპულაციებს შორის. ჯერ-ჯერობით ისინი ერთ და იმავე სახეობას წარმოადგენენ, მაგრამ დათიშვის პროცესი დაწყებულია. ჰავაის კუნძულებზე სახეობათა წარმოქმნა ახლაც ძალიან დინამიური პროცესია.

ბოლო გაწვითაა თქვნი ინტერესი ბიოლოგიის მიმართ?

ჩემი ინტერესი ბიოლოგიის მიმართ ალბათ წარმოიქმნა ბავშვობაში, როცა აქ, ჰავაის კუნძულებზე ვიზრდებოდი. ბავშვობაში მამას დავეყვებოდი სათევზაოდ ოაჰუს გარშემო. მამას მიდგომა თევზაობის მიმართ ძალიან მეცნიერული იყო, თუმცა იმ დროს მე ამის გაცნობიერება არ შემეძლო. მამაჩემი თევზაობისას მხედველობაში იღებდა ქარის სისწრაფეს, მოქცევებს. ის უკავშირებდა სატყუარას ფერებს თევზის იმ ნაირსახეობების შეფერილობას, რომელიც იქ ბინადრობდნენ. დღესაც ვთევზაობისას, მივმართავ მამას გაკვეთილებს. მე ვფიქრობ, რომ თევზაობის მიმართ ისტორიულმა მიდგომამ პირველად გააღვიძა ჩემში ინტერესი ბიოლოგიის მიმართ.

ბოლოს გადაიჭაბდა ეს ინტერესი ინტერესში ფოლოციური ბიოლოგიის მიმართ?

როცა ჰავაის უნივერსიტეტის პირველი კურსის სტუდენტი ვიყავი, მინდოდა ზღვის ბიოლოგიის შესწავლა. მაგრამ ოჯახის გავლენის გამო ჩავაბარე სამედიცინო პროგრამაზე. სწავლისთვის ფულის გადასახდელად საჭირო იყო მუშაობა. მუშაობა დავინწყე ჰავაის *Drosophila*-ს პროექტზე. ჯერ ლაბორატორიული ჭურჭლის მრეცხავი ვიყავი და თან ვსწავლობდი ბუზების გასამრავლებლად საჭირო მკვებავი გარემოს მომზადებას. რამდენიმე თვეში ჩავერთე ნამდვილ კვლევაში, ვახორციელებდი სასქესო ორგანოების გაკვეთას. ვსწავლობდი სხვა მორფოლოგიურ თვისებებსაც, რომელთა საშუალებით შეიძლება ჰავაის *Drosophila*-ს სახეობების ევოლუციური ისტორიის შესწავლა. ველზე სამუშაოდ გასვლის შესაძლებლობაც მქონდა. ამიტომ ეკოლოგიაც ჩემი საბაკალავრო განათლების ნაწილი გახდა. ამ განხრებს აუდიტორიიდან კი არა, არამედ უშუალოდ *Drosophila*-ზე კვლევების ჩატარებისას ვსწავლობდი. ყოველ წელს *Drosophila*-ს სხვადასხვა პროექტში მონაწილეობდა 10-დან 12-მდე სხვადასხვა მიმართულების ნამყვანი მეცნიერი. ისინი სამუშაოდ ჰავაიებზე ჩამოდიოდნენ. ბაკალავრიატში სწავლისას ვაკვირდებოდი ცნობილი მეცნიერების მუშაობას. ამან ჩემზე უდიდესი შტაბეჭდილება მოახდინა. ბაკალავრიატის დამთავრების შემ-

დეგ, სამაგისტრო პროგრამა ენტომოლოგიაში ავიღე. ამიტომ შემეძლო ჰავაის *Drosophila*-ს შესწავლის გაგრძელება.

ეს სამუშაო მოიცავს თქვენს კვლევას *Drosophila*-ს შეწყვილების ძეგლზე. მე ვფიქრობ, მტავალი სტუდენტი გაოცდება ბოლო გაიგებს, რომ ეს ბუზები აბიციდენთა თაყვანთა პატრონობით.

არშიყობის პროცესი მამრებსა და მდედრებს შორის საკმაოდ სრულყოფილია. შეწყვილების ქცევა ასევე მამრებს შორის შეჯიბრს მოიცავს. მამრმა უნდა დაიცვას ტერიტორია, რომელზეც მდედრები შესაწყვილებლად გროვდებიან. მაგალითად, *Drosophila*-ს ერთი სახეობის მამრებს აქვთ ძალიან ფართო თავები. ორი მამრი ერთმანეთს თავს ურტყავს, ისე, როგორც ამას თხები აკეთებენ. ტერიტორიისთვის ბრძოლისას მამრი მონინალმდეგეს უკან ან წინ გაადაადებს. სხვა სახეობის შემთხვევაში შეჯიბრი უფრო სუბტილურად მიმდინარეობს. მამრები უკანა თათების “თითის წვერებზე” დგებიან, ეჭიდებიან ერთმანეთს შუა და წინა თათებით და თავებით. მაგრამ იყო კარგი მებრძოლი, არ ნიშნავს იყო კარგი საყვარელი. მამრ ბუზს, თუ მას შეუძლია გაუმკვლავდეს სხვა მამრებს და დაიცვას ტერიტორია მეტი შანსი აქვს მდედრთან შეწყვილების, მაგრამ მან ასევე უნდა შეეძლოს ძალიან რთული ქცევის გამომჟღავნება, რომელიც დააკმაყოფილებს მდედრის საარსიყო ქცევის მოთხოვნებს.

მაგალითად ასეთი?

ერთ-ერთი სახეობის მამრი მალა წევს მუცელის უკანა ნაწილს და იღებს მორიელის მსგავს პოზას. მდედრი ხედავს სპეციალიზირებული ჯაგრისების მწკვრივს, რომლებიც მუცლის ქვედა მხარეზე განლაგებული. ყოველი ჯაგრისი შებრტყელებულია მარაოს მსგავსად. შემდეგ მამრის მუცელი ვიბრაციას იწყებს, და ჯაგრისები ავრცელებენ მუცლის ჯირკვლებიდან გამოყოფილ სქესობრივად მიმზიდველ ნივთიერებას, ფერომონის სეკრეტს. ამავე დროს, მამრი შლის ფრთებს, ირხევა წინ და უკან და წარმოქმნის ბგერას. ცეკვის და სიმღერის დროს მამრი გამოწევს წინ ყბების ნაწილებს და მდედრი ადვილად ამჩნევს თეთრი ფერის ლაქას. საპასუხოდ მდედრი მართლაც რომ “კოცნის” მამრს. შეწყვილება ხდება მხოლოდ მაშინ, თუ მამრს შეუძლია ამ დემონსტრაციის ყველა დეტალის განხორციელება.

ჰავაის *Drosophila*-ს ახალი სახეობების წარმოქმნაში შეწყვილების ძეგლში ცვლილებები ბიოლოგიის ბოლო თამაშობა. ეს გამომდინარეობს იმ მოდელიდან, რომლისაღ დღეს ვიცნობთ „კანკაბრის ჰიპოთეზის“

სახელით. ამ ცვლილებების ბოლო განსაკუთრებით დიდია სახელმათაწარმოქმნის ადრეულ სტადიუმზე. რაში მდგომარეობს ამ იდეის აზრი?

სხვაობა შეწყვილების ქცევაში შეიძლება მოხდეს მცირე პოპულაციაში, იმის შემდეგ, რაც ის ახალ ადგილას დაარსდება. ვთქვათ, ყველაზე ძველ კუნძულზე, კაუაი-ზე, არსებობს ბუზების პოპულაცია. შემდეგ მოხდა ოაჰუ-მის ამონევა. განაყოფიერებული მდედრი მოხვდა ახალ კუნძულზე. რამდენიმე ასეული შთამომავლის გამოჩენის შემდეგ მას შეუძლია დააარსოს ოაჰუ-ზე ბუზების ახალი პოპულაცია. სანეისი პოპულაციისთვის დამახასიათებელი საარსიყო ქცევის მიხედვით განსხვავებული მამრები გვხვდებიან ახალ პოპულაციაში. მათი საარსიყო ქცევა შეიძლება ნაკლებად სრულყოფილი იყოს. მაგრამ ასეთ პატარა პოპულაციაში, ძალიან წუნია მდედრებს შთამომავლობის დატოვების ნაკლები შესაძლებლობა აქვთ, ვიდრე ნაკლებად “წუნიებს”. ნაკლებად წუნია მდედრები შეხვდებიან მეტ შეწყვილეს, ვიდრე მათ შეწყვილებისთვის სჭირდებათ. ასეთი გზით, გადარჩევა უპირატესობას მიანიჭებს გენების ახალ კომბინაციას, სადაც იქნება ადაპტაცია ახალ გარემოსთან, აუაი-ს “მშობლიურ” პოპულაციასთან შედარებით შეწყვილების ნაკლებად რთულ ქცევასთან. როგორც ჩანს ამის გამო *Drosophila*-ს ყველაზე ძველ სახეობებში შეწყვილების ქცევა როგორც წესი ყველზე რთულია. მე ვფიქრობ, შეწყვილების ქცევაში ასეთი გადახრები ჰავაის *Drosophila*-ს ევოლუციაში ძალიან მნიშვნელოვან როლს თამაშობს. შესაძლებელია, რომ ასე ხდება ორგანიზმების სხვა ჯგუფებშიც.

მაშინ, როცა ბიოლოგები ჰავაის კუნძულებზე სწავლობენ სახეობების ასეთი მრავალფეროვნების ევოლუციას, თვით კუნძულები მოხვდნენ ბიომრავალფეროვნების ცხელი წერტილების სიაში, რაც ნიშნავს, რომ კუნძულების მრავალი სახეობა გადაშენების საფრთხის წინაშე არის. რა წარმოადგენს ჰავაის კუნძულების ბიომრავალფეროვნებისთვის ყველაზე დიდ საფრთხეს?

რა თქმა უნდა ბუნებრივი ჰაბიტატის ნგრევა და შემოყვანილი სახეობების – არა ადგილობრივი სახეობების გავლენა, რომლებიც კუნძულებზე შემთხვევით ან შეგნებულად მოხვდნენ. შემოყვანილი სახეობები ალბათ ყველაზე დიდი საფრთხეა. ნომერ პირველ პრობლემას ალბათ ჭიანჭველები წარმოადგენენ. ჰავაიებზე მკვიდრი ჭიანჭველები არ იყვნენ, ყველა არის შემოყვანილი. ისინი ამჟერად იკვებებიან ბუნებრივ ტყის ეკოსისტემებში და ეს ძლიერად მოქმედებს მკვიდრი ფხსასარიანების ფაუნაზე. შემოყვანილი ვირთხები ანადგურებენ ფრინველებს. აღწევნა რა მათ ბუდეებში და იკვებებიან ბართყებით და კვერცხებით. გარეული ღორები ასევე დიდ პრობლემას

ქმნიან. ისინი წარმოადგენენ იმ ღორების შთამომავლობას ევროპელების მიერ შემოყვანილი ღორების, და აიმა ღორების, რომლებიც ჰავაის მკვიდრმა მოსახლეობამ კუნძულებზე შემოიყვანა. გარეული ღორები თხრიან ბუნებრივ ტყეებში ფესვებს. წარმოიქმნება გუბები, სადაც მრავლდებიან კოლოები. თავის მხრივ კოლოები არიან იმ პათოგენის გადამტანები, რომელიც ფრინველებში მალარიას იწვევს. ინტროდუცირებული მცენარეებიც დევნიან მრავალ ბუნებრივ სახეობას. მცირე ზომის მიუხედავად, საუბედუროდ, ჰავაი შეერთებული შტატების გადაშენების საფრთხის წინაშე მდგომი სახეობების დედაქალაქი გახდა. შეიძლება მთელი მსოფლიოს დედაქალაქიც.

ერთ-ერთი თქვენი თანამდებობა აზრის ჰავაის უნივერსიტეტის კონსერვატიული კვლევების და ცოდინის ცენტრის დირექტორის თანამდებობა. რა სახის სამუშაოებს ხელმძღვანელობს ცენტრი?

კონსერვატიულ ბიოლოგიაში ჩვენი კვლევის ინტერესი ძირითადად ეხება ეკოსისტემებს და ეკოეგონებს: ის რაც ხდება მთის მწვერვალზე, მთელს გზაზე - ზევიდან ქვევით მყოფ ეკოსისტემაზე მოქმედებს. ზემოქმედება აღწევს მარჯნის რიფებს და მათ ფარგლებს გარეთაც ვრცელდება. მე ვფიქრობ, ჩვენ უნდა შევიგნოთ, რომ ეკოსისტემებს შორის არსებობს მჭიდრო კავშირები, იმისთვის, იმისთვის, რომ დავიცვათ კუნძულების ბიომრავალფეროვნება. ცენტრს ასევე აქვს დიდი გავლენა განათლებაზე. ჩვენ გვაქვს ეროვნული სამეცნიერო ფონდის გრანტი, რომელიც აფინანსებს პროგრამებს, რომელთა დახმარებით ჩვენი სტუდენტები მუშაობენ სკოლის მოწაფეებთან და მათ პედაგოგებთან. K-12 სტუდენტები მონაწილეობენ სავსელ გასვლებში და კვლევებში. ისინი აგროვებენ მეცნიერულ მონაცემებს, აღმოაჩენენ ახალ სახეობებს, და გვეხმარებიან იმის გადამწყვეტაში, თუ როგორ აღმოფხვრათ ზოგი ინტროდუცირებული სახეობა. გარკვეული მონაცემების შეგროვება შესაძლებელია მხოლოდ იმიტომ, რომ ასეთი სტუდენტების საკმაოდ დიდი რაოდენობა მონაწილეობს მათ შეგროვებაში. სხვანაირად ეს შეუძლებელი იქნებოდა. მაგალითად, როგორც წესი, მკვლევარები, რომლებიც ახორციელებენ მდინარეების სისუფთავის მონიტორინგს ნიმუშების აგროვებენ მდინარის რამდენიმე გუბიდან. მაგრამ ჩვენი მაგისტრანტებს საშუაოს შესრულებაში ეხმარებოდა 320 მეშვიდე კლასელი. მათ ნიმუშები შეაგროვეს მდინარის მთელს გაყოლებაზე - მთის ჩანჩქერიდან იმ ადგილამდე, სადაც მდინარე ოკეანეს უერთდება. ჩემი აზრით, თუ გარემოდაცვითი განათლების შევუდგებით ბავშვობიდან, ეს აამაღლებს მოსახლეობის შეგნებას და ჩვენ ყველანი გავხვდებით უკეთ დავიცავთ წყლის რესურსებს და ბუნებრივ ეკოსისტემებს.



Drosophila-ს შემთხვევაში, ყველაფერი მიუთითებს იმაზე, რომ ერთმა ბუზმა (განაყოფიერებულმა მდედრმა), რომელიც მოხვდა კუნძულზე რამდენიმე მილიონი წლის წინ, დასაბამი მისცა ჰავაის დროზოფილების 500-ზე მეტ სახეობას.

22

სახეცვლილი შთამომავლობა



▲ სურათი 22.1 ზღვის იგუანა შესანიშნავადაა შეგუებული გალაპავოსის კუნძულების კლდოვან გარემოსთან.

ბიბლიკური კონცეფციები

- 22.1** დარვინის თეორიამ რევოლუცია მოახდინა, მან შეცვალა ტრადიციული შეხედულება თავდაპირველი დედამიწის შესახებ. დარვინამდე მიაჩნდათ, რომ დედამიწაზე დასახლებული სახეობები არ შეცვლილა.
- 22.2** ნაშრომში „სახეობათა წარმოშობა“ დარვინმა ივარაუდა, რომ სახეობები ბუნებრივი გადარჩევის მოქმედებით იცვლება.
- 22.3** დარვინის თეორიით მრავალი დაკვირვების ახნა შეიძლება.

შესავალი

დარვინმა შემოგვთავაზა ბუნებრივი თეორია

ჩარლზ დარვინმა ნაშრომი „სახეობათა წარმოშობა ბუნებრივი გადარჩევის გზით ანუ უკეთშეგუებული ჯიშების გადარჩენა სიცოცხლისათვის ბრძოლაში“ 1859 წლის 24 ნოემბერს გამოაქვეყნა. მას შემდეგ ბიოლოგიაში ახალი ერა დაიწყო. დარვინმა ნაშრომში მოგვცა სიცოცხლის ერთიანობის იდეა. დარვინამდეც არსებობდა ნაირგვარი მოსაზრება სიცოცხლის განვითარებაზე. ამ მოსაზრებებს შორის მეცნიერები კავშირს ვერ ამყარებდნენ. დარვინმა ეს შეძლო. „სახეობათა წარმოშობის“ გამოქვეყნების შემდეგ ბიოლოგებმა დიდი ყურადღება მიაქციეს ორგანიზმებთან მრავალფეროვნებას, მათ წარმოშობას, მათ შორის მსგავსება-განსხვავებას, ნათესაურ კავშირს, გეოგრაფიულ გავრცელებას და ადაპტაციას გარემოსთან (სურათი 22.1).

სახეობათა წარმოშობაში დარვინმა ორი მთავარი იდეა განავითარა. პირველი: წარმოადგინა უამრავი თვალსაჩინო მასალა, რომლისგან გამომდინარეობდა, რომ დედამიწაზე დღეს არსებული ორგანიზმები წინაპარი სახეობების შთამომავლები არიან. წინაპარი სახეობები კი განსხვავდებოდნენ თანამედროვე სახეობებისგან. მეორე: მან შემოგვთავაზა ევოლუციური პროცესის წარმართველი ფაქტორი, რომელსაც **ბუნებრივი გადარჩევა** დაარქვა. ბუნებრივი გადარჩევის ძირითადი იდეა შემდეგში მდგომარეობს: პოპულაცია თაობათა განმავლობაში შეიძლება შეიცვალოს, თუ გარკვეული ნიშან-თვისე-

ბების მქონე ინდივიდები სხვა ინდივიდებთან შედარებით მეტ შთამომავლებს დატოვებენ. ბუნებრივი გადარჩევის საბოლოო შედეგი არის **ევოლუციური ადაპტაცია**. ევოლუციური ადაპტაცია არის ისეთი მემკვიდრეობითი ნიშან-თვისებების დაგროვება, რომლებიც შესაბამის გარემოში ორგანიზმის გადარჩენისა და გამრავლების უნარს ზრდის. თანამედროვე განმარტებით ევოლუცია არის პოპულაციის გენეტიკური შემადგენლობის ცვლილება დროში. საბოლოოდ კი პოპულაციაში იმდენად ბევრი ცვლილება გროვდება, რომ იგი არსებობას ახალი სახეობის სახით აგრძელებს. ტერმინი ევოლუცია ჩვენ ასევე შეგვიძლია დიდი მასშტაბის ცვლილებების აღსანიშნავად გამოვიყენოთ. ვთქვათ, მთელი ბიოლოგიური მრავალფეროვნების თანდათანობითი ჩამოყალიბებისთვის: თავდაპირველი მიკრობებიდან მოყოლებული თანამედროვე მრავალფეროვანი ორგანიზმების ჩათვლით.

ევოლუცია იმდენად ფუნდამენტურ კონცეფციას წარმოადგენს, რომ მისი ცოდნა საჭიროა ნებისმიერი დონეზე მყოფი სიცოცხლის ფორმების შესწავლის დროს: მოლეკულებიდან ეკოსისტემამდე. ევოლუციური მოძღვრება დღესაც დიდ გავლენას ახდენს მედიცინა და სასოფლო-სამეურნეო პრაქტიკაზე, ბიოტექნოლოგიაზე, ასევე კონსერვაციულ ბიოლოგიაზე. ამ წიგნის გაცნობისას თქვენ ასევე მუდმივად შეგხვდებათ ევოლუციის თემა. ამ თავში კი გაცნობით დარვინის შეხედულებების ორგანული სამყაროს განვითარებაზე.

კონცეფცია 22.1

დარვინის ბუნებრივი თეორიამ
ამ შეცვალა ტრადიციული შეხედ-
ულობა თავდაპირველი დედამიწის
შესახებ. დარვინამდე მიაჩნდათ,
ბუნებრივი დარჩევა დასახლებული
სახეობები არ შეცვლილა

დარვინმა მოახდინა ინტელექტუალური რევოლუცია. რევოლუციური აზრის გავლენა საზოგადოებრივ აზროვნებაზე

დამოკიდებულია დროის იმ მომენტზე, როცა ეს იდეა ყალბდება და ამასთან ერთად საზოგადოების აზროვნების სიმნიფეზე. რომ გავიგოთ რაში მდგომარეობდა დარვინის იდეის რევოლუციურობა, უნდა შევადაროთ მისი შეხედულება სიცოცხლეზე, სხვა დასავლურ იდეებს (**სურათი 22.2**).

წინააღმდეგობა ევოლუციის იდეის მიმართ

„სახეობათა წარმოშობამ“ შეცვალა მანამდე გაბატონებული შეხედულება. ამავე დროს მან შეარყია დასავლეთის კულტურის საფუძვლები. დარვინის წარმოდგენა სიცოცხლეზე მკვეთრად ეწინააღმდეგებოდა ტრადიციულ შეხედულებას. დარვინამდე მიაჩნდათ, რომ დედამიწის ასაკი მხოლოდ რამდენიმე ათას წელს მოიცავს და მასზე დასახლებული ცოცხალი ფორმები უცვლელია. ასევე ითვლებოდა, რომ თავდაპირველად შემოქმედმა შექმნა სხვადასხვა სახეობები, რომლებმაც დღევანდლამდე უცვლელად მოაღწიეს. დარვინის ნაშრომმა შეცვალა საუკუნეთა მანძილზე გაბატონებული წარმოდგენები.

ბუნების შკალა და სახეობათა კლასიფიკაცია

მართალია, ზოგიერთი ძველი ბერძენი ფილოსოფოსი მიიჩნევდა, რომ სიცოცხლის განვითარება თანდათან ხდებოდა, მაგრამ ის ფილოსოფოსი, რომელმაც უდიდესი გავლენა მოახდინა დასავლეთის მეცნიერებაზე თვლიდა, რომ სახეობები უცვლელია. ეს ფილოსოფოსი იყო არისტოტელე (384-322 წ.წ.). არისტოტელემ თავის ბუნების მიმოხილვაში აღნიშნა გარკვეული „მსგავსება“, ცოცხალ არსებებს შორის. აქედან მან დაასკვნა, რომ სიცოცხლის ფორმები კიბის მსგავსად არიან დალაგებულნი. „არსებათა კიბის“ საფეხურებს მარტივიდან რთულისკენ მივყავართ. მოგვიანებით ამ კიბეს ბუნების კიბე (*scala naturae*) უწოდეს. არისტოტელე თვლიდა, რომ სიცოცხლის ყოველი ფორმა სრულყოფილია და უცვლელი. მას „არსებათა კიბეზე“ საკუთარი საფეხური უკავია.

ძველ აღთქმაში არსებობს დებულება სიცოცხლის შექმნაზე, ის ძალიან ჰგავს არისტოტელეს იდეას. ძველ აღთქმაში გამოთქმული დებულების თანახმად სახეობები შექმნილია ღმერთის მიერ და ამიტომ ისინი სრულყოფილი არიან. 1700-იან წლებში ბევრი მეცნიერი თვლიდა, რომ ორგანიზმების საოცარი ადაპტაცია გარემოსთან ადასტურებს ღმერთის მიერ ამ სახეობების შექმნას. ისინი ფიქრობდნენ, რომ ღმერთმა ყველა სახეობა გარკვეული მიზნისთვის შექმნა.

ერთ-ერთი ასეთი მეცნიერი იყო შვედი ექიმი და ბოტანიკოსი კარლ ლინე (1770-1778). ის სიცოცხლის მრავალფეროვნებას „ღმერთის უდიდესს წარმატებად“ მიიჩნევდა. ლინემ განავითარა **ტაქსონომია**. ტაქსონომია არის ბიოლოგიის განხრა, რომელიც ახდენს ორგანიზმთა კლასიფიკაციას და აძლევს სახელწოდებას. ლინემ დაამკვიდრა სახეობათა ლათინური სახელწოდების ბინომინალური სისტემა (ორი ლათინური სიტყვისგან შემდგარი სახელი). სახეობის სახელი ორ სიტყვას შეიცავს, პირველი გვარის აღმნიშვნე-

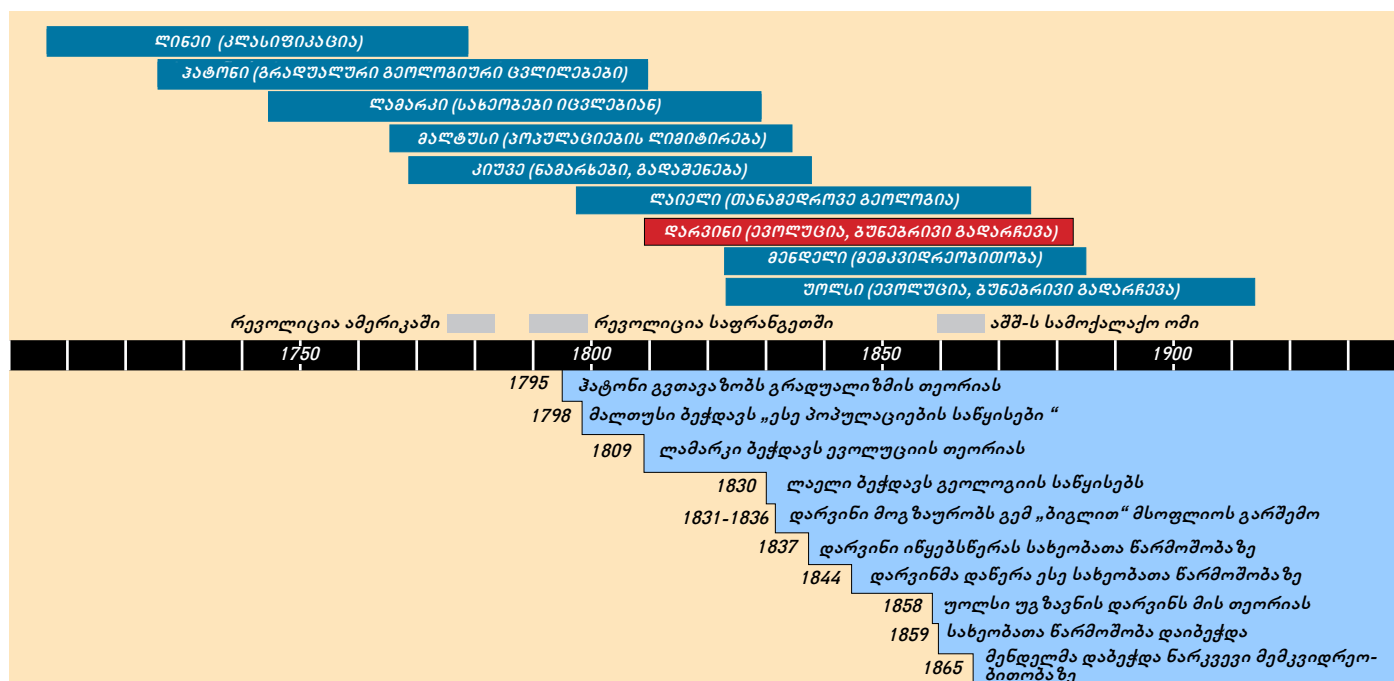
ლია, რომელსაც მიეკუთვნება სახეობა, მეორე კი — თავად სახეობის სახელია. ეს პრინციპი დღესაც ძალაშია. ლინემ კიბისმაგვარი იერარქიის მაგივრად შექმნა ურთიერთდაქვემდებარებული კლასიფიკაციის სისტემა. ამ სისტემის მიხედვით მსგავსი სახეობები ერთიანდება უფრო დიდ კატეგორიაში-გვარში, მსგავსი გვარები ოჯახში და ასე შემდეგ (იხილეთ სურათი 1.14).

ლინეს მიხედვით ზოგიერთი სახეობის ურთიერთ მსგავსება, არ ნიშნავს მათ ევოლუციურ ნათესაობას. ეს მსგავსება შემოქმედის იდეის განსახიერებაა. ერთი საუკუნის შემდეგ დარვინმა ლინეს ტაქსონომიური სისტემა ევოლუციის დამამტკიცებელ არგუმენტად გამოიყენა.

ნამარხები, კიუვე და კატასტროფების იდეა

დარვინს თეორიის ჩამოყალიბებაში ნამარხი ფორმების შესწავლაც დაეხმარა. **განამარხებული ორგანიზმები** წარმოადგენენ გეოლოგიურ წარსულში არსებულ ორგანიზმთა ნაშთებს. განამარხებული მასალის უმეტესობა ნაპოვნია **დანალექ ქანებში**. ამ ქანების ფორმირება მოხდა ზღვების, ტბების და ჭაობების ფსკერზე დროის განმავლობაში დალექილი კვიშისა და შლამისგან. ახალი ფენები ძველ ფენებზე ილექებოდა. ახალი ფენების სიმძიმის შედეგად ქანები იწნებოდა. ერთმანეთზე დაწყობილ ქანებს სტრატონები დაარქვეს. დროთა განმავლობაში ეროზია შლის შედარებით ახალგაზრდა ზედაპირულ ქანებს და გამოაჩენს უფრო ძველს, მანამდე დაფარულ სტრატონს. ყოველი ფენის ქანში დაცულია ამ ქანის ფორმირების დროს დედამიწაზე მცხოვრები ორგანიზმების ნაშთები. სტრატონები გნსხვავდებიან მასში ასრებული ორგანიზმების ნაშთების მიხედვით (**სურათი 22.3**).

პალეონტოლოგია ანუ ნამარხი ნაშთების შესწავლა. ამ დარგის განვითარებაში დიდი წვლილი შეიტანა ფრანგმა მეცნიერმა ჟორჟ კიუვიემ (1769-1832). კიუვიე იკვლევდა პარიზის შემოგარენში არსებულ დანალექ ქანებს. მან შეამჩნია, რომ რაც უფრო ღრმადაა (უფრო ძველია) სტრატონი, მით მეტია სხვაობა ამ სტრატონის ნამარხ ფორმებსა და თანამედროვე ფორმებს შორის. ამავე დროს ერთი სტრატონიდან მეორეზე გადასვლისას იცვლება განამარხებულ ფორმათა შემადგენლობა (ძველი ფორმები ქრებიან და ჩნდებიან ახალი ფორმები). კიუვიემ დაასკვნა, რომ სიცოცხლის ფორმების გადაშენება ჩვეულებრივი მოვლენა იყო სიცოცხლის ისტორიაში. თუმცა კიუვიე ჯიუტად უარყოფდა ევოლუციური — თანდათანობითი ცვლილებების იდეას. ის ანვითარებდა **კატასტროფების** იდეას. ამ იდეის თანახმად სტრატონებს შორის ყოველი ზღვარი შეესაბამება კატასტროფას, ვთქვათ, წყალდიდობას ან პირიქით ამოშრობას. კატასტროფების შედეგად ბევრი იმდროინდელი სახეობა ნადგურდებოდა. კიუვიე თვლიდა, რომ კატასტროფები პერიოდულად მეორდებოდა და როგორც წესი გარკვეულ გეოგრაფიულ რეგიონს მოიცავდა. კატასტროფის შემდეგ მეზობელი რეგიონებიდან პოპულაციების მიგრაცია მიმდინარეობდა. მიგრირებული პოპულაციები დაცარიელებულ რეგიონს ხელმეორედ ითვისებდნენ.



▲ სურათი 22.2 დარვინის ცხოვრების და იდეების ისტორიული მნიშვნელობა. დროის შკალაზე ზევით გამოხატულია მუქი ლურჯი ხაზები. ლურჯი ხაზებით აღნიშნულია იმ ადამიანების სიცოცხლე, რომელთა იდეებმა გავლენა მოახდინეს თანამედროვე ევოლუციურ აზროვნებაზე.

გადაღალიზმის (თანდათანობითი პოტენციალის) თეორიები

სხვა მეცნიერები თავიანთ ნაშრომებში კატასტროფების თეორიის საპირისპირო **გადაღალიზმის** კონცეფციას ავითარებდნენ. ამ კონცეფციის მიხედვით დიდი ცვლილებები დროში განვლილი, ნელი, თანმიმდევრული ცვლილებების ჯამური ეფექტის შედეგია. 1795 წელს შოტლანდიელი გეოლოგი ჯეიმს ჰატონი (1726-1797) ამტკიცებდა, რომ დედამიწის გეოლოგიური მოვლენების ახსნა შესაძლებელია სამყაროში მუდმივად მიმდინარე პროცესებით, ანუ გრადუალური მექანიზმებით. ის თვლიდა, რომ გაშლილ ადგილებს (ველს) ქმნიან მდინარეები, რომლებიც მთებიდან მოედინებიან და შლიან ქანებს. იმ ფაქტს, რომ დანალექი ქანები ხშირად შეიცავს ზღვის ორგანიზმების ნამარხებს, ის ხსნიდა მდინარეების დინების გავლენით.

დარვინის თანამედროვემ გამოჩენილმა გეოლოგმა ჩარლს ლაიელმა (1797-1875) განავითარა ჰატონის იდეა. ლაიელის იდეა ცნობილია **უნიფორმიზმის** სახელით. ლაიელი თვლიდა, რომ დღესაც, იგივე მასშტაბით მიმდინარეობენ გეოლოგიური პროცესები, რასაც წარსულში ჰქონდათ ადგილი.

ჰატონის და ლაიელის იდეებმა დიდი გავლენა მოახდინეს დარვინზე. დარვინი ეთანხმებოდა იმ აზრს, რომ გეოლოგიური ცვლილებები ნელი, დროში განვლილი პროცესების შედეგია და არა უეცარი მოვლენების, დედამიწა კი, თეოლოგების შეხედულების საპირისპიროდ, 6 000 წელზე გაცილებით მეტი ასაკის უნდა იყოს. მოგვიანებით დარვინმა ივარაუდა, რომ ალბათ დროის დიდი პერიოდის განმავლობაში მომხდარი

ნელი და შეუმჩნეველი ცვლილების პროცესები ცოცხალ ორგანიზმებზეც მიმდინარეობდა. საბოლოოდ ასეთი ზემოქმედება იწვევს მნიშვნელოვან ცვლილებებს. თუმცა დარვინი არ იყო პირველი, ვინც გადაღალიზმის პრინციპებს ბიოლოგიურ ევოლუციას უკავშირებდა.

ლამარკის ევოლუციური თეორია

მეთვრამეტე საუკუნეში ზოგიერთი ნატურალისტი (დარვინის პაპის ერაზმ დარვინის ჩათვლით) თვლიდა, რომ ცოცხალი ორგანიზმები გარემოს ცვლილებებთან ერთად იცვლება. მაგრამ დარვინის მხოლოდ ერთმა წინამორბედმა წამოაყენა ცოცხალ ორგანიზმთა განვითარების სრული მოდელი. ეს იყო ფრანგი ბიოლოგი ჟან ბატისტ ლამარკი (1744-1829). სამწუხაროდ, დღეს ძირითადად ისლა ახსოვთ, რომ ლამარკს არასწორი შეხედულება ჰქონდა ევოლუციურ პროცესებზე. ამავე დროს ავინყდებათ, რომ მან პირველმა აღიარა ევოლუციის პროცესი. ის მიხვდა, რომ ევოლუციის პროცესით შეიძლება აიხსნას განამარხებულ ფორმათა ცვალებადობა და ორგანიზმის გარემოსთან ადაპტაცია. ლამარკმა თავისი თეორია 1809 წელს გამოაქვეყნა. ამავე წელს დაიბადა დარვინი. ლამარკი ადარებდა თანამედროვე სახეობებს განამარხებულ ფორმებს. მან აღმოაჩინა, რომ ნამარხი ნაშთები დანალექ ქანებში დალაგებულია ქრონოლოგიის მიხედვით - უფრო ძველიდან უფრო ახალგაზრდა ნამარხებამდე. ყველაზე ბოლო ფენას თანამედროვე სახეობის ნაშთები ქმნიან. ლამარკის დროს საყოველთაოდ მიღებული იყო ორი პრინციპი. ის მოვლენების ახსნისას ამ პრინციპებით ხელმძღვანელობდა.

► **სურათი 22.3** ნამარხი ნაშთები სტრატოგრაფიული მონაკვეთიდან. მდინარე კოლორადომ, დაახლოებით 2000 მ. სიღრმის, დიდი კანიონი წარმოქმნა. დანალექი ქანები გაშიშვლდა. ის სიცოცხლის ისტორიის წიგნის დიდ ფურცლებს მოგვაგონებს. ყოველ სტრატონში დაცულია განამარხებული ფორმები. ისინი დედამიწის შესაბამის გეოლოგიურ პერიოდში გავრცელებულ ორგანიზმთა ნაშთებს წარმოადგენენ. თესლოვანი გვიმრის ფოთლის (ზევით) ნამარხები არის მეჩხერი „ჰერმიტ შალე“ (Hermit Shale) ფენიდან (265 მილიონი წლის). ტრილობიტის ნამარხები (ქვევით) არის უფრო ღრმა „ბრაით ანგელ შალე“ (რიგპტ ნგელ შალე) ფენიდან (530 მილიონი წლის).



პირველი: ორგანოთა გამოყენება - გამოუყენლობის პრინციპი. ლამარკი თვლიდა, რომ სხეულის ის ნაწილები, რომლებსაც ცხოველი ინტენსიურად იყენებს, ძლიერდება და ზომაში იზრდება. ის ნაწილები კი, რომლებსაც ცხოველი არ იყენებს პირიქით დეგრადირდება. მაგალითად: ჟირაფს უხდებოდა ხის მაღალი ტოტებიდან ფოთლებით კვება. ამიტომ მუდმივად ჭიმავდა კისერს. ასეთი გამუდმებული ვარჯიშის შედეგად კისერი დაუგრძელდა.

მეორე პრინციპი არის შეძენილი ნიშან-თვისებათა მემკვიდრეობა. ლამარკი თვლიდა, რომ ორგანიზმის ინდივიდუალური განვითარების პერიოდში შეძენილი ნიშან-თვისებები შთამომავლობით გადაცემა. აქედან გამომდინარეობს, რომ ჟირაფებს კისერი დაუგრძელდა, ვინაიდან ისინი კისერს მთელი სიცოცხლის მანძილზე ავარჯიშებდნენ. ლამარკის შეხედულებით ორგანიზმები ასევე იცლებიან, ვინაიდან მათ აქვთ შინაგანი სწრაფვა გართულებისკენ. დარვინმა უარყო ლამარკის იდეა და მას ბუნებრივი გადარჩევის თეორია დაუპირისპირა. მაგრამ დარვინიც მიიჩნევდა, რომ ევოლუციის პროცესში ცვლილებები შეძენილი ნიშან-თვისებების მემკვიდრეობის გამო ხდება. თანამედროვე გენეტიკური გამოკვლევები უარყოფენ ამ აზრს; სადღეისოდ შეძენილ ნიშან-თვისებათა მემკვიდრეობით გადაცემის არცერთი არგუმენტი არ მოიპოვება. (სურათი 22.4).



▲ **სურათი 22.4** შეძენილი ნიშან-თვისებები მემკვიდრეობით არ გადაეცემა. ეს ჯუჯა (ბონზაი) ხე ძალიან პატარა იზრდება. ასეთი პატარა რომ გაიზარდოს მას მუდმივად აჭრიან ფესვების დაბოლოებასა და ტოტებს. მაგრამ ამ ჯუჯა ხის თესლს თუ დავთესავთ, ნორმალური ხე გაიზრდება.

ჯანცუცია 22.1 შიმტქმება

1. ამ თავში დასხელებულ მეცნიერთაგან რომელს მიაჩნდა, რომ სახეობები გეოლოგიურ დროში უცვლელია? რომელი მეცნიერი თვლიდა, რომ სახეობები დროთაგანმავლობაში იცვლებოდა?
2. რაში მდგომარეოს ლამარკის ევოლუციის თეორიის არსი? ახსენით მისი მნიშვნელობა.

ნაშტომში „სახეობათა“ წაბმ- შობა“ დატვირთვა ივანე, რომ სახეობები ბუნებრივი გადატრევის შედეგად იცვლებიან

მეცხრამეტე საუკუნის დასაწყისისთვის საზოგადო-
ბას სჯეროდა, რომ სახეობები შექმნის დროიდან უცვლე-
ლია. მართალია რამდენიმე ღრუბელი გამოჩნდა ამ რწმენის
ცაზე, მაგრამ არც ერთი არ გადაიზარდა ნამდვილ ქუხილში,
ძირითადად ცა კვლავ მონმენდილი რჩებოდა.

დატვირთვის გამოკვლევა

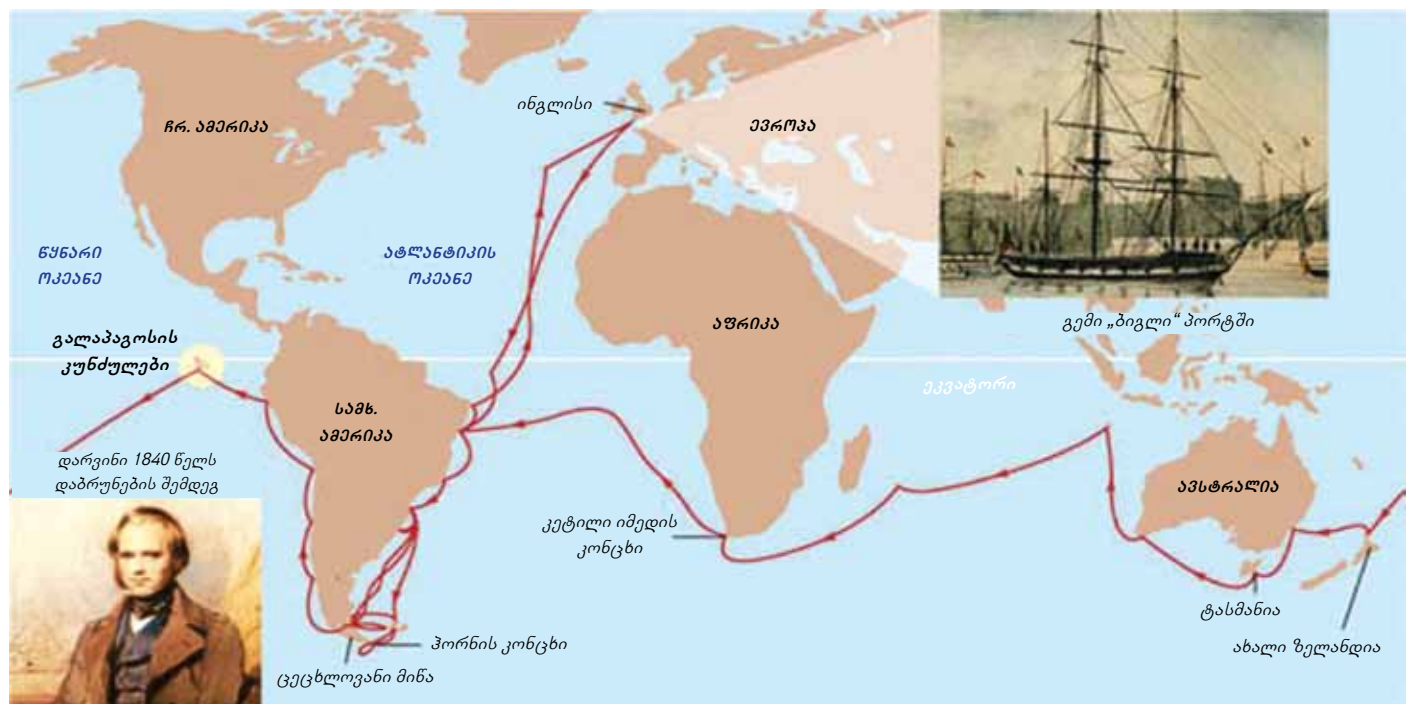
ჩარლზ დარვინი (1809-1882) დაიბადა დასავლეთ ინგლის-
ში, შრუზბერში. ბუნება მას ბავშვობიდან აინტერესებდა.
კითხულობდა წიგნებს ბუნებაზე, თევზაობდა, ნადირობდა
და მწერებს აგროვებდა. დარვინის მამა ცნობილი ექიმი იყო.
მას ვერ წარმოედგინა, რომ შვილი შეიძლება ნატურალისტი
გამხდარიყო. ამიტომ 16 წლის დარვინი გააგზავნეს ედინბურ-
გის უნივერსიტეტში მედიცინის შესასწავლად. მაგრამ დარ-
ვინისთვის მედიცინა მოსაბეზრებელი საგანი იყო. ანესტეზია
დარვინის დროს არ არსებობდა, ამგვარად ქირურგიაც მისთ-
ვის მიუღებელი იყო. ამიტომ მან ხარისხის გარეშე დატოვა
ედინბურგის უნივერსიტეტი და შევიდა კემბრიჯის უნივერ-

სიტეტში. დარვინმა გადაწყვიტა ღვთის მსახური გამხდარიყო.
მეცნიერების ბევრი დარგი იმდროინელ ინგლისში ეკლესიაში
ვითარდებოდა.

კემბრიჯში დარვინს მფარველობდა ბოტანიკის პროფესორი,
რევერენდ ჯონ ჰენსლო. დარვინს ბაკალავრის ხარისხი მიენიჭა.
შემდგომ ჰენსლომ ახალგაზრდა კურსდამთავრებულს რეკომენ-
დაცია გაუწია კაპიტან რობერტ ფიც-როისთან. ფიც-როი ამზა-
დებდა დედამიწის გარშემო სამოგზაუროდ საზღვაო ხომალდ
„ბიგლს“. დარვინი ეკუთვნოდა იმავე სოციალურ ფენას, რაც
ფიც-როი, იყო ახალგაზრდა და განათლებული. ის ყველა მხვრივ
ანყობდა ფიც-როის და ამიტომაც ეკიპაჟში ჩარიცხა.

მოგზაურობა „ბიგლით“

1831 წლის 27 დეკემბერს „ბიგლმა“ 22 წლის დარვინ-
თან ერთად ინგლისის სანაპირო დატოვა. ეკიპაჟის ძირითადი
მიზანი იყო სამხრეთი ამერიკის ნაკლებად შესწავლილი სანა-
პირო ზოლის რუკის შედგენა. სანამ მიმდინარეობდა სანაპირ-
ოს გეოგრაფიული შესწავლა, დარვინი ნაპირზე აკვირდებოდა
სამხრეთი ამერიკაში გავრცელებულ ათასობით მცენარეს და
ცხოველს, ამავე დროს კოლექციას აგროვებდა. მას საშუ-
ალეა მიეცა ჩატარებინა გამოკვლევა ისეთ განსხვავებულ
გარემოში, როგორიცაა ბრაზილიის ჯუნგლები, არგენტინის
პამპასების ბალახეულობით დაფარული ვრცელი ველები, ან-
ტარქტიდასთან ახლოს მდებარე გაუდაბნოებული კუნძულები
(ტიერა დელ ფუეგო) და ანდეზის მაღალი მთაგრებილები.
ყველა ამ ადგილებში ის მცენარეებისა და ცხოველების
ნაირგვარ ადაპტაციებს აკვირდებოდა. დარვინმა შეამჩნია,
რომ სამხრეთ ამერიკის ზომიერ კლიმატურ პირობებში მო-



▲ სურათი 22.5 მოგზაურობა „ბიგლით“

► **სურათი 22.6** ნისკარტის ფორმის ვარიაციები გალაპაგოსის მთიულებში. გალაპაგოსის კუნძულებზე დაახლოებით მთიულების 12-მდე ახლო მონათესავე სახეობა ბინადრობს, ზოგი მხოლოდ კონკრეტულ კუნძულებზე გვხვდება. ძალიან შთაბეჭდავია ნისკარტის ფორმებს შორის განსხვავება. ნისკარტის ფორმა სპეციფიკური საკვების მოპოვებასთანაა ადაპტირებული.



(ა) იკვებება კაქტუსებით კაქტუსის მინის მთიულას (*Geospiza scandens*) გრძელი ბასრი ნისკარტი ეხმარება მას კაქტუსის ყვავილების და რბილობის დანაკუნებასა და ჭამაში



(გ) იკვებება მარცვლებით დიდ მინის მთიულას (*Geospiza magnirostris*) აქვს ფართე ნისკარტი, რომელიც ადაპტირებულია მცენარეებიდან მინაზე ჩამოვარდნილი მარცვლების დასამსხვრევად



(ბ) იკვებება მწერებით მწვანე მაგალობელი მთიულა (*Certhidea olivacea*) იყენებს მის ვიწრო ბასრ ნისკარტს მწერების დასაჭერად

ბინადრე მცენარეები და ცხოველები უფრო ახლოს იდგნენ სამხრეთ ამერიკის ტროპიკებში გავრცელებულ სახეობებთან, ვიდრე ევროპის ზომიერი კლიმატის სახეობებთან. მეტიც, განამარხებული ფორმები, თუმცა ცხადად განსხვავდებოდნენ თანამედროვე ცხოველებისგან, იყვნენ ნამდვილად სამხრეთ ამერიკულნი. ისინი ძალიან ჰგავდნენ ამ კონტინენტზე გავრცელებულ ცოცხალ ორგანიზმებს.

მოგზაურობის განმავლობაში დარვინი გეოლოგიურ დაკვირვებასაც აწარმოებდა. „ბიგლით„ მოგზაურობისას დარვინს ზღვის დაავადებამ რამდენჯერმე შეუტია. მიუხედავად ამისა მან წაიკითხა ლაიელის „გეოლოგიის პრინციპები„. ლაიელის გავლენით დარვინმა ჩილეს სანაპირო ზოლში გამოიკვლია გეოლოგიური ცვლილებები. ეს ცვლილებები ძლიერმა მინისძვრამ გამოიწვია. დარვინმა შეამჩნია, რომ ჩილეს სანაპირო ზოლის რამდენიმე ფუტით აწევა რამდენჯერმე მოხდა. მან ნახა ოკეანის ორგანიზმები ანდების მთებში და დაასკვნა, რომ ნამარხების შემცველი კლდეები აქ ალიმარტნენ მინისძვრების მრავალი სერიის შედეგად. ამ დაკვირვებამ დიდი გავლენა მოახდინა მის შეხედულებათა ჩამოყალიბებაზე. მან დაინახა, რომ დედამიწის უცვლელობაზე და ახალგაზრდა ასაკზე არსებულ ტრადიციულ შეხედულებას ფაქტობრივი მასალა ეწინააღმდეგება. ამის შემდეგ დარვინმა ლაიელის შეხედულება, რომ დედამიწა მუდმივად იცვლებოდა გაიზიარა.

მოგზაურობის პერიოდში „ბიგლი„ გალაპაგოსზე შეჩერდა. დარვინის ინტერესი სახეობების გეოლოგიური გავრცელების მიმართ გააღრმავა გალაპაგოსის კუნძულების შესწავლამ. გალაპაგოსის არქიპელაგი გეოლოგიურად ახალგაზრდა, ვულკანური წარმოშობის კუნძულებია. ის ეკვატორთან, სამხრეთი ამერიკიდან დასავლეთით დაახლოებით 900 კილომეტრში,

მდებარეობს (**სურათი 22.5**). დარვინზე დიდი შთაბეჭდილება მოახდინა არქიპელაგზე გავრცელებულმა უცნაურმა ორგანიზმებმა. გალაპაგოსზე მან შეაგროვა ფრინველთა კოლექცია, რომელთა შორის იყო მთიულას რამდენიმე სახეობა. ეს სახეობები ძალიან ჰგავდნენ ერთმანეთს, მაგრამ მსგავსების მიუხედავად სხვადასხვა სახეობებს წარმოადგენდნენ. ზოგიერთი მათგანი მხოლოდ კონკრეტულ კუნძულზე სახლობდა, სხვები გავრცელებულები იყვნენ ორ ან მეტ მეზობლად მდებარე კუნძულზე. დარვინი თავადაც ვერ ხვდებოდა ამ დაკვირვების მნიშვნელობას, ვიდრე 1863 წელს არ დაბრუნდა ინგლისში. ინგლისში დარვინმაც და სხვა მეცნიერებმაც აღმოაჩინეს, რომ გალაპაგოსზე მობინადრე სახეობების უმეტესობა მსოფლიოში სხვაგან არსად არ გვხვდება. თუმცა ისინი კონტინენტზე მობინადრე სახეობებს ჩამოგავდა. დარვინმა ივარაუდა, რომ გალაპაგოსზე მობინადრე ორგანიზმები სამხრეთ ამერიკიდან იქ შემთხვევით მოხვდნენ და შემდეგ სხვადასხვა კუნძულებზე განსახლდნენ.

დარვინი ორგანიზმთა ადაპტაციებზე ამახვილებს ყურადღებას

დარვინმა თავიდან გადააფასა ყველაფერი, რაც ნახა მოგზაურობის დროს. გადაფასების შედეგად ის მიხვდა, რომ გარემოსადმი ადაპტაცია და ახალ სახეობათა წარმოქმნა ახლო მონათესავე პროცესებია. შესაძლებელია თუ არა ახალ სახეობათა ჩამოყალიბება წინაპარი სახეობებიდან განსხვავებულ გარემოსთან ადაპტაციების თანდათანობითი ჩამოყალიბების შედეგად? დარვინის მოგზაურობის შემდეგ მრავალი წელი გავიდა სანამ ბიოლოგები მივიდნენ დასკვნამდე, რომ

ზუსტად ეს მოხდა გალაპავოსის მთიულების შემთხვევაში. მთიულების ქცევა და ნისკარტის ფორმა ადაპტირებულია ამა თუ იმ კუნძულზე არსებულ საკვებთან (სურათი 22.6). დარვინს მიაჩნდა, რომ ადაპტაციის წარმოშობის ახსნით ევოლუციურ განვითარებასაც დაადგენდა.

1840 წლების დასაწყისში დარვინი მუშაობდა თავისი თეორიის ძირითად დებულებაზე - ბუნებრივ გადარჩევაზე როგორც ევოლუციის მთავარ მამოძრავებელ ფაქტორზე. მას თავისი იდეები ჯერ არ ჰქონდა გამოქვეყნებული. დარვინი ლონდონთან ახლოს დაუნში ცხოვრობდა. სუსტი ჯანმრთელობის გამო იშვიათად ტოვებდა მამულს. კარჩაკეტილი ცხოვრების მიუხედავად ის გარე სამყაროსგან არ იყო იზოლირებული. „ბიგლით“, მოგზაურობის დროს ის აგზავნიდა ინგლისში წერილებს და სხვადასხვა სახეობის ნიმუშებს. რის გამოც მეტად პოპულარული ნატურალისტი გახდა. დარვინს ინტენსიური მიმოწერა ჰქონდა მსოფლიოს გამოჩენილ ნატურალისტებთან. მას ხშირად სტუმრობდნენ ლაიელი, ჰენსლო და სხვები.

1844 წელს დარვინმა სახეობათა წარმოშობასა და ბუნებრივ გადარჩევაზე ვრცელი ნარკვევი დაწერა. მას არ უნდოდა თავისი თეორიის გამოქვეყნება, ვინაიდან იცოდა, რომ მისი თეორიის გამოქვეყნებას უარყოფითი რეაქცია მოჰყვებოდა. დარვინმა სთხოვა მეუღლეს გამოექვეყნებინა მისი ნაშრომის ნარკვევი, თუ ის უფრო სრულყოფილი ნაშრომის დამთავრებამდე მოკვდებოდა.

მართალია დარვინმა გადადო თავისი ნაშრომის გამოქვეყნება, მაგრამ ის აგრძელებდა თავისი თეორიის დამადასტურებელი არგუმენტების მოძიებას. ლაიელი თავად არ იზიარებდა ევოლუციის იდეას, მიუხედავად ამისა ურჩევდა დარვინს ნაშრომის გამოქვეყნებას, სანამ ვინმე სხვა არ მივიდოდა იგივე დასკვნამდე და არ გაასწრებდა მას.

1858 წლის ივნისში ლაიელის ვარაუდი გამართლდა. დარვინმა მიიღო ახალგაზრდა ბრიტანელი ნატურალისტის ალფრედ რასელ უოლესის (1823-1913) მანუსკრიპტი. უოლესი მუშაობდა მალაის არქიპელაგზე და განავითარა დარვინის იდეის მსგავსი ბუნებრივი გადარჩევის თეორია. უოლესი სთხოვდა დარვინს განეხილა მისი ნაშრომი და თუ ის იმსახურებდა გამოქვეყნებას გადაეცა ლაიელისთვის დასაბეჭდად. დარვინმა მისწერა ლაიელს: „თქვენი სიტყვები სრულიად გამართლდა..... მე არასდროს მინახია უფრო საოცარი თანხვედრა..... ასე რომ მთელი ჩემი პირველობა, რაოდენ დიდიც არ უნდა ყოფილიყო განადგურდა..“ 1858 წლის 1 ივლისს ლაიელმა და მისმა კოლეგებმა ლონდონის ლინეს საზოგადოებას წარუდგინეს უოლესის ნაშრომი, დარვინის გამოუქვეყნებელი ნაშრომის თეზისებთან ერთად. დარვინმა სწრაფად დაასრულა ნაშრომი „სახეობათა წარმოშობა“, და მომდევნო წელს გამოაქვეყნა. მართალია უოლესმა პირველმა წარადგინა გამოსაქვეყნებლად თავისი იდეა, მაგრამ ის თვლიდა, რომ დარვინმა ისე ღრმად განავითარა ბუნებრივი გადარჩევის თეორია, რომ პრიორიტეტი მას ეკუთვნის. უოლესი დარვინის დიდი თავყვანისმცემელი იყო.

10 წელი დასჭირდა იმას, რომ დარვინის წიგნში მოყვანილი არგუმენტების მეშვეობით ბიოლოგების დიდი ნაწილი ევოლუციურ განვითარებაში დარწმუნებულიყო. 10 წელიწადში ბიოლოგების უმრავლესობამ აღიარა, რომ სიცოცხლის

მრავალფეროვნება ორგანული სამყაროს ევოლუციის განვითარების შედეგია. დარვინმა წარმატებას მიაღწია. ბევრი დარვინამდელ ევოლუციონისტი ძირითადად იმიტომ დამარცხდა, რომ მათ არ ჰქონდათ ასეთი უხვი თვალსაჩინო მასალა და მყარი ლოგიკით შეიარაღებული არგუმენტები. დარვინის პირველ წიგნს მალე სხვა მნიშვნელოვანი ნაშრომიც მოჰყვა, კერძოდ კი ნაშრომი სქესობრივ გადარჩევაზე, რომელიც ბუნებრივი გადარჩევის ერთ-ერთ ნაირსახეობას წარმოადგენს. (იხილეთ თავი 23).

სახეობათა წარმოშობა

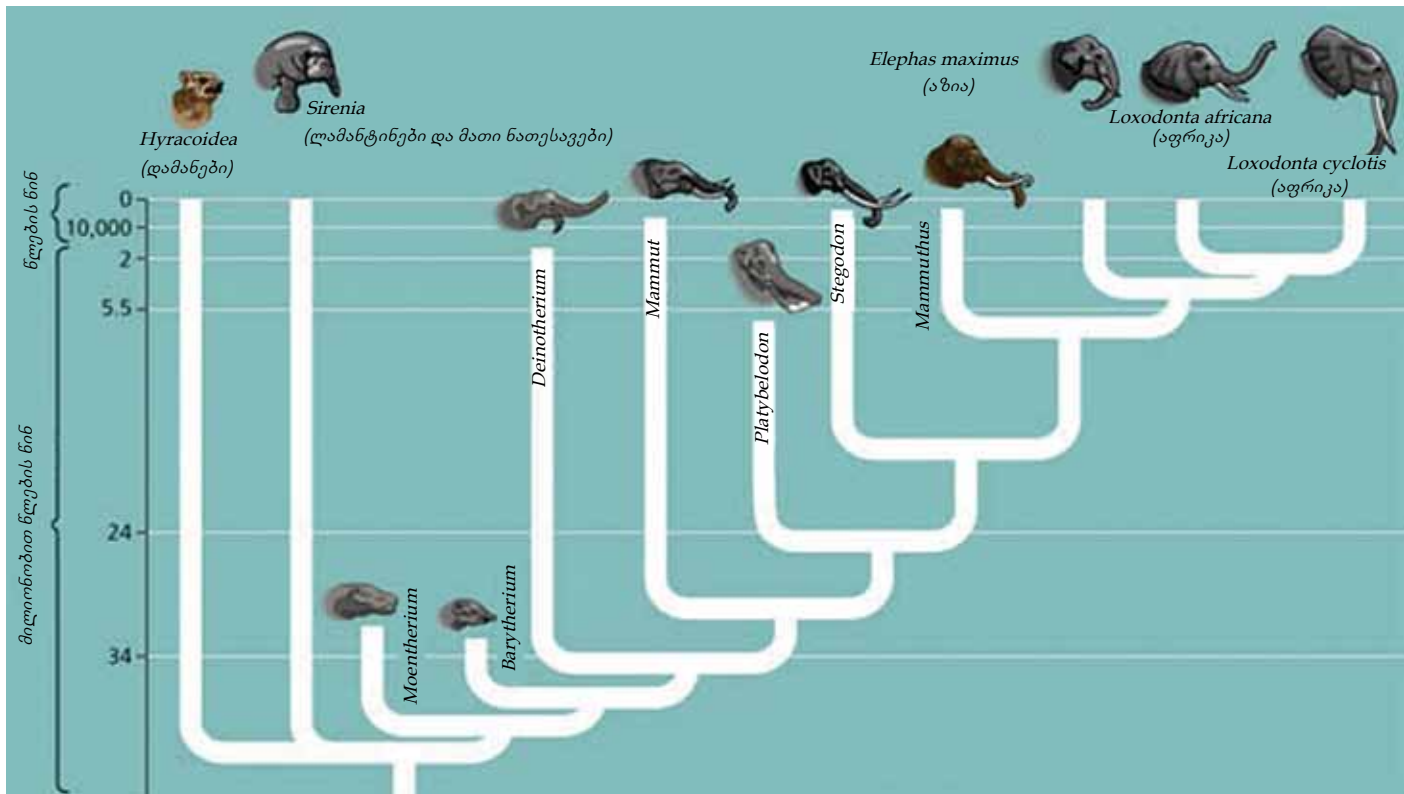
სახეობათა წარმოშობის თეორიაში დარვინი ორ მთავარ იდეას ავითარებდა: პირველი, ევოლუციით შესაძლებელია სიცოცხლის ერთიანობისა და მრავალფეროვნებას მიზეზის ახსნა, და მეორე, ადაპტაციური ევოლუციის მიზეზი არის ბუნებრივი გადარჩევა.

სახეშეცვლილი შთამომავლობა

სახეობათა წარმოშობის პირველ გამოცემაში დარვინს სიტყვა „ევოლუცია“ წიგნის დასარულამდე არ უხმარია. მის ნაცვლად ის ტერმინ „სახეშეცვლილი შთამომავლობა“ იყენებდა. ეს ფრაზა უკეთ აჯამებდა მის მოსაზრებებს სიცოცხლის შესახებ. დარვინი აღიქვამდა სიცოცხლის ერთიანობას. ის თვლიდა, რომ ყველა ორგანიზმი, დაწყებული უძველეს წარსულში მცხოვრები წინაპრებიდან მოყოლებული, თაობათა მანძილზე ერთმანეთს ენათესავება. მილიონობით წლების განმავლობაში წინაპართა შთამომავლები სხვადასხვა გარემოში ვრცელდებოდა. განსხვავებულ გარემოში მათ ნაირგვარი ცვლილებები და ადაპტაციები დაუფროვდათ. ეს ადაპტაციები მათ გადარჩენასა და კონკრეტულ გარემო პირობებთან შეგუებაში ეხმარებოდნენ.

დარვინის შეხედულებით სიცოცხლის ისტორია შეიძლება განტოტვილი ხეს შევადაროთ. საერთო ღერძიდან თავდაპირველად განშტოვდებიან მარტივი და უძველესი სახეობები, ტოტების კენწეროებზე კი რთული და შედარებით გვიან ჩამოყალიბებული ფორმები თავსდებიან. ამგვარად კენწეროები ამჟამად არსებულ ორგანიზმთა მრავალფეროვნებას ასახავს. ყოველი განშტოების ადგილი წარმოადგენს ყველა იმ ევოლუციური ხაზის წინაპარს, რომლებიც მოგვიანებით ამ წერტილიდან განტოტდნენ. ახლო მონათესავე სახეობები, როგორიცაა აზიური და აფრიკული სპილო, ძალიან გვანან ერთმანეთს. არც თუ ისე დიდი ხანია რაც ისინი საერთო წინაპრისგან განშტოვდნენ. სანამ განტოტვობდნენ ერთ შტოს ეკუთვნოდნენ. (სურათი 22.7). ძირითადად ევოლუციის განშტოებების კენწეროები ამომწყდარი ფორმებით ბოლოვდება. ოდესღაც არსებული ორგანიზმების დაახლოებით 99% დღეს გადაშენებულია. ასე რომ ამჟამად აღარ არსებობენ ცხოველები, რომლებიც შეავსებდნენ ცარიელ ადგილს სპილოსა და მის უახლოეს ნათესავს - ლამანტინსა და დამანს შორის. სადღეისოთ მხოლოდ ზოგიერთი განამარხებული გარდამავალი ფორმა არის ნაპოვნი.

ლინეს ხედავდა რომ ზოგი სახეობა ერთმანეთს უფრო მეტად ჩამოჰგავდა, ვიდრე სხვა სახეობებს. ის ამ მსგავსებას



▲ სურათი 22.7 სახეშეცვლილი შთამომავლობა. სპილოს ევოლუციური ხე ძირითადად განამარხებულ ფორმებს – მათ ანატომიას, სტრატონში გამოჩენის თანმიმდევრობასა და გეოგრაფიულ გავრცელებას ეფუძნება. გაითვალისწინეთ, რომ შთამომავალთა ტოტების უმეტესობა გადაშენებული ფორმებით სრულდება. მიუხედავად დიდი გარეგნული განსხვავებისა (დროის მასშტაბი სურათზე არ არის დაცული) ლამანტინი და დამანი სპილოს უახლოესი თანამედროვე ნათესავებია.

ევოლუციას არ უკავშირდება. ვინაიდან ლინეს ესმოდა რომ ორგანიზმთა დიდი მრავალფეროვნება შეიძლება იყოს ორგანიზმული „ჯგუფებად, რომლებშიც სხვა ჯგუფები შედიან“ (დარვინის გამოთქმა). ამიტომ დარვინის თეორია ძირითადად ემთხვევა ლინეს ტაქსონომიურ სქემას. დარვინი თვლიდა, რომ ლინეს იერარქია ასახავს სიცოცხლის ხის განშტოებათა ისტორიას. საერთო წინაპრიდან წარმოშობის გამო საგვარტომო ხის შემადგენელი ორგანიზმები სხვადასხვა ტაქსონომიურ დონეზე ერთმანეთს ენათესავებიან.

ბუნებრივი გადარჩევა და ადაპტაცია

როგორ მოქმედებს ბუნებრივი გადარჩევა და როგორ ხსნის ის ადაპტაციას? ევოლუციონისტმა ერნსტ მაიერმა დარვინის ბუნებრივი გადარჩევის თეორიის დასკვნა სამ დასკვნად დაყო. ეს დასკვნები ხუთ დაკვირვებას ეყრდნობა: *

დაკვირვება №1: თუ ინდივიდთა ყველა შთამომავალი სქესმნიფე ასაკს მიაღწევს და წარმატებულად გამრავლდა, მაშინ ნებისმიერი სახეობის პოპულაციის ზომა ექსპონენციურად გაიზრდება (**სურათი 22.8**).

დაკვირვება №2: სეზონური ფლუქტუაციების და გამრავ-

ლების დიდი პოტენციალის მიუხედავად, პოპულაციებს რაოდენობის შენარჩუნების ტენდენცია აქვთ.

დაკვირვება №3: საარსებო რესურსები ლიმიტირებულია.

დასკვნა №1: თუ პოპულაციაში ინდივიდთა რაოდენობა ჭარბობს, საარსებო პირობებს, მაშინ ინდივიდებს შორის იწყება ბრძოლა არსებობისათვის. რის გამოც ყოველ თაობაში მხოლოდ შთამომავალთა მცირე ნაწილი გადარჩება და მიაღწევს სქესმნიფე ასაკს.

დაკვირვება №4: პოპულაციის წევრები ნიშან-თვისებებით ძლიერ განსხვავდებიან; არ მოიპოვება ორი ერთმანეთის აბსოლუტურად მსგავსი ინდივიდი (**სურათი 22.9**).

დაკვირვება №5: წარმოქმნილ ვარიაციათა უმეტესობა მემკვიდრულია.

დასკვნა №2: ინდივიდების გადარჩენა ნაწილობრივ დამოკიდებულია მემკვიდრეობით თვისებებზე. ინდივიდებს, რომელთა მემკვიდრეობითი ნიშან-თვისებები მოცემულ გარემოში მათ გადარჩენისა და გამრავლების მეტ შანსს უტოვებენ, შეგუებულობის და გადარჩენის მეტი შანსი აქვთ. ისინი მეტ შთამომავლობას ტოვებენ, ვიდრე გარემოსთან ნაკლებად შეგუებული ინდივიდები.

დასკვნა №3: ინდივიდების გადარჩენის და გამრავლების არათანაბარ შესაძლებლობას პოპულაციის თანდათანობით ცვლილებამდე მივყავართ. თაობათა მანძილზე უგროვდებათ არსებობისათვის სასარგებლო ნიშან-თვისებები.

ბუნებრივი გადარჩევა შედეგია იმისა, რასაც ჩვენ არსე-

* მაიერის ნაშრომი, ბიოლოგიური აზროვნების ზრდა: მრავალფეროვნება, ევოლუცია და მემკვიდრეობა (კემბრიჯი, : ჰარვარდის უნივერსიტეტის გამომცემლობა, 1982).

► **სურათი 22.8**

ჭარბი შთამომავლობა.
ნეკერჩხლის ერთი
ტოტიც კი ათეულო-
ბით ფრთიან ნაყოფს
იკეთებს. თუ ხის ყველა
შთამომავალი გადარჩე-
ბა, ჩვენ მალე გარშე-
მორტყმულნი ვიქნებით
ნეკერჩხლის ტყით.



▲ **სურათი 22.9 ვარიაციები პოპულაციებში.** ჭიამაიების ამ პო-
პულაციის ნევრებში შეფერილობის და წერტილების განლაგების
ვარიაციები მემკვიდრეობითია, ამიტომ ბუნებრივ გადარჩევას
მასზე გავლენის მოხდენა შეუძლია.

ბოზისათვის ბრძოლას ვუწოდებთ. დარვინს ესმოდა იმ კავ-
შირის მნიშვნელობა, რომელიც არსებობს ბუნებრივ გადარ-
ჩევასა და ორგანიზმის „ჭარბი შთამომავლობის დატოვების“
უნარს შორის. ამ მოვლენის გაგებას ხელი შეუწყო 1798 წელს
გამოქვეყნებულმა ტომას მალთუსის ნარკვევმა. ეს ნარკვევი
პოპულაციის ზრდას ეხება. მალთუსი ადამიანების უბედურე-
ბების უმეტესობას, როგორცაა ავადმყოფობა, შიმშილი,
უსახლკარობა და ომი უკავშირებდა იმას, რომ ადამიანის
პოპულაციას უნარი აქვს უფრო ჩქარი ტემპით გაიზარდოს,
ვიდრე იზრდება საკვები ან სხვა საარსებო რესურსი. ჭარბი
შთამომავლობის დატოვების უნარი როგორც ჩანს ყველა სახ-
ეობისთვის არის დამახასიათებელი (იხ. სურ. 22.8).

ცხოველის მრავალი კვერცხიდან გამოჩეკილი ინდივიდ-
ებიდან, ან მცენარის მრავალრიცხოვანი თესლიდან მხოლოდ
უმნიშვნელო ნაწილი აღწევს სქესმწიფე ასაკს და ტოვებს
შთამომავლობას. დანარჩენი ნადგურდება: ან ჭამენ, ან შიმ-
შილით და ავადმყოფობით იღუპებიან, გამრავლებისას პარტ-
ნერს ვერ პოულობენ, ან სხვა მიზეზების გამო არ შეუძლიათ
შთამომავლობის დატოვება.

გარემო ფაქტორები ყოველ თაობაში ცხრილავენ ინდი-
ვიდებს, რომელთა მემკვიდრეობითი თვისებები მოცემულ
გარემო პირობებში წამგებიანია. ხანდახან გარემო პირობები
ისე იცვლება, რომ ზოგი ნიშან-თვისება სხვებთან შედარე-
ბით უფრო სასარგებლო ხდება. ორგანიზმები, რომელთა ნიშან-
თვისებები უკეთ ესადაგება კონკრეტულ გარემოს ტოვებენ
მეტ შთამომავლობას, ვიდრე ის ორგანიზმები რომლებთანაც
ასეთი თვისებები არ მოეპოვებათ. წარმატებული გამრავ-
ლების უნარი სასარგებლო თვისების მქონე ინდივიდებს აქვთ
და ამიტომ ეს თვისებები შემდეგ თაობაში უფრო ხშირად
გვხვდება. სასარგებლო, არსებობისათვის მნიშვნელოვანი
ნიშან-თვისებების სიხშირის ზრდას ყოველთვის აქვს ადგილი
პოპულაციაში, იმის მიუხედავად იცვლება თუ არა გარემო.

ეს ევოლუციური მოდიფიკაციის მნიშვნელოვანი რესურსია.

ხელოვნური გადარჩევა. დარვინის თეორიის მეორე ნა-
წილი მრავალ ყოფით მაგალითს ეყრდნობა. მაგალითად რო-
გორიცაა კულტურულ მცენარეთა და შინაურ ცხოველთა
სელექცია. ადამიანი ცვლის სხვა სახეობებს. მრავალი თაო-
ბის განმავლობაში მისთვის სასურვეელი ნიშან-თვისებების
მფლობელ ინდივიდებს ამრავლებს. ამ პროცესს **ხელოვნური
გადარჩევა** ეწოდება. ხელოვნური გადარჩევის შედეგად ადა-
მიანს მცენარეთა და ცხოველთა ახალ ჯიშები გამოყავს. შე-
ქმნილ ჯიშებს გარეგნულად ველურ ნიშან-თვისებებსაგან ძალიან
ცოტა რამ საერთო მოეპოვებათ (**სურათი 22.10**).

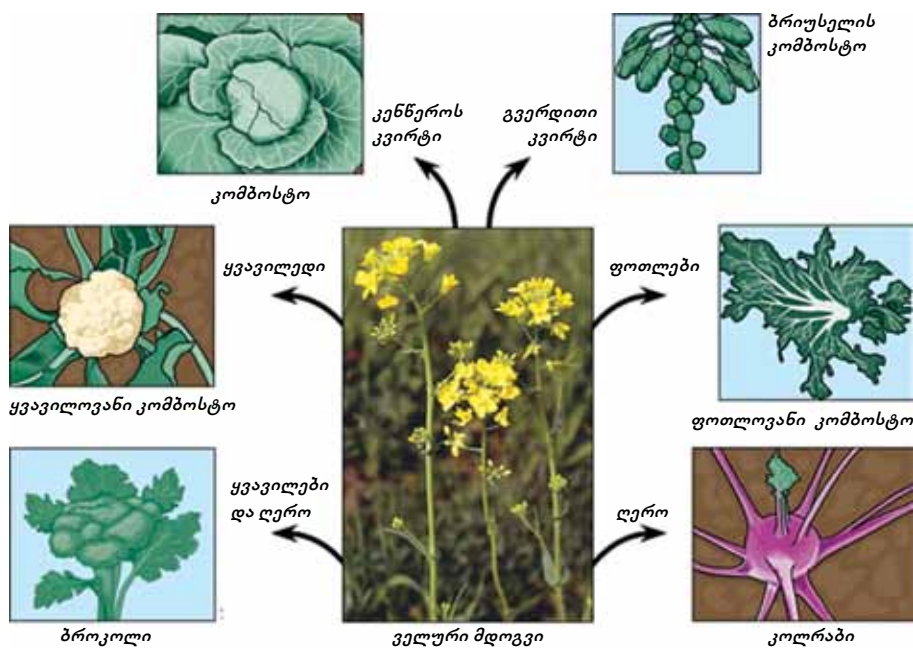
დარვინმა დაასკვნა, რომ თუ ხელოვნური გადარჩევა
შედარებით მოკლე დროში ასეთ შთამბეჭდავ შედეგს გვაძ-
ლევს, მაშინ, რასაც ჩვენ „ბუნებრივ გადარჩევას“ ვუწოდებთ,
მრავალი ასეული თაობის შემდეგ სახეობათა მნიშვნელო-
ვან ცვლილებას გამოიწვევს. მას ადგილი ექნება მაშინაც კი,
როცა ზოგი მემკვიდრეობითი ნიშან-თვისების უპირატესობა
სხვებთან შედარებით მცირეა. სასარგებლო თვისებები თან-
დათანობით გროვდება პოპულაციაში. ნაკლებ სასარგებლო
თვისებები კი ქრება.

ბუნებრივი გადარჩევის თეორიის შეჯამება. კიდევ ერთ-
ხელ გავიმეოროთ ბუნებრივი გადარჩევის მთავარი იდეა:

- ბუნებრივი გადარჩევა ინდივიდთა განსხვავებულ
წარმატებულ გამრავლებასთან არის დაკავშირე-
ბული (ინდივიდები გადარჩენისა და გამრავლების
განსხვავებულ უნარს ფლობენ). ეს შესაძლებლო-
ბა განსხვავებული გარემოს და განსხვავებული
მემკვიდრეული ნიშან-თვისების მქონე ინდივიდთა
ურთიერთკავშირზეა დამყარებული.
- დროთა განმავლობაში ბუნებრივი გადარჩევის მო-
ქმედებით ორგანიზმთა ადაპტაცია გარემოსთან
იზრდება (**სურათი 22.11**).
- თუ გარემო დროთა განმავლობაში იცვლება, ან
თუ სახეობის გარკვეული ჯგუფი ახალ გარემოში
განსახლდება, ბუნებრივი გადარჩევის მოქმედება
ახალ პირობებთან ადაპტაციაში აისახება. ზოგჯერ
ადაპტაციის შედეგად ახალი სახეობები წარმოიქ-
მნება.

სანამ გავაგრძელებდეთ, ავლნიშნოთ სამი მცირე, მაგრამ
მნიშვნელოვანი მომენტი, რომელიც ახასიათებს ევოლუციას
ბუნებრივი გადარჩევის გზით. პირველი: თუმცა ბუნებრივი
გადარჩევა ორგანიზმსა და საარსებო გარემოს შორის ურთ-
იერთკავშირის შედეგად მოქმედებს, მაგრამ ინდივიდი არ
ევოლუირებს. პოპულაცია არის ის ელემენტარული ერთეული,
რომელიც ევოლუირებს (ამჯერად ჩვენ შეგვიძლია განვმარტოთ
პოპულაცია როგორც ინდივიდთა ჯგუფი, რომელიც გარკვეულ
სახეობას მიეკუთვნება, ერთმანეთს თავისუფლად ეჯვარება და
კონკრეტულ ტერიტორიაზე — არეალში ბინადრობს).

ევოლუციას ვაფასებთ მემკვიდრეობითი ცვლილებებით,
რომლებიც ხდება პოპულაციაში წარმატებული თაობების გან-
მავლობაში. ამ დროს სასარგებლო მემკვიდრეობითი ნიშან-
თვისებების მქონე ინდივიდთა რიცხვი პოპულაციაში მატულობს.



▲ **სურათი 22.10 ხელოვნური გადარჩევა.** ერთი ველური სახეობიდან ხელოვნური გადარჩევის შედეგად კომბოსტოს ნაირგვარი ჯიში გამოყვანილი. მცენარის სხვადასხვა ნაწილის (ფორმა, ზომა) სელექციის შედეგად სელექციონერებმა მრავალი განსხვავებული ჯიში გამოიყვანეს.

მეორე მნიშვნელოვანი მომენტი არის ის, რომ ბუნებრივ გადარჩევას მხოლოდ მემკვიდრეობითი ნიშნების გაზრდა ან შემცირება შეუძლია, ანუ იმ ნიშნების, რომლებსაც ორგანიზმი შთამომავლობას გადასცემს. თუმცა თვით ორგანიზმიც სიცოცხლის მანძილზე გარემოს მოქმედებით შეიძლება შეიცვალოს. ინდივიდური განვითარებისას შექმნილი ნიშნები ზოგჯერ ადაპტური ხასიათისაა. სადღეისოთ არ არსებობს თვალსაჩინო არგუმენტი, რომ ასეთი შექმნილი ნიშნები შთა-

მომავლობას მემკვიდრეობით გადაეცეს. ჩვენ უნდა განვასხვავოთ ადაპტაცია, რომელსაც ორგანიზმი იძენს სიცოცხლის განმავლობაში და მემკვიდრეობითი ადაპტაცია, რომელიც ბუნებრივი გადარჩევის შედეგად მრავალი თაობის განმავლობაში გროვდება პოპულაციაში.

ასევე გახსოვდეთ, რომ გარემო ფაქტორები ადგილის და დროის მიხედვით იცვლებიან. ერთი და იგივე მემკვიდრეობითი ადაპტაცია ერთ შემთხვევაში შეიძლება სასარგებლო აღმოჩნდეს, სხვა შემთხვევაში კი შეიძლება საზიანო. ბუნებრივი გადარჩევა მუდმივად მოქმედებს, მაგრამ თუ რა ნიშნები გამოვლენ წინა პლანზე გარემოზე და მოკიდებული.

ასე რომ, დარვინს ჰქონდა წარმოდგენილი სიცოცხლე როგორც ამ მცირე თვისებების თანდათანობითი შეგროვების შედეგად მიღებული განვითარება. ის ამტკიცებდა, რომ დროის დიდი მონაკვეთის განმავლობაში და ცვალებად პირობებში მოქმედი ბუნებრივი გადარჩევა პასუხისმგებელია სიცოცხლის მთელ მრავალფეროვნებაზე.

ჯანცუცია 22.2 ზომიერება

1. აღწერეთ, დარვინის თეორიით, ევოლუცია ბუნებრივი გადარჩევის გზით, როგორ უკავშირდებიან ერთიმეორეს შემდეგი კონცეფციები: ჭარბი გამრავლება პოპულაციებში, ლიმიტირებული რესურსები და მემკვიდრეობითი ცვლილებები.
2. ახსენით, რატომ არ შეიძლება ვთქვათ კონკრეტულ ორგანიზმზე, რომ ის არ ევოლუირებს.

(ა) მალაიზიის ყვავილის მასგავსი ჩოქელა,



(ბ) აფრიკის ჯოხის მსგავსი ჩოქელა



◀ **სურათი 22.11 მიმიკრია (მიმსგავსება) როგორც ევოლუციური ადაპტაციის მაგალითი.** ჩოქელების (მწერების) მონათესავე სახეობებს განსხვავებული ზომა და შეფერილობა ახასიათებთ. განსხვავებული გარეგანი ნიშნები განსხვავებულ გარემოსადმი ადაპტაციის შედეგად ჩამოუყალიბდათ.

ღარჯინის თოტის მუშეობით მტავალიმოვლის ახსნა შიდა

მეცნიერები ეძებენ ბუნებრივი მოვლენების ასახსნელად მატერიალურ ახსნას (იხილეთ თავი 1). ევოლუციის თეორია ამ მოვლენების მრავალმხრივ და შემაჯამებელ ახსნას იძლევა. ის ბუნებრივი მოვლენებით ხსნის ბიოლოგიის მრავალი დარგის მრავალფეროვან მონაცემებს. მსგავსად ძირითადი მეცნიერული თეორიებისა, ღარჯინის ევოლუციის თეორიაც მუდმივად მონმდება მიმდინარე დაკვირვებებით და ექსპერიმენტების შედეგებით. მეცნიერებს აინტერესებთ, თუ რამდენად ეფექტურად ხსნის ის ამ დაკვირვებებს. იქნებ ღარჯინის თეორიის ყველაზე პირდაპირი მტკიცებას გვაძლევს მოქმედ ბუნებრივ გადარჩევაზე დაკვირვება.

ბუნებრივი გადარჩევა მოქმედებაში

ბუნებრივი გადარჩევა პოპულაციაში ევოლუციის მექანიზმია. მოდით ამის საილუსტრაციოდ ორი მაგალითი განვიხილოთ.

განსხვავებული მტაცებლობა და გუპის პოპულაციები

გუპი (ოცილია რეტიკულატა) არის მცირე ზომის მტკნარი წყლის თევზი. ალბათ გინახავთ. მოყვარულებს გუპიები აკვარიუმში ხშირად ჰყავთ. ჯონ ებდლერი (კალიფორნიის უნივერსიტეტი, სანტა ბარბარა) და დავიდ რეზნიკი (კალიფორნიის უნივერსიტეტი, რივერსაიდი) მრავალი წლის განმავლობაში იკვლევდნენ გუპის ბუნებრივ პოპულაციებს. ეს პოპულაციები კუნძულ ტრინიდადაზე, მდინარე არიპოს აუზის ტბორებში, ბინადრობენ.

მკვლევარები აკვირდებოდნენ პოპულაციებს შორის სხვაობას საშუალო ასაკში და ზომაში, რომლებშიც გუპი აღწევს სქესობრივ სიმწიფეს. სქესობრივი სიმწიფის ასაკისა და სხეულის ზომის ცვლილებები კორელაციაშია ყველაზე აქტიური მტაცებლის ტიპთან, რომელიც ამ პოპულაციის წევრებზე ნადირობს. ზოგ ტბორში ძირითადი მტაცებელი და გუპიების მთავარი მტერი არის პატარა თევზი გამბუზია. ის ძირითადად მოზარდებით იკვებება. სხვა ტბორებში ძირითადად ქარიყლაპია – ციხლიდა მტაცებობს. იგი გამბუზიაზე გაცილებით დიდი ზომისაა. ციხლიდა ძირითადად თავს ესხმის სქესმწიფე ინდივიდებს. იმ პოპულაციების გუპიები, რომლებზეც ნადირობს ქარიყლაპია — ციხლიდა უფრო ადრეულ ასაკში იწყებენ გამრავლებას და საშუალოდ უფრო მცირე ზომის აღწევენ სქესმწიფობას, ვიდრე გუპიები, რომლებზეც გამბუზია ნადირობს.

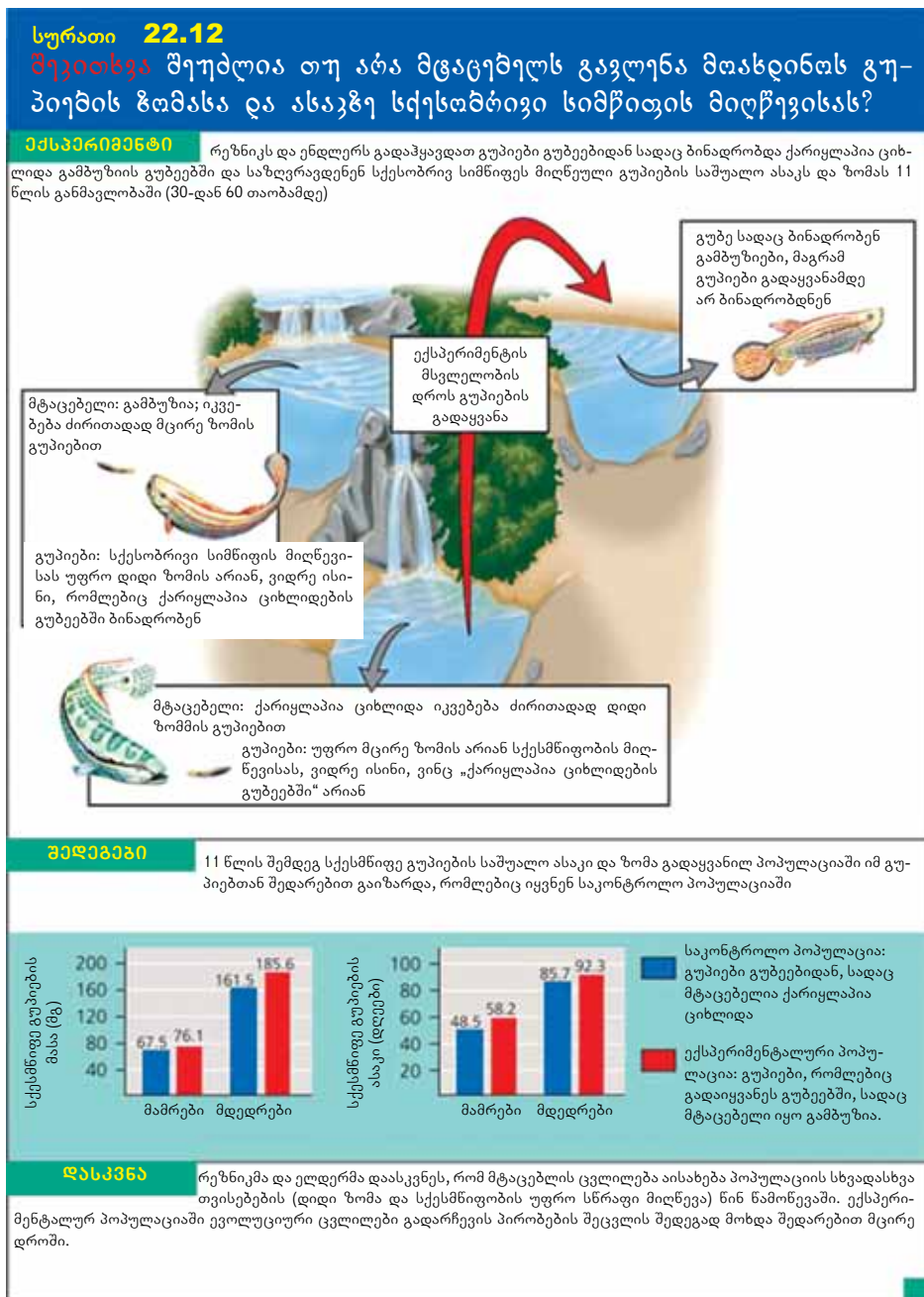
თუმცა მტაცებლის ტიპთან კორელაცია თვალსაჩინოა, არ არის აუცილებელი ის გუპიების ზომის და წონის მიზეზი და

შედეგი იყოს. მეცნიერებმა გადანეციტეს შეემონმებინათ დაკავშირებულია თუ არა თევზების ზომისა და სხეულის წონის სხვაობა ბუნებრივ გადარჩევასთან. რეზნიკმა და ენდლერმა გუპიები ქარიყლაპია — ციხლიდას გუბებშიდან იმ ტბორებში გაუშვეს, რომლებშიც გამბუზია სახლობდა. აღსანიშნავია, რომ გუპიები ამ ტბორებში საერთოდ არ ბინადრობდნენ (სურათი 22.12). მომდევნო თერთმეტი წლის განმავლობაში, მკვლევარები ადარებდნენ გაშვებული სქესმწიფე გუპიების ასაკსა და ზომას, საწყისი პოპულაციის გუპიების ასაკსა და ზომასთან. 30-60 თაობის შემდეგ გადაყვანილი სქესმწიფე გუპიების 14% უფრო მძიმე წონის აღმოჩნდა, ვიდრე ინდივიდები რომლებიც არ იყვნენ გადასმული. გადაყვანილ თევზებში სქესმწიფობის საშუალო ასაკიც გაიზარდა. ეს შედეგი ადასტურებს ჰიპოთეზას, რომ ბუნებრივი გადარჩევა იწვევს პოპულაციებში სხვაობას. დასკვნა: ვინაიდან ქარიყლაპია — ციხლიდები ძირითადად ნადირობენ სქესმწიფე ზრდასრულებზე, გადარჩენის და რამდენჯერმე გამრავლების ალბათობა გუპისთვის საკმაოდ დაბალია. გადარჩენის და გამრავლების მეტი ალბათობა ამდგვარ ტბორებში აქვთ იმ გუპიებს, რომელთა ზომა და ასაკიც სქესმწიფობის მიღწევის დროს მცირეა. ადრე მიღწეული სქესმწიფობის შემთხვევით ისინი ერთხელ მაინც ასწრებენ გამრავლებას, ვიდრე იმ ზომას მიაღწევენ, რომელზეც ქარიყლაპია — ციხლიდას უყვარს ნადირობა. გამბუზიან ტბორებში კი იმ გუპიებს რომლებიც ადრეულ ასაკში მტაცებელს გადაურჩნენ შეუძლიათ ნელა გაიზარდონ და პატარების რამდენიმე თაობა დატოვონ. რეზნიკის და ენდლერის კვლევა არის ერთი იმ მრავალი დაფიქსირებული მაგალითიდან რომელიც ხდება დროის შედარებით მცირე მონაკვეთში. ეს ცდა ბუნებრივ პირობებში განხორციელებული ევოლუციის მაგალითია.

სამკურნალო პრეპარატებისადმი რეზისტენტული აივ-ის (ადამიანის იმუნოდეფეციტის ვირუსის) ევოლუცია

იმის შემთხვევითი მაგალითი, რომ ბუნებრივი გადარჩევა მუდმივად მიმდინარეობს და უშუალო გავლენას ახდენს ჩვენს სიცოცხლეზე არის სამკურნალო პრეპარატებისადმი რეზისტენტული პათოგენურ ფორმათა ევოლუცია. ბაქტერიები და ვირუსები ძალიან სწრაფად მრავლდებიან. ამის შედეგად პოპულაციაში ძალიან სწრაფად იზრდება იმ ცვლილების სიხშირე, რომელიც ინდივიდებს გარკვეული პრეპარატის მიმართ რეზისტენტულობას სძენენ.

განვიხილოთ აივ ვირუსის მაგალითი, რომელიც იწვევს შიდს (იხილეთ თავი 18 და თავი 43). მკვლევარებმა დაავადების აღსაკვეთად მრავალი სახის სამკურნალო პრეპარატი შექმნეს. მაგრამ ამ წამლების გამოყენების შედეგად ხდება წამლის მიმართ მდგრადი ვირუსების გადარჩევა. მკურნალობის დასაწყისში ვირუსებს შორის შეიძლება შემთხვევით აღმოჩნდეს კონკრეტული წამლის მიმართ რამდენიმე მდგრადი ვირუსი. ვირუსები, რომლებიც მკურნალობის დასაწყისში პრეპარატს გადაურჩებიან, წამლისადმი რეზისტენტობის გენებს

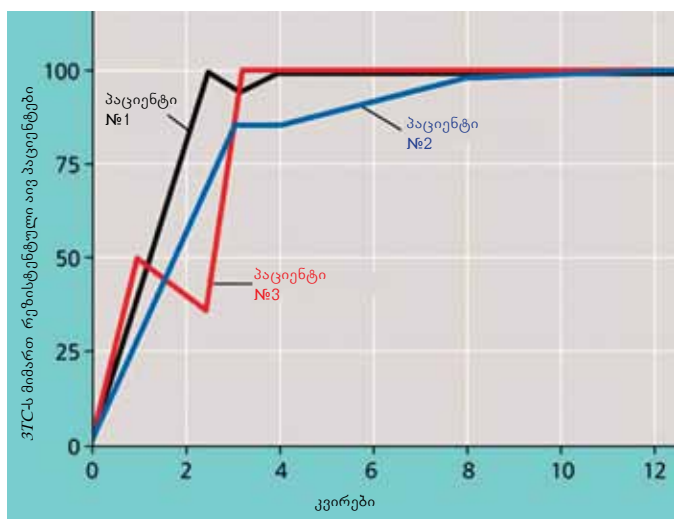


თავის შთამომავლობას გადაცემენ ამგვარად წამლის მიმართ
 მდგრადი ვირუსების რაოდენობა სწრაფად იზრდება.

22.13 სურათზე ნაჩვენებია აივ-ის ევოლუცია, რომელიც
 პრეპარატ 3TC-ს მიმართ რეზისტენტულია. მეცნიერებმა შე-
 ქმნეს ისეთი 3TC პრეპარატი, რომელიც რევერსიულ (პირუ-
 კუ) ტრანსკრიპტაზაზე ზემოქმედებს. ადამიანის მასპინძელ
 უჯრედში ვირუსის ენზიმით აივ-ის რნმ გენომიდან დნმ-ის
 ასლი წარმოიქმნება (იხილეთ სურათი 18.10). ვინაიდან 3TC
 მოლეკულა C (ციტოზინი) ნუკლეოტიდის ზომისაა, აივ-ის
 რევერსიული ტრანსკრიპტაზა დნმ-ის სინთეზისას ციტოზი-
 ნის ნაცვლად ჯაჭვში 3TC მოლეკულების ჩართვას ახდენს.

ჰომოლოგია, მითოგენეზი და ნამატხების ზეგავლენა

ახლა განვიხილოთ ორი მაგალითი მონაშთის, რომ ბუნე-
 ბრივ გადარჩევის საკმაოდ სწრაფად შეუძლია შედეგის მოცე-
 მა. ჩვენს შემთხვევაში მკვლევარების შემდეგი თაობაც კი არ
 გახდა საჭირო შედეგის მოსაპოვებლად. უნდა ვთქვათ, რომ
 დარვინის თეორია ერთიანად ხსნის ანატომიურ, ემბრიოლო-
 გიურ, მოლეკულურ, ბიოგეოგრაფიულ და პალეონტოლოგიურ
 დაკვირვებებს.



▲ **სურათი 22.13** აივ-ში წამლის რეზისტენტულობის ევოლუცია. როცა პაციენტებს ანტი აივ პრეპარატ - 3TC პრეპარატით მკურნალობენ მათში წამლის მიმართ რეზისტენტული ვირუსები უფრო ჩქარა მრავლდებიან. რამდენიმე კვირაში პოპულაციაში 3TC-ს მიმართ რეზისტენტული ვირუსის რაოდენობა 100% -ს აღწევს.

ჰომოლოგია

დარვინის კონცეფციას სახეშეცვლილი შთამომავლობის შესახებ შეუძლია ახსნას, თუ რატომ ჰგვანან გარკვეული ნიშნები მონათესავე სახეობებში, მიუხედავად იმისა, რომ ამ ნიშნებს შეიძლება განსხვავებული ფუნქციები ჰქონდეთ. ასეთი მსგავსება საერთო წინაპრისგან წარმოშობის შედეგია. ის ცნობილია **ჰომოლოგიის** სახელით. **ანატომიური ჰომოლოგიები.** შედარებით ანატომიაში მოპოვებული აღმოჩენებით დასტურდება რომ ევოლუცია გარდაქმნის პროცესს წარმოადგენს. ეს ჩანს სახეობების სხეულის ნაწილების შედარებით. ყველა ძუძუმწოვარის კიდურს: კატის, ვეშაპის, ღამურას და ადამიანის ჩათვლით, მხრის ძვლების მსგავსი აგებულება გააჩნია. ამავე დროს ამ კიდურებს შეიძლება ძალიან განსხვავებული ფუნქციები ჰქონდეთ: — სახტომი, სასიარულო, საცურაო და საფრენი (**სურათი 22.14**). ასეთი ანატომიური მსგავსება არ იქნებოდა, ყოველ სახეობაში კიდური რომ დამოუკიდებლად და ხელახლა განვითარებულიყო. სხვადასხვა ძუძუმწოვრის ხელი, წინა ფეხი, ლასტი და ფრთა **ჰომოლოგიური სტრუქტურებია**, ისინი იმ სტრუქტურის ვარიაციებს წარმოადგენენ, რომელიც მათ საერთო წინაპარს ჰქონდა.

შედარებითი ემბრიოლოგია ცხოველების განვითარების ადრეული სტადიების ურთიერთ შედარებას ახდენს. შედარებითი ემბრიოლოგიის გამოყენებით ვხვდებით იმ დამატებით ანატომიურ ჰომოლოგიებს, რომლებიც ზრდასრულ ორგანიზმში აღარ ჩანს. მაგალითად, ყველა ხერხემლიანის ემბრიონს განვითარების რომელიმე ეტაპზე აქვს ანუსის პოსტერიული კუდი, ასევე აქვს ფარინგული (ხახის) ჯიბაკები. ეს ემბრიონული სტრუქტურები ვითარდებიან ძალიან განსხვავებული ფუნქციების მქონე ჰომოლოგიურ სტრუქტურებად.

ამის მაგალითია ლაყურები თევზში და ყურის ან ხახის ნაწილები ადამიანში.

ჰომოლოგიური სტრუქტურებიდან ყველაზე დამაინტრიგებელია ზოგი რუდიმენტული ორგანო. რუდიმენტული ორგანო არის იმ სტრუქტურის ნარჩენი, რომელიც წინაპარ ორგანიზმში მნიშვნელოვან ფუნქციებს ასრულებდა. მაგალითად, ზოგი გველის ჩონჩხის დათვალიერებისას შეიძლება დავინახოთ მენჯის და კიდურის ძვლების ნარჩენები. ეს იმის მაჩვენებელია, რომ გველის წინაპარს სიარული შეეძლო.

ვინაიდან გველს კიდურები სულ არ სჭირდება, ბუნებრივმა გადარჩევა უპირატესობა მიანიჭა გველის იმ წინაპრებს, რომელთა კიდურები თაობებში თანდათანობით პატარავდებოდა. გველი რომ თავიდანვე გამოყოფილიყო სხვა ხერხემლიანი ცხოველებისგან, მის ჩონჩხში ამ რუდიმენტურ სტრუქტურებს ვერ ვნახავდით.

ვინაიდან ევოლუციის შედეგად მხოლოდ არსებული სტრუქტურების და ფუნქციების მოდიფიცირება ხდება, ის ხშირად გვაძლევს არასრულყოფილ შედეგს. მაგალითად: ადამიანის მუხლის სახსარი და ხერხემალი განვითარდა იმ წინაპარი სტრუქტურებიდან, რომლებიც ხელს უწყობდნენ ოთხ ფეხზე სიარულს. ამიტომ თითქმის ყველა ადამიანს სიბერეში აწუხებს მუხლის ან ხერხემლის პრობლემები. ეს სტრუქტურები თავიდანვე რომ ზემართული სიარულისთვის განვითარებულიყვნენ, ასეთი მალფუქციადები არ იქნებოდნენ. ანატომიური გარდაქმნა, რომელმაც ხელი შეუწყო ჩვენი წინაპრების ზემართულ სიარულს, ნაწილობრივ გამონეული იყო ჩვენი ევოლუციის მიმდინარეობით.

მოლეკულური ჰომოლოგიები. ბიოლოგები ორგანიზმებს შორის მსგავსებას მოლეკულურ დონეზეც აფიქსირებენ. ყველა ცოცხალ ორგანიზმს მსგავსი გენეტიკური აპარატი (**დნმ** და **რნმ**) და უნივერსალური გენეტიკური კოდი გააჩნია (იხილეთ თავი 17).

რადგანაც გენეტიკური კოდი ყველა ორგანიზმისთვის საერთოა, ესე იგი ყველა არსებული სახეობა ერთი საერთო წინაპრის შთამომავალია. მოლეკულური ჰომოლოგიები უნივერსალურ კოდზე უკეთესად აჩვენებენ ორგანიზმების მსგავსებას. ორგანიზმები განსხვავდებიან, თუმცა ადამიანებს და ბაქტერიებს შორეული საერთო წინაპრისგან მიღებული ბევრი საერთო გენი აქვთ. ადამიანის და ვეშაპის წინა კიდურების მსგავსად, ეს გენებიც ხშირად სხვადასხვა ფუნქციას ასრულებენ.

ჰომოლოგიები და სიცოცხლის ხე. დარვინის სიცოცხლის ხის ევოლუციურ კონცეფციას შეუძლია ჰომოლოგიების ახსნა. ზოგი ჰომოლოგია, მაგალითად გენეტიკური კოდი, ყველა სახეობისთვის საერთოა, ვინაიდან ის მეტად შორეულ წინაპარს გააჩნდა. შედარებით გვიანი ჰომოლოგიები, საერთოა ხის უფრო მცირე განშტოებებისთვის. მაგალითად, ყველა ტეტრაპოდა (ოთხფეხიანი, ბერძნულიდან ტეტრა — ოთხი პოდა — ფეხი) — შეადგენს ხერხემლიანების ტოტს, რომელიც შედგება ამფიბიებისგან, რეპტილიებისგან (ფრინველების ჩათვლით) და ძუძუმწოვრებისგან. მათ აქვთ მსგავსი ხუთ-თითიანი კიდური (კიდური გამოსახლია 22.14 სურათზე). ასე რომ ჰომოლოგიები შეიძლება წარმოვიდგინოთ შრეებიან სქემად. უფრო ღრმა შრე საერთოა მთელი სიცოცხლისთვის, იმ ჰომოლოგიებს,

რომლებიც მსხვილი ჯგუფებისთვის საერთოა, უფრო მცირე ჯგუფებში სხვა ჰომოლოგიებიც ემატება. მრავალშრიანი სქემა შეესაბამება სიცოცხლის საერთო წინაპრისგან განვითარების და გამრავალფეროვნების სქემას.

სახეობებს შორის ანატომიური მსგავსება აისახება მათ მოლეკულებში — გენებში (ღმ) და გენის მოქმედების პროდუქტში (ცილები). **22.16 სურათზე** გამოსახულია ადამიანის ჰემოგლობინის (ცილა რომელიც ჟანგბადის ტრანპორტირებას ახორციელებს) შედარება სხვა ხერხემლიანების ჰემოგლობინთან კერძოდ კი ჰემოგლობინის შემადგენელი ამინომჟავების თანმიმდევრობასთან. შედეგები გვაჩვენებს ევოლუციური ნათესაური კავშირების იგივე სქემას, როგორსაც ვიღებთ სხვა ცილების შედარებისას, ან შედარებით ანატომიაზე დაფუძნებული ნათესაური კავშირების შეფასების დროს.

დარვინისტული შეხედულებებიდან გამომდინარე, შეიძლება ვივარაუდოთ რომ მონათესავე ორგანიზმების ჯგუფებში ჰომოლოგიური ნიშნები მსგავსად ევოლუირებენ.

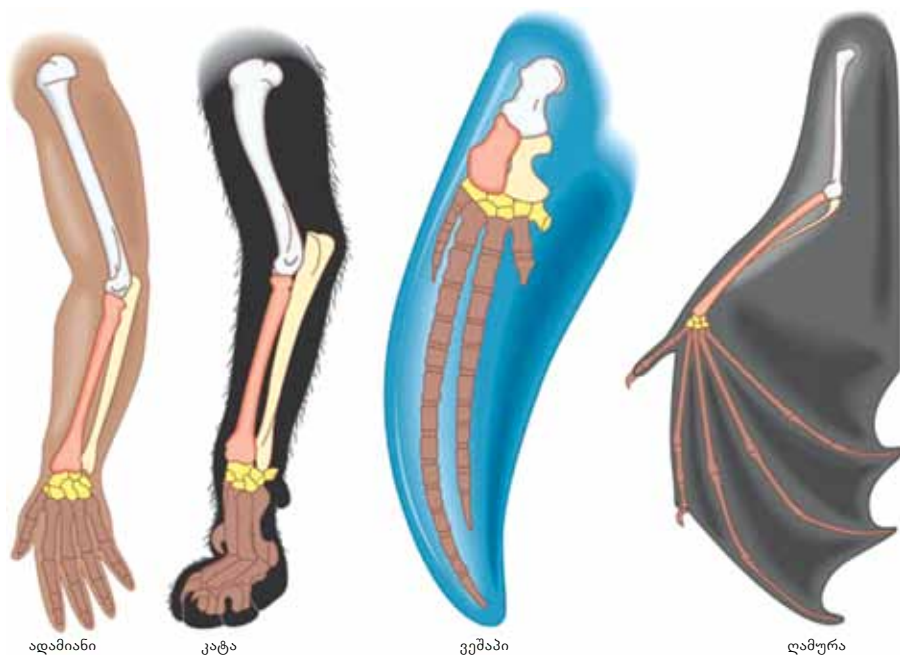
ბიოგეოგრაფია

სახეობების გეოგრაფიულ გავრცელებას **ბიოგეოგრაფია** იკვლევს. დარვინის დაკვირვება სახეობების გეოგრაფიულ გავრცელებაზე წარმოადგენს ევოლუციის ისტორიის მნიშვნელოვან ნაწილს. ახლო მონათესავე სახეობები ნაპოვნია ერთ და იგივე გეოგრაფიულ რეგიონში. სხვადასხვა გეოგრაფიულ რეგიონებში მსგავსი ეკოლოგიური ნიშები კი სხვადასხვა სახეობებით არის დაკავებული (თუმცა ზოგი ეს სახეობა ძალიან ჰგავს ერთმანეთს).

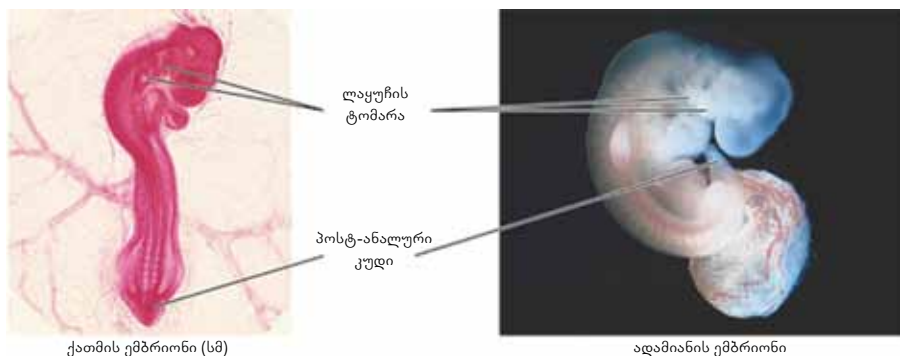
ავსტრალია ძუძუმწოვრების ერთი ჯგუფის — ჩანთოსნების სამოსახლოა. ჩანთოსნები განცალკევებულია დედამიწის დანარჩენ ნაწილში გავრცელებულ ძუძუმწოვართა სხვა ჯგუფისგან — პლაცენტაანებისგან. (პლაცენტაანები ემბრიონულ განვითარებას საშვილოსნოში გადიან, ჩანთოსნები კი ემბრიონის სტადიაზე იზადებიან და განვითარებას დედის მუცლის ნაკეცში — ჩანთაში ასრულებენ). ზოგიერთი ავსტრალიური ჩანთოსანი გარეგნულად ძალიან ჰგავს პლაცენტაანს, მსგავსი ადაპტაციებიც გააჩნია. მაგალითად ტყის ბინადარი ჩანთოსანი — ავსტრალიური მფრინავი ციყვი ერთი იერით ჩამოგავს პლაცენტაან მფრინავ ციყვს. პლაცენტაანი მფრინავი ციყვები ჩრდილოეთი ამერიკის ტყეებში ბინადრობენ (**სურათი 22.17**). მაგრამ ავსტრალიურ

ჩანთოსან მფრინავ ციყვს მოეპოვება ბევრი სხვა ნიშანი, რომლებიც მას პლაცენტაანი მფრინავი ციყვისგან განასხვავებს. ის გაცილებით უფრო ახლოს დგას კენგურუსთან და სხვა ავსტრალიურ ჩანთოსნებთან, ვიდრე სხვა პლაცენტაან მფრინავ ციყვებთან ან სხვა პლაცენტაანებთან. დარვინის თეორიით ეს მოვლენა ადვილად იხსნება.

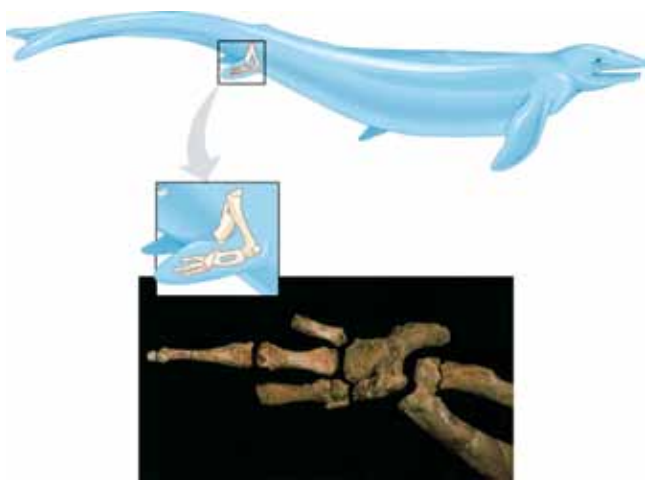
მართალია ეს ორი ძუძუმწოვარი მსგავს გარემოსთან მსგავსად არის ადაპტირებული, მაგრამ ისინი სხვადასხვა წინაპრისგან დამოუკიდებლად განვითარდნენ. ავსტრალიური მფრინავი ციყვი არის ჩანთოსანი, არა იმიტომ, რომ ჩან-



▲ სურათი 22.15 ხერხემლიანთა ჩანასახების ანატომიური მსგავსება. ყველა ხერხემლიანის ემბრიონს, ემბრიონული განვითარების გარკვეულ სტადიაზე აქვს ანუსის პოსტერიული კუდი და სალახუჩე ჯიბაკები. ემბრიონების ასეთი მსგავსება აიხნება იმით, რომ ყველა ხერხემლიანს საერთო წინაპარი ჰყავდა.



▲ სურათი 22.14 ძუძუმწოვრების წინა კიდურები: ჰომოლოგიური სტრუქტურები. მართალია კიდურები ადაპტირებულია სხვადასხვა ფუნქციის შესასრულებლად, მაგრამ ყველა ძუძუმწოვრის წინა კიდური წარმოიქმნა ერთი და იგივე საბაზო ჩონჩხის ელემენტებიდან: ერთი დიდი ძვლიდან (რუხი ფერი) რომელიც მიმაგრებულია ორ უფრო მცირე ძვალზე (მუქი და ღია წარწევისფერი) ეს ძვლები თავის მხრივ დაკავშირებულია რამდენიმე მცირე ძვალზე (ყვითელი), ისინი კი დაკავშირებულია 5 თითთან ან ფალანგებთან (ყავისფერი).



▲ სურათი 22.18. გარდამავალი ნამარხი, ფორმა რომელიც აკავშირებს წარსულსა და თანამედროვეობას.

იმ ჰიპოთეზიდან, რომ ვეშაპები განვითარდნენ ხმელეთზე მობინადრე წინაპრებისგან გამომდინარეობს, რომ ვეშაპის წინაპარი ოთხკიდურიანი უნდა ყოფილიყო. ეგვიპტეში და პაკისტანში გათხრების დროს პალეონტოლოგებმა შეძლეს გადაშენებული ვეშაპების იდენტიფიკაცია. ამ ვეშაპებს ჰქონდათ უკანა კიდურები. აქ ნაჩვენებია ვეშაპის ერთ-ერთი წინაპრის ბაზილოზავრის კიდურების ძვლები. პალეონტოლოგებმა სხვა განამარხებული ვეშაპთა ნაშთებიც იპოვეს, რომლებიც ჰქონდათ უფრო დიდი ან უფრო მცირე ზომის კიდურები. ყველა ეს ცხოველი იმ წინაპარი ცხოველის შთამომავალი და ნათესავი იყო, რომელიც დროის მხოლოდ რაღაც ნაწილს წყალში ატარებდა.

გარდამავალი განამარხებული ფორმა პალეონტოლოგების მიერ აღმოჩენილი. ისინი გადაშენებულ ორგანიზმებს თანამედროვე სახეობებთან აკავშირებენ. მაგალითად, ნამარხების შესწავლისას მკვლევარებმა მიაგნეს იმის დამამტკიცებელ მასალას, რომ ფრინველები დინოზავრების ერთ-ერთი ტოტის შთამომავლებია. ისეთი ვეშაპის ნამარხი ნაშთებს მიაკვლიეს, რომლებიც წყლის ძუძუმწოვრებს მათ ხმელეთის წინაპრებთან აერთიანებს (სურათი 22.18).

ბიოლოგიაში დარვინის თეორიამ დროთა გამოცდას გაუძლო. ის სარწმუნოა, ვინაიდან ხსნის მრავალ განსხვავებულ დაკვირვებას: ანატომიურ და მოლეკულურ ჰომოლოგიებს, რომლებიც აერთიანებენ თვისებებს სივრცესა (ბიოგეოგრაფია) და დროში (ნამარხები). ბუნებრივი გადარჩევის შეიძლება ავხსნათ ნათესაურად დაცილებულ სახეობებში მსგავსი ადაპტაციების დამოუკიდებელად განვითარება. მაგალითად: ჩანთოსანი მფრინავი ციყვი და მფრინავი ციყვი.

მაშ რა ატაა სატყმუნო დარვინის მქედულბებში?

ზოგი ადამიანი უარყოფს დარვინის შეხედულებას სიცოცხლეზე და ამბობს რომ ეს „მხოლოდ თეორია არის“, თუმცა როგორც ჩვენ ვნახეთ, დარვინის თეორია უამრავ მონაცემებს ხსნის, ბუნებრივი გადარჩევის შედეგი კი შეიძლება ბუნებაში ვნახოთ.

მაშინ რა არის სპეკულაციური ევოლუციაში? მეცნიერებაში ტერმინი „თეორია“ სრულებით განსხვავებული მნიშ-

ვნელობით იხმარება. ყოველდღიური ცხოვრებაში კი სხვა მნიშვნელობით ხმარობენ მას. სალაპარაკო ენაში თეორიას იგივე მნიშვნელობა აქვს, რაც მეცნიერებაში აქვს ჰიპოთეზას. მეცნიერებაში კი თეორია უფრო მრავლის მომცველია, ვიდრე ჰიპოთეზა. თეორია, მაგალითად ნიუტონის მიზიდულობის თეორია, ან დარვინის თეორია ევოლუციაზე ბუნებრივი გადარჩევის გზით, ეყრდნობა მრავალ დაკვირვებას და მონაცემს, ის ცდილობს ახსნას და შეაერთოს უამრავი სხვადასხვა ფენომენი. ასეთ კომპლექსურ თეორიებს ფართოდ არ აღიარებენ, სანამ ისინი მრავალფეროვანი ექსპერიმენტებით და დამატებითი დაკვირვებებით შემოწმების გრძელ გზას არ გაივლიან (იხილეთ თავი 10).

როგორც შემდეგი 3 თავის წაკითხვისას ვნახავთ, უამრავი მონაცემი ნამდვილად ადასტურებს თეორიას: ევოლუცია ბუნებრივი გადარჩევის გზით.

მეცნიერების სკეპტიციზმი, (მეცნიერები აგრძელებენ ამ თეორიის მართებულობის შემოწმებას) დარვინის იდეებს დოგმებად გადაქცევისგან იცავს. მაგალითად, მრავალ ევოლუციონისტს ებადება კითხვა, არის თუ არა ბუნებრივი გადარჩევა ევოლუციის ის ერთადერთი მექანიზმი, რომელიც პასუხისმგებელია ევოლუციის მიმდინარეობაზე, რაც განამარხებული ფორმებითა და მოლეკულური მონაცემებით დასტურდება. როგორც მოგვიანებით ამ განყოფილებაში წავიკითხავთ, სხვა ფაქტორებიც მნიშვნელოვან როლს თამაშობენ გენების და ცილების ევოლუციაში. ევოლუციის შესწავლა ყოველთვის მნიშვნელოვანია, მეცნიერები ეძებენ დარვინის თეორიის სისწორის შემოწმების ახალ გზებს. დარვინმა ბიოლოგიას მეცნიერული საფუძველი ჩაუყარა იმიტომ, რომ სიცოცხლის მრავალფეროვნება ბუნებრივი გადარჩევის მოქმედებით ახსნა. დარვინის შემდეგ ბიოლოგია მეცნიერება გახდა. მიუხედავად ამისა ევოლუციის მრავალფეროვანი შედეგი მოდაში რჩება და ახალ შემოქმედებით აზრებს ბადებს. როგორც დარვინმა „სახეობათა წარმოშობის“ დასკნით თავში დაწერა - „სიცოცხლის ამ სურათში დიდება არის.....“

კონცეფცია 22.3 შემოწმება

1. რატომ არის მცდარი შემდეგი ფრაზა: „სამკურნალო პრეპარატისადმი ვირუსის რეზისტენტულობა ანტი აივ წამალმა წარმოქმნა“ პასუხი დაასაბუთეთ.
2. როგორ ახსნით დარვინის თეორიით ორივე ჩამონათვალი: ძუძუმწოვრებში სხვადასხვა ფუნქციის წინა კიდურების აგებულების მსგავსება (სურათი 22.14) და ნათესაურად დაშორებული ძუძუმწოვრის ორი სახეობის მსგავსი ცხოვრების წილი (სურათი 22.17)?
3. ახსენით როგორ იყენებენ განამარხებულ ნაშთებს ევოლუციური თეორიიდან გამომდინარე ვარაუდების შესამოწმებლად.

ბიბლიური კონცეფციების შიშველება:

კონცეფცია 22.1

დაბრინის თეორიამ ბიბლიურად მთავრდება, მან შეცვალა ცრადიციური შეხედულება თავდაპირველი დედამიწის შესახებ. დაბრინამდე მიაჩნდათ, რომ დედამიწაზე დასახლებული სახეობები არ შეცვლილა.

- ▶ **სკეპტიციზმი ევოლუციის იდეის მიმართ.** დარვინის თეორიიდან გამომდინარეობს, რომ მრავალფეროვანი სახეობები განვითარდნენ რამდენიმე წინაპარი სახეობიდან ბუნებრივი გადარჩევის მოქმედების შედეგად ჩამოყალიბდა. ამ შეხედულებამ რადიკალურად შეცვალა დარვინამდე გაბატონებული შეხედულებები.
- ▶ **გრადუალიზმის თეორიები.** გეოლოგებმა ჰატონმა და ლაიელმა დაასკვნეს, რომ დედამიწის ქერქი ნელი, დროში განვლილი მოვლენების შედეგად იცვლება. ეს პროცესი დღემდე მიმდინარეობს.
- ▶ **ლამარკის ევოლუციის თეორია.** ლამარკი თვლიდა, რომ ორგანიზმები ვითარდებიან, მაგრამ მის მიერ შემოთავაზებული განვითარების მექანიზმი ფაქტობრივად არ დასტურდება.

კონცეფცია 22.2

ნაშტომში „სახეობების წარმოშობა“ დაბრინმა იფარა, რომ სახეობები ბუნებრივი გადარჩევის შედეგად იცვლებიან.

- ▶ **დარვინის კვლევა**
„ბიგლით“ მოგზაურობისას დარვინმა გამოკვლევები ჩაატარა. ამ კვლევების საფუძველზე მივიდა დასკვნამდე, რომ ახალი სახეობები წინაპარი სახეობებიდან ადაპტაციების თანდათანობითი დაგროვების შედეგად ვითარდებიან. ინგლისში დაბრუნების შემდეგ მან სრულყო თავისი თეორია. დარვინმა თავისი თეორია 1859 წელს

გამოაქვეყნა. აღფრედ უოლესმა გამოთქვა იგივე იდეა. ეს დარვინისთვის სტიმული გახდა, რომ საკუთარი თეორია გამოეყენებინა.

▶ სახეობათა წარმოშობა

დარვინის წიგნში მოცემულია თეორია სახეშეცვლილ შთამომავლობაზე. დარვინი მიხვდა, რომ პოპულაციისთვის ნიშანდობლივია მემკვიდრეობითი სახეშეცვლილებები და რომ ზოგი სახეშეცვლილი ფორმა სხვებთან შედარებით გარემოსთან უკეთ არის შეგუებული. ნებისმიერი ორგანიზმი ბევრად უფრო მეტ შთამომავლობას იძლევა, ვიდრე გარემო იტევს. ამიტომ ადგილი აქვს ბრძოლას არსებობისთვის. იმათ, ვინც უკეთ არის მოგებული გარემოს, წარმატების, გადარჩევის და გამრავლების მეტი შანსი აქვთ. გარემოსთან უკეთ შეგუებული ინდივიდები სხვა ინდივიდებთან შედარებით მეტ შთამომავლობას ტოვებენ. ბუნებრივი გადარჩევის ეს პროცესი მიმდინარეობს დიდი დროის განმავლობაში. ის აისახება ორგანიზმის უკეთეს ადაპტაციაში მის გარემოსთან.

კონცეფცია 22.3

დაბრინის თეორიის დახმარებით უამრავი დაკვირვების ახსნა შეიძლება

- ▶ **ბუნებრივი გადარჩევა მოქმედებაში.**
მკვლევარები აკვირდებოდნენ ბუნებრივი გადარჩევის შედეგად მიღებულ ადაპტურ ევოლუციას გარეული გუბის პოპულაციაში. ადამიანებში სამკურნალო პრეპარატების გამოყენების შედეგად იმ პათოგენების გადარჩევა ხდება, რომლებიც სპონტანური მუტაციების გამო მდგრადები არიან წამლის მიმართ. ბაქტერიები და ვირუსები სწრაფად იცვლებიან. ეს უნარი გავლენას ახდენს ჩვენს საზოგადოებაზეც.
- ▶ **ჰომოლოგია, ბიოგეოგრაფია და ნამარხები.** ევოლუციის თეორიით უამრავი დაკვირვების ახსნა შეიძლება. ევოლუციის თეორია ხსნის სტრუქტურულ და მოლეკულურ დონეზე არსებულ მსგავსებას, ორგანიზმების გეოგრაფიულ გავრცელებას და ნამარხ ნაშთებს.
- ▶ **რატომ არის დარვინის შეხედულება სიცოცხლეზე თეორია?** დარვინის თეორია: „ევოლუცია ბუნებრივი გადარჩევის გზით“ ბიოლოგიური მეცნიერების განსხვავებულ დარგებს აერთიანებს. ეს თეორია მუდმივად ბადებს ახალ კითხვებს.

თვითშემოწმება

1. გრადუალიზმის თეორიის (ჰატონი და ლაელი) რომელი დასკვნები არის კავშირში დარვინის ევოლუციის თეორიასთან?
 - ა) პოპულაციაში გადარჩენისთვის და გამრავლებისთვის არსებობისათვის ბრძოლა მიმდინარეობს;
 - ბ) ბუნებრივი გადარჩევა მემკვიდრეობით ცვლილებების გამოყენებით მოქმედებს;
 - გ) ხანგრძლივი დროის განმავლობაში დაგროვილი მცირე ცვლილებები დიდ ცვლილებებს იწვევენ.
 - დ) ორგანიზმს სიცოცხლის მანძილზე სხვადასხვა თვისებები უყალიბდება. ისინი თავს თანდათანობით ავლენენ. ამ ცვლილებებმა შეიძლება შემდგომი თაობების თვისებები შეცვალონ.
 - ე) საერთო წინაპარის მქონე ორგანიზმებს ხშირად აქვთ ჰომოლოგიური სტრუქტურები.
2. შემდეგი დაკვირვებებიდან ან დასკვნებიდან რომელი ეყრდნობა ბუნებრივ გადარჩევას?
 - ა) ინდივიდებს შორის არის მემკვიდრეობითი ცვლილებები;
 - ბ) ცუდად ადაპტირებული ინდივიდები არასდროს არ იძლევიან შთამომავლობას;
 - გ) ორგანიზმებს შორის მიმდინარეობს ბრძოლა ლიმიტირებული რესურსებისთვის, ამ ბრძოლაში მხოლოდ შთამომავლობის ნაწილი გადარჩება.
 - დ) ინდივიდები, რომელთა თვისებები უკეთ ესადაგება გარემოს როგორც წესი მეტ შთამომავლობას ტოვებენ იმ ინდივიდებთან შედარებით რომელთა თვისებები ნაკლებად მისადაგებულია გარემოს.
 - ე) ორგანიზმები ურთიერთქმედებენ გარემოსთან;
3. ადამიანის, ლამურების და ვეშაპების წინა კიდურების აგებულების შედარების შედეგად აღმოჩნდა, რომ ადამიანის და ლამურას კიდურის ძვლების აგებულება სარწმუნოდ მსგავსია, ვეშაპების სხეულის ზომა და ძვლების პროპორცია კი საკმაოდ შეცვლილია. ამ სახეობებში ჩატარდა რამდენიმე გენის ანალიზი. ანალიზმა გვაჩვენა, რომ სამივე ხაზის განშტოება საერთო წინაპრიდან მოხდა დაახლოებით ერთ და იმავე დროს. შემდეგი ჩამონათვალიდან რომელი ხსნის საუკეთესოდ ამ მონაცემებს?
 - ა) ადამიანი და ლამურები შეიცვალნენ ბუნებრივი გადარჩევის მოქმედების შედეგად, ვეშაპები კი ლამარკის იდეის თანახმად.
 - ბ) ადამიანისა და ლამურების წინა კიდურების ევოლუცია იყო ადაპტური, ვეშაპების კი არა;
 - გ) ბუნებრივი გადარჩევა წყლის გარემოში აისახა ვეშაპის წინა კიდურის აგებულების მნიშვნელოვან ცვლილებაში.
 - დ) ვეშაპებში გენების მუტაცია უფრო სწრაფია, ვიდრე ადამიანსა და ლამურებში.
 - ე) არ არის მართებული ვეშაპების ძუძუმწოვრებაში გავაერთიანება.
4. შემდეგი დაკვირვებებიდან რომელი დაეხმარა დარვინს სახეშეცვლილ შთამომავლობაზე კონცეფციის ჩამოყალიბებაში?
 - ა) ეკვატორიდან დაშორებასთან ერთად მცირდება სახეობების მრავალფეროვნება;
 - ბ) კუნძულებზე უახლოეს კონტინენტებთან შედარებით სახეობების მცირე რაოდენობა ბინდრობს.
 - გ) კუნძულებზე შეიძლება ვნახოთ ის ფრინველები, რომლებიც მეტი მანძილის დაფარვა სჭირდებათ მატერიკიდან კუნძულამდე მისაღწევად, ვიდრე მათ შეუძლიათ.
 - დ) სამხრეთი ამერიკის ზომიერი კლიმატის მცენარეები უფრო გვანან სამხრეთი ამერიკის ტროპიკულ მცენარეებს, ვიდრე ევროპის ზომიერი კლიმატის მცენარეებს.
 - ე) მიწისძვრები იწვევენ ცოცხალი ორგანიზმების მასობრივ გადაშენებას და ამით ცვლიან სიცოცხლის ფორმებს.
5. დარვინი რამდენიმე წყაროდან მიღებულ ინფორმაციას აერთიანებდა. ასე მან განავითარა თეორია ევოლუცია ბუნებრივი გადარჩევის გზით. შემდეგი ჩამონათვალიდან რომელმა არ მოახდინა გავლენა მის აზრებზე?
 - ა) ლინეს სახეობების იერარქიულმა კლასიფიკაციამ;
 - ბ) ლაიელის გეოლოგიის პრინციპებმა;
 - გ) დაკვირვებამ ჰომოლოგიებზე მოლეკულურ დონეზე;
 - დ) მოშინაურებულ სახეობებში ხელოვნური გადარჩევით გამოწვეული მნიშვნელოვანი ცვლი-

- ლებების მაგალითებმა.
- ე) სახეობების გავრცელებამ რომელიც მან ნახა გალაპაგოსის კუნძულებზე და სამხრეთი აფრიკის გარშემო მოგზაურობის დროს.
 6. ტერმინს „თეორია“ მეცნიერებაში ძირითადად იყენებენ იდეისთვის რომელიც:
 - ა) არის სპეკულაცია, რომელსაც აკლია ექსპერიმენტების და დაკვირვებების შედეგები;
 - ბ) ცდილობს მრავალი მონათესავე მოვლენის ახსნას;
 - გ) არის სინონიმი იმისა, რასაც ბიოლოგები ჰიპოთეზას ეძახიან;
 - დ) მიღებულია ბუნების კანონად;
 - ე) ყველაფერი ზემოთ ჩამოთვლილი ერთად.
 7. სამკურნალო პრეპარატი **3TC** – თი რამდენიმე კვირიანი მკურნალობის შედეგად პაციენტის **აივ** პოპულაცია მთლიანად შედგება **3TC** -ს მიმართ რეზისტენტული ვირუსებისგან. როგორ შეიძლება ავსხნათ ეს შედეგი.
 - ა) **აივ**-ს აქვს უნარი შეცვალოს მისი ზედაპირის ცილები და მდგრადი გახდეს ვაქცინის მიმართ.
 - ბ) პაციენტი შეიძლება ხელმეორედ დაინფიცირდეს **3TC** -ს მიმართ რეზისტენტული ვირუსით.
 - გ) **აივ**-ი წამალზე საპასუხოდ ქმნის წამლის მიმართ რევერსული ტრანსკრიპტაზის მდგრად ვერსიას
 - დ) მკურნალობის დასაწყისში ვირუსების პოპულაციაში არის წამლის მიმართ რეზისტენტული რამდენიმე ვირუსი. ბუნებრივი გადარჩევა ზრდის ამ ვირუსების რაოდენობას.
 - ე) წამალი იწვევს **აივ**-ის რნმ-ის ცვლილებას.
 8. ელემენტარული ბიოლოგიური ერთეული რომელსაც დროთა განმავლობაში ევოლუირება შეუძლია არის:
 - ა) უჯრედი; გ) პოპულაცია;
 - ბ) ორგანიზმი; დ) სახეობა;
 - ე) ეკოსისტემა;
 9. შემდეგი იდეებიდან რომელია საერთო დარვინის და ლამარკის ევოლუციური თეორიებისთვის?
 - ა) ადაპტაციები გამრავლების განსხვავებული წარმატების შედეგია.

- ბ) ევოლუციის შედეგად ორგანიზმები სულ უფრო და უფრო რთულდებიან;
- გ) ევოლუციური ადაპტაცია ორგანიზმებსა და მათ გარემოს შორის ურთიერთქმედების შედეგია.
- დ) ადაპტაციები ანატომიური სტრუქტურების გამოყენება არ გამოყენების შედეგია;
- ე) ნამარხი ნაშთებით სახეობათა უცვლელობის იდეა საბუთდება.
- 10 სტრუქტურების შემდეგი წყვილიდან რომელია ჰომოლოგიური ნაკლები ალბათობით?
 - ა) ღამურას ფრთები და ადამიანის წინა კიდურები
 - ბ) ბაბუინის და გორილას ჰემოგლობინი;
 - გ) მცენარის და ცხოველის მიტოქონდია;
 - დ) ფრინველის და მწერის ფრთები;
 - ე) კატის და ძაღლის ტვინი;

ევოლუციური კავშირი

ანატომიური და მოლეკულური ჰომოლოგიები ხშირად მსგავს ევოლუციურ გზას გაივლიან. ახსენით რატომ.

მეცნიერული კვლევა

დარვინის არგუმენტი ევოლუციის მიმდინარეობაზე დიდ წილად ინდუქციურია, მისი არგუმენტი ბუნებრივი გადარჩევის მექანიზმებზე კი ნამდვილად დედუქციურია. აღწერეთ თქვენი სიტყვებით დარვინის თეორიის ინდუქციური და დედუქციური კომპონენტები (შეგიძლიათ პირველ თავს „ინდუქცია და დედუქცია“ გადახედოთ).

მეცნიერება, ცოდნოვანა და საზოგადოება

მნიშვნელოვანია თუ არა ბუნებრივი გადარჩევის კონცეფცია ეკონომიური ან პოლიტიკური თვალსაზრისით? სხვა სიტყვებით რომ ვთქვათ, თუ რომელიმე ნაციამ, ან კორპორაციამ მიაღწია წარმატებას, ნიშნავს თუ არა ეს, რომ მეტოქეებთან შედარებით ის უკეთ არის მორგებული პირობებს და რომ მისი დომინანტობა მართებულია? რატომ, ან რატომ არა?

23

პოპულაციების ევოლუცია



ბიოთაღი კონცეფციები

- 23.1** პოპულაციური გენეტიკა ევოლუციის შესწავლის საფუძველია.
- 23.2** მუტაციებისა და სქესობრივი გამრავლების შედეგად გენეტიკური მრავალფეროვნება (მემკვიდრეობითი ცვალებადობა) წარმოიქმნება. ცვალებადობის საფუძველზე კი მიმდინარეობს ევოლუცია.
- 23.3** ბუნებრივი გადარჩევა, გენთა დრეიფი და გენთა ნაკადი პოპულაციის გენეტიკურ შემადგენლობას ცვლის.
- 23.4** ბუნებრივი გადარჩევა ადაპტური ევოლუციის ძირითადი მექანიზმია.

▲ სურათი 23.1 მრავალფეროვნება ბუნებრივ პოპულაციებში

შესავალი

ევოლუციის ელემენტარული ობიექტი

ევოლუციაზე მსჯელობისას ჩვეულებრივად უშვებენ შეცდომას. თავის დროზე ამ შეცდომას დარვინიც უშვებდა. ხშირად თვლიან, რომ კონკრეტული ორგანიზმები სიცოცხლის განმავლობაში ევოლუტირებენ. ბუნებრივი გადარჩევა მართლაც მოქმედებს ცალკეულ ორგანიზმებზე; ყოველი ორგანიზმს აქვს ნიშან-თვისებების გარკვეული კომბინაცია; ის განაპირობებს ორგანიზმის გადარჩენასა და წარმატებულ გამრავლებას სხვა ინდივიდებთან შედარებით. მაგრამ ბუნებრივი გადარჩევის მოქმედება პოპულაციის შემადგენელ ინდივიდებზე არ ცვლის ამ ორგანიზმის გენოტიპის მისი სიცოცხლის განმავლობაში. ბუნებრივი გადარჩევის მოქმედების შედეგად პოპულაციის შემადგენლობა დროში იცვლება. მაგალითად: კუბაზე გავრცელებულია ხის ლოკოკინების (ოლყმიტა პიცტა) პოპულაცია. განვიხილოთ ამ ლოკოკინების ნიჟარების კოლექცია. ეს კოლექცია გამოსახულია **23.1 სურათზე**.

ნიჟარების ფორმა და შეფერილობა განსხვავებულია. ეს ინდივიდებს შორის არსებული გენეტიკური ცვალებადობის შედეგია. გარკვეული შეფერილობის მქონე ლოკოკინებს მტაცებლები ნაკლებად ანადგურებენ. ეს ლოკოკინები გარემოსთან უკეთ არიან შეხამებულნი, ანუ შეფერილობის გამო კონკრეტულ გარემოში შეუმჩნეველია. ამდაგვარი შეფერილობის ლოკოკინების რაოდენობა თაობიდან თაობამდე იზრდება. ამ გზით იცვლება პოპულაცია. პოპულაციამ გაერთიანებული ინდივიდები, ასეთი გზით არ იცვლებიან. დროთა განმავლობაში ზოგი ნიშანი უფრო მეტად ვრცელდება პოპულაციაში, სხვა ნიშნებთან შედარებით. სხვა ნიშნები კი უფრო იშვიათად გვხვდება.

კონცეფცია 2.1

პოპულაციური გენეტიკა ევოლუციის შესწავლის საფუძველია

დღეს შესაძლებელია განვსაზღვროთ ევოლუციური ცვლილებები უმცირეს ან **მიკროევოლუციურ** დონეზე. მიკროევოლუციური ცვლილებები პოპულაციის გენეტიკური შემადგენლობის დროში ცვლილებაა (**სურათი 23.2**). მაგრამ დარვინი ევოლუციას სხვანაირად განსაზღვრავდა. მან აღმოაჩინა სახეობის დროში ცვლილების მექანიზმი. თუმცა ის მართებულად ვერ ხსნიდა, თუ როგორ ჩნდება პოპულაციებში ბუნებრივი გადარჩევისთვის საჭირო მრავალფეროვნება ანუ მემკვიდრეობითი ცვლილებები; ან როგორ გადასცემენ ორგანიზმები ამ ცვლილებებს თავიანთ შთამომავლებს. დარვინის დროს მემკვიდრეობის მექანიზმებზე ცოტა რამ იყო ცნობილი. ამიტომ მეცნიერები ვერ ხსნიდნენ, თუ როგორ ხდება მემკვიდრეობითი ცვლილებების შენარჩუნება პოპულაციებში. ფართოდ გავრცელებული იყო ჰიპოთეზები შთამომავლობაში მშობლების ნიშან-თვისებების შერევის (შერწყმული მემკვიდრეობის ჰიპოთეზა) შესახებ. მაგრამ დარვინი და სხვა მეცნიერებიც აცნობიერებდნენ, რომ ნიშნების შერევის შედეგად გარკვეული დროის შემდეგ ინდივიდთა შორის სხვაობა გაქრება. როგორც ვთქვით, იმის გამო, რომ მემკვიდრეობის მექანიზმი არ იყო შესწავლილი, დარვინმა ვერ შეიმუშავა მემკვიდრეულობის ახსნის ისეთი მოდელი, რომელიც მიესადაგებოდა მის ჰიპოთეზას. შეჯვარებაზე ჩატარებული ექსპერიმენტების და ბუნებაში დაკვირვებების შედეგად მოხდა შერწყმული მემკვიდრეობის ჰიპოთეზის უარყოფა.



▲ სურათი 23.2 ინდივიდების გადარჩევის შედეგად პოპულაცია იცვლება.

ნამიკრეფია (*Agrostis tenuis*). სურათზე წინა ხაზზე ჩანს ბალახოვანი მცენარე, რომელიც ყოფილი მალაროს ტერიტორიაზე იზრდება. ეს ბალახი ნიადაგში მძიმე ლითონების მაღალ კონცენტრაციას უძლებს. ამავე სახეობის სხვა მცენარეებისთვის ეს კონცენტრაცია მომწამლაია და ისინი ღობის უკან, საძოვარზე იზრდებიან. საძოვრიდან ნამიკრეფიას თესლი ყოფილი მალაროს ადგილას ხვდება. მაგრამ გადარჩენა და გამრავლდება მხოლოდ იმ მცენარეებს შეუძლია, რომელთა გენები აძლევს მათ საშუალებას ლითონებით დაბინძურებულ ნიადაგზე არსებობას შეეგუონ.

დარვინის ნაშრომის „სახეობათა წარმოშობის“ გამოქვეყნებიდან რამდენიმე წელიწადში გრეგორ მენდელმა მიაგნო მემკვიდრეობის დისკრეტულ ერთეულს. მემკვიდრეობის ერთეულის აღმოჩენის შემდეგ ცხადი გახდა, რომ მშობლები ცალკეული მემკვიდრეობითი ერთეულების (გენების) მეშვეობით გადასცემენ შთამომავლობას თავიანთ ნიშან-თვისებებს. მშობლების ნიშნები შთამომავლობაში საკუთარ იდენტურობას ინარჩუნებენ. დარვინი მენდელის ნაშრომს არ იცნობდა. მენდელის თანამედროვე რამდენიმე მეცნიერი გაეცნო ამ ნაშრომს, მაგრამ ნაშრომის არსი მათთვის გაუგებარი დარჩა. ნახევარი საუკუნის განმავლობაში მენდელის აღმოჩენა და ამ აღმოჩენის მნიშვნელობა ევოლუციური თეორიის მიმდევრებისთვის უცნობი რჩებოდა.

თანამედროვე სინთეზური თეორია

საოცარია, მაგრამ როცა მეოცე საუკუნის დასაწყისში ბოლოს და ბოლოს აღიარეს მენდელის ნაშრომი, მრავალი გენეტიკოსი მიიჩნევდა, რომ მენდელის მემკვიდრეობის კანონები არ ეთანხმება დარვინის თეორიას. დარვინი თვლიდა, რომ ბუნებრივი გადარჩევა „მუშაობს“ ისეთ ნიშან-თვისებებზე რომლებიც განუწყვეტლივ იცვლება. მაგალითად: ბენვის სიგრძე ძუძუმწოვრებში, ან სირბილის სიჩქარე იმ ცხოველებში, რომლებიც გაურბიან მტაცებლებს. მაგრამ მენდელი და სხვა ადრინდელი გენეტიკოსები მხოლოდ დისკრეტულ „კი ან არა“ ნიშნებს იკვლევდნენ, როგორიცაა ბარდას ყვავილების შეფერილობა: მუქი ნითელი ან თეთრი ფერი. იმ დროს არ იყო ცხადი, რომ მეტად უმნიშვნელო ნიშნებსაც გენეტიკური საფუძვლი მოეპოვება. ამ უმნიშვნელო ნიშნების გენეტიკური მექანიზმის არსებობა კი

ძალიან მნიშვნელოვანია დარვინის თეორიის სისწორისთვის. რამდენიმე ათწლეულის განმავლობაში გენეტიკოსებმა დაამტკიცეს, რომ უწყვეტად ცვალებად თვისებებზე გავლენას ახდენს მრავალი გენეტიკური ლოკუსი და ყოველი ლოკუსის ალელები ექვემდებარება მენდელის მემკვიდრეობითობის სქემას (იხილეთ თავი 14).

ამ აღმოჩენებმა ხელი შეუწვეს მენდელის და დარვინის იდეების შერეგებას და დასაბამი მისცეს **პოპულაციური გენეტიკის** ფორმალურ დაარსებას. პოპულაციური გენეტიკა არის მეცნიერება პოპულაციებში დროში მიმდინარე გენეტიკურ ცვლილებებზე.

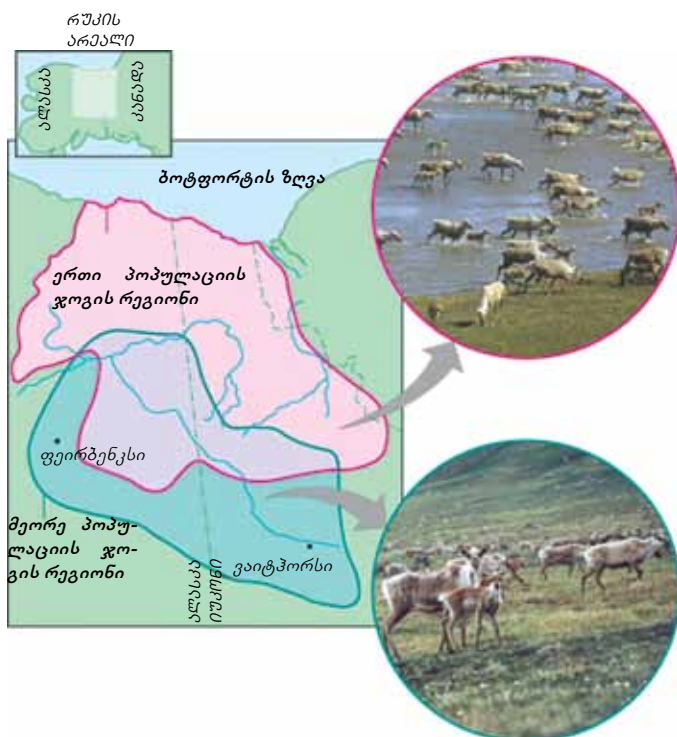
მეოცე საუკუნის შუა წლებისთვის პოპულაციურმა გენეტიკამ დასაბამი დაუდო განხრას, რომელსაც **თანამედროვე სინთეზური თეორია** დაარქვეს. ეს არის ბიოლოგიის სხვადასხვა დარგებში შემუშავებული იდეების გამაერთიანებელი ევოლუციური თეორია. თანამედროვე სინთეზური თეორია რამდენიმე მეცნიერმა დააფუძნა: სტატისტიკოსი რ. ა. ფიშერი (1890-1962). მან დაამუშავა ბუნებრივი გადარჩევის ძირითადი თეორემა, ბიოლოგი ჯ. ბ. ს. ჰოლდენი (1892-1964) რომელიც სწავლობდა ბუნებრივი გადარჩევის კანონზომიერებს. მოგვიანებით დამაარსებელთა სიას შეემატა ფეოდოსია დოჟანსკი (1900-1975), სუელ რაიტი (1889-1988), ბიოგეოგრაფი ერნსტ მაირი (1904-2005), პალეონტოლოგი ჯორჯ ჯეილორდ სიმპსონი (1902-1984) და ბოტანიკოსო ჯ. ლედიარდ სტებიზი (1906-2000).

რა თქმა უნდა მეცნიერულ პარადიგმას იშვიათად იღებენ ცვლილების გარეშე. თანამედროვე სინთეზური თეორია დღემდე ვითარდება. მაგალითად: აღმოჩნდა, რომ პოპულაციაში არსებული ზოგი გენეტიკური ცვლილება გამომწვეულია არა ბუნებრივი გადარჩევით, არამედ სხვა მექანიზმებით. თანამედროვე სინთეზური თეორია აგრძელებს განვითარებას. მისი ყურადღების ობიექტი პოპულაციებია. ის აერთიანებს თანამედროვე იდეებს ევოლუციურ პროცესზე.

გენოფონდი და ალელუმის სიხშირე

პოპულაციურ გენეტიკაზე დისკუსიის გასაგრძელებლად უნდა განვსაზღვროთ პოპულაციის რაობა. **პოპულაცია** არის კონკრეტულ ტერიტორიაზე მოხინდრე ინდივიდთა ჯგუფი, რომლებიც ერთმანეთს თავისუფალად ეჯვარება და ნაყოფიერი შთამომავლობის იძლევა. ერთი და იგივე სახეობის პოპულაციები შეიძლება იზოლირებულნი იყვნენ ერთმანეთისგან. ამ შემთხვევაში გენეტიკური მასალის მიმოცვლა პოპულაციებს შორის ძალიან იშვიათად მიმდინარეობს. ასეთი იზოლაცია ჩვეულებრივი მოვლენაა იმ პოპულაციებისთვის რომელთა ადგილმდებარეობა შემოსაზღვრულია მთაგრებილით, სახლობენ კუნძულებზე ან ტბებში. მაგრამ პოპულაცია ყოველთვის ერთმანეთისგან არაა იზოლირებული. ამავე დროს იზოლაცია შეიძლება არ იყოს სრული, ანუ არ ჰქონდეს მკვეთრი საზღვრები (**სურათი 23.3**). ინდივიდები, რომლებიც პოპულაციის ცენტრში ბინადრობენ, მეტი ალბათობით ეჯვარებიან თავისივე პოპულაციის წევრებს, ვიდრე სხვა პოპულაციის წევრებს. აქედან გამომდინარე ისინი საშუალოდ უფრო მეტად ენათესავენ ერთმანეთს, ვიდრე პოპულაციის სხვა წევრებს.

პოპულაციაში არსებულ გენთა ერთობლიობას პოპულაციის



▲ სურათი 23.3 ერთი სახეობა, ორი პოპულაცია. იუკონზე გავრცელებული კარიბუს ეს ორი პოპულაცია სრულიად იზოლირებული არ არის. ზოგჯერ ეს პოპულაციები ერთ და იმავე არეალს იყოფენ. მიუხედავად ამისა ერთი და იმავე პოპულაციის წევრები როგორც ჩანს უფრო ხშირად ეჯვარებიან ერთმანეთს, ვიდრე მეზობელი პოპულაციის წევრებს.

გენოფონდი ეწოდება. პოპულაციის გენოფონდი შედგება პოპულაციის ყველა ინდივიდის ყველა გენეტიკური ლოკუსის ყველა ალელისგან. თუ პოპულაციაში, კონკრეტულ ლოკუსში მხოლოდ ერთი ალელია წარმოდგენილი, ამბობენ რომ მხოლოდ ეს ალელი დაფიქსირებულია გენოფონდში. ყველა ინდივიდი ამ ალელის მიხედვით ჰომოზიგოტია. (გავიხსენოთ, რომ ჰომოზიგოტ ინდივიდებს მოცემულ ლოკუსში აქვთ ორი იდენტური ალელი, ჰეტეროზიგოტებს კი — ორი განსხვავებული ალელი). მაგრამ თუ პოპულაციაში გარკვეულ ლოკუსს ორი ან მეტი ალელი მოეპოვება, ინდივიდები შეიძლება იყვნენ როგორც ჰომოზიგოტები ასევე ჰეტეროზიგოტები.

პოპულაციაში ყოველი ალელი გარკვეული სიხშირით არის წარმოდგენილი. მაგალითად: წარმოდგენილი ბუნებაში ველურად მოზარდი ყვავილოვანი მცენარის პოპულაცია, რომელშიც 500 წევრია. მათ მოეპოვებათ გენი, ორი: C^R და C^W ალელით, რომელიც ყვავილის პიგმენტაციას დანსაზღვრავს. C^R ალელის მიხედვით ჰომოზიგოტური ($C^R C^R$) მცენარე ასინთეზებს წითელ პიგმენტს და წითელ ყვავილებს იკეთებს; C^W ალელის მიხედვით ($C^W C^W$) ჰომოზიგოტური მცენარე წითელი პიგმენტის სინთეზს ვერ ახდენს და აქვთ თეთრი ყვავილები; ჰეტეროზიგოტი ($C^R C^W$) წითელ პიგმენტს მცირე რაოდენობით ასინთეზებს და ვარდისფერი ყვავილებს ისხამს. ჩვენს პოპულაციაში არის 320 მცენარე წითელი ყვავილით, 160 ვარდისფერი ყვავილით და 20

თეთრი ყვავილით. შეფერილობის განმსაზღვრელი ალელები არასრულად დომინანტობენ (იხილეთ თავი 14). ჩვენს მიერ განხილული ყვავილოვანი მცენარე დიპლოიდური ორგანიზმია და ამიტომ 500 ინდივიდისგან შემდგარ პოპულაციას მთლიანად ყვავილის შეფერილობის განმსაზღვრელი გენის 1 000 ალელი მოეპოვება. აქედან 800 გენში არის C^R ალელი ($320 \times 2 = 640 C^R C^R$ მცენარეში, $+ 160 \times 1 = 160 C^R C^W$ მცენარეში).

როცა გარკვეულ ლოკუსში არის ორი ალელი, მოხერხებულია p - თი ერთი ალელის სიხშირის აღნიშვნა და q - თი მეორე ალელის სიხშირის აღნიშვნა. ამ კონკრეტულ პოპულაციის გენოფონდში p , ანუ q ალელის სიხშირე არის $800/1000 = 0.8 = 80\%$. ვინაიდან ამ შემთხვევაში გვაქვს მხოლოდ ორი ალელი, C^W ალელის მქონე გენის სიხშირე, რომელიც q -თი გამოიხატება უნდა იყოს 0,2 ან 20%. იმ ლოკუსში, რომელშიც ორზე მეტი ალელია წარმოდგენილი ყველა ალელის სიხშირეთა საერთო ჯამი უნდა შეადგენდეს 1-ს, ანუ (100%).

ამ მცენარეში ყვავილის შეფერილობის ლოკუსში ადვილად შეგვიძლია განვსაზღვროთ გენეტიკური ცვალებადობა, ვინაიდან ყოველ გენოტიპს შესაბამისი ფენოტიპი აქვს. მრავალ ლოკუსს ზოგჯერ ერთზე მეტი ალელი მოეპოვება. როდესაც ლოკუსში ერთზე მეტი ალელია გენეტიკური ცვალებადობის განსაზღვრა რთულია, ვინაიდან ერთი ალელი შეიძლება მეორეზე სრულად დომინანტობდეს, ან ამ ალელების გავლენა ფენოტიპზე შეიძლება ძნელად შესამჩნევი იყოს.

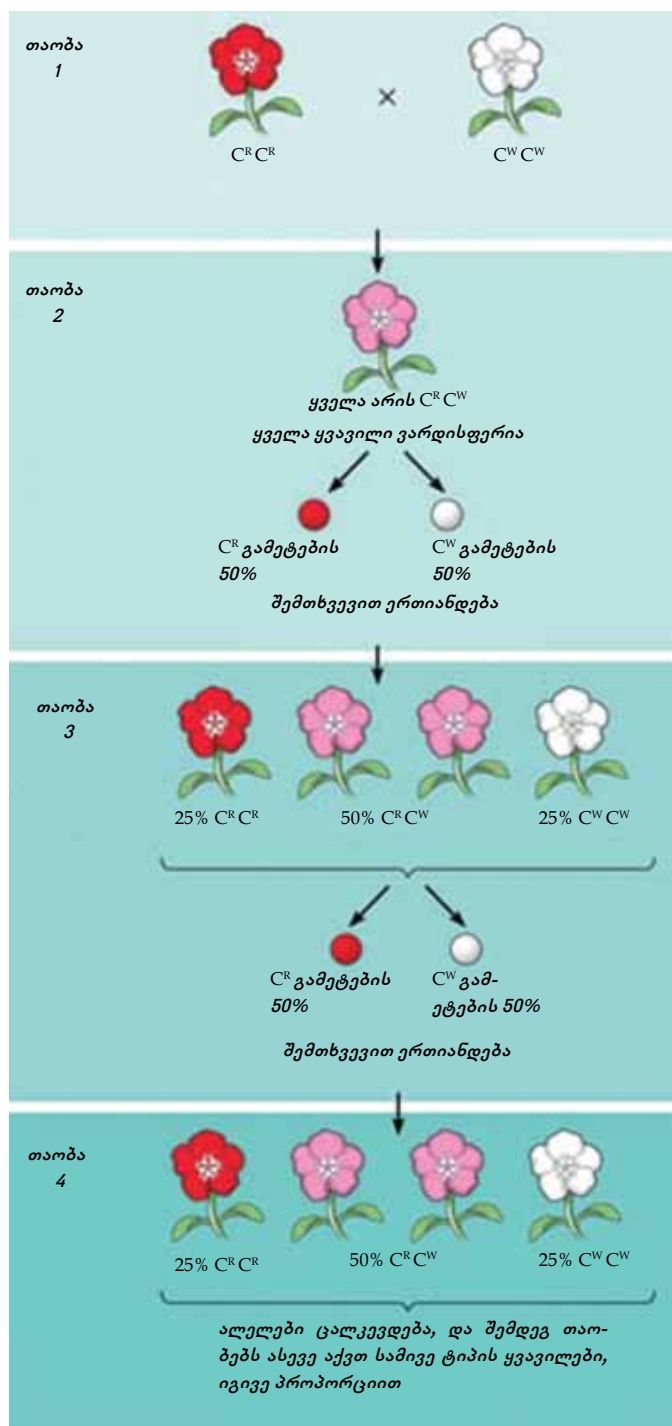
ჰარდი-ვაინბერგის თეორემა

ამჯერად განვიხილოთ როგორ იცვლება დროთა განმავლობაში გენების და ალელების სიხშირე. ეს ცვლილება ასახავს ევოლუციურ ცვლილებებს. მაგრამ რომ შევქმნათ ეტალონი, რომლის მიხედვით განვსაზღვრავთ ამ ცვლილებებს, ჯერ უნდა განვიხილოთ ისეთი გენოფონდის თვისებები, რომელიც დროში უცვლელია. ასეთი გენოფონდი აღწერილია **ჰარდი-ვაინბერგის თეორემაში**. თეორემას იმ ორი მეცნიერის სახელი დაარქვეს, რომლებმაც 1908 წელს ეს პრინციპები ერთმანეთისგან დამოუკიდებლად დაადგინეს. თეორემა ამტკიცებს, რომ მაშინ როცა მხოლოდ ალელების მენდელისეულ დათიშვას და რეკომბინაციას აქვს ადგილი, პოპულაციაში ალელების და გენოტიპების თანაფარდობა დროში არ იცვლება. (სურათი 23.4).

ალელებთან სიხშირის მუდმივობა (შენახვა)

ჰარდი-ვაინბერგის თეორემა განსაზღვრავს, თუ როგორ ინარჩუნებს გენეტიკურ მრავალფეროვნებას დროთა განმავლობაში მენდელისეული მემკვიდრეობა როდესაც პოპულაციაში არ ხდება ევოლუციური ცვლილებები. მაგრამ რეალურად ეს თეორემა მეტის მომცემია. ჩვენ შემდგომში დავინახავთ, რომ ეს თეორემა წარმოადგენს საფუძველს რომელზე დაყრდნობით შეგვიძლია გავიგოთ, თუ როგორ მიმდინარეობს ხანგრძლივი ევოლუციური ცვლილებები. დარწმუნდეთ, რომ არ არსებობდა გენეტიკა და ვერ განიხილავდა გრძელვადიან ცვალებადობას. გენეტიკური მრავალფეროვნების შენარჩუნების მეშვეობით ბუნებრივი გადარჩევა მოქმედებს მრავალი თაობის განმავლობაში.

ესლა კი გამოვიყენოთ ჰარდი-ვაინბერგის თეორემა ჩვენი



▲ სურათი 23.4 მენდელისეური მემკვიდრეობა ინარჩუნებს დროში გენეტიკურ ცვალებადობას.

წარმოსახვითი ყვავილოვან მცენარეთა პოპულაციისთვის. გავიხსენოთ, რომ მცენარეთა გენოფონდში ყვავილების შეფერილობის განმსაზღვრელ ალელების 80% (0,8) არის C^R და 20% (0,2) არის C^W . ვინაიდან მცენარის ყოველი გამეტა არის ჰაპ-

ლოიდი, მას ყვავილის შეფერილობის განმსაზღვრელი მხოლოდ ერთი ალელი მოეპოვება. ალბათობა, რომ გამეტას ექნება ჩლ ალელი იქნება 0,8. ალბათობა, რომ მას ექნება C^W ალელი არის 0,2. პოპულაციის ყველა გამეტაში ალელების სიხშირე იგივე იქნება, რაც საწყის პოპულაციაში. თუ ჩავთვლით რომ გამეტები შემდეგ თაობას შემთხვევით გადაეცემა, ალელების სიხშირე არ შეიცვლება.

ჰარდი-ვაინბერგის წონასწორობა

დავუშვათ, რომ პოპულაციის ინდივიდები არა მარტო შემთხვევით გადაცემენ გამეტებს შემდეგ თაობას, არამედ შემთხვევით ქმნიან წყვილებს, რაც იმას ნიშნავს, რომ თანაბრად შესაძლებელია გაჩნდეს ყოველი მამრობითი - მდედრობითი წყვილი. ასეთ პოპულაციას თაობათა განმავლობაში არა მარტო ყვავილის შეფერილობის განმსაზღვრელ ალელთა ერთი და იგივე სიხშირე ექნება, არამედ ალელების სიხშირიდან გამომდინარე მათი გენოტიპის სიხშირის წინასწარი განსაზღვრა არის შესაძლებელი. ასეთ პოპულაციაზე ამბობენ რომ ის ჰარდი-ვაინბერგის წონასწორობის მდგომარეობაშია.

როგორც ჩანს, ჩვენი ველურად მოზარდი მცენარეთა პოპულაცია ჰარდი-ვაინბერგის წონასწორობაში იმყოფება (სურათი 23.5). ბინომური კანონის გამოყენებით (იხილეთ თავი 14) ჩვენ შეგვიძლია გამოვთვალოთ სპერმისა და კვერცხუჯრედის შემთხვევითი შერწყმით მიღებული სამი შესაძლო გენოტიპის სიხშირე. ალბათობა, რომ ორი ჩლ ალელი ერთმანეთს შეხვდება არის $0.8 \times 0.8 = p \times p = p^2 = 0.64$. ასე რომ მომდევნო თაობაში მცენარეთა დაახლოებით 64% -ს ექნება $C^R C^R$ გენოტიპი.

$C^W C^W$ ინდივიდების სიხშირე იქნება $0.2 \times 0.2 = q^2 = 0.04$, ან 4%. $C^R C^W$ ჰეტეროზიგოტის წარმოქმნა ორი განსხვავებული გზით ხდება. თუ სპერმია ატარებს ჩლ ალელს და კვერცხუჯრედი კი C^W ალელს ჰეტეროზიგოტების რაოდენობა იქნება მთელის $0.8 \times 0.2 = 0.16\%$. თუ კვერცხუჯრედში არის

C^R ალელი და სპერმაში C^W ალელი, ჰეტეროზიგოტი შთამომავლობის რაოდენობა იქნება $0.8 \times 0.2 = 0.16\%$. გამეტების ეს კავშირი შეგვიძლია შევაჯამოთ ალგებრულ განტოლებაში:

$$(p+q) \times (p+q) = p^2 + 2pq + q^2$$

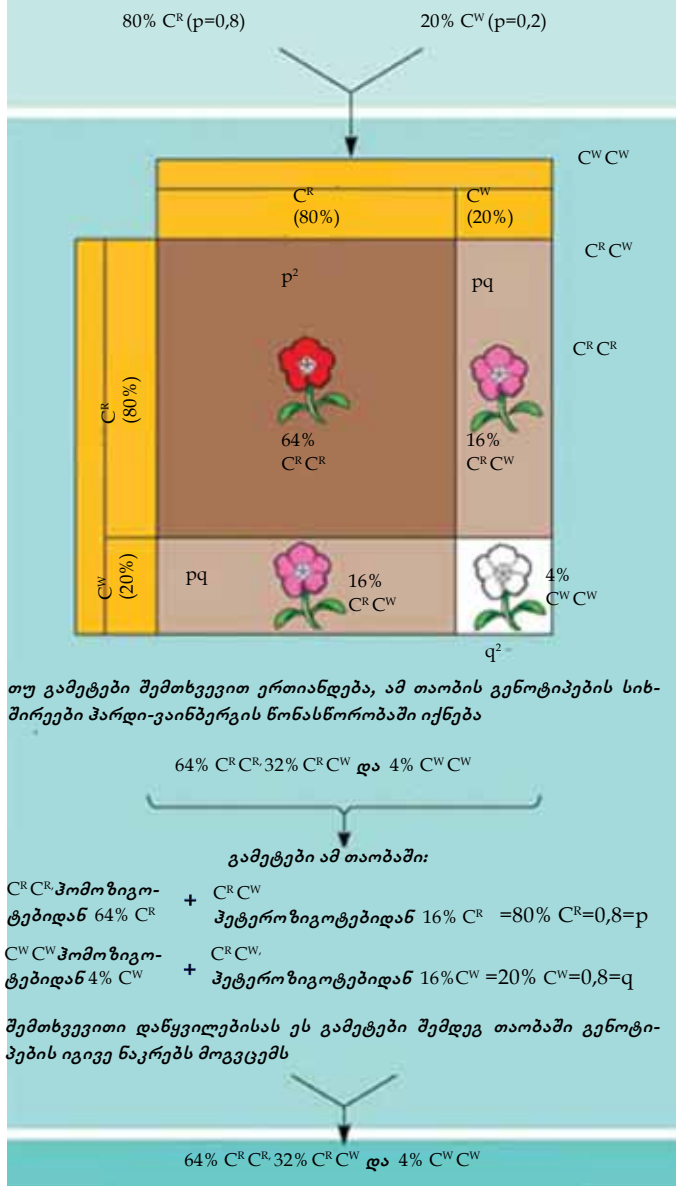
მამრის გამეტების ალელების სიხშირე მდედრის გამეტების ალელების სიხშირე შემდეგ თაობაში გენოტიპის სიხშირე

როგორც ალალების სიხშირეთა საერთო ჯამი, ისევე ყველა ამ გენოტიპის სიხშირეების ჯამი ერთის ტოლია. ასე რომ ჰარდი-ვაინბერგის წონასწორობის განტოლებიდან გამომდინარეობს, რომ ორ ალელიან ლოკუსში სამი გენოტიპი შემდეგი თანაფარდობით წარმოიქმნება:

$$p^2 + 2pq + q^2 = 1$$

თუ პოპულაცია იყო ჰარდი-ვაინბერგის წონასწორობაში და მისი წევრები აგრძელებენ დროის განმავლობაში შემთხვევით შეჯვარებას, ალელების და გენოტიპების სიხშირე მუდმივი დარჩება. სისტემის მოქმედება ჰგავს ბანქოს გაშლას: არა აქვს მნიშვნელობა რამდენჯერ და რა ხელით გაიშლება ბანქო, დასატის შემადგენლობა რჩება იგივე. როგორც არ უნდა გავშალოთ

ყველი თაობის გამეტები წინა თაობის გენოფონდიდან შემთხვევით შერჩეულია:



▲ **სურათი 23.5** ჰარდი-ვაინბერგის თეორემა. მცენარეების ჯგუფის პოპულაციაში გენოფონდი თაობების განმავლობაში უცვლელი რჩება. მხოლოდ მენდელის პროცესს არ შეუძლია გენოტიპში ალელის სიხშირეების ცვლილება.

ბანქო, ტუზების რაოდენობა ვალეტე ბის რაოდენობაზე მეტი არ გახდება. ასევე თაობების განმავლობაში პოპულაციის გენოფონდის განმეორება დი „გაშლა“თავისთავად არ ცვლის ერთი ალელის სიხშირეს მეორესთან შეფარდებით. არ არის აუცილებელი პოპულაციაში ჰარდივაინბერგის წონასწორობის ყველა პირობა შესრულებული იყოს, რომ პოპულაციაში ალალების სიხშირე მუდმივი იყოს. ბევრი სახეობა, როგორიცაა მენდელის მიერ ცდებისთვის გამოყენებული ბარდა, შემთხვევით არ მრავლდება. ბარდას მტვერი როგორც წესი მნიფდება ყვავილის

გახსნამდე, ასე რომ ის ანაყოფიერებს თავის საკუთარ ყვავილს (ბარდას ჯვარედინ დამტვერვას მენდელი ხელოვნურად ახორციელებდა).

თვითდამტვერვის გამო ბარდას პოპულაცია შორს არის ჰარდი-ვაინბერგის წონასწორობიდან. ყველა ჰომოზიგოტი მცენარე გვაძლევს მხოლოდ ჰომოზიგოტებს, იმ დროს, როცა ჰეტეროზიგოტი მცენარეების შთამომავლობის დაახლოებით ნახევარი ჰომოზიგოტები არიან. აქედან გამომდინარე საკმაოდ მალე ყველა ჰეტეროზიგოტი მცენარე ხდება ჰომოზიგოტი. მიუხედავად იმისა, რომ ზოგი სახეობის გამრავლება არ არის შემთხვევითი, გამეტების წარმოქმნა გენოფონდიდან მაინც შემთხვევით ხდება. ალელების სიხშირე დროის განმავლობაში არ შეიცვლება, თუ სხვა ფაქტორთა ზემოქმედებას არ აქვს ადგილი. ისევე, როგორც ის არ იცვლება პოპულაციებში, სადაც შეჯვარება შემთხვევითია. მემკვიდრეობითი ცვალებადობა წარმოადგენს ევოლუციური ცვლილებებისთვის საწყის (გადაუმუშავებელ) მასალას. მემკვიდრეობითი ცვალებადობა არსებობს თვითმტვერია ბარდას შემთხვევაშიც.

ჰარდი-ვაინბერგის წონასწორობის პირობები

ჰარდი-ვაინბერგის თეორემა აღწერს წარმოსახვით უცვლელ პოპულაციას. მაგრამ ბუნებრივ პოპულაციებში ალელების და გენოტიპების სიხშირე დროთა განმავლობაში იცვლება. ეს იმიტომ ხდება, რომ ხანგრძლივი დროის განმავლობაში პოპულაციის უცვლელობისთვის საჭიროა დაცული იყოს შემდეგი ხუთი წესი. ბუნებაში კი ამ წესების დაცვა იშვიათად თუ ხდება. ეს წესებია:

1. პოპულაციის მრავალრიცხოვნობა. რაც უფრო მცირე რიცხოვანია პოპულაცია, მით მეტია ალელების სიხშირეში შემთხვევითი გადახრები. სიხშირეში გადახრილი ალელები თაობიდან თაობაზე გადადიან. ეს მოვლენა გენთა დრეიფის სახელითაა ცნობილი.
 2. გენთა ნაკადის არ არსებობა. გენების ნაკადი, ანუ პოპულაციათა შორის ალელების მიმოცვლა, მოქმედებს ალელების სიხშირეზე.
 3. მუტაციების არ არსებობა. მუტაციების შედეგად ხდება ქრომოსომაში გენების ჩართვა ან ქრომოსომებიდან გენების ამოვარდნა, ან ერთი ალელის მეორეთი შეცვლა. ამ პროცესების შედეგად გენოფონდი იცვლება.
 4. შემთხვევითი შეჯვარება. თუ ინდივიდები უპირატესობას გარკვეული გენოტიპის მქონე პარტნიორებს ანიჭებენ და ახლო ნათესავებს (ინბრედიინგი), გამეტების შემთხვევითი კომბინირება არ მოხდება.
 5. ბუნებრივი გადარჩევის მოქმედების არ არსებობა. განსხვავებული გენოტიპის მქონე ინდივიდების რეპროდუქციული წარმატება და გადარჩენის განსხვავებული შესაძლებლობა მოქმედებს ალელების სიხშირეზე.
- ამ წესებიდან გადახრა აისახება ევოლუციაზე. ბუნებრივი

პოპულაციები იშვიათად ან თითქმის არასოდეს იმყოფებიან ჭეშმარიტ ჰარდი-ვაინბერგის წონასწორობაში, მაგრამ მრავალ პოპულაციაში ევოლუციური ცვლილებების სიჩქარე იმდენად ნელია, რომ ისინი ახლოს დგანან წონასწორობის მდგომარეობასთან. ამიტომ შესაძლებელია მიახლოებით შევაფასოთ ალელების და გენოტიპის სიხშირეები. ამას შემდეგი მაგალითები გვაჩვენებენ.

პოპულაციური გენეტიკა და ადამიანის ჯანმრთელობა

ჰარდი-ვაინბერგის განტოლების გამოყენება შეიძლება პოპულაციის ინდივიდების იმ პროცენტის დასადგენად, რომელიც მემკვიდრეობითი დაავადებების ალელების მტარებელია. მაგალითად: შეერთებულ შტატებში დაბადებული 10 000 ბავშვიდან დაახლოებით ერთი არის ფენოლკეტონურიის (ფკუ) მტარებელი. ფენოლკეტონურია მეტაბოლიზმის დარღვევაა, რომელიც ვითარდება რეცესიული გენის ჰომოზიგოტურ მდგომარეობაში ყოფნის შედეგად. მკურნალობის გარეშე ფკუ ინვეს ოლიგოფრენიას და ჯანმრთელობის სხვა დარღვევებს. (ამჟამად ახალშობილებში ატარებენ ტესტს ფკუ-ზე. დაავადების სიმპტომები შეიძლება შევამოცხოროთ დიეტით, რომელიც გამორიცხავს ფენილალანინს). ჰარდი-ვაინბერგის განტოლების გამოსაყენებლად უნდა მივიღოთ, რომ ადამიანები არ ირჩევენ პარტნიორს გარკვეული გენების ქონა არ ქონის მიხედვით, მაგალითად ფკუ-ს. როგორც წესი ადამიანები არ ირჩევენ პარტნიორად ახლო ნათესავებს (ინბრიდინგი). ამავე დროს უნდა ვუარყოთ შეერთებული შტატების პოპულაციაზე სხვა პოპულაციებიდან გენების ნაკადის გავლენა, ახალი ფკუ-ს მუტაციების გაჩენა, გადარჩენაში განსხვავება და ფკუ გენოტიპების რეპროდუქციული წარმატება. ეს დაშვებები საფუძვლიანია, რადგანაც ინბრიდინგი შეერთებულ შტატებში იშვიათია და შეერთებული შტატების ფარგლებს გარეთ მოზონადრე პოპულაციებს ფკუ ალელის იგივე სიხშირე ახასიათებთ, როგორც შეერთებულ შტატებში. ამის გარდა ფკუ გენისთვის მუტაციების სიხშირე არის საკმაოდ დაბალი და გადარჩევა მოქმედებს მხოლოდ იშვიათი ჰომოზიგოტების წინააღმდეგ. თუ ყველა ეს დაშვება დაცულია, მაშინ ფკუ –თი დაბადებული ინდივიდების სიხშირე ჰარდი-ვაინბერგის განტოლებაში იქნება χ^2 -ის ტოლი ($\chi^2 = \text{ჰომოზიგოტების სიხშირეს ამ ალელისთვის}$). ვინაიდან ალელი რეცესიულია, ჩვენ შეგვიძლია უშუალოდ, გამოთვლის გარეშე დავადგინოთ ჰეტეროზიგოტების რაოდენობა, როგორც ეს ვარდისფერი ყვავილების შემთხვევაში გავაკეთეთ. ჩვენ ვიცით, რომ 10 000 დაბადებულზე ერთი ფკუ-ს შემთხვევა გვაქვს ($\chi^2=0,0001$), რეცესიული ფკუ ალელის სიხშირე იქნება:

$$q = \sqrt{0,0001} = 0,01$$

დომინანტური ალელისთვის სიხშირე იქნება

$$p = 1 - q = 1 - 0,01 = 0,99$$

ფკუ-ს მტარებელი ჰეტეროზიგოტების სიხშირე, რომელიც არ ავადდება ფკუ-თი, მაგრამ გადასცემენ ფკუ ალელს შთამომავლობას არის:

$$2pq = 2 \times 0,99 \times 0,01 = 0,0198$$

(აშშ-ს პოპულაციის დაახლოებით 2%)

გახსოვდეთ, რომ ჰარდი-ვაინბერგის წონასწორობა მხოლოდ მიახლოებითია; ფკუ-ს მტარებლების რეალური რიცხვი შეიძლება განსხვავებული იყოს. მიუხედავად ამისა ჩვენ შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ ადამიანების პოპულაციაში ამ და სხვა ლოკუსებშიც ფარულად ბევრი სახიფათო რეცესიული ალელი იმყოფება. ამ ალელების მტარებლები კი ჯანმრთელი ჰეტეროზიგოტები არიან.

ჯანცოცია 23.1 შემოწმება

1. რა შემატა მენდელის აღმოჩენამ დარვინის ევოლუციურ თეორიას?
2. წარმოიდგინეთ პოპულაცია, რომლის თითოეული ინდივიდს 500 გენეტიკური ლოკუსი გააჩნია. ამ ლოკუსების ნახევარი ერთადერთი ალელითაა წარმოდგენილი, ხოლო დანარჩენი ლოკუსი – ორი ალელით. რამდენ ალელს შეიცავს პოპულაციის გენოფონდი? ახსენით
3. ჰარდი-ვაინბერგი განტოლების ($p^2 + 2pq + q^2 = 1$) რომელი წევრი დაკავშირებულია ფკუ ალალის მტარებელი ინდივიდების სიხშირესთან?

ჯანცოცია 23.2

მუცაციების და სქესობრივი გამტარების შედგად წარმოიქმნება გენეტიკური მტარალოფრთხება (მემკვიდრეობითი ცვალობადობა). ცვალობადობის შედგად კი მიმდინარეობს ევოლუცია

როგორც უკვე გაიცეთ, ბუნებრივი გადარჩევის მოქმედება მემკვიდრეობით ცვლილებებს ემყარება. ზოგჯერ პოპულაციის ინდივიდებში ცვლილებები მეტად უმნიშვნელოა. ორი პროცესი: მუტაციები და სქესობრივი რეკომბინაციები გენოფონდის ცვალებადობას იწვევენ. გენოფონდის ცვლილება კი პოპულაციის ინდივიდებში მომხდარ ცვლილებებთან არის დაკავშირებული.

მუცაციები

ახალი გენები და ახალი ალელები მხოლოდ მუტაციის შედეგად წარმოიქმნება (სურათი 23.6) მუტაცია წარმოადგენს **ღმ**-ის თანამიმდვრების ცვლილებას. მუტაცია ჰგავს თოფის გასროლას სიბნელეში. შეუძლებელია განვსაზღვროთ, თუ როგორ შეცვლის **ღმ**-ს და რა იქნება ამ ცვლილების შედეგი. მუტაციების უმეტე-

სობა სომატურ (არა სასქესო) უჯრედებში წარმოიქმნება. ინდივიდის სიკვდილთან ერთად ეს მუტაციები იკარკებიან. მხოლოდ ის მუტაციები, რომლებიც გამეტების წაქრომქმნელ სასქესო უჯრედებში ინდუცირდება, შეიძლება გადაეცეს შთამომავლობას. ამავე დროს მათი მხოლოდ მცირე ნაწილი ვრცელდება პოპულაციაში.

ნერტილოვანი მუტაციები

ისეთ მცირე ცვლილებასაც, როგორიცაა ერთი წყვილი ნუკლეოტიდის შეცვლა, ანუ „ნერტილოვანი მუტაცია“ შეიძლება მნიშვნელოვანი გავლენა მოახდინოს ფენოტიპზე. ამის მაგალითია ნამგლისებრუჯრედოვანი ანემია (მემკვიდრული დაავადება) (იხილეთ სურათი 5.21). მაგრამ ნერტილოვანი მუტაციების უმეტესობა სავარაუდოდ უვნებელია. ამის ერთი მიზეზია ის, რომ ეუკარიოტული გენომის **ღვმ**-ის უმეტესი ნაწილი არ კოდირებს ცილოვან პროდუქტებს. გენეტიკური კოდში არსებობს სინონიმური კოდონები, რის გამოც ცილების მაკოდირებელ გენებში მომხდარი ნერტილოვანი მუტაციები ცილის ამინომჟავურ შემადგენლობას არ ცვლიან (იხილეთ სურათი 17.24) და ამგვარად მათი გავლენა მცირეა. თუმცა ზოგი, კოდირების უნარის არამქონე **ღვმ**-ის რეგიონი გენების ექსპრესიას არეგულირებს. ამდაგვარ მარეგულირებელ რეგიონის **ღვმ**-ში მომხდარი ცვლილებები მნიშვნელოვან ეფექტს იძლევიან.



▲ **სურათი 23.6** მუტაციები ყველა მემკვიდრეობითი ცვალებადობის წყაროა. ამ ველური მუსტანგების განსხვავებული შეფერილობა მრავალი თაობის განმავლობაში მომხდარი მუტაციების შედეგია.

ცალკე აღებულ ორგანიზმზე აისახება გადარჩევის შედეგი, რომელიც ათასობით თაობის განმავლობაში წარსულში ხდებოდა. ამიტომ გენომზე ერთი მუტაციური ცვლილების მოქმედების ალბათობა იგივეა, რაც მანქანის კაპოტის მიმართულებით ბრმა გასროლის შედეგად მანქანის ძრავას თვისებების გააუმჯობესების ალბათობა. თუმცა, იშვიათ შემთხვევებში მუტანტური ალელის მტარებელი უკეთ ესადაგება გარემოს, ვინაიდან იზრდება მისი რეპროდუქციული წარმატება. ეს ხდება მაშინ, თუ გარემო პირობები იცვლება. ის მუტაციები, რომლებიც ადრე

ორგანიზმისთვის მავნე იყვნენ შეცვლილ გარემოში უპირატესობას ანიჭებენ მას. მაგალითად: როგორც 22 თავში ნაიკითხეთ, მუტაციები, რომლებიც **ჰი3**-ს ვირუსის სამკურნალო პრეპარატის მიმართ მდგრადობას ანიჭებენ, ამავე დროს ამცირებენ მისი გამრავლების სიჩქარეს. ამ მუტანტურ ალელებს უპირატესობა ენიჭებათ პრეპარატის მოქმედების შემდეგ. წამლის მიღების შემდეგ ბუნებრივი გადარჩევის მოქმედების შედეგად იზრდება მუტანტური ალელის რაოდენობა.

მუტაციები რომლებიც ცვლიან გენების რაოდენობას ან თანამიმდევრობას

ქრომოსომული მუტაციები, რომლებიც ერთბაშად შლიან, ანაწევრებენ ან ადგილებს უცვლიან მრავალ ლოკუსს თითქმის ყოველთვის საზიფათოა ორგანიზმისთვის. თუმცა, თუ გენები ხელშეუხლებლები რჩებიან ასეთი მუტაციების გავლენა ორგანიზმზე შეიძლება ნეიტრალური იყოს. იშვიათ შემთხვევებში ქრომოსომათა შორის უბნების გადაატანა წარმატებულიც კი არის. მაგალითად, ერთი ქრომოსომის ნაწილის გადატანამ სხვა ქრომოსომაზე შეიძლება ისე გააერთიანოს გენები, რომ მათ ერთად მეტი პოზიტიური ეფექტი ექნებათ.

გენების **დუბლიკაცია (გაორმაგება)** ცვალებადობის მნიშვნელოვანი რესურსია. სხვა ქრომოსომული მუტაციების მსგავსად, ქრომოსომების სეგმენტების გაორმაგებაც თითქმის ყოველთვის საზიანოა ორგანიზმისთვის. თუ სეგმენტების ასეთ გაორმაგებას არა აქვს მკვეთრი ეფექტი, ის შეიძლება თაობების განმავლობაში გრძელდებოდეს. ამავე დროს სხვადასხვა მობილური გენეტიკური ელემენტების მეშვეობით (იხილეთ თავი 19) გენომში ხშირად ხდება **ღვმ**-ის უფრო მცირე მონაკვეთები. ყოველივე ამის გამო წარმოიქმნება ახალი ლოკუსებით გაზრდილი გენომი. გაზრდილმა გენომმა შემდგომი მუტაციების და შემდგომი გადარჩევის შედეგად შეიძლება ახალი ფუნქციები შეიძინოს. ახალი გენები წარმოიქმნება მაშინაც, როცა მაკოდირებელი გენების (ექზონების) გარკვეული რაოდენობა გენომში გადაადგილებულია.

გენების რიცხვის ნაირგვარი გაზრდა როგორც ჩანს მნიშვნელოვან როლს თამაშობს ევოლუციაში. მაგალითად ძუძუმწოვრების შორეულ წინაპარს სურნელის გასარჩევად ერთეული გენი მოეპოვებოდა. მრავალი მუტაციების შედეგად გენი დუპლიცირდა. ამჟამად თანამედროვე ადამიანს ყნოსვის რეცეპტორების 1 000-მდე გენი აქვს, თავის კი 1 300. შემდგომმა მუტაციებმა ადამიანის ყნოსვის რეცეპტორთა გენების დაახლოებით 60% ინაქტივაცია მოახდინეს. თავგმა კი დაკარგა გენების მხოლოდ 20%. ეს მკვეთრი დემონსტრაციაა იმის, რომ მრავალმწერტი და მძაფრი ყნოსვა უფრო მნიშვნელოვანია თავისთვის ვიდრე ჩვენთვის!

მუტაციების სიხშირე

მუტაციების სიხშირე ცხოველებში და მცენარეებში დაბალია, ყოველ თაობაში საშუალოდ ყოველ 100 000 გენზე ერთი მუტაცია მოდის. მაგრამ სიცოცხლის მცირე ხანგრძლიობის მქონე მიკროორგანიზმებში და ვირუსებში მუტაციები სწრაფად ქმნიან გენეტიკურ ცვლილებებს. მაგალითად, **ჰი3** ვირუსის თაობის

სიცოცხლის ხანგრძლივობა დაახლოებით ორი დღეა. ვირუსის გენომი წარმოადგენს **რ68**-ს, რომელსაც მუტაციის გაცილებით მაღალი სიხშირე ახასიათებს, ვიდრე **ღ58**-ის გენომს. ამ მიზეზის გამო ერთი პრეპარატის გამოყენება **აი03**-ის წინააღმდეგ არაეფექტურია, ვინაიდან ძალიან სწრაფად ჩნდებიან კონკრეტული წამლის მიმართ რეზისტენტული ვირუსის მუტანტური ფორმები. ორი წამლით მკურნალობასაც კი არა აქვს ხანგრძლივი ეფექტი, ვინაიდან ორი მუტაციის მქონე და ორივე წამლის მიმართ რეზისტენტული ვირუსები ყოველდღე ჩნდებიან. შიდსის წინააღმდეგ ყველაზე უფრო ეფექტურია წამლების „კოკტილი“, ანუ რამდენიმე მედიკამენტის ნარევი. ნაკლებად მოსალოდნელია, რომ ხანმოკლე პერიოდის განმავლობაში გაჩნდებიან ყველა წამლის მიმართ მრავალი მუტაციების მქონე ვირუსები.

სქესობრივი ზეგავლენა

სქესობრივი გამრავლების უნარის მქონე პოპულაციებში სქესობრივი რეკომბინაცია გაცილებით უფრო მნიშვნელოვანია ვიდრე მუტაციები. დროთა განმავლობაში სქესობრივი რეკომბინაციების შედეგად წარმოიქმნება ცვლილებები, რომლებიც ზრდიან ორგანიზმის ადაპტაციას. ფენოტიპური მრავალფეროვნება დაფუძნებულია ორგანიზმებს შორის გენეტიკურ განსხვავებაზე. თითქმის ყველა ფენოტიპური ვარიაცია გენოფონდის ალელების რეკომბინაციული გადაადგილების შედეგია (ალელების ეს ვარიაციები ჩნდებიან წარსულში მომხდარი მუტაციების შედეგად). პოპულაციაში პარტნიორის შერჩევის მილიონობით ვარიანტი არსებობს. განაყოფიერების შედეგად გენეტიკური შემადგენლობით განსხვავებული ინდივიდების გამეტები ერთიანდებიან. სქესობრივი გამრავლების შედეგად ყოველ თაობაში ხდება ალელების რეორგანიზაცია და ახალი კომბინაციების შექმნა. ასევე გენთა რეკომბინაცია მიმდინარეობს მრავალ ვირუსსა და ბაქტერიაში. მათში ეს პროცესი გაცილებით ნაკლებ რეგულარულად და სხვა გზით ხორციელდება, ვიდრე ცხოველებსა და მცენარეებში. ამის საშუალებით მათ შეუძლიათ სახეობათა შორის არსებული ბარიერები გადალახონ (იხილეთ თავი 18). საჭმლით მონამვლის მრავალ შემთხვევებში „დამნაშავე“ ცოლის ბაქტერია ესცპერიცპია-ს 157:7-ს შტამი. მისი მრავალი გენი სხვადასხვა სახეობის ბაქტერიების გენთა მოზაიკას წარმოადგენს. ინტენსიური რეკომბინაციის შედეგად პათოგენები სწრაფად იცვლებიან. მუტაციების მაღალ სიხშირესთან ერთად რეკომბინაციის უნარი, განსაკუთრებით საშინეს ხდის პათოგენებს.

კონცეფცია 23.2 შემოწმება

1. გენოფონდში ვრცელდება ყველა წარმოქმნილი მუტაციების მხოლოდ მცირე ნაწილი, რატომ?
2. როგორ წარმოიქმნება ვარიაციები სქესობრივი რეკომბინაციების შედეგად?

კონცეფცია 23.3

ბუნებრივი გადარჩევა, გენთა დრეიფი და გენთა ნაკადი ცვლის პოპულაციის გენეტიკურ შემადგენლობას

გადახედეთ ისევ ხუთ წესს გვერდზე. პოპულაცია რომ ჰარდი-ვაინგერგის წონასწორობაში იმყოფებოდეს, ამ წესების დაცვაა საჭირო. ამ მდგომარეობიდან ნებისმიერი გადახრა ევოლუციის პოტენციური მიზეზია. თუმცა მართალია, რომ ახალ მუტაციებს შეუძლიათ შეცვალონ ალელების სიხშირე, მაგრამ ერთი თაობიდან მეორეზე გადასვლისას, როგორც ჩანს მცირე ცვლილებები ხდება. რეკომბინაციების შედეგად ხდება ალელების გადაადგილება, მაგრამ არ იცვლება მათი სიხშირე. იმ შემთხვევაში, როცა შეჯვარება არ არის შემთხვევითი, ალელების სიხშირეზე შეიძლება იმოქმედოს ჰომოზიგოტი და ჰეტეროზიგოტი გენოტიპების შეფარდებითა სიხშირეებმა. როგორც წესი ისინი არ ახდენენ ალელების სიხშირეზე გავლენას. ალელების სიხშირეს ცვლის სამი ძირითადი ფაქტორი. იგივე ფაქტორები გვაძლევს ევოლუციური ცვლილებების ძირითად რაოდენობას. ეს არის ბუნებრივი გადარჩევა, გენთა დრეიფი და გენთა ნაკადი.

ბუნებრივი გადარჩევა

როგორც 22 თავში გაეცანით დარვინის ბუნებრივი გადარჩევის კონცეფცია ემყარება განსხვავებულ წარმატებულ გამრავლებას. პოპულაციაში ინდივიდებს მემკვიდრეობით ნიშან-თვისებების ვარიაციები ახასიათებთ. გარემოსთან უკეთ მისადაგებული ცვლილებების მქონე ინდივიდები მეტ შთამომავლობას ტოვებენ, ვიდრე ისინი, ვისი თვისებები ნაკლებად მორგებულია გარემოს პირობებს.

ჩვენ ვიცით, რომ გადარჩევა აისახება ალელების პროპორციებში, რომლებიც შემდეგ თაობას გადაეცემა. შემდგომი თაობების ალელების შეფარდებითი სიხშირეები განსხვავდებიან წინა თაობების შეფარდებითი სიხშირეებისგან. მაგალითად ჩვენი წარმოსახვითი ყვავილოვანი მცენარის პოპულაციის შემთხვევაში, თეთრი ყვავილები ($C^W C^W$) მცენარეჭამია მწერებისთვის შეიძლება უფრო ადვილად შესამჩნევი აღმოჩნდეს. ამის შედეგად ძირითადად თეთრ ყვავილიანი მცენარეები ნადგურდებიან. დაუშვათ, რომ ნითელი ყვავილები ($C^R C^R$) მეტად იზიდავენ დამტვერავ მწერებს. ამის შედეგად ნითელყვავილიან მცენარეებს მეტი შანსი აქვთ დატოვონ შთამომავლობა. ორივე ეს სხვაობა — გადარჩენაში და რეპროდუქციულ წარმატებაში არღვევს ჰარდი-ვაინგერგის წონასწორობას: C^W ალელის სიხშირე გენოფონდში მცირდება და C^R ალელის სიხშირე კი იზრდება. მოგვიანებით ამ თავში უფრო ახლოს განვიხილავთ ბუნებრივი გადარჩევის პროცესს.

გენტა ღრეფი

ააგდეთ მონეტა 1 000 ჯერ. თუ მონეტის დავარდნის შედეგად მიიღებთ 700 ავერსს და 300 რევერსს ეჭვი შეგეპარებათ მონეტის სინამდვილეში (შეიძლება ის ყალბია). მაგრამ თუ ააგდებთ მხოლოდ 10 ჯერ და შედეგად მიიღებთ 7 ავერსს და 3 რევერსს ეს იქნება ნორმალური მოვლენა. რაც უფრო მცირეა ნიმუში, მით მეტია მოსალოდნელი შედეგიდან გადახრა. ჩვენს შემთხვევაში ავერსის და რევერსის წარმოქმნის ალბათობიდან გადახრა თანაბარია. მსგავსი გადახრა მოსალოდნელი შედეგიდან (ის იმის შედეგია, რომ რეალური პოპულაციების ზომა განსაზღვრულია და არა განუსაზღვრელი), ხსნის ერთი თაობიდან მეორემდე ალელების სიხშირის მოულოდნელი ცვლილებებს. ასეთ ფლუქტუაციებს (გადახრებს) **გენტა დრეფტს** უწოდებენ. განვიხილოთ 23.7 სურათზე გამოსახული მაგალითი. გავითვალისწინოთ, რომ ამ შემთხვევაში ერთ-ერთი ალელი გაურკვეველი მიზეზის გამო დაიკარგა; რაც ნიშნავს, რომ C^W და არა C^R ალელის დაკარგვა სუფთა შემთხვევითობაა. დროის განმავლობაში გენების დრეფტი აქრობს ალელებს და ამცირებს გენოფონდის გენეტიკურ ცვალებადობას.

ორი მოვლენა, ვინრო ყელის ეფექტი და დამფუძნებლის ეფექტი ზრდის გენეტიკური დრეფტის პოპულაციაზე გავლენის ალბათობას.

ბოთლის (ვინრო) ყელის ეფექტი

გარემოს პირობების მკვეთრმა ცვლილებამ შეიძლება ძლიერ შეამციროს პოპულაციის რიცხოვნობა. ამის შედეგად რამდენიმე გადარჩენილმა ორგანიზმმა შეიძლება გააღწიოს შეზღუდულ „ვინრო ყელში“. ამ შემთხვევაში მათი გენოფონდი უკვე არ ასახავს საწყისი პოპულაციის გენოფონდს; ამ მოვლენას **ვინრო ყელის ეფექტს** უწოდებენ (**სურათი 23.8ა**). გადარჩენილთა შორის გარკვეული ალელები რაღაც ალბათობით შეიძლება ჭარბი რაოდენობით იყვნენ წარმოდგენილნი. სხვა ალელები შეიძლება არ იყვნენ წარმოდგენილნი, ან ძალიან მცირე რაოდენობით იყვნენ წარმოდგენილნი გადარჩენილებს შორის. გენტა დრეფტი მრავალი თაობის განმავლობაში საკმაოდ ძლიერად ცვლის გენოფონდს, სანამ პოპულაცია იქამდე არ გიზრდება, რომ ფლუქტუაციას ნაკლები ეფექტი ექნება.

მნიშვნელოვანია გვესმოდეს ვინრო ყელის ეფექტის გავლენა. ამის ერთი მიზეზი იმაშია, რომ ადამიანის ზემოქმედების შედეგად ზოგიერთი სახეობებისთვის ხანდახან წარმოიქმნება ვინრო ყელის ეფექტი. მაგალითად 1890 წლებში ნადირობის შედეგად ჩრდილოეთის ზღვის სპილოს კალიფორნიის პოპულაცია 20 ინდივიდამდე შემცირდა. ამის გა-მოც ის დაცულ სახეობათა ნუსხაში შეიტანეს. დაცვის შედეგად პოპულაცია 30 000 ინდივიდამდე გაიზარდა (**სურათი 23.8ბ**). მკვლევარებმა აიღეს ზღვის სპილოების რეპრეზენტატიული სინჯი და გენების 24 ლოკუსი გამოიკვლიეს. მათ ლოკუსთა ცვლილებები ვერ აღმოაჩინეს. თითოეული გენი მხოლოდ ერთი ალელი იყო წარმოდგენილი. მონაცემები სამხრეთის ზღვის სპილოების პოპულაციას შეადარეს, რომელიც ჩრდილოეთის სახეობის ახლო ნათესავია. ამ უკანასკნელს ვინრო ყელი არ გაუვლია. სამხრეთის ზღვის სპილოებს მნიშვნელოვანი გენეტიკური ცვალებადობა აღენიშნებოდა.

დამფუძნებლის ეფექტი

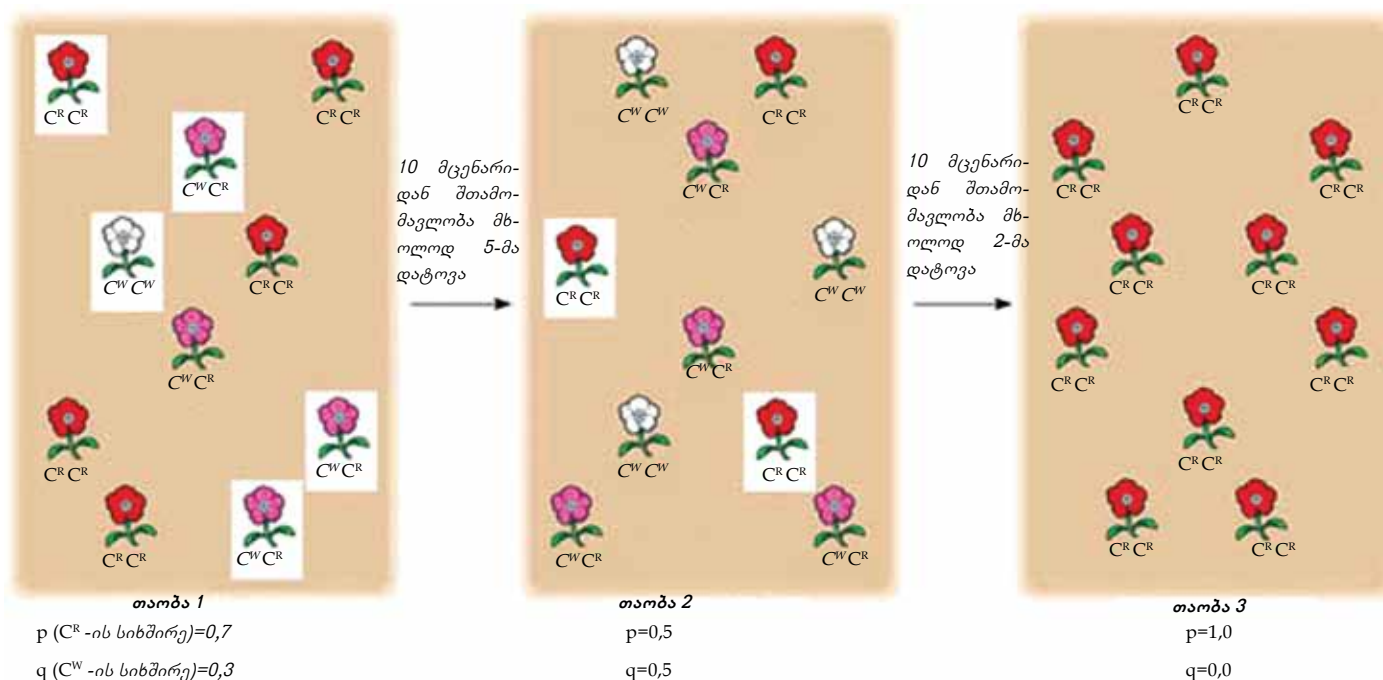
როცა ხდება რამდენიმე ინდივიდის იზოლირება უფრო დიდი პოპულაციიდან, ამ მცირე ჯგუფმა (რამდენიმე ინდივიდმა) შეიძლება დააარსოს ახალი პოპულაცია. ახალი პოპულაციის გენოფონდი საწყისი პოპულაციის გენოფონდისგან განსხვავებული იქნება; ამ მოვლენას **დამფუძნებლის ეფექტს** უწოდებენ. მაგალითად დამფუძნებლის ეფექტს შეიძლება ადგილი ჰქონდეს როცა ხდება ახალ ტერიტორიაზე პოპულაციის რამდენიმე წევრის დასახლება. ეს დამფუძნებლები „იზოლაციის ვინრო ყელში“ გადიან და დამოუკიდებელ გენოფონდს ქმნიან. ამ გენოფონდში ალელების სიხშირე განსხვავდება საწყისი პოპულაციის გენოფონდის ალელთა სიხშირისგან.

დამფუძნებლის ეფექტი გამოვლენილია ადამიანის იზოლირებულ პოპულაციაშიც მათ გარკვეული მეგვიდრეობითი დარღვევების შედარებით მაღალი სიხშირე აღენიშნებათ. მაგალითად, 1814 წელს 15 კოლონისტმა დააარსა ტრისტან დე კუნიამში (აფრიკასა და სამხრეთ ამერიკას შორის შუა გზაზე, ატლანტიკის ოკეანეში, მდებარე მცირე კუნძულების ჯგუფი) ბრიტანული დასახლება. უეჭველია, რომ ერთ-ერთი კოლონისტი რეტინიტ პიგმენტოზის რეცესიული ალელის მტარებელი იყო (სიბრმავის პროგრესული ფორმა, რომელიც ვლინდება ჰომოზიგოტ ინდივიდებში). გვიან 1960 წლებში ამ პირველი კოლონისტების 240 შთამომავალიდან დაავადება ოთხს ალენიშნებდა. ამ ალელის სიხშირე ტრისტან დე კუნიამზე ათჯერ მეტი აღმოჩნდა, ვიდრე იმ პოპულაციაში, საიდანაც დამფუძნებლები მოვიდნენ.

გენტა ნაკადი

გენტა ნაკადის არსებობის გამო პოპულაციამ შეიძლება შეიძინოს ან დაკარგოს გარკვეული ალელები. პოპულაციას გენეტიკური მასალა ემატება ან აკლდება. ეს პროცესი ხდება ფერტილური (ნაყოფიერი) ინდივიდების ან გამეტების გადაადგილების შედეგად. მაგალითად: წარმოვიდგინოთ, რომ ჩვენს წარმოსახვით ყვავილოვან მცენარეთა პოპულაციასთან ახლოს არის ახლად დაფუძნებული ველურად მოზარდი ყვავილოვან მცენარეთა პოპულაცია. ახალი პოპულაცია ძირითადად შედგება თეთრყვავილიანი ინდივიდებისგან ($C^W C^W$). დამტვერავ მწერებს შეუძლიათ გადაფრენა და საწყისი პოპულაციის მცენარეების დამტვერვა. შემოტანილმა C^W ალელებმა შეიძლება შეცვალონ ალელების სიხშირე ჩვენი საწყისი პოპულაციის მომდევნო თაობაში.

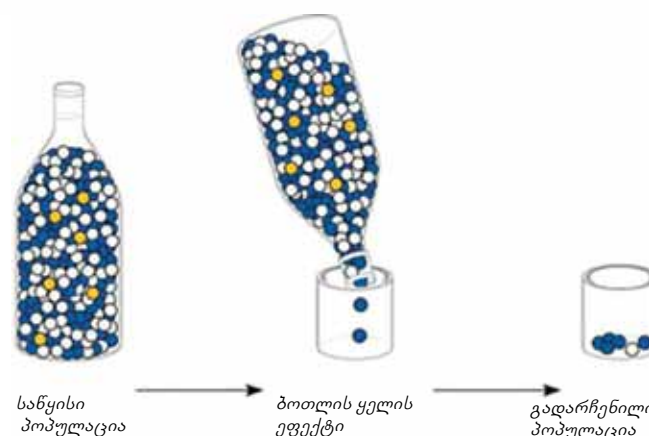
გენების ნაკადს აქვს ტენდენცია შეამციროს პოპულაციებს შორის გენეტიკური სხვაობა. თუ გენტა ნაკადი საკმაოდ ინტენსიურია, მას შეუძლია მეზობელი პოპულაციები საერთო გენოფონდის მქონე ერთ პოპულაციად გააერთიანოს. მაგალითად: დღეს ადამიანები გაცილებით ადვილად გადაადგილდებიან მსოფლიოს მასშტაბით, ვიდრე ეს ადრე იყო. ამის შედეგად გენების ნაკადი უფრო მნიშვნელოვანი გახდა ადამიანის პოპულაციაში არსებული ევოლუციური ცვლილებებისთვის, ვიდრე იმ დროს, როცა ადამიანები შედარებით იზოლირებულები იყვნენ.



▲ **სურათი 23.7 გენთა დრეიფი.** ამ ველური ყვავილოვანი მცენარის მცირე პოპულაცია 10 მცენარისგან (სტაბილური რიცხვი) შედგება. აქედან პირველ თაობაში მხოლოდ 5 მცენარე (თეთრ ჩაჩოში არიან) გვაძლევს ფერტილურ (გამრავლების უნარის მქონე) შთამომავლობას. მეორე თაობიდან შემთხვევით მხოლოდ 2 მცენარე ტოვებს ფერტილურ შთამომავლობას. C^W ალელის რაოდენობა ჯერ იზრდება მეორე თაობაში, შემდეგ კი ნოლამდე ეცემა მესამე თაობაში.

კონცეფცია 23.3 შემოწმება

- ერთი მხვრივ ბუნებრივი გადარჩევა უკეთ გვაძლევს მომავლის სურათს, ვიდრე გენთა დრეიფი. რატომ?
- განასხვავეთ გენთა დრეიფი და გენთა ნაკადი იმის მიხედვით თუ: (ა) როგორ მიმდინარეობენ ისინი და (ბ) მათი წვლილი პოპულაციაში მიმდინარე შემდგომ გენეტიკურ ცვალებადობაში.



(ა) რამდენიმე ბურთულას ბოთლის ვიწრო ყელში გატარება ანალოგიურია გარემოს არახელსაყრელი ცვლილებების შედეგად პოპულაციის ზომის მნიშვნელოვანი შემცირების. სრულიად შემთხვევით, ლურჯი ბურთულები ახალ პოპულაციაში ძველთან შეფარდებით ბევრია, ყვითელი კი არ არის.



(ბ) ორგანიზმების პოპულაციის ბოთლის ყელში გატარება ამცირებს გენეტიკურ ცვალებადობას. ამის მაგალითია კალიფორნიის ჩრდილოეთის ზღვის ზღვის ლომების პოპულაცია, რომლებიც გადაჭარბებული ნადირობის გამო გადაშენების პირას იყვნენ.

▲ **სურათი 23.8 ვიწრო (ბოთლის) ყელის ეფექტი**

კონცეფცია 23.4

ბუნებრივი გადარჩევა ადაპტური ევოლუციის ბირთვადი მექანიზმია

ყველა იმ ფაქტორიდან, რომელსაც შეუძლია გენოფონდის შეცვლა, მხოლოდ ბუნებრივ გადარჩევას შეუძლია მოახდინოს პოპულაციის ადაპტაცია გარემოსთან. ბუნებრივი გადარჩე-

ვის შედეგად პოპულაციაში გროვდებიან წამყვანი (ფავორიტი) გენოტიპები. ამავე დროს ხდება ამ გენოტიპების შენახვა. როგორც ადრე ნაიკითხეთ, ბუნებრივი გადარჩევის პროცესი გენეტიკური ცვალებადობაზე დამოკიდებული.

გენეტიკური ცვალებადობა

ალბათ არ გაგიჭირდებათ ხალხში მეგობრების ამოცნობა. ყველა ადამიანს აქვს უნიკალური გენომი. გენომი აისახება ინდივიდუალურ ფენოტიპურ ცვალებადობაში, როგორცაა: გარეგნობა, ხმა და ტემპერამენტი და მისთ. ინდივიდუალური ცვალებადობა ყველა სახეობის ინდივიდისთვის არის დამახასიათებელი. ადამიანების უმეტესობა ძალიან მგრძნობიარეა საკუთარი სახეობის ცვალებადობის მიმართ, მაგრამ ნაკლებად მგრძნობიარეა სხვა სახეობებში არსებული ინდივიდუალიზმის მიმართ. მაგრამ ცვალებადობა ყოველთვის არსებობს ყველა სახეობაში. დარწმუნებით აღნიშნავდა, რომ მემკვიდრეობითი ცვალებადობა მასალას ქმნის ბუნებრივი გადარჩევისთვის. იმ განსხვავებასთან ერთად, რომელთა დანახვა ან გაგონება შეგვიძლია, პოპულაციებს ახასიათებთ ინტენსიური გენეტიკური ცვალებადობა. გენეტიკური ცვალებადობის დანახვა შესაძლებელია მხოლოდ მოლეკულურ დონეზე. მაგალითად: შეუძლებელია ინდივიდის სისხლის ჯგუფის დადგენა (, , ან), მხოლოდ სისხლის გარეგნული სახის მიხედვით.

ყველა ფენოტიპური ცვლილება არ არის მემკვიდრეობითი (**სურათი 23.9**). ფენოტიპი ყალიბდება გენოტიპის და გარემოს გავლენის ერთიანი მოქმედების შედეგად. მაგალითად: ატლეთები მნიშვნელოვნად ცვლიან საკუთარ ფენოტიპს, მაგრამ მათი მძლავრად განვითარებული კუნთები მომდევნო თაობას მემკვიდრეობით არ გადაეცემა. მნიშვნელოვანია გვახსოვდეთ, რომ ცვალებადობის მხოლოდ გენეტიკურ კომპონენტს შეუძლია ევოლუციური როლი ჰქონდეს და ბუნებრივი გადარჩევის შედეგს წარმოადგენდეს.



(ა) გაზაფხულზე გამოსული
ჭრელურა: ნარინჯისფერი
და ყავისფერია



(ბ) გვიან ზაფხულში გამოსული
ჭრელურა: შავი და თეთრია

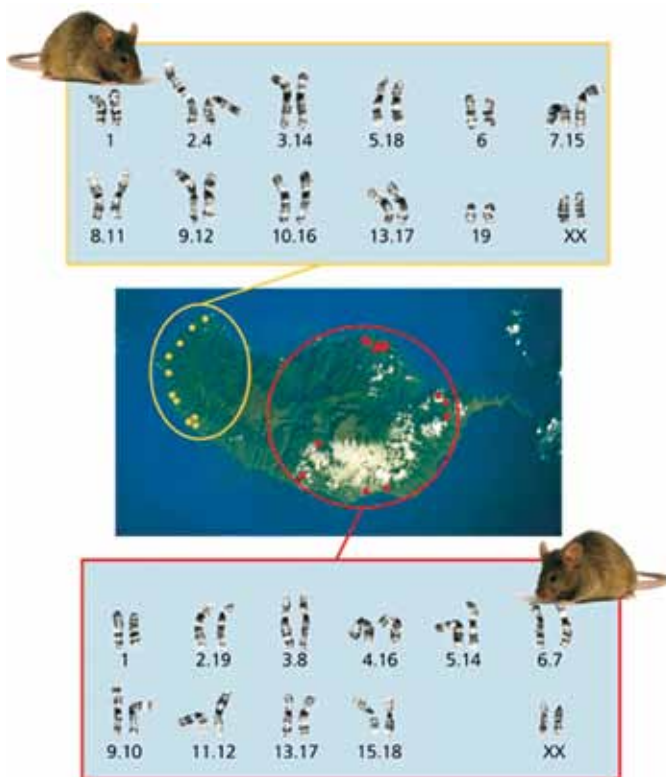
▲ **სურათი 23.9** არამემკვიდრეობითი ცვალებადობა პოპულაციაში. ამ სურათზე გამოსახულია ჭრელურა (*Araschnia levana*), რომელიც იგივე სახეობის სეზონური ფორმაა. გამოქვეყნებული პორმონების სეზონური სხვაობის გამო (ა) გაზაფხულობით გამოსული ინდივიდები ნარინჯისფერნი და ყავისფერნი არიან (ბ). გვიან ზაფხულში გამოსული ინდივიდები კი თეთრი და შავი შეფერილობის. შეფერილობის განმსაზღვრელი ლოკუსის მიხედვით ეს ორი ფორმა გენეტიკურად იდენტურია. აქედან გამომდინარე, თუ ამ ორი ფორმის რეპროდუქციული წარმატება განსხვავებულია, ჩვენ მაინც ვერ მივიღებთ გენოტიპში ცვლილებას.

ცვალებადობა პოპულაციებში

ორივე: დისკრეტული (წყვეტილი) და რაოდენობრივი (უნწყვეტი) მაჩვენებლები დაკავშირებულია პოპულაციაში არსებულ ცვალებადობასთან. დისკრეტული თვისებებია მაგალითად: წითელი, ვარდისფერი და თეთრი შეფერილობა ველურად მოზარდ ყვავილოვან მცენარეთა წარმოსახვით პოპულაციაში. ყვავილების შეფერილობა მაშინ იქნება შემდეგი: ყოველ მცენარეს აქვს ყვავილი, რომელიც ან ყველა ვარდისფერია, ან წითელი, ან თეთრი. დისკრეტული თვისებები ხშირად ერთი გენის განსხვავებული ალელებით არის დეტერმინირებული, რომლებიც განსხვავებულ ფენოტიპს აყალიბებენ. როგორც 22 თავში იყო ნათქვამი, გენეტიკურ მრავალფეროვნებას ძირითად უწყვეტი (რაოდენობრივი) მახასიათებლები ქმნიან. რაოდენობრივი მახასიათებლები პოპულაციის შიგნით უწყვეტად იცვლებიან. უწყვეტი მემკვიდრეობითი ცვალებადობა ერთ ფენოტიპურ ნიშანზე ორი ან მეტი გენის ზემოქმედების შედეგია.

პოლიმორფიზმი. როდესაც ინდივიდები ცალკეული ნიშან-თვისების მიხედვით განსხვავდებიან, ისინი განსხვავებულ ფორმებს ქმნიან. ამ განსხვავებულ ფორმებს მორფებს უწოდებენ. ამბობენ, რომ პოპულაცია ავლენს გარკვეული ნიშან-თვისების მიხედვით **ფენოტიპურ პოლიმორფიზმს**. ამ შემთხვევაში ორი ან მეტი განსხვავებული მორფა საკმაოდ მაღალი სიხშირით არის წარმოდგენილი პოპულაციაში. ამავე დროს ეს მორფები ადვილად შესამჩნევია არიან პოპულაციაში. (განსახილვერება „ადვილად შესამჩნევია“ გარკვეულწილად სუბიექტურია, მაგრამ პოპულაცია არ არის პოლიმორფული, თუ ის ძირითადად ერთი მორფისგან შედგება, სხვა მორფები კი ძალიან იშვიათად გვხვდებიან). საპირისპიროდ, ადამიანის პოპულაციაში სიმაღლის ცვალებადობა არ აჩვენებს ფენოტიპურ პოლიმორფიზმს, ვინაიდან ადამიანის პოპულაცია არ შედგება განსხვავებული და განცალკევებული მორფებისგან — ფენოტიპი იცვლება უწყვეტად. ანუ სიმაღლის ცვლილება უწყვეტია ადამიანის პოპულაციაში. თუმცა გენეტიკურ დონეზე უწყვეტად ცვალებადი თვისებების ფორმირებაში პოლიმორფიზმი გარკვეულ როლს თამაშობს. სიმაღლის განმსაზღვრელი მემკვიდრეობითი კომპონენტი **გენეტიკური პოლიმორფიზმის** შედეგია. გენეტიკური პოლიმორფიზმი არსებობს იმ რამდენიმე ლოკუსის ალელისთვის, რომლებიც გავლენას ახდენენ სიმაღლეზე.

გენეტიკური ცვალებადობის გაზომვა. პოპულაციურ გენეტიკაში არსებობს პოპულაციაში პოლიმორფიზმის რიცხვის განსაზღვრის მეთოდი. ამისთვის საჭიროა განისაზღვროს ჰეტეროზიგოტების რაოდენობა ორივე დონეზე: გენის დონეზე (გენეტიკური ცვალებადობა) და მოლეკულურ, **დმმ**-ის დონეზე (ნუკლეოტიდური ცვალებადობა). რომ დავინახოთ ამ მექანიზმის მოქმედება, განვიხილოთ ხილის ბუზის (დროზოფილას) პოპულაცია. ხილის ბუზის გენომი შედგება დაახლოებით 13 000 ლოკუსისგან შედგება. დროზოფილას **საშუალო ჰეტეროზიგოტულობა** იზომება, როგორც ჰეტეროზიგოტი ლოკუსების საშუალო პროცენტი. საშუალოდ ხილის ბუზი არის ჰეტეროზიგოტი (აქვს ორი განსხვავებული ალელი) ლოკუსების დაახლოებით 14% მიხედვით. ასე რომ, შეგვიძლია ვთქვათ, რომ ბუზის პოპულაციის საშუალო ჰეტეროზიგოტულობა 14%. ანუ რომ ტიპური ხილის ბუზი ჰეტეროზიგოტულია 13 000 გენის ლოკუსიდან



▲ **სურათი 23.10** ქრომოსომული მუტაციების კავშირი გეოგრაფიულ ცვალებადობასთან. კუნძულ მაღეირაზე სახლის თავის რამდენიმე პოპულაცია ბინადრობს. ისინი ერთმანეთისგან მთებით განცალკევებული არიან და ამიტომ იზოლირებულად ვითარდებოდნენ. მეკლევერებმა იზოლირებული პოპულაციების კარიოტიპში (ქრომოსომთა ნაკრები) სხვაობა ნახეს. ზოგ პოპულაციაში სანყისი ქრომოსომების შერწყმა მოხდა. მაგალითად: "2,4"-ით აღნიშნავთ მეორე და მეოთხე ქრომოსომის შერწყმას. შერწყმული ქრომოსომების ტიპი თავისი სხვადასხვა პოპულაციაში განსხვავდება. შერწყმული ქრომოსომების ნაკრების მქონე თავგები ოქროსფერი წერტილებით აღნიშნული არეალიდან ოქროსფერ ყუთში მოათავსეს, შერწყმის განსხვავებული ტიპის მქონე თავგები წითელი წერტილებით აღნიშნული არეალიდან, წითელ ყუთში არიან. ეს მუტაცია გენებს ხელშეუხებლებს ტოვებს, ამიტომ მისი გავლენა თავგეზე ნეიტრალური რჩება.

1 800 ლოკუსით, და ჰომოზიგოტურია ყველა დანარჩენი ლოკუსის მიხედვით.

ნუკლეოტიდური ცვალებადობა იზომება ორი ინდივიდის **ღმმ**-ის ნიმუშის ნუკლეოტიდური თანმიმდევრობის შედარებით. შემდეგ ხდება მრავალი ასეთი მონაცემების შედარების შედეგის გასაშუალოება. ხილის ბუხის გენომი შედგება დაახლოებით 180 მილიონი ნუკლეოტიდისგან. ნებისმიერი ორი ბუხის ნუკლეოტიდების თანმიმდევრობა საშუალოდ დაახლოებით 1%-ით განსხვავდება.

რატომ არის საშუალო ჰეტეროზიგოტულობა უფრო მაღალი, ვიდრე ნუკლეოტიდური ცვალებადობა? გენი შედგება **ღმმ**-ის ათასობით ფუძისგან. ერთ ფუძეშიც სხვაობის შედეგად კი გენის ორი ალელი განსხვავებულად ითვლება და ეს ზრდის პოპულაციის ჰეტეროზიგოტულობას.

ნუკლეოტიდური ცვალებადობის გაზომვის საფუძველზე აღმოჩნდა, რომ ადამიანებს, სახეობების უმრავლესობასთან შე-

დარებით შედარებით მცირე გენეტიკური ცვალებადობა აქვთ. ორი ადამიანი მათი ფუძეების მხოლოდ 0,1% განსხვავდება, ეს დროზოფილის პოპულაციაში ნაპოვნი ნუკლეოტიდური ცვალებადობის მეთავედია. ჩვენ, ადამიანები, სარწმუნოდ უფრო მსგავსნი ვართ გენეტიკურად, ვიდრე განსხვავებულნი. მაგრამ ნუკლეოტიდური ცვალებადობის 0,1% მოიცავს მთელ მემკვიდრულ კომპონენტს, ანუ ყველა სხვაობას ადამიანების იერში, ჟღერადობაში და მოქმედებაში, ბიოქიმიურ ცვალებადობასთან ერთად. მაგალითად: სისხლის ჯგუფობრიობა, რომელიც მორფოლოგიურად არ ჩანს.

ცვალებადობა პოპულაციებს შორის

სახეობების უმეტესობა გეოგრაფიულ ცვალებადობას ავლენს, სხვაობას პოპულაციების განცალკევებულ გენოფონდს ან პოპულაციების ქვეჯგუფებს შორის. **სურათი 23.10** ასახავს გეოგრაფიული ცვალებადობის მაგალითს. გეოგრაფიული ცვალებადობა ნანახია სახლის თავის (უს მუსცულუს) იზოლირებულ პოპულაციებში. მე-15 საუკუნეში შემთხვევით მოხდა პორტუგალიელი კოლონისტების მიერ ამ პოპულაციათა ინტროდუცირება (შეყვანა) ატლანტის ოკეანის კუნძულ მაღეირაზე.

ერთი ადგილიდან მეორეზე გადასვლის დროს გარემო ფაქტორები იცვლება, ამიტომ ბუნებრივი გადარჩევა ხელს უწყობს პოპულაციების გეოგრაფიულ ცვალებადობას. მაგალითად, ჩვენ წარმოსახვით, ბუნებაში ველურად მოზარდი ყვავილოვან მცენარეთა ერთ პოპულაციაში C^W ალელის სიხშირე შეიძლება მაღალი იყოს, ვიდრე სხვა პოპულაცია ებში, ვინაიდან ადგილობრივი დამტყვერავი მწერები თეთრ ყვავილებს უფრო ირჩევენ. ამავე დროს გენთა დრეიფის მოქმედების შედეგად გაცილებით მეტად წარმოიქმნება სხვაობა პოპულაციების ალელების სიხშირეებს შორის, ვიდრე ბუნებრივი გადარჩევით. (ალელების სიხშირეში ხდება იშვიათი ფლუქტუაციები. ფლუქტუაციების ერთიანი ეფექტის გამო გენთა დრეიფის გავლენა პოპულაციების ალელებს სიხშირეებს შორის სხვაობაზე მეტია ბუნებრივი გადარჩევის გავლენაზე).

გეოგრაფიული ცვალებადობის ზოგ მაგალითს **კლინი** წარმოადგენს. კლინი არის გეოგრაფიული ლერძის (განედის ან გრძედის) გასწვრივ ნიშნების თანდათანობითი ცვლილება. ზოგიერთ შემთხვევაში კლინის ქმნის გადაფარვის რეგიონი, სადაც მეზობელი პოპულაციების ინდივიდები ერთმანეთს ეჯვარებიან. სხვა შემთხვევებში გარემოს თანდათანობითი ცვლილება ქმნის კლინს. მაგალითად, ჩრდილოეთ ამერიკაში ფრინველის და ძუძუმწოვრის მრავალ სახეობაში განედის მატებასთან ერთად სხეულის საშუალო ზომა თანდათან იზრდება. როგორც ჩანს, სხეულის ზედაპირის ფართობის მოცულობასთან შეფარდების შემცირება ცხოველის ტანის ზრდის უკუპროპორციულია. ეს არის ადაპტაცია, რომლის მეშვეობით ცხოველი ცივ გარემოში მუდმივ ტემპერატურას ადვილად ინარჩუნებს. კლინების ექსპერიმენტული შესწავლით დადგინდა, რომ ორივე: გენეტიკური ცვალებადობაც და გარემოც თავის როლს ასრულებს გეოგრაფიულად დაშორებულ ფენოტიპთა სხვაობაში (**სურათი 23.11**).

სურათი 23.11

კვლევა: აქვს თუ არა ასფუტელას გოგრაფიული ცვალებადობა გენეტიკური კომპონენტი?

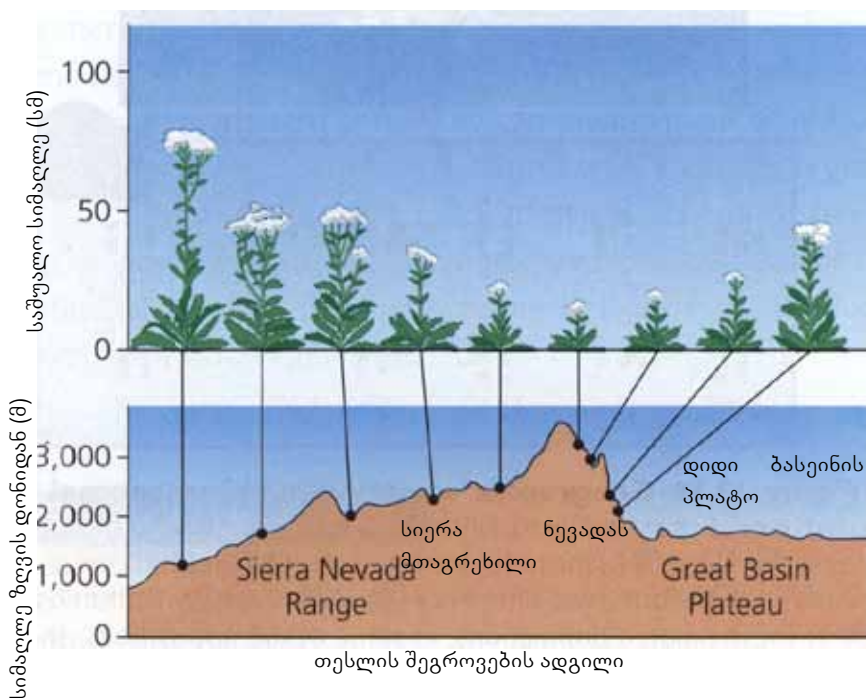
მეცნიერები

მკვლევრებმა შეამჩნიეს, რომ სიერა ნევადას მთების ფერდობებზე გაზრდილი ასფუტელას (*Achillea*) საშუალო ზომა მცირდება ზღვის დონიდან სიმაღლის მატებასთან ერთად. იმისთვის, რომ გამოერიცხათ სხვადასხვა სიმაღლეზე სხვადასხვა გარემოს მოქმედება, მკვლევრებმა შეაგროვეს სხვადასხვა სიმაღლეზე მზარდი მცენარეების თესლი და ერთ ბაღში დათესეს. შემდეგ გაზრდილი მცენარეების სიმაღლე გაზომეს.

შედეგები

ჩვეულებრივ ბაღში გაზრდილი მცენარეების საშუალო ზომა აღმოჩნდა მათი თესლის შეგროვების სიმაღლის უკუპროპორციული. თუმცა ამ შემთხვევაში ცვლილებები უფრო მცირე იყო, ვიდრე ბუნებრივ გარემოში გაზრდილ მცენარეებში.

ბაღში გაზრდილი მცენარეების საშუალო სიმაღლე



თესლის შეგროვების ადგილი

დასკვნა

ერთ სიმაღლეზე გაზრდილი მცენარეების შედარებით მცირე, მაგრამ გაზომვადი კლინალური ცვალებადობა ავლენს როგორც გენეტიკური, ასევე გარემოს ფაქტორის როლს.

უფრო ახლოს გავეცნოთ ბუნებრივ გადატრიალებას

პოპულაციაში არსებული შეცვლილი გენოტიპებიდან ბუნებრივი გადარჩევის მოქმედებით ზოგიერთი მათგანის სიხშირე იზრდება, ანუ იმ ორგანიზმების რაოდენობა, რომლებიც თაობათა განმავლობაში უკეთ შეეგუენ კონკრეტულ გარემოს. ამ ნაწილში უფრო ახლოს გავეცნობით ბუნებრივ გადარჩევას, როგორც ევოლუციური ადაპტაციის მექანიზმს.

ევოლუციური წარმატება

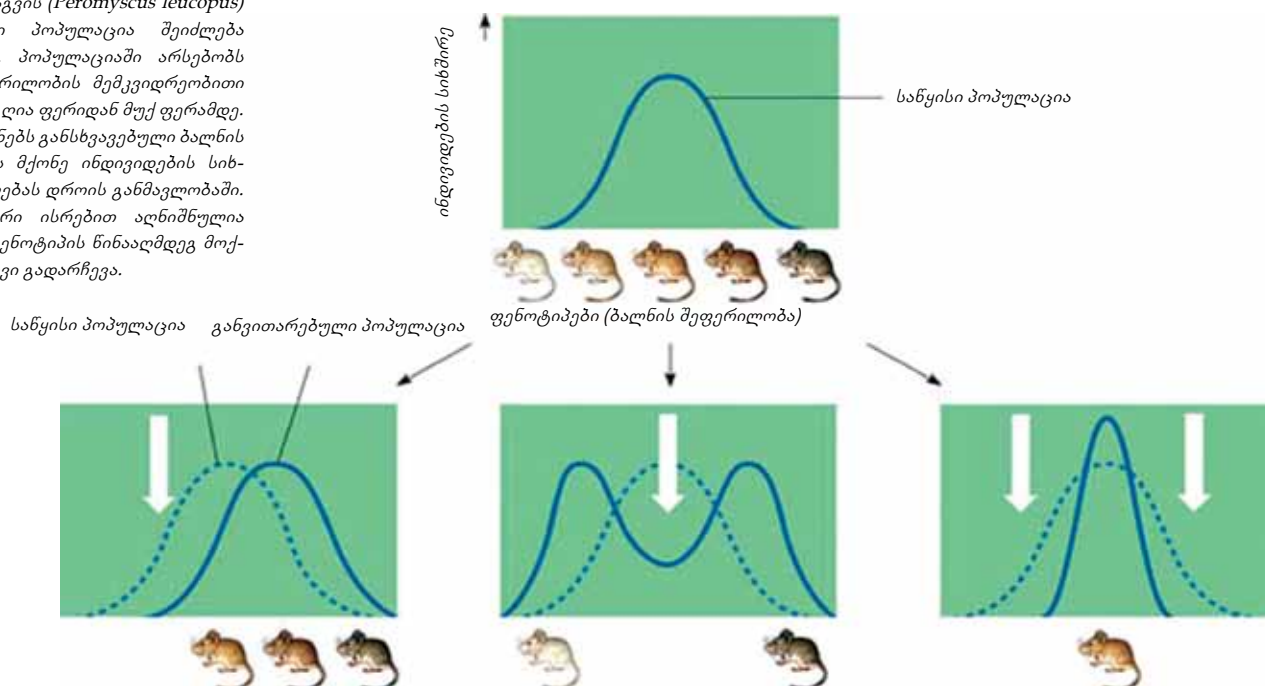
ფრაზა „ბრძოლა არსებობისათვის“ და უკეთ შეგუებულთა გადარჩენა“ ჩვეულებრივად იხმარება ბუნებრივი გადარჩევის აღწერის დროს, თუმცა ეს გამოთქმა არასწორია, თუ ვგულისხმობთ პირდაპირ ბრძოლას ინდივიდებს შორის. არის ისეთი სახეობები, სადაც მამრებს მოეპოვებათ რქები. მამრები (მდედრის დასაუფლებლად) ერთმანეთს რქებით ან სხვანაირად ებრძვიან. მაგრამ რეპროდუქციული წარმატება ზოგადად უფრო ნაზია და მდედრისთვის უშუალო ბრძოლის გარდა დამოკიდებულია სხვა ფაქტორებზეც. მაგალითად: ერთ-ერთ კიბოსნაირს (*Cirripedia*) შეუძლია მეტი კვერცხის დადება, ვიდრე მეზობელ კიბოსნაირს, ვინაიდან უკეთ შეუძლია საკვების მოპოვება წყალში. პოპულაციაში ერთ-ერთ ჩრჩილს შეიძლება მეტი შთამომავალი ჰყავდეს, ვიდრე იმავე პოპულაციის სხვა ჩრჩილს, ვინაიდან სხეულის შეფერილობა მას მტრისგან უკეთ იცავს.

ბუნებაში ველურად მოზარდი ყვავილოვანი მცენარის რეპროდუქციული წარმატება განსხვავებულია, ვინაიდან ზოგს (ყვავილის შეფერილობაში, ზომაში ან სურნელში არსებული მცირე ცვალებადობის გამო) მეტი დამტკვერავი მწერის მიზიდვა შეუძლია. ყოველივე ეს ადაპტური უპირატესობის მაგალითია. ამავე დროს კომპონენტია იმისა, რასაც ჩვენ **წარმატებას** ვუწოდებთ. ინდივიდს გარკვეული წვლილი შეაქვს შემდეგი თაობის გენოფონდის ფორმირებაში. ამ შენატანის შეფარდება სხვა ინდივიდების შენატანთან გვაძლევს წარმატებას.

ბუნებრივი გადარჩევის ეფექტურობის

► **სურათი 23.12 გადარჩევის მეთოდი.**

ეს შემთხვევა აღწერს სამ გზას რომლითაც ირმის თავის (Peromyscus leucopus) წარმოსახვითი პოპულაცია შეიძლება განვითარდეს. პოპულაციაში არსებობს ბალნის შეფერილობის მემკვიდრეობითი ცვლილებები: ღია ფერიდან მუქ ფერამდე. გრაფიკი აჩვენებს განსხვავებული ბალნის შეფერილობის მქონე ინდივიდების სიხშირის ცვლილებას დროის განმავლობაში. ფართო თეთრი ისრებით აღნიშნულია გარკვეული ფენოტიპის წინააღმდეგ მოქმედი ბუნებრივი გადარჩევა.



(ა) **პირდაპირი გადარჩევა.** პოპულაციის საერთო სტრუქტურის გადანევა გავრცელების ერთი პოლუსის მქონე ვარიანტებს გავრცელების ორივე პოლუსის ვარიანტიდან ხდება ექსტრემალური ფენოტიპების ანტიბიოტის უპირატესობის მინიჭებით. ამ შემთხვევაში ტიპს. ეს თავი გავრცელდა შერეულ ჰაბიტატში ელიმინაცია და შუალედურის დამკვიდრება. უპირატესობა ენიჭება მუქ თავებს, ვინაიდან, როცა ისინი სადაც როგორც ღია ასევე მუქი ფერის კლდეებია. თუ გარემოში ჭარბობს შუალედური შეფერილობა მუქ კლდეებში ბინადრობენ შეფერილობა იცავს მათ მტაცებლის შედეგად შუალედური შეფერილობის თავების კლდეები თეთრი და შავი თავების გამორბევისგან.

(ბ) **დიზრუპტიული გადარჩევა.** უპირატესობას (გ) **მასტაბილიზრებელი გადარჩევა.** პოპულაციის

რიცხვებში გამოსახატავად, პოპულაციურმა გენეტიკოსებმა განსაზღვრეს ფარდობითი წარმატების ცნება. ეს არის გენოტიპის შენატანი შემდეგ თაობაში შეფარდებული ამავსე ლოკუსის მიხედვით ალტერნატიული გენოტიპის შენატანთან. განვიხილოთ კიდევ ერთხელ ჩვენი ველურად მზარდი ყვავილოვანი მცენარის პოპულაცია. ჩავთვალოთ, რომ წითელი ყვავილების მქონე ინდივიდები საშუალოდ უფრო მცირე რაოდენობით გვაძლევენ შთამომავლობას, ვიდრე თეთრი ან ვარდისფერი ყვავილების მქონე ინდივიდები. თეთრი და ვარდისფერი ყვავილების მქონე ინდივიდები კი თანაბარი რაოდენობის შთამომავლობას იძლევიან. რეპროდუქციულად ყველაზე წარმატებული ვარიანტის ფარდობითი წარმატება მივიჩნიოთ 1-ის ტოლად. ეს იქნება საფუძველი შესადარებლად, ასე რომ თეთრყვავილიანი ან ვარდისფერ ყვავილიანი მცენარეების ფარდობითი წარმატება არის 1. თუ წითელი ყვავილები მოგვცემენ 80% -ს წითელყვავილიან შთამომავლობას, მათი ფარდობითი წარმატება იქნება 0,8 ტოლი და არა ერთის.

თუმცა პოპულაციური გენეტიკის მკვლევარები ხშირად განიხილავენ გენოტიპის ფარდობითი წარმატებას. მნიშვნელოვანია გვახსოვდეს, რომ ბუნებრივი გადარჩევა ამოქმედებს ფენოტიპზე და არა გენოტიპზე. ის ცოცხალი ერთეული, რომელზეც ბუნებრივი გადარჩევა ზემოქმედებს არის მთელი ორგანიზმი. ასე რომ გარკვეული ალელის ფარდობითი წარმატება

დამოკიდებულია გარემოსა და გენეტიკურ სტრუქტურაზე, რომელშიც ის თავს ავლენს. მაგალითად: გვაქვს ალელი, რომელიც აკონტროლებს ხის ზროს და ღეროების ზომას. ამ ალელის მოქმედებით ზროსა და ღეროების ზომა იზრდება. თუ ამავე დროს სხვა ლოკუსში არ მოიპოვება ალელები, რომელთა მოქმედება გაზრდის ფესვთა სისტემას, პირველი ალელის მოქმედება ხისთვის მავნე იქნება. ხეს ზრო გაეზრდება, ფესვების კი არა. ფესვები ვერ დაიჭერენ გაზრდილ ხეს. მაღალი წარმატების მქონე ინდივიდებში შეიძლება ვნახოთ ალელები ან **ფ68**-ის სხვა ნაწილები, რომლებსაც არავითარი წვლილი არ შეაქვთ ორგანიზმის წარმატებაში (ან ნაკლებად ემორჩილებიან ადაპტაციას). მაგალითად: რეტროვირუსების ათასობით ნაწილი ან სხვა ურთიერთდაკავშირებული ელემენტი აგრძელებს ინტეგრირებას და დაგროვებას ჩვენს გენომში. **ფ68**-ის ამ მონაცვეთებს არა აქვთ ფუნქცია. ისინი ერთი თაობიდან მეორე თაობაზე გადადიან, ვინაიდან უმეტეს შემთხვევაში არ აყენებენ ორგანიზმს ზიანს.

თავისთავად გადარჩენა გამრავლების წარმატების გარანტიას არ ქმნის. სტერილური მცენარეების ან ცხოველის ფარდობითი წარმატება ნულის ტოლია, მაშინაც თუ ეს ორგანიზმი ძლიერია და პოპულაციის სხვა წევრებზე უფრო დიდხანს ცოცხლობს. მაგრამ გადარჩენა აუცილებელია გამრავლებისთვის და ხანგრძლივი სიცოცხლე კი ზრდის ორგანიზმის წარმატებას. ანუ ეს ნიშნავს, რომ ხანგრძლივად მცხოვრები ინდივიდი მეტ

შთამომავალს ტოვებს ვიდრე ის ორგანიზმი, რომელიც უფრო მალე კვდება. სხვა მხრივ, ხანმოკლე მცხოვრებ ინდივიდს შეუძლია მეტი შთამომავალი დატოვოს, თუ ის უფრო მალე ხდება სქესმნიფე და სქესობრივ გამრავლებას უფრო ადრეულ ასაკში იწყებს. ასე რომ ორივე: გადარჩენაც და ნაყოფიერებაც ხელს უწყობს ევოლუციურ წარმატებას.

მამოძრავებელი, დიზრუპტიული (დამანაწევრებელი) და მასტაბილიზირებელი ბუნებრივი გადარჩევა

მემკვიდრეობითი თვისებების გავრცელების სიხშირე ბუნებრივი გადარჩევის შედეგად სამი გზით იცვლება. თუ რომელით, დამოკიდებულია იმაზე, თუ რომელი ფენოტიპია დომინანტური პოპულაციაში. არსებობს გადარჩევის სამი ტიპი: მამოძრავებელი, დიზრუპტიული და მასტაბილიზირებელი გადარჩევა.

მამოძრავებელი გადარჩევა (სურათი 23.12ა) ყველაზე ფართოდაა გავრცელებული. იგი მოქმედებს მაშინ, როცა პოპულაციის გარემო იცვლება ან როცა პოპულაციის წევრები ახალ, განსხვავებული გარემო პირობების მქონე ჰაბიტატში მიგრირებენ. მამოძრავებელი გადარჩევა ზოგი ფენოტიპური ცვლილებების განაწილების მრუდს გადაწევს ერთი ან მეორე მიმართულებით. ამ დროს უპირატესობა ენიჭება იმ ინდივიდებს, რომლებიც საშუალო მნიშვნელობიდან გადაიხრებიან. მაგალითად, განმარხებული ნაშთებიდან ჩანს, რომ ევროპაში გავრცელებული შავი დათვის საშუალო ზომა ყოველ გამყინვარების პერიოდში იზრდებოდა, შემდეგ გამყინვარებათა შორის პერიოდში დათობის დროს ისევ მცირდებოდა. უფრო დიდი ზომის დათვები, რომლებიც ზედაპირი/მოცულობის შეფარდება ნაკლები ჰქონდათ უკეთ ინარჩუნებდნენ სხეულის მუდმივ ტემპერატურას, ექსტრემალურ სიცივეში მათ გადარჩენის მეტი შანსი გააჩნდათ.

დიზრუპტიული (დამანაწევრებელი) გადარჩევა (სურათი 23.12ბ) მიმდინარეობს მაშინ, როცა გარემო პირობები ანიჭებენ უპირატესობას ფენოტიპის რომელიმე ან ორივე ექსტრემუმს (უკიდურესობას), შუალედურ ფენოტიპთან შედარებით. მაგალითად კამერუნში გავრცელებული შავმუცელა, მარცვლეულით მკვებავი მთიულების პოპულაციაში გვხვდება ორგვარი, მეტად განსხვავებული ნისკარტის მქონე ფრინველები. პატარა ნისკარტის მქონე ინდივიდები იკვებებიან ძირითადად რბილი მარცვლებით. დიდი ნისკარტის მქონე ფრინველები კი სპეციალიზირებული არიან მკვრივი მარცვლების მტვრევაზე. როგორც ჩანს საშუალო ნისკარტიანი ფრინველებს უჭირთ ორივე ტიპის მარცვლების მტვრევა (რბილის და მაგარის), ამიტომ აქვთ უფრო დაბალი ფარდობითი წარმატება. როგორც ნაიკითხავთ შემდეგ თავში, დიზრუპტიული გადარჩევა შეიძლება მნიშვნელოვანი იყოს სახეობათა წარმოშობის ადრეულ სტადიებზე.

მასტაბილიზირებელი გადარჩევა (სურათი 23.12 ა) მოქმედებს ექსტრემალური ფენოტიპების წინააღმდეგ და უპირატესობას ანიჭებს საშუალო ადრე ჩამოყალიბებულ ვარიანტებს. გადარჩევის ეს ტიპი ამცირებს ცვალებადობას და ხელს უწყობს გარკვეული ფენოტიპური თვისებებისთვის სტატუსს ქვოს (იგივე მდგომარეობის) შენარჩუნებას. მაგალითად: ადამიანებში უმეტესი ახალშობილი ბავშვის წონა მერყეობს 3-4 კგ-ის ფარგლებში. ბავშვებს, რომელთა წონა ამაზე ბევრად მცირე ან დიდია აქვთ დაღუპვის მეტი შანსი.

გადარჩევის ტიპის მიუხედავად, მისი ძირითადი მექანიზმი იგივე რჩება. გადარჩევა არჩევს გარკვეულ მემკვიდრეობით

თვისებებს, რომლებიც განსხვავებული რეპროდუქციული წარმატება გააჩნიათ.

გენეტიკური მრავალფეროვნების შენარჩუნება

რა იცავს გენეტიკურ მრავალფეროვნებას შემცირებისგან თუ ბუნებრივ გადარჩევის მიერ ხდება ყველა არახელსაყრელი გენოტიპის ელიმინაცია? მამოძრავებელი და მასტაბილიზირებელი გადარჩევა ამცირებს ცვალებადობას. ამას ეწინააღმდეგებიან ცვალებადობის დამცავი ან აღმდგენელი მექანიზმები.

დიპლოიდურობა

ეუკარიოტების უმეტესობა დიპლოიდური ორგანიზმებია. ამიტომ მემკვიდრეული ცვალებადობის საკმაოდ დიდი ნაწილი გადარჩევისგან დაფარულია. ის არსებობს რეცესიული ალელების ფორმით. რეცესიული ალელები დომინანტურ ალელებთან შედარებით მოცემულ გარემოში ან ნაკლებად ხელსაყრელი არიან, ან სრულებითაც მავნეა. მაგრამ მათი დაგროვება შესაძლებელია, ვინაიდან ისინი არიან ჰეტეროზიგოტ ინდივიდებში. ეს ფარული ცვლილება მარტო მაშინ მონაწილეობს ბუნებრივ გადარჩევაში, როცა ორივე მშობელი ერთი და იგივე რეცესიული ალელის მტარებელია და ერთ ზიგოტაში ერთიანდება ორივე რეცესიული ალელი. ეს იშვიათად ხდება მაშინ, თუ რეცესიული ალელის სიხშირე ძალიან დაბალია. რაც უფრო იშვიათია რეცესიული ალელის სიხშირე, მით უფრო დაცულია ბუნებრივი გადარჩევისგან. ჰეტეროზიგოტებში დაცულობის გამო ხდება დიდი რაოდენობის რეცესიული ალელების დაგროვება. არსებულ პირობებში რეცესიული ალელი შეიძლება არ იყოს ხელსაზრელი, მაგრამ შეცვლილ გარემო პირობებში ზოგმა ორგანიზმმა შეიძლება წარმატებას მიაღწიოს.

გამანონასწორებელი გადარჩევა

გადარჩევის შედეგად ზოგი გენის ლოკუსში შეიძლება მოხდეს ცვლილების შენახვა. **გამანონასწორებელი გადარჩევა** ბუნებრივი გადარჩევის შედეგად პოპულაციაში ორი ან მეტი ფენოტიპის სტაბილურ სიხშირეს ინარჩუნებს. ამ მდგომარეობას **დამაბალანსებელ პოლიმორფიზმს ან ნონასწორულ პოლიმორფიზმს** უწოდებენ. ამ ტიპის გადარჩევა მოიცავს ჰეტეროზიგოტულ უპირატესობას და სიხშირეზე დამოკიდებულ გადარჩევას.

ჰეტეროზიგოტული უპირატესობა. თუ გარკვეული გენის ლოკუსის მტარებელ ჰეტეროზიგოტ ინდივიდს აქვს მეტი წარმატება, ვიდრე ჰომოზიგოტ ინდივიდს, ბუნებრივი გადარჩევა ინარჩუნებს ამ ლოკუსში ორ ან მეტ ალელს. **ჰეტეროზიგოტული უპირატესობის** მაგალითია ადამიანის გენომის ლოკუსი, რომელიც ჰემოგლობინის (სისხლის წითელი უჯრედის ჟანგბადის გადამტანი ცილა) ერთ-ერთ პეპტიდურ ქვეერთეულს აკოდირებს. ჰომოზიგოტურ ინდივიდებში ამ ლოკუსის რეცესიული ალელი იწვევს ნამგლისებრ უჯრედოვანი ანემიას (იხილეთ სურათი 5.21 და 17.23). ჰეტეროზიგოტები არ ავადდებიან მალარიით (თუმცა მალარიის მიმართ რეზისტენ-

სურათი 23.14

კვლევის მეთოდი ვიზუალური პოპულაციის გამოყენება გეგმის შესასწავლად

გამოყენება

ვირტუალური ორგანიზმების გამოყენებით, რომლებიც “მრავალდებიან” და თავის თვისებებს შემდეგ თაობას გადაცემენ, გენეტიკოსები დროის შეკუმშული მონაკვეთისთვის გადარჩევის ეფექტს მოდელირებენ. სინამდვილეში გადარჩევა მრავალი თაობის განმავლობაში მიმდინარეობს. ამ მეთოდის საშუალებით მკვლევრები ცალკე გამოყოფენ შესასწავლი ცვალებადის გავლენას, პოპულაციის ევოლუციაზე სხვა მოქმედი ფაქტორების კონტროლით. ბუნებაში ეს თითქმის შეუძლებელია.

მეთოდი

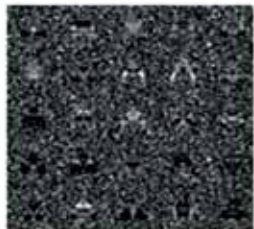
ვირტუალური პოპულაციის გამოყენებით კვლევა უფრო ეფექტურია, თუ ის დაფუძნებულია ბუნებრივ სისტემაზე. მაგალითად: ალან ბონდმა და ალან კამილმა (ნებრასკის უნივერსიტეტი) შექმნეს “ვირტუალური ეკოლოგია” მტაცებელი-მსხვერპლის დაფუძნებულ ურთიერთკავშირზე. ეს კავშირი კარგად არის შესწავლილი. მკვლევრებმა გამოიყენეს ჩრდილოეთი ამერიკის ცისფერი ჩხიკვისა და ტყის პეპელას შორის კავშირი. ჯერ პეპელას ფოტოები დიგიტალურ გამოსახულებად გარდაქმნეს. ფრთების თვისებებს რთული კომპიუტერიზირებული გენომი განაპირობებდა, რომელიც დაფუძნებულია ნამდვილი პეპლების გენეტიკაზე. მკვლევრებმა პოლიგენური მემკვიდრეობა, კროსინგოვერი და მუტაციები გაითვალისწინეს. პეპლები შეიძლება შეეჯავროთ. მათი შთამომავლობის გენოტიპი და ფენოტიპი სხვადასხვა მათემატიკური მოდელით დგინდება. ბონდი და კამილი ცისფერ ჩხიკვებს ავარჯიშებდნენ. ჩხიკვები შეეჩვივნენ დიგიტალურ პეპლებზე ნადირობას. პეპლები ჩნდებოდნენ ეკრანზე. ეკრანის ფონი ბუნებაში არსებულ ფონს, ანუ ხის ღეროს ჰგავდა. ჩხიკვის პეპელაზე ნადირობის ეფექტის მოდელირებისთვის მკვლევარები ყოველ ჩხიკვს პეპელას გამოსახულებას აჩვენებდნენ და ზომავდნენ დროს, რომელშიც ჩხიკვი გამოსახულებას ცნობდა (ან ვერ ცნობდა). ყოველი პეპელას შეჯვარების ალბათობის გამოსათვლელად მკვლევრები სტატისტიკურ მოდელს იყენებდნენ. ამის შედეგად წარმოიქმნება მსხვერპლის შემდეგი თაობა. ამ პროცესს ისინი 100 თაობის განმავლობაში პეპელას ყოველი ექსპერიმენტული ჯგუფისთვის იმეორებდნენ (ამ დროს ჩხიკვები სიხშირეზე დამოკიდებულ გადარჩევას ახორციელებდნენ). ცდა ორი საკონტროლო ჯგუფისთვის ტარდებოდა (ამ შემთხვევაში ჩხიკვები გადარჩევას არ აწარმოებდნენ), მკვლევრები ყოველ თაობაში გენოტიპების შემთხვევით რეკომბინაციას აწარმოებდნენ. სხვა საკონტროლო, სიხშირეზე დამოუკიდებელ გადარჩევაში, ჩხიკვები პეპლებს არჩევდნენ, მაგრამ კომპიუტერული პროგრამა “გამოსახულების ძებნის” ეფექტს შლიდა.

შედეგები

მშობლიური პოპულაციის ნიმუში



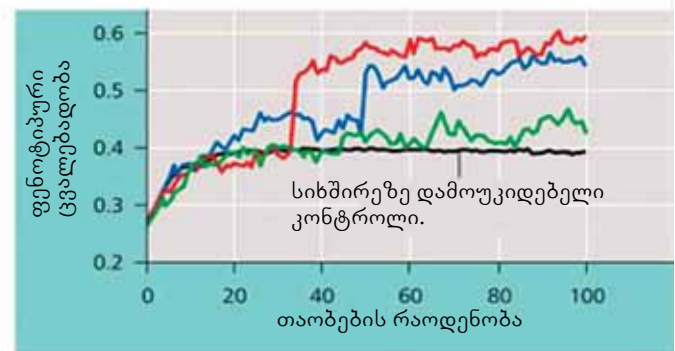
ექსპერიმენტული ჯგუფის ნიმუში



ერთფეროვანი ეკრანი

ორნამენტული ეკრანი

ვირტუალური მსხვერპლის პოპულაციის გამოყენებით მკვლევრებმა შეძლეს რეალური მტაცებლის მიერ გრძელვადიანი გადარჩევის შედეგად მოხდარი ევოლუციური ცვლილებების მოდელირება. ამ კვლევაში ექსპერიმენტული პოპულაციის პეპლების აღმოჩენა ნაკლებად გადარჩევად საკონტროლო პოპულაციის პეპლებთან შედარებით რთულია (როგორც ეს სიხშირეზე დამოუკიდებელი გადარჩევისას ხდება), მაგრამ როგორც ნაჩვენებია ქვევით მოყვანილ გრაფიკზე, სამ ცდაში ექსპერიმენტული ჯგუფი (ფერადი ხაზები) უფრო დიდ ფენოტიპურ მრავალფეროვნებას ავლენს ვიდრე სიხშირეზე დამოუკიდებელი საკონტროლო ჯგუფი (შავი ხაზები). შედეგები ბონდის და კამილის ჰიპოთეზას ადასტურებს, რომ მტაცებლის მიერ სიხშირეზე დამოკიდებული გადარჩევა მსხვერპლის პოპულაციაში პოლიმორფიზმს ხელს უწყობს.

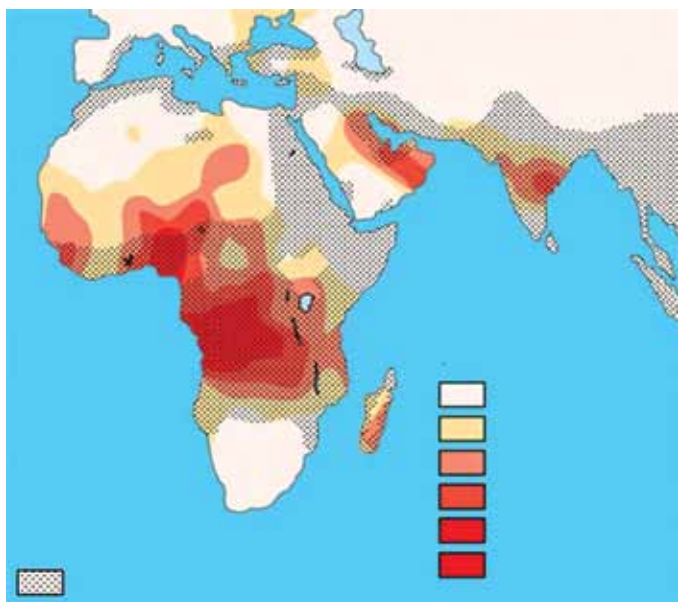


ტულები არ არიან). ტროპიკულ რეგიონებში, სადაც ადამიანები ძირითადი მალარიით იღუპებიან, ასეთი დამცველობა მნიშვნელოვან უპირატესობას ქმნის.

ამ არეალში არსებული გარემო პირობები უპირატესობას ანიჭებენ პეტეროზიგოტებს, დომინანტ ჰომოზიგოტ ინდივიდებთან შედარებით. დომინანტი ჰომოზიგოტი ინდივიდები უფრო მგრძნობიარენი არიან მალარიის მიმართ, მაგრამ არ ავადდებიან ანემიით. ამავე დროს პეტეროზიგოტებს უპირატესობა

აქვთ ჰომოზიგოტ რეცესიულ ინდივიდებთან შედარებით, ვინაიდან რეცესიული ჰომოზიგოტები ავადდებიან ნამგლისებრუჯრედოვანი ანემიით და იღუპებიან. ნამგლისებრუჯრედოვანი ანემიის განმსაზღვრელი ალელის სიხშირე ყველაზე მაღალია აფრიკის იმ რეგიონებში, სადაც ფართოდ არის გავრცელებული მალარიის პარაზიტი (სურათი 23.13). ზოგ ოჯახში ჰემოგლობინის ალელების გენოფონდის 20% -ს ნამგლისებრუჯრედოვანი ანემიის ალელი შეადგენს. ეს ძალიან მაღალი სიხშირეა

ასეთი სახიფათო ალელისთვის. მაგრამ ასეთი მაღალი სიხშირის მიუხედავად ($q = 0,2$), ნამგლისებრუჯრედოვანი ანემიით ავადდება პოპულაციის მხოლოდ 4% ($q^2 = 0,04$). გაცილებით მაღალია ჰეტეროზიგოტების რიცხვი, რომლებიც რეზისტენტულები არიან მალარიის მიმართ ($2pq = 2 \times 0,8 \times 0,2 = 0,32$). თუმცა ჰეტეროზიგოტების ფარდობითი წარმატება ბევრად ნაკლებია ჰომოზიგოტების წარმატებლობასთან შედარებით, პოპულაციაში ჰეტეროზიგოტების რაოდენობა ბევრად ქარბობს ჰომოზიგოტების რაოდენობას. ამიტომ პოპულაციაში ამ ალელის არსებობის სარგებელი აბალანსებს მის მავნე ეფექტს.



▲ **სურათი 23.13** მალარიის და ნამგლისებრუჯრედოვანი ანემიის გავრცელების რუკა. ნამგლისებრუჯრედოვანი ანემიის ალელი აფრიკაში ფართოდ გავრცელებულია. ამ პოლიმორფიზმის გარდა არსებობს სხვა წონასწორული პოლიმორფიზმიც, რომლებიც ორგანიზმს მალარიისგან იცავს. განსხვავებული სახის წონასწორული პოლიმორფიზმი აღმოაჩინეს მსოფლიოს სხვა კუთხეების პოპულაციებში, მაგალითად ხმელთაშუა ზღვის რეგიონში და სამხრეთ – აღმოსავლეთ აზიაში, სადაც მალარია ფართოდ გავრცელებულია.

სიხშირზე დამოკიდებული გადარჩევა. სიხშირზე დამოკიდებული გადარჩევის შემთხვევაში ნებისმიერი მორფის წარმატება მცირდება, თუ ის ძალიან ჩვეულებრივი ხდება პოპულაციაში. **23.14 სურათზე** გამოსახულია ექსპერიმენტი, რომლის ჩატარების დროს მოხერხდა სიხშირზე დამოკიდებული გადარჩევის სიმულირება. ველურ ბუნებაში ცისფერი ჩხიკვები ნადირობენ პეპლებზე. ისინი პოულობენ იმ პეპლების ადგილსამყოფელს, რომლებიც დღის განმავლობაში გაუძნდევლად სხედან ტოტებზე. ჩხიკვები ქაშენ ამ პეპლებს. დატყვევებულ ჩხიკვებს შეიძლება ვასწავლოთ კომპიუტერის ეკრანზე გამოსახული ვირტუალური მსხვერპლის პოვნა. ჩხიკვებს უჩვენებენ კომპიუტერის ეკრანების სერიას. ამ კომპიუტერებზე არის წერტილებისგან შემდგარი ფონი, რომელზეც ხანდახან ჩნდება პეპლის გამოსახულება. როცა ჩხიკვი უნისკარტებს პეპლის გამოსახულებას, მას აძლევენ საჭმლის მცირე ულუფას. ჩხიკვებმა მალე დაისწავლეს „გამოსახულების პოვნა“, მიაგნეს სწრაფ

გზას ყველაზე გავრცელებული პეპლების გამოსაცნობად. მათი ცოდნის გაღრმავებასთან ერთად კომპიუტერული პროგრამა ცვლიდა ვირტუალური მსხვერპლის სიხშირეს.

ჩვეულებრივი ტიპის პეპელა ხდებოდა იშვიათი, იშვიათი ტიპის პეპელა კი ჩვეულებრივი. ამას კომპიუტერში აკეთებდნენ ზუსტად ისე, როგორც ბუნებრივი გადარჩევა აკეთებს ბუნებაში. მკვლევარებმა ასევე შეიყვანეს პროგრამაში მუტაციები, რომელთა შედეგად ვიღებთ ახალი ნიშნების მქონე პეპლებს. როგორც კი ახალი პეპლის ტიპი ჩვეულებრივი ხდება, ჩხიკვები სწრაფად სწავლობენ ახალ გამოსახულებას და უნისკარტებენ მას. ამ პოპულაციაში პოლიმორფიზმის შენარჩუნება ხდება სიხშირეზე დამოკიდებული გადარჩევის გამო: ნებისმიერი თვისებების მქონე იშვიათი პეპლები იღებენ უპირატესობას ჩვეულებრივ პეპლებთან შედარებით, ნებისმიერი თვისებების მქონე ჩვეულებრივი პეპლები კი ხდებიან წარუმატებლები, ვინაიდან ჩხიკვები უფრო ადვილად სწავლობენ ჩვეულებრივი პეპლების მოძებნას, ვიდრე იშვიათი პეპლების. ველურ ბუნებაში მტაცებელი-მსხვერპლი ურთიერთკავშირისას ნანახია მსგავსი, სიხშირეზე დამოკიდებული გადარჩევა.

ნეიტრალური ცვალებადობა

პოპულაციაში არსებულ ზოგ მემკვიდრეობით ცვალებადობას ალბათ მცირე გავლენა აქვს ან საერთოდ არა აქვს გავლენა რეპროდუქციულ წარმატებაზე, ასე რომ ბუნებრივი გადარჩევა არ მოქმედებს ამ ალელზე. მაგალითად: ადამიანის გენომის **ღვმ**-ის არატრანსლირებადი ნაწილი საკმაოდ განსხვავებულია სხვადასხვა ადამიანში, მაგრამ ეს ცვალებადობა არ იძლევა უპირატესობას გადარჩევაში. ასეთ ცვალებადობას **ნეიტრალური ცვალებადობა** დაარქვენ. **პსევდოგენებში**, ანუ გენებში რომლებიც ინაქტივირებული არიან მუტაციებით, გენის ყველა ნაწილში თავისუფლად გროვდება გენეტიკური “ხმაური” ანუ ნეიტრალური ცვალებადობა. ნეიტრალური ცვალებადობის შეფარდებითი სიხშირეები არ ექვემდებარებიან ბუნებრივ გადარჩევას; გენეტიკური დრეიფის არსებობის გამო, დროის განმავლობაში ზოგი ნეიტრალური ალელის სიხშირე იზრდება და სხვების კი მცირდება. ცილის სტრუქტურის კოდის შემცველი მუტაციური ცვლილებებიც შეიძლება ნეიტრალურები იყვნენ. მაგალითად: დროზოფილას გენომში წარმოიქმნებიან მუტაციები. ხდება ამ მუტაციების გენომში ფიქსირება, მაგრამ დროზოფილის გენეტიკური მონაცემებიდან ჩანს, რომ ამინომჟავების მაკოდირებელი ალელების მუტაციების დაახლოებით ნახევარი გადარჩევის ეფექტს არ ექვემდებარება, ანუ ეს მუტაციები არ ახდენენ გავლენას ცილების ფუნქციებზე.

რა თქმა უნდა შესაძლებელია, რომ ნეიტრალურმა გენეტიკურმა სხვაობამ იმოქმედოს გადარჩევაზე და რეპროდუქციულ წარმატებაზე. ამ მოქმედების გზების განსაზღვრა რთულია. უფრო მეტიც, შეცვლილი ალელი შეიძლება იყოს ნეიტრალური ერთ გარემოში, მაგრამ სხვა გარემოში არ იქნება ნეიტრალური. დებატები ნეიტრალური ცვალებადობის მასშტაბზე გრძელდება (რომელსაც 25 თავში გაეცნობით) მაგრამ ერთი რამ ცხადია: მაშინაც, თუ გენოფონდში არსებული ინტენსიური ცვალებადობის მხოლოდ ნაწილი ახდენს მნიშვნელოვან გავლენას წარმატებაზე, ეს ცვლილება უდიდეს რეზერვს წარმოადგენს ბუნებრივი გადარჩევისთვის და ადაპტური ევოლუციისთვის.



▲ **სურათი 23.15** სქესობრივი დიმორფიზმი და სქესობრივი გადარჩევა. ფარშევანგების შემთხვევაში ექსტრემალურ სქესობრივ დიმორფიზმს ვხვდებით. ეს მამრებს შორის არსებული კონკურენციის შედეგია. მამრების შეჯიბრი სქესთაშორის გადარჩევას იწვევს. სქესთაშორის გადარჩევისას მდედრები მამრებს შორის ყველაზე ლამაზს ირჩევენ.

სქესობრივი გადარჩევა

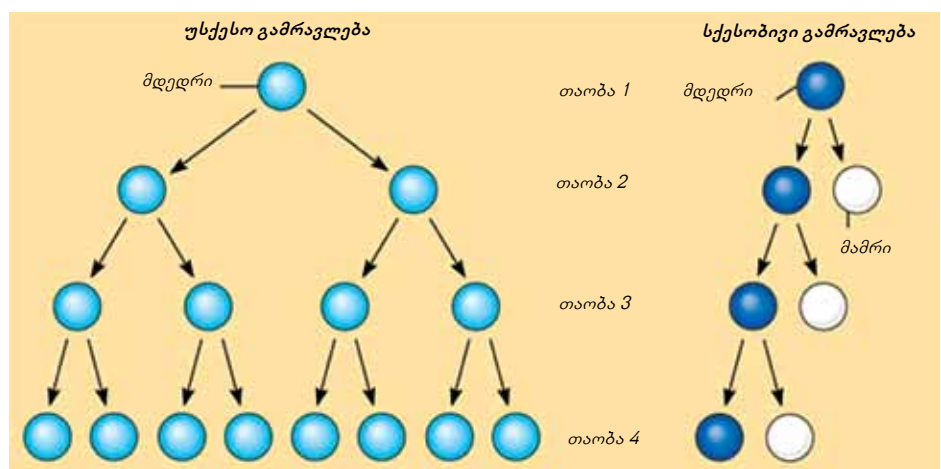
ჩარლზ დარვინი პირველი იყო, რომელმაც გამოიკვლია სქესობრივი გადარჩევის გავლენა ევოლუციაზე. წარმატებულ შეჯვარებაში სქესობრივი გადარჩევა იგივე როლს ასრულებს, რასეირაც ბუნებრივი გადარჩევა. გადარჩევის ეს ტიპი აისახება სქესობრივ დიმორფიზმში, ანუ სქესთა შორის სხვაობაში. სქესთა შორის სხვაობა კი გამოიხატება მეორად სქესქესო ნიშნებში. მეორადი სასქესო ნიშნები პირდაპირ არ ასოცირდებიან რეპროდუქციასთან (**სურათი 23.15**). ამ ნიშნებს მიეკუთვნება სხეულის ზომაში, შეფერილობაში და მოხატულობაში განსხვავება. ხერხემლიანებში მამრები წესისამებრ „ძლიერ სქესს“ წარმოადგენენ. მნიშვნელოვანია შევძლოთ სქესთაშორისი (ინტრასექსუალური) და შიდასქესობრივი გადარჩევის გარჩევა. **შიდასქესობრივი გადარჩევა** ნიშნავს გადარჩევას “ერთი და იმავე სქესს შორის”. ამ დროს ადგილი აქვს პირდაპირ შეჯიბრს ერთი სქესის ინდივიდებს შორის მდედრის დასაუფლებლად. შიდასქესობრივი გადარჩევა ყველაზე ადვილად შესამჩნევია მამრებში. მაგალითად: მრავალ სახეობაში ერთი მამრი მდედრების ჯგუფს პატრონობს. სხვა მამრებს არ აკარებს თავის მდედრებს იმიტომ, რომ მის მდედრებს არ შეეჯვარონ. ასეთი მამრი იცავს თავის მდგომარეობას და ჩაგრავს უფრო მცირე ზომის, სუსტ ან ნაკლებად აგრესიულ მამრებს; ამ შეჯიბრის დროს უფრო ხშირია ფსიქოლოგიური გამარჯვება რიტუალურ შეჯიბრში. ფსიქოლოგიური გამარჯვების შედეგად მეორე მეთოქე უკან იხევს და თავს არიდებს ტრამვის რისკს. ტრამვეები ამცირებენ მის საკუთარ წარმატებას (იხილეთ თავი 51).

როგორც ჩანს შიდასქესობრივი გადარჩევა ზოგჯერ მემდრებშიც მიმდინარეობს. მაგალითად: მრგვალკუდა ლემურებში დომინანტები არიან მდედრები და არა მამრები. ამიტომ იერარქიას ერთმანეთში მდედრები ადგენენ.

სქესთაშორისი გადარჩევის დროს, რომელსაც ასევე მამრის შერჩევას უწოდებენ, ერთი სქესის ინდივიდები (როგორც წესი მდედრები) ირჩევენ თავიანთ პარტნიორებს მეორე სქესის წარმომადგენლებს შორის. უმეტეს შემთხვევაში მდედრის არჩევანი დამოკიდებულია მამრის გარეგნობაზე ან ქცევაზე (იხილეთ სურათი 23.15). მდედრები მამრებთან შედარებით უფრო იშვიათად უწყვილდებიან. ამიტომ უპირატესობა იმ მდედრს ექნება, რომელიც უფრო მეტ შთამომავლებს დატოვებს, ანუ ისეთ მამრს შეირჩევს, რომლისგან მეტი ნაშიერი ეყოლება.

სქესობრივი გადარჩევის კვლევისას დარვინს აოცებდა ის, რომ ზოგი სახეობის მამრის მკვეთრი გარეგნობა მისთვის მომგებიანია მხოლოდ მდედრის მისაზიდად. სხვა მხრივ ის სულ არ არის ადაპტური და უქმნის მის პატრონს გარკვეულ რისკს. მაგალითად კაშკაშა შეფერილობა მამრ ფრინველებს უფრო შესაძლებელს ხდის მტაცებლებისთვის. მაგრამ თუ ეს მეორადი სქესობრივი მაჩვენებელი ეხმარება მამრს მდედრის მოხიბვას და სარგებელი აქედან რისკთან შედარებით მეტია, მაშინ ორივე, კაშკაშა შეფერილობაც და მდედრის არჩევანიც ზრდიან რეპროდუქციულ წარმატებას. ამით მტკიცდება დარვინის ძირითადი იდეა. მდედრი ყოველ ჯერზე პარტნიორს ირჩევს გარკვეული გარეგნობის ან ქცევის მიხედვით. ასე ხდება იმ ალელების შენახვა, რომელთა არსებობის გამო მდედრი აკეთებს ამ არჩევანს. ეს კი აძლევს საშუალებას განსაკუთრებით მკვეთრი ფენოტიპის მქონე მამრს გადასცეს შთამომავლობას მისი ალელები.

როგორ ვითარდება მამრის გარკვეული ნიშან-თვისებების შერჩევა მდედრის მიერ? აქვს თუ არა მამრს შესაბამისი სარგებელი მკაფიო ნიშან-თვისებებისგან? რამდენიმე მკვლევარი მუშაობს ჰიპოთეზაზე, რომ მკვეთრი სქესობრივი ნიშნები ასახავენ ცხოველის ჯანმრთელობას. მაგალითად: სერიოზული პარაზიტული ინფექციების მატარებელ მამრ ფრინველებს აქვთ



▲ **სურათი 23.16** სქესობრივი გამრავლება წინააღმდეგობაშია რეპროდუქციულ წარმატებასთან. ეს დიაგრამა ასახავს ოთხი თაობის შემდეგ უსქესო გამრავლების მქონე მდედრების რეპროდუქციულ წარმატებას (ციფრები წრეებში). სცენარით დასაშვებია ერთ მდედრზე ორი გადარჩენილი შთამომავალი მოდიოდეს. უსქესო გამრავლების მქონე პოპულაცია სწრაფად იზრდება სქესობრივად გამრავლებადთან შედარებით

შეუხედავი, აჩეჩილი ბუმბული. როგორც წესი ისინი ვერ ახერხებენ საკმარისი რაოდენობის მდებრების მოხიზლვას. როცა მდებრი ყველაზე ლამაზ მამრს ირჩევს, ის ამავე დროს პარტნიორად ირჩევს ჯანმრთელ ინდივიდს. ამით კი მეტი შანსი აქვს ჯანმრთელი შთამომავლობა დატოვოს.

სცქსობრივი გამბავლების ფვლუციუბი გამცანა

ბიოლოგები არა მარტო სქესობრივი გამრავლების მექანიზმებს სწავლობენ, არამედ სქესის ევოლუციასაც, როგორც ცალკე აღებულ მოვლენას. პოპულაციის სწრაფი გამრავლებისთვის უსქესო გამრავლება სქესობრივ გამრავლებასთან შედარებით უფრო მომგებიანია. მაგალითად: განვიხილოთ მწერების პოპულაცია, სადაც მდებრების ნახევარი მრავლდება მხოლოდ სქესობრივად და ნახევარი მხოლოდ უსქესოდ. მაშინაც, როცა ორივე ტიპის მდებრები ყოველ თაობაში ერთი და იგივე რაოდენობის შთამომავლობას ტოვებენ, უსქესოდ მომრავლე მდებრებს უპირატესობა ექნებათ. უსქესო გამრავლების დროს მდებრების ყველა შთამომავალი იქნება მდებრი, ყველა მდებრს კი ასევე შთამომავლობის მოცემა შეუძლია. მდებრების შთამომავლობა ისევე მდებრები იქნება და ა.შ. საპირისპიროდ, ორსქესიანი გამრავლებისას მდებრების შთამომავლობის ნახევარს მამრები შეადგენენ. ეს აუცილებელია გამრავლებისთვის, მაგრამ მამრები თვითონ არ ტოვებენ შთამომავლობას. **23.16 სურათზე** მოცემული დიაგრამა ასახავს სქესის არსებობის ამ „რეპროდუქციულ წინააღმდეგობას“

ეუკარიოტული სახეობების უმეტესობაში შენარჩუნებულია სქესობრივი გამრავლება. სქესობრივად მრავლდებიან ის ეუკარიოტული ორგანიზმებიც, რომლებიც უსქესო გამრავლების უნარი გააჩნიათ. როგორც ჩანს სქესობრივი გამრავლება რალაცნაირად აძლიერებს რეპროდუქციულ წარმატებას. ასე რომ არ ყოფილიყო, ბუნებრივი გადარჩევა ითამაშებდა უსქესო გამრავლების ალლების სასარგებლოდ. მაგრამ რა უპირატესობა აქვს სქესობრივ გამრავლებას?

ერთი ვერსიით მეიოზური რეკომბინაციის და განაყოფიერების პროცესის შედეგად გროვდება მემკვიდრეობითი ცვალებადობა (გენეტიკური მრავალფეროვნება), რომელზეც მოქმედებს ბუნებრივი გადარჩევა. სავარაუდოდ, ბუნებრივი გადარჩევა ინარჩუნებს სქესის არსებობას, მიუხედავად მისი რეპროდუქციული ნაკლისა, ვინაიდან მომავალში მას სარგებელი მოაქვს. მემკვიდრეობითი ცვალებადობა სქესის არსებობის შედეგია. ის იძლევა ორგანიზმის ადაპტაციის შესაძლებლობას ცვალებად გარემოსთან. მაგრამ ამ ვარაუდის დაცვა ძნელია. ბუნებრივი გადარჩევა ყოველთვის მოქმედებს „ახლა და აქ“, ის არ მოქმედებს მომავალზე გათვალისწინებით, ამიტომ იმ ინდივიდების რეპროდუქციულ წარმატებას ხელს უწყობს, რომლებიც უკეთ მრავლდებიან კონკრეტულ გარემოში.

შეეცადეთ განსაზღვროთ, თუ რა გზით ანიჭებს უპირატესობას გამრავლებად ინდივიდებს მემკვიდრეობითი ცვალებადობა ანუ გენეტიკური მრავალფეროვნება დროის მცირე მონაკვეთის, თაობიდან –თაობამდე, განმავლობაში. ერთი ჰიპოთეზით მემკვიდრეობითი ცვალებადობის არსებობა მნიშვნელოვან როლს თამაშობს დაავადებათა მიმართ ორგანიზმის მდგრა-

დობაში. მრავალი ბაქტერიული და ვირუსული პათოგენი ცნობს მასპინძელს და აინფიცირებს. ის უკავშირდება მასპინძელის რეცეპტორების მოლეკულებს. ასე რომ, მომგებიანი უნდა იყოს სხვადასხვა დაავადების მიმართ ცვალებადები მდგრაობის მქონე შთამომავლობა. მაგალითად: ერთ შთამომავალს შეიძლება ჰქონდეს უჯრედული მარკერი, რომელიც მას ვირუსის მიმართ რეზისტენტულს ხდის. მეორე შეიძლება რეზისტენტული იყოს ვირუსის მიმართ. ამ ჰიპოთეზიდან გამომდინარეობს, რომ რეცეპტორების (რომლებსაც ემაგრებიან პათოგენები) მაკოდირებელი გენის ლოკუსს უნდა ჰქონდეს მრავალი ალელი. როგორც ჩანს ზუსტად ეს არის სქესობრივი გამრავლების წარმატების მიზეზი. მაგალითად: ადამიანებში ორიდან ყოველი გენის ლოკუსისთვის არსებობს ასეულობით ალელი, რომლებიც აკოდირებენ ცილებს. ეს ცილები უჯრედის ზედაპირის მის მოლეკულურ უნიკალობას ანიჭებენ (ამ უჯრედული მარკერების შესახებ მეტი ინფორმაცია მოცემულია 43 თავში). პათოგენების უმეტესობას უნარი აქვს სწრაფად იპოვოს მასპინძელის სპეციფიკური რეცეპტორის გასაღები, ამიტომ ცალკეული გენოტიპის მდგრაობა მოცემული დაავადების მიმართ არ არის მუდმივი. მაგრამ სქესის არსებობა იძლევა „კლიტეების შეცვლის“ მექანიზმს და ეს მექანიზმი ცვალებადია შთამომავალთა შორის. ასეთი ერთდროული კოევოლუციის (ამ დროს მასპინძელი და პარაზიტი ერთმანეთზე უპირატესობის შესანარჩუნებლად სწრაფად იცვლებიან) კარგი ილუსტრაცია არის ლუის კეროლის ნაწარმოებში „აღისა სარკის მიღმა“ აღწერილი „წითელი დედოფლის რბოლა“. ერთ-ერთ ეპიზოდში წითელი დედოფალი თავაზობს აღისას რაც შეიძლება სწრაფად ირბინოს, რომ ერთ ადგილას დარჩეს.

ბაცდმ აბ წაბმთიქმნებთან ბუნებრივი გადაბჩევის შედეგად სბოლუცთფილი თბგანიზმები?

როგორც 22 თავში ავღნიშნეთ, ბუნებაში არსებობს უამრავი ორგანიზმი რომელიც არც ისე კარგად არის მორგებული თავის ცხოვრების წირთან. ეს ხდება რამდენიმე მიზეზის გამო.

1. ევოლუცია შეზღუდულია ისტორიული ზენოლით. ყოველ სახეობას წინაპარი ფორმები ყავს. წინაპარი ფორმების შთამომავლობა ხანგრძლივი დროის განმავლობაში იცვლებოდა. ევოლუციის შედეგად არ ხდება წინაპარი ორგანიზმის აგებულების „ნაშლა“ და თითქმის არაფრისგან ახალი სტრუქტურის შექმნა. ევოლუცია ოპერირებს არსებული სტრუქტურის ფარგლებში და ახდენს ამ სტრუქტურის ახალ სიტუაციასთან მოდიფიცირებას. მაგალითად: ჩვენ შეგვიძლია წარმოვიდგინოთ რა სარგებელი ექნებოდათ ფრინველებს, რომ საფრენი ფრთების გარდა ორის მაგივრად ოთხი ფეხი ჰქონოდათ. მაშინ ისინი ხმელეთზე სწრაფ, მანევრირებად სირბილს შეძლებდნენ. მაგრამ ფრინველები განვითარდნენ რეპტილიებისგან, რომლებიც აქვთ მხოლოდ ორი წყვილი კიდური. წინა კიდურების ფრთებად გადაქცევის შემდეგ ხმელეთზე სასიარულოდ მხოლოდ ერთი წყვილი უკანა კიდური დარჩა.

2. ადაპტაცია ხშირად კომპრომისს წარმოადგენს. ყოველ ორგანიზმს მრავალი სხვადასხვა საგნის კეთება შეუძლია. სელაპი დროის გარკვეულ ნაწილს ატარებს ხმელეთზე; ის ალბათ უკეთ

შეძლებდა სიარულს ლასტების მაგივრად კიდურები რომ ჰქონოდა. მაგრამ ამ შემთხვევაში ასე კარგად ვერ იცურებდა. ადამიანებს უნივერსალობას და ატლეთიზმს ანიჭებენ მოქნილი კიდურები და საგნების დაჭერის უნარის მქონე ხელები. ამავე დროს ჩვენ ადვილად ვიღებთ კიდურების სხვადასხვა ტრამეებს: ხშირია სახსრის გაჭიმვა, ფეხის გადაბრუნება, კუნთის დაზიანება. ადვილად ტრამვირების თვისება საზღაურია მოქმედილობისთვის. 3. ბუნებრივი გადარჩევისა და შანსის ურთიერთგავლენა. პოპულაციის შემდგომ ევოლუციაზე მოქმედებენ შემთხვევითი მოვლენები. მაგალითად: ხანდახან შტორმს გადააქვს ფრინველები ან მწერები ოკეანეში განლაგებულ რომელიმე კუნძულზე პირვანდელი ადგილიდან ასობით კილომეტრზე. არ არის აუცილებელი რომ ქარმა გადაიტანოს ახალ გარემოსთან საუკეთესოდ მორგებული სახეობები ან სახეობების წარმომადგენლები. ამის შედეგად კუნძულზე წარმოიქმნება ახალი პოპულაცია. მაგრამ ამ პოპულაციის გენოფონდში არსებული ალელები არ იქნებიან უკეთ მორგებულნი ახალ გარემოს, ვიდრე იმ ორგანიზმების ალელები, რომლებიც „თამაშგარეთ დარჩნენ“, ანუ არ მოხვედნენ ახალ გარემოში.

4. გადარჩევა მხოლოდ არჩევს არსებული ცვალებადობიდან. ბუნებრივი გადარჩევა უპირატესობას ანიჭებს პოპულაციაში

არსებული ფენოტიპებიდან მხოლოდ წარმატებულებს. ასეთი მოქმედება შეიძლება არ იყოს იდეალური. ახალი ალელები არ წარმოიქმნებიან მოთხოვნით. ყველა ამ ფაქტორის გათვალისწინებით ევოლუციას არ შეუძლია შექმნას სრულყოფილი ორგანიზმები. ბუნებრივი გადარჩევა ოპერირებს „უკეთესი ვიდრე“ ბაზისზე. ევოლუციის მტკიცების ნახვა შეიძლება იმ ორგანიზმების არასრულყოფილებაში რომლებსაც ის წარმოქმნის.

კონცეფცია 23.4 შიმოწმება

1. ყოველთვის დაკავშირებულია თუ არა პოპულაციაში არსებული ნუკლეოტიდური ცვალებადობა ფენოტიპურ პოლიმორფიზმთან? რატომ ან რატომ არა?
2. რაში მდგომარეობს სტერილური ჯორის ფარდობითი წარმატება?
3. ახსენით როგორ მიეყვებათ სქესობრივ გადარჩევას სქესობრივ დიმორფიზმამდე?

23-ე თავის შიმოწმება

ძირითადი კონცეფციების შიმოწმება:

კონცეფცია 23.1

პოპულაციური გენეტიკა ყვალუციის შესწავლის საფუძველია

- ▶ **თანამედროვე სინთეზური თეორია.** თანამედროვე სინთეზური თეორია აერთიანებს მენდელურ გენეტიკას დარვინის ევოლუციის თეორიასთან. თანამედროვე სინთეზური თეორია ფოკუსირებულია ევოლუციის ძირითად ერთეულზე - პოპულაციაზე.
- ▶ **გენოფონდი და ალელების სიხშირე.** პოპულაცია არის ორგანიზმების ჯგუფი, რომლებიც ერთ გარკვეულ ადგილას ბინადრობენ, განეკუთვნებიან ერთ სახეობას და ერ-

თიანი გენოფონდი გააჩნიათ. გენოფონდს ქმნის პოპულაციაში არსებული ყველა ალელი ერთად.

- ▶ **ჰარდი-ვაინბერგის თეორემა.** ჰარდი-ვაინბერგის თეორემა: თუ მენდელისეული იზოლაცია და შემთხვევითი შეჯვარება ერთდერთი პროცესებია, რომლებიც გენოფონდზე მოქმედებენ ალელების და გენოტიპების სიხშირე პოპულაციაში რჩება მუდმივი. თუ p და q - თი შესაბამისად ავლნიშნავთ ცალკეულ ლოკუსში ორი შესაძლებელი ალელის სიხშირეებს, მაშინ $p^2 + 2pq + q^2 = 1$, სადაც p^2 და q^2 არის ჰომოზიგოტი გენოტიპების სიხშირე და $2pq$ არის ჰეტეროზიგოტი გენოტიპების სიხშირე. თუმცა მრავალი პოპულაცია ახლოს არის ჰარდი-ვაინბერგის წონასწორობასთან, მაგრამ ჭეშმარიტი წონასწორობა შეიძლება მიღწეული იყოს შემდეგი ხუთი წესის დაცვისას: თუ პოპულაცია არის საკმაოდ დიდი, შეჯვარება შემთხვევითია, მუტაციები არ წარმოიქმნება, არ არის გენების ნაკადი სხვა პოპულაციებიდან, და ყველა ინდივიდს ერთნაირი რეპროდუქციული წარმატება გააჩნია (ბუნებრივი გადარჩევის ზეწოლა ერთნაირია).

კონცეფცია 23.2

მუტაციების და სქესობრივი გამრავლების შედეგად წარმოიქმნება გენეტიკური მრავალფეროვნება (მემკვიდრეობითი ცვალებადობა). ცვალებადობის შედეგად კი მიმდინარეობს ევოლუცია

მუტაციები და რეკომბინაციები ქმნიან გენეტიკურ მრავალფეროვნებას, მრავალფეროვნების გამო კი შესაძლებელი ხდება ევოლუცია.

- ▶ **მუტაცია.** ახალი გენები და ახალი ალელები მხოლოდ მუტაციის გზით ჩნდებიან. მუტაციების უმეტესობას ან არა აქვს გავლენა ორგანიზმზე, ან არის მისთვის საზიანო, მაგრამ ზოგი მუტაცია ზრდის ორგანიზმის ადაპტაციას გარემოსთან.
- ▶ **სქესობრივი რეკომბინაცია.** სქესობრივად გამრავლებად ორგანიზმებში გენეტიკური რეკომბინაციის შედეგად ვიღებთ მემკვიდრეობით ცვალებადობას (მრავალფეროვნებას), რომლის გამო ადაპტაცია შესაძლებელი ხდება.
აქტიურობა: მემკვიდრეობითი ცვალებადობა (გენეტიკური მრავალფეროვნება) სქესობრივი გამრავლებიდან გამომდინარე

კონცეფცია 23.3

ბუნებრივი გადარჩევა, გენთა დრეიფი და გენთა ნაკადი ცვლის პოპულაციის გენეტიკურ შემადგენლობას.

- ▶ **ბუნებრივი გადარჩევა.** რეპროდუქციის განსხვავებული წარმატების შედეგად გარკვეული ალელები სხვა ალელებთან შედარებით შემდეგ თაობას მეტი რაოდენობით გადაეცემა.
- ▶ **გენთა დრეიფი.** დროის განმავლობაში მომხდარი ალელების სიხშირის შემთხვევითი ფლუქტუაციები ამცირებენ პოპულაციის გენეტიკურ მრავალფეროვნებას.
- ▶ **გენთა ნაკადი.** დროის განმავლობაში მიმდინარე პოპულაციებს შორის გენეტიკური მასალის მიმოცვლა ამცირებს პოპულაციებს შორის სხვაობას.

კონცეფცია 23.4

ბუნებრივი გადარჩევა ადაპტურია ევოლუციის ბიზიტადი მოქანზმია

- ▶ **მემკვიდრეობითი ცვალებადობა (გენეტიკური მრავალფეროვნება)** მემკვიდრეობითი ცვალებადობა მოიცავს პოპულაციის ინდივიდებს შორის სხვაობას დისკრეტული და უწყვეტი თვისებების მიხედვით. ამავე დროს ის მოიცავს პოპულაციების გეოგრაფიულ ცვალებადობას.
- ▶ **ახლოს დავხედოთ ბუნებრივ გადარჩევას.** ერთ-ერთ ორგანიზმს მეორესთან შედარებით მეტი ფარდობითი წარმატება გააჩნია, თუ ის მეტ შთამომავლობას ტოვებს. გადარჩევა უპირატესობას ანიჭებს პოპულაციაში არსებულ გარკვეულ გენოტიპებს. ის მოქმედებს ინდივიდების ფენოტიპზე. ბუნებრივმა გადარჩევამ შეიძლება უპირატესობა მიანიჭოს შედარებით იშვიათ ინდივიდებს. ამ იშვიათ ინდივიდებს აქვთ უკიდურესი ფენოტიპური ნიშანი (მამოძრავებელი გადარჩევა). შეიძლება ბუნებრივმა გადარჩევამ უპირატესობა მიანიჭოს ინდივიდებს ორივე ექსტრემალური ფენოტიპური ნიშნით, (დიზრუპტიული ანუ დამანაწილებელი გადარჩევა). გადარჩევამ შეიძლება იმოქმედოს ექსტრემალური გენოტიპების წინააღმდეგ (მასტაბილიზირებელი გადარჩევა)
- ▶ **გენეტიკური მრავალფეროვნების დაცვა.** დიპლოიდია ქმნის ჰეტეროზიგოტებში დაფარული, რეცესიული ცვლილებების რეზერვს. დაბალანსებული პოლიმორფიზმი ზოგ გენეტიკურ ლოკუსში ინახავს ცვალებადობას (მრავალფეროვნებას). მრავალფეროვნება ჰეტეროზიგოტების უპირატესობის ან ალელების სიხშირეზე დამოკიდებული გადარჩევის შედეგია.
- ▶ **სქესობრივი გადარჩევა.** სქესობრივი გადარჩევის შედეგია მეორადი სასქესო ნიშნების ევოლუცია. მეორადი სასქესო ნიშნები უპირატესობას ანიჭებენ გამრავლებად ინდივიდებს პარტნიორის მოძებნაში.
- ▶ **სქესობრივი გამრავლების ევოლუციური გამოცანა.** დაავადებათა მიმართ მდგრადობის გაზრდა გენეტიკურ მრავალფეროვნებაზეა დაფუძნებული. ის სქესობრივი გამრავლების არსებობის ერთადერთი შესაძლო ახსნაა. სქესობრივ გამრავლებას უსქესო გამრავლებასთან შედარებით ნაკლები რეპროდუქციული წარმატება გააჩნია.

- რატომ არ ქმნის ბუნებრივი გადარჩევა სრულყოფილ ორგანიზმებს. ნებისმიერი თანამედროვე ცოცხალი ორგანიზმის სხეულის აგებულება ცარიელ ადგილას არ წარმოიქმნა. ის შედეგია წინაპარი ორგანიზმის აგებულების მოდიფიკაციის; ადაპტაციები ხშირად კომპრომისია; გენოფონდი გენეტიკური დრეიფის გავლენის ქვეშ არის და ბუნებრივი გადარჩევა შეიძლება მხოლოდ ხელმისაწვდომ მრავალფეროვნების ფარგლებში „მუშაობდეს“.

შეამოწმეთ საკუთარი ცოდნა

თვითშემოწმება

- 100 ინდივიდისგან შემდგარი პოპულაციის გენოფონდის ცალკეული გენის ლოკუსის ფიქსირებული ალელის სიხშირე არის
 - 0
 - 0.5
 - შეუძლებელია დათვლა, ინფორმაცია არასაკმარისია.
 - 1
 - 100
- მკვლევარებმა ხილის ბუზის პოპულაციაში ცალკე ალელი გენი გამოიკვლიეს და აღმოაჩინეს, რომ გენს შეიძლება ჰქონდეს მცირედ განსხვავებული ორი თანმიმდევრობა. თანმიმდევრობები აღნიშნეს 1 და 2. შემდეგი გამოკვლევის შედეგად აღმოჩნდა, რომ პოპულაციაში გამეტების 70% შეესაბამება 1 თანმიმდევრობას. თუ პოპულაცია არის ჰარდი-ვაინბერგის წონასწორობაში ბუზების რა რაოდენობა არის ორივე: 1 და 2 თანმიმდევრობის მატარებელი?
 - 0.7
 - 0.49
 - 0.21
 - 0.42
 - 0.09
- დომინანტური და რეცესიული ალელების შემცველ ლოკუსში, რომელიც ჰარდი ვაინბერგის წონასწორობაშია ინდივიდების 16% ჰომოზიგოტია რეცესიული ალელის მიხედვით. რას უდრის დომინანტი ალელის სიხშირე პოპულაციაში?
 - 0.84
 - 0.36
 - 0.6
 - 0.4
 - 0.48
- კალიფორნიული შავკუდა კურდღლის ყურების საშუალო სიგრძე გრადუალურად (თანდათან) მცირდება განედის ზრდასთან ერთად. ეს ცვალებადობა მაგალითია.
 - მამოძრავებელი გადარჩევის
 - დისკრეტული ცვალებადობის
 - პოლიმორფიზმის
 - გენთა დრეიფის
 - დიზრუპტიული (დამანანევრებელი) გადარჩევის
- ადამიანებში შემდეგი თვისებებიდან რომელია პოლიმორფული?
 - სიმაღლის ცვალებადობა
 - ინტელექტის ცვალებადობა
 - მიმაგრებული ყურის ბიბილო (იხილეთ სურათი 14.14)
 - თითების რაოდენობის ცვალებადობა
- ბუნებრივი გადარჩევის შედეგად პოპულაციაში იცვლება ალელების სიხშირე. ვინაიდან ზოგი ინდივიდი სხვებთან შედარებით უკეთ გადარჩება და მრავლდება
 - ალელები
 - ცალკეული ორგანიზმი
 - სახეობა
 - გენოფონდი
 - გენის ლოკუსი
- სოფლის მერცხლის მამლებს უფრო გრძელი კუდი განუვითარდა, ვინაიდან დედალ მერცხლებს ურჩევნიათ გრძელკუდიან მამლებთან შეჯვარება. ეს პროცესი ალენერილია როგორც
 - გენთა დრეიფი. ის ცვლის კუდის სიგრძის მაკოდირებელი ალელების სიხშირეს
 - ბუნებრივი გადარჩევა სქესობრივი გამრავლების დროს. ის იწახვას იმ გენთა ვარიაციებს, რომლებიც კუდის სიგრძეზე მოქმედებენ.
 - სქესთაშორისი გადარჩევა ისეთი თვისებებისთვის, როგორიცაა კუდის სიგრძე. ეს თვისებები ეხმარებიან მამრებს მდედრების მოხიზლვაში.
 - შიდასქესობრივი გადარჩევა ისეთი თვისებებისთვის, როგორიცაა გრძელი კუდი. ის ეხმარება მამრებს მოიგონ შეჯიბრი მდედრისთვის
 - მამოძრავებელი გადარჩევა ისეთი თვისებების, როგორიცაა გრძელი კუდი. გრძელი კუდი ზრდის მამრის შესაძლებლობას კარგად იფრინოს და უფრო ფართო არეალიდან შეაგროვოს საკვები.
- არ არსებობს ერთმანეთის იდენტური ორი ადამიანი, თუ არ ჩავთვლით იდენტურ ტყულებს. ინდივიდებში მრავალფეროვნების მთავარი მიზეზი არის
 - ახალი მუტაციები, რომლებიც წინა თაობებში წარმოიქმნენ
 - სქესობრივი რეკომბინაციები
 - გენთა დრეიფი, პოპულაციის მცირე ზომასთან ერთად
 - გეოგრაფიული ცვალებადობა პოპულაციაში
 - გარემოს ზეგავლენა
- გზის მშენებლობის შედეგად ხოჭოების პოპულაციის მცირე ნაწილი მთავარი პოპულაციიდან იზოლირდა. რამდენიმე თაობის შემდეგ ახალი პოპულაცია გენეტიკურად მნიშვნელოვნად ძველი პოპულაციისგან განსხვავებული აღმოჩნდა. როგორც ჩანს ეს იმიტომ მოხდა, რომ
 - ახალ გარემოში უფრო იშვიათად ხდება მუტაციები
 - მთავარი პოპულაციიდან გამოყოფილი ხოჭოების ალელების სიხშირე შემთხვევით განსხვავდება მშობლიური პოპულაციის გენოფონდში არსებული ალელების სიხშირისგან. შემდგომი გენეტიკური დრეიფი ქმნის მეტ სხვაობას თავდაპირველ გენოფონდთან შედარებით
 - ახალი გარემო განსხვავებულია ძველისგან და უპირატესობას ანიჭებს მამოძრავებელ გადარჩევას

- დ) ახალ გარემოში გენთა ნაკადი იზრდება
 - ე) მცირე ზომის პოპულაციის წევრები მიგრირებენ, რის შედეგად გენოფონდიდან ხდება ალელების გადატანა
10. საშუალო ზომის ფრთების მქონე მერცხლები გრიგალს უკეთ უძლევენ, ვიდრე უფრო გრძელი ან მოკლე ფრთების მქონე მერცხლები. რაც ილუსტრირებს
- ა) ვიწრო ყელის ეფექტს
 - ბ) მასტაბილიზირებელ გადარჩევას
 - გ) სიხშირეზე დამოკიდებულ გადარჩევას
 - დ) ნეიტრალურ ცვალებადობას
 - ე) დიზრუპტიულ გადარჩევას

ეფექტური კავშირი

როგორ ხსნის ევოლუციის პროცესს ცოცხალი ორგანიზმების არასრულყოფილება?

მეცნიერული კვლევა

ველურად მოზარდი მცენარეების პოპულაციაში, რომელიც ჩვენ გამოვიყენეთ ჰარდი-ვაინბერგის თეორემის შესამოწმე-

ბლად ჩლ ალელის სიხშირე არის 0.8 და C^W ალელის სიხშირე კი 0.2. ამ ყვავილების განსხვავებულ პოპულაციებში გენოტიპის სიხშირეები არ ეთანხმება ჰარდი-ვაინბერგის წონასწორობას: მცენარეების 60% მატარებელია ჩლ ალელის და 40% C^W ალელის. აჩვენეთ, რომ გენოტიპები მიაღწევენ წონასწორობას შემდეგ თაობაში იმ შემთხვევაში, თუ ჰარდი-ვაინბერგის წონასწორობის ყველა წესი დაცულია. შემდეგ იგულისხმეთ, რომ მცენარეები ქმნიან წყვილებს მხოლოდ თვითდამტყვევით. როგორი იქმნება ალელის და გენოტიპების სიხშირე შემდგომ თაობაში?

მეცნიერება, ცოდნოვცია და საზოგადოება

რამდენად თავისუფალია ბუნებრივი გადარჩევის მოქმედებისგან თანამედროვე ადამიანი?

24

სასქომათა წარმოშობა



▲ **სურათი 24.1** გალაპავოსის ჩვამა (*Nannopterum harrisi*), მას ფრენა არ შეუძლია. ის ერთ-ერთია იმ მრავალი სახეობიდან, რომლებიც გალაპავოსის კუნძულებზე წარმოიშვნენ.

ძირითადი კონცეფციები

- 24.1** ბიოლოგიური სახეობის კონცეფციის თანახმად დიდი მნიშვნელობა ენიჭება რეპროდუქციულ იზოლაციას.
- 24.2** სახეობათა წარმოქმნა შეიძლება მიმდინარეობდეს როგორც გეოგრაფიული იზოლაციის პირობებში, ისე მის გარეშე.
- 24.3** სახეობათა წარმოქმნის დროს შეიძლება დაგროვდეს მაკროეოლუციური ცვლილებები.

შესავალი

ყვლაზჟ დიდი მისცფრია

გალაპავოსის კუნძულებზე მოგზაურობის დროს დარვინი დიდი ინტერესით იკვლევდა ხმელეთის იმ მობინადრეებს, რომლებმაც შედარებით გვიან დატოვეს ზღვის გარემო. დარვინი აღნიშნავდა, რომ მიუხედავად იმისა, რომ გალაპავოსის კუძულები შედარებით ახალი, ვულკანური წარმოშობის კუნძულები არიან, ისინი მდიდარია მცენარეთა და ცხოველების ისეთი სახეობებით, რომლებიც არსად მსოფლიოში სხვაგან არ გვხვდებიან. დარვინი მიხვდა, რომ ეს სახეობები, ისევე როგორც თვითონ კუნძულები, ახალად წარმოშობილია (**სურათი 24.1**). მან ჩანერა დღიურში: ჩვენ როგორც ჩანს მიუვახლოვდით დროში და სივრცეში არსებულ უდიდეს მისტიკრიას — დედამიწაზე ახალი სახეობების გაჩენას.

ახალი სახეობები განუწყვეტლად წარმოიქმნებიან. ამიტომ ბუნებაში არსებობს ბიოლოგიური მრავალფეროვნება. ახალი სახეობების წარმოქმნა, ან სახეობათა წარმოშობა, ევოლუციური თეორიის ძირითადი საკითხია. ევოლუციის ასახსნელად არ არის საკმარისი პოპულაციაში ადაპტაციების ჩამოყალიბების ახსნა (ეს პროცესი ჩვენ 23 თავში განვიხილეთ; ცვლილებებს, რომლებიც ერთი გენოფონდითაა შემოსაზღვრული მიკროეოლუცია სწავლობს). გენოფონდის დაყოფის და შემდგომი დივერგენციის (დაცილების) შედეგად წარმოიქმნება ახალი სახეობები. ევოლუციური თეორიის დახმარებით უნდა შევძლოთ ამ პროცესანაის ახსნა. მიკროეოლუციური ცვლილებების გარდა გვხვდება მაკროეოლუციური ცვლილებებიც. გნამარხებული ფორმებიდან ჩანს ხანგრძლივი დროის განმავლობაში მიმდინარე სახეობათა წარმოქმნის პროცესი და მისი შედეგებიც. ტერმინს „მაკროეოლუცია“ ვიყენებთ სახეობის დონესთან შედარებით, უფრო მაღალ დონეზე მომხ-

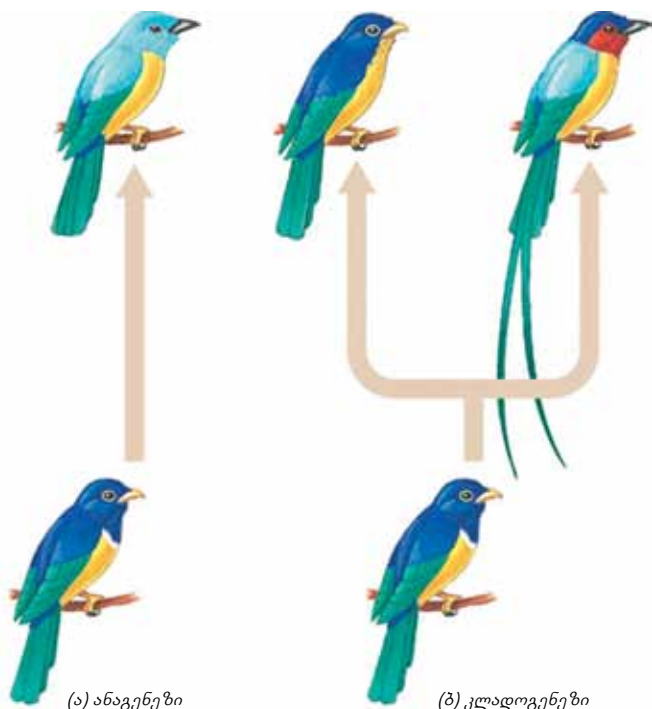
დარი ევოლუციური ცვლილებების აღსანიშნავად. მაგალითად: ფრინველების ევოლუციის დროს დინოზავრების ერთ ჯგუფში ბუმბულის გაჩენა მაკროეოლუციური ცვლილებაა. მაკროეოლუცია სწავლობს ასეთი სახის სხვა „ევოლუციურ სიახლეებს“. ეს სიახლეები შეიძლება გამოვიყენოთ უფრო დიდი ტაქსონის განვითარების განხილვისას.

ჩვენ განვანსხვავებთ ევოლუციური ცვლილებების ორ ძირითად მოდელს: ანაგენეზს და კლადოგენეზს (**სურათი 24.2**) ანაგენეზს (ბერძნულიდან: ana - ახალი genos - რასა) ასევე ფილეტურ ევოლუციას უწოდებენ. ის იკვლევს იმ ცვლილებების დაგროვების პროცესს, რომლებიც თანდათან გარდაქმნიან მოცემულ სახეობას სხვა ნიშნების მქონე სახეობად. კლადოგენეზს (ბერძნულიდან klados - ტოტი) ასევე განშტოებების ევოლუციას უწოდებენ, ის იკვლევს გენოფონდის დაყოფას ორ ან მეტ განცალკევებულ გენოფონდად, ყოველი ახალი გენოფონდი შემდგომში დასაბამს აძლევს ორ ან მეტ ახალ სახეობას. კლადოგენეზი უზრუნველყოფს ბიოლოგიურ მრავალფეროვნებას სახეობების რაოდენობის ზრდით.

კონცეფცია 24.1

ბიოლოგიური სახეობის კონცეფციის თანახმად დიდი მნიშვნელობა ენიჭება ბიპტოდუქციულ იზოლაციას

სახეობა — Species არის ლათინური სიტყვა. ის ნიშნავს „გარეგნულ გამოვლენას“. ჩვენ შეგვიძლია სხვადასხვა მცენარეს და ცხოველს შორის სხვაობის დადგენა მათი გარეგნობის მიხედვით. მაგალითად: ჩვენ ვანსხვავებთ ძაღლს და კატას,



▲ **სურათი 24.2 ევოლუციური ცვლილებების ორი მოდელი** (ა) ანაგენეზი მემკვიდრეობითი ცვლილებების დაგროვების პროცესია. ამ დროს ხდება სახეობების თვისებების შეცვლა. (ბ) კლადოგენეზი (განშტოვების ევოლუცია) ამ დროს პოპულაციაში ახალი სახეობები მშობლიური სახეობიდან წარმოიქმნებიან (გაითვალისწინეთ, რომ მშობლიური სახეობაც შეიძლება შეიცვალოს). კლადოგენეზი ბიოლოგიური მრავალფეროვნების საფუძველია. ამ თავში განვიხილავთ სახეობების წარმოშობის მექანიზმს. ამავე დროს შეგვიძლია განვიხილოთ ახალი თვისებების გაჩენა, რომლებიც უფრო დიდ ტაქსონოშიურ ჯგუფებში ხდება. მაგრამ უპირველეს ყოვლისა უნდა განვსაზღვროთ რას ვგულისხმობთ, როცა ვსაუბრობთ „სახეობაზე“.

მათი განსხვავებული გარეგნობის მიხედვით. მაგრამ მართლაც ჯგუფებიდან თუ არა ორგანიზმები დისკრეტულ (ცალკეულ) ერთეულებად, რომლებთაც ჩვენ სახეობებს ვუწოდებთ? ან ჩვენი კლასიფიკაცია უბრალოდ მცდელობაა რაღაც წესრიგი დავამყაროთ ორგანულ სამყაროში? ამ კითხვას ბიოლოგებმა რომ უპასუხონ, მათ სხვადასხვა ჯგუფებში გაერთიანებული ორგანიზმების არა მარტო მორფოლოგია (სხეულის ფორმა) უნდა შეადარონ, არამედ მხედველობაში უნდა მიიღონ გარეგნულად ნაკლებად შესამჩნევი სხვაობა ფიზიოლოგიაში, ბიოქიმიაში და დნმ-ის თანმიმდევრობაში. ასეთი მრავალმხრივი შედარების შედეგებით ძირითადად დასტურდება, რომ მორფოლოგიურად განსხვავებული სახეობები მართლაც დისკრეტულ ჯგუფებს წარმოადგენენ და მორფოლოგიური სხვაობის გარდა ბევრი სხვა სხვაობა ახასიათებთ.

ბიოლოგიური სახეობის კონცეფცია

ყველაზე ხშირად ამ წიგნში ვხმარობთ სახეობის განმარტებას, რომელიც შემოიღო ბიოლოგმა ერნსტ მაირმა 1942 წელს. ბიოლოგიური სახეობის კონცეფციის მიხედ-

ვით სახეობა წარმოადგენს პოპულაციას ან პოპულაციათა ჯგუფს, რომლის წევრებს ბუნებაში შეჯვარების უნარი გააჩნიათ და სიცოცხლისუნარიან, ნაყოფიერ შთამომავლობას გვაძლევენ. მაგრამ სხვა პოპულაციების წევრებთან შეჯვარებისას არ შეუძლიათ სიცოცხლისუნარიანი და ნაყოფიერი შთამომავლობის დატოვება. (**სურათი 24.3**) სხვა სიტყვებით რომ ვთქვათ ბიოლოგიური სახეობის წევრებს აერთიანებს რეპროდუქციული შესაბამისობა. შესაძლებელია ის მხოლოდ პოტენციური იყოს. მაგალითად: ყველა ადამიანი ეკუთვნის ერთ ბიოლოგიურ სახეობას. ბიზნეს ლედი მანჰეტენიდან ცო-



(ა) **მსგავსება სხვადასხვა სახეობას შორის.** აღმოსავლეთის მდელოს ტოროლას (*Sturnella magna*, მარცხნივ) და დასავლეთის ტოროლას (*Sturnella neglecta*, მარჯვნივ) სხეულის მსგავსი აგებულება და შეფერილობა ახასიათებს. ამის მიუხედავად ეს განსხვავებული ბიოლოგიური სახეობებია. მათი გალობა და ქცევა იმდენად განსხვავებულია, რომ ბუნებაში შეჯვარებისგან დაცვას უზრუნველყოფს.



(ბ) **მრავალფეროვნება სახეობეში.** გარეგნული მრავალფეროვნების მიუხედავად ყველა ადამიანი ერთ ბიოლოგიურ სახეობას (*Homo sapiens*) ეკუთვნის. ყველა ადამიანი ერთმანეთს ეჯვარება, რაც ადასტურებს, რომ ეს ერთი სახეობაა.

▲ **სურათი 24.3 ბიოლოგიური სახეობის კონცეფცია უფრო მეტად დამყარებულია შეჯვარების უნარზე, ვიდრე ფიზიკურ მსგავსებაზე**

ლად მონოლოლელ ფერმერს თავისი ნებით ალბათ არ გაყვება, მაგრამ თუ ისინი ერთად ცხოვრებას გადაწყვეტენ, მათ მრავალი შვილი ეყოლებათ. ყველა მათი შვილი განვითარდება ზრდასრულ, გამრავლებად ორგანიზმად. საპირისპიროდ, ადამიანი და შიმპანძე არიან სხვადასხვა ბიოლოგიური სახეობები, თუნდაც ერთ ჰაბიტატს იყოფდნენ. მათ შეჯვარებას და ნაყოფიერი შთამომავლობის დატოვებას ბევრი ფაქტორი ეწინააღმდეგება.

რეპროდუქციული იზოლაცია

ვინაიდან ბიოლოგიურ სახეობებს შორის განსხვავება რეპროდუქციულ შეუთავსებლობაზე დაფუძნებული, ბიოლოგიური სახეობის კონცეფცია დამყარებულია **რეპროდუქციულ იზოლაციაზე** — ანუ ბიოლოგიური ფაქტორების (ბარიერების) არსებობაზე. იგი ხელს უშლის ორი სახეობის წარმომადგენლებს დატოვონ სიცოცხლისუნარიანი, ნაყოფიერი ჰიბრიდები. ერთ ბარიერს არ ძალუძს სახეობებს შორის გენეტიკური მასალის გაცვლის ყველა შესაძლებელი ვარიანტის ბლოკირება. სახეობათა გენოფონდების ეფექტურ იზოლაციას რამდენიმე ბარიერის კომბინაცია ქმნის.

ცხადია ბუზი ბაყაყს ან ხავსს ვერ შეეჯვარება. მაგრამ უფრო ახლო მონათესავე სახეობებს შორის ამდენად ცხადი რეპროდუქციული ბარიერები არ არსებობს. რეპროდუქციული ბარიერების კლასიფიკაციას იმის მიხედვით ახდენენ, თუ როდის ჩამოყალიბდა რეპროდუქციული იზოლაცია: განაყოფიერების წინ თუ განაყოფიერების შემდეგ. **პრეზიგოტური ბარიერი** (ზიგოტის წარმოქმნამდე) მოქმედებს იმ შემთხვევაში, თუ სხვადასხვა სახეობის ინდივიდები ცდილობენ შეჯვარებას. ის ხელს უშლის სახეობების შეჯვარებას ან კვერცხუჯრედის განაყოფიერებას. თუ ერთი სახეობის სპერმამ დაარღვია პრეზიგოტური ბარიერი და განაყოფიერა სხვა სახეობის კვერცხუჯრედი მაშინ ხშირად **პოსტზიგოტური ბარიერი** (ზიგოტის წარმოქმნის შემდეგ) არ აძლევს ჰიბრიდულ ზიგოტას განვითარების საშუალებას. პოსტზიგოტური ბარიერის მოქმედების შედეგად ჰიბრიდული ზიგოტა სიცოცხლისუნარიან, ნაყოფიერ ზიგოტად ვერ ყალიბდება. 24.4 სურათზე გამოხატულია სხვადასხვა პრეზიგოტური და პოსტზიგოტური ბარიერი.

ბიოლოგიური სახეობების კონცეფციის იმიტაციები

რეპროდუქციულ იზოლაციაზე დაფუძნებული ბიოლოგიური სახეობების კონცეფცია დიდ გავლენას ახდენს ევოლუციურ თეორიაზე, მაგრამ ამ კონცეფციას სახეობების ლიმიტირებული რაოდენობა ესადაგება. მაგალითად, შეუძლებელია შევისწავლოთ ნამარხი ფორმების ან სქესობრივი გამრავლების არამქონე ორგანიზმების რეპროდუქციული იზოლაცია. მაგალითად პროკარიოტების რეპროდუქციული იზოლაცია. (ბევრ პროკარიოტ ორგანიზმში გენების მიმოცვლა ხდება კონიუგაციის და სხვა პროცესების მეშვეობით — იხილეთ თავი 18 — მაგრამ გენეტიკური მასალის მიმოცვლის ეს ხერხები განსხვავდება სქესობრივი რეკომბინაციისგან. გენების მიმოცვლა ხშირად შორეულ არამონათესავე პროკარიოტულ ორგანიზმებს შორისაც ხდება). ძნელია

მიგმართოთ ბიოლოგიური სახეობების კონცეფციას იმ სქესობრივად გამრავლებადი სახეობების შემთხვევაშიც, რომლებზე ცოტა რამ არის ცნობილი. მათ ხშირად სხვა სახეობის წარმომადგენლებთან შეჯვარება შეუძლიათ. ყველა ამ მიზეზის გამო გარკვეულ სიტუაციებში მართებულია ვიხმართ სახეობის ალტერნატიული კონცეფცია.

სახეობის სხვა განსაზღვრება

ბიოლოგიური სახეობის კონცეფცია დაფუძნებულია სახეობების განცალკევებაზე რეპროდუქციული ბარიერების მეშვეობით. სხვა კონცეფციები დაფუძნებულია სახეობებს შორის კავშირზე. მაგალითად: **მორფოლოგიური სახეობის კონცეფციის** თანახმად სახეობას განსაზღვრავენ მისი სხეულის ფორმის, ზომის და სხვა მსგავსი სტრუქტურული თვისებების მიხედვით. მორფოლოგიური სახეობის კონცეფციას აქვს გარკვეული უპირატესობა: ის შეიძლება გამოვიყენოთ როგორც უსქესოდ ისე სქესობრივად გამრავლებადი ორგანიზმების შემთხვევაში, ის შეიძლება გამოვიყენოთ მაშინაც, თუ არა გვაქვს ინფორმაცია გენთა ნაკადის სიდიდეზე. ამ კონცეფციის ნაკლია, რომ ის არის დამყარებული სუბიექტურ კრიტერიუმზე. მკვლევარებმა შეიძლება ვერ მიაღწიონ შეთანხმებას იმ სტრუქტურების თაობაზე, რომელიც განასხვავებს სახეობას.



▲ **სურათი 24.6** ალოპატრიული სახეობათა წარმოქმნა დიდი კანიონის მოპირდაპირე ნაწილებზე მოხინაღრე თრიახ მაგალითზე. ჰარისის თრია (Ammospermophilus harrisi) ბინადრობს კანიონის სამხრეთ ნაწილში (მარცხენი). რამდენიმე მილის დაშორებით, კანიონის ჩრდილოეთ ნაწილში (მარჯვნივ) ცხოვრობს მისი ახლო მონათესავე თეთრკუდა თრია (Ammospermophilus leucurus).

პალეონტოლოგიური სახეობის კონცეფცია. ეს კონცეფცია ეხება მორფოლოგიურად განსხვავებულ სახეობებს, რომელთა ნაშთები მხოლოდ ნამარხებით არის ცნობილი. მრავალი სახეობის დადგენა ზუსტად ამ გზით ხდება, ვინაიდან მათი შეჯვარების შესაძლებლობაზე ინფორმაცია ან ძალიან ცოტა არის, ან სულ არ არსებობს.

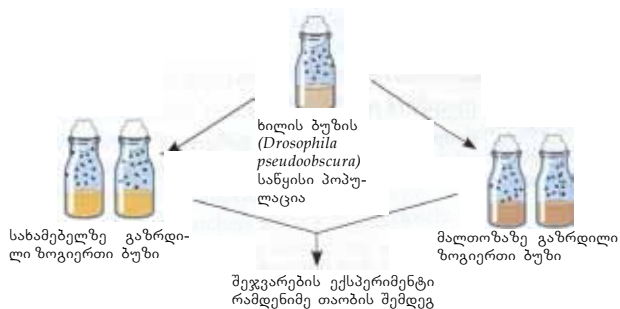
ეკოლოგიური სახეობის კონცეფცია სახეობებს განიხილავს მათი ეკოლოგიური ნიშების მიხედვით და როლის მიხედვით ბიოლოგიურ თანასაზოგადოებაში (**იხილეთ თავი 53**). მაგალითად: გალაპაგოსის მთიულების ორი სახეობა გარეგნულად შეიძლება მსგავსი იყოს, მაგრამ სხვაობა მათ შორის დაფუძნებულია განსხვავებულ საკვებზე. სახეობის ბიოლოგიური კონცეფციისგან განსხვავებით, ეს განმარტება

სურათი 24.7

კვლევა: იწვევს თუ არა ტრანსდუქციულ იზოლატიას ხილის ბუზის ლაბორატორიულ პოპულაციაში მიმდინარე დათიშვა?

მასპერიმენტი

დიანა დოდმ (იელის უნივერსიტეტი) ხილის ბუზის პოპულაცია ორ ნაწილად დაყო. ერთ ნაწილს ის სახამებელზე ზრდიდა, მეორეს მალთოზაზე. მრავალი თაობის შემდეგ ბუნებრივი გადარჩევა დივერგენტულ ევოლუციაში აისახა: სახამებელზე გაზრდილი პოპულაციები უფრო რაციონალურად სახამებელს ინელებდნენ, მალთოზაზე გაზრდილები კი მალთოზას. შემდეგ დოდმა სხვადასხვა პოპულაციის ბუზები შესაჯვარებლად ერთად მოათავსა და შეჯვარების სიხშირეები გაზომა.



შედეგები

„სახამებელის პოპულაციის“ ბუზები „მალთოზის პოპულაციის“ ბუზებს შეერივნენ, მაგრამ შესაჯვარებლად მაინც საკუთარი პოპულაციის წევრებს ირჩევდნენ. საკონტროლო ჯგუფში სხვადასხვა პოპულაციიდან აღებული ბუზები იყვნენ, რომლებიც ერთ და იგივე საკვებზე იზრდებოდნენ. ეს ბუზები ერთნაირად როგორც ერთმანეთს, ასევე სხვა პოპულაციის წევრებს ეჯვარებოდნენ.

მდედრი		მამრი		
სახამებელი	მალთოზა	იგივე პოპულაცია	სხვა პოპულაცია	
მდედრი სახამებელი	22	9	18	15
მდედრი მალთოზა	8	20	12	15

შეჯვარების სიხშირე ექსპერიმენტულ ჯგუფში

შეჯვარების სიხშირე საკონტროლო ჯგუფში

დასკვნა

„სახამებელის ბუზები“ და „მალთოზის ბუზები“ უპირატესობას შეჯვარებისას მათ მსგავსად ადაპტირებულ ბუზებს მაშინაც ანიჭებდნენ, თუ ისინი სხვადასხვა პოპულაციებიდან არიან. ცდა აჩვენებს, რომ ბუზების დივერგენტულ (გათიშვად) პოპულაციებს შორის რეპროდუქციული ბარიერის ჩამოყალიბება მიმდინარეობდა. ბარიერი ჯერ გადაულახავი არ არის (სახამებელზე გაზრდილი ბუზების გარკვეული რაოდენობა ეჯვარება მალთოზის ბუზებს), მაგრამ რამდენიმე თაობის განმავლობაში მიმდინარეობდა ძლიერი დათიშვა, რაც სხვადასხვა გარემოში ალოპატრიული პოპულაციების იზოლაციის შედეგია.

შეიძლება მოერგოს როგორც სქესობრივად, ასევე უსქესოდ გამრავლებად სახეობებს.

ფილოგენეტიკური სახეობის კონცეფცია. განსაზღვრავს სახეობას, როგორც ერთიანი გენეტიკური წარმომავლობის მქონე ორგანიზმების ნაკრებს – ანუ სიცოცხლის ხის ერთი ტოტს. ბიოლოგები სახეობების ფილოგენეტიკური ისტორიის გამოსაკვლევადად ადარებენ მათ ფიზიკურ თვისებებს ან ერთი სახეობის დნმ-ის თანმიმდევრობას სხვა ორგანიზმების დნმ-ის თანმიმდევრობასთან. ასეთი ანალიზის შედეგად შეიძლება ერთმანეთისგან განვასხვავოთ სხვა მხვრივ ერთმანეთთან საკმაოდ ახლოს მდგომი ინდივიდები ან ინდივიდთა ჯგუფები. ამ მეთოდების გამოყენების გარეშე ვერ განვიხილავთ მათ ცალკეულ სახეობებად. (რა თქმა უნდა ძნელია სხვაობის იმ ხარისხის დადგენა, რომ-

ლის მიხედვით სახეობა ცალკეულ სახეობად განისაზღვრება). ფილოგენეტიკური ინფორმაციის მეშვეობით ხანდახან ხდება „მონათესავე, შვილეული სახეობების“ გამოვლენა. ეს სახეობები იმდენად მსგავსი არიან, რომ მორფოლოგიურად მათი განსხვავება შეუძლებელია. თუ ფილოგენეტიკური სხვაობა რეპროდუქციული შეუთავსებლობის შედეგია, მეცნიერები სახეობის განსაზღვრისთვის ბიოლოგიური სახეობის კონცეფციას მიმართავენ.

ამ განმარტებების გამოყენების წარმატება დამოკიდებულია სიტუაციაზე და ჩვენს მიერ დაყენებულ კითხვებზე. რეპროდუქციულ ბარიერებზე დამყარებული ბიოლოგიური სახეობის კონცეფცია საკმაოდ გამოსადეგია სახეობათა წარმოშობის შესასწავლად.

კონცეფცია 24.1 შიმშილება

1. ტყის ორი ფრინველის სახეობის შეჯვარების შესახებ არაფერი არ არის ცნობილი. ერთი სახეობა იკვებება და მრავლდება ხის კენწეროებზე, მეორე კი ხმელეთზე. ტყეებში ეს ორი სახეობა ერთმანეთს ეჯვარება და გვაძლევს სიცოცხლიუნარიან, ნაყოფიერ შთამომავლობას. რა ტიპის რეპროდუქციული ბარიერი უშლის ამ ფრინველების შეჯვარებას ბუნებაში? ახსენით.
2. ა. სახეობის რომელი კონცეფცია შეიძლება გამოვიყენოთ ორივე: უსქესო და სქესობრივი გამრავლების უნარის მქონე სახეობისთვის? ბ. რომელი ეხება მხოლოდ სქესობრივი გამრავლების მქონე სახეობებს? გ. რომელი კონცეფცია ყველაზე გამოსადეგია ველში მუშაობის დროს სახეობის განსაზღვრისთვის?

კონცეფცია 24.2

სახეობათა წარმოქმნა
შეიძლება როგორც გეოგრაფიული (სივრცით) იზოლაციისას, ისე მის გატყეში მიმდინარეობდეს

სახეობის წარმოქმნა შეიძლება ორი ძირითადი გზით მიმდინარეობდეს: ეს დამოკიდებულია იმაზე, თუ რა გზით ხდება პოპულაციაში გენთა ნაკადის შეწყვეტა (სურათი 24.5).

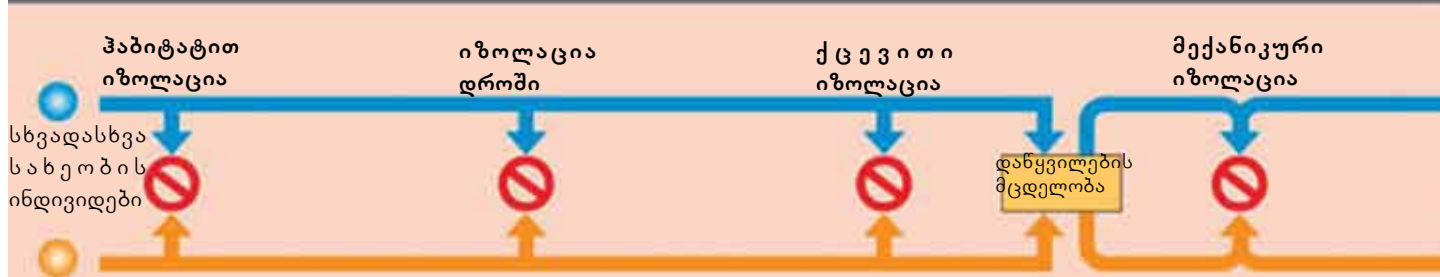
ალპატრიული (სხვა ქვეყანაში)
სახეობათა წარმოშობა

ალპატრიული სახეობათა წარმოქმნის შემთხვევაში (ბერძნულიდან allos — სხვა patris — სამშობლო) გენების

სურათი 24.4

რეპროდუქციული ბარიერების კვლევა

პრეზიგოტური ბარიერები აბრკოლებენ დაწყვილებას, თუ დაწყვილება მაინც ხდება, აბრკოლებენ განაყოფიერებას



ჰაპიტატი იზოლაცია

იზოლაცია დროში

ქცევითი იზოლაცია

მექანიკური იზოლაცია

ორი სახეობა, რომელიც ერთი სახეობები, რომლებიც ერთმანეთს იგივე არეალის სხვადასხვა ნეთს წლის, დღის ან სეზონის ჰაპიტატში ბინადრობს ერთმანეთს სხვადასხვა დროს ეჯვარებიან. ნეთს იშვიათად, ან საერთოდ ამ სახეობების გამეტები ერთ-ერთს ხვდება, თუმცა ნამდვი-მანეთს არ ერევა.

ლი ფიზიკური ბარიერებით, მაგალითად მთაგრეხილით, იზოლირებული არ არის.

მაგალითი: ჩრდილოეთი ამერიკაში გავრცელებული ალმოსავლეთის ხალეზიანი სკუნსის გეოგრაფიული არეალი (*Spilogale putorius*) (ც) და დასავლეთის ხალეზიანი სკუნსის (*Spilogale gracilis*) (დ) არეალი გადაიფარება, მაგრამ *S. putorius*-ი მრავლდება გვიან ზამთარში *S. gracilis* კმი გვიან ზაფხულში

პარტნიორის მოსაზიდი საარშეო რიტუალი და სხვა უნიკალური ქცევითი თვისებები ახლო მონათესავე სახეობებს შორისაც კი ეფექტურ რეპროდუქციულ ბარიერს ქმნიან.

საარშეო რიტუალის მაგალითი: გალაპავოსზე გვარი *Sula* -ს ბინადრობს წარმომადგენელი ლურჯფეხა *Sula nebouxii*. ის პარტნიორს საარშეო რიტუალის შემდეგ ეჯვარება. ეს რიტუალი ამ სახეობისთვის უნიკალურია. რიტუალის ერთ-ერთი შემადგენელი ნაწილის აღწერა: მამრი დემონსტრირებს ლურჯი ფერის კიდურებს, რითაც მდედრის ყურადღებას იზიდავს (ე).

მორფოლოგიური იზოლაცია გამოირიცხავს წარმატებულ შეჯვარებას

მაგალითი: ყვავილები გარეგნულად განსხვავებულია მცენარეების ახლო მონათესავე სახეობებშიც. მათ განსხვავებული სურნელი ახასიათებს და ამიტომ სხვადასხვა დამტკვერავებს იზიდავენ. გვარი *Mimulus*-ის ეს ორი სახეობა ყვავილების შეფერილობით და ფორმით (ფ, გ) განსხვავდება. ჯვარედინი დამტკვერვა ამ მცენარეებში არ ხდება.

მაგალითი: გვარი *Thamnophis*-ის თასშიანი გველის ორი სახეობა ერთ გეოგრაფიულ არეალში ბინადრობს, მაგრამ ერთი სახეობა (ა) ძირითადად წყლის, მეორე კი ძირითადად ხმელეთის ბინადარია (ბ)



(ბ)



(ა)



(დ)



(ბ)



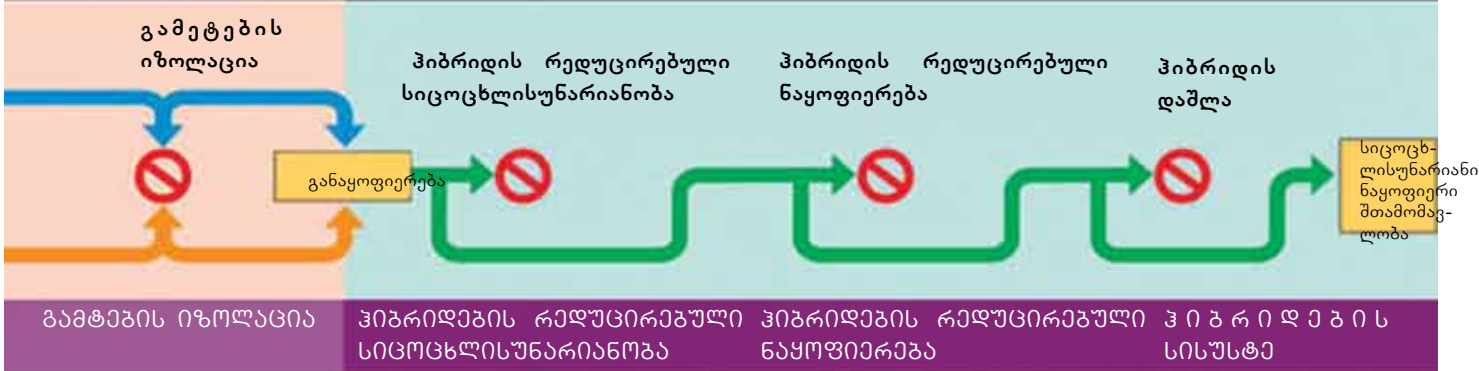
(ე)

(ზ)



(გ)

პოსტგვიგდუქტი ბატირქში, ტომლოშიც ზიგდცას ატ აბლუქენ საშუალუბას ნაყთიერ, ზტდასტულ ოტგანიზმად განვითარდეს.



ერთი სახეობის სპერმამ შეიძლება სხვა სახეობის კვერცხურედი ვერ განაყოფიეროს. ამ იზოლაციას ბევრი მიზეზი აქვს. მაგალითად, სპერმა შეიძლება ვერ გადარჩეს სხვა სახეობის მდედრის რეპროდუქციულ ტრაქტში, ან ბიოქიმიური მექანიზმების მოქმედების გამო ვერ შეაღწიოს სხვა სახეობის მდედრის კვერცხურედის მემბრანაში.

მაგალითი: წყლის ცხოველების ახლო მონათესავე ზოგ სახეობას, მაგალითად ზღვის ზღარბებს (ჰ) გამეტების იზოლაცია ყოფს. ზღვის ზღარბები სპერმასა და კვერცხებსაც წყალში გამოყოფენ. განაყოფიერებაც წყალში ხდება, რის შედეგად ზიგოტა წარმოიქმნება. სხვადასხვა სახეობის გამეტები, მაგალითად მონივრული და წითელი ზღვის ზღარბების გამეტები კი, ერთმანეთს არ ერწყმის.



(ი)



(თ)



(კ)



(მ)



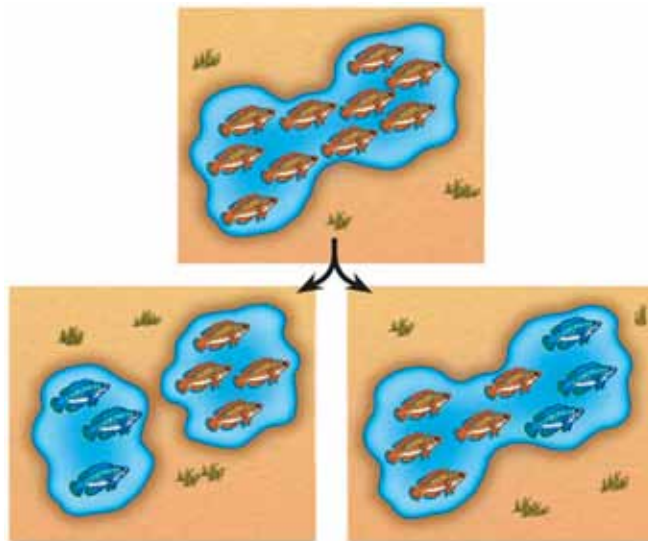
(ლ)



(ნ)

თუ ჰიბრიდი გამძლეა, ის შეიპირველი თაობის ზოგი ჰიბრიდი სტერილური იყოს. თუბრიდი სიცოცხლისუნარიანი ორი მშობლიური სახეობებისდა ნაყოფიერია, მაგრამ თუ ქრომოსომების აგებულება ანისინი ერთმანეთს ან მშობრივცხვი განსხვავდება, ჰიბრიდებ-ლიური სახეობის წარმომად-ში მეიოზი არ მიმდინარეობს დაგენელს ეჯვარებიან, შემდეგი ნორმალური გამეტები არ წარ-თაობის შთამომავლობა სუს-მოიქმნება. ჰიბრიდი უნაყოფოა, ან სტერილურია. ანუ მშობლიურ სახეობებთან შეჯვარებისას შთამომავლობას არ იძლევა. სახეობებს შორის გენების მიმოცვლა შეზღუდუ-ლია.

მაგალითი: ვირის (კ) და ცხენის (ლ) ჰიბრიდული შთამომავლობა არ არსებობს. ვირის (კ) და ცხენის (ლ) ჰიბრიდი სიცოცხლისუნარიანი და ნაყოფიერი (ნ მარცხენივ და მარჯვნივ). შემდეგი თაობის მცენარეები მრავალ რეცესიულ ალელს ატარებენ. ამიტომ პატარები და სტერილურები არიან (ნ ცენ-ტრი). მართალია, ბრინჯის ამ ჯიშებს სხვადასხვა სახეობებად არ თვლიან. მათი იზოლაცია პოსტზიგოტური ბარიერების გამო დაინყო.



(ა) ალოპატრიული სახეობათა-
წარმოშობა. მშობლიურ პოპულაციაში მომხდარი გეოგრაფიული იზოლაციის შედეგად ახალი სახეობები წარმოიქმნება.

(ბ) სიმპატრიული სახეობათა-
წარმოშობა. მცირე ზომის პოპულაციაში ახალი სახეობა გეოგრაფიული იზოლაციის გარეშე წარმოიქმნება

▲ სურათი 24.5 სახეობათა წარმოქმნის ორი მთავარი გზა

ნაკადი წყდება, როცა პოპულაცია გეოგრაფიულად იზოლირებულ ქვეპოპულაციებად იყოფა. მაგალითად: ტბაში წყლის დონემ შეიძლება დაიწიოს, ამის შედეგად წარმოიქმნება პატარა ზომის განცალკევებული ტბები. ამ ტბებში მოხინდრე პოპულაციები განცალკევებულები არიან ერთმანეთისგან (იხილეთ სურათი 24.5). მდინარის დინების მიმართულება შეიძლება შეიცვალოს. ამის შედეგად ხდება იმ ცხოველების პოპულაციების განცალკევება, რომლებიც არ შეუძლიათ მდინარის გადაკვეთა. ალოპატრიული სახეობათა წარმოქმნა შეიძლება მიმდინარეობდეს გეოგრაფიული ცვლილებების გარეშეც, მაგალითად როცა ერთი სახეობის ინდივიდები მიგრირებენ საცხოვრებლად შორეულ რეგიონში. ამ ინდივიდების შთამომავლობა ხდება გეოგრაფიულად იზოლირებული მშობლიური პოპულაციიდან. ამის მაგალითია გალაპაგოსის კუნძულებზე მომხდარი სახეობათა წარმოქმნა. ის მოხდა იმის შემდეგ, რაც მატერიკზე ბინადარი ორგანიზმებით დასახლდა გალაპაგოსის კუნძულები.

რამდენად დიდი უნდა იყოს გეოგრაფიული ბარიერი, რომ ალოპატრიული პოპულაციები დარჩნენ ერთმანეთისგან დაცილებულები საკმაოდ დიდი დროის განმავლობაში? პასუხი დამოკიდებულია იმაზე, თუ რამდენად გააჩნიათ ორგანიზმებს ამ ბარიერის გადალახვის უნარი. ფრინველებს, პუმებს და კოიოტებს შეუძლიათ მდინარეების, მთების და კანიონების გადალახვა. ეს ბარიერები ასევე ხელს არ უშლიან ფიჭვის მტვერის ან უამრავი ყვავილოვანი მცენარის თესლის გავრცელებას. ამისგან განსხვავებით მცირე ზომის მრღნელებისთვის ღრმა კანიონი ან ფართე მდინარე გადაულახავ ბარიერს წარმოქმნის (სურათი 24.6).

ფრინველები და სხვა ცხოველები, რომლებიც შეუძლიათ კანიონის ადვილად გადალახვა, არ ქმნიან კანიონის მოპირდაპირე მხარეებზე ახალ სახეობებს.

გეოგრაფიული იზოლაციის გაჩენის შემდეგ, იზოლირებული გენოფონდები ყველა იმ წესის მიხედვით განიცდიან გათიშვას, რომლებიც 23 თავში აღწერილია: წარმოიქმნება სხვადასხვა სახის მუტაციები, სქესობრივი გადარჩევა შესაბამის პოპულაციებში სხვადასხვა გზით მიმდინარეობს, სხვა გადარჩევითი ზეწოლა სხვადასხვანაირად მოქმედებს იზოლირებულ ორგანიზმებზე, გენეტიკური დრეიფი კი ცვლის ალელების სიხშირეს. იზოლირებული მცირერიცხოვანი პოპულაცია დიდ პოპულაციასთან შედარებით უფრო ადვილად განიცდის მნიშვნელოვან ცვლილებებს, ამიტომ მისი გენოფონდი შედარებით მცირე დროის განმავლობაში დამოკიდებულია გადარჩევაზე და გენეტიკურ დრეიფზე. მოსალოდნელია, რომ უფრო მცირე ზომის პოპულაციები, უფრო დიდი ალბათობით განიცდიან ალოპატრიულ სახეობათა წარმოქმნას. სამხრეთი ამერიკის მატერიკიდან დაახლოებით 2 მილიონი წლის წინ რამდენიმე ცხოველი და მცენარე მოხვდა გალაპაგოსის კუნძულებზე. მათ დასაბამი მისცეს ყველა იმ ახალ სახეობას, რომელიც ამჟამად ამ კუნძულებზე ბინადრობს. მაგრამ მცირე ზომის იზოლირებული პოპულაციის დაღუპვის შანსი ახალ გარემოში ბევრად დიდია, ვიდრე ახალ სახეობად გადაქცევის შანსი.

რომ დავადასტუროთ ალოპატრიული სახეობათა წარმოქმნის შემთხვევა, აუცილებელია განვსაზღვროთ, საკმარისად შეიცვალნენ ალოპატრიული პოპულაციები თუ არა, შეძლებენ თუ არა ისინი შეჯვარებას და ნაყოფიერი შთამომავლობის მოცემას. ამის გასარკვევად ზოგ შემთხვევაში მკვლევარები შემდეგ ცდას ატარებენ: იზოლირებული პოპულაციების წევრებს ლაბორატორიულ პირობებში ერთად ათავსებენ (სურათი 24.7).

ბიოლოგები ალოპატრიულ სახეობათა წარმოქმნას ველურ ბუნებაშიც აფასებენ. მაგალითად: გალაპაგოსის მიწის მთიულების *ეოსპიზა დიფფიცილის* მდედრებს აქვთ იმავე კუნძულზე მოხინდრე მამრის გალობაზე გარკვეული საპასუხო რეაქცია, მაგრამ ისინი არ აქცევენ ყურადღებას სხვა კუნძულიდან მოყვანილი იგივე სახეობის მამრის გალობას (ალოპატრიული პოპულაცია). ამ დაკვირვებიდან შეიძლება დავასკვნათ, რომ ალოპატრიულ *difficilis* პოპულაციაში ჩამოყალიბდა განსხვავებული ქცევითი (პრეზიგოტური) ბარიერი. საბოლოო ჯამში ეს პოპულაციები შექმნიან ორ, განსხვავებულ სახეობას.

უნდა ავლნიშნოთ, რომ გეოგრაფიული იზოლაცია თავისთავად არ წარმოადგენს ბიოლოგიური იზოლაციის მექანიზმს. თუმცა ნათელია, რომ ის იცავს ალოპატრიულ პოპულაციებს შეჯვარებისგან. იზოლაციური მექანიზმი შეიძლება თვითონ ორგანიზმს ახასიათებდეს, ანუ მასში არსებობდეს. ის მაშინაც უშლის ხელს სხვადასხვა პოპულაციების შეჯვარებას, როცა გეოგრაფიული იზოლაცია აღარ არსებობს.

განვიხილოთ მექანიზმები, რომელთა მოქმედების შედეგად მშობლიური პოპულაციიდან გეოგრაფიული იზოლაციის გარეშე წარმოიქმნება ახალი სახეობები.

სიმპატრიული სახეობათა წარმოქმნა (იმპუ ცეტიფიკაცია)

სიმპატრიული სახეობათა წარმოქმნისას (ბერძნულიდან *syn* — ერთად) სახეობების წარმოქმნა ხდება გეოგრაფიულად გადაფარვად პოპულაციებში. როგორ წარმოიქმნება რეპროდუქციული ბარიერები სიმპატრიულ პოპულაციაში, თუ პოპულაციის წევრები ერთმანეთთან კავშირს ინარჩუნებენ? სიმპატრიული სახეობათა წარმოქმნის მექანიზმს ქმნიან ქრომოსომული ცვლილებები და შერჩევითი შეჯვარება, უკანასკნელი ამცირებს გენების ნაკადს.

პოლიპლოიდია

მცენარის ზოგიერთ სახეობაში უჯრედების გაყოფის დროს ხდება შეცდომები. გაყოფის შეცდომები აისახება ან ქრომოსომების დამატებით რაოდენობაში, ან მუტაციურ ცვლილებებში. ამის შედეგად ხშირად ვიღებთ მდგომარეობას, რომელიც **პოლიპლოიდის** სახელით არის აღწერილი.

აუტოპოლიპლოიდური (ბერძნულიდან *auto* - თვითონ) არის ინდივიდი, რომელსაც ქრომოსომების ორ ნაკრებზე მეტი აქვს. ამ მოვლენას ერთი სახეობის ფარგლებში აქვს ადგილი. მაგალითად: უჯრედის დაყოფის დროს მომხდარი შეცდომის შედეგად ქრომოსომების რიცხვი შეიძლება დიპლოიდურიდან (2n) ტეტრაპლოიდურამდე (4n) გაიზარდოს (**სურათი 24.8**).

ამ მუტაციის შედეგად ტეტრაპლოიდური ორგანიზმი ხდება საწყისი პოპულაციის დიპლოიდურ ორგანიზმთან შეჯვარებისგან დაცული. თუ შეჯვარება მაინც მოხდა, მივიღებთ ტრიპლოიდ (3n) შთამომავლობას. ტრიპლოიდური ორგანიზმები სტერილურები არიან, ვინაიდან სასქესო უჯრედებში მეიოზი დარღვეულია. ტეტრაპლოიდურ მცენარეებს კი შეუძლიათ ნაყოფიერი შთამომავლობის დატოვება თვითდამტევრის შედეგად ან სხვა ტეტრაპლოიდებთან შეჯვარების შედეგად.

ასე რომ აუტოპოლიპლოიდიას ერთი თაობის განმავლობაში შეუძლია წარმოქმნას რეპროდუქციული იზოლაცია, ყოველგვარი გეოგრაფიული იზოლაციის გარეშე.

პოლიპლოიდიის ყველაზე ჩვეულებრივი ფორმა გვაქვს, როცა ორი განსხვავებული სახეობა ჯვარდება და წარმოქმნის ჰიბრიდს. სახეობათა შორის ჰიბრიდები ხშირად სტერილურები არიან, ვინაიდან ერთი სახეობის ქრომოსომული ნაკრები მეიოზის დროს არ ქმნის წყვილებს მეორე სახეობის ქრომოსომულ ნაკრებთან. მართალია ეს ჰიბრიდები უნაყოფოა, მაგრამ მათ შეუძლიათ უსქესო გამრავლების მეშვეობით გავრცელება (ამას ბევრი მცენარე აკეთებს). თაობების შემდეგ სხვადასხვა მექანიზმს შეუძლია სტერილური ჰიბრიდი ნაყოფიერ პოლიპლოიდად გადააქციოს.

ეს პროცესი ცნობილია **ალოპოლიპლოიდიის** სახელით (**სურათი 24.9** **ასახავს ერთ ასეთ მოვლენას**) ალოპოლიპლოიდი ნაყოფიერია როცა მისივე მსგავს მცენარეებს ეჯვარება, მაგრამ მშობლიურ სახეობასთან შეჯვარება არ შეუძლია. ასე რომ ის ახალ ბიოლოგიურ სახეობას წარმოადგენს.

ახალი პოლიპლოიდური სახეობების გაჩენა საკმაოდ ჩვეულებრივი მოვლენაა და საკმაოდ სწრაფად მიმდინარეობს.

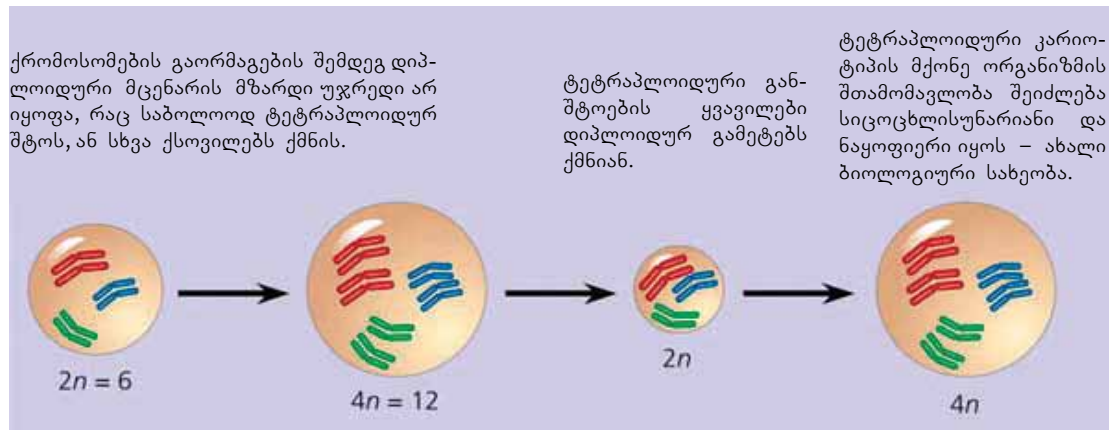
მეცნიერები სიცოცხლეშივე ასწრებენ რამდენიმე ახალი სახეობათა წარმოქმნის პროცესის დაფიქსირებას. მაგალითად: 1900 წლებში წყნარი ოკეანის ჩრდილო დასავლეთით მცენარე ფამფარას (გვარი *Tragopogon*) ორი ახალი სახეობა ჩამოყალიბდა. *Tragopogon* გვარში გაერთიანებული სახეობები ევროპაშია გავრცელებული. ადრეულ 1900 წლებში ადამიანმა სამი სახეობა გაავრცელეს ამერიკაში. ეს სახეობებია: *T. dubius*, *T. pratensis* და *T. porrifolius*. ამჟამად ეს სახეობები პარკებში და სხვა ურბანულ ადგილებში გავრცელებული სარეველებია. 1950-იან წლებში აიდახოს და ვაშინგტონის რეგიონებში ბოტანიკოსებმა გვარ ფამფარას ორი ახალი სახეობა აღწერეს. ამავე დროს აქ სამივე ევროპული სახეობა ბინადრობს. ერთი ახალი სახეობა *T. miscellus* არის *T. dubius* და *T. pratensis* ჰიბრიდული ტეტრაპლოიდი. მეორე ახალი სახეობა — *T. mirus* ალოპოლიპლოიდი, მაგრამ მისი წინაპრებია *T. dubius* და *T. porrifolius*. *T. mirus*-ის პოპულაციის ზრდის განმავლობაში (ის ძირითადად პოპულაციის წევრების გამრავლების შედეგად იზრდება) გრძელდება მშობლიური სახეობების ჰიბრიდიზაცია. ჰიბრიდები ემატება *T. mirus*-ის პოპულაციას. ეს არის მიმდინარე სახეობათა წარმოქმნის ერთი მაგალითი. ეს პროცესი ჩვენს თვალწინ მიმდინარეობს.

მრავალი მნიშვნელოვანი სასოფლო-სამეურნეო კულტურის წარმომადგენელი, მაგალითად: ქერი, ბამბა, კარტოფილი, თამბაქო და ხორბალი პოლიპლოიდებია. ხორბალი — *Triticum aestivum*, რომლისგანაც პურს აცხობენ, არის ალოჰექსაპლოიდი (მას ქრომოსომების ექვსი ნაკრები აქვს, ანუ სამი განსხვავებული სახეობის ორ-ორი ნაკრები). თანამედროვე ხორბლის სახეობის ჩამოყალიბება დაიწყო პოლიპლოიდიის პირველი შემთხვევის შედეგად. ეს მოხდა დაახლოებით 8 000 წლის წინათ, შუა აღმოსავლეთში. პოლიპლოიდი ხორბალი სპონტანური ჰიბრიდის სახით წარმოიქმნა. ეს იყო ადრე კულტივირებული ხორბლის და ველურად მოზარდი ბალახის ჰიბრიდი. დღეს მეცნიერები, რომლებიც სწავლობენ მცენარეთა გენეტიკას, ქმნიან ლაბორატორიებში ახალ პოლიპლოიდურ მცენარეებს. ისინი იყენებენ ისეთ ნივთიერებებს, რომლებიც უჯრედის მიტოზური და მეიოზური დაყოფის დარღვევას იწვევენ. ევოლუციური პროცესის გააქტიურებით და გაძლიერებით მკვლევარები ქმნიან ახალ ჰიბრიდულ სახეობებს. ამ სახეობებს მკვლევარებისთვის სასურველი თვისებები გააჩნიათ.

მაგალითად: მირებულია ჰიბრიდი, რომელშიც ხორბლის მაღალი მოსავლიანობა ჭვავის გამძლეობასთან არის შეხამებული.

სხვაობა სახეობების ქცევაში და სქესობრივი გადარჩევა

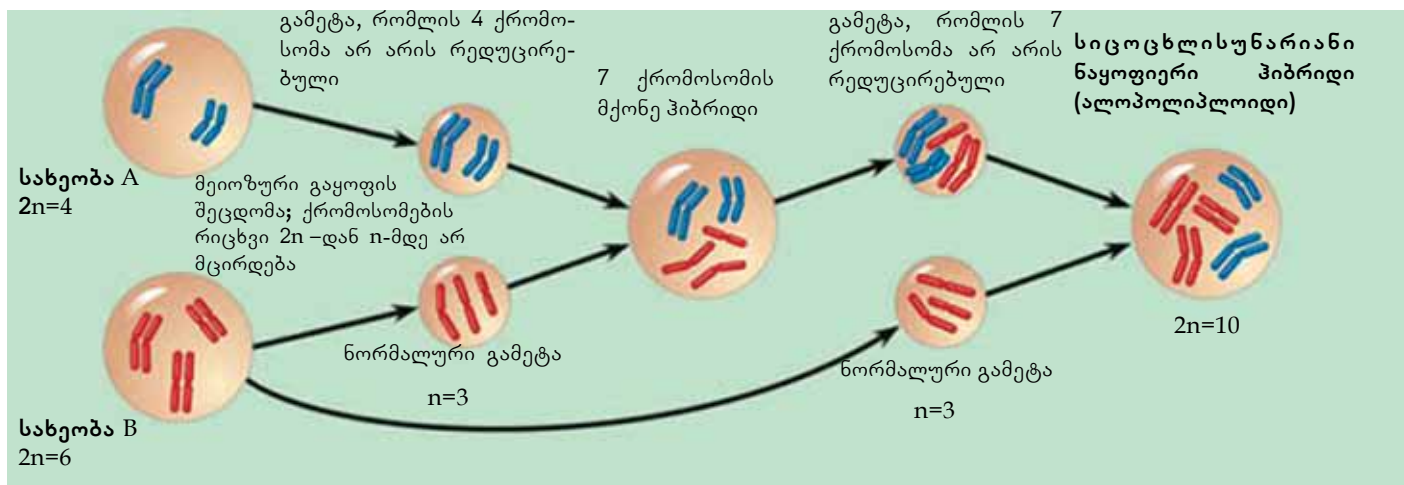
სახეობათა პოლიპლოიდური წარმოქმნა ცხოველებშიც მიმდინარეობს. მცენარეებისგან განსხვავებით ცხოველებში ის უფრო იშვიათია. სიმპატრიული სახეობათა წარმოქმნა როგორც ცხოველებში, ისე მცენარეებშიც ხორციელდება, მაგრამ განსხვავებული მექანიზმების მოქმედებით. მაგალითად: რეპროდუქციული იზოლაციის შედეგად. ამ დროს ქვე-



▲ **სურათი 24.8** აუტოპოლიპლოიდურობის (აუტოპლოიდია) შედეგად მცენარეებში მიმდინარე სიმპატრიული სახეობათა წარმოშობა

პოპულაცია გენეტიკური ფაქტორების მოქმედების შედეგად იყენებს იმ რესურსს, რომელიც მშობლიურ პოპულაციას ადრე არ გამოუყენებია. ამის მაგალითია ჩრდილოეთ ამერიკული ვაშლის ჭრელფრთიანი ბუზი *Rhagoletis pomonella*. ბუნებაში ბუზი თავდაპირველად ველურად მოზარდ კუნელზე ბინადრობდა. მაგრამ დაახლოებით 200 წლის წინ ევროპელმა კოლონისტებმა შეიტანეს ბუზის გავრცელების არეალში ვაშლის ხე. ბუზის ზოგი პოპულაცია დასახლდა ვაშლის ხეზე. ვაშლი კუნელზე ადრე მნიფდებოდა. ამიტომ ბუზებს შორის დაიწყო გადარჩევა სწრაფი განვითარების სასარგებლოდ. ვაშლზე მკვებავი პოპულაციები დროებით იზოლირებულები იყვნენ კუნელზე მკვებავი *R. pomonella*-სგან. დღემდე ბუზების ამ ორ ჯგუფს უფრო ქვესახეობებად მიიჩნევენ, ვიდრე იზოლირებულ სახეობებად. როგორც ამ მაგალითიდან ჩანს სახეობათა წარმოქმნის პროცესი ამჟამადც მიმდინარეობს.

ცხოველთა სახეობათა წარმოქმნის ერთ-ერთი ცხელი წერტილი არის აღმოსავლეთ აფრიკაში მდებარე ტბა ვიქტორია. ეს დიდი და წყალმეჩხერი ტბა ხან ივსება წყლით, ხან კი შრება. ეს კლიმატური ცვლილებების შედეგად ხდება. ტბა ვიქტორია არის მხოლოდ 12 000 წლის. ის წარმოადგენს სამშობლის ციხილების 500-ზე მეტი სახეობისთვის. ეს სახეობები გენეტიკურად ძალიან მსგავსნი არიან. როგორც ჩანს ბევრი სახეობა ტბის უკანასკნელი ავსების შემდეგ წარმოიქმნა. თავდაპირველად თევზების პოპულაცია ჯგუფებად დაიყო განსხვავებული კვების რესურსების ასათვისებლად. ეს საკვების ასათვისებლად საჭირო ადაპტაცია იყო. ამ ადაპტაციამ სხვა ფაქტორებთან ერთად სწრაფად გამოიწვია სახეობათა წარმოქმნა. მაგრამ ლაიდენის უნივერსიტეტის (ჰოლანდია) მკვლევარებმა აჩვენეს, რომ სახეობათა წარმოქმნის კიდევ ერთი ფაქტორი შეიძლება ყოფილიყო ასორტატ-



▲ **სურათი 24.9** მცენარეებში ალოპოლიპლოიდური (ალოპლოიდია) სახეობათა წარმოქმნის ერთი მექანიზმი. ორი განსხვავებული სახეობის ჰიბრიდი როგორც წესი სტერილურია, ვინაიდან სხვადასხვა სახეობის ქრომოსომები ჰომოლოგიურნი არ არიან და მეიოზის დროს წყვილებს არ ქმნიან. მაგრამ ასეთ ჰიბრიდს უსქესო გამრავლება შეუძლია. ეს დიაგრამა ნაყოფიერი ჰიბრიდების (ალოპოლიპლოიდის შედეგად ახალი სახეობის) წარმოქმნის ერთ მექანიზმს ასახავს. ახალ სახეობას აქვს ქრომოსომების დიპლოიდური ნაკრები, რომელიც მშობლიური სახეობების ქრომოსომების დიპლოიდური ნაკრების ჯამის ტოლია.

სურათი 24.10.

ვკლავ: გვაძლევს თუ აბა ზებანდუქციულ იზოლაციას ციხილიცში მიმ-
დინაჲ სქესობრივი გადარჩევა?

მკვლევარები

ლაიდენის უნივერსიტეტის მკვლევრებმა *Pundamilia pundamilia*-ს და *P. nyererei*-ის მდედრები ორ აკვარიუმში, ერთად მოათავსეს. ერთი აკვარიუმში ბუნებრივად, მეორე კი მონოქრომატული ნარინჯისფერი ნათურით ნათდებოდა. ბუნებრივ სინათლეზე მყოფი ორი სახეობა შესამჩნევად განსხვავდება შეფერილობით; მკვლევრები ყველა აკვარიუმში პარტნიორის შერჩევას აკვირდებოდნენ.



შედეგები

ბუნებრივი განათების პირობებში ყოველი სახეობის მდედრები მხოლოდ საკუთარი სახეობის მამრებს ეჯვარებიან. მაგრამ ნარინჯისფერი განათების შემთხვევაში ყოველი სახეობის მდედრები ორივე სახეობის მამრებს შეუფერხებლად ეჯვარებიან. მიღებული ჰიბრიდული შთამომავლობა სიცოცხლისუნარიანი და ნაყოფიერია.

დასკვნა

მეცნიერებმა დაასკვნეს, რომ მდედრების მიერ პარტნიორის შერჩევას განაპირობებს მამრის შეფერილობა. შეფერილობა მთავარი რეპროდუქციული ბარიერია. ამის გამო ბუნებაში ორივე სახეობის გენოფონდი იზოლირებული რჩება. ლაბორატორიულ პირობებში პრეზიგოტური ქცევითი ბარიერი დაირღვა. ამიტომ სახეობებმა ერთმანეთთან შეჯვარება შეძლეს. როგორც ჩანს, სახეობებს შორის გენეტიკური დათიშვა საკმაოდ მცირეა. დასკვნა: ამ შემთხვევაში ბუნებაში სახეობათაწარმოშობის პროცესი მცირე ხანს მიმდინარეობს.

ული (არაშემთხვევითი) შეჯვარება (სქესობრივი გადარჩევა). სქესობრივი გადარჩევის დროს მდედრები მამრებს მათი გარეგნობის მიხედვით ირჩევენ. პოლანდიელი მკვლევარები იკვლევდნენ ციხილების ორ ახლომონათესავე სიმპატრიულ სახეობას. თევზების ეს სახეობები ძირითადად ფერით განსხვავდებოდნენ: *Pundamilia pundamilia*-ს აქვს მოცისფრო ზურგი და *Pundamilia nyererei*-ს აქვს მონითალო ზურგი. მისაღება ჰიპოთეზა, რომ შეჯვარების დროს შეფერილობის მიხედვით უპირატესობის მინიჭება წარმოქმნის ქცევით ბარიერს. აკვარიუმში ბუნებრივი განათებისას კონკრეტული სახეობის მდედრები მხოლოდ ამავე სახეობის მამრებს ეჯვარებიან. მაგრამ მონოქრომატული ნარინჯისფერი ნათურით განათებული აკვარიუმში განათება ისეთია, რომ ციხილდას ორივე სახეობის შეფერილობა არ განსხვავდება. ამ შემთხ-

ვევაში ორივე სახეობის მდედრები ვერ არჩევენ მამრების შეფერილობას და განუჩევლად ნებისმიერი სახეობის მამრებს ეჯვარებიან (სურათი 24.10). *P. pundamilia* x *P. nyererei* ჰიბრიდები სიცოცხლისუნარიანები და ნაყოფიერები არიან.

ამ ექსპერიმენტის შედეგებიდან შეგვიძლია დავასკვნათ რომ შეფერილობაზე დაფუძნებული შეჯვარების დროს არჩევანი მთავარ რეპროდუქციულ ბარიერს წარმოადგენს. როგორც წესი მისი წყალობით შენარჩუნებულია იზოლაცია ორი სახეობის გენოფონდებს შორის.

ლაბორატორიულ პირობებში ჩატარებული შეჯვარების შედეგად შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ ვაშლის ბუზის მსგავსად, ციხილების ამ სახეობებმა მხოლოდ განცალკევება დაიწყეს. როგორც ჩანს, ციხილების წინაპარი პოპულაცია შეფერილობის მიხედვით პოლიმორფული იყო. დივერგენცია ორი ეკოლოგიური ნიშის გაჩენის შემდეგ დაიწყო. ეკოლოგიურმა ნიშებმა დაყვეს თევზები ქვეპოპულაციებად. ქვეპოპულაციის წევრების გენეტიკურ შემადგენლობაში იყო შემთხვევითი სხვაობა. იგი გენეტიკური დრეიფის შედეგია. ყველა ამ პროცესების ჯამური მოქმედების შედეგად ერთი ქვეპოპულაციის მდედრებმა უპირატესობა წითელ ფერს, მეორე ქვეპოპულაციის მდედრებმა კი უპირატესობა ცისფერს მიანიჭეს. სქესობრივი გადარჩევის შემდგომმა მოქმედებამ შეფერილობაში განსხვავება გააძლიერა. მდედრები აგრძელებდნენ შეჯვარებას იმ მამრებთან, რომლებთან უფრო მკვეთრი ცისფერი ან წითელი შეფერილობა ჰქონდათ. (იხილეთ თავი 23 სქესობრივი გადარჩევის გასახსენებლად).

ამჟამად ტბა ვიქტორია ბინძურდება. შესაძლებელია, დაბინძურების გამო ციხილების დათიშვა საპირისპირო მიმართულებით წავიდეს. დაბინძურების შედეგად მდედრ ციხილებს უჭირთ მამრების ფერის გარჩევა. ამიტომ *pundamilias* და *P. nyererei*-ს გენოფონდები შეიძლება ისევ ერთმანეთს შეერწყას.

ალმატისილი და სიმპატრიული სახეობათა წარმოქმნა: შეჯამება

სანამ გავაგრძელებდეთ დისკუსიას, გავიხსენოთ ის ორი მთავარი გზა, რომლითაც ახალ სახეობათა წარმოქმნა მიმდინარეობს. ალოპატრიული სახეობათა წარმოქმნისას ახალი სახეობები წინაპარი სახეობიდან ყალიბდება. ეს პროცესი მშობელი პოპულაციის გეოგრაფიული იზოლაციის შედეგად ხდება. იზოლირებული პოპულაცია ბუნებრივი გადარჩევისა და გენეტიკური დრეიფის შედეგად ვითარდება. რეპროდუქციული იზოლაცია გენეტიკური ცვლილებების პარალელურად შეიძლება ჩამოყალიბდეს. რეპროდუქციული ბარიერი შეიძლება პოპულაციის მშობელი პოპულაციის წევრებთან შეჯვარებისგან იცავს. ეს დაცვა გრძელდება მაშინაც, თუ პოპულაციის წევრებს შორის კონტაქტი აღდგება.

სიმპატრიული სახეობათა წარმოქმნის დროს რეპროდუქციული ბარიერი მოქმედებს პოპულაციების ქვეერთულულებზე მშობლიური პოპულაციიდან გეოგრაფიული იზოლაციის გარეშე. მცენარეებში ჩვეულებრივად გვხვდება ალოპოლიპლოიდია, ანუ ახლო მონათესავე სახეობების ჰიბრიდ-

იზაცია სქრომოსომთა ძირითადი კომპლექტის გაორმაგებით. ქრომოსომული კომპლექტის ჯერადად გაზრდა უჯრედის ნორმალური გაყოფის დარღვევის შედეგია. ალოპოლიპლოიდიის შედეგად ნაყოფიერი პოლიპლოიდური ინდივიდები ყალიბდება. სიმპატრიული სახეობათა წარმოქმნას ჰაბიტატის, საკვების წყაროს, ან სხვა რესურსის შეცვლის შედეგად ხორციელდება. ამ დროს პოპულაციის ქვეერთეული ხდება რეპროდუქციულად იზოლირებული, ვინაიდან იყენებს იმ რესურსებს, რომლებსაც მშობლიური პოპულაცია არ იყენებდა. ცხოველებში სახეობათა წარმოქმნა ხდება სქესობრივი გადარჩევის შედეგად პოლიმორფულ პოპულაციაში.

ადაპტაციური რადიაცია

ერთი საერთო წინაპრიდან მრავალი სხვადასხვანაირად ადაპტირებული სახეობის ევოლუცია არის **ადაპტაციური რადიაცია**. ის ხორციელდება ახალ გარემო პირობებში, ახალი შესაძლებლობების გამოყენებით. როგორც წესი ადაპტიურ რადიაციას ადგილი აქვს, როცა რამდენიმე ორგანიზმი გადაინაცვლებს ახალ, ხშირად ძველისგან დაცილებულ არეალში (**სურათი 24.11**), ან როცა გარემოს ცვლილების შედეგად ხდება სახეობების გადაშენება და გადარჩენილებისთვის ახალი ეკოლოგიური ნიშა ჩნდება. მაგალითად: ნამარხი ნაშთებიდან ჩანს, რომ ძუძუმწოვრებმა განიცადეს ძლიერი ადაპტაციური რადიაცია დინოზავრების გადაშენების შემდეგ, რომელიც 65 მილიონი წლის წინ მოხდა.

როგორც კენეს კანემირო ამბობს გვერდებზე მოცემულ ინტერვიუში, ჰავაის არქიპელაგი მსოფლიოში ადაპტაციური რადიაციის საუკეთესო ასპარეზია. ჰავაის არქიპელაგი განლაგებულია უახლოესი კონტინენტიდან 3 500 კმ-ის დაშორებით. ეს ახალგაზრდა ვულკანური წარმოშობის კუნძულების ჯაჭვია. ჯაჭვის ბოლოში, სამხრეთ აღმოსავლეთით, განლაგებულია ყველაზე ახალგაზრდა კუნძული ჰავაი. მისი ასაკი ერთ მილიონ წელზე ნაკლებია. მას დღემდე ახასიათებს ვულკანური აქტივობა. არქიპელაგის კუნძულებზე ცოცხალი ორგანიზმების განსახლება ხდებოდა საკმაოდ სწრაფად, კუნძულის წარმოქმნის შემდეგ. ეს პროცესი თანდათან ხორციელდებოდა შედარებით ძველ დასახლებულ კუნძულიდან ახალ დაუსახლებელ კუნძულამდე. კუნძულზე სახლდებოდნენ ორგანიზმები, რომლებიც ოკენის დინების, ან ქარის საშუალებით დიდი მანძილით დაშორებული ადგილიდან, ან უფრო ძველი კუნძულიდან ახალ კუნძულზე აღწევდნენ. ანუ ყოველ კუნძულზე დასახლება იყო შემთხვევითი.

ყოველი კუნძულის სიმაღლე ზღვის დონიდან და მოსული ნალექების რაოდენობა განსხვავებულია, ანუ კუნძულებს ახასიათებთ ფიზიკური მაჩვენებლების მრავალფეროვნება. ეს ქმნის ბევრ შესაძლებლობას ევოლუციური მრავალფეროვნებისთვის ბუნებრივი გადარჩევის გზით (**სურათი 24.12**).

მრავლობითი ინვაზია (შეჭრა). ალოპატრიული და სიმპატრიული სახეობათა წარმოქმნა აძლიერებს ადაპტაციურ რადიაციას. თითქოს ხდება ადაპტაციური რადიაციის აფეთქება. წარმოიქმნება სახეობები, რომლებიც კუნძულის გარდა სხვაგან მსოფლიოში არსად არ გვხვდებიან. ასეთია არქიპელაგზე მობინადრე სახეობათა უმეტესობა.



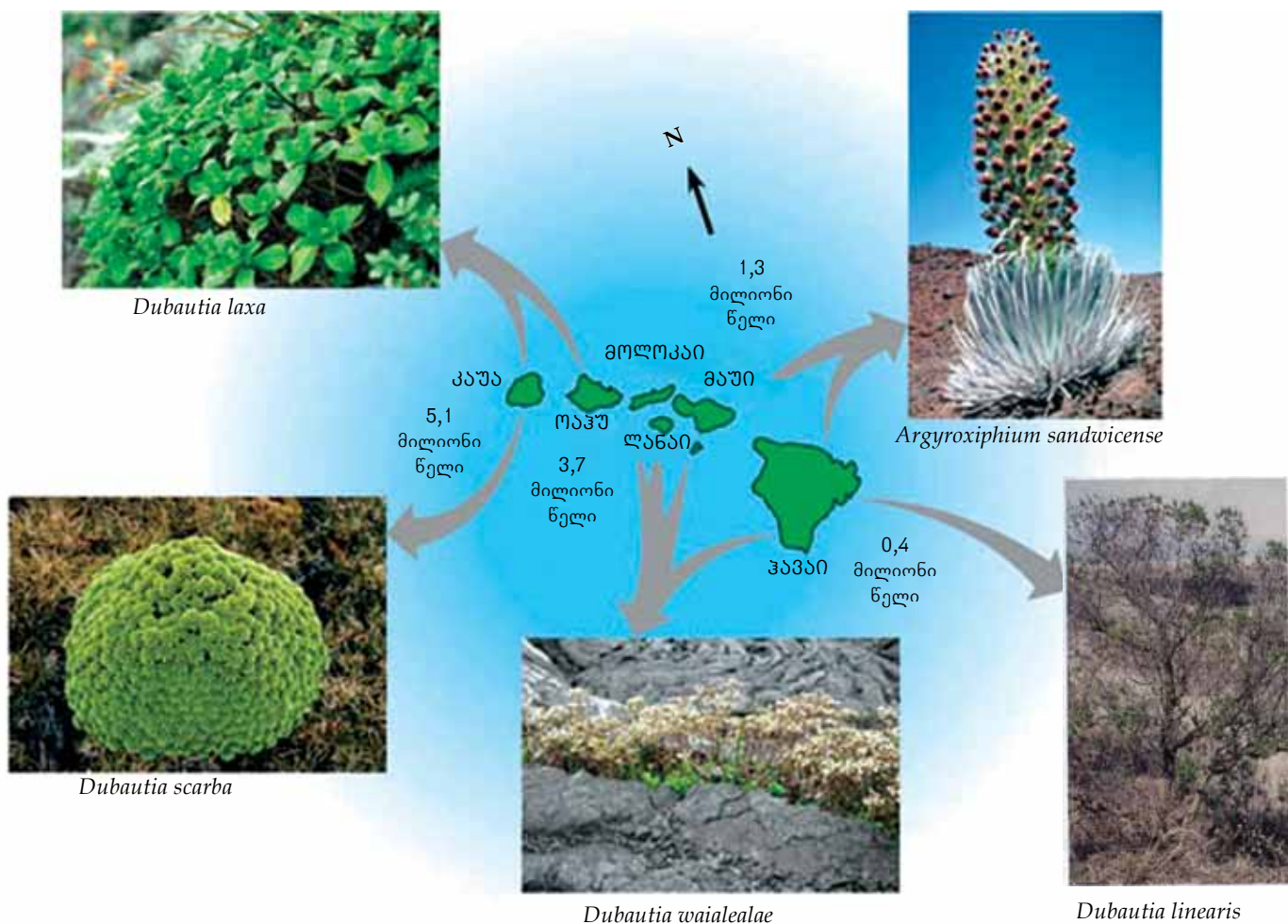
▲ **სურათი 24.11** ნაყოფის გაბნევა დიდ მანძილზე. მცენარე პიზონიას (გვ Pisonia) ნაყოფი შესაკრავი „ფხრინის“ მსგავსად შავი თევზიყლაპიას ბუმბულს ემაგრება და ავსტრალიის სანაპიროდან შორს ვრცელდება. ამ მექანიზმის დახმარებით თესლი დიდ მანძილზე ვრცელდება. (ნაყოფის ბუმბულთან მიმაგრების სტრუქტურის შესწავლის შედეგად მკვლევრებმა შესაკრავი „ფხრინი“ შექმნეს).

სახეობათა წარმოქმნის გენეტიკის შესწავლა

სადღეისოდ გენეტიკა ვითარდება სწრაფი ნაბიჯებით. ამის საშუალებით მკვლევარებს შეუძლიათ დიდი სიზუსტით განსაზღვრონ გენები, რომლებიც ძირითად როლს თამაშობენ სახეობათა წარმოქმნის გარკვეულ პროცესებში. დუგლას შემსკემ და მისმა კოლეგებმა (მიჩიგანის სახელმწიფო უნივერსიტეტი) ჩაატარეს ერთ-ერთი ასეთი კვლევა მათ განიხილეს გვარი Mimulus-ის ორი სახეობა (**Mimulus**; იხილეთ **სურათი 24.4 ე და ზ**) იმულუს ლენისიის- და Mimulus cardinalis-ს შესაბამისად ფუტკრები და კოლიბრები მტვერავენ. მათი გენოფონდები პრეზიგოტული იზოლაციით არის განმსოლოებული. მაგრამ ეს სახეობები პოსტიგოტურ იზოლაციას არ ფლობენ; ორანჟერეაში ისინი ერთმანეთს ეჯვარებიან. მიღებულ ჰიბრიდები ნაირგვარად შეფერილ და სხვადასხვა ზომის ყვავილებს იკეთებენ. ისინი ნაყოფიერ ნაყოფიერ შთამომავლობას იძლევიან. მკვლევარები აკვირდებოდნენ, რომელი დამტვერავი ცხოველი რომელ მცენარეს ირჩევდა. მცენარეებს შორის გენეტიკური სხვაობის გამოკვლევის შედეგად მკვლევარებმა დაადგინეს, რომ ცხოველის მიზიდვაზე ორი გენია პასუხისმგელი. ერთი ლოკუსი მოქმედებს ყვავილის შეფერილობაზე, მეორე კი — ნექტარის რაოდენობაზე, რომელსაც მცენარე წარმოქმნის. მკვლევარებმა დაადგინეს, თუ რომელი მცენარე რომელი დამტვერავისთვის არის მიმზიდველი. ამ ლოკუსის მიხედვით ალელების მრავალფეროვნების შედეგად მიმდინარეობს სახეობათა წარმოქმნა.

სახეობათა წარმოშობის სიხშირე

ნამარხი ნაშთებიდან ჩანს, რომ ხშირად გეოლოგიურ სტრატაში ახალი სახეობა მყისიერად ჩნდება. რამდენიმე



▲ **სურათი 24.12 ადაპტაციური რადიაცია.** მოლეკულური ანალიზიდან გამომდინარეობს, რომ ჰავაის მცენარეები სხვა მცენარეებისგან მნიშვნელოვნად განსხვავდებიან. მათ „ვერცხლისფერი მცენარეების კავშირის“ სახელით იცნობენ. ყველა ეს მცენარე ერთი წინაპარი მცენარის მადიას (*Madia sativa*) შთამომავალია. ის ჰავაის კუნძულებზე ჩრდილოეთი ამერიკიდან დაახლოებით 5 მილიონი წლის წინათ მოხვდა. ვერცხლის მცენარეების კავშირის წევრები ამჟამად სხვადასხვა კუნძულზე, განსხვავებულ ჰაბიტატებში ბინადრობენ. ალოპატრიული და სიმპატრიული სახეობათა წარმოშობისას ისინი განსხვავებულ ფორმებად ჩამოყალიბდნენ.

სტრატაში ჯიუტად რჩება უცვლელი და შემდეგ კი ქრება. პალეონტოლოგებმა ნილს ელდრეჯმა (ამერიკის ბუნების ისტორიის მუზეუმი) და სტივან ჯეი გოულდმა (ჰარვარდის უნივერსიტეტი) შემოიტანეს ტერმინი **პერიოდულად დარღვევადი წონასწორობა**. ამ ტერმინით შეეცადნენ აღწერათ სახეობის უცვლელობის პერიოდები, რომლებიც დრო და დრო უეცარი ცვლილებებით ირღვევა.

ზოგიერთი მკვლევარი თვლის, რომ ამ მოვლენის ასახვად უნდა გვერდი აუათოთ დარვინის (შთამომავლობა თანდათანობითი მოდიფიკაციებით) მოდელი. თუმცა არ არის აუცილებელი, რომ მართლაც ასე იყოს. უპირველეს ყოვლისა ასეთ პოპულაციებს შეიძლება ნაკლები წყვეტა ჰქონდეთ, ვიდრე ეს განამარხებული ფორმებიდან ჩანს. წარმოიდგინეთ, რომ სახეობა არსებობს 5 მილიონი წლის განმავლობაში, მაგრამ ძირეული მორფოლოგიური ცვლილებების უმეტესობა მოხდა მისი არსებობის პირველი 50 000 წლის განმავლობაში.

რაც მისი არსებობის ერთ პროცენტს წარმოადგენს. დროის ასეთი მცირე მონაკვეთების აღრიცხვა ნამარხებიდან ვერ ხერხდება. ამიტომ შეიძლება მოგვეჩვენოს, რომ სახეობა ჯერ უეცრად გაჩნდა, შემდეგ მცირეთ იცვლებოდა, ან საერთოდ არ შეცვლილა და ასე არსებობდა, შემდეგ კი გადაშენდა. სახეობის განვითარებას ალბათ რამდენიმე ათეული ათასი წელიწადი დასჭირდა, მაგრამ ცვლილებების ამ პერიოდმა ნამარხები ვერ შემოგვინახა (**სურათი 24.13**).

სინამდვილეში დარვინმა შეამჩნია ეს მოვლენა ნამარხების შესწავლის დროს. ის მსჯელობდა პერიოდულად დარღვეული წონასწორობის კონცეფციის თანახმად, როცა წერდა. „ყოველი სახეობა გარკვეული რაოდენობის გარდამავალ სტადიებს გადის, პერიოდები, რომელთა განმავლობაში ყოველი სახეობა განიცდის მოდიფიკაციას წლებში რომ დავთვალოთ გრძელია, ანუ ეს პროცესი მრავალ წელიწადს საჭიროებს. მაგრამ ცვლილების პერიოდები მცირეა იმ პერიოდებთან შე-

დარებით, რომელთა განმავლობაში სახეობა რჩება უცვლელ მდგომარეობაში.“

შეიძლება ასევე ავსნათ უცვლელობის (სტაზისის) მდგომარეობა. ყველა სახეობა არსებობის დასაწყისიდან განაგრძობს ადაპტაციას. ხშირად ადაპტაციის შედეგებს ნამარხებიდან ჩვენ უბრალოდ ვერ ვხედავთ. მაგალითად ჩვენ ვერ დავინახავთ ორგანიზმის ბიოქიმიურ პროცესებში მომდარ მცირე მოდიფიკაციას. ამიტომ უცვლელი შთამომავლობის ჰიპოთეზა თითქმის მთლიანად მორფოლოგიურ ნიშნებზეა (ჩონჩხი, გარეგანი აგებულება) დამყარებული.

მოჩვენებითი გარეგნული წონასწორობის პერიოდების განმავლობაში ცვლილებები ქცევაში, შინაგან აგებულებაში და ფიზიოლოგიაში შეუმჩნეველი რჩება. თუ გარემო იცვლება, უძრავი მდგომარეობა ირღვევა. მონაცვლეობითი რღვევა ხილვად კვალს ტოვებს ნამარხებში.

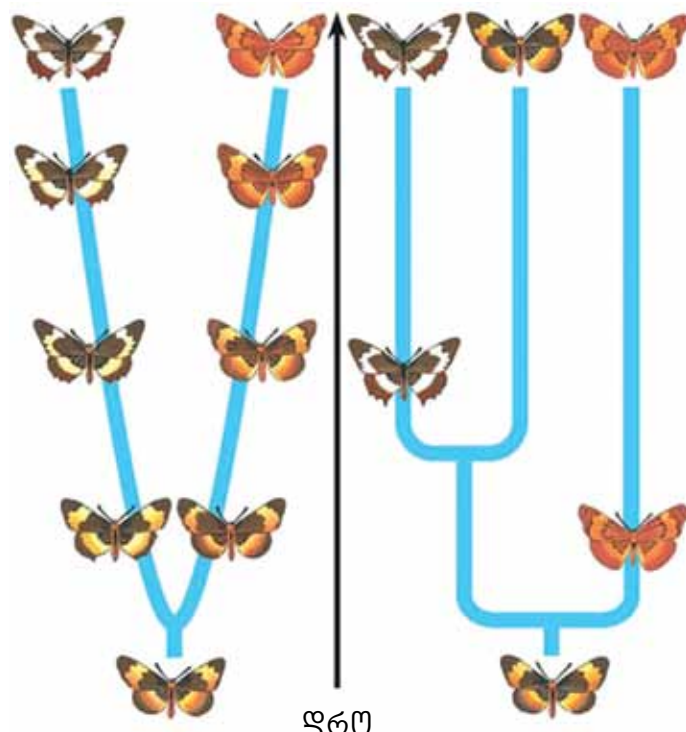
კონცეფცია 24.2 შემოწმება

1. ნაკლებად მოსალოდნელია, რომ ალოპატრიული სახეობათა წარმოქმნა მატერიკთან ახლოს განლაგებულ კუნძულზე მოხდეს, ვიდრე იმავე ფართობის უფრო მეტად იზოლირებულ კუნძულზე. ახსენით რატომ
2. ჩვეულებრივად საზამთრო დიპლოიდურია ($2n=22$). მაგრამ სქესობრივი გამრავლების დროს წარმოიქმნება ტეტრაპლოიდი ($4n=44$) მცენარეც. თუ მოხდა ტეტრაპლოიდი მცენარის შეჯვარება დიპლოიდურთან, წარმოიქმნება ტრიპლოიდი ($3n=33$) თესლები. ტრიპლოიდური შთამომავლობას შეუძლია მოგვცეს ტრიპლოიდური უთესლო საზამთრო. მათი გამრავლება შესაძლებელია მოჭრილი ღეროებით (ვეგეტატიურად). შეიძლება თუ არა დიპლოიდური და ტეტრაპლოიდური საზამთრო განსხვავებულ სახეობათ მივიჩნიოთ? ახსენით
3. ნამარხ ფორმებში შედარებით იშვიათად გვხვდება ისეთი გარდამავალი ნამარხები, რომლებიც შედარებით ახალ სახეობებს უფრო ძველთან აერთიანს. თქვენი აზრით რატომ მოხდა ასე?

კონცეფცია 24.3

სახეობათა წარმოქმნის პტაცის განმავლობაში შეიძლება დაგტოვდეს მაკროფილოციური ცვლილებები

სახეობათა წარმოქმნა შეიძლება უმნიშვნელო სხვაობის საფუძველზე დაიწყოს. ამის მაგალითია ციხილდას ზურგის შეფერილობა. თუმცა რაც უფრო იზრდება დროის განმავლობაში სხვაობა სახეობებს შორის, სახეობები უფრო გამოკვეთილები ხდებიან. ასე რომ სახეობათა წარმოქმნა



(ა) გრადუალიზმის (თანდათანობითი ცვლილების) მოდელი. საერთო წინაპრისგან წარმოშობილი სახეობები მორფოლოგიურად ერთმანეთს თანდათან ცილდებიან. ეს პროცესი ღრმავდება უნიკალური ადაპტაციების წარმოქმნის შემდეგ

(ბ) პერიოდულად დარღვეული წონასწორობის მოდელი. ახალი სახეობა მშობლიურ სახეობას გამოეყოფა. ძირეული ცვლილებები გამოყოფის შემდეგ მცირე დროში მიმდინარეობს. დანარჩენი დროის განმავლობაში სახეობა მცირედ იცვლება.

▲ სურათი 24.13 სახეობათა წარმოქმნის სისწრაფის ორი მოდელი

მაკროფილოციური ცვლილებების დასაწყისია. მიკროფილოციური ცვლილებებს ადგილი აქვთ ერთი გენოფონდის ფარგლებში.

ამის მსგავსად მაკროფილოციური ცვლილება გროვდება იმ პროცესების განმავლობაში, რომლებზეც საუბარი გვქონდა 23 თავში. ეს არის ბუნებრივი გადარჩევა, მუტაცია, გენეტიკური დრეიფი და გენთა ნაკადი. მაკროფილოციური ცვლილება შემაჯამებელი ცვლილება არის. ის სახეობათა წარმოქმნის მცირე ეპიზოდების დაგროვების შედეგია. ყველაფერს ამას მივყევართ ძირეულ ევოლუციურ ცვლილებამდე. ახლა განვიხილავთ ზოგიერთ გზას, რომლითაც მიმდინარეობენ ძირეული გარდაქმნები.

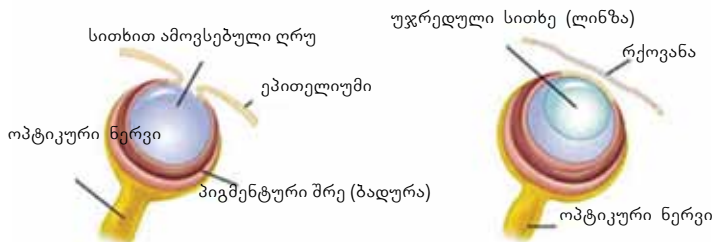
ევოლუციური სიახლეები

დარვინის კონცეფცია სახეშეცვლილ შთამომავლობაზე შეიძლება გამოვიყენოთ უფრო ძირეული მორფოლოგიური გარდაქმნების განხილვის დროს. უმეტეს შემთხვევაში რთული სტრუქტურები ვითარდებიან გაცილებით მარტივი

პიგმენტური უჯრედები
(ფოტორეცეპტორები)

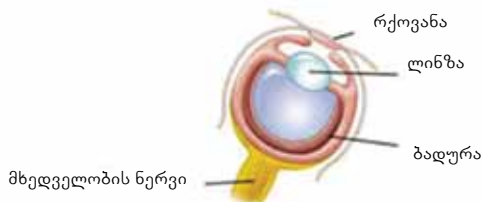


(ა) პიგმენტური უჯრედების ჯგუფი. ნიჟარის მოლუსკის ფი. რიგი *Patellogastropoda*-ს წარმოადგენს *Patella*-ს ფოტო- ით სავსე ღრუ რეცეფტორების მარტივი გროვა აქვს



(გ) პატარა ნახვრეტის (ნემსის) თაღის ხელა მქონე კამერის მსგავსი თვალი. *Nautilus*-ის თვალი ნემსის თაღის ნახვრეტის მქონე კამერის მსგავსად ფუნქციონირებს (უღინზო კამერის ძველი ტიპი).

(დ) თვალი პრიმიტიული ლინზით. ზღვის ლოკოინას *Murex*-ს აქვს პრიმიტიული ლინზა. ის კრისტალის მსგავსი უჯრედებისგან შედგება. რქოვანა ეპითელიუმის გამჭვირვალე რეგიონია (ეპიდერმა). ის თვალს იცავს და სინათლის ფოკუსირებაში ეხმარება. ოპტიკური ნერვი, რქოვანა, ლინზა, ბადურა



(ე) რთული კამერის მსგავსი თვალი. კალმარ *Loligo* - ს რთული თვალი აქვს რომლის ნაწილები (რქოვანა ლინზები და ბადურა) ხერხემლიანების თვალის შესაბამისი ნაწილების მსგავსია, მაგრამ დამოუკიდებლად განვითარდნენ.

▲ სურათი 24.14 მოლუსკების სხვადასხვა სირთულის თვალი.

სტრუქტურებიდან, რომლებიც იგივე ძირითადი ფუნქცია გააჩნიათ. მაგალითად განვიხილოთ ადამიანის თვალი. ადამიანის თვალი რთული ორგანოა. ის რამდენიმე ნაწილისგან შედგება. ეს ნაწილები ერთად ქმნიან გამოსახულებას და რომელსაც ტვინს გადასცემენ. როგორ წარმოიქმნა ადამიანის თვალი თანდათანობითი გართულების შედეგად? თუ თვალს ფუნქციონირებისთვის სჭირდება ყველა კომპონენტი, რომელიც თანამედროვე თვალს გააჩნია, მაშინ როგორ შეეძლო „დაუსრულებელ თვალს“, იგივე სამსახური გაეწია ჩვენი წინაპრისთვის?

ამ არგუმენტის ნაკლი, რასაც თვითონ დარვინი ამჩნევდა არის იმის დაშვება, რომ მხოლოდ რთული თვალის გამოყენება არის შესაძლებელი. სინამდვილეში ბევრი ცხოველის სიცოცხლე დამოკიდებულია ისეთ თვალზე, რომელიც ჩვენს თვალთან შედარებით, გაცილებით მარტივი აგებულებისაა

(სურათი 24.14). ყველაზე მარტივი თვალი რომელსაც ჩვენ ვიცნობთ არის ფოტორეცეფტორის მქონე უჯრედის თვალი. ის მგრძნობიარეა სინათლის მიმართ. მარტივ თვალს როგორც ჩანს ერთი ევოლუციური წარმომავლობა აქვთ, ამჯერად ისინი განსხვავებულ ცხოველებში გვხვდებიან. მაგალითად მცირე ზომის მუცელფეხიანი მოლუსკებში (ტიპი *Mollusca* -ს წარმომადგენლები). ასეთ თვალს გამოსახულების ფოკუსირებისთვის საჭირო ლინზები ან სხვა ორგანოები არა აქვს, მაგრამ ასეთი თვალის საშუალებით ცხოველს შეუძლია სიბნელის და სინათლის გარჩევა. რიგი *Patellogastropoda*-ს წარმომადგენლები (ლამპაქის ფორმის მოლუსკები) კლდეებს უფრო მაგრად ეჭიდებიან, როცა ჩრდილი ეფარებათ ან ბნელდება. ეს არის ქცევითი ადაპტაცია, რომელიც ამცირებს მათი განადგურების (შეჭმის) რისკს. რიგი *Patellogastropoda* -ს წარმომადგენლებს გრძელი ევოლუციური ისტორია აქვთ. ამიტომ შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ მათი მარტივი თვალი საკმარისია, რომ უზრუნველყოს მათი გადარჩენა და გამრავლება.

ცხოველთა სამყაროს სხვადასხვა ტიპის წარმომადგენლების რთული თვალი მარტივი საბაზო სტრუქტურებიდან დამოუკიდებლად მრავალჯერ განვითარდა. ზოგ მოლუსკს (კალმარების და რვაფეხიანების ჩათვლით) აქვთ ისეთივე სირთულის თვალი, როგორიც ადამიანს ან სხვა ხერხემლიან ცხოველებს მოეპოვებათ (იხილეთ სურათი 24.14). მართალია მოლუსკის რთული თვალი დამოუკიდებლად განვითარდა ხერხემლიანების რთული თვალისგან, მაგრამ ორივე ეს სტრუქტურა განვითარდა წინაპარი მარტივი ფოტორეცეპტორული უჯრედებისგან. თვალის აგებულების გამრავალფეროვნება მოხდა თანდათანობითი მოდიფიკაციების შედეგად. მოდიფიკაციის ყოველ სტადიაზე უფრო რთული აგებულების თვალის მფლობელი იღებდა უპირატესობას გადარჩენასა და გამრავლებაში. ევოლუციური დივერგენციის დამამტკიცებელი არგუმენტებს ვიღებთ გენების ფილოგენეტიკური ანალიზის შედეგად. კერძოდ კი იმ გენების, რომლებიც თვალის განვითარების „ძირითადი მარეგულირებლები“ არიან. ეს გენები თვალის მქონე ყველა ცხოველს საერთო აქვთ.

მთელი თავისი ევოლუციური ისტორიის განმავლობაში თალი ინარჩუნებს მხედველობის ფუნქციას. მაგრამ ევოლუციური სიახლე მაშინაც შეიძლება წარმოიქმნას, როცა გარკვეული სტრუქტურა თანდათანობით სხვა ფუნქციას იძენს. სტრუქტურები, რომლებიც ერთი ფუნქციისთვის ვითარდებოდნენ გადავიდნენ სხვა ფუნქციის შესრულებაზე. ასეთი სტრუქტურები ზოგჯერ საჭიროებენ გადასინჯვას. მკვლევარები ცდილობენ დაადგინონ, თუ რა იყო საწყისი სტრუქტურის ადაპტაცია და განასხვავონ საბოლოო სტრუქტურა საწყისი სტრუქტურიდან.

გაითვალისწინეთ, რომ ფუნქციის შეცვლა არ ნიშნავს იმას, რომ სტრუქტურა მიზანმიმართულად, მომავალი ცვლილების გათვალისწინებით ვითარდებოდა. ბუნებრივ გადარჩევაზე არ შეუძლია მომავლის განსჭვრეტა; მას შეუძლია მხოლოდ გააძლიეროს სტრუქტურა, რომლის გამოყენება მოცემულ მომენტში არის აუცილებელი. მაგალითად: ფრინველების მსუბუქი, ფორებიანი ძვლები ჰომოლოგიურია ხმელეთზე მობინადრე ფრინველების წინაპრის ძვლების. თუმცა ფორიანი ძვლები ფრინველების წინაპრებში არ განვითარებულან, მო-

მაღალი ფრენისთვის საჭირო ადაპტაციის სახით. მათ მფლობელებს ალბათ სხვა სარგებელი ჰქონდათ ამ ძვლებისგან. ფრინველის ახლო მონათესავე სახეობის ნამარხები ნაპოვნი იყო ჩინეთში. ეს მცირე ზომის ცხოველები არ დაფრინავდნენ. მათ ჰქონდათ ფეხები, რომელთა საშუალებით დაძვრებოდნენ ხეებზე და იჯდნენ ხის ტოტებზე. მსუბუქი ძვლები ალბათ აადვილებდნენ ხეზე მოძრაობას. ამ ცხოველებს ფრთის მსგავსი წინა კიდურები და ბუმბული ჰქონდათ. ბუმბული ზრდიდა ამ მცირე ზომის ცხოველების წინა კიდურების ფართობს. ალბათ დასაწყისში მას სხვა ფუნქცია ჰქონდა, მაგალითად საქორწინო რიტუალის, თერმორეგულაციის ან შენიღბვის (ფუნქციები რომლებსაც ბუმბული დღემდე ასრულებს). შემდეგ კი დაიწყო მისი გამოყენება ფრენისთვის. პირველი ფრენა ალბათ მცირე მანძილზე ირაო იყო.

მართლაც, პირველი ბუმბული, რომელსაც ვხვდებით ნამარხებში იყო მოკლე და ღინღლისმაგვარი. ფრენისთვის ადაპტირებული ბუმბული მოგვიანებით გაჩნდა. დროის განმავლობაში ბუნებრივი გადარჩევის შედეგად გადაიჩა დამატებითი მუტაციები. ამის შემდეგ ბუმბული და ფრთები ისეთნაირად გარდაქმნა, რომ უკეთ ასრულებდნენ ახალ ფუნქციას.

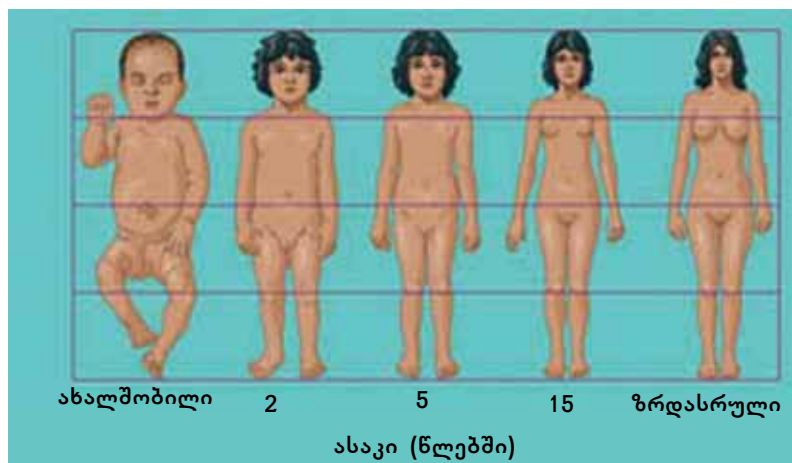
ფუნქციის შეცვლის კონცეფცია გვთავაზობს ახნას, თუ როგორ მოხდა თანდათან ახალი თვისებების განვითარება მთელი რიგი შუამავალი სტადიების გავლით. ყოველ სტადიაზე ამ თვისებებს ორგანიზმისთვის იმ პერიოდისთვის სასარგებლო ფუნქცია ჰქონდათ. ჰარვარდის უნივერსიტეტის ზოოლოგის კარელ ლაიემის სიტყვებით „ევოლუცია ჰგავს მანქანის ახალი მოდელის შექმნის პროცესს, რომელიც მიმდინარეობს მანქანის მოძრაობასთან პარალელურად“.

განვითარების მაკონტროლებელი გენების ეფლუცია

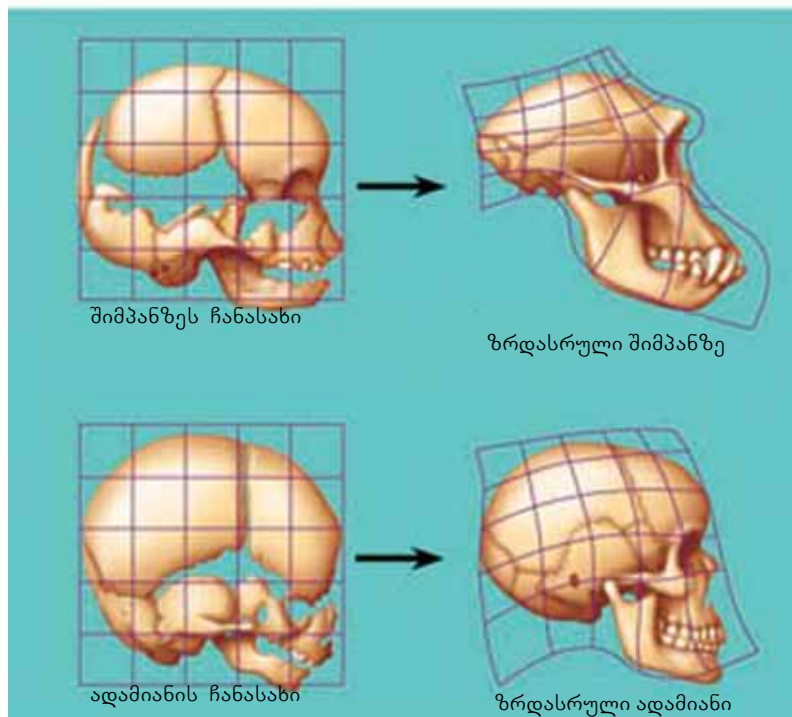
როგორც 21 თავში ნაიკითხეთ ევოლუციურ ბიოლოგიასა და განვითარების ბიოლოგიას შორის კავშირით შეუქდება, თუ მცირე გენეტიკური სხვაობა ინდივიდებს შორის როგორ გარდაქმნება სახეობათა შორის დიდ მორფოლოგიურ განსხვავებად. გენები, რომლებიც აპროგრამებენ განვითარებას, ამავე დროს აკონტროლებენ სტრუქტურების განვითარების ხარისხს, დროს და სივრცობრივი განლაგების ცვლილებებს. ეს კონტროლი გრძელდება, სანამ ორგანიზმი ზიგოტიდან ზრდასრულ ფორმამდე ვითარდება.

განვითარების დროის მონაკვეთის და სიჩქარის ცვლილება

ბევრი განმაცვიფრებელი ევოლუციური ცვლილება არის **ჰეტეროქრონიის** შედეგი (ბერძნულიდან hetero – განსხვავებული და chronos – დრო). განვითარების ეტაპის გავლისთვის საჭირო დროის



ა) ადამიანის სხეულის ნაწილების ზრდის სხვადასხვა სიჩქარე. ბავშვის ზრდისას მისი ხელები და ფეხები უფრო ჩქარა იზრდება, ვიდრე თავი და სხეული. ამ დიაგრამაზე ნაჩვენებია სხვადასხვა ასაკის ინდივიდები. მასშტაბი ერთნაირია.



ბ) ადამიანის და შიმპანზეს ჩანასახის თავის ქალას ფორმა მსგავსია. ალომეტრიული ზრდის გამო ახალშობილი შიმპანზეს მომრგვალებული ქალა და ვერტიკალური პირისაზე ნაგრძელეულ ქალად და ჩაჭრილ პირისაზე გადაიქცევა. ეს ფორმა ზრდასრული შიმპანზესთვის დამახასიათებელია. ზრდის იგივე ალომეტრიული მოვლენები დამახასიათებელია ადამიანისთვისაც, მაგრამ ყბა თავის ქალას სხვა ნაკვთებთან შედარებით ნაკლებად გრძელდება.

▲ **სურათი 24.15 ალომეტრიული ზრდა.** სხეულის სხვადასხვა ნაწილის ზრდის განსხვავებული სიჩქარე განსაზღვრავს სხეულის პროპორციებს.



(ა) ხმელეთზე მობინადრე სალამანდრა. კიდურის ზრდის პერიოდი უფრო გრძელია, რაც უფრო გრძელ და ნაკლებად შეზრდილ თითებში აისახება



(ბ) ხეზე მობინადრე სალამანდრა. კიდურის ზრდა უფრო მალე მთავრდება. ევოლუციის განმავლობაში თითების სიგრძე და შეზრდილობა იცვლება. ამიტომ სალამანდრას ხის ტოტზე ვერტიკალურად ადვილად ადის.

▲ **სურათი 24.16** ჰეტეროქრონია და სალამანდრას, ახლო მონათესავე სახეობების კიდურის ევოლუცია

მონაკვეთის ან სხეულის ნაწილების ფარდობითი განვითარების ევოლუციური ცვლილებები. მაგალითად: ორგანიზმის ფორმა ნაწილობრივ დამოკიდებულია სხეულის განსხვავებული ნაწილების ზრდის სიჩქარის შეფარდებაზე სხვა ნაწილების ზრდის სიჩქარესთან. ეს პროპორცია ანიჭებს სხეულს სპეციფიკურ ფორმას. მას უწოდებენ **ალომეტრიულ ზრდას** (ბერძნულიდან *allos* — სხვა და *metron* — გაზომვა) **24.15ა სურათზე** ნაჩვენებია თუ როგორ იცვლება ალომეტრიული ზრდის შედეგად ადამიანის სხეულის პროპორციები მისი განვითარების დროს. ზრდის ფარდობითი სიჩქარის მცირე

შეცვლაც კი მნიშვნელოვნად ცვლის ზრდასრული ორგანიზმის ფორმას. მაგალითად განსხვავებული ალომეტრიული თვისებების გამო ადამიანის და შიმპანზის ქალას განსხვავებული ფორმა გააჩნიათ (**სურათი 24.15ბ**).

ჰეტეროქრონია თამაშობს როლს სალამანდრას კიდურის ევოლუციაშიც (**სურათი 24.16**). სალამანდრების უმეტესობა ხმელეთზე ბინადრობს, მაგრამ ზოგი სახეობა ცხოვრობს ხეებზე. ხეზე მობინადრე სალამანდრას კიდური უფრო მეტად ადაპტირებულია ხეზე ვერტიკალურად გადაადგილებასთან, ვიდრე ხმელეთზე სიარულთან. მაგალითად: ხეზე მობინადრე სალამანდრას თითები მოკლეა და ინტენსიურად შეზრდილი.

ამის საშუალებით სალამანდრა უკეთ ემაგრება ხეს. ამ ადაპტაციის საწყისი ალბათ იყო იმ ალელების ან გენების გადარჩევა, რომლებიც კიდურის განვითარების დროს აკონტროლებენ. ამ ჰიპოთეზის თანახმად წინაპარი სალამანდრას კიდური იქამდე იზრდებოდა, სანამ ზრდის მარეგულირებელი გენების პროდუქტმა არ შეწყვიტა მათი ზრდა. ამის შედეგად კიდური გარკვეული სიდიდის დარჩა. ერთ ან ორ მარეგულირებელ გენში მომხდარი მუტაცია უფრო მალე წყვეტავს კიდურის ზრდას, რაც აისახება ხეებზე მცხოვრები სალამანდრას უფრო მოკლე ტერფში. ამ მექანიზმის საშუალებით გენეტიკური ცვლილებების შედარებით მცირე რიცხვს შეესაბამება მკვეთრი და მდგრადი მორფოლოგიური ცვლილებები.

ჰეტეროქრონიის შედეგად იცვლება რეპროდუქციული ორგანოების განვითარებისთვის საჭირო დროის შეფარდება სომატური (არარეპროდუქციული ორგანოების) განვითარების დროსთან. თუ რეპროდუქციული განვითარების სისჩქარე სომატური განვითარების სიჩქარესთან შედარებით დიდია, სქესობრივი სიმწიფის სტადიაზე ორგანიზმს მოზარდისთვის დამახასიათებელი სხეულის პროპორციები აქვს. ანუ წინაპარ სახეობაში სხეულის ეს პროპორციები მზარდი ორგანიზმისთვის იყო დამახასიათებელი. ამ მდგომარეობას ეძახიან პედამორფოზმს (ბერძნულიდან *paedos* - ბავშვის და *morphosis* — ფორმირება). მაგალითად: სალამანდრას

სახეობათა უმეტესობას აქვს ლარვული სტადია. ლარვული სტადიის გავლის შემდეგ ის გადის მეტამორფოზს და გარდაიქმნება ზრდასრულ ფორმად. მაგრამ ზოგი სახეობა იზრდება ზრდასრულის ზომამდე და ხდება სქესმწიფე, მაგრამ ამავე დროს აქვს ლაყუჩები და სხვა ლარვული თვისებები (**სურათი 24.17**).

განვითარების დროის ამ ევოლუციური ცვლილების შედეგად წარმოიქმნება ცხოველები, რომლებიც ძალიან განსხვავდებიან თავიანთი წინაპრებისგან. თუმცა ამ დროს არ



▲ **სურათი 24.17 პედამორფოზი.** ზოგი სახეობა იუვენილურ თვისებებს ზრდასრულობაშიც ინარჩუნებს. ეს სალამანდრა აქსოლოტლია, რომელიც ზრდასრულის ზომამდე იზრდება, აღწევს სქესორივ ბსიმნიფეს და მრავლდება. ამავე დროს ის კონკრეტულ ლარვულ თვისებებს, მათ შორის ლა-
ყუჩებაც, ინარჩუნებს.

ხდება დიდი გენეტიკური ცვლილებები. მართლაც, ბოლო და-
კვირეებებიდან ჩანს, რომ აქსოლოტლ სალამანდრაში პედ-
ამორფოზი წარმოიქმნა ერთ ლოკუსში მომხდარი მცირე გე-
ნეტიკური ცვლილებების შედეგად. სხვა გენებში ამ დროს
ცვლილებები არ მომხდარა.

ჰეტეროქრონია მოქმედებს მორფოლოგიის ევოლუციაზე.
ის ცვლის სხეულის სხვადასხვა ნაწილების განვითარების
სიჩქარეს, ან ცვლის სხეულის გარკვეული ნაწილების განვი-
თარების დაწყების ან დასრულების დროს.

ცვლილებები სივრცობრივ სტრუქტურაში

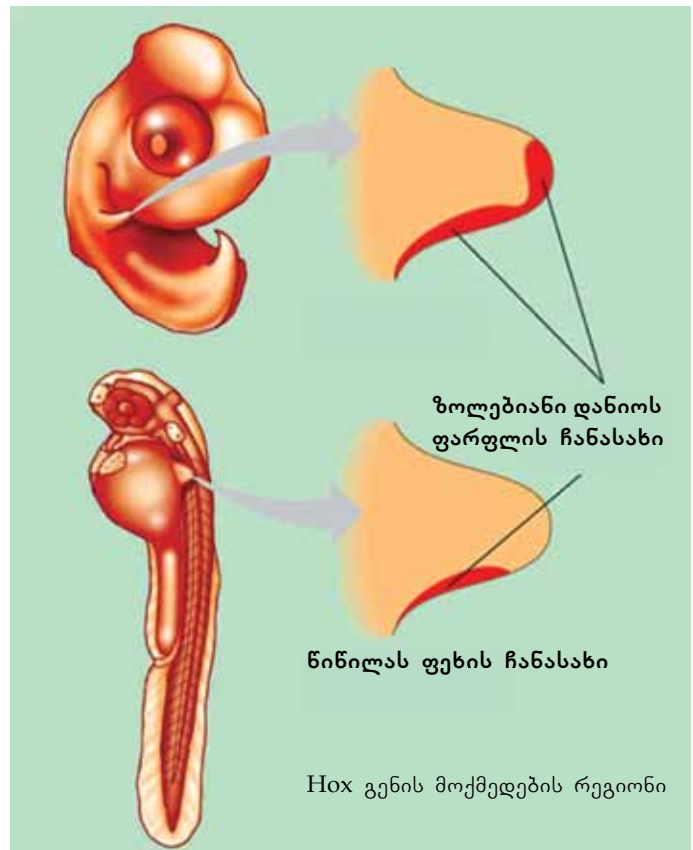
ძირითადი ევოლუციური ცვლილებები შეიძლება გამოწ-
ვეული იყოს ცვლილებებით იმ გენებში, რომლებიც აკონ-
ტროლებენ სხეულის ნაწილების ადგილმდებარეობას და სივ-
რცობრივ აგებულებას. მაგალითად, როგორც აღწერილია 21
თავში, **ჰომეოზისური გენი** განსაზღვრავს ფრინველებში
მნიშვნელოვანი სტრუქტურების — წყვილი ფრთების და
წყვილი კიდურების განვითარებას. იგივე გენი განსაზღვრავს,
თუ სად განვითარდება ან როგორ იქნება მონოპილი მცენა-
რის ყვავილის ნაწილები.

ჰომეოზისური გენების (Hox გენების) პროდუქტები, იძ-
ლევიან ინფორმაციას ცხოველის ემბრიონში ორგანოების
მდებარეობაზე. ამ ინფორმაციის მიხედვით უჯრედები იკავე-
ბენ სივრცეში გარკვეულ მდებარეობას და შემდეგ შესაბამის
სტრუქტურებად ვითარდებიან. ცვლილებას **ox** გენებში და იმ
გენებში, რომლებიც **ox** გენების თანმიმდევრულ გამოვლენას
არეგულირებენ, უდიდესი გავლენა აქვს მორფოლოგიაზე.

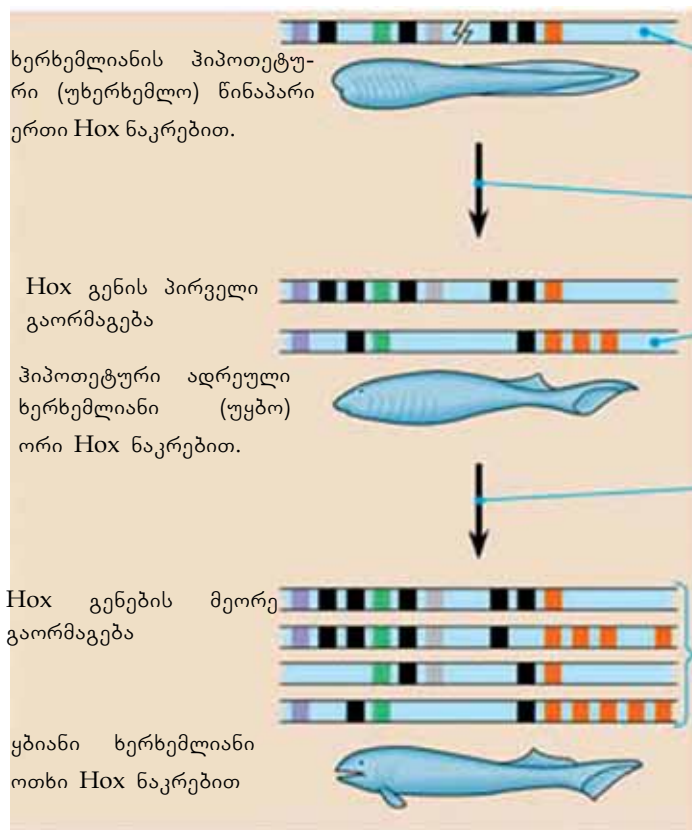
განვიხილოთ მაგალითად ოთხფეხიანების (ხმელეთის ხე-
რხემლიანები ამფიბიების, ფრინველების, სხვა რეპტილიების
და ძუძუმწოვრების ჩათვლით) ევოლუცია თევზებიდან, რომ-
ლებიც წყლის ხერხემლიანები არიან. ამ პროცესის განმა-
ვლობაში თევზის ოთხი ფარფლი კიდურებად გარდაქმნა.
ოთხფეხიანის კიდურის ადაპტაციებს შორის არიან თითები
(ხელის და ფეხის თითები ადამიანებში, ისინი უზრუნვე-
ლყოფენ ჩონჩხის უკეთეს მდგრადობას).

თევზის ემბრიონში Hox გენი მოქმედებს ფარფლის ჩა-
ნასახის ერთი მხრის გასწვრივ განლაგებულ უჯრედების
ჯგუფზე (**სურათი 24.18**). ოთხფეხიანების ემბრიონში იგივე
Hox გენები მოქმედებენ ჩანასახოვანი კიდურის ბოლოს
ფორმირებაზე (ემბრიონული სტრუქტურა, რომელიც ვი-
თარდება წინა ან უკანა კიდურებში). Hox გენები იძლევიან
დამატებით ინფორმაციას თითების ძვლების და სხვა ძვლების
სიგრძის შესახებ.

უხერხემლოებიდან ხერხემლიანების განვითარება დი-დი
ევოლუციური ცვლილება იყო. ის ასევე უკავშირდება ცვლი-
ლებს Hox გენებში და Hox გენების მარეგულირებელ გენებში
(**სურათი 24.19**). ცვლილებები განვითარების დინამიკაში ქმ-
ნიდნენ ასეთ მორფოლოგიურ სიახლეებს. უეჭველია, რომ ეს
პროცესი მნიშვნელოვან როლს თამაშობდა მაკროეოლუციაში.



▲ **სურათი 24.18 Hox გენები და ოთხფეხიანების კიდურების ევოლუცია.**
წითელი ზონა იმ რეგიონებს აღნიშნავს, სადაც Hox გენების ჩონჩხის გან-
ვითარებაში ირთება.



უხერხემლოთა უმეტესობას გომეოზისური გენების (Hox კომპლექსი) ერთი ნაკრები აქვთ. ქრომოსომაზე ის ნაჩვენებია ფერადი ხაზით. Hox გენი სხეულის ძირითადი ნაწილების განვითარებას მართავს.

ერთი Hox კომპლექსის მუტაცია (დუპლიკაცია - გაორმაგება) დაახლოებით 520 მილიონი წლის წინ მოხდა. როგორც ჩანს, მან დამატებითი გენეტიკური მასალა მოგვცა. ეს პროცესი უკავშირდება პირველი ხერხემლიანების გაჩენას.

ადრეულ ხერხემლიანებში გენების გაორმაგებულმა ნაკრებმა სავსებით ახალი როლი იტვირთა, მაგალითად, ზურგის ძვლის განვითარების მართვა.

Hox გენის შემდეგი გაორმაგების შედეგად ოთხი ნაკრები წარმოიქმნა, რაც დღევანდელი ხერხემლიანების უმეტესობას ახასიათებს. ის დაახლოებით 425 მილიონი წლის წინ მოხდა და ალბათ პოლიპლოიდიის შედეგი იყო. მისი საშუალებით განვითარდა უფრო რთული სტრუქტურები, მაგალითად, ყბები და კიდურები.

ხერხემლიანების ჯერადად გაზრდილი Hox გენების კომპლექსი იმ გენების უმეტესობას შეიცავს, რომლებიც უხერხემლოების ერთი კომპლექსის შემადგენლობაშია. გარეგნულად ამ გენების ქრომოსომებში განლაგება მსგავსია და ისინი სხეულის იმავე რეგიონების შემდგომ განვითარებას მართავენ. ამიტომ მეცნიერებმა დაასკვნეს, რომ ხერხემლიანების Hox კომპლექსის ოთხი კლასტერიდან თითოეული უხერხემლოების ერთი კლასტერის ჰომოლოგიურია.

▲ სურათი 24.19 მუტაციები Hox გენებში და ხერხემლიანების წარმოშობა

ფელუცია აბ აბის ობიენციბული გატყეული ამოცანის შესრულებაზე

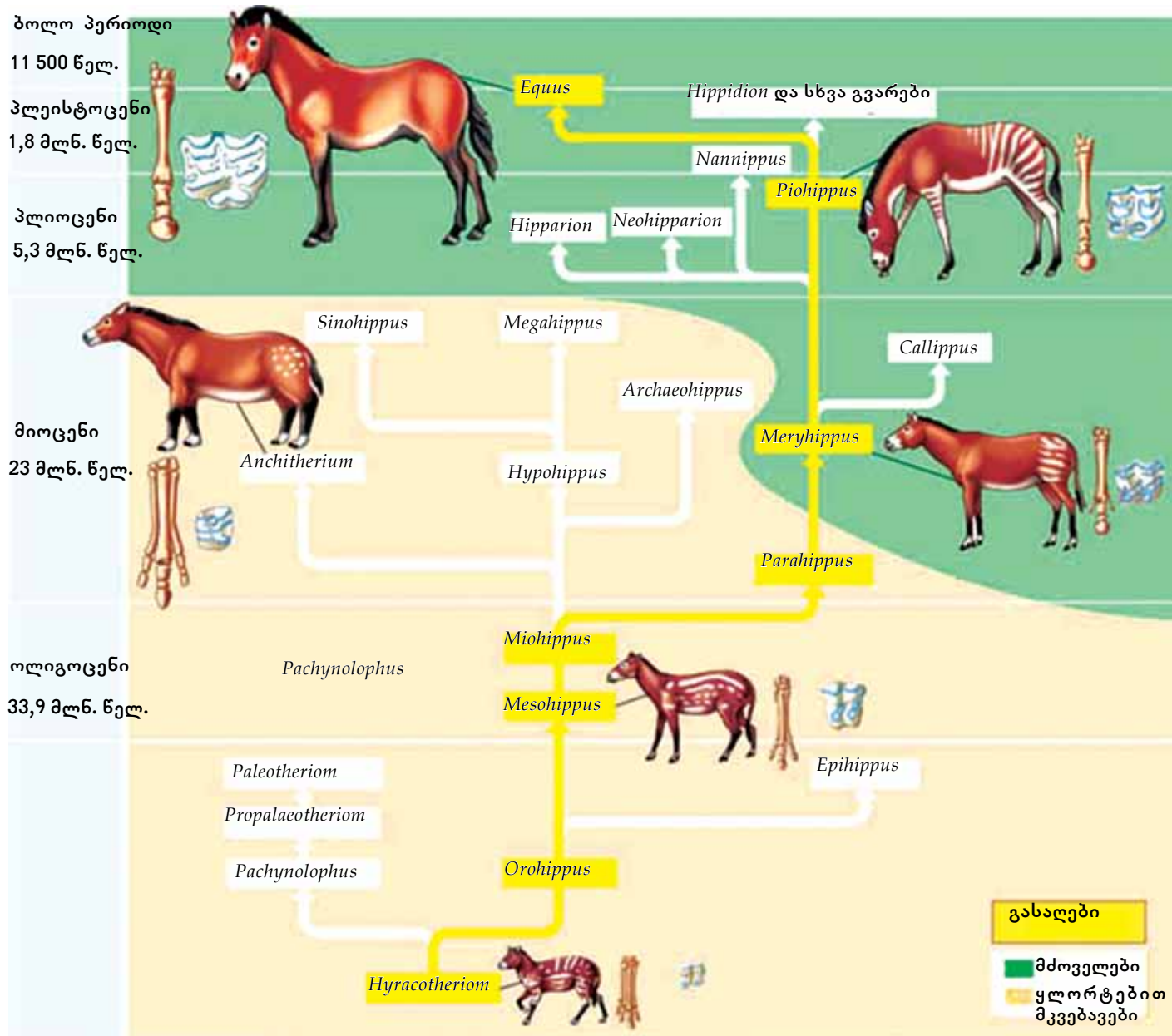
ნამარხებიდან თითქმის ჩანს ტენდენცია ცოცხალი ორგანიზმების ევოლუციაში. მაგალითად: ზოგ ევოლუციურ ხაზში არის უფრო დიდი ან მცირე სხეულის განვითარების ტენდენცია. ამის მაგალითად გამოდგება თანამედროვე ცხენის (გვარი *Equus*) ევოლუცია.

თანამედროვე ცხენი 40 მილიონი წლის წინ მცხოვრები *Hyracotherium*-ის (სურათი 24.20) შთამომავალია. *Hyracotherium*-ი დიდი ძაღლის ხელა იყო, წინა კიდურებზე ოთხ-ოთხი თითი ჰქონდა, უკანა კიდურებზე კი სამ-სამი. კბილები ადაპტირებული იყო ხეებიდან და ბუჩქებიდან ახალგაზრდა ყლორტების მოსაწყვეტად. ის ყლორტებით იკვებებოდა. თანამედროვე ცხენი უფრო დიდი ზომის ცხოველია, ყოველ ფეხზე მხოლოდ ერთი თითი აქვს. კბილები კი ადაპტირებულია ბალახით კვებასთან. აქვთ თუ არა ამ ცვლილებებს გარკვეული მიმართულება? თუ ეს მიმართულება არსებობს, როგორ უნდა გამოვთვალოთ ის?

ნამარხებიდან ევოლუციური პროგრესის „ამოღება“ ცრუ შთაბეჭდილებას ქმნის; ეს იგივეა, რაც დავასკვანთ, რომ ბუჩქი იზრდება ყლორტებისთვის, და განვიხილოთ ის ტოტები, რომელთა ბოლოებზე ეს ყლორტებია განლაგებული. მაგალითად: ნამარხებიდან გარკვეული სახეობების გადარჩე-

ვით, შეიძლება დავაწყოთ ის წარმატებული ხაზი, რომელსაც *Hyracotherium* - დან თანამედროვე ცხენებამდე მიყვევართ. ამ ხაზში გამოხატულია სხეულის ზომის გაზრდის, კბილების რაოდენობის შემცირების და ბალახით კვებისთვის კბილების გარდაქმნის ტენდენცია (ყვითელი ხაზი 24.20 სურათზე). თუმცა თუ განვიხილავთ ცხენის ყველა ცნობილ ნამარხებს, ეს ტენდენცია წაიშლება. გვარი *Equus* არ ვითარდებოდა სწორი მიმართულებით; ცხენი არის ევოლუციური ხის ერთადერთი გადარჩენილი ტოტი. თვითონ ხე კი იმდენად დატოტვილია, რომ უფრო ბუჩქს წაგავს. ცხენი მართლაც განვითარდა სახეობათა წარმოქმნის მთელი რიგის შემდეგ, ამ რიგში არის რამდენიმე ადაპტაციური რადიაცია. ყველა რადიაციას არ მიყვევართ დიდ ერთ-თითიან ბალახისმჭამელ ცხენამდე. მაგალითად: 24.20 სურათზე ჩანს, რომ მხოლოდ არაჰიპპუს - იდან განვითარებულ ევოლუციურ ხაზებში არიან მძოველი ცხოველები; *Miohippus* -იდან განვითარებული სხვა ხაზის ყველა წარმომადგენელი დღეისთვის გადაშენებულია. 35 მილიონი წლის განმავლობაში ისინი მრავალკბილიანი მძოველები იყვნენ.

კლადოგენეზის (განშტოებების ევოლუციის) შედეგად ვიღებთ ევოლუციურ გზას, მაშინაც თუ ზოგი ახალი სახეობა ამ გზიდან უხვევს. მაგალითად: სტივენ სტენლიმ (ჯონ ჰოპკინსის უნივერსიტეტი) წარმოადგინა გრძელი ევოლუციური გზის ერთი მოდელი. ის განიხილავს სახეობას ისევე,



▲ **სურათი 24.20** ცხენის წინაპრის და მისი განშტოებების ევოლუცია. ყვეთელი ნიშნულით შუალედური ფორმის ნამარხი ცხენების სიხშირეა აღნიშნული. ეს შუალედური ფორმები განლაგებულია თანამედროვე ცხენსა (*Equus*) და ეოცენში მცხოვრებ მის წინაპარს *Hyracotherium*-ს შორის. სურათის დათვალიერებისას წარმოიქმნება ილუზია, რომ არსებობს ტენდენცია პროგრესისკენ, უფრო დიდი ზომის ცხოველის განვითარებისკენ. ამავე დროს თითების რაოდენობა მცირდება და კბილები ბალახით საკვებად მოდიფიცირდება. სინამდვილეში თანამედროვე ცხენი მთელი ევოლუციური ბუჩქის ერთადერთი გადარჩენილი ტოტია. ამ ბუჩქზე მრავალი სხვა განსხვავებული ტოტიც იყო.

როგორც ცალკეულ ინდივიდს: სახეობათა წარმოქმნა არის სახეობის დაბადება, გადაშენება კი არის მისი სიკვდილი. ახალი სახეობები, რომლებიც მისგან გამოიყოფიან, არიან მისი შვილები. ამ მოდელის მიხედვით სტენლი ვარაუდობს, რომ სახეობა გენიციდის **სახეობის გადარჩევას** ისევე, როგორც ინდივიდუალური ორგანიზმი განიცდის ბუნებრივ გადარჩევას. ძირითადი ევოლუციური გზის მიმართულებას განსაზ-

ღვრავენ სახეობები, რომლებიც ყველაზე დიდ ხანს არსებობენ და ყველაზე მეტ ახალ შთამომავალ სახეობას ქმნიან. სახეობების გადარჩევის მოდელის მიხედვით იგულისხმება, რომ „დიფერენცრებული სახეობათა წარმოქმნის წარმატება“ თამაშობს მაკროევოლუციაში იგივე როლს, რასაც რეპროდუქციული წარმატება მიკროევოლუციაში.

თუ სახეობათა წარმოქმნის სიჩქარე და სახეობის არსე-

ბოზის ვადა ასახავს წარმატებას, ანალოგია ბუნებრივ გადარჩევასთან კიდევ უფრო ძლიერდება. შესაძლებელია, რომ ის თვისებები, რომლებიც გარკვეულ გარემოში არ უწყობენ ხელს ორგანიზმის საერთო წარმატებას, მნიშვნელობას იძენენ სახეობის გადარჩევის დროს. მაგალითად: თუ სახეობა ადვილად ვრცელდება ახალ გარემოში, მან შეიძლება დასაბამი მისცეს „შვილობილი სახეობების“ დიდ რაოდენობას.

რამდენადაც არ იყოს ფასეული სახეობების გადარჩევის მოდელი, ნამარხებიდან ჩანს, რომ არსებობენ სახეობის ევოლუციის სხვა შესაძლებელი მიმართულებებიც. მაგალითად: სქესობრივი გადარჩევა ირლანდიური (ჩრდილოეთი ევროპა) ცხენირემის შემთხვევაში. ამ გადარჩევის შედეგად ცხენირემის რქები უაღრესად გაიზარდნენ – თუმცა ამან ვერ გადაარჩინა ცხენირემი გადაშენებისგან. შეიცვალნენ მცენარეები, რომლითაც ის იკვებებოდა და ადამიანი მასზე ინტენსიურად ნადირობდა. ძუძუმწოვრების ხანაში ღია სივრცეებს დიდი ფართობი ეკავათ. ცხენის წინაპრები ითვისებდნენ ღია სივრცეებს. პარალელურად მიმდინარეობდა ინტენსიური გადარჩევა იმ ბალახისმჭამელი ცხოველების, რომლებთანაც სირბილი სხეზე ჩქარა შეეძლოთ. სხვანაირად თავის დაღწევა მტაცებლებისგან შეუძლებელი იყო. ამ ტენდენციას არ ექნებოდა ადგილი, რომ არ ყოფილიყვნენ დიდი, ბალახით დაფარული სივრცეები.

რაც არ უნდა იყოს განვითარების მიზეზი, ევოლუციური ტენდენციის გაჩენა არ ნიშნავს იმას, რომ არსებობს რაღაც შინაგანი მამოძრავებელი ძალა, რომელიც მოქმედებს

გარკვეული ფენოტიპის სასარგებლოდ. ევოლუცია ორგანიზმის და მისი გარემოს ურთიერთქმედების შედეგია. თუ გარემოს პირობები შეიცვლება, გამოხატული ევოლუციური ტენდენცია შეიძლება შეწყდეს ან მიმართულებაც კი შეცვალოს.

შემდეგ თავში გავაგრძელებთ ორგანიზმების და სახეობების შემდგომი დივერგენციის (დათიშვის) უფრო დეტალურ შესწავლას. დავაკვირდებით ნამარხებს და გარემოს პირობების გავლენას.

კონცეფცია 24.3 შემოწმება

1. როგორ ავსხნათ დარვინის სახეშეცვლილი შთამომავლობის კონცეფციის დახმარებით ისეთი რთული სტრუქტურების ევოლუცია, როგორიცაა ხერხემლიანების თვალი ან გული?
2. ფუნქციის შეცვლის კონცეფციის მიხედვით არ იგულისხმება, რომ გარკვეული სტრუქტურა უნდა განვითარდეს გარემოს მომავალი ცვლილებების შესაბამისად. ახსენით რატომ.
3. როგორ შეიძლება გამოიწვიოს ჰეტეროქრონიამ სხეულის სხვადასხვა ფორმის ევოლუცია?

24-ე თავის შემოწმება

ბიბლიოთეკის კონცეფციის შემოწმება:

კონცეფცია 24.1

ბიოლოგიური სახეობის კონცეფციის მიხედვით დიდი მნიშვნელობა ენიჭება ბიპატრიდული იზოლაციას

- **ბიოლოგიური სახეობის კონცეფცია.** ბიოლოგიური სახეობა წარმოადგენს პოპულაციების ჯგუფს. პოპულაციების ინდივიდებს პოტენციურად შეუძლიათ ერთმანეთთან შეჯვარება და ნაყოფიერი შთამომავლობის დატოვება. ისინი არ ეჯვარებიან სხვა სახე-

ობის წარმომადგენლებს. ბიოლოგიური სახეობის კონცეფციის თანახმად დიდი მნიშვნელობა ენიჭება რეპროდუქციულ იზოლაციას. რეპროდუქციულ იზოლაციას ქმნიან პრეზიგოტური და პოსტზიგოტური ბარიერები. გეოგრაფიული იზოლაციის შედეგად ხდება სხვადასხვა პოპულაციის გენოფონდის იზოლაცია.

- **სახეობის სხვანაირი განსაზღვრა.** მართალია ბიოლოგიური სახეობის კონცეფცია სასარგებლოა სახეობათა წარმოქმნაზე მსჯელობისას, მაგრამ მას ამავე დროს აქვს რამდენიმე მნიშვნელოვანი ნაკლი. ეს ზღუდავს მის გამოყენებას. მაგალითად: მას ვერ გამოვიყენებთ იმ ორგანიზმების შემთხვევაში, რომლებიც მხოლოდ ნამარხების სახითაა ცნობილი, ან იმ ორგანიზმების შემთხვევაში, რომლებიც მხოლოდ უსქესოდ მრავლდებიან. ამიტომ მეცნიერებმა შეი-

მუშავეს სახეობათა ალტერნატიული კონცეფციები. მაგალითად მორფოლოგიური სახეობის კონცეფცია. მისი გამოყენება უფრო მრავლისმომცველია.

კონცეფცია 24.2

სახეობათა წარმოდგენა შიიბლომა მიმდინარეობის ტიპის გეოგრაფიული იზოლაციის პირობებში, ისე მის გატყე

- ▶ **ალტერნატიული („სხვა ქვეყნის“) სახეობათა წარმოდგენა.** ალტერნატიულ სახეობათა წარმოდგენა მაშინ ხდება, როცა ერთი სახეობის ორი პოპულაცია გეოგრაფიულად იზოლირებული ხდება ერთმანეთისგან. იზოლაციის პერიოდის განმავლობაში იცვლება ან ერთი პოპულაცია ან ორივე. თუ გარკვეული პერიოდის შემდეგ მათ შორის კონტაქტი აღდგება, შეჯვარება მათ შორის უკვე ვერ განხორციელდება თუ იზოლაციის პერიოდი საკმარის დიდია, მის განმავლობაში გროვდება პრეზიგოტური და პოსტიგოტური იზოლაციის მექანიზმები.
- ▶ **სიმპატრიული („იგივე ქვეყნის“) სახეობათა წარმოდგენა.** ახალი სახეობის წარმოქმნა მაშინაც ხდება, თუ შეიღებული პოპულაციის გეოგრაფიული გავრცელების არეალი გადაიკვეთება მშობელი პოპულაციის გავრცელების არეალთან. მაგალითად: მცენარის ბევრი სახეობა გაჩნდა სიმპატრიულად, პოლიპლოიდიის შედეგად (ქრომოსომების რიცხვის ჯერადჯერ გაზრდა). აუტოპოლიპლოიდურები არიან ის სახეობები, რომლებიც ამ გზით წარმოიშვნენ ერთი წინაპარი სახეობიდან. ალტერნატიული სახეობებიდან წარმოქმნილი სახეობები არიან. მათი ქრომოსომების რიცხვიც ჯერადჯერ გაზრდილია. სიმპატრიული სახეობათა წარმოქმნა შეიძლება მოხდეს ახალი ეკოლოგიური ნიშის წარმოქმნის შედეგად ან პოლიმორფულ პოპულაციაში არაშემთხვევითი შეჯვარების შემდეგ.
- ▶ **ალტერნატიული და სიმპატრიული სახეობათა წარმოდგენა. დასკვნა:** ალტერნატიული სახეობათა წარმოქმნის დროს ახალი სახეობები წარმოიქმნება მშობელი პოპულაციიდან შეიღებული პოპულაციის გეოგრაფიული იზოლაციის შედეგად. სიმპატრიული

სახეობათა წარმოქმნის დროს რეპროდუქციული ბარიერი პოპულაციის ქვეერთეულებს ყოფს გეოგრაფიული იზოლაციის გარეშე.

- ▶ **ადაპტაციური რადიაცია.** ადაპტაციურ რადიაციას ადგილი აქვს, როცა პოპულაცია შემთხვევით ხდება ახალ ეკოლოგიურ ნიშაში. ეს შეიძლება მოხდეს ახალი ადგილის დასახლების დროს. მაგალითად: ახლად წარმოქმნილი ვულკანური კუნძულების დასახლებისას, ან გარემოს ცვლილებების შედეგად. გარემო პირობების ცვლილებას ხშირად მივყევართ ამ არეალში მობინადრე სხვა სახეობების გადაშენებისკენ.
- ▶ **სახეობათა წარმოქმნის გენეტიკის შესწავლა.** გენომის ანალიზების საშუალებით მკვლევარები იკვლევენ სახეობათა წარმოქმნაში მონაწილე სპეციფიკურ გენებს.
- ▶ **სახეობათა წარმოქმნის სიჩქარე.** ნამარხების შესწავლის შედეგად ელდრეჯმა და გოულდმა პერიოდულად დარღვევადი წონასწორობის მოდელი შექმნეს. ამ მოდელის თანახმად, მშობლიური სახეობიდან გამოყოფის შემდეგ შეიღობილი სახეობა შედარებით სწრაფად იცვლება. არსებობის დარჩენილ პერიოდში სახეობა არ განიცდის დიდ ცვლილებებს. ეს მოდელი უპირისპირდება თანდათანობითი ცვლილებების მოდელს.

კონცეფცია 24.3

სახეობათა წარმოდგენის პირობის განმავლობაში შიიბლომა დაცემის მაკროფილოგიური ცვლილებები

- ▶ **ეკოლოგიური სიახლეები.** ორგანიზმის არსებობის ყველა ეტაპზე ახალი ბიოლოგიური სტრუქტურები ვითარდებიან ადრე არსებული სტრუქტურებიდან. ზოგ რთულ სტრუქტურას, მაგალითად თვალს, არსებობის ყველა საფეხურზე მსგავსი ფუნქცია ჰქონდა. სხვა სტრუქტურების, მაგალითად ბუმბულის, ფუნქცია შეიცვალა.
- ▶ **განვითარების მაკონტროლებელი გენების ევოლუცია.** დიდი ეკოლოგიური ცვლილებები შეიძლება გავავიგოთ განვითარების მარეგულირებელ

გენებში მომხდარ მუტაციებთან. ევოლუციური ცვლილების შედეგად იცვლება დროის პერიოდი, რომელშიც ესა თუ ის განვითარების სტადია გრძელდება (ჰეტეროქრონია), ასევე შეიძლება შეიცვალოს სხეულის ნაწილების სივრცობრივი განლაგება. ზოგი ასეთი ცვლილება ხდება გომეოზისურ გენებში მუტაციური ცვლილების შედეგად, ან გომეოზისური გენების მარეგულირებელ გენებში მუტაციების შედეგად.

- **ევოლუცია არ არის ორიენტირებული გარკვეულ შედეგზე.** შეცვლილ გარემოსთან ადაპტაციის გამო შეიძლება გაჩნდეს გრძელვადიანი ევოლუციური ტენდენცია. სახეობათა გადარჩევის მოდელის შესაბამისად ეს ტენდენცია გამოიხატება შემდეგში: გარკვეული თვისებების მქონე სახეობები უფრო დიდ ხანს არსებობენ და უფრო ხშირად წარმოქმნიან ახალ სახეობებს ვიდრე სხვა თვისებების მქონე სახეობები.

შეამოწმეთ საკუთარი ცოდნა

თვითშემოწმება

- ბიოლოგიური სახეობების კონცეფცია არ ესადაგება მხოლოდ ნამარხებიდან ცნობილ ორგანიზმებს, ვინაიდან
 - ნამარხებზე დაყრდნობით სახეობებს მორფოლოგიურად ძნელად ვანსხვავებთ. (ნამარხები იშვიათად არის კარგად შენახული)
 - შეუძლებელია დავადგინოთ რეპროდუქციული იზოლაციის არსებობა ნამარხ ფორმებში
 - შეუძლებელია დავადგინოთ რა ტიპის ჰაბიტატში არსებობდნენ ნამარხი ფორმები გადაშენებამდე
 - ნამარხი ორგანიზმების გამოკვლევისას შეუძლებელია მათი სქესის დადგენა.
 - ნამარხების გამოყენება მხოლოდ ანაგენეზის შესასწავლად შეიძლება. კლადოგენეზს ნამარხების მეშვეობით ვერ განვიხილავთ
- ყველაზე დიდი ერთეული, რომელშიც მოქმედებს გენთა ნაკადი არის
 - პოპულაცია
 - სახეობა
 - გვარი
 - ჰიბრიდი
 - ტიპი

- ფრინველების სარკვევში ტყის მგალობელი (*Dendroica coronata*) და უდაუბონის მგალობელი განსხვავებული სახეობებია. ბოლო დროის კლასიფიკაციის მიხედვით ეს ერთი და იგივე სახეობის (ყვითელ ბოლოიანი მგალობელის) აღმოსავლეთი და დასავლეთი ფორმებია. ქვემოთ ჩამოთვლილი მიზეზებიდან რა არის ამის მიზეზი?
 - ჰაბიტატების გადაფარვის დროს ეს ორი ფორმა შესანიშნავად ეჯვარება ერთმანეთს.
 - ორივე ფორმა მსგავს ჰაბიტატში ბინადრობს
 - ორივე ფორმას ბევრი საერთო გენი აქვს
 - ორივე ფორმა ერთნაირი საკვებით იკვებება
 - ორივე ფორმის შეფერილობა ძალიან მსგავსია.
- ჰავაის კუნძულების ერთ და იგივე ნაწილში მობინადრე ხილის ბუზის — დროზოფილას სხვადასხვა სახეობის მამრებს აქვთ სხვადასხვა საქორწინო რიტუალი. რიტუალში შედის ბრძოლა სხვა მამრებთან და გარკვეული მოძრაობები, რომლებიც მდედრებს იზიდავენ. რა ტიპის რეპროდუქციული იზოლაციის შედეგია ეს?
 - ჰაბიტატის იზოლაცია
 - დროებითი იზოლაცია
 - ქცევითი იზოლაცია
 - გამეტების იზოლაცია
 - პოსტზიგოტური ბარიერები
- ქვემოთჩამოთვლილი ფაქტორებიდან, რომლები არ უწყობენ ხელს ალოპატრიულ სახეობათა წარმოქმნას?
 - შვილეული პოპულაციის მშობელი პოპულაციიდან გეოგრაფიული იზოლაცია
 - იზოლირებული პოპულაციის სიმცირე და გენეტიკური დრეიფი
 - წინაპარი პოპულაცია იზოლირებული პოპულაციისგან განსხვავებულ გადარჩევის დაწოლას განიცდის
 - იზოლირებული პოპულაციების გენოფონდები განსხვავებული ხდება სხვადასხვა მუტაციების შედეგად
 - ორ პოპულაციას შორის მიმდინარე ინტენსიური გენების ნაკადი
- მცენარის A სახეობას აქვს ქრომოსომების დიპლოიდური ნაკრები $2n=12$. მცენარის B სახეობას აქვს დიპლოიდური ნაკრები $2n=16$. ახალი სახეობა C წარმოიქმნება A და B სახეობებიდან ალოპოლიპლოიდიის შედეგად. C სახეობისთვის ყველაზე მოსალოდნელი ქრომოსომების დიპლოიდური რიცხვი

იქნება

- ა) 12 ბ) 14 გ) 16
დ) 28 ე) 56

7. მეექვსე საკითხში აღწერილი სახეობათა წარმოქმნის ეპიზოდი ალბათ არის

- ა) ალოპატრიული სახეობათა წარმოქმნის შემთხვევა
ბ) სიმპატრიული სახეობათა წარმოქმნის შემთხვევა
გ) სქესობრივ გადარჩევაზე დაფუძნებული სახეობათა წარმოქმნის შემთხვევა
დ) ადაპტაციური რადიაციის შემთხვევა

ე) ანაგენეზისის შემთხვევა

8. მცენარეები *Mimulus lewisii* და *M. carsinalis* ბუნებაში ჰიბრიდებს არ ქმნიან. ლაბორატორიულ პირობებში კი მათ აჯვარებენ და შეჯვარების შედეგად იღებენ ნაყოფიერ შთამომავლობას. რა აცილებს ბუნებაში ამ მცენარეების გენოფონდებს ერთმანეთისგან?

- ა) გამეტების შეუთავსებლობა
ბ) სხვადასხვა მიმზიდველობა დამტკვრავი ორგანიზმებისთვის

- გ) სხვადასხვა ეკოლოგიური ნიშები
დ) სხვადასხვა გეოგრაფიული არეალი
ე) სეზონური სხვაობა ყვავილობაში

9. პერიოდულად დარღვევადი წონასწორობის მოდელის შესაბამისად

- ა) ბუნებრივი გადარჩევა უმნიშვნელო ევოლუციური მექანიზმია
ბ) გადაშენებული სახეობების უმეტესობა თანდათან გარდაიქცეოდა ახალ სახეობებად, საკმარისი დრო რომ ჰქონოდათ ამისთვის
გ) ახალი სახეობების უმეტესობა თავისი არსებობის დასაწყისში აგროვებს ახალ უნიკალურ თვისებებს. შემდეგი არსებობის პერიოდში ისინი მცირედ იცვლებიან.

- დ) ევოლუცია უმეტესწილად მიზანმიმართულია
ე) სახეობათა წარმოქმნა დამოკიდებულია ერთეულ მუტაციაზე

10. გენეტიკური ცვლილება რომელსაც იწვევს Hox გენი. ის მართავს ხერხემლიანებში კიდურების ზრდას. მისმა მოქმედებამ გამოიწვია ოთხფეხიანების კიდურების ევოლუცია. გამოვლენის ასეთი ცვლილება გამოსახავს

- ა) ინდივიდის განვითარებაზე გარემოს გავლენას

ბ) პედამორფოზი ან წინაპარის იუვენილური ფორმის სტრუქტურის შენახვა ზრდასრულ ორგანიზმში

გ) განვითარების გენში ან მის მარეგულირებელ გენებში ცვლილება, რომლის შედეგად იცვლება სხეულის ნაწილების სივრცობრივი ორგანიზაცია.

დ) პერიოდულად დარღვეული წონასწორობა

ე) ალოპოლიპლოიდიის შედეგად ახალი სახეობების წარმოქმნა

ევოლუციური კავშირი

ერთ-ერთ თავის რვეულში დარვინმა ჩაინიშნა, რომ მომავალში არასდროს არ განიხილავს სახეობას, უფრო მეტად ან უფრო ნაკლებად განვითარებულს. დღესაც ზოგ სახეობაზე ან სახეობათა ჯგუფზე ადამიანები ფიქრობენ, რომ სხვებთან შედარებით ისინი უფრო განვითარებულნი არიან. ეს ალბათ ევოლუციური „პროგრესის“ ცნების არსებობის შედეგია. მართლაც არსებობს ევოლუციური პროგრესი? რატომ Hox, ან რატომ არა? დაიცავით თქვენი პოზიცია, წარმოიდგინეთ, რომ ეკამათებით პიროვნებას, რომელიც საპირისპირო აზრს ამტკიცებს.

მეცნიერული კვლევა

კულტურულ ამერიკულ ბამბას აქვს 52 ქრომოსომა ($2n=52$). ყოველი უჯრედის 13 წყვილი ქრომოსომა (26 ქრომოსომა) უფრო მცირე ზომისაა, ვიდრე დანარჩენი 13 წყვილი. აზიაში გავრცელებულ კულტურულ ბამბას აქვს 26 ქრომოსომა ($2n=26$) ყველა ქრომოსომა არის დიდი ზომის. ველურად მზარდ ამერიკულ ბამბას აქვს 26 ქრომოსომა, ყველა ქრომოსომა არის პატარა ზომის. წარმოადგინეთ ჰიპოთეზა და ახსენით, თუ როგორ წარმოიქმნა კულტურული ამერიკული ბამბა. როგორ შეგიძლიათ თქვენი ჰიპოთეზის შემოწმება?

მეცნიერება, ცოდნოვება და საზოგადოება

რა არის ბიოლოგიური საფუძველი იმისა, რომ ადამიანის ყველა პოპულაცია მიჩნეულია ერთ სახეობად? მოიფიქრეთ სცენარი, რომლის მიხედვით მომავალში კლადოგენეზის შედეგად შეიძლება წარმოიქმნას ადამიანის მეორე სახეობა. შეგიძლიათ ეს თუ არა?

25

ფილოგენეზი და სისტემატიკა



▲ სურათი 14.1 ნემსიყლაპიას ნამარხი ბრაზილიიდან. მისი ასაკი 100 მილიონ წელს აღემატება.

ბიტითადი კონცეფციები

- 25.1** ფილოგენეზის შესასწავლად აწარმოებენ მორფოლოგიურ და მოლეკულურ კვლევებს, ასევე საერთო წინაპარის ნამარხების კვლევას
- 25.2** ფილოგენეტიკური სისტემატიკა აერთიანებს კლასიფიკაციას და ევოლუციის ისტორიას
- 25.3** ფილოგენეტიკური სისტემატიკის საფუძველზე აგებენ ევოლუციურ ხეს ევოლუციური ხის აგებულება ეფუძნება სახეობათა საერთო თვისებებს
- 25.4** ევოლუციური ისტორიის უმეტესი ნაწილი ჩანერილია ორგანიზმის გენომში
- 25.5** მოლეკულური საათი გვებმარება დავადგინოთ ევოლუციური ცვლილების დრო

შესავალი

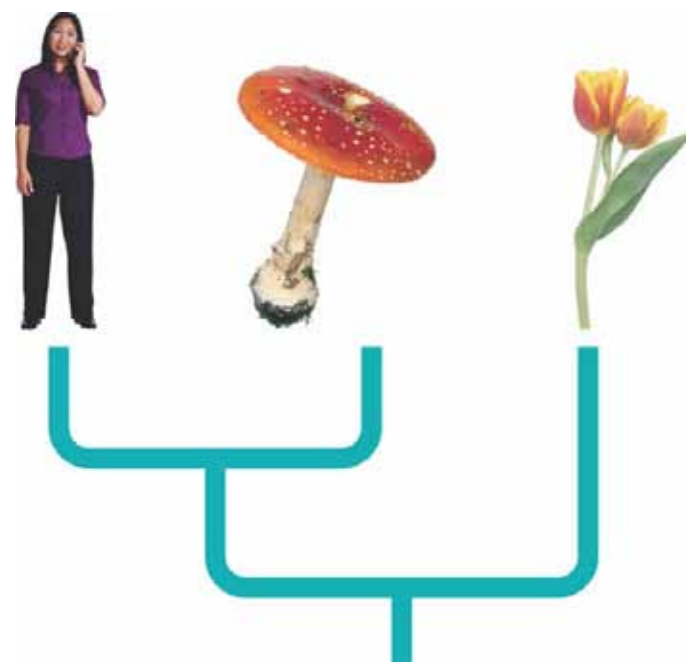
სიცოცხლის ხის კვლევა

ევოლუციური ბიოლოგია იხილავს ორგანიზმების განვითარების პროცესს და განვითარების ისტორიას. წინა თავებში ჩვენც ამ პრინციპით ვიხილავდით ევოლუციის პროცესს: კერძოდ კი, ბუნებრივ გადარჩევას და პოპულაციის გენეტიკური შემადგენლობის შემცველ სხვა მექანიზმს (იხილეთ თავი 23). საბოლოოდ, ამ მექანიზმების მოქმედების შედეგად ჩნდება ახალი სახეობა (იხილეთ თავი 24). ევოლუციონისტები კი ამ მექანიზმების დახმარებით ცდილობენ დედამიწაზე სიცოცხლის არსებობის მთლიანი ისტორიის აღდგენას.

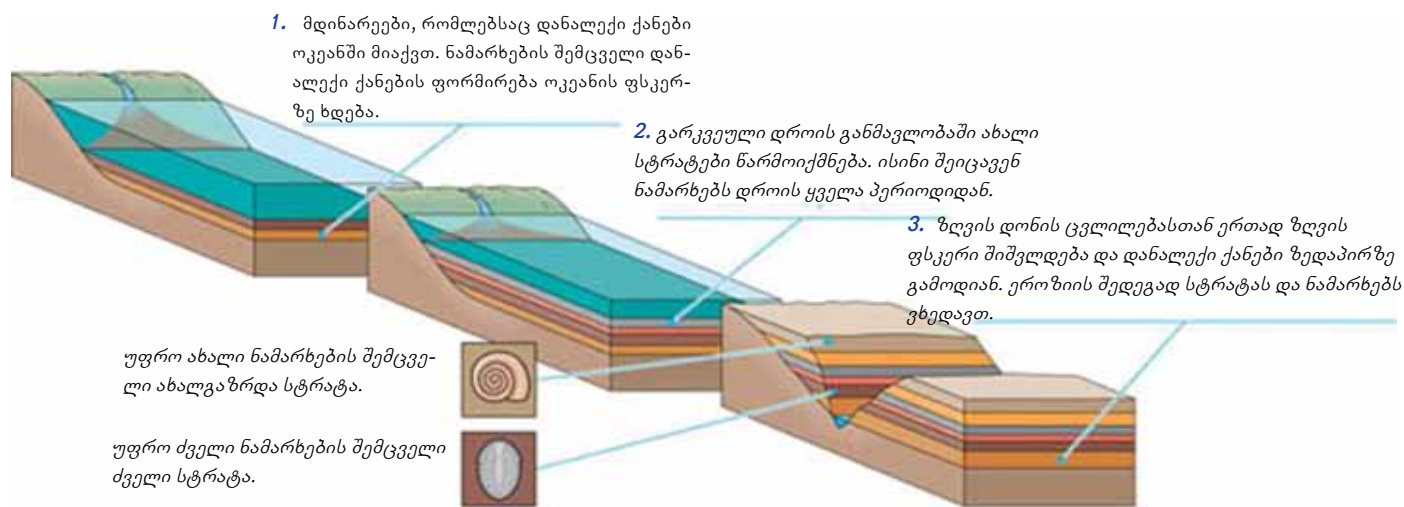
ამ თავში აღწერილია, თუ როგორ იკვლევენ ბიოლოგები ფილოგენეზს (ბერძნულად phylon -ოჯახია, genesis-დასაბამია). ფილოგენეზი სახეობის ან სახეობათა ჯგუფის ევოლუციის ისტორიაა. ფილოგენეზის დასადგენად ბიოლოგები ნამარხებს იხილვენ და წინაპარ ორგანიზმებზე ინფორმაციას იღებენ (სურათი 25.1).

ბიოლოგები ასევე სისტემატიკას იყენებენ. ეს ანალიტიკური მიდგომაა თანამედროვე და გადაშენებული ორგანიზმების მრავალფეროვნებისა და ნათესაობის დასადგენად.

ტრადიციულად, ევოლუციური ნათესაობის დასადგენად, სისტემატიკოსები ორგანიზმების მორფოლოგიურ და ბიოქიმიურ მსგავსებას სწავლობდნენ. ბოლო ათწლეულების განმავლობაში, სისტემატიკოსების ხელში ახალი ძლიერი ინსტრუმენტი, მოლეკულური სისტემატიკა, აღმოჩნდა. მოლეკულური სისტემატიკოსები ორგანიზმების დნმ-ის, რნმ-ის და სხვა მოლეკულებს ადარებენ. ამ შედარების საფუძველზე ადგენენ ევოლუციურ ნათესაობას სხვადასხვა ორგანიზმების მთლიან გენომებსა და გენებს შორის (სურათი 25.2). მრავალფეროვანი ინფორმაციის საფუძველზე ევოლუციონისტები მთელი სიცოცხლის უნივერსალურ ხეს ქმნიან. ამ ხის განახლება მუდმივად მიმდინარეობს, რადგანაც დნმ-ის და რნმ-ის თანმიმდევრობის შესწავლის შედეგად მიღებული მონაცემების რაოდენობა მუდმივად იზრდება.



▲ სურათი 25.2 მოულოდნელი ევოლუციური ნათესაური კავშირი. რა ევოლუციური ნათესაობაა ადამიანსა, სოკოსა და ტიტას შორის? მოლეკულურმა სისტემატიკოსებმა დაადგინეს, რომ გარეგნობის მიუხედავად ცხოველები (ადამიანის ჩათვლით) და სოკოები, უფრო ახლოს ენათესავენ ერთმანეთს, ვიდრე მცენარეებს.



▲ **სურათი 25.3** ნამარხების შემცველი დანალექი სტრატის ფორმირება.

კონცეფცია 25.1

ფილოგენეზის შესასწავლად აწარმოებენ მათემატიკურ და მოლეკულურ კვლევებს, ასევე საერთო წინაპრის ნამატების კვლევას

იმისთვის, რომ დავადგინოთ ფილოგენეზი, უნდა შევადგროვოთ რაც შეიძლება მეტი ინფორმაცია თანამედროვე ორგანიზმების მორფოლოგიაზე, განვითარებასა და ბიოქიმიაზე. ასევე მნიშვნელოვანია ნამარხების შესწავლა. ნამარხების შესწავლილას, ჩვენ ვსწავლობთ დედამიწაზე წარსულში მოხინაძრე ორგანიზმების ნარჩენებს და გამოგვყავს დასკვნა ამ ორგანიზმების რაობაზე. ნამარხების მეშვეობით ვადგენთ ნათესაობას თანამედროვე ორგანიზმებს შორის. ნამარხებს, წინაპარი ორგანიზმების ის თვისებები აქვთ, რომლებიც დროის განმავლობაში ზოგ ევოლუციურ ხაზში დაიკარგა.

ნამატები

ყველაზე მდიდარი ნამარხების რესურსია დანალექი ქანები. მდინარეების დინების საშუალებით და ეროზიის შედეგად, ქვიშა და შლამი ხვდება ზღვებში და ჭაობებში. იქ ისინი ილექებიან ფსკერზე ორგანიზმების ნარჩენებთან ერთად. ფსკერზე ეს ნარჩენები მილიონობით წლის განმავლობაში გროვდება. უფრო ძველი ნალექები ფენებად იწნეხება. ამ ფენებს სტრატას ეძახიან (სურათი 25.3) **ნამარხების აღრიცხვა** დაფუძნებულია სტრატაში განლაგებული ნამარხების თანმიმდევრობაზე.

ნამარხებიდან ყველაზე გავრცელებულია დანალექი ქანები, მაგრამ პალეონტოლოგები სხვა ტიპის ნამარხებსაც სწავლობენ (სურათი 25.4). ნამარხებიდან ინფორმაციას ვი-

ღებთ მხოლოდ მაშინ, თუ შეგვიძლია მათი ასაკის დადგენა. ასაკის დასადგენად უნდა დავადგინოთ ის თანმიმდევრობა, რომელშიც ჩნდება და ქრება ორგანიზმების სხვადასხვა თვისება. 26 თავში განვიხილავთ ნამარხების დათარიღების და გეოლოგიური თანმიმდევრობის დადგენის მეთოდებს. ახლა კი დავიმახსოვროთ, რომ ნამარხების აღრიცხვა მნიშვნელოვანია ევოლუციური ცვლილებების დასადგენად, მაგრამ ეს არასრულყოფილი მეთოდია.

დედამიწაზე გავრცელებული სახეობების დიდი ნაწილი კვდება ისეთ ადგილას და ისეთ დროს, რომ მათი ნამარხების პოვნა შეუძლებელია; ბევრი ფორმირებული ნამარხი იშლება შემდგომი გეოლოგიური პროცესების ზეგავლენით; დღეისთვის აღმოჩენილია არსებული ნამარხების მხოლოდ ნაწილი; ნამარხებში შეიძლება არ იყოს ასახული დედამიწაზე არსებული სახეობების მრავალფეროვნება. უფრო ხშირად ნამარხებში გვხვდება ის სახეობები, რომლებიც წარსულში დროის დიდი პერიოდის განმავლობაში არსებობდნენ, იყვნენ მრავალრიცხოვანნი და ფართოდ გავრცელებულნი, ჰქონდათ მკვირივი ნიჟარები, ჩონჩხი ან სხვა მკვირივი ნაწილები. მკვირივი ნაწილები აადვილებდნენ მათ ნამარხებად გადაქცევას. ყველა ამ შეზღუდვის მიუხედავად ნამარხები ნამდვილად დეტალურად ასახავენ ცოცხალი ორგანიზმების ცვლილებას დროის განმავლობაში.

მათემატიკური და მოლეკულური ჰომოლოგიები

ფილოგენეზი შეიძლება დადგინდეს არა მარტო ნამარხი ორგანიზმების, არამედ თანამედროვე ორგანიზმების მოლეკულური და მორფოლოგიური მსგავსების შესწავლის შედეგად. გავიხსენოთ, რომ ერთიანი წინაპრის არსებობა მოლეკულურ და მორფოლოგიურ მსგავსებასთან ერთად გვაძლევს ჰომოლოგიებს. მაგალითად: ძუძუმწოვრების წინა



(ა) ქვიშის ქანებში მოპოვებული დინოზავრის ძვლები



(ბ) დაახლოებით 190 მილიონი წლის ასაკის ხის ნამარხი არიზონიდან.



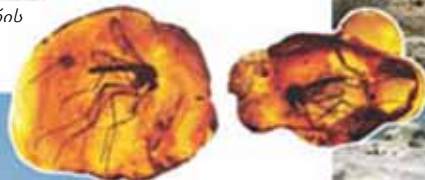
(გ) დაახლოებით 40 მილიონი წლის ასაკის ფოთლის ნამარხი



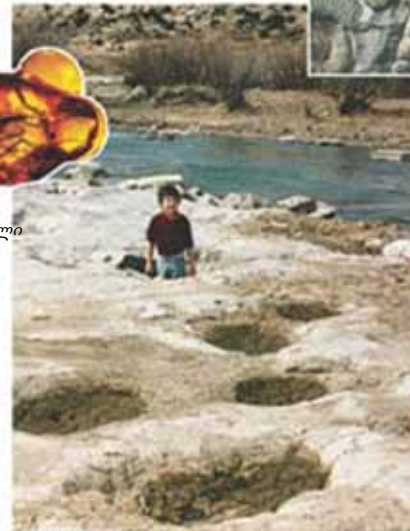
(დ) დაახლოებით 375 წლის ასაკის ამონიტის ანაბეჭდი



(ზ) ციმბირის ყინულში მთლიანად გაყინული 23000 ათასი წლის ასაკის მამონტის ეშვი.



(ვ) ქარვაში შენახული მთლიანი მწერები



(ე) კოლორადო. ბიჭი, რომელიც 150 მილიონი წლის წინანდელ დინოზავრის ნაკვალევზე დგას

▲ **სურათი 25.4 სხვადასხვა ტიპის ნამარხები (ა) მინერალების შემცველი მკვრივი ნაწილების ნამარხები, მაგალითად ძვლები, ნიჟარები ან კბილები, კარგად ინახება. (ბ) ზოგი ნამარხი იმის შემდეგ ფორმირდება, რაც მინერალები ორგანული ნივთიერების ადგილს იკავებენ. (გ) დანალექ ქანებში აღმოჩენილი ზოგი ნამარხი ორგანულ ნივთიერებებს შეიცავს და მეცნიერებს ანალიზისთვის საჭირო მოლეკულების გამოყოფა შეუძლიათ. (დ) ჩამარხული ლობადი ორგანიზმები ისე გამოიყურებიან, თითქოს წყლით გაჯერებულნი არიან. წყალში კი გაუხსნად მინერალებს შეიცავს. ამ მინერალების გაქვევებისას ყალიბდება ცოცხალი ორგანიზმის ასლები. (ე) ნაკვალევის ნამარხს თვითონ კვალი ქმნის, სოროები და უძველესი ორგანიზმის აქტიურობის სხვა ნიშნები. (ვ) ქარვაში (ხის გაქვევებული ფისი) ხანდახან მთლიან, კარგად შენახულ ორგანიზმებს პოულობენ. (ზ) კარგად შენახული, საკმაოდ დიდი ზომის ორგანიზმები იშვიათად ყინულში ან მყავის შემცველ ჭაობებში გვხვდება.**

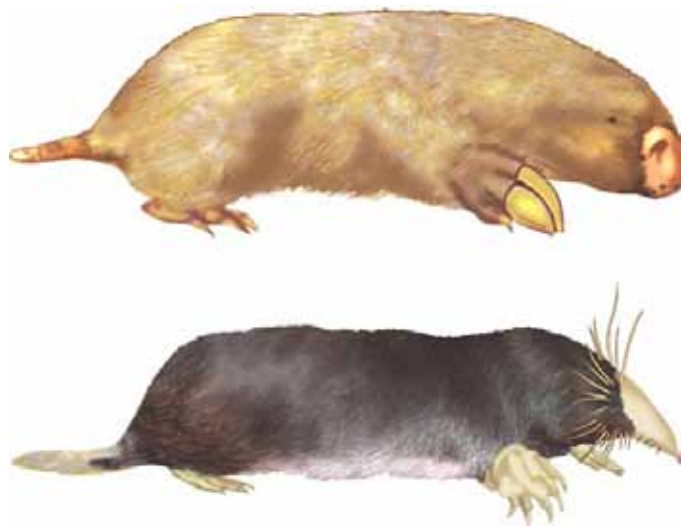
კიდურების ძვლების რაოდენობა და ძვლების განლაგების მსგავსება შედეგია იმისა, რომ მათ ერთიანი წინაპარი ჰყავდათ.

ამ წინაპრის კიდურების ძვლების აგებულება ჰგავდა თანამედროვე სახეობების კიდურების ძვლების აგებულებას; ეს არის მორფოლოგიური ჰომოლოგიის მაგალითი (იხილეთ სურათი 22.14). ასევე, გენები ან დნმ-ის სხვა თანმიმდევრობები ჰომოლოგიურია, თუ მათი მსგავსების ბუნებიდან გამომდინარეობს.

ნარეობს, რომ საერთო წინაპარს ჰქონდა მსგავსი თანმიმდევრობები.

მსგავსი მორფოლოგიის ან დნმ-ის მსგავსი თანმიმდევრობის მქონე ორგანიზმები, როგორც წესი, უფრო ახლოს ენათესავებიან ერთმანეთს, ვიდრე ორგანიზმები, რომელთა აგებულება ან დნმ-ის თანმიმდევრობა მკვეთრად განსხვავებულია. ზოგ შემთხვევაში, მონათესავე სახეობებში შეიძლება იყოს საკმაოდ დიდი მორფოლოგიური დათიშვა. გენეტიკური

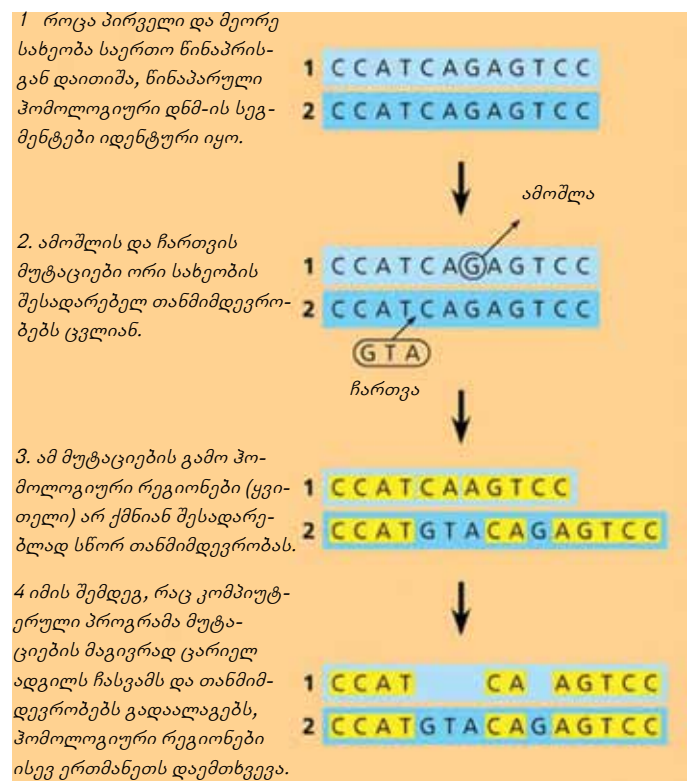
სხვაობა კი შეიძლება საკმაოდ მცირე იყოს (ან პირიქით). მაგალითად: 24 თავში განვიხილეთ ჰავაის ვერცხლისფერი მცენარეების ალიანსი. კუნძულის გასწვრივ მობინადრე სახეობები გარეგნულად მკვეთრად განსხვავდებიან ერთმანეთისგან: ზოგი მაღალი, დატოტვილი ხეა, სხვები კი ხშირი, მიწასთან გათხმული ბუჩქები (იხილეთ სურათი 24.12) მნიშვნელოვანი ფენოტიპური სხვაობის მიუხედავად, ვერცხლისფერი მცენარეების გენები ძალიან მსგავსია. მცირე მოლეკულურ სხვაობაზე დაყრდნობით მცენარეებს შეუძლიათ დაადგინონ, რომ ვერცხლისფერმა მცენარეებმა დაიწყეს დათიშვა 5 მილიონი წლის წინათ. დაახლოებით ამ დროს მოხდა თანამედროვე კუნძულებიდან ყველაზე ძველი კუნძულის ფორმირება. აქედან შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ ამ მცენარეების შემთხვევაში მორფოლოგიურ მრავალფეროვნებას აკონტროლებს შედარებით მცირე გენეტიკური სხვაობა.



▲ **სურათი 25.5** თხუნელას ანალოგიური თვისებების კონვერგენტული ევოლუცია. წაგრძელებული სხეული, გაფართოებული წინა კიდურები, მცირე ზომის თვალები და კონუსისმაგვარი ცხვირის დამცველი რბილი, სქელი კანი, დამოუკიდებლად განვითარდა ჩანთოსანში — ავსტრალიურ თხუნელაში (მაღლა) და პლაცენტარულში — ჩრდილო ამერიკულ თხუნელაში (დაბლა).

სხვაობა ჰომოლოგიებსა და ანალოგიებს შორის

ფილოგენეზის კონსტრუქციის დროს, მნიშვნელოვანია, არ აგვერიოს ჰომოლოგიები, ანუ საერთო წინაპრის თვისებები და **ანალოგია** ანუ კონვერგენტული ევოლუცია. როგორც 22 თავში წაიკითხეთ, კონვერგენტულ ევოლუციას ადგილი აქვს, როცა მსგავსი გარემოს გავლენით და ბუნებრივი გადარჩევის შედეგად განსხვავებული ევოლუციური ხაზის ორგანიზმებში წარმოიქმნება მსგავსი (ანალოგიური) ადაპტაციები (იხილეთ სურათი 22.17). მაგალითად: ავსტრალიური და ჩრდილო ამერიკული თხუნელები გარეგნულად ძალიან ჰგვანან ერთმანეთს (სურათი 25.5). თუმცა მათი გამრავლება ძალიან განსხვავებულია: ავსტრალიური თხუნელები ჩანთოსნები არიან (მათი ახალშობილი დედის სხეულის გარეთ გან-



▲ **გვ. 495. სურათი 25.6** დნმ-ის ერთ ხაზად განლაგებული შესადარებელი მონაკვეთები. სისტემატიკოსები დნმ-ის მსგავსი თანმიმდევრობების მოსაძებნად და ხელახლა დასალაგებლად კომპიუტერულ პროგრამებს იყენებენ (ამ მაგალითის შემთხვევაში, ჯერ შესადარებელი მონაკვეთის სიგრძე დადგინდა, შემდეგ აღმოჩნდა, რომ ყველა თანმიმდევრობა შეუცვლელია და შესადარებელი მონაკვეთები იდენტურია).

ლაგებულ მუცლის ნაკეცში – ჯიბეში ამთავრებს ემბრიონულ განვითარებას) მაშინ, როცა ჩრდილო ამერიკული თხუნელები არიან პლაცენტარულები (მათი ჩანასახი დედის სხეულის შიგნით განლაგებულ საშვილოსნოში ამთავრებს ემბრიონულ განვითარებას) მართლაც, წამარხებიდანაც და გენეტიკური შედარებიდანაც ჩანს, რომ თხუნელების საერთო წინაპარი ბინადრობდა 120 მილიონი წლის წინათ. დაახლოებით იმავე დროს მოხდა ჩანთოსანი ცხოველების და პლაცენტარულების დათიშვა. თხუნელების წინაპარი და მისი შთამომავლობის უმეტესი ნაწილი არ ჰგავდა თანამედროვე თხუნელებს. მაგრამ სანამ თხუნელების ეს ორი ჯგუფი ცხოვრების მსგავს სტილთან ადაპტაციას განიცდიდა, მათში დამოუკიდებლად განვითარდა მსგავსი თვისებები.

როგორც ვთქვით, ფილოგენეზის დასადგენად, მნიშვნელოვანია, განვასხვავოთ ჰომოლოგია და ანალოგია. მაგალითად: ლამურებსაც და ფრინველებსაც აქვთ ადაპტაციები, რომელთა მეშვეობით ისინი დაფრინავენ. მათ აქვთ გარეგნული მსგავსება. ეს შეიძლება ნიშნავდეს, რომ ლამურები უფრო ახლოს ენათესაებიან ფრინველებს, ვიდრე ვთქვით, კატებს. კატებს ხომ ფრენა არ შეუძლიათ. მაგრამ უფრო ზუსტი შემოწმების შედეგად აღმოჩნდა, რომ ლამურების საფრენი აპარატი

აგებულებით გაცილებით უფრო ახლოს დგას კატის და სხვა ძუძუმწოვრების წინა კიდურების აგებულებასთან, ვიდრე ფრინველის ფრთების აგებულებასთან. ნამარხებიდანაც ჩანს, რომ ღამურას წინა კიდურები და ფრინველის ფრთები განვითარდნენ დამოუკიდებლად, სხვადასხვა წინაპრების სასიარულო კიდურებიდან. ასე რომ, შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ ღამურების წინა კიდურები ძუძუმწოვრების წინა კიდურების ჰომოლოგიურია, მაგრამ ფუნქციის მიხედვით ფრინველების ფრთების ანალოგიურია. ანალოგიური სტრუქტურები, როგორცაა ღამურას წინა კიდურები და ფრინველის ფრთები, ვითარდება დამოუკიდებლად. ხანდახან მათ ეძახიან **ჰომოპლაზიებს** (ბერძნულიდან — ერთი მიმართულებით ფორმირება).

ნამარხების მსგავსების გარდა, არსებობს ჰომოლოგიების და ანალოგიების განსხვავების სხვა ხერხი. ამ ხერხის მიხედვით უნდა განვსაზღვოთ იმ თვისების სირთულე, რომლის შედარებას ვაპირებთ. რაც უფრო მეტია ორ რთულ სტრუქტურას შორის მსგავსება ძირითადი ნიშნების მიხედვით, მით ნაკლებად მოსალოდნელია, რომ ისინი განვითარდნენ დამოუკიდებლად. მაგალითად: ადამიანისა და შიმპანზის ქალა შედგება არა ერთი, არამედ მრავალი, ერთმანეთთან შეერთებული ძვლისგან. ორივე ქალას შემთხვევაში, ძვლები ერთმანეთთან მჭიდროდ არის შეერთებული და ზუსტად ერგებიან ერთმანეთს. თითქმის წარმოუდგენელია, რომ ასეთ რთულ სტრუქტურებს, რომელთა დეტალები ასე კარგად ერგება ერთმანეთს, აქვთ ერთმანეთისგან დამოუკიდებელი წარმოშობა. როგორც ჩანს, გენები, რომლებიც მონაწილეობენ ამ ორი ქალის განვითარებაში, მემკვიდრეობით მიღებულია საერთო წინაპრისგან. იგივე არგუმენტი მუშაობს, როცა ერთმანეთს ვადარებთ ათასობით ნუკლეოტიდური თანმიმდევრობის შემცველ გენებს. დნმ-ის ოთხი ფუძის განლაგების თანმიმდევრობა დნმ-ის ან რნმ-ის ჯაჭვში ეყრდნობა მემკვიდრეობით თვისებებს. ეს ფუძეებია: (ადენინი), (გუანინი). ჩ (ციტოზინი) ან თ (თიმინი). თუ შესადარებლად ვიღებთ ორი სახეობის 1 000 ნუკლეოტიდის სიგრძის დნმ-ის რეგიონს, მივიღებთ მათ შორის მსგავსების ან განსხვავების 1 000 წერტილს. სახეობებს შორის ნათესაური კავშირის დასადგენად სისტემატიკოსები ერთმანეთს ადარებენ დნმ-ის გრძელ ჯაჭვებს და მთლიან გენომებს. თუ ორი ორგანიზმის გენებს ბევრი საერთო ნუკლეოტიდური თანმიმდევრობები აქვთ, მოსალოდნელია, რომ ეს გენები ჰომოლოგიურია.

მოლეკულური ჰომოლოგიების შეფასება

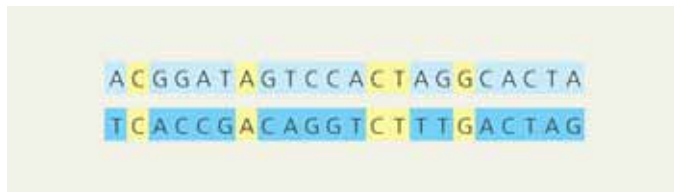
ნუკლეინის მჟავების შედარება ხშირად დაკავშირებულია ტექნიკურ სირთულეებთან. პირველი ნაბიჯის სახით უნდა განისაზღვროს იმ მონაკვეთის ნუკლეინის მჟავების თანმიმდევრობა, რომლის მიხედვით ვაპირებთ ორი სახეობის შედარებას. თუ ეს სახეობები ახლო ნათესავები არიან, თანმიმდევრობებში განსხვავება მხოლოდ რამდენიმე ადგილას იქნება. არამონათესავე სახეობებში კი ნუკლეინის მჟავების თანმიმდევრობა დიდად განსხვავდება. ამ შემთხვევაში ჯაჭვში იქნება წარმოდგენილი სხვადასხვა ფუძე. ჯაჭვის სიგრძეც კი შეიძლება განსხვავებული იყოს. ამის მიზეზი არის ის, რომ დროის უფრო დიდი მონაკვეთის განმავლობაში, ჯაჭვი-

დან ხდება ბევრი ფუძის ჩართვა ან ამოშლა. ეს კი მოქმედებს ჯაჭვის სიგრძეზე (იხილეთ თავი 23).

წარმოიდგინეთ, რომ ორი სახეობის გარკვეულ გენში არამაკოდირებელი დნმ-ის თანმიმდევრობა ძალიან მსგავსია. მაგრამ ერთ-ერთი სახეობის შემთხვევაში მუტაციის შედეგად ამოიშალა თანმიმდევრობის პირველი ფუძე. ამის შედეგად დანარჩენი თანმიმდევრობა გადაინწევს ერთი ფუძით. თუ ასეთ ორ ნუკლეოტიდურ თანმიმდევრობას შევადარებთ ერთმანეთს, ხელად მივხვდებით, თუ რა სიძნელე წარმოქმნება შედარების დროს. ამ პრობლემის თავიდან ასაცილებლად, დნმ-ის მონაკვეთების შედარების და შედარების შედეგების ანალიზის დროს სისტემატიკოსები იყენებენ კომპიუტერულ პროგრამას. კომპიუტერული პროგრამის მეშვეობით ხდება სხვაობის დაადგენა შესადარებელი ჯაჭვების სიგრძეებს შორის და მათი ახლიდან დალაგება. (სურათი 25.6)

დნმ-ის ფუძეების შედარების შედეგად აღმოჩნდა, რომ ავსტრალიის და ჩრდილო ამერიკის თხუნელების გენებში ბევრი ფუძე განსხვავებულია. ამის გარდა, დროის განმავლობაში მათ შორის სხვა სხვაობაც დაგროვდა. აქედან შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ საერთო წინაპრისგან განვითარების შემდეგ თხუნელების ეს ორი ხაზი საკმაოდ დასცილდა ერთმანეთს. ანუ, თანამედროვე თხუნელების ეს სახეობები არ არიან ერთმანეთის ახლო ნათესავები. საპირისპიროდ, ვერცხლის მცენარეების ალიანსის ფუძეების განლაგება ძალიან ჰგავს ერთმანეთს. ეს ადასტურებს ჰიპოთეზას, რომ განსხვავებული აგებულების მიუხედავად ალიანსის ყველა წევრი ერთმანეთის ახლო ნათესავია.

ის ფაქტი, რომ სხვადასხვა სახეობის მოლეკულური თანმიმდევრობა განსხვავებულია, თავისთავად არაფერს არ გვუბნება იმაზე, თუ როდის ცოცხლობდა ამ სახეობების საერთო წინაპარი. ხანდახან, მაგალითად თხუნელების შემთხვევაში, ამის გაგება შესაძლებელია ნამარხებიდან. მაგრამ ვერცხლის ალიანსის შემთხვევაში, ნაპოვნი ნამარხები ძალიან ცოტაა. ასეთ სახეობებთან მუშაობისას მკვლევრები ადარებენ მათ მოლეკულურ თანმიმდევრობას მცენარეების იმ ხაზის მოლეკულურ თანმიმდევრობასთან, რომელშიც მეტი ნამარხებია ნაპოვნი. ასე ქმნიან მოლეკულურ საზომს. ამ საზომით მიახლოებით იზომება დათიშვის სხვადასხვა ხარისხის დროის დიაპაზონი (მოლეკულური საზომის გამოყენების შედეგად მკვლევარები თვლიან, რომ ვერცხლის მცენარეების ალიანსის საერთო წინაპარი ცხოვრობდა დაახლოებით 5 მილიონი წლის წინათ). იმისთვის, რომ განვსაზღვროთ, რამდენად გამოსადეგია ევოლუციის შესასწავლად მოლეკულური მსგავსება, აუცილებელია განვასხვავოთ ჰომოლოგიები ანალოგიებისგან. იგივე არის საჭირო მორფოლოგიური მახასიათებლების შემთხვევაში. ორი თანმიმდევრობა, რომელიც თავისი სიგრძის გასწვრივ ბევრ წერტილში აქვს ერთმანეთს უფრო მეტად ჰომოლოგიურია (იხილეთ სურათი 25.6). მაგრამ შორეულად მონათესავე ორგანიზმებსაც ხანდახან ახასიათებთ თანმიმდევრობების დამთხვევა. როგორც ჩანს, ეს შემთხვევითი მსგავსებაა ან მოლეკულური ჰომოპლაზია (სურათი 25.7). მეცნიერები ავითარებენ მათემატიკურ მეთოდებს, რომ განასხვავონ “დაშორებული” ჰომოლოგიები შემთხვევითი მსგავსებისგან, რომელსაც ადგილი აქვთ საკმაოდ დაცილებულ



▲ **სურათი 25.7 მოლეკულური ჰომოპლაზია.** შორეულად მონათესავე ორი ორგანიზმის დნმ-ის თანმიმდევრობის ფუძეების 25% შემთხვევით საერთოა. იმის დასადგენად, ჰომოლოგიურია თუ მრავალი საერთო ფუძის შემცველი დნმ-ის მოლეკულები, მრავალი ხერხი შემუშავდა.

თანმიმდევრობებში. მაგალითად: ასეთი მოლეკულური ანალიზის შედეგად მივიღეთ, რომ მორფოლოგიური მსგავსების უქონლობის მიუხედავად, ადამიანებს და ბაქტერიებს ნამდვილად ჰყავთ საერთო წინაპარი.

მეცნიერებმა დაადგინეს ათასობით სახეობების 20 მილიარდი ნუკლეოტიდური ფუძის თანმიმდევრობა. ამ უზარმაზარმა მონაცემთა კოლექციამ ფილოგენეზის შესწავლაში ბუმი წარმოქმნა. დადგინდა ბევრი ევოლუციური კავშირი. მაგალითად, ავსტრალიურ და ჩრდილო ამერიკულ თხუნილებს შორის და ვერცხლის მცენარეების ალიანსის განსხვავებულ წევრებს შორის. ამ თავის ბოლოში და შემდეგ თავებში თქვენ ნახავთ მოლეკულურ სისტემატიკაში მომხდარი დიდი ძვრების ბევრ მაგალითს.

▶ **კონცეფცია 25.1**

1. შემდეგი წყვილი სტრუქტურებიდან, რომელი უფრო ჰგავს ანალოგიას ან ჰომოლოგიას? ახსენით თქვენი დასკვნა: (ა) მაჩვზღარბას და კაქტუსის ნემსები; (ბ) კატის თათი და ადამიანის ხელი; (გ) ბუს ფრთა და კრაზანას ფრთა.
2. შემდეგიდან, რომელი უფრო ახლოს ენათესავებიან ერთმანეთს: ორი სახეობა, რომელიც გარეგნულად მსგავსია, მაგრამ მათი გენების თანმიმდევრობა ძლიერ განსხვავებულია, ან ორი სახეობა, რომელიც გარეგნულად ძალიან განსხვავებულია, მაგრამ აქვთ თითქმის იდენტური გენები. ახსენით.

▶ **კონცეფცია 25.2**

ფილოგენეტიკური სისტემატიკა აქტიანებს კლასიფიკაციას და ევოლუციის ისტორიას

სისტემატიკა, როგორც მეცნიერება, დასაბამს იღებს მეთვრამეტე საუკუნეში. 1748 წელს შედგა ბოტანიკოსმა და ანატომმა კარლ ლინემ გამოაქვეყნა ნაშრომი “სყსტემა ნატურაე” (“ბუნების სისტემა”). ეს არის მის მიერ შედგენილი

იმ დროისთვის ცნობილი მცენარეების და ცხოველების ტაქსონომიური კლასიფიკაცია.

ტაქსონომია არის ორგანიზმების დაყოფა კატეგორიებად. ეს პროცესი დაფუძნებულია მრავალი თვისების შესწავლაზე, რომლებსაც იყენებენ სხვადასხვა ორგანიზმებს შორის მსგავსების და განსხვავების დასადგენად. ლინეს კლასიფიკაცია არ იყო დაფუძნებული ევოლუციურ კავშირებზე. მას საფუძვლად ედო ორგანიზმის აგებულება. მიუხედავად ამისა, მისი სისტემატიკის ბევრი ასპექტი ფილოგენეტიკურ სისტემატიკაშიც გამოიყენება. მაგალითად, სახეობის ბინომინალური სახელი და იერარქიული კლასიფიკაცია.

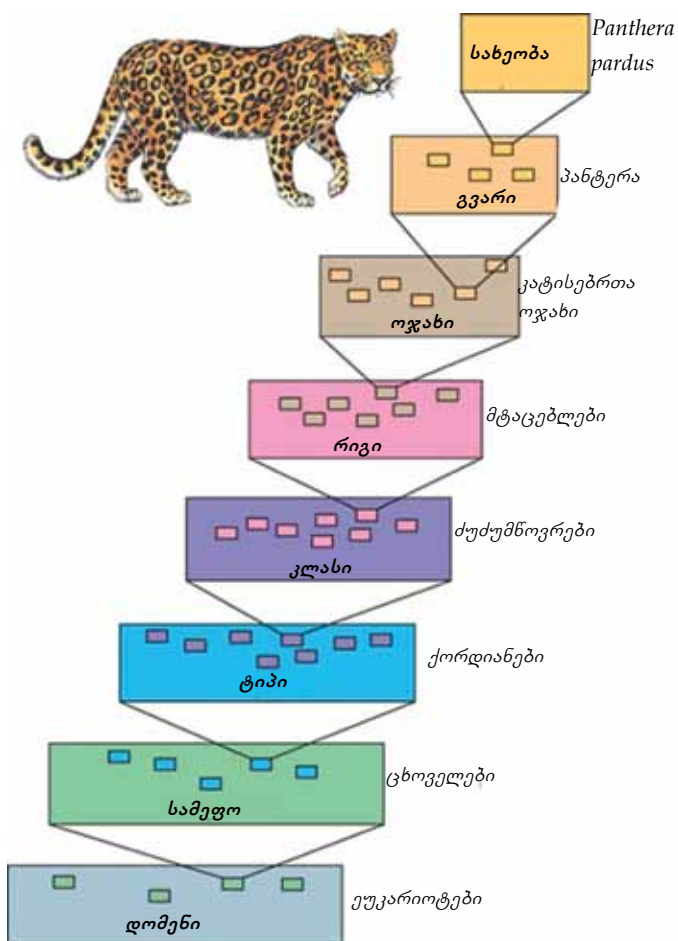
ბინომინალური ნამუშევარი

ორგანიზმების სახელები, მაგალითად: მაიმუნი, თევზი ან იასამანი, გამოსადეგია ჩვეულებრივი საუბრის დროს. მაგრამ ამ სახელებს შეუძლიათ შეცდომის გამოწვევა. ამ სახელებიდან, ყოველი, ერთზე მეტ სახეობას ეხება. მეტიც, ზოგი ჩვეულებრივი სახელი ორგანიზმის ტიპსაც არ ასახავს. მაგალითად: ვირი (ჩლიქოსანი), თხა (ჩლიქოსანი) და ვირთხა (მღრღნელი). ამის გარდა, რა თქმა უნდა, სხვადასხვა ენაში სხვადასხვა ორგანიზმის აღსანიშნავად გამოიყენება სხვადასხვა სიტყვა.

სახეობის კვლევისას თავიდან რომ ავიცილოთ გაუგებრობა, ბიოლოგები მიმართავენ სახეობის ლათინურ, მეცნიერულ სახელს. ეს არის ორი სიტყვისგან შემდგარი ანუ **ბინომინალური** მეცნიერული სახელი. ის იყო შემოთავაზებული ლინეს მიერ. ბინომინალური სახელის პირველი ნაწილი აღნიშნავს იმ გვარს **გენუს** - გვარი (მრავლობითში გენერა), რომელსაც სახეობა ეკუთვნის. მეორე ნაწილი **სპეციფიკური ეპითეტი** აღნიშნავს ამ გვარის ერთ სახეობას. ბინომინალური სისტემის მაგალითია *ანტჰერა პარდუს*. ეს არის დიდი კატის, რომელსაც ჩვეულებრივად ლეოპარდს (ჯიქს) ეძახიან, მეცნიერული სახელი. მიაქცეით ყურადღება, რომ სახეობის პირველი სახელი იწერება დიდი ასოთი, მთლიანი სახელი კი დახრილით (მეცნიერული სახელები ლათინიზირებულია. თუ თქვენ ახალი სახეობის მწერს აღმოჩენთ, შეგიძლიათ დაარქვათ თქვენი ამხანაგის სახელი, მაგრამ სახელის დაბოლოება უნდა იყოს ლათინური). ლინემ შემოიღო 11000 ბინომინალური სახელწოდება. მათგან მრავალი დღესაც არსებობს. არსებობს ის ოპტიმისტური სახელიც, რომელიც მან ჩვენი საკუთარი სახეობისთვის შეარჩია: *ომო საპიენს*, რაც ნიშნავს: გონიერი ადამიანი.

იქტაბჭიური კლასიფიკაცია

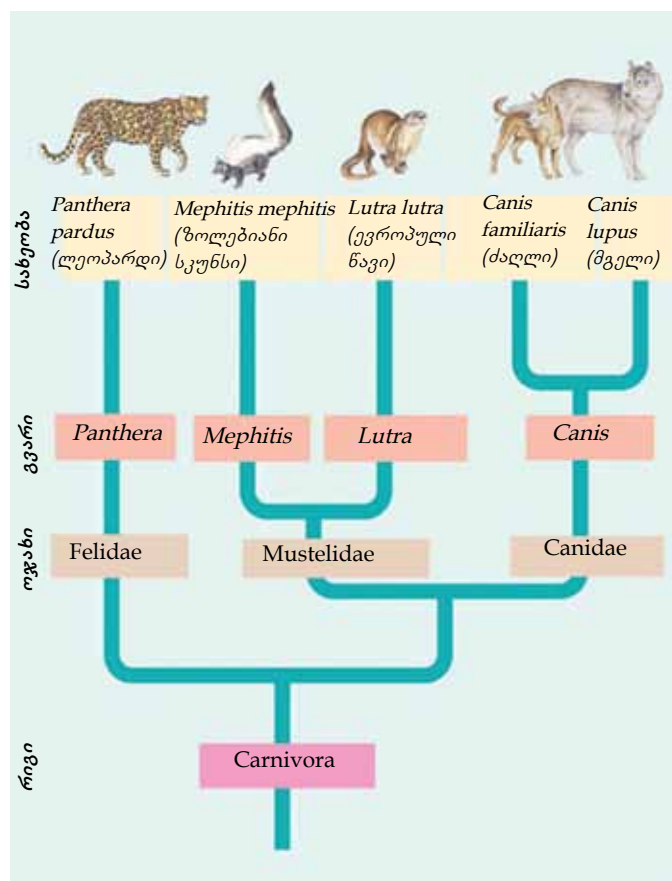
სახეობების დარქმევის გარდა, ლინემ დააჯგუფა ისინი იერარქიულად: მცირე კატეგორები გააერთიანა უფრო დიდ კატეგორიებში. პირველი დაჯგუფება დამყარებულია ბინომინალურ პრინციპზე; უფრო ახლო მონათესავე სახეობები გაერთიანებული არიან ერთ და იგივე გვარში. მაგალითად, ლეოპარდი (*ანტჰერა პარდუს*) ეკუთვნის იმ გვარს, სადაც ასევე შედის აფრიკული ლომი (*ანტჰერა ლეო*) ვეფხვი (*ანტჰერა ტიგრის*) და იაგუარი (*ანტჰერა ონცა*). გვარის გარდა სისტემატიკოსები მიმართავენ პროგრესულად მზარდ კლასიფიკაციის ერთეულებს (სურათი 25.8).



▲ **სურათი 25.8** იერარქიული კლასიფიკაცია. სახეობები გაერთიანებულია ჯგუფებში, რომლებიც თავის მხრივ უფრო დიდ ჯგუფებში ერთიანდება.

ისინი ათავსებენ მონათესავე გვარებს ოჯახებში, ოჯახებს რიგებში, რიგებს კლასებში, კლასებს ტიპებში ტიპებს სამეფოებში, და იშვიათად, სამეფოებს დომენებში. ყველა დონის ტაქსონომიურ ერთეულს ეძახიან **ტაქსონს** (მრავლობითი ტახა). მაგალითად, ანტჰერა არის ტაქსონი გვარის დონეზე, ძუძუმწოვრები კი ტაქსონია კლასის დონეზე. აქ შედიან ძუძუმწოვრების უამრავი რიგები. მიაქციეთ ყურადღება, რომ გვარის დონის ზევით მყოფი ტაქსონები არ იწერება დახრილად, თუმცა იწერება დიდი ასოთი. ცალკეული ორგანიზმის კლასიფიკაცია ჰგავს საფოსტო მისამართს, რომლის მიხედვით ვახდენთ ინდივიდის იდენტიფიკაციას ჯერ გარკვეულ ბინაში, შემდეგ შენობაში, სადაც ბევრი ბინაა, ქუჩაში, სადაც ბევრი შენობაა, ქალაქში სადაც ბევრი ქუჩაა, შტატში სადაც ბევრი ქალაქია, და ა. შ.

როგორც ჩანს, ადამიანისთვის ბუნებრივია ცოცხალი ორგანიზმების ამგვარი კლასიფიკაცია. ჩვენ ასე ვხედავთ მსოფლიოს. ჩვენ ვაერთიანებთ ხის რამდენიმე სახეობას, ვაძლევთ მათ საერთო სახელს, მაგალითად მუხას და ასე ვასხვავებთ სხვა სახეობებისგან, რომლებსაც ვარქმევთ ვთქვათ,



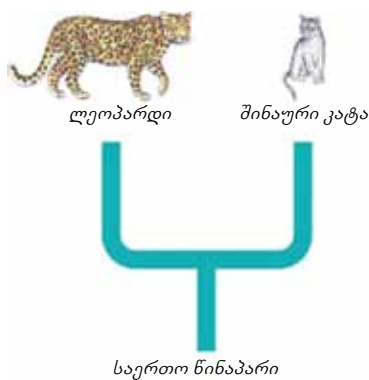
▲ **სურათი 25.9** კავშირი კლასიფიკაციასა და ფილოგენეზს შორის. იერარქიული კლასიფიკაცია ასახულია ფილოგენეტიკური ხის მზარდ დატოტვაში. ამ ხეზე გამოხატულია მტაცებლების რიგის ზოგი ტაქსონის შესაძლო ევოლუციური კავშირები, თვით ხე კი კლასი ძუძუმწოვრების განშტოებაა.

ნაბლს. ტაქსონომებმა გადაწყვიტეს, რომ მუხა და ნაბლი იმდენად განსხვავებულია, რომ ცალკე გვარებს უნდა მივაკუთვნოდ. მაგრამ ისინი საკმაოდ მსგავსნი არიან იმისთვის, რომ გავაერთიანოთ ერთ აგაცეაე -ს ოჯახში.

ეს გადაწყვეტილება შემთხვევითია. უფრო მსხვილი დონეების განსაზღვრისთვის ძირითადად გამოიყენება მეცნიერების მიერ შერჩეული მრავალფეროვანი მორფოლოგიური თვისებები და არა რომელიმე რაოდენობრივი მაჩვენებლები. რაოდენობრივი მონაცემების მიხედვით ორგანიზმების განსაზღვრა უფრო ობიექტურია, ვინაიდან ისინი ყველა ორგანიზმს უნდა მიესადაგონ. ამის გამო შეუძლებელია უფრო დიდი კატეგორიების შედარება სხვადასხვა ევოლუციურ ხაზებში. მაგალითად, არ არის აუცილებელი ლოკოინების კლასში იგივე მორფოლოგიური ან გენეტიკური მრავალფეროვნება იყოს, როგორც არის ძუძუმწოვრების კლასში. ეს აძნელებს მათ შედარებას.

კლასიფიკაციის და ფილოგენეტიკის ოთხობა

ადრე განვიხილეთ, როგორ იკვლევენ ფილოგენეზს სისტე-



მატიკოსები, როცა სწავლობენ თანამედროვე და ნამარხი ორგანიზმების სხვადასხვა თვისებებს. ისინი იყენებენ დატოტვილ დიაგრამებს. ამ დიაგრამებს ეძახიან **ფილოგენეტიკურ ხეებს**. ფილოგენეტიკური ხეების მეშვეობით გამოხატავენ თავიანთ ჰიპოთეზებს ევოლუციურ კავშირებზე. ხეების განშტოებები იმ ჯგუფების იერარქიულ კლასიფიკაციას ასახავენ, რომლებიც უფრო დიდ ჯგუფებშია მოთავსებული (სურათი 25.9). ფილოგენეტიკური ხე ხშირად შედგება დიქტომიური, ანუ ორ-ორად დატოტვილი განშტოებების სერიიდან; დატოტვის ყოველი წერტილი ასახავს საერთო წინაპრისგან ორი სახეობის დათიშვას. მაგალითად: კატისებრთა ოჯახში დატოტვის წარტილი შეგვიძლია შემდეგნაირად გამოვსახოთ: ლეოპარდი, შინაური კატა, საერთო წინაპარი.

როგორც ეს 25.9 სურათზეა მოცემული, ტაქსონის დიქტომიური დატოტვა, რომელიც სახეობაზე უფრო მსხვილ კატეგორიებს მოიცავს შეიძლება გამოვსახოთ დიაგრამაზე. მაგალითად: ოჯახები და რიგები. ყოველი, უფრო “ღრმა” დატოტვის წერტილი, ასახავს პროგრესულად მეტ მრავალფეროვნებას (დათიშვას).

არ აგერიოთ ფილოგენეტიკურ ხეზე მოცემული დატოტვის თანმიმდევრობა თითოეული სახეობის არსებობის ასაკთან (ფაქტიურ ასაკთან). 25.9 სურათზე გამოსახულ ხეზე არ არის აღნიშნული, რომ მგელი ევროპული წავთან შედარებით გვიან განვითარდა, ის აღნიშნავს მხოლოდ, რომ მათი საერთო წინაპარი უფრო ადრე არსებობდა, ვიდრე მგლის და ძაღლის საერთო წინაპარი.

ფილოგენეზის განსაზღვრის მეთოდები დასაბამს იღებენ დარვინის დროიდან. დარვინმა ლინესგან განსხვავებით იერარქიული კლასიფიკაცია გააერთიანა ევოლუციასთან. მან სახეობათა წარმოშობაში წარმოგვიდგინა ფილოგენეტიკური სისტემატიკა, როცა წერდა: „ჩვენი კლასიფიკაცია რამდენადაც ეს შესაძლებელია გენეალოგიას უნდა წარმოადგენდეს“.

კანცეფცია 25.2

1. 25.8 სურათზე გამოსახული კლასიფიკაციის რომელი დონეები საერთოა ადამიანისთვის და ლეოპარდისთვის.
2. რას გვეუბნება 25.9 სურათზე გამოსახული ევოლუციური ხე ლეოპარდის, ზოლებიანი სკუნის და მგლის ევოლუციურ კავშირებზე?

კანცეფცია 25.3

ფილოგენეტიკური სისტემატიკის სათუბელზე აგებენ ევოლუციურ ხეს ევოლუციური ხის აგებულება და ევოლუცია სახეობათა საერთო თვისებებს

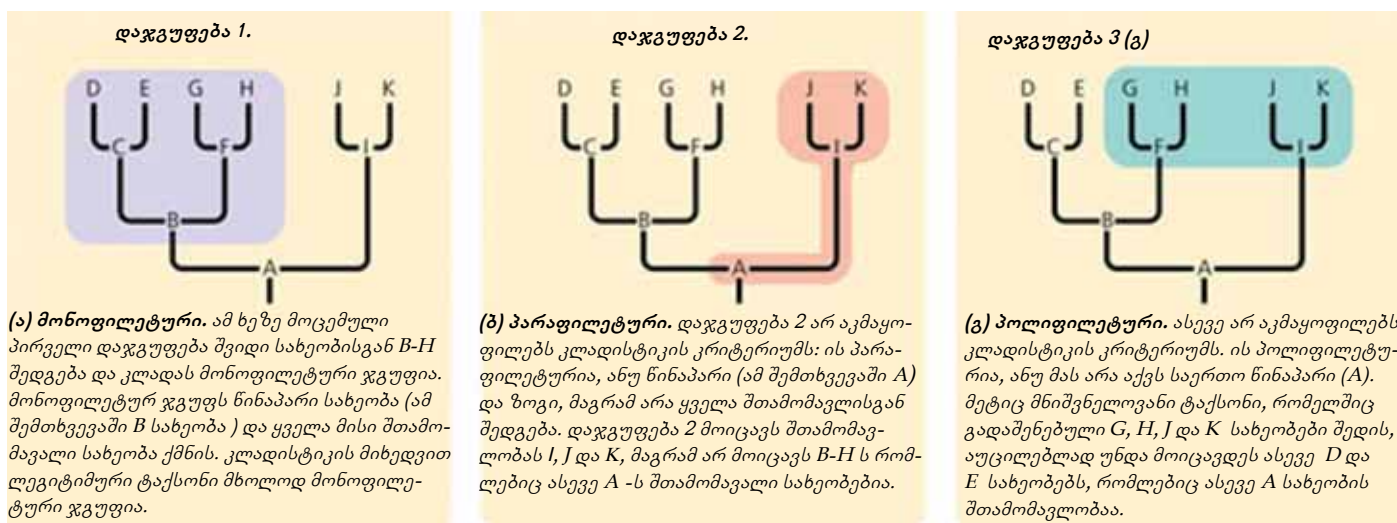
საერთო თვისებების მოდელი შეიძლება გამოვსახოთ დიაგრამაზე, რომელსაც **კლადოგრამას** ეძახიან (იხილეთ სურათი 25.11ბ) თავისთავად კლადოგრამა არ ასახავს ევოლუციურ ისტორიას. მაგრამ თუ საერთო თვისებები ორგანიზმებს აქვთ იმის შედეგად, რომ მათ საერთო წინაპარი ჰქონდათ (თუ ისინი ჰომოლოგიებს წარმოადგენენ), მაშინ კლადოგრამა ფილოგენეტიკური ხის ფუძესაც გვაძლევს. ხის ფარგლებში **კლადა** (ბერძნულიდან **კლადოს** — ტოტი) განისაზღვრება, როგორც სახეობების ჯგუფი, რომელშიც შედის წინაპარი სახეობა და მის ყველა შთამომავალი სახეობა. **კლადისტიკა** არის იმის ანალიზი, თუ როგორ ხდება კლადაში სახეობების დაჯგუფება.

კლადისტიკა

კლადა, ისევე როგორც ტაქსონომიური ხაზი, შეიძლება მოვითავსოთ უფრო დიდ კლადაში. მაგალითად: კატისებრთა ოჯახი ქმნის კლადას, უფრო დიდ კლადაში, რომელშიც შედის ასევე ძაღლისებრთა ოჯახი. მაგრამ ორგანიზმის ყველა დაჯგუფება არ ქმნის კლადას. ნამდვილი კლადა არის **მონოფილეთური** („ერთი გვარის წარმომადგენლები“), რაც ნიშნავს, რომ ის შედგება წინაპარი სახეობიდან და ყველა მისი შთამომავლისგან (**სურათი 25.10 ა**). თუ კლადის ზოგიერთ წევრზე ინფორმაცია არ გვაქვს, ვიღებთ **პარაფილეთურ** ჯგუფს. ის შედგება წინაპარი სახეობიდან და ზოგი, მაგრამ არა ყველა, შთამომავალი სახეობიდან. (**სურათი 25.10 ბ**). ან ვიღებთ რამდენიმე სახეობის **პოლიფილეთურ** ჯგუფს. ეს იმ შემთხვევაში იქნება, თუ ჯგუფის სახეობებს არ აქვთ საერთო წინაპარი, ან ის უცნობია (**სურათი 25.10 გ**). თუ გვაქვს ასეთი ვითარება, ის მოითხოვს შემდგომ რეკონსტრუქციას. უნდა შევაკვსოთ ჯგუფი ისეთი სახეობებით, რომ მივიღოთ მონოფილეთური კლადა.

საერთო პრიმიტიული და საერთო წარმოქმნილი თვისებები

სისტემატიკოსებმა განსაზღვრეს ჰომოლოგიური და ანალოგიური მსგავსება. ახლა მათ შეუძლიათ ჰომოლოგიების მიხედვით განასხვავონ საერთო პრიმიტიული და წარმოქმნილი თვისებები. „თვისება“ ამ შემთხვევაში არის ყოველი ის თვისება, რომელიც ცალკეულ ტაქსონს გააჩნია. ფილოგენეზისთვის რა თქმა უნდა მნიშვნელოვანია ჰომოლოგიური თვისებები. მაგალითად: ძუძუმწოვრების საერთო ჰომოლო-



▲ **სურათი 25.10** მონოფილეთური, პარაფილეთური და პოლიფილეთური ჯგუფები.

გიური თვისებაა ხერხემლის მალა. თუმცა ხერხემალი არ განასხვავებს ძუძუმწოვრებს სხვა ხერხემლიანებისგან, ვინაიდან თევზებს და რეპტილიებს ასევე გააჩნიათ ხერხემალი. ხერხემალი არის ჰომოლოგიური სტრუქტურა, რომელიც წინ უსწრებს ძუძუმწოვრების კლადის გამოყოფას სხვა ხერხემლიანებისგან;

ის არის **საერთო პრიმიტიული თვისება**, თვისება, რომელიც საერთოა იმ ტაქსონის ფარგლებს გარეთაც, რომელსაც ჩვენ განვიხილავთ. საპირისპიროდ, ბალანი არის ყველა ძუძუმწოვრისთვის საერთო თვისება, მაგრამ ის არ მოიძებნება არაძუძუმწოვარ ხერხემლიანებში. ასეთი თვისება არის **საერთო წარმოქმნილი თვისება**. იგი წარმოადგენს გარკვეული კლადისთვის დამახასიათებელ ევოლუციურ სიახლეს. ამ შემთხვევაში იგი არის ევოლუციური სიახლე ძუძუმწოვრების კლადისთვის.

გაითვალისწინეთ, რომ განშტოების უფრო ღრმა წერტილში ხერხემალი ასევე შეიძლება განხილული იყოს, როგორც საერთო წარმოებული თვისება, რომლის შეძენის შემდეგ ყველა ხერხემლიანი გამოეყო სხვა ცხოველებს. ხერხემლიანებს შორის კი ხერხემალი არის საერთო პრიმიტიული თვისება, ვინაიდან ის განუვითარდა ყველა ხერხემლიანის საერთო წინაპარს.

ჯგუფის ფარგლებს გარეთა სახეობა

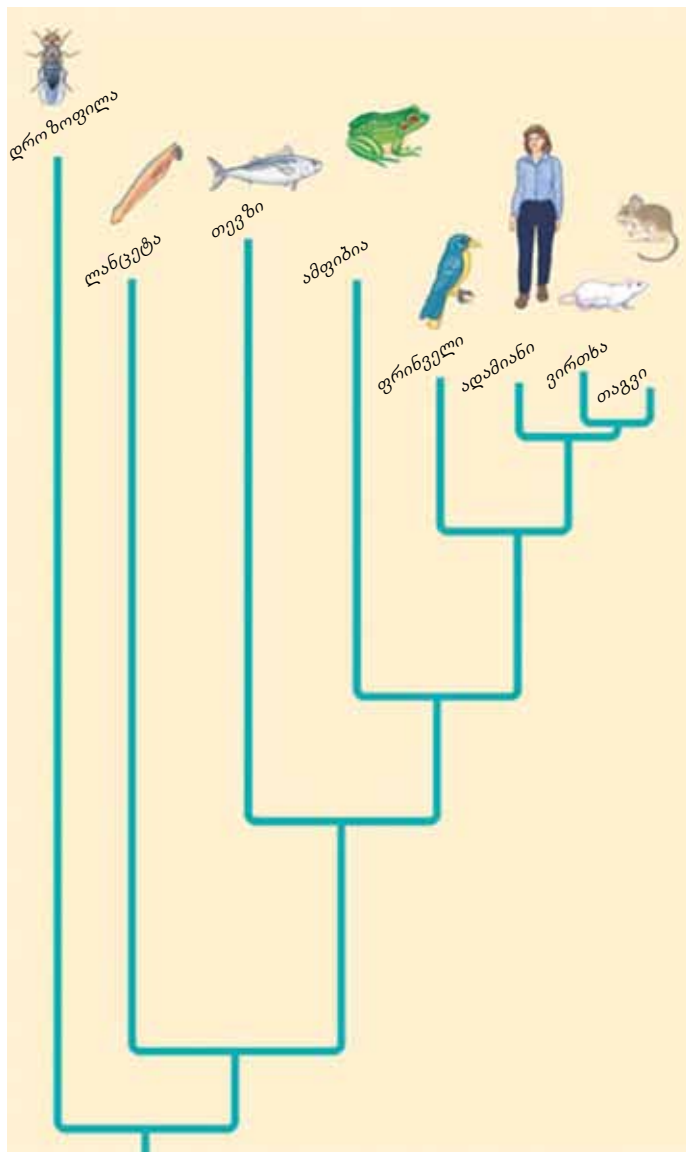
სისტემატიკოსები ჯგუფის შედარებისას იყენებენ შესაძარბელი ჯგუფის ფარგლებს გარეთ მდგომ სახეობებს. მათ ადარებენ ჯგუფის შიგნით მყოფ სახეობებს იმისთვის, რომ განასხვავონ საერთო წარმოქმნილი თვისებები და საერთო პრიმიტიული თვისებები. ამ მეთოდის განსახილველად, მოდით, შევადგინოთ ხუთი ხერხემლიანის კლადოგრამა. ეს ხერხემლიანებია: ლეოპარდი, კუ, სალამანდრა, ტუნა და მინოგა (წყლის უცხო ხერხემლიანი). საფუძველს შედარებისთვის უნდა წარმოქმნიდეს **ჯგუფის ფარგლებს გარეთა სახეობა**. ეს არის სახეობა ან სახეობათა ჯგუფი, რომლებიც ახლოს

ენათესავეებიან **ჯგუფის შიგნით მყოფ სახეობებს**, ანუ იმ სხვადასხვა სახეობებს, რომლებსაც ჩვენ ვსწავლობთ. ჯგუფის ფარგლებს გარეთ მყოფი სახეობა ნაკლებად ენათესავენა ჯგუფის ფარგლებში მყოფ სახეობებს, ვიდრე ჯგუფის შიგნით მყოფი სახეობები სხვადასხვა თვისებების მიხედვით, (ანუ პალეონტოლოგიის, ემბრიონული განვითარების და გენების თანმიმდევრობის მიხედვით) ენათესავენა ერთმანეთს.

ჩვენს შემთხვევაში ჯგუფის ფარგლებს გარეთ მყოფი სახეობის კარგი არჩევანი არის ლანცეტა. ლანცეტა არის მცირე ზომის ცხოველი, რომელიც ბინადრობს ზღვის ნაპირებთან და (ხერხემლიანების მსგავსად) არის ტიპი ქორდიანების წევრი, მაგრამ არ აქვს ხერხემალი. ჯგუფგარე სახეობის ჯგუფშიდა სახეობებთან შედარებით შეგვიძლია დავინახოთ ჩვენი კლადოგრამის შენება.

ჯგუფგარე სახეობის შედარება ჯგუფშიდა სახეობებთან დაფუძნებულია იმის დაშვებაზე, რომ ორივეში, ჯგუფგარე სახეობაშიც და ჯგუფშიდა სახეობაშიც არსებული ჰომოლოგიები, უნდა იყვნენ ის პრიმიტიული თვისებები, რომლებიც წინ უსწრებენ ორივე ჯგუფის დათიშვას საერთო წინაპრისგან. ჩვენს შემთხვევაში, ასეთი თვისების მაგალითია სტრუქტურა, რომელსაც ნოტოქორდას ეძახიან. ეს არის მოქნილი ჭიმი, რომელიც გასდევს ცხოველის ზურგის მხარეს. ლანცეტებში ნოტოქორდა არსებობს მთელი მათი სიცოცხლის განმავლობაში, მაგრამ ხერხემლიანებში ნოტოქორდა არსებობს მხოლოდ ემბრიონული განვითარების პერიოდში.

შემდგომი განვითარების დროს ის იცვლება ხერხემლით. ჯგუფის შიდა სახეობები აჩვენებენ შერეულ, საერთო პრიმიტიულ და საერთო წარმოქმნილ თვისებებს. ჯგუფგარე სახეობის შედარება საშუალებას გვაძლევს, ყურადღება გავამახვილოთ ისეთ თვისებებზე, რომლებიც წარმოიქმნენ ხერხემლიანების ევოლუციის დროს განშტოებების სხვადასხვა წერტილებში. სურათი 25.11ა გვაძლევს ასეთი თვისებების ჩამონათვალს. გაითვალისწინეთ, რომ ჯგუფის შიგნით მყოფ ყველა ხერხემლიანს აქვს ხერხემალი; ეს არის ის საერთო



▲ სურათი 25.11 კლადოგრამის შექმნა.

პრიმიტიული თვისება, რომელიც წინაპარ ხერხემლიანს გააჩნდა, თუმცა ჯგუფგარე სახეობაში ეს თვისება არ არის. ახლა გაითვალისწინეთ, რომ მოძრავად შეერთებული ყბები არის თვისება, რომელიც არ აქვს მინოგებს, მაგრამ აქვს ჯგუფის შიგნით მყოფ ყველა სხვა წევრს; ეს თვისება გვეხმარება, დავადგინოთ ადრეული განშტოების ადგილი ხერხემლიანების კლადაში. **სურათი 25.11 ბ** ასევე აჩვენებს, თუ რა გზით გადავაქციოთ კლადოგრამაში ჰომოლოგიების ტაბულაში მოცემული მონაცემები.

გაითვალისწინეთ, რომ 25-ე სურათზე გამოსახული კლადოგრამა არ არის ფილოგენეტიკური ხე. ჩვენ შეიძლება ვიფიქროთ, რომ ის გვიყვება ევოლუციის ისტორიას, მაგრამ ფილოგენეტიკურ ხედ რომ გადავაქციოთ, დაგვჭირდება მეტი ინფორმაცია. მაგალითად იმისთვის, რომ გავიგოთ, როდის და

ტაქსონი

თვისება

ბალანი

ამნიოტური კვერცხი

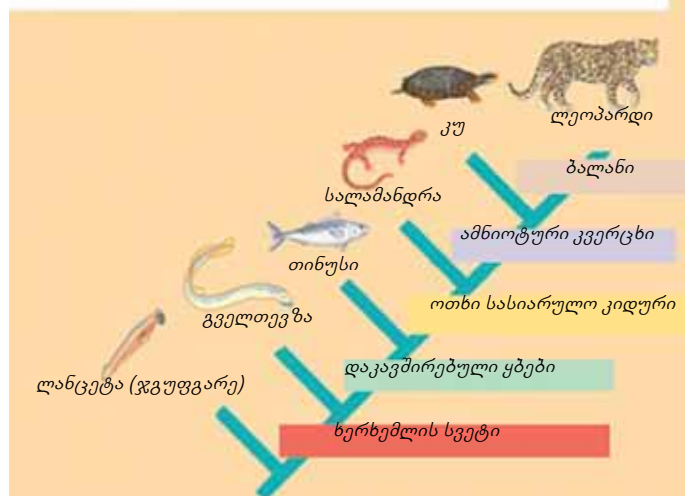
ოთხი სასიარულო კიდური

დაკავშირებული ყბები

ხერხემლის სვეტი

ლანცეტა (ჯგუფგარე)	გველთევზა	თინუსი	სალამანდრა	კუ	ლეოპარდი
0	0	0	0	0	1
0	0	0	0	1	1
0	0	0	1	1	1
0	0	1	1	1	1
0	1	1	1	1	1

(ა) თვისებების ცხრილი: 0 ნიშნავს, რომ კონკრეტული თვისება არ არსებობს, 1, რომ არსებობს.



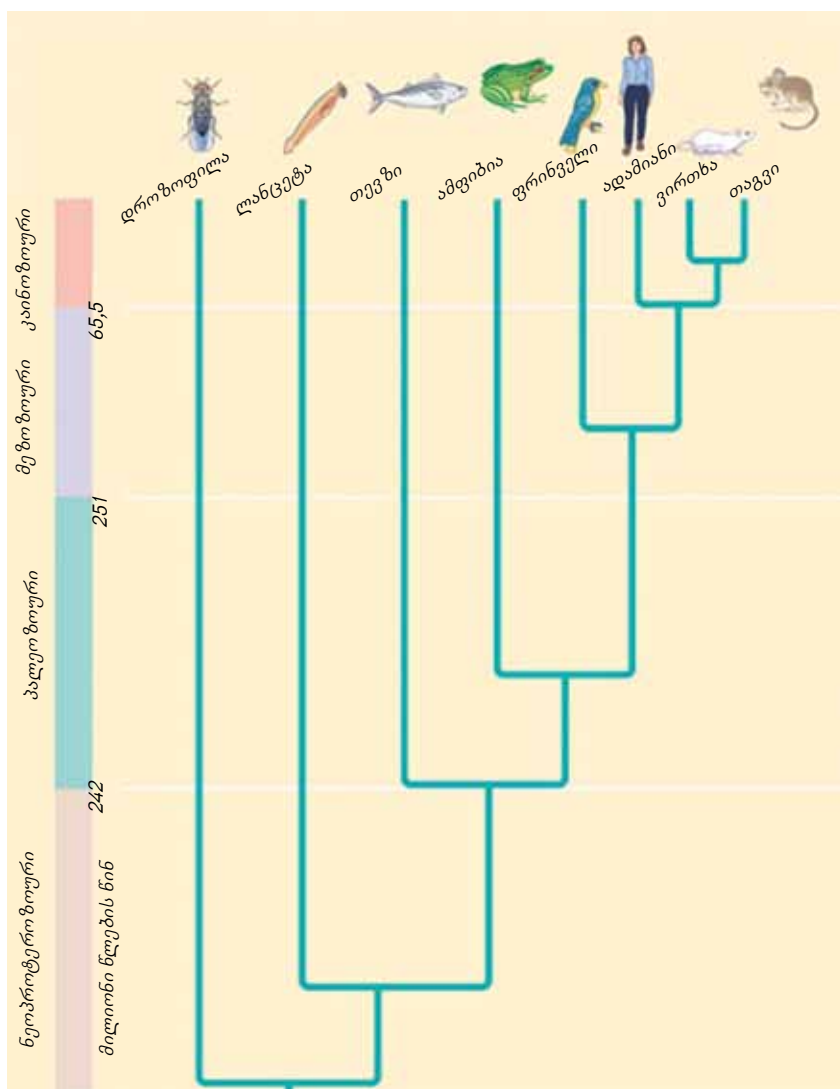
(ბ) კლადოგრამა: ამ ახალი თვისებების განაწილების ანალიზი ხერხემლიანების ფილოგენზს ასახავს.

▲ **სურათი 25.12 ფილოგრამა.** ამ ფილოგრამაზე მოცემულია ჰომოლოგიური *hedgehog* გენების დროზოფილას გენებთან შედარება. დროზოფილას გენები გამოყენებულია ჯგუფგარე გენების სახით. *hedgehog* გენი მნიშვნელოვანია განვითარებისთვის. განშტოების სხვადასხვა სიგრძე მიუთითებს, რომ სხვადასხვა ევოლუციურ შტოებში გენი ოდნავ განსხვავებული სიჩქარით განვითარდა.

რომელ ჯგუფში გაჩნდნენ პირველად ესა თუ ის თვისებები, უნდა განვიხილოთ ნამარხები.

ფილოგენეტიკური ხე და დროის დადგენა

ყველანაირი ქრონოლოგია, რომელსაც ფილოგენეტიკური ხის განშტოებებიდან ვიღებთ, უფრო ფარდობითია (ასზე ადრე ან მასზე გვიან), ვიდრე აბსოლუტური (მილიონი წლების წინ). მაგრამ ხის ზოგი ტიპი შეიძლება გამოვიყენოთ იმის-



▲ **სურათი 25.13 ულტრამეტრიული ხე.** ეს ულტრამეტრიული ხე აწყობილია იმავე მოლეკულური მონაცემების საფუძველზე, რომლებზეც ავანყვეთ 25.12 სურათზე გამოსახული ფილოგრამა. დატოვის დროის დასადგენად ეს მონაცემები ნამარხებიდან მიღებული მონაცემებით შეივსო. ამ ულტრამეტრულ ხეზე ხის ფუძიდან განშტოებული ყველა ტოტი ერთნაირი სიგრძისაა. ისინი გადიან განსხვავებული სიგრძის ვერტიკალურ სეგმენტებს, რომლებსაც განშტოების ბოლოში განლაგებულ წარწერებამდე მივყავართ. ხეზე ჩანს, რომ ყველა ეს ხაზი საერთო წინაპრიდან დროის ერთსა და იმავე მონაკვეთში განვითარდა. გაითალისწინეთ, რომ, ხის ყოველი განშტოების წერტილიდან მაღლა ერთი და იგივე სიგრძის ორი განშტოება ვრცელდება, რაც საერთო წინაპრიდან დათიშვის ერთსა და იმავე დროზე მიუთითებს. ხის ფესვი ემთხვევა დროს, საიდანაც ნამარხები არა გვაქვს. ამიტომ, მისი წარმოქმნისა და არსებობის პერიოდი ნაკლებად სარწმუნოა.

ვის, რომ უფრო სპეციფიური ინფორმაცია მივიღოთ განვითარების დროის შესახებ: ფილოგრამა გვაძლევს ინფორმაციას იმ მოვლენების თანმიმდევრობაზე, რომლებიც ერთმანეთს ენათესავენ. ულტრამეტრული ხეები გვაძლევს ინფორმაციას იმ დროზე, სადაც მოხდა ესა თუ ის მოვლენა.

ფილოგრამა

ფილოგრამაზე განშტოების სიგრძის მემკვიდრეობით ვიგებთ იმ ცვლილებების რიცხვს, რომელიც მოხდა დნმ-ის თანმიმდევრობაში ამ ევოლუციურ ხაზში (სურათი 25.12). გაითვალისწინეთ, რომ 25.12 სურათზე მოცემულ ფილოგრამაზე ვერტიკალური ხაზების მთლიანი სიგრძე განშტოების ადგილიდან წვერამდე ნაკლებია, ვიდრე იმ ხაზის, რომელსაც მივყავართ ჯგუფის გარეთ მყოფ სახეობამდე, ანუ ხილის ბუზ დროზოფილამდე. ეს მეტყველებს იმაზე, რომ დროზოფილას ხაზში მეტი გენეტიკური ცვლილება მოხდა, ვიდრე ფრინველებისა და ძუძუმწოვრების ხაზებში, მათი დათიშვის შემდეგ. მოგვიანებით ამ თავში წაიკითხავთ, როგორ ადგენენ დროს, რომელიც საჭირო იყო, რომ დნმ-ის და რნმ-ის თანმიმდევრობაში მომხდარიყო ცვლილებების გარკვეული რაოდენობა.

ულტრამეტრული ხეები

მიუხედავად იმისა, რომ ფილოგრამაზე გამოხატულ განშტოებებს შიძლება განსხვავებული სიგრძე ჰქონდეთ, საერთო წინაპრის შთამომავალი ყველა განსხვავებული ხაზი არსებობს ერთი და იგივე დროის განმავლობაში. მაგალითად: ადამიანებსა და ბაქტერიებს ჰყავდა საერთო წინაპარი, რომელიც ცოცხლობდა 3 მილიარდ წელზე მეტი ხნის წინ.

ფაქტები ადასტურებს, რომ ეს წინაპარი იყო ერთუჯრედიანი პროკარიოტი. ბუნებრივია, რომ ის უფრო ჰგავდა ბაქტერიას, ვიდრე თანამედროვე ადამიანს. თუმცა თანამედროვე ბაქტერიები სტრუქტურულად შედარებით მცირედ შეიცვალნენ საერთო წინაპრისგან განვითარების შემდეგ, მათ ევოლუციურ ხაზშიც გავიდა ევოლუციის 3 მილიარდ წელზე მეტი. ასევე 3 მილიარდ წელზე მეტი მიმდინარეობს ევოლუცია ეუკარიოტების ხაზში, რომელიც ადამიანს მოიცავს. დროის ეს ერთნაირი მონაკვეთი აისახება **ულტრამეტრულ ხეზე**. დატოვა ულტრამეტრულ ხეზე იგივეა, როგორიც ფილოგრამაზე, მაგრამ საერთო წინაპრიდან წარმოშობილი და თანამედროვე სახეობებამდე მოსული ყველა განშტოება არის ერთნაირი სიგრძის (**სურათი 25.13**).

ულტრამეტრული ხეები არ შეიცავს ინფორმაციას ევოლუციის განსხვავებულ სიჩქარეზე. ამის ნახვა შეიძლება ფილოგრამაში. ულტრამეტრულ ხეებს შეუძლიათ ნამარხებიდან მიღებული მონაცემები ასახონ. ამის საშუალებით შეიძლება შესაბამისი დატოვის წერტილი მოვათავსოთ გეოლოგიური დროის კონტექსტში.

მაქსიმალური ეკონომიურობა და მაქსიმალური მსგავსება

ვინაიდან დნმ-ის თანმიმდევრობაზე არსებული მონაცემების რაოდენობა იზრდება, შესაძლებელი ხდება უფრო მეტი სახეობის დაკავშირება. ამასთან უფრო ძნელი ხდება ისეთი ფილოგენეტიკური ხის აგება, რომელიც უკეთ ასახავს ევოლუციურ ისტორიას. ვთქვათ, ატარებთ 50 სახეობის ანალიზს. არსებობს 3×10^{76} განსხვავებული გზა, რომ დავალაგოთ ეს 50 სახეობა და მივიღოთ ფილოგენეტიკური ხე! საკითხავია, ამ უზარმაზარი ტყის რომელი ხე უკეთ ასახავს ნამდვილ ფილოგენიას? სისტემატიკოსები ვერასდროს იტყვიან დარწმუნებით, რომელი ხეა საუკეთესო ამ უზარმაზარ რაოდენობაში. მაგრამ მათ შეუძლიათ, შეამცირონ შესაძლებლობების რაოდენობა, თუ მიმართავენ მაქსიმალური ეკონომიისა და მაქსიმალური მიმსგავსების პრინციპს.

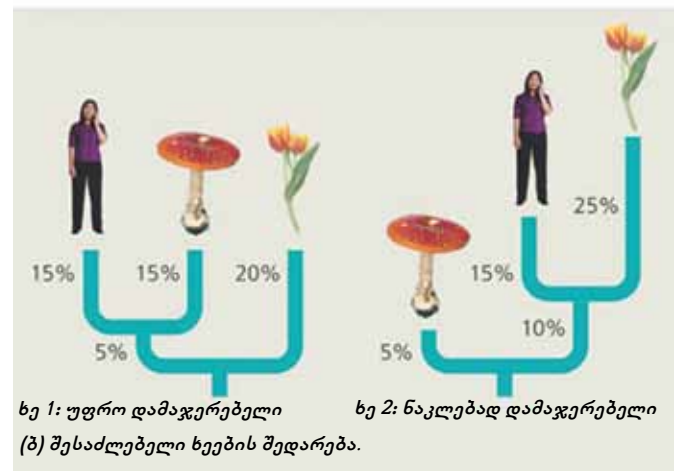
მაქსიმალური ეკონომიის პრინციპის თანახმად, პირველად უნდა განვიხილოთ ფაქტებით დადასტურებული ყველაზე მარტივი ახსნა (ეკონომიის პრინციპის ასევე ეძახიან ოკამის სამართებელს, მეთოთხმეტე საუკუნის ინგლისელი ფილოსოფოსის უილიამ ოკამის საპატივცემულოდ. მან წარმოადგინა პრობლემის გადანწყვეტის მინიმალისტური გზა არააუცილებელი სირთულეების “ამოპარსვის” მეშვეობით). მორფოლოგიურ თვისებებზე დაფუძნებული ხეების შემთხვევაში, ყველაზე ეკონომიური ხე იქნება ის, რომლის ასაგებად საკმარისია მცირე რაოდენობის ევოლუციური მოვლენები. ამავე დროს ევოლუციური მოვლენების რაოდენობა საკმარისი უნდა იყოს, რომ ხემ ასახოს საერთო მეორეული თვისებები. დნმ-ის თანმიმდევრობაზე დაფუძნებული ფილოგრამის შემთხვევაში, ყველაზე ეკონომიური ხე იქნება ის, რომელიც დაფუძნებულია თანმიმდევრობების რაოდენობის მცირე ცვლილებაზე.

მაქსიმალური მიმსგავსების პრინციპი ამტკიცებს, რომ თუ გვაქვს გარკვეული ნესი, რომლის მიხედვით, დნმ იცვლება დროის განმავლობაში, შეიძლება მოიძებნოს ისეთი ხე, რომელიც ყველაზე ზუსტად ასახავს ევოლუციური ცვლილებების თანმიმდევრობას. მაქსიმალური მიმსგავსების პრინციპი იყენებს ყველა შესაძლებელ ინფორმაციას. უფრო მეტად შესაძლებელი და ნაკლებად შესაძლებელი ხეების მარტივი მაგალითია ფილოგენეტიკური კავშირების დადგენა ადამიანს, სოკოსა და ტიტას შორის. დავუბრუნდეთ ამ მაგალითს. 25.14 სურათზე გამოსახულია ამ სამი სახეობის ერთნაირად ეკონომიური, ორი შესაძლებელი ხე. პირველ ხეზე ადამიანი უფრო ახლოს ენათესავება სოკოს, მეორე ხის შემთხვევაში, ადამიანი უფრო ახლოს ენათესავება ტიტას. თუ დავუშვებთ, რომ დნმ-ის ცვლილებები საერთო წინაპრიდან წამოსული ყველა ტოტის გასწვრივ ერთი სიჩქარით მიმდინარეობდა, მაშინ უფრო მოსალოდნელია პირველი ხე.

თუ დავუშვებთ მეორე ხეს, რაც ასევე შესაძლებელია, მაშინ უნდა მივიღოთ, რომ სოკოს კლადაში ევოლუციის სიჩქარე ძალიან შენელდა, ტიტას კლადაში კი ძალიან დაჩქარდა. იმის გათვალისწინებით, რომ განვითარების ერთნაირი სიჩქარე უფრო ჩვეულებრივი მოვლენაა, ვიდრე განსხვავებული, უფრო მოსალოდნელია პირველი ხის ვარიანტი. მაღე დავი-

	ადამიანი	სოკო	ტიტა
ადამიანი	0	30%	40%
სოკო		0	40%
ტიტა			0

(ა) თანმიმდევრობის შორის პროცენტული სხვაობა



▲ გვ. 501. სურათი 25.14 სხვადასხვა მიმსგავსების მქონე ხეები. ეს ხეები დაფუძნებულია ადამიანის, სოკოსა და ტიტას გენების შორის პროცენტულ სხვაობაზე (ა). შეგვიძლია შევადგინოთ ტოტების ერთნაირი სიგრძის მქონე ორი ფილოგრამა (ბ). ხეზე დათიშვის წერტილების პროცენტების ჯამი (ა)–ზე გამოსახული პროცენტების ჯამის ტოლია. მაგალითად; პირველი ხის შემთხვევაში ადამიანი-ტიტას დათიშვა უდრის $15\% + 5\% + 20\% = 40\%$. მეორე ხის შემთხვევაში ეს დათიშვა ასევე უდრის 40% ($15\% + 25\%$). იმის გათვალისწინებით, რომ სხვადასხვა ტოტში გენების ევოლუცია ერთი სიჩქარით მიმდინარეობს, პირველი ხე უფრო ახლოა სინამდვილესთან, ვიდრე მეორე.

ნახავთ, რომ სხვადასხვა ევოლუციურ ხაზში მრავალი გენის ევოლუცია შედარებით თანაბარი სიჩქარით მიმდინარეობს. მაგრამ უნდა გავითვალისწინოთ, რომ თუ გამოჩნდება განვითარების არათანაბარი სიჩქარის არსებობის ახალი მონაცემები, მეორე ხე გახდება უფრო მოსალოდნელი! ხის ტიპის ალბათობა დამოკიდებულია იმ დაშვებაზე, რომელზეც ის აგებულია.

მაქსიმალურად ეკონომიური და უფრო დამაჯერებელი ხეების მოძიებისთვის მრავალი კომპიუტერული პროგრამა შეიქმნა, ეს პროცესი შემდეგ პრინციპებს ეყრდნობა:

1. “დისტანციური” მეთოდების საშუალებით ხდება ყველა თანმიმდევრობის შორის ყველა პროცენტული სხვაობის ჯამის მინიმიზაცია.

2. უფრო რთული, თვისებაზე დამყარებული, მეთოდების მეშვეობით ახდენენ ნუკლეოტიდური ფუძის ცვლილებების მიღებული რიცხვის მინიმიზაციას ან ყველა თანმიმდევრო-

სურათი 25.15

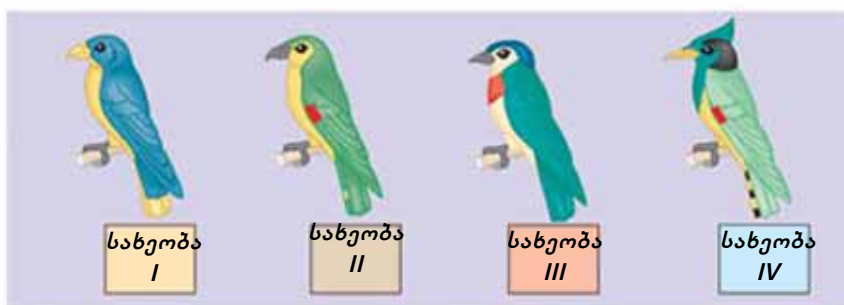
კვლევის მეთოდი: ეკონომიურობის პრინციპი მოლეკულური სისტემატიკის პრობლემების გადაწყვეტაში

გამოყენება

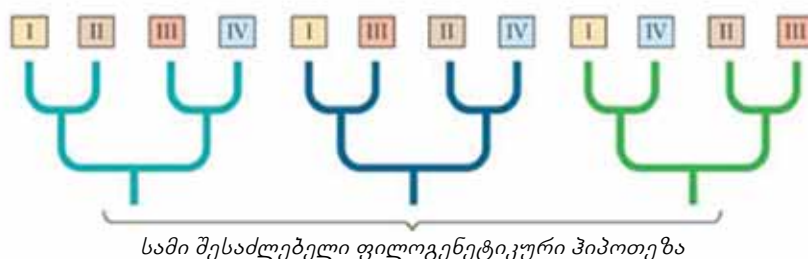
სახეობების ჯგუფის ფილოგენეზის დადგენისას სისტემატიკოსები ადარებენ ამ სახეობების მოლეკულურ მონაცემებს, სხვადასხვა ფილოგენეტიკური ჰიპოთეზის შემოწმებისთვის ყველაზე ეფექტურია პირველ რიგში მაქსიმალური ეკონომიურობის პრინციპის გამოყენება ანუ იმ ჰიპოთეზის დადგენა, რომელი ყველაზე ნაკლებ მოლეკულურ (ეოლუციურ) ცვლილებებს უშვებს.

მათოდ

მიჰყევი დანომრილ ნაბიჯებს, როცა ახლო მონათესავე ფრინველების ოთხი სახეობის ჰიპოთეტიკური ფილოგენეტიკური პრობლემის გადასაწყვეტისას მაქსიმალური ეკონომიურობის პრინციპს მიმართავ.



1. პირველ რიგში დავხაზოთ ყველა შესაძლებელი ფილოგენეზური ხე (ამ ოთხი სახეობის 15 შესაძლებელი ხიდან აქ მხოლოდ 3-ია ნაჩვენები)

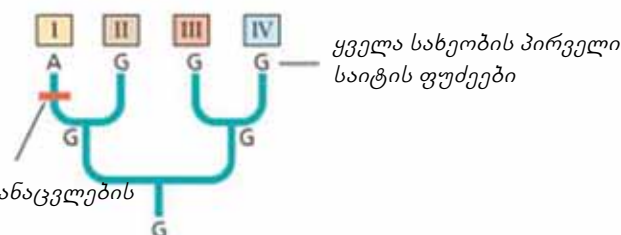


2. შეადგინეთ მონათესავე სახეობების მოლეკულური მონაცემების ცხრილი (ამ მარტივ შემთხვევაში გვაქვს დნმ-ის თანმიმდევრობა, რომელიც მხოლოდ 7 ფუძე ნუკლეოტიდისგან შედგება).

საიტები დნმ-ის თანმიმდევრობაში.

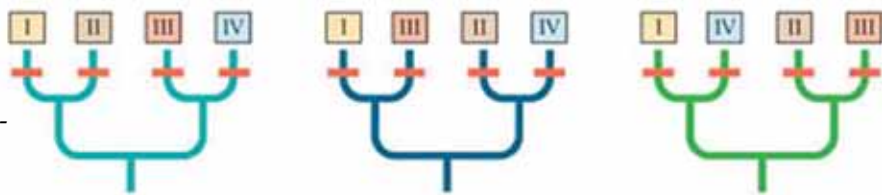
	1	2	3	4	5	6	7
I	A	G	G	G	G	G	T
II	G	G	G	A	G	G	G
III	G	A	G	G	A	A	T
IV	G	G	A	G	A	A	G

3. ახლა განვიხილოთ დნმ-ის თანმიმდევრობის პირველი საიტი. ფუძე ნუკლეოტიდის ჩანაცვლების ერთი შემთხვევა აღნიშნულია პარალელური ხაზით ტოტზე, რომელიც პირველ სახეობასთან მიდის და საკმარისია, რომ შევაფასოთ პირველი საიტის მონაცემები.

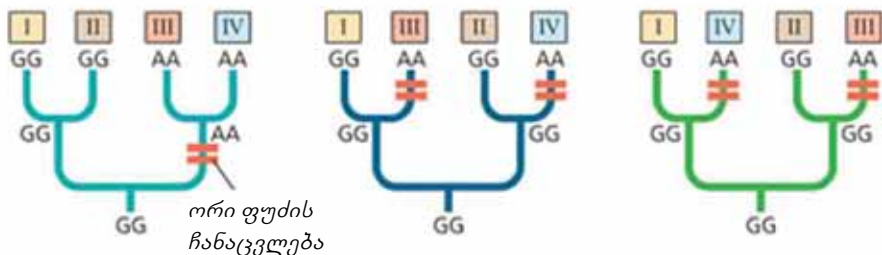


ნუკლეოტიდის ჩანაცვლების მოვლენა

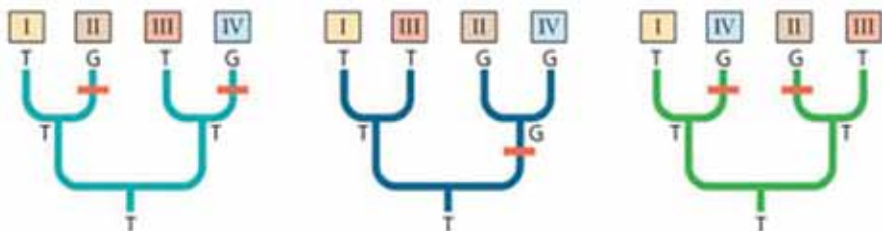
4. თუ გავაგრძელებთ 2,3 და 4 საიტებზე ფუძეების შედარებას, მივიღებთ, რომ ყოველი შესაძლებელი ხე ოთხი ფუძეთა ჩანაცვლების მოვლენის შეჯამებას ითხოვს (ეს მოვლენები პარალელური ხაზებით მონიშნულია). ასე რომ დნმ-ის ამ თანმიმდევრობის პირველი ოთხი საიტი არ გვეხმარება ყველაზე ეკონომიური ხის აგებაში.



5. მეხუთე და დიაგრამის შემთხვევაში ვიღებთ, რომ მეექვსე საიტების ანალიზის შემდეგ, ვხედავთ, რომ პირველი ხე ნაკლებ ევოლუციურ მოვლენას ითხოვს, ვიდრე დანარჩენი ორი (ფუძეთა ჩანაცვლების ორი მოვლენა ოთხის ნაცვლად). გაითვალისწინეთ: ამ დიაგრამის შემთხვევაში ვუშვებთ, რომ საერთო წინაპარს, მეხუთე და მეექვსე საიტებზე ჰქონდა . მაგრამ მაშინაც, თუ დავინყებთ წინაპრით, პირველი ხე მაინც მხოლოდ ორ ჩანაცვლებას ითხოვს, მაშინ როცა სხვა ჰიპოთეზების ასამუშავებლად უნდა დავუშვათ ოთხი ჩანაცვლება. გახსოვდეთ, რომ მაქსიმალური ეკონომია მოვლენების სრულ რაოდენობას ითვალისწინებს და არა მოვლენის კონკრეტულ თვისებას (რა ალბათობით მოხდება კონკრეტული ჩანაცვლება).

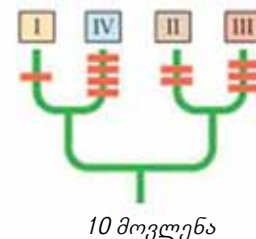
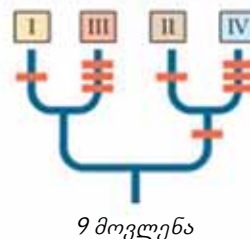
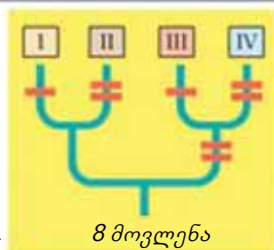


6. მეშვიდე საიტზე სამი ხე განსხვავდება ევოლუციური მოვლენების რაოდენობით, რომლებიც საჭიროა დნმ-ის მონაცემების ასახსნელად



შედეგები

ყველაზე პარსიმონიული (ეკონომიური) ხის დასადგენად, ვაჯამებთ ფუძე ჩანაცვლებების ყველა შემთხვევას, რომლებიც 3-6 მოვლენებში აღნიშნულია (არ დაგვავიწყდეთ პირველი საიტის ჩანაცვლებების ჩართვა, რომელიც წინა გვერდზეა მოცემული). ვასკენით, რომ პირველი ხე სამი შესაძლო ფილოგენეზიდან ყველაზე ეკონომიურია. (მაგრამ ახლა უნდა დავასრულოთ კვლევა 13 დანარჩენი შესაძლებელი მოვლენის შემთხვევით).



ბებში ეძებენ ფუძე ნუკლეოტიდის ყველაზე მოსალოდნელ ცვლილებებს.

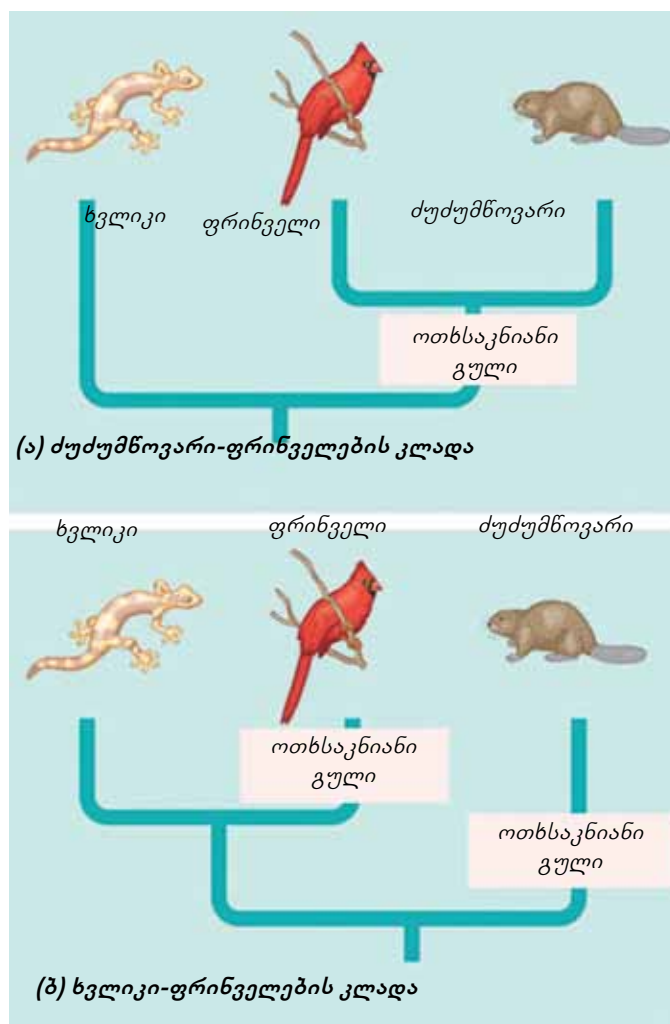
თუმცა მკვლევრები ვერასდროს იქნებიან დარწმუნებული იმაში, რომელი ხე უფრო სრულად ასახავს ფილოგენეზს, თუ დიდი რაოდენობით ზუსტ მონაცემს შეაგროვებენ და სხვადასხვა მეთოდს გამოყენებენ, როგორც წესი, მაინც მიიღებენ შესაბამის ხეებს. 25.15 სურათზე არის ერთ-ერთი ასეთი მეთოდის მაგალითი. ნაჩვენებია ყველაზე ეკონომიური მოლეკულური ხის ძებნის პროცესი ოთხსახეობიანი პრობლემის შემთხვევაში.

ფილოგენეტიკური ხე ატგორტ ჰიპოტეზა

ყოველი ფილოგენეტიკური ხე წარმოადგენს ჰიპოთეზას იმის შესახებ, როგორ ენათესავენებიან ერთმანეთს ამ ხეზე განლაგებული სხვადასხვა ორგანიზმები. ყველაზე კარგი ჰიპოთეზა არის ის, რომელიც საუკეთესოდ იყენებს ყველა არსებულ მონაცემს. ფილოგენეტიკური ჰიპოთეზა შეიძლება შეიცვალოს მაშინ, როცა ახალი მონაცემები აიძულებენ სისტემატიკოსებს გადაამოწმონ მათი ხეები. მართლაც ბევრი ძველი ფილოგენეტიკური ჰიპოთეზა შეიცვალა ან საერთოდ უარყოფილ იქნა მოლეკულური მეთოდების გაჩენის შემდეგ. მათი საშუალებით ამჯერად ადარებენ სახეობებს და განსაზღვრავენ ფილოგენეზს.

ხშირად, საპირისპირო ინფორმაციის უქონლობის შემთხვევაში, ყველაზე ეკონომიური ხე ამავე დროს ყველაზე მოსალოდნელია. მაგრამ ზოგჯერ გვაქვს სარწმუნო მონაცემები იმისა, რომ საუკეთესო ჰიპოთეზა არ არის ყველაზე ეკონომიური (სურათი 25.16). ბუნება ყოველთვის არ იყენებს ყველაზე მარტივ გზას. შესაძლებელია, რომ ჩვენს მიერ ტაქსონის დასახარისხებლად გამოყენებული გარკვეული მორფოლოგიური ან მოლეკულური თვისებები სინამდვილეში რამდენჯერმე გაჩნდნენ. მაგალითად, ორივეს, ფრინველებსაც და ძუძუმწოვრებს ოთხსაკნიანი გული აქვთ, მაშინ, როცა ხვლიკებს, გველებს, კუსა და ნიანგებს აქვთ სამსაკნიანი გული (იხილეთ თავი 42). ეკონომიური მოდელიდან გამომდინარეობს, რომ ოთხსაკნიანი გული ერთხელ განვითარდა და ის ჰქონდა ფრინველებისა და ძუძუმწოვრების საერთო წინაპარს, მაგრამ არ ჰქონდა ხვლიკების, გველების, კუსა და ნიანგის საერთო წინაპარს. თუმცა მრავალრიცხოვანი მონაცემები ადასტურებს, რომ ფრინველები უფრო ახლოს დგანან ხვლიკებთან, გველებთან, კუსთან და ნიანგთან, ვიდრე ძუძუმწოვრებთან. ასე რომ, ოთხსაკნიანი გული, როგორც ჩანს გვ. 504. **სურათი 25.16 პარსიმონია და ანალოგია/ჰომოლოგიების მახე.** თუ ჩავთვლით, რომ ფრინველებისა და ძუძუმწოვრების ოთხსაკნიანი გული ჰომოლოგიურია და არა ანალოგიური და ამავე დროს სხვა ინფორმაციას არ გამოვიყენებთ, მაშინ ყველაზე ეკონომიური (ა) სურათზე გამოსახული ხე იქნება. სინამდვილეში უამრავი მონაცემებით დასტურდება ჰიპოთეზა, რომ ფრინველები და ხვლიკები უფრო ახლოს ენათესავენებიან ერთმანეთს, ვიდრე ფრინველები და ძუძუმწოვრები. ოთხსაკნიანი გული კი არაერთხელ განვითარდა, რაც ასახულია (ბ) ხეზე.

ფრინველებში და ძუძუმწოვრებში დამოუკიდებლად განვითარდა. მართლაც, კვლევამ აჩვენა, რომ ფრინველებისა და



ძუძუმწოვრების ოთხსაკნიანი გული განვითარდა განსხვავებულად. ეს ეთანხმება ჰიპოთეზას, რომ ის დამოუკიდებლად განვითარდა. ცხადია, რომ 25.16ა სურათზე გამოსახული ეკონომიური ხე არ ეთანხმება ამ ფაქტს, მაშინ როცა 25.16ბ სურათზე გამოსახული ნაკლებად ეკონომიური ხე ეთანხმება ამ ფაქტებს.

ამ შემთხვევაში პრობლემა გვაქვს არა ეკონომიურობის პრინციპთან, არამედ ანალოგია-ჰომოლოგიურ მოძღვრებასთან. ფრინველებისა და ძუძუმწოვრების ოთხსაკნიანი გული, როგორც ჩანს, არის ანალოგია, და არა ჰომოლოგია. შესაბამისი ცვლილებები, რომლებიც არსებობს ორი სახეობის დნმ-ის ფუძეების თანმიმდევრობაში ასევე შეიძლება იყოს დამოუკიდებლად განვითარებული. მაგრამ რაც უფრო მეტ ფუძეს განვიხილავთ, მით ნაკლებად მოსალოდნელია, რომ შესაბამისი ცვლილებები არის დამოუკიდებელი, და ეს უბრალო თანხვედრას. როცა ეკონომიის პრინციპს ვიყენებთ მოლეკულურ სისტემატიკაში, უკეთესია გამოვიყენოთ დნმ-ის უფრო ბევრი და გრძელი თანმიმდევრობა, ვიდრე უფრო მცირე და მოკლე. ასევე მორფოლოგიაში არსებული ანალოგიური მსგავსება ხანდახან ერევათ საერთო წარმოქმნილ (ჰომოლოგიურ) თვისებებთან. ნაკლებად მოსალოდნელია, რომ ერთი

ასეთი შეცდომა დაარღვევს ფილოგენეტიკურ ხეს, თუ ყოველი კლავა ხეზე განისაზღვრება რამდენიმე წარმოქმნილი თვისებით. ყველაზე მძლავრია ის ფილოგენეტიკური ჰიპოთეზები, რომლებიც დადსტურებულია მრავალი მოლეკულური და მორფოლოგიური თვალსაჩინოებით d

კანცეფცია 25.3

1. არის თუ არა თმა კარგი თვისება იმისთვის, რომ ძუძუმწოვრების დიდ კლავაში განვასხვავოთ უფრო მცირე კლავა, რომელიც ასევე შედის ძუძუმწოვრების კლასში? რატომ, ან რატომ არა?
2. რატომ ხდება, რომ ეკონომიური ხეების უმეტესობა არ წარმოადგენს ზუსტ ხერხს სახეობების გარკვეულ ჯგუფში ევოლუციური ნათესაური კავშირების დასადგენად.

კანცეფცია 25.4

ევოლუციური ისტორიის უმეტესი ნაწილი ჩაწერილია ორგანიზმის გენომში

ამ თავში წაიკითხეთ, რომ მოლეკულური სისტემატიკოსები ორგანიზმების ნათესაობის დასადგენად ერთმანეთს ადარებენ ამ ორგანიზმების ნუკლეინის მჟავებს ან სხვა მოლეკულებს. მოლეკულური სისტემატიკა არის ძვირფასი იარაღი ორგანიზმების ევოლუციური ისტორიის დასადგენად. მოლეკულური მიდგომით შეგვიძლია დავადგინოთ ფილოგენეტიკური ნათესაური კავშირი, რომლის დადგენა შეუძლებელია არა მოლეკულური მეთოდებით, მაგალითად შედარებითი ანატომიით. მოლეკულური სისტემატიკა გვეხმარება დავადგინოთ ევოლუციური კავშირი იმ ჯგუფებს შორის, რომლებიც მორფოლოგიურად საკმაოდ განსხვავებულები არიან. მაგალითად: ძუძუმწოვრები და ბაქტერია. ამ მეთოდებით შესაძლებელია ფილოგენეზის რეკონსტრუქცია ისეთი ორგანიზმების, რომელთა ნამარხები სულ არ არსებობენ. მაგალითად, თანამედროვე ბაქტერიებისა და სხვა მოკროორგანიზმების.

მოლეკულური სისტემატიკის წყალობით მეცნიერებს შეუძლიათ სახეობების გენეტიკური დათიშვის შედარება. მოლეკულური ბიოლოგიის დახმარებით შესაძლებელია გავავრცელოთ სისტემატიკა, სახეობის დონის მაღლა და დაბლა მყოფ ორგანიზმებზე და დავადგინოთ მათი ევოლუციური ნათესაური კავშირი. თუმცა მოლეკულური მეთოდების მეშვეობით ჩატარებული გამოკვლევები ხშირად არ არის სარწმუნო, განსაკუთრებით იმ შემთხვევებში, როცა ტაქსონის დათიშვა მოხდა შორეულ წარსულში, დაახლოებით ერთსა და იმავე დროს. სხვაობა ორგანიზმებს შორის შეიძლება იყოს ადვილად

დასანახი, მაგრამ ვერ დავადგენთ ახალი თვისებების გაჩენის თანმიმდევრობას.

მოლეკულური ხეების თვისებაა, ასახონ დროის გრძელი და მოკლე პერიოდები. ეს თვისება დამყარებულია იმ ფაქტზე, რომ სხვადასხვა გენი ერთ ევოლუციურ ხაზშიც კი სხვადასხვა დროს ჩნდება. მაგალითად, დნმ, რომელიც აკოდირებს რიბოსომულ რნმ-ს (რრნმ) იცვლება შედარებით ნელა. ამიტომ ასეული მილიონი წლის წინ დათიშული ტაქსონების გამოსაკვლევად მისაღებია ამ გენის დნმ-ის თანმიმდევრობების შედარება. რრნმ თანმიმდევრობის შესწავლის შედეგად დადგინდა, რომ სოკოები უფრო ახლოს ენათესავებიან ცხოველებს, ვიდრე მწვანე მცენარეებს (იხილეთ სურათი 25.2). საპირისპიროდ, მიტოქონდრიული დნმ (მტ-დნმ) შედარებით სწრაფად იცვლება. ის შეიძლება გამოვიყენოთ, რომ შევისწავლოთ შედარებით ახლახანს მომხდარი ევოლუციური მოვლენები. მკვლევრების ერთ-ერთმა ჯგუფმა მტ-დნმ თანმიმდევრობების საშუალებით გამოიკვლია მკვიდრი ამერიკელების ნათესაური კავშირი. მოლეკულური მეთოდებით დამტკიცდა მოსაზრება, რომ ტომი პიმა არიზონიდან, მაია მექსიკიდან და იანომამო ვენესუელიდან ახლო მონათესავე ტომები არიან. ალბათ ისინი არიან იმ პირველი იმიგრანტების შთამომავლები, რომლებმაც გადალახეს ბერინგის სრუტე და აზიიდან ამერიკაში გადავიდნენ დაახლოებით 13 000 წლის წინათ.

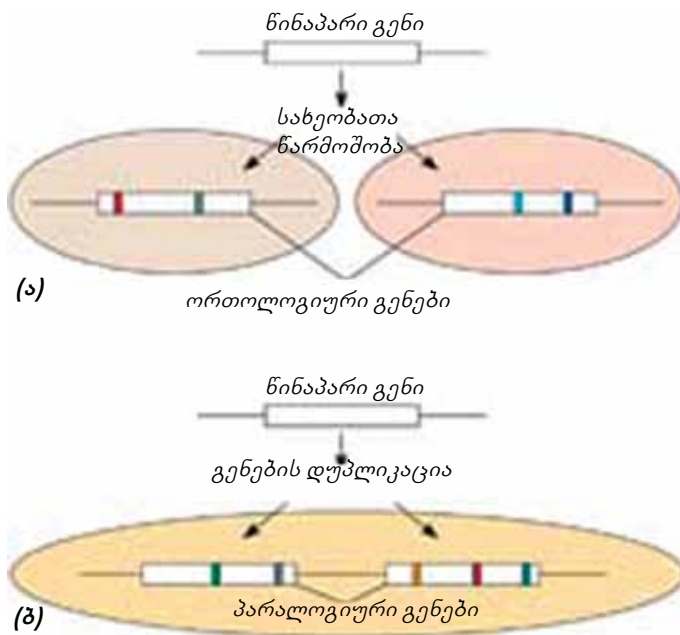
გენების დუპლიკაციები და გენთა ოჯახები

გენების დუპლიკაციები მუტაციის ერთ-ერთი ყველაზე მნიშვნელოვანი ნაირსახეობაა ევოლუციაში, ვინაიდან იგი ზრდის გენომში გენების რაოდენობას და შემდგომი ევოლუციური ცვლილებების შესაძლებლობას იძლევა. ახლა შეიძლება დეტალურად განხვიხილოთ გენის დუპლიკაციის მოლეკულური ფილოგენეზი და დუპლიკაციის გავლენა გენომის ევოლუციაზე. ეს ფილოგენეზი შეიძლება მოვარგოთ გამოვრებად დუპლიკაციებს, რომლებიც აისახება გენების ოჯახებზე. გენთა ოჯახი არის ორგანიზმის გენომში მონათესავე გენების ჯგუფი (იხილეთ სურათი 19.17). ისევე როგორც სხვადასხვა სახეობის ჰომოლოგიურ გენებს, დუპლიცირებულ გენებსაც აქვთ საერთო წინაპარი. ამ ტიპის ჰომოლოგიურ გენებს ჩვენ სხვადასხვა სახელებით განვასხვავებთ: ორთოლოგიური გენები და პარალოგიური გენები.

ტერმინი **ორთოლოგიური გენები** (ბერძნულიდან ორტჰოს – სწორი) არის ის ჰომოლოგიური გენები, რომლებიც პირდაპირი ხაზით გადაეცემიან ერთი თაობიდან მეორე თაობას, მაგრამ სახეობათა წარმოქმნის გამო სხვადასხვა გენოფონდებში წყდება (სურათი 25.17ა). ადამიანისა და თაგვის ქ ჰემოგლობინის გენები ორთოლოგიურები არიან.

პარალოგიური გენები (ბერძნულიდან პარა – რალაცის ერთ მხარეს) გენების დუპლიკაციის შედეგია. ისინი გენომში ერთ ასლზე მეტი რაოდენობით არსებობენ (სურათი 25.17ბ). 23 თავში იყო მოყვანილი ამის მაგალითი: ყნოსვის რეცეპტორის გენებმა ხერხემლიან ცხოველებში გაიარეს გენების დუპლიკაციის მრავალი შემთხვევა. ადამიანსა და თაგვს აქვთ 1 000 მეტი პარალოგიური გენი, ანუ საკმაოდ დიდი ოჯახი.

გენომის შემადგენელი გენების უმეტესობა ამ ორი ტიპი



▲ **სურათი 25.17 ჰომოლოგიური გენების ორი ტიპი.** ფერადი ხაზებით აღნიშნულია გენების რეგიონი, სადაც გროვდება სხვაობა ფუნქციების თანმიმდევრობაში. ორთოლოგიური გენების დათითვა ხდება მხოლოდ სახეობათა წარმოქმნის შემდეგ, მაშინ, როცა პარალოგიური გენების დათითვა ხდება ერთი ევოლუციური ხაზის ფარგლებში.

ჰომოლოგიების ამსახველია. გაითვალისწინეთ, რომ ორთოლოგიური გენების დათითვა ხდება მხოლოდ სახეობის წარმოქმნის შემდეგ. ამიტომ ეს გენები მოიძებნება დაცილებულ გენოფონდებში. მაგალითად: ადამიანსა და თაგვს ორივეს აქვთ ერთი ქ ჰემოგლობინის გენი. ეს გენები ემსახურება ერთსა და იმავე ფუნქციას, მაგრამ საერთო წინაპრის არსებობის შემდეგ მათი თანმიმდევრობები დაითითა. პარალოგიური გენების დათითვა მაშინაც შეიძლება მოხდეს, თუ ისინი ერთ და იმავე გენოფონდში არიან, ვინაიდან გენომში არსებობს მათი ერთზე მეტი ასლი. პარალოგიური გენები, რომლებიც ადამიანებში ქმნიან ყნოსვის რეცეპტორის გენების ოჯახს, დაითითნენ ჩვენი გრძელი ევოლუციური ისტორიის განმავლობაში. ამჯერად ისინი მუშაობენ იმ ცილების დასადგენად, რომლებიც განსაზღვრავენ ჩვენს მგრძოებლობას მრავალი სურნელის მიმართ. ამ გენების მეშვეობით ჩვენ ვარჩევთ საკვების სუნსაც და სასქესო ფერომონებსაც.

გენომის ევოლუცია

ახლა, როცა შეგვიძლია შევადაროთ განსხვავებული ორგანიზმების მთლიანი გენომები, ჩვენი საკუთარი გენომის ჩათვლით, ჩნდება ორი აღსანიშნავი მოვლენა. პირველი: ორთოლოგიური გენები არიან ფართოდ გავრცელებულნი. ისინი შეიძლება ევოლუციის დიდ მანძილზე გავრცელდნენ. ადამიანისა და თაგვის გენების ოთხმოცდაცხრამეტი პროცენტი ნამდვილად ორთოლოგიურია. ჩვენი გენების 50% არის საფუარის გენების ორთოლოგიური. ამ შთამბეჭდავი მსგავსებიდან გამომდინარეობს, რომ ყველა ცოცხალმა ორგანიზმმა

გაიარა ბიოქიმიური განვითარების საერთო გზები.

მეორე: გენების რიცხვი დუპლიკაციის შედეგად არ გაიზარდა იგივე სიჩქარით, რა სიჩქარითაც გაიზარდა ფენოტიპური სირთულე. ადამიანს მხოლოდ ხუთჯერ მეტი გენი აქვს, ვიდრე საფუარს. ამ დროს საფუარი არის ერთუჯრედიანი ეუკარიოტი. საფუარის უჯრედებისგან განსხვავებით, ჩვენ გვაქვს დიდი, რთული ტვინი და ჩვენი სხეული შედგება 200 განსხვავებული ტიპის ქსოვილისგან. ჩნდება აზრი, რომ ადამიანის ბევრი გენი უფრო მრავალფეროვანია, ვიდრე საფუარის. ამ გენებს სხეულის სხვადასხვა ქსოვილში შეუძლიათ მრავალი დავალების შესრულება. ჩვენს წინ დგას დიდი და უაღრესად საინტერესო მეცნიერული გამოცანა: დავადგინოთ მექანიზმები, რომელთა მეშვეობით არსებობს ეს გენომური მრავალფეროვნება.

ჯანსაღი ცხოველი 25.4

1. ახსენით, როგორ ვიღებთ ორი სახეობის ცილების შედარებით მონაცემებს მათ ევოლუციურ ნათესაურ კავშირზე.
2. განასხვავეთ ორთოლოგიური და პარალოგიური გენები.

ჯანსაღი ცხოველი 25.5

მოლეკულური საათი გვჩვენებს დაჯადგინოთ ევოლუციური ცვლილების დრო

როგორც ამ თავის დასაწყისში ვთქვით, ევოლუციური ბიოლოგიის ერთ-ერთი მიზანია ყველა ცოცხალ ორგანიზმს შორის, ნამარხი ორგანიზმების ჩათვლით, ნათესაური კავშირის დადგენა. როცა მოლეკულურ ფილოგენეზს ვავრცელებთ ნამარხებზე, უნდა ვიმედოვნოთ, რომ ჩვენი დაშვება, როგორ ხდებოდა ცვლილებები მოლეკულურ დონეზე, სწორი იქნება.

მოლეკულური საათი

გავიხსენოთ მკვლევრების დასკვნა, რომ ჰავაის ვერცლის მცენარეების ალიანსის საერთო წინაპარი ცოცხლობდა დაახლოებით 5 მილიონი წლის წინათ. როგორ მივიდნენ ისინი ამ დასკვნამდე? ეს დასკვნა დამყარებულია **მოლეკულური საათის** კონცეფციაზე, ევოლუციური ცვლილებების აბსოლუტური დროის გაზომვაზე. ასევე იმ დაკვირვებაზე, რომ ზოგი გენი და გენომის სხვა რეგიონები განიცდიან ევოლუციას მუდმივი ინტენსივობით (ტემპით). მოლეკულური საათის საფუძვლად უდევს ის აზრი, რომ ორთოლოგიურ გენებში ნუკლეოტიდური ჩანაცვლების რიცხვი იმ დროის პროპორციულია, რომელიც გავიდა სახეობების საერთო წინაპრისგან

დათიშვის შემდეგ. პარალოგიური გენების შემთხვევაში ჩანაცვლებების რიცხვი იმ დროის პროპორციულია, რომელშიც მოხდა გენების დუპლიკაცია.

ჩვენ შეგვიძლია იმ გენის მოლეკულური საათის გრადუირება, რომელსაც ევოლუციის სარწმუნო საშუალო სიჩქარე აქვს. ამისთვის უნდა შევადგინოთ გრაფიკი. დავაკავშიროთ ნუკლეოტიდური სხვაობის რიცხვი, ევოლუციური დატოტვის წერტილების დროსთან. ევოლუციური დატოტვის დრო ცნობილია ნამარხებიდან. გრაფიკის ხაზი აჩვენებს მოლეკულური საათის ევოლუციის სიჩქარეს. ის შეიძლება შემდეგ გამოვიყენოთ იმ ევოლუციური მოვლენების დროის დასადგენად, რომელთა დროის დადგენა შეუძლებელია ნამარხებიდან. მაგალითად: ვერცხლის მცენარეების ალიანსის დაარსების დრო.

რა თქმა უნდა გენები დიდი სიზუსტით არ ასახავენ დროს. სინამდვილეში ზუსტად ვერ დავადგენთ, რომელ საათზე დაიწყო მუშაობა ან განვითარება გენომის ზოგმა ნაწილმა. შედარებით ზუსტი მოლეკულური საათის მქონე გენებიც კი მხოლოდ სტატისტიკის თვალსაზრისით არიან ზუსტი. ისინი ობიექტურად გვიჩვენებენ ნელი ცვლილებების საშუალო სიჩქარეს. დიდი დროის განმავლობაში კი შეიძლება ადგილი ჰქონდეს შემთხვევით გადახრებს ამ საშუალო სიჩქარიდან. იმ გენებშიც კი, რომლებიც საათის მსგავსად ზუსტად მუშაობენ, ამ საათის სიჩქარე სხვადასხვა გენში შეიძლება განსხვავებული იყოს. ზოგი გენი იცვლება მილიონჯერ უფრო სწრაფად, ვიდრე სხვები.

ნეიტრალური თეორია

ცვლილებების რეგულარობის წყალობით ზოგი გენი შეიძლება მოლეკულური საათის სახით გამოვიყენოთ. ცვლილებების რეგულარობა ზრდის იმის ალბათობას, რომ თანმიმდევრობებში მომხდარი მრავალი ცვლილება გენთა დრეიფის შედეგია. ეს ცვლილებები ძირითადად ნეიტრალურია. ისინი ადაპტაციებისთვის არც სასარგებლოა და არც მავნე.

1960 წელს ჯეკ კინგმა, თომას ჯუკმა (კალიფორნიის უნივერსიტეტი, ბერკლი) და მეთიუ კიმურამ (გენეტიკის ნაციონალური ინსტიტუტი, იაპონია) გამოაქვეყნეს სტატია, რომელშიც ამტკიცებენ **ნეიტრალურ თეორიას**. ისინი ამტკიცებდნენ, რომ ევოლუციური ცვლილებების უმეტესობა არ ახდენს გავლენას გენებზე და ცილებზე. ასე რომ, მათ არ აქვთ ეფექტი და მათზე არ მოქმედებს დარვინის გადარჩევა. კიმურა აღნიშნავდა, რომ მრავალი ახალი მუტაცია არის მავნე და ისინი მალევე ნადგურდებიან. მაგრამ თუ დანარჩენი მუტაციების უმეტესობა არის ნეიტრალური და მცირე ეფექტი აქვთ ან საერთოდ არ აქვთ ეფექტი, მაშინ მოლეკულური ცვლილებების სიჩქარე, საათის მსგავსად, მართლაც უნდა იყოს მუდმივი. სხვადასხვა გენში არსებული ცვლილების სიჩქარის სხვაობა არის იმის მაჩვენებელი, რამდენად მნიშვნელოვანია ესა თუ ის გენი. თუ გადარჩენისთვის აუცილებელია გენში ამინომჟავების ზუსტი თანმიმდევრობა, მუტაციური ცვლილებების უმეტესობა იქნება მავნე ორგანიზმისთვის და მხოლოდ რამდენიმეს ექნება ნეიტრალური ეფექტი. ამის შედეგად ასეთი გენები ნელა იცვლება. მაგრამ თუ ამინომჟავების ზუსტი თანმიმდევრობა არ არის ამდენად მნიშვნელოვანი,

მაშინ ახალი მუტაციების მხოლოდ ნაწილი იქნება მავნე, მუტაციების უმეტესობა კი ნეიტრალური იქნება. ასეთი გენები უფრო სწრაფად იცვლება.

მოლეკულურ საათთან დაკავშირებული სირთულეები

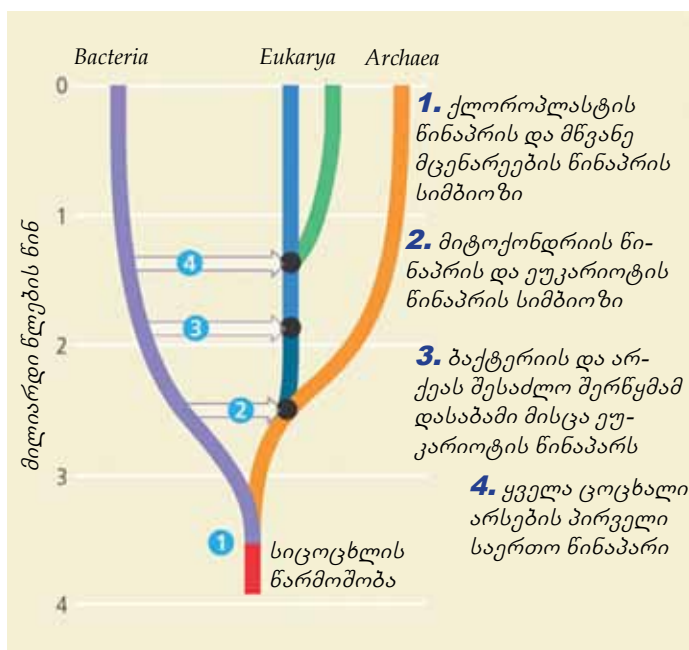
სინამდვილეში, მოლეკულური საათი არ მუშაობს ისე ზუსტად, როგორც ამას ნეიტრალური თეორია ამტკიცებს. ბევრი უზუსტობა, როგორც ჩანს, ბუნებრივი გადარჩევის შედეგია. ბუნებრივი გადარჩევის შედეგად დნმ-ში მომხდარ ზოგ ცვლილებას უპირატესობა აქვთ სხვა ცვლილებებთან შედარებით. ამიტომ, ზოგი მეცნიერი ვარაუდობს, შეიძლება თუ არა ევოლუციის დათარიღებისთვის მოლეკულური საათის გამოყენება. დიდი დებატები იმართება იმის თაობაზე, რამდენად ახდენს გავლენას ნეიტრალური გენეტიკური ცვლილებები დნმ-ის მრავალფეროვნებაზე. მართლაც, ახალი მონაცემებიდან გამომდინარეობს, რომ დროზოფილას ორ სახეობაში *შ. სიმულანს* და *შ. ყაკუბა* ამინომჟავების სხვაობის თითქმის ნახევარი არ არის ნეიტრალური.

ეს სხვაობა მიმართულია ბუნებრივი გადარჩევის შედეგია. თუმცა, თუ ევოლუციის სიჩქარე დროის ძალიან დიდი პერიოდის განმავლობაში იცვლება და ამავე დროს გვაქვს გადარჩევის გავლენა, ეს ორი ფაქტორი ერთად საშუალო სიდიდეს წარმოქმნის. ის გენებიც კი, რომელთა საათი არარეგულარულია, მუშაობენ როგორც გასული დროის მიახლოებითი მარკერები.

სხვა საკითხია, როცა მკვლევრები ცდილობენ, გაავრცელონ მოლეკულური საათი იმ დროზეც, რომელიც არ არის დოკუმენტირებული ნამარხებიდან. მართალია, ზოგი ნამარხი 3 მილიარდ წელზე მეტისაა, მაგრამ ეს ძალიან იშვიათი მოვლენაა. ნამარხების უმეტესობა 550 მილიონი წლით თარიღდება, მაგრამ მოლეკულური საათის გამოყენება ხდება იმ ევოლუციური დათიშვის დასათარიღებლად, რომელიც მილიარდ წელიწადზე ადრე მოხდა. ეს შესაძლებელია, თუ მივიღებთ, რომ საათი მთელი ამ დროის განმავლობაში ერთნაირად მუშაობდა. ასეთი დასკვნა კი ნაკლებად დამაჯერებელია.

ადამიანის იმუნოდეფიციტის ვირუსის წარმოშობის მოლეკულური საათი

ლოს ალამოსის (ახალი მეხიკო) ნაციონალური ლაბორატორიის მკვლევრებმა ბოლო დროს გამოიყენეს მოლეკულური საათი, რომ დაედგინათ ადამიანებში **IV ვირუსის** გაჩენის დრო. **IV ვირუსი** იწვევს შეძენილი იმუნოდეფიციტის სინდრომს. ფილოგენეტიკური ანალიზი აჩვენებს, რომ ის არის იმ ვირუსების შთამომავალი, რომლითაც ინფიცირდება შიმპანზე და სხვა პრიმატები (ამ ცხოველებში ვირუსი არ იწვევს შიდსის მსგავს არანაირ დაავადებას). როდის გადავიდა **IV ადამიანებზე**? ამ კითხვაზე არ არსებობს მარტივი პასუხი, ვინაიდან ვირუსი არაერთხელ გავრცელდა ადამიანებში. **IV-ის** გაჩენის მრავალი ფაქტი ასახულია ვირუსის მრავალ ხაზში (გენეტიკურ ტიპში). **IV** გენომი შედგება რნმ-სგან და სხვა რნმ-ის ვირუსების მსგავსად, იგი სწრაფად იცვლება.



▲ **სურათი 25.18** სიცოცხლის უნივერსალური ხე. ყველა ცოცხალი ორგანიზმი დაყოფილია სამ დომენად: ბაქტერია, არქეა და ეუკარია. ორგანიზმებზე ინფორმაციის დაგროვებასთან ერთად ხის აგებულების დეტალები იცვლება. მაგრამ ხის ძირითადი კონტურები ზუსტია და უცვლელია.

ყველაზე გავრცელებული ვირუსის ხაზი ადამიანებში არის IV-1. ზუსტად რომ განვსაზღვროთ IV-1-ით გამოწვეული ინფექციის დრო, მკვლევრები ადარებდნენ ეპიდემიის არსებობის სხვადასხვა დროის ვირუსის ნიმუშებს. ამ შედარებაში ჩართეს 1959 წლის ვირუსის არასრული თანმიმდევრობაც. ნიმუშები აჩვენებენ, რომ 1959 წლის შემდეგ ვირუსის განვითარება საკმაოდ ჰგავს საათის მუშაობის პრინციპს. ანუ დროის ერთეულში ხდებოდა რეგულარული ცვლილებები. მოლეკულური საათის პრინციპის დახმარებით მკვლევრებმა დაადგინეს, რომ IV-1-ით ადამიანის ინფიცირება პირველად მოხდა 1930-ან წლებში.

სიცოცხლის უნივერსალური ხე

1960-იან წლებში მკვლევრებმა პირველად გაშიფრეს გენეტიკური კოდი და აღმოაჩინეს, რომ ის სიცოცხლის ყველა ფორმისთვის უნივერსალურია. მათ დაასკვნეს, რომ ყველა დღევანდელ ორგანიზმს უნდა ჰყავდეს საერთო წინაპარი. დღეს სისტემატიკოსები ცდილობენ ყველა ორგანიზმის გაერთიანებას სიცოცხლის ხეში (**სურათი 25.18**).

მკვლევრები დნმ-ის მოლეკულის იმ რეგიონების იდენტიფიცირებისთვის, რომლებიც ამ ხის განშტოებების მოდელს გვაძლევენ, იყენებენ ორ შესაძლებელ კრიტერიუმს: პირველი, უნდა დადგინდეს ამ რეგიონების თანმიმდევრობები. მეორე, ამ რეგიონების ევოლუცია ისე ნელა უნდა მიმდინარეობდეს, რომ დღესაც შესაძლებელი იყოს საკმაოდ დამოკიდებული ორგანიზმების ჰომოლოგიების დადგენა. რიბოსომული რნმ-ის

ნაწილების მაკოდირებელი რრნმ-ის გენებიც ასევე უნდა აკმაყოფილებდნენ ამ მოთხოვნებს. უჯრედის ფუნქციონირებისთვის რრნმ გენებს ფუნდამენტური მნიშვნელობა აქვთ, ვინაიდან მათი მოლეკულური საათი ისე ნელა მიდის, რომ მათ შუძლიათ საფუძველი შეადგინონ სიცოცხლის უნივერსალური ხისთვის. ამ ხეს უფრო ახლოს და დეტალურად შემდეგ თავებში განვიხილავთ. ამჯერად კი უნდა გავაკეთოთ ორი შენიშვნა:

- 1. სიცოცხლის ხე შედგება სამი დიდი დომენისგან: ბაქტერია, არქეა და ეუკარია.** დომენი ბაქტერია მოიცავს დღეისთვის ცნობილი პროკარიოტების უმეტესობას, იმ ბაქტერიების ჩათვლით, რომლებიც ქლოროპლასტების და მიტოქონდრიის ახლო ნათესავები არიან (26 თავში განვიხილავთ ამ ორგანელების ბაქტერიულ წარმოშობის იდეას). მეორე დომენი — არქეა, შედგება პროკარიოტული ორგანიზმების სხვადასხვა ჯგუფისგან. ეს პროკარიოტები განსხვავებულ გარემოში ბინადრობენ. ზოგი არქეა ენერგიის რესურსად იყენებს წყალბადს, ზოგი დედამიწის ქერქში აღმოჩენილი ბუნებრივი აირის საბადოების ძირითადი რესურსია. ოცდამეშვიდე თავში უფრო დეტალურად განვიხილავთ ბაქტერიებს და არქეებს. მესამე დომენი, ეუკარია შედგება ყველა ორგანიზმისგან, რომლებსაც აქვთ უჯრედები და ნამდვილი ბირთვი. ამ დომენში შედიან ბევრი ერთუჯრედიანი ორგანიზმი, ისევე, როგორც მრავალუჯრედიანი მცენარეები, სოკოები და ცხოველები. ეს არის 28-34 თავების მთავარი თემა.
- 2. ამ დომენების ადრეული ისტორია დღემდე არ არის ცნობილი.** სამი დომენის მთლიანი გენომის შედარება აჩვენებს, რომ სიცოცხლის ისტორიის ადრეულ ეტაპზე სამივე დომენის ორგანიზმებში მოხდა გენების მნიშვნელოვანი ცვლილება. **მოხდა გენების ჰორიზონტალური გადაადგილება.** ამ დროს გენები ერთი გენომიდან მეორე გენომში გადადიან ან გადამტანი ელემენტების მეშვეობით, ან ერთი ორგანიზმების მიერ განსხვავებული ორგანიზმების შთანთქმის შედეგად. შეიძლება პირველი ეუკარიოტი ასეთი შთანთქმის შემდეგ გაჩენილიყო. ეს პროცესი ალბათ მოხდა წინაპარი ბაქტერიისა და წინაპარ არქეას შორის. ფილოგენეტიკური ხეები კი დაფუძნებულია იმ დაშვებაზე, რომ გენები ერთი თაობიდან მეორე თაობაში გადადიან ვერტიკალურად. მაშინ ჰორიზონტალური მოვლენების არსებობიდან გამომდინარეობს, რომ განსხვავებულ გენებზე დაყრდნობით აშენებული უნივერსალური ხეები ხშირად გვაძლევენ არათავსებად შედეგებს, განსაკუთრებით კი ხის ფუძესთან. ამის შედეგად ხის დეტალები მუდმივად გადაისინჯება. თუმცა დაყოფა სამ დიდ დომენად რჩება ხელუხლებელი იმის შემდეგ, რაც სისტემატიკოსებმა პირველად შექმნეს უნივერსალური ხის მთლიანი ფორმა.

შემდეგ ორ ნაწილში ჩვენ განვიხილავთ ბიოლოგიური მრავალფეროვნების ისტორიას და არსებულ მრავალფეროვნებას. ჩვენი კვლევა გაშუქდება ევოლუციის კონცეფციით და სისტემატიკით, რომელიც თქვენ ამ ნაწილში ისწავლეთ.

ჯანცუფცია 25.5

1. რა არის მოლეკულური საათი? რა დაშვება უდევს საფუძვლად მოლეკულური საათის გამოყენებას?
2. ახსენით, როგორ ხდება, რომ დნმ-ში მომხდარ ფუძე ნუკლეოტიდების ცვლილებებს არ აქვთ გავლენა ორგანიზმზე?

25-ე თავის შემოწმება

ბიბითადი ჯანცუფციის შემოწმება

ჯანცუფცია 25.1

ფილოგენეზის შესასწავლად აწარმოებენ მონაცემებს და მათი ანალიზი ხდება. ასევე საერთო წინაპრის ნამატების ანალიზი.

- ▶ **ნამატები** ნამატების შესწავლა დამყარებულია ნამატის ორგანიზმების შესწავლაზე. ნამატის ორგანიზმები მოიძებნებიან სხვადასხვა ასაკის გეოლოგიურ სტრატეგიაში. მათ აქვთ წინაპრის ის თვისებები, რომლებიც ამჟღავნებს დროს.
- ▶ **მორფოლოგიური და მოლეკულური ჰომოლოგიები** მსგავსი აგებულების ან დნმ-ის მსგავსი თანმიმდევრობის მქონე ორგანიზმები, როგორც წესი, უფრო ახლო ნათესავები არიან, ვიდრე განსხვავებული აგებულების და განსხვავებული დნმ-ის თანმიმდევრობის მქონე ორგანიზმები. მაგრამ ჰომოლოგია (საერთო წინაპართან მსგავსება) უნდა განვასხვავოთ ანალოგიისგან (მსგავსება, რომელიც წარმოიქმნება კონვერგენტული ევოლუციის შედეგად).

ჯანცუფცია 25.2

ფილოგენეტიკური სისტემატიკა აერთიანებს კლასიფიკაციას და ევოლუციის ისტორიას

- ▶ **ბინომინალური ნომენკლატურა** ლინეს სისტემის მიხედვით ორგანიზმს ერქმევა ორი ნაწილისგან შემდგარი სახელები: გვარი და სპეციფიკური ეპითეტი.

- ▶ **იერარქიული კლასიფიკაცია** ლინემ შემოიღო სისტემა, რომლის მიხედვით, უფრო მცირე კატეგორიებს ვაერთიანებთ უფრო დიდ კატეგორიებში.
- ▶ **კლასიფიკაციის და ფილოგენეტიკის ერთობა** სისტემატიკოსები ევოლუციურ კავშირებს გამოსახავენ დატოვილი ფილოგენეტიკური ხის სახით. ფილოგენეტიკური ხის აგებულება დამყარებულია სხვადასხვა მონაცემებზე, თვალსაჩინოებასა და მოსაზრებებზე.

ჯანცუფცია 25.3

ფილოგენეტიკური სისტემატიკის საფუძველზე აგებენ ევოლუციურ ხის ევოლუციური ხის აგებულება ევოლუციის ისტორიას

- ▶ **კლადისტიკა** კლადა არის სახეობების მონოფილეთური ჯგუფი. ჯგუფში შედის წინაპარი ორგანიზმი და მისი ყველა შთამომავალი. კლადისტიკური ანალიზის მიხედვით, კლადები განისაზღვრება ევოლუციური სიახლეების, ანუ საერთო წარმოქმნილი თვისებების მიხედვით. იდენტიფიცირება ხდება ჯგუფის შიგნით მყოფი სახეობების შედარებით ჯგუფგარე სახეობებთან. ჯგუფგარე სახეობას არ ახასიათებს საერთო წარმოქმნილი თვისება.
- ▶ **ფილოგენეტიკური ხე და დროის დადგენა** ფილოგენეტიკური ხის სიგრძე ასახავს ამ ევოლუციურ ხეზე ევოლუციური ცვლილებების რაოდენობას. ულტრამეტრული ხეების შემთხვევაში ევოლუციური დატოვილი გეოლოგიური დროის კონტექსტში განიხილება. როგორ შეიძლება ფილოგენეზის დადგენა ცილების შედარებით?
- ▶ **მაქსიმალური ეკონომიურობა და მაქსიმალური მსგავსება** ფილოგენეტიკურ ხეებს შორის ყველაზე ეკონომიური ხე არის ის, რომელიც ითხოვს ყველაზე ნაკლებ

ევოლუციურ ცვლილებებს. ყველაზე მსგავსი ხე არის ის, რომელიც ცვლილებებს ყველაზე სარწმუნოდ (მსგავსად) ასახავს.

- **ფილოგენეტიკური ხეები და ჰიპოთეზები** საუკეთესო ფილოგენეტიკური ჰიპოთეზები ეყრდნობიან მრავალ მორფოლოგიურ, მოლეკულურ მონაცემებს და ნამარხებს.

კონცეფცია 25.4

ფალოუციური ისტორიის უმეტესი ნაწილი ჩაწეტილია ორგანიზმის გენომში

- **გენების დუპლიკაცია და გენების ოჯახები** ორთოლოგიური გენები გენომში ერთი ასლით არის წარმოდგენილი. მათ შეუძლიათ დათიშვა მხოლოდ სახეობათა წარმოქმნის შემდეგ. პარალოგიური გენები წარმოიქმნება გენომში გენების დუპლიკაციის შემდეგ და შეუძლიათ კლადის ფარგლებში დათიშვა. ხშირად ისინი ერთ ფუნქციას იმატებენ.
- **გენომის ევოლუცია** ორთოლოგიური გენები ხშირად საერთოა შორეულად მონათესავე სახეობებში. სხვადასხვა სირთულის ორგანიზმის გენების რიცხვში არსებობს შედარებით მცირე ვარიაციები, რაც იმის მაჩვენებელია, რომ რთულ ორგანიზმებში გენები ძალიან მრავალმხვრივია და ყოველ გენს მრავალი ფუნქციის შესრულება შეუძლ

კონცეფცია 25.5

მოლეკულური საათი გვეჩმარება დავადგინოთ ფალოუციური ცვლილების დრო

- **მოლეკულური საათი** დნმ-ის ზოგი რეგიონის ფუძე თანმიმდევრობები იცვლება იმ სიჩქარით, რომლის მიხედვით შეგვიძლია დავადგინოთ, როდის მოხდა წარსულში ესა თუ ის მოვლენა. ეს მოლეკულური საათი შეიძლება შეიქმნას ნეიტრალური მუტაციების დაფიქსირების შედეგად. მაშინაც, როცა გადარჩევა გარკვეულ როლს თამაშობს, ბევრი გენი დროის დიდი მონაკვეთის განმავლობაში იცვლება საათის მსგავსი, რეგულარული სიჩქარით. მკვლევრებმა გაზომეს ზოგი გენის მოლეკულური საათი და აჩვენეს, რომ ის საკმაოდ მუდმივია. ვარაუდი სხვა გენების ცვლილების შესახებ ნაკლებად შესაძლებელია.
- **სიცოცხლის უნივერსალური ხე** სიცოცხლის ხე შედგება სამი დიდი კლადისგან (დომენისგან): ბაქტერია, არქეა და ეუკარია.

შეამოწმოთ საკუთარი ცოდნა

თვითშეფასება

1. თუ ადამიანი და პანდა ერთ კლასს ეკუთვნიან, მაშინ შესაძლებელია, რომ ისინი ეკუთვნიან ერთსა და იმავე
 - ა. რიგს
 - ბ. ტიპს
 - გ. ოჯახს
 - დ. გვარს
 - ე. სახეობას
2. სამ თანამედროვე X, და d სახეობას ჰყავთ საერთო წინაპარი თ, იგივე წინაპარი ჰყავთ გადაშენებულ და V სახეობებს. თ, X, და d სახეობების დაჯგუფება ქმნის
 - ა. ნამდვილ ტაქსონს
 - ბ. მონოფილეტურ კლადს
 - გ. პარაფილეტურ ჯგუფს
 - დ. პოლიფილეტურ ჯგუფს
 - ე. შიდა ჯგუფს, რომელიც შესადარებელია ჯგუფგარეშე სახეობასთან
3. ფრინველებს და ძუძუმწოვრებს ოთხი გამონაზარდი (კიდური) აქვთ, ეს ნიშანი არის
 - ა. საერთო პრიმიტიული თვისება
 - ბ. საერთო წარმოებული თვისება
 - გ. თვისება, რომლის მიხედვით შეგვიძლია განვასხვავოთ ფრინველები და ძუძუმწოვრები
 - დ. ეს ანალოგიის მაგალითია, და არა ჰომოლოგიის
 - ე. ფრინველების სახეობების შესარჩევად გამოსადეგი თვისებაა
4. როგორ მივმართოთ ეკონომიურობის პრინციპს ფილოგენეტიკური ხის აგების დროს?
 - ა. შევარჩიოთ ხე, რომლის მიხედვით ევოლუციური ცვლილებები ერთნაირად შესაძლებელია
 - ბ. შევარჩიოთ ხე, რომელზეც ტოტების განშტოებების ადგილები დაფუძნებულია ყველა შესაძლებელ საერთო წარმოებულ თვისებაზე
 - გ. ფილოგენეტიკური ხე ავავოთ მხოლოდ ნამარხებზე, ვინაიდან ისინი ევოლუციის ყველაზე მარტივ ახსნას იძლევიან
 - დ. შევარჩიოთ ხე, რომელზეც როგორც დნმ-ის თანმიმდევრობაში, ასევე მორფოლოგიაში, მცირე რაოდენობის ევოლუციური ცვლილებები აღინიშნება.
 - ე. შევარჩიოთ ხე დატოტვის წერტილებით მცირე რაოდენობით.
5. პროტისტების, რომლებიც დაითიშნენ ასეული მილიონი წლის წინათ, ევოლუციურ ხაზებში ფილოგენეტიკური ნათესაობის დასადგენად, რომელი მონაცემებია საუკეთესო?
 - ა. პროტეროზოური ეონის ნამარხები
 - ბ. საერთო წარმოებული მორფოლოგიური თვისებები
 - გ. ქლოროფილის მოლეკულების განსხვავებული ამინომჟავების თანმიმდევრობები

- დ. მიტოქონდრიული დნმ-ის თანმიმდევრობები
ე. რრნმ-ის გენის თანმიმდევრობები
6. თუ კატების ფილოგენეტიკური ხის ასაგებად გამოიყენებთ კლადისტიკურ ანალიზს, რომელი იქნება საუკეთესო ჯგუფგარეშე სახეობა
ა. ლომი ბ. შინაური კატა გ. მგელი
დ. ლეოპარდი ე. ვეფხვი
7. თუ გვინდა ავაგოთ თევზის რამდენიმე სახეობის ფილოგენეტიკური ხე, შემდეგიდან, რომელი თვისება იქნება ყველაზე გამოსადეგი?
ა. ყველა თევზისთვის საერთო რამდენიმე ანალოგიური თვისება
ბ. ყველა თევზისთვის საერთო ერთი ჰომოლოგიური თვისება
გ. სხვადასხვა თევზის სახეობაში მორფოლოგიური მსგავსების სრული ხარისხი
დ. რამდენიმე თვისება, რომელიც როგორც ჩანს, გაჩნდა იმის შემდეგ, რაც თევზების სხვადასხვა სახეობები დაითიშნენ
ე. ერთი თვისება, რომელიც ყველა თევზში განსხვავებულია
8. 25.12 სურათზე მოცემულ ფილოგრამაზე ამფიბიების და თაგვების ტოტების შეფარდებითი სიგრძე ასახავს იმას, რომ
ა. ამფიბიები განვითარდნენ თაგვებზე ადრე
ბ. თაგვები ამფიბიებზე ადრე განვითარდნენ
გ. ამფიბიების და თაგვების გენებს მხოლოდ შემთხვევითი ჰომოპლაზიები გააჩნიათ
დ. ჰომოლოგიური გენები უფრო ჩქარა ამფიბიებში განვითარდნენ
ე. ჰომოლოგიური გენები უფრო ჩქარა განვითარდნენ თაგვებში
9. შემდეგი ჩამონათვალიდან შეარჩიე ორთოლოგიური გენების წყვილი
ა. ადამიანის α ჰემოგლობინი და შიმპანზის α ჰემოგლობინის გენები
ბ. ადამიანის α ჰემოგლობინის გენის ორი ალელი
გ. თაგვის ინსულინის გენი და საფუარის შეჯვარების ნაირსახეობის გენი
დ. ორი სხვადასხვა ვირთხის ყნოსვის რეცეპტორის გენი
ე. ეუკარიოტის გენომში რრნმ-ის გენის მრავალი ასლი
10. ბოლო დროს დადგინდა, რომ პირველად IV–1 შიმპანზიდან ადამიანზე გადავიდა 1930 წლებში, ეს დასკვნა დამყარებულია
ა. აფრიკის სოფელში ნახეს შიდსის პირველი კლინიკური გამოვლინება

- ბ. მოლეკულური საათი, რომელიც აღრიცხავდა IV გენის თანმიმდევრობების ცვლილებას, დამყარებულია პაციენტებისგან ბოლო 40 წლის განმავლობაში აღებულ სინჯებზე
გ. აივის ჰომოლოგიური გენების შედარება, რომლებიც ნახეს ადამიანში და შიმპანზეში
დ. ადამიანებში ნანახი ვირუსის სხვადასხვა შტამებს შორის ეკონომიურობის პრინციპის მიხედვით ევოლუციური კავშირების ახსნა
ე. 1930 წლის სისხლის ნიმუშში აი ვირუსის აღმოჩენა.

უძალუციუტი კავშირი

დარვინი თვლიდა, რომ თუ განვიხილავთ სახეობის უახლოეს ნათესავს, მივიღებთ ინფორმაციას იმის შესახებ, როგორ გამოიყურებოდა მათი წინაპარი. როგორ განაპირობებდა მისი რჩევა კლადისტიკური ანალიზისთვის ჯგუფგარეშე სახეობების გამოყენების მეთოდს?

მეცნიერული კვლევა

ზოგი ნუკლეოტიდური ცვლილება იწვევს ამინომჟავის ჩანაცვლებას ცილაში სხვა ამინომჟავით (არასინონიმური ჩანაცვლება, რომელიც ცვლის ცილის ბუნებას) და ნუკლეოტიდური ცვლილება კი არ იწვევს ამ მოვლენას (სინონიმური ჩანაცვლება, რომელიც არ ცვლის ცილის ბუნებას). მღრღნელის და ადამიანის გენების შედარებისას, აღმოჩნდა, რომ სინონიმური ჩანაცვლებების დაგროვება მღრღნელებში ხდება 2.0 ჯერ უფრო სწრაფად, ვიდრე ადამიანებში. არასინონიმური ჩანაცვლებები კი 1.3 ჯერ უფრო სწრაფად ხდება. რა ფაქტორებით აიხსნება ეს სხვაობა? რა გზით ართულებენ ეს მონაცემები ევოლუციური მოვლენების დასათარიღებელი მოლეკულური საათის გამოყენებას?

მეცნიერება, ფიქნაღაგია და საზაგადრემა

გენომის შედარება იძლევა ახალ შესაძლებლობებს სამედიცინო კვლევებში. ადამიანებს და თაგვებს აქვთ ბევრი საერთო ორთოლოგიური გენები. ამიტომ, შესაძლებელია ადამიანში გენის ფუნქციის დადგენა, თაგვის გენომიდან მეზობელი ორთოლოგიური გენების „გამოგდებით“. ამ გამოკვლევების შედეგად, რა სამედიცინო მიღწევებს მივიღებთ? როგორია ასეთი აღმოჩენის მნიშვნელობა საზოგადოებისთვის?

ბიოლოგიური მტავალთვრთვნის ფოლოციის ისტორია. ორგანიზმების ქიმია



ინტერვიუ

ლინდა გრეჭოშვილი

პროფესორი ლინდა გრეჭოშვილი დროში ნამდვილად მოგზაურობს. იგი მოკროსკოპით იმ მცენარეების ნამარხებს აკვირდება, რომლებიც დედამიწაზე დიდი ხნის წინ ბინადრობდნენ. დოქტორი გრეჭოშვილი გადაშენებული მცენარეების ნამარხებს მათ უახლოეს თანამედროვე ნათესავებს ადარებს. მიკროსკოპის საშუალებით მას იმ მცენარეების დანახვაც შეუძლია, რომლებიც ნახევარი მილიარდი წლის წინათ არსებობდნენ. ის სიცოცხლის განვითარების დროის დადგენას ცდილობს. მას სიცოცხლის განვითარების ძირითადი გარდამტეხი მომენტებიც აინტერესებს. მაგალითად, ხმელეთის მცენარეების წყალმცენარეებისგან წარმოშობა. ხმელეთზე მობინადრე პირველი მცენარეების ზომა მიკროსკოპული იყო. გრეჭოშვილი და მისი სტუდენტები ხმელეთის მცენარეების წარმოშობასა და გამრავალფეროვნებას იკვლევენ. ამის გარდა მათ აინტერესებთ მცენარეების, განსაკუთრებით კი ხავსების ბიოსფეროზე უდიდესი გავლენა. მცენარეები ბიოსფეროზე დღესაც მოქმედებენ. დოქტორი გრეჭოშვილი (ვისკინსინ-მედისონის უნივერსიტეტი) ბოტანიკას და მცენარეებზე გარემოს გავლენას სწავლობს. ამავე დროს, ის წარმატებული მასწავლებელია. ამ ინტერვიუში ლინდა გრეჭოშვილი ზოგადი განათლებისთვის ბიოლოგიური მრავალფეროვნების შესწავლის მნიშვნელობაზე საუბრობს.

ბიოლოგიური მტავალთვრთვნის ისტორიაში იყო ხმელეთის მცენარეების წინაპრები?

ხმელეთის მცენარეები წყალმცენარეების კონკრეტული ჯგუფისგან წარმოიშვნენ. ეს ჯგუფი ცნობილია charophyceae-ს სახელით. დადასტურებულია, რომ ამ წინაპრების აგებულება საკმაოდ რთული იყო, რამაც მათი დატოტვის თვისება განაპირობა. რეპროდუქციაც რთული ჰქონდათ. როგორც ჩანს, უძველესმა ხმელეთის მცენარეებმა ეს თვისებები მათგან მემკვიდრეობით მიიღეს.

ბიოლოგიური მტავალთვრთვნის ისტორიაში იყო ხმელეთის მცენარეების წინაპრები?

ხმელეთის მცენარეების წარმოშობის ზუსტი თარიღი დღემდე არ არის დადგენილი. პალეობიოლოგები შეთანხმდნენ, რომ მცენარეები ხმელეთზე დაახლოებით 475 მილიონი წელი ბინად-

რობენ. ეს დასკვნა ნამარხი სპორებისა და მცენარეების სხვა ტიპის ნამარხების კვლევას ეფუძნება. თუმცა, ზოგი კოლეგა თვლის, რომ მცენარეები ხმელეთზე უკვე შუა კემბრიუმში ანუ 500 მილიონი წლის წინათ არსებობდნენ. ამას ნამარხი სპორების კვლევის საფუძველზე ასკვნიან. ჩემი ვარაუდით მომავალში ხმელეთის მცენარეების წარმოშობის თარიღი დაახლოებით კემბრიული პერიოდის შუაში გადაინაცლებს. შესაძლებელია, რომ მცენარეები ხმელეთზე უფრო ადრეც არსებობდნენ.

ბიოლოგიური მტავალთვრთვნის ისტორიაში იყო ხმელეთის მცენარეების წინაპრები?

მოლეკულური მონაცემებით დასტურდება, რომ ხავსები (bryophyta): ღვიძლის ხავსი, რქაფოთოლა და ხავსები მცენარეების სამეფოს უძველესი შტოებია. მთელი ხავსის ნამარხი დღემდე ვერ იპოვეს. უძველესი ჭურჭლოვანი მცენარეების ამ ტიპის ნამარხები კი ნაპოვნია. ამ მცენარეებს აქვთ ძარღვები, რომელთა მეშვეობით წყალი და საკვები ნივთიერებები გადაადგილდება. მოლეკულური მონაცემებიდან გამომდინარეობს, რომ ისინი საერთო წინაპარს ხავსების შემდეგ გამოეყვნენ. ხავსების ნამარხების არ არსებობას იმით ხსნიან, რომ ისინი ცუდად ინახება. თუმცა ვიცი, რომ ხავსებს აქვს სპორები და სხვა რეზისტენტული (მდგრადი) მასალა. ჩვენ იმ იდეის შემოწმება გვინდოდა, რომ ხავსებსაც შეეძლოთ ნამარხების დატოვება.

ბიოლოგიური მტავალთვრთვნის ისტორიაში იყო ხმელეთის მცენარეების წინაპრები?

ჩვენ გამოვიყენეთ მეთოდიკა, რომლის მეშვეობით დაშლის ეფექტის იმიტირება ვცადეთ. ასეთი დაშლა მცენარეს სიკვდილის და წყალში ჩაყარვის შემდეგ ხდება. მიკრობების მოქმედების შედეგად წყალში მცენარე ნაწილობრივ იშლება. ცოცხალი ხავსები პირველ რიგში ექსტრემალური მეთოდით დავამუშავეთ, რომელიც აცეტოლიზის სახელით ცნობილია. ამ დროს გამოსაკვლევ მასალაზე მაღალი ტემპერატურის პირობებში ძლიერი მჟავებით მოქმედებენ. იგივე მეთოდს პალეობიოლოგებიც მიმართავენ როცა დანალექი ქანებიდან სპორებს ექსტრაგირებენ. ჩვენი ჰიპოთეზის თანახმად ის მცენარეული მასალა, რომელიც ასეთ დამუშავებას გადაურჩება, ნამარხებშიც უნდა იყოს. ზოგი ჩვენი კოლეგა თვლიდა, რომ ამ დამუშავებით ჩვენ თვითონ ვკმნით რეზისტენტულ მასალას. ამიტომ ჩვენ ამ მეთოდში ლპობის ფაქტორი ჩავრთეთ. თვეების განმავლობაში ხავსის ცოცხალი მასალა სველ ნიადაგში დავტოვეთ. შემდეგ ამოვიღეთ და ვნახეთ, დარჩა იქ რამე, თუ არა. აღმოჩნდა, რომ იმავე ტიპის რეზისტენტულ-

მა მასალამ, რომელმაც აცეტოლიზს გაუძლო, ლპობის უფრო ნაზ პროცესსაც გადაურჩა. ის ნაწილები, რომლებიც ლპობასაც და აცეტოლიზსაც გადაურჩნენ, ძველი განმარხებული ორგანიზმების ფრაგმენტების მსგავსად გამოიყურებდნენ. ადამიანი ერთი შეხედვით ვერ ცნობდა, რომ ოდესღაც ეს ფრაგმენტი მცენარე იყო.

ამ ოტგანიზმების ოტგამენცვმიდან ატის თუ ატა ტომულიმე უეტო ბჟელი. ვიდრე ჭურტ-ლოჯანი მცენატყები?

დიახ. ეს ფრაგმენტები სპორებისგან, მილისმაგვარი სტრუქტურებიდან და უჯრედის ნაწილებისგან შედგება. აღმოჩნდა, რომ ისინი გაცილებით უფრო ძველია, ვიდრე ჭურჭლოვანი მცენარეების ნარჩენები. ჩვენ გვინდოდა დამტკიცება, რომ ხავსების მსგავსი მცენარეები ჭურჭლოვანი მცენარეების წარმოშობამდე გავილებით ადრე არსებობდნენ. იგივეს მოწმობს მოლეკულური მონაცემებიც.

ტოგოტ შიცივალა ბიოსტყტო ხმელოტჟე უბჟე-ლოსი მცენატყების გავტცელობის შიდეგად?

პიველ რიგში მათი დახმარებით ადრეული ნიადაგი წარმოიქმნა. უძველესი მცენარეების შემადგენელ ზოგ ორგანულ მასალას მიკრობები არ შლიდა. იგივე ჩვენს ცდაშიც მოხდა. ეს დაუშლელი მასალა ნიადაგში ორგანულ ფენას ქმნიდა. მეორე, ფოტოსინთეზის შედეგად ნახშირბადის ორჟანგი (CO₂) რეზისტენტულ ორგანულ მასალად გადაიქცეოდა. ამას მოჰყვა ატმოსფეროში CO₂-ის რაოდენობის შემცირება. ატმოსფეროში CO₂-ის შემცირების ტენდენციამ კულმინაციას ქვანახშირის პერიოდის განმავლობაში მიაღწია, როცა უძველესი ხეები ნახშირის საბადოებს ქმნიდნენ. ეს პერიოდი CO₂-ის ყველაზე მცირე რაოდენობით ხასიათდება. ამავე დროს, უძველესი მცენარეები ასინთეზებდნენ ორგანულ მჟავებს და ნიადაგიდან ფოსფატებს ათავისუფლებდნენ. ამის შედეგად ზღისა და მტკანი წყლის ეკოსისტემებში ალბათ გაიზარდა ფოტოსინთეზის უნარის მქონე მიკროოგანიზმების რაოდენობა. საბოლოოდ ხმელეთის უძველესმა მცენარეებმა ხმელეთის ეკოსისტემა შექმნეს, რომელიც საკმარისს ორგანულ პროდუქტს ქმნიდა. ასე რომ, ხმელეთის უძველეს ცხოველებს საკვების დეფიციტი არ ჰქონდათ.

თიქენ სწავლობთ ხმელოტის მცენატყების წატომშობას. ამაჟე დროს ცოტოტის ჭათ-ბიბის ეკოლოგიასაც იკვლოვთ. ტას წატმოად-გენს ცოტოტის ჭათბი და ტაცომათა ის მნიშ-ვნელოვანი?

ტორფის ჭაობი დაჭაობებული ტერიტორიაა, რომელზეც დომინანტი მცენარე სფაგნუმაა, ანუ “ტორფის ხავსი”. სფაგნუმი ძალიან მნიშვნელოვანი ხავსია, ვინაიდან ის ეკოლოგიური ინჟინერია. ტორფის ჭაობების სფაგნუმი ატმოსფეროდან დიდი რაოდენობის CO₂-ს აბსორბირებს და ორგანული ნივთიერების სახით ინახავს. ამ ნივთიერებას მიკროორგანიზმები რთულად შლიან.

იგივე ეხება უძველესი ხავსების ორგანულ ნივთიერებას, რაზეც უკვე ვისაუბრეთ. ტორფიანი ჭაობები მრავლადაა ჩრდილოეთ ნახევარსფეროში. ჩრდილოეთი რეგიონები ნაკლებად დასახლებულია, ამიტომ მრავალ ადამიანს არა აქვს წარმოდგენა ტორფის ჭაობების რაოდენობის შესახებ. ჩრდილოეთი ამერიკის, ევროპისა და აზიის საკმაოდ დიდი ფართობი ტორფის დიდი ჭაობებით დაფარულია. აქ ნახშირბადის უზარმაზარი მარაგი ინახება. ატმოსფერული CO₂-ის რაოდენობის რეგულაციისას (რომელსაც ასევე სათბურის გაზს ეძახიან) ტორფის ჭაობები გლობალური თერმოსტატების როლს ასრულებენ. კლიმატის რეგულირებაში ხავსი გვეხმარება. თუ ტემპერატურა ოდნავ მაღლა იწევს, ხავსი იზრდება და ატმოსფეროდან მეტ CO₂-ს შთანთქავს. ამის შედეგად პლანეტა ცივდება. აციებისას ხავსი ნელა იზრდება და მიკრობული დეპიტრატაციის შედეგად მეტი CO₂ თავისუფლება. ამიტომ კლიმატი უფრო თბილი ხდება. ასე რომ, ჩვენ ტორფის დიდ ჭაობებს უნდა ვუმაღლოდეთ. ისინი ჩვენი პლანეტის თერმოსტატის ფუნქციას ასრულებენ.

ტოგოტ უჟლის ადამიანი ცოტოტის ჭათბების ბალიან მნიშვნელოვან ეკოსისტემას?

ეკოლოგები, რომლებიც ტორფის ჭაობებს სწავლობენ, ნუხან, რომ მათ მაღაროების მშენებლობა (სამთო საქმიანობა) და სოფლის მეურნეობა ანადგურებს. მაგალითად შტოშის წარმოება. ტორფის ჭაობების არეალის შემცირება ხელს უწყობს გლობალური დათბობის ეფექტის მოახლოებას. ტორფის ჭაობები ძალიან დიდ როლს თამაშობს კლიმატის რეგულაციაში.

დოქცოტ გტყბმ, ტოგოტ დაიწყთ სამეცნიერთ მოღჟაწეობა? ტაცომ დაინცტრესდით მცენატყებით?

დანყებით, საშუალო და უმაღლეს სკოლებში რამდენიმე არაჩვეულებრივი მასწავლებელი მყავდა. მათ განავითარეს ჩემში მეცნიერების ინტერესი. კერძოდ, ჩემი ქიმიის მასწავლებელი ჩემთვის მისაბაძი მაგალითია. ის განათლებული და თვითდაჯერებული ადამიანია. მის გაკვეთილებზე ვიფიქრე, რომ მეც შემიძლია მეცნიერი გავხვდე. მიკროსკოპი ყოველთვის მიზიდავდა და შინაგანი სტრუქტურების საოცრებას კარგად აღვიქვამდი. მცენარეების შინაგანი აგებულება ძალიან საინტერესოა. მათი ნათესავები, წყალმცენარეები, მიკროსკოპში ასევე ძალიან ლამაზად გამოიყურებიან. ასე რომ, მიკროსკოპული აგებულებით გატაცებამ გაოინვია ინტერესი მცენარეების მიმართაც.

ტოგოტ მოხდა, ტომ ეს გაცაცება გადამიზატდა ინცტრესში ხმელოტის მცენატყების წატომშობის მიმართ?

გადამწყვეტი მომენტი ბოტანიკის ბოლო გამოცდისთვის სამზადისი იყო. მაშინ წმინდა ლუისის იუნივერსიტეტის (ვაშინგტონი) ბაკალავრი ვიყავი. გამოცდის ერთ-ერთი საკითხი მცენარეების სასიცოცხლო ციკლი იყო. ამ სასიცოცხლო ციკლში მრავალუჯრედიანი ჰაპლოიდი და დიპლოიდი თაობები მონაცვლეობს. როგორ გაჩნდნენ ეს რთული სასიცოცხლო ციკლები? ამ

საკითხმა ძალიან დამაინტერესა. ამან განაპირობა ჩემი ინტერესი მცენარეების ევოლუციის მიმართ.

ბატომ თქვით, რომ ბაკალავრიატის სტუდენტი ბიოლოგისთვის პირველ წელსვე მნიშვნელოვანია სიცოცხლის მბაჟალ-ფრთხილის, მათ შორის მცენარეების მბაჟალფრთხილის შესწავლა მაშინაც, თუ სტუდენტი მომავალში უჯრედულ ან მოლეკულურ ბიოლოგიაში სპეციალიზაციას, ან სამედიცინო სფეროში გადასვლას აპირებს?

ვისკონსინის უნივერსიტეტის კურიკულუმში ბიოლოგიური მრავალფეროვნების კურსის ჩართვის პირველი მიზეზია ის, რომ ეს შეიძლება სტუდენტი ბიოლოგისთვის ერთადერთი შესაძლებლობაა, რომ განათლების მიღების პერიოდში ორგანიზმების მრავალფეროვნებას გაეცნოს. ჩვენ გვსმის, რომ ბიოლოგიური მრავალფეროვნების ცოდნა ყველა მოქალაქისთვის მნიშვნელოვანია, ვინაიდან ბიოლოგიური მრავალფეროვნება ადამიანის ჯანმრთელობაზეც მოქმედებს. როცა სტუდენტები პროკარიოტებს, უმარტივესებს, მცენარეებს, სოკოებსა და ცხოველებს, მათ შორის უხერხემლოებს ეცნობიან, ისინი ამ მრავალფეროვანი ორგანიზმების ეკოსისტემაზე გავლენას ხედავენ. და საბოლოოდ: ჩვენი საკუთარი ჯანმრთელობა დამოკიდებულია ეკოსისტემის ჯანმრთელობაზე, რომელიც ადამიანს სხვადასხვა რესურსებით ამარაგებს. მაგალითად, სუფთა წყალით და სუფთა ჰაერით.

ბრუნდები თქვენს ანიჟმთ უპირატესობას პირველი კურსის განმავლობაში?

მე ვფიქრობ, რომ ბიოლოგიაში ყველაზე საინტერესოა სხვადასხვა იერარქიულ მიდგომას შორის კავშირი. მაგალითად, მოლეკულური პროცესებისა და აგებულების გაცნობა ბევრს გვეუბნება ორგანიზმისა და ეკოლოგიურ დონეებზე მიმდინარე პროცესებზე. მე ვფიქრობ, რომ დამწყები ბიოლოგებისთვის მნიშვნელოვანია ინტეგრირებული (რთული) აზროვნების ჩამოყალიბება. მათ უნდა ისწავლონ იერარქიული დონეების დაკავშირება. ჩემ კლასებში ვცდილობ ავხსნა, რომ ბიოლოგია არ არის დაყოფილი ცალკეულ “რთხებად”. ყოველი თემა სხვა თემასთან დაკავშირებულია. მათი ერთმანეთისგან განცალკევება სრულყოფილ განათლებას არ მოგვცემს. ვცდილობ პირველი კურსის სტუდენტების დაინტერესებას გლობალური თემებით და მნიშვნელოვან პრობლემებზე პასუხებით, თუნდაც მათზე პასუხის გაცემა ერთი ექსპერიმენტის ან ექსპერიმენტების ერთი სერიის შედეგად შეუძლებელი იყოს. ჩემი კვლევის სფეროში — მცენარეთა წარმოშობაში, უამრავი შეკითხვა არსებობს. უამრავი კითხვა უფრო გლობალურ თემაზე, სიცოცხლის წარმოშობაზე იბადება. მრავალი ადამიანი თვლის, რომ ამ კითხვებზე პასუხის გაცემა შეუძლებელია. ჩვენ ხომ ამ შემთხვევაში არ შეგვიძლია პირდაპირი დაკვირვება. მაგრამ მე უნდა წავახალისო სტუდენტები, რომ ამ კითხვებზე პასუხი დედუქციისა და ინტეგრირებული აზროვნების მეშვეობით ცადონ. ბიოლოგიის არსის ჩანვდომას უფრო ფართო აზროვნება და სისტემების ცალკეულ დეტალებზე ნაკლები ფოკუსირება სჭირდება.

ატმოსფერული CO₂-ის (სათბურის აირი) რეგულაციით ტორფის ჭაობები გლობალური თერმოსტატების როლს ასრულებენ. ხავსი მდგრადი კლიმატის შენარჩუნებაში გვეხმარება.



26

სიცოცხლის ხე და შესავალი ბიოლოგიურ მრავალფეროვნებაში

▲ სურათი 26.1 მხატვრის მიერ წარმოსახული დედამიწის
ზედაპირი 3 მილიარდი წლის წინათ.

ბიტიტადი კონცეფციები

- 26.1** ადრეულ დედამიწაზე სიცოცხლის წარმოშობისათვის ხელსაყრელი პირობები იყო.
- 26.2** დედამიწაზე არსებული ცოცხალი ორგანიზმების დათარიღება ნამარხების მეშვეობით.
- 26.3** პროკარიოტების ევოლუცია და მათი გავლენა ახალგაზრდა დედამიწაზე.
- 26.4** ეუკარიოტული უჯრედები სიმბიოზისა და პროკარიოტულ უჯრედებს შორის გენეტიკური ინფორმაციის მიმოცვლის შედეგად წარმოიქმნა.
- 26.5** ეუკარიოტებში მრავალუჯრედიანობა რამდენჯერმე განვითარდა.
- 26.6** ახალმა ინფორმაციამ შეცვალა ჩვენი წარმოდგენა სიცოცხლის ხის შესახებ.

შესავალი

ცვალებადი სიცოცხლე ცვალებად დღეამიწაზე

სიცოცხლე განუწყვეტელი პროცესია. ის დაიწყო პირველი ორგანიზმების წარმოქმნით და დღემდე გრძელდება. ამჟამად დედამიწაზე მცენარეთა და ცხოველთა უამრავი სახეობა არსებობს. ამ ნაწილში განვიხილავთ სიცოცხლის მრავალფეროვნებას და ევოლუციას.

ამ ნივთში განხილული მრავალი თემიდან ერთ-ერთი მთავარია ორგანიზმებისა და მათი საარსებო გარემოს ურთიერთქმედება (იხ. თავი 1). ამ თავში გავეცნობთ ბიოლოგიურ ისტორიასა და გეოლოგიურ ისტორიას შორის კავშირს. გეოლოგიური მოვლენები გარემოზე ძლიერ მოქმედებს და ბიოლოგიური ევოლუციის მიმართულებასაც ცვლის. როცა დიდი ტბა რამდენიმე მცირე ზომის ტბად იყოფა, დიდ ტბაში მოზინდარე სახეობების პოპულაციები იზოლაციიში ხვდებიან და ახალ სახეობებს აძლევენ დასაბამს (იხ.თავი 24). ამავე დროს ცოცხალი ორგანიზმების ცხოველმოქმედების შედეგად

საკუთრივ პლანეტაც იცვლება. მაგალითად, ფოტოსინთეზის უნარის მქონე ორგანიზმების ანუ იმ ორგანიზმების ევოლუციამ, რომლებიც ჰაერში ჟანგბადს გამოყოფენ, დედამიწის ატმოსფეროს შემადგენლობა განსაზღვრა (26.1 სურათზე გამოსახულია ორგანიზმები, რომლებიც ქვების მსგავსს სქელ მასას ქმნიდნენ. მათ შორის ალბათ პროკარიოტებიც იყვნენ). ლინდა გრეჰემის ინტერვიუში ნახსენებია, რომ მცენარეების ხმელეთზე გამოსვლის შედეგად პირობები დედამიწაზე ისევ მკვეთრად შეიცვალა. უახლესი ცვლილებები კი მოხდა ადამიანის წარმოშობის შემდეგ, რომლის ცხოველქმედების შედეგად ნიადაგის, წყლისა და ჰაერის შემადგენლობა ისევ მკვეთრად შეიცვალა, თან ზოგიერთი სახეობისთვის საკმაოდ არასასურველი მიმართულებით. დედამიწის და მასზე მოზინდარე ორგანიზმების სიცოცხლის ისტორია ერთმანეთისგან განუყოფელია.

ამ ნაწილის თავებში განხილულია ევოლუციის ის მომენტები, რომლებსაც ბიოლოგიური მრავალფეროვნების ისტორიისთვის დიდი მნიშვნელობა აქვს. გეოლოგიურ და ბიოლოგიურ ისტორიაში ხდებოდა რევოლუციური ცვლილებები, რომლებიც სიცოცხლის განვითარებას ახალი გზებით წარმართავდნენ.

ნებისმიერი ისტორიული დისციპლინა არ არის ზუსტი მეცნიერება. ის დამოკიდებულია თვალსაჩინო მასალაზე, მისი შენახვის ხარისხზე და წარსული მოვლენების ინტერპრეტაციაზე. რაც უფრო ღრმად წარსულში ვიხედებით, მით ნაკლებად მისაწვდომია ნამარხები, რომლებიც ჩვენთვის ერთადერთი თვალსაჩინო მასალაა. ამავე დროს, თანამედროვე ორგანიზმის მოლეკულების აგებულებაში, ნივთიერებათა ცვლის ფორმასა და ანატომიაში ევოლუციური ისტორიის ნაკვალევის პოვნა შეიძლება. შემდგომში ვნახავთ, რომ ეს კვალი წარსულის გასაღებია და ნამარხებისგან მიღებულ მონაცემებს ავსებს. მაგრამ შორეული წარსულის ევოლუციური მოვლენების უმეტესობა ბურუსით მოცული რჩება.

ამ თავს სიცოცხლის წარმოშობის განხილვით ვიწყებთ. სიცოცხლის წარმოშობა ყველაზე რთული ნაწილია, რადგანაც ამ მოვლენების დამადასტურებელი ნამარხები არ არსებობს. შემდეგ განვიხილავთ ნამარხების დათარიღების ხერხებს და კავშირს ბიოლოგიურ მოვლენებსა და დედამიწის ისტორიას შორის. გავეცნობთ დედამიწაზე არსებული სიცოცხლის 3,8 მილიარდი წლის ისტორიის ძირითად მოვლენებს. ბოლოს ვისაუბრებთ ბიოლოგების მიერ სიცოცხლის ხეების აგების

ხერხებზე. ეს შესავალია 27-34 თავებში განხილულ ბიოლოგიურ მრავალფეროვნებაში.

კონცეფცია 26.1

ადრეულ დედამიწაზე სიცოცხლის გაჩენისთვის სულსაყრელი პირობები იყო

მეცნიერული კვლევებიდან გამომდინარეობს, რომ ქიმიური და ფიზიკური პროცესების და გადარჩევის შედეგად ადრეულ დედამიწაზე ძალიან მარტივი უჯრედები გაჩნდა. ეს პროცესი სავარაუდოდ, 4 მთავარი სტადიისგან შედგებოდა: 1. პატარა ორგანული მოლეკულების, მაგალითად ამინომჟავების და ნუკლეოტიდების, აბიოტური (არაცოცხალი) სინთეზი; 2. მათი (მონომერების) შეერთება პოლიმერებად, ცილისა და ნუკლეინის მჟავების წარმოქმნა; 3. ამ დიდი მოლეკულების მემბრანის მქონე პროტობიონტებში — წვეთებში დალაგება. მემბრანის გამო პროტობიონტების შინაგანი გარემოს ქიმიური შემადგენლობა გარეგანისგან განსხვავდებოდა; 4. გამრავლების უნარის მქონე მოლეკულების ანუ მემკვიდრეობითობის წარმოქმნა. ამ სქემაში ბევრი დაუზუსტებელი მომენტი, მაგრამ შესაძლებელია ამ ჰიპოთეზის ლაბორატორიაში შემოწმება. აქ განვიხილავთ ამ ოთხი პუნქტის შესახებ არსებულ ზოგიერთ მოსაზრებას.

ორგანული კომპონენტების სინთეზი ადრეულ დედამიწაზე

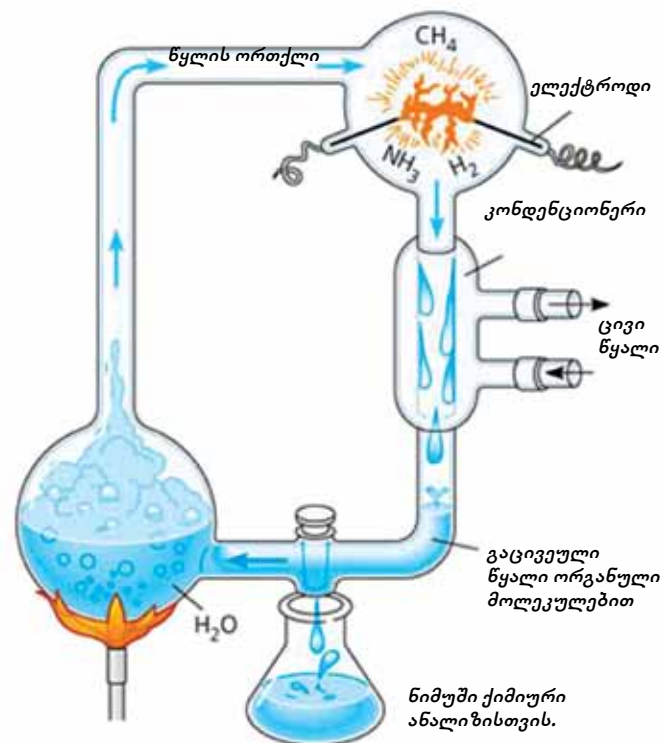
მზის სისტემაში შემავალი პლანეტების, მათ შორის დედამიწის ფორმირება დაახლოებით 4,6 მილიარდი წლის წინ მოხდა. ეს იყო ახალგაზრდა მზის ირგვლივ არსებული მტვრის უზარმაზარი ღრუბლისა და ნამსხვრევების კონდენსირების შედეგი. პირველი რამდენიმე ასეული მილიონი წლის განმავლობაში დედამიწაზე სიცოცხლე ალბათ ვერ გაჩნდებოდა, ვინაიდან პლანეტაზე ქვებისა და ყინულის უზარმაზარი ლოდები ცვიოდა, რომლებიც მზის სისტემის ფორმირების შემდეგ სივრცეში დარჩა. შეჯახებებს თან სდევდა სითბოს უზარმაზარი რაოდენობის გამოყოფა, რაც მთელი წყლის აორთქლებას იწვევდა. ამიტომ ზღვები ვერ წარმოიქმნებოდა. ეს ფაზა დაახლოებით 3,9 მილიარდი წლის წინათ დამთავრდა. დედამიწის კლდეებიდან უძველესია გრენლანდიის, ისუას მხარის კლდეები, რომელთა ასაკი 3,8 მილიარდი წელია. მათი ასაკი დადგენილია ქიმიური დათარიღების მეშვეობით. შეიძლება ამ დროს დედამიწაზე სიცოცხლე უკვე არსებობდა, მაგრამ ამას ვერ დავასაბუთებთ, რადგან ამ ასაკის ნამარხები არ არის აღმოჩენილი. ქვის უზარმაზარი ლოდებითა და ყინულით დედამიწის „დაბომბვა“ თანდათან შენელდა. მაგრამ პლანეტაზე არსებული პირობები დღევანდელი პირობებისგან ძალიან განსხვავდებოდა. პირველადი ატმოსფერო ალბათ წყლის ორთქლით იყო გაჯერებული. მის შემადგენლობაში კიდევ სხვადასხვა ნივთიერებები შედიოდა, რომლებიც ატმოსფეროში ვულკანური ამოფრქვევების შედეგად მოხვდა. მათ შორის აზოტი და მისი მჟავები, ნახშირორჟანგი, მეთანი, ამონიუმი, წყალბადი და წყალბადის სულფიდები. დედამიწის გაცივებასთან ერთად წყლის ორთქლის კონდენსირდებოდა ოკეანეებში, წყალბადის ჭარბი რაოდენობა კი გარემოში იფანტებოდა.

სურათი 26.2

კვლევა შესაძლებელია თუ არა აღდგენით ატმოსფეროში ორგანული მოლეკულების წარმოქმნა?

ქსპერიმენტი

მილერმა და ურეიმ ადრეულ დედამიწაზე სავარაუდოდ არსებული პირობების გასამოწმებლად თავიანთ ლაბორატორიაში დახურული სისტემა შექმნეს. თბილი წყლის შემცველ კოლბას პირველადი ზღვის მაგივრად იყენებდნენ. სისტემის ძლიერი აღდგენითი თვისებების მქონე „ატმოსფერო“ წყალბადის (H_2), მეთანის (NH_4), ამიაკისა (NH_3) და წყლის ორთქლისგან შედგებოდა. ხელოვნურ ატმოსფეროში ელვის მაგივრებას ელექტრო განმუხტვა უწევდა. კონდიციონერში ატმოსფეროს აციებდნენ, რაც მინიატურულ ზღვაში წყლისა და მასში გახსნილი ნივთიერებების ნაკადს უზრუნველყოფდა.



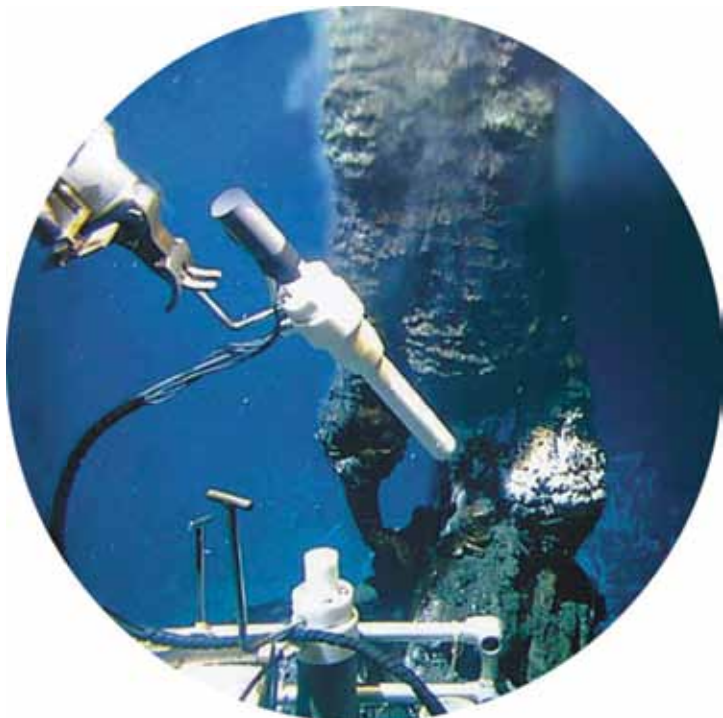
შედეგები

სანამ ეს მასალა აპარატში ცირკულირებდა, მილერი და ურეი ანალიზისთვის პერიოდულად ნიმუშებს იღებდნენ. მათ სხვადასხვა ორგანული მოლეკულის, (მაგალითად ორგანიზმის ცილებში გავრცელებული ამინომჟავების ალანინის და გლუტამინის მჟავის) არსებობა დაადგინეს. მრავალი სხვა ამინომჟავა და რთული ცხიმოვანი ჰიდროკარბონატებიც აღმოაჩინეს.

დასკვნა

ორგანული მოლეკულები, რომლებიც სიცოცხლის წარმოშობის პირველი ეტაპია, შეიძლება ძლიერ აღდგენად ატმოსფეროში წარმოიქმნას.

1920 წელს რუსმა ქიმიკოსმა ი. ოპარინმა და ბრიტანელმა მეცნიერმა ჟ. შ. ჰელდენმა ერთმანეთისგან დამოუკიდებლად წამოაყენეს იდეა, რომ დედამიწის პირველადი ატმოსფერო აღდგენითი (ჭარბი ელექტრონების შემცველი) გარემო იყო, რომელშიც მარტივი მოლეკულებიდან ორგანული კომპონენტების ფორმირება ხდებოდა. ორგანული სინთეზისთვის საჭირო ენერგიას ალბათ სინათლე და ულტრაიისფერი გამოსხივება უზრუნველყოფდა. ჰელდენი ფიქრობდა, რომ პირველადი ოკეანეები ორგანული



▲ **სურათი 26.3** სარკმელი ადრეულ სიცოცხლეში? კვლევითი წყალქვეშა ნავის ალვინის ინსტრუმენტი, რომელსაც რობოტის ხელი მართავს, კორტესის ზღვის ჰიდროთერმულ გასასვლელთან წყლის ნიმუშებს იღებს. წყლის ზედაპირიდან 1,5 კმ სიღრმეზე გასასვლელიდან წყალში წყალბადისა და რკინის სულფიდები ხვდება, რომლებიც რეაქციაში შედიან და პირიტს და წყალბადის გაზს ქმნიან. გასასვლელთან ახლოს მოზინადრე პროკარიოტები წყალბადს ენერგიის რესურსად იყენებენ. ეს ერთ-ერთი ყველაზე ექსტრემალური პირობებია, რომელშიც სიცოცხლეს არსებობა შეუძლია. ზოგიერთი მეცნიერი თვლის, რომ ადრეულ დედამიწაზე სიცოცხლე ზუსტად ასეთ ადგილებში წარმოიქმნა.

მოლეკულების ნარევი (პრიმიტიული ბულიონი) იყო, და სიცოცხლე სწორედ იქ წარმოიქმნა. 1953 წელს ჩიკაგოს უნივერსიტეტის თანამშრომლებმა სტენლი მილერმა და ჰაროლდ ურეიმ ოპარინ-ჰელდენის ჰიპოთეზა ექსპერიმენტულად შეამოწმეს. მათ ადრეულ დედამიწაზე სავარაუდოდ არსებული პირობების მსგავსი პირობები ლაბორატორიაში შექმნეს. ხელსაწყოების დახმარებით მოხერხდა თანამედროვე ორგანიზმებში არსებული მრავალი ამინომჟავის და სხვა ორგანული კომპონენტების მიღება (**სურათი 26.2**, ასევე **სურათი 4.2**)

ეს ექსპერიმენტი მრავალ ლაბორატორიაში გამეორდა. სხვადასხვა ექსპერიმენტებში განსხვავდებოდა ძირითადად ატმოსფეროს შემადგენლობა. ზოგიერთი ექსპერიმენტის შედეგად ორგანული ნაერთები მართლაც მიიღეს. მაგრამ გაურკვეველია იყო თუ არა ადრეული დედამიწის ატმოსფეროში საკმარისი მეთანი და ამონიუმი, რომ ის აღდგენითი ყოფილიყო. ახლა ითვლება, რომ პირველადი ატმოსფერო ძირითადად აზოტისა და ნახშირორმჟავისგან შედგებოდა და არც დაჟანგვითი (ელექტრონების გამო-მყოფი) და არც აღდგენითი იყო. როცა მილერ-ურეის ექსპერიმენტი ასეთ ატმოსფეროში ჩაატარეს, ორგანული მოლეკულები ვერ მიიღეს. როგორც ჩანს, პირველადი ატმოსფეროს მცირე უბნებს (იმ უბნებს, რომლებიც ვულკანების კრატერებთან ახლოს იყო), აღდგენითი თვისებები ჰქონდა. შესაძლებელია, რომ პირველი ორგანული ნაერთები დედამიწაზე სინთეზირდებოდა

არა ატმოსფეროში, არამედ წყალქვეშა ვულკანებთან და ზღვის ფსკერზე არსებულ დედამიწის ქერქის გახლეჩის ადგილებთან ახლოს (დედამიწის ქერქის სუსტი წერტილები, საიდანაც ცხელი წყალი და მინერალები ოკეანეში ჩაედინება, **სურათი 26.3**) ეს რეგიონები მდიდარია არაორგანული გოგირდისა და რკინის შენაერთებით, რომლებიც თანამედროვე ორგანიზმებში ატფ-ის სინთეზის შემადგენელი ნაწილია.

დედამიწის ფატგლუმს გატოვ ატსქული ორგანული ნივთიერებების წყატოზი

შესაძლებელია, რომ პირველადი სიცოცხლის შემადგენელი ზოგიერთი ორგანული ნაერთი დედამიწაზე კოსმოსიდან მოხვდა. დედამიწაზე დაცემულ მეტეორიტებს შორის იყო ნახშირბადის შემცველი ქონდრიტებია ანუ ქვები, რომელთა მასის 1-2% ნახშირბადის ნაერთები შეადგენს. 1969 წელს სამხრეთ ავსტრალიაში აღმოაჩინეს 4,5 მილიარდი წლის ასაკის ქონდრიტი, რომელიც 80 ამინომჟავას შეიცავს. ზოგი ამინომჟავას რაოდენობა ქონდრიტში საკმაოდ დიდია. აღსანიშნავია, რომ ამ ამინომჟავების შეფარდება იმ შეფარდების მსგავსია, რომელიც მილერ-ურეის ექსპერიმენტში მიიღეს. ამ ამინომჟავებს ქონდრიტი დედამიწაზე ვერ შეიძენდა (გაჭუჭყიანების შედეგად), ვინაიდან ისინი შედგებიან თანაბარი რაოდენობის D და L იზომერებსგან (იხ. თავი 4.) ორგანიზმები, მცირე გამონაკლისის გარდა, ასინთეზებენ და იყენებენ მხოლოდ L იზომერებს. ამინომჟავები, რომლებიც დედამიწაზე ქონდრიტთან ერთად მოხვდა, ალბათ შევიდა პირველადი ბულიონის შემადგენლობაში. მაგრამ უკანასკნელი კვლევების თანახმად მათი როლი სიცოცხლის წარმოქმნაში ძალიან უმნიშვნელო იყო.

სიცოცხლის ნიშნების ბიზა დედამიწის გატოვ

ამჟამად შესაძლებელია იმ ვარაუდის შემოწმება, რომ სიცოცხლე არა მარო დედამიწაზე არსებობს. მარსიდან აღებული ნიმუშების გამოყენებით შესაძლებელია ადრეული დედამიწისთვის (სიცოცხლის გაჩენამდე-პრებიოტური ქიმია) დამახასიათებელი ქიმიური შემადგენლობის შესასწავლა. მარსის ზედაპირი ამჟამად ცივი, მშრალი და უსიცოცხლო უდაბნოა. მაგრამ დღეს აღიარებულია, რომ მილიარდი წლის წინათ მოკლე პერიოდის განმავლობაში მარსი შედარებით თბილი იყო. მასზე იყო წყალი და ნახშირორჟანგის შემცველი ატმოსფერო. ალბათ მარსზეც არსებობდა ადრეული დედამიწის მსგავსი პრებიოტური ქიმიური სტრუქტურები. განვითარდა თუ არა მარსზე სიცოცხლე, რომელიც შემდეგში განადგურდა, თუ პრებიოტური ქიმიური განვითარება ტემპერატურის დაცემისა და ატმოსფეროს შეთხელების გამო სიცოცხლის გაჩენამდე შეწყდა? რობოტები მარსზე აგროვებენ ახალ მასალას, მეცნიერები მას იკვლევენ და ამ კითხვებზე პასუხი შემდეგ ათწლეულში შესაძლებელი გახდება.

კოსმოსურმა ხომალდმა „გალილეომ“ ჩატარებული დაკვირვების შედეგად ყინულით დაფარული ევროპის (იუპიტერის ერთ-ერთი მთვარის) ზედაპირზე თხევადი წყალი დააფიქსირა. ევროპის ოკეანეში ალბათ არის პროკარიოტული სიცოცხლე. მზის სისტემის ფარგლებს გარეთ აღმოაჩინეს ასზე მეტი პლანეტა, რომლებიც თავიანთი მზის ორბიტების ირგვლივ ტრიალებენ. ეს პლანეტები იუპიტერის ტოლები ან უფრო დიდებია. უახლესი ათწლეულების განმავლობაში კოსმოსური ობსერვატორიები აპირებენ უფრო მგრძნობიარე ტელესკოპების გამოყენებას და

წვეთები, ლიპოსომები, შეიძლება ლიპიდების ან სხვა ორგანული მოლეკულების წყალთან შერევის შედეგად გაჩნდეს (**სურათი 26.4**). ნარევის წვეთის ზედაპირის ჰიდროფობური მოლეკულები ორმაგ შრეს ქმნიან, რომელიც პლაზმის მემბრანის ლიპიდური ორმაგი შრის მსგავსია. ორმაგი შრის შერჩევითი შეღწევადობის გამო ლიპოსომები ოსმოსის შედეგად ფართოვდება ან იკუმშება, როცა მათ სხვადასხვა კონცენტრაციის ხსნარებში ათავსებენ. ზოგი ლიპოსომა ენერგიას მემბრანული პოტენციალის ფორმით (მემბრანის ზედაპირის გასწვრივ არსებული ელექტრული მუხტი) ინახავს. ასეთ ლიპოსომებს, ნერვული უჯრედების მსგავსად ალგ-ზნება შეუძლია. ამ ტიპის ალგზნებადობა ყველა ცოცხალი ფორმისთვის დამახასიათებელია (ეს არ ნიშნავს, რომ ლიპოსომები ცოცხალია, უბრალოდ მათ ცოცხალი ორგანიზმის ზოგი თვისება ახასიათებს). თუ ადრეული დედამიწის გუბებში წარმოქმნილი ეს წვეთები თავიანთ მემბრანებში ამინომჟავების შემთხვევითად შერჩეულ პოლიმერებს ჩართავენ, და თუ ზოგი დაკავშირებული პოლიმერი კონკრეტული ორგანული მოლეკულებისთვის შეღწევად მემბრანებს შექმნიდა, მაშინ ასეთი წვეთები შეძლებდნენ გარემოდან ორგანული მოლეკულების შერჩევით ათვისებას.

პირველი გენეტიკური მასალა ალბათ რნმ და არა დნმ იყო. თომას ჩეხმა (კოლორადოს უნივერსიტეტი) და სიდნი ალტმანმა (იელის უნივერსიტეტი) გამოიკვლიეს, რომ რნმ-ს, რომელიც ცილების სინთეზში მთავარ როლს ასრულებს, შეუძლია ფერმენტის მსგავსი რამდენიმე კატალიზური ფუნქციის შესრულება. ჩეხმა მათ რნმ ფერმენტები უწოდა. ზოგიერთი რიბოზიმა ნუკლეოტიდური სამშენებლო ბლოკებით მომარაგებისას მცირე მონაკვეთების კომპლემენტალურ ასლებს ქმნის (**სურათი 26.5**) სხვები თვითონ გადაადგილებენ საკუთარ სეგმენტებს (თვით-მოდიფიცირებადი ინტრონები, იხ. თავი 17), მოქმედებენ სხვადასხვა მოლეკულებზე, მაგალითად სატრანსპორტო რნმ-ზე, ან შლიან მოლეკულების ნაწილებს. ეს მათ სრულფასოვანი ფუნქციონირების უნარს ანიჭებს. რიბოზიმებით კატალიზირებული რეაქციები შედარებით ნელია. მაგრამ რიბოზიმებთან დაკავშირებულ ცილებს რეაქციის სიჩქარის ათასჯერ გაზრდა შეუძლია.

რნმ-ის მოლეკულების ბუნებრივ გადარჩევაზე ლაბორატორიულ პირობებში ექსპერიმენტი ტარდებოდა. დნმ-ის ორმაგი ჯაჭვისგან განსხვავებით, რომელიც ორმაგი სპირალის სტანდარტულ ფორმას იღებს, რნმ-ის ერთჯაჭვიანი მოლეკულები სხვადასხვა სამგანზომილებიან ფორმას იღებს, რომელსაც მათი ნუკლეოტიდური თანმიმდევრობა განსაზღვრავს. ასეთ მოლეკულას აქვს ორივე: — გენოტიპური (მისი ნუკლეოტიდური თანმიმდევრობა) და ფენოტიპური (მისი სტრუქტურა, რომელიც კონკრეტული მიმართულებით გარშემო მყოფ მოლეკულებთან ურთიერთ-მოქმედებს) თვისებები. გარემოს ექსტრემალურ პირობებში რნმ-ის მოლეკულები, რომლებსაც ზუსტი ძირითადი თანმიმდევრობა აქვს, უფრო სტაბილურია. მათი რეპლიკაცია უფრო სწრაფია და ნაკლები შეცდომებით მიმდინარეობს, ვიდრე სხვა თანმიმდევრობების რეპლიკაცია. რნმ-ის განსხვავებული მოლეკულები კონკურირებენ რეპლიკაციისთვის საჭირო მონომერებისთვის. იმარჯვებს თანმიმდევრობა, რომელიც უკეთ შეგუებულია ტემპერატურას, მარილის კონცენტრაციასა და ხსნარის სხვა თვისებებს, და საუკეთესო თვითკატალიზური აქტიობა ახასიათებს. ასეთი მოლეკულების შთამომავლობა ერთი რნმ-ის აბსოლუტურად იდენტური ასლი არ არის. ახლომონათესავე თანმიმდევრობათა ოჯახს შვილეული რნმ-ები ქმნიან. მათ თანმიმდევრობაში განსხვავება მაინც იქნება, ვინაიდან რეპლიკაციისას გარდაუვალია

შეცდომები. გადარჩევა პირველად თანმიმდევრობაში მუტაციებს ცხრილავს. კოპირებისას დაშვებული შემთხვევითი შეცდომები აისახება მოლეკულებზე. გადარჩევა უფრო სტაბილური ფორმის მოლეკულებს არჩევს, ან მათ, ვინც წინაპარ თანმიმდევრობებთან შედარებით უკეთ თვითრეპლიცირდება. მსგავსი გადარჩევა ალბათ ადრეულ დედამიწაზეც იყო. ასე რომ, დღევანდელი მოლეკულური ბიოლოგიის საფუძველი რნმ-ის „სამყაროა“. ამ სამყაროში პატარა რნმ-ის მოლეკულებს, რომლებიც გენეტიკური ინფორმაციის მატარებლები იყვნენ, შეეძლოთ რეპლიკაცია და რნმ-ის მატარებელ პროტობიონტებზე ინფორმაციის გადატანა.

პრინსტონის უნივერსიტეტის ფიზიკოსი ფრიმან დისონი თვლის, რომ რნმ-ის პირველი მოლეკულები ალბათ მოკლე, ვირუსის მსგავსი თანმიმდევრობები იყო. ამ თანმიმდევრობათა რეპლიკაციისას კატალიზურ ფუნქციას შემთხვევითად შერჩეული ამინომჟავური პოლიმერები ასრულებდა, მაგრამ მათი კატალიზური თვისებები სუსტი იყო. სავარაუდოდ, ეს ადრეული რეპლიკაცია პროტობიონტების შიგნით მიმდინარეობდა, რომლებმაც დიდი რაოდენობით ორგანული მონომერები შეაგროვეს. თუ რნმ-ის ზოგ მოლეკულას შეეძლო სპეციფიკური ამინომჟავების დაკავშირებარე მათი სიგრძის ნაწილის გასწვრივ განლაგებულ ფუძეებთან, ეს კავშირი რამდენიმე ამინომჟავას იმ დროის განმავლობაში დაიკავებდა, რამდენიც საჭიროა პეპტიდის ფორმირებისთვის მართლაც, ეს თანამედროვე რიბოსომებში (ცილის სინთეზის ადგილები უჯრედში) რიბოსომული რნმ-ის ერთ-ერთი ფუნქციაა. ზოგი პეპტიდი ფერმენტის მსგავს ფუნქციას ასრულებდა — რნმ-ის მოლეკულის რეპლიკაციის დახმარება. სხვები პროტობიონტური მემბრანის შემადგენლობაში შევიდნენ, რის გამოც მემბრანამ მაღალენერგიული არაორგანული მოლეკულების, მაგალითად წყალბათის სულფიდის გამოყენება შეძლო და ორგანული რეაქციების, მათ შორის რნმ-ის სამშენებლო „ბლოკების“ შექმნა ბოლომდე მიიყვანა.

თვითრეპლიკაციის უნარის მქონე კატალიზური რნმ-ის შემცველი პროტობიონტები უნდა განსხვავდებოდნენ მეზობლებისგან, რომლებსაც არ ჰქონდათ რნმ, ან რომელთა რნმ-ს ეს თვისებები არ ჰქონდა. თუ ასეთი პროტობიონტები იზრდებოდა, იხლიჩებოდა და რნმ-ის მოლეკულებს შვილეულ უჯრედებს გადასცემდა, მათ მშობლების ზოგი თვისებაც უნდა მიეღოთ. პირველად პროტობიონტები ალბათ შეზღუდულ გენეტიკურ ინფორმაციას ატარებდნენ. ეს ინფორმაცია რამდენიმე თვისებას აკონტროლებდა, რომელიც მათ მემკვიდრეობით მიიღეს და რომელზეც ბუნებრივი გადარჩევა მოქმედებდა. ყველაზე წარმატებული პროტობიონტების რაოდენობა ნელ-ნელა იზრდებოდა, ვინაიდან ისინი რესურსებს უფრო ეფექტურად იყენებდნენ და შემდგომ თაობებსაც ამ თვისებას გადაცემდნენ. ასეთი პროტობიონტების გაჩენა შეიძლება არარეალურად გეჩვენებოდეს, მაგრამ გახსოვდეთ, რომ ადრეული დედამიწის წყლებში მილიარდობით პროტობიონტი არსებობდა. მემკვიდრეობითობის თუნდაც შეზღუდული უნარის მქონეს სხვებთან შედარებით უზარმაზარი უპირატესობა ჰქონდა.

პროტობიონტებში გენეტიკური ინფორმაციის მატარებელი რნმ-ის თანმიმდევრობის გაჩენის შემდეგ ბევრი სხვა ცვლილებაც გახდა შესაძლებელი. მაგალითად, რნმ ისეთ მატრიცას ქმნიდა, რომელშიც გროვდებოდა დნმ-ის ნუკლეოტიდები. გენეტიკური ინფორმაციის შესანახად დნმ-ის ორმაგი სპირალი რნმ-ის ერთმაგ ჯაჭვზე გაცილებით სტაბილურია. დნმ-ის რეპლიკაცია უფრო ზუსტია. გენომის ზრდასთან ერთად ზუსტი რეპლიკაცია-

ლი აუცილებელი ხდება გენის გაორმაგებისა და სხვა პროცესების სთვის. ის აუცილებელია, თუ საჭიროა მრავალი თვისების გენეტიკური კოდირება. დნმ-ის გაჩენის შემდეგ რნმ-ის მოლეკულებს სხვა ფუნქციები დაეკისრა. ეს ფუნქციები მათი ამჟამინდელი ფუნქციების მსგავსი იყო. კერძოდ, გენეტიკური ინფორმაციის გადატანისას შუამდგომლობა. „რნმ-ის სამყარო“ ადგილი „დნმ-ის სამყაროს“ დაუთმო. ბუნებრივი გადარჩევის პროცესში გაჩნდა სიცოცხლის სხვადასხვა ფორმების გაჩენისათვის აუცილებელი პირობები. ეს პროცესი დღემდე მიმდინარეობს.

კონცეფცია ცისცი 26.1

1. რა პიპოთეზა შეამონმეს მილერმა და ურეიმ თავიანთი ექსპერიმენტებით?
2. რატომ იყო მემბრანით შემოსაზღვრული პროტეინონტების გაჩენა სიცოცხლის წარმოშობის ძირითადი პირობა?
3. რა არის რიბოზიმა?

კონცეფცია 26.2

დღამიწაჴ ატსეხული სიცაცხლის დათატილუბა ნამარხების მუშეფიბით

სიცოცხლის წარმოშობასთან დაკავშირებულ კითხვებზე სრულ პასუხს ვერ მივიღებთ, ვინაიდან ამ პროცესის დამადასტურებელი ნამარხები დღეისთვის არ არსებობს. უფრო გვიანი მრავალი მოვლენა ნამარხებში კარგად დოკუმენტირებულია. ნამარხების ზედმიწევნითი შესწავლა გვაძლევს ინფორმაციას დედამიწაზე დიდი ხნის წინ არსებულ ორგანიზმებზე და მილიარდობით წლის განმავლობაში მიმდინარე სიცოცხლის ევოლუციაზე.

ბოგატ ათატილუბნ დანალექ ქანებსა და ნამარხებს

25-ე თავში წაიკითხეთ, რომ ნამარხების უმრავლესობა აღმოჩენილია დანალექ ქანებში. აქ შენახული ნამარხები თითქოს დროში გაყინულია. ქანების ყოველი ფენის ნამარხები ამ ქანის ფორმირების პერიოდის ორგანიზმებს შეიცავს. უფრო ახალი ქანები უფრო ძველზე ილექება. დანალექი ფენები თითქოს წიგნის გვერდებს ქმნიან, რომლებზეც ჩანერილია ნამარხების მიახლოებითი ასაკი (სურათი 25.3).

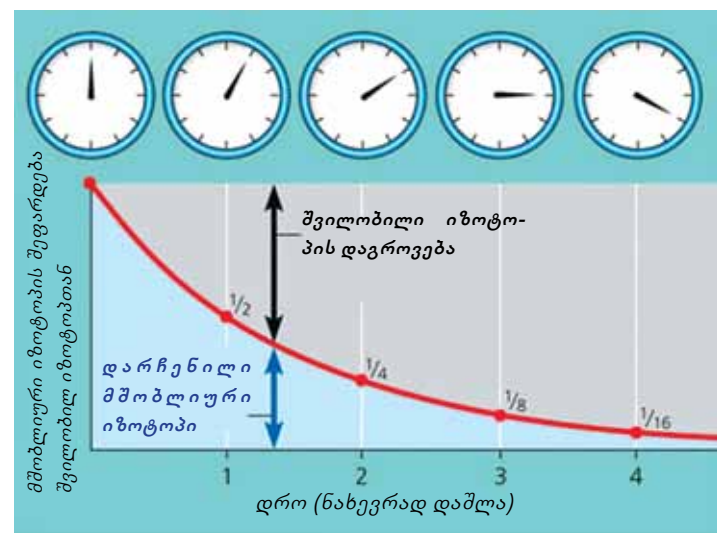
ერთ გეოგრაფიულ წერტილში განლაგებულ ფენაში შეიძლება სხვა ადგილას განლაგებული ფენის მსგავსი ნამარხები იყოს. ასეთი ნამარხები ცნობილია ინდექსური ნამარხების სახელით. საუკეთესო ინდექსური ნამარხები წარსულში დედამიწაზე ფართოდ გავრცელებული წყლის ნიჟარიანი ორგანიზმებია (სურათი 26.6). ინდექსური ნამარხებიდან ჩანს, რომ ყველა ადგილს ახასიათებს ნამარხების თანმიმდევრობის დარღვევები. ზოგი ადგილი გარკვეული პერიოდის განმავლობაში ზღვის დონეზე



▲ სურათი 26.6 ნამარხების ინდექსირება. ნიჟარიანი ცხოველები ბრაქიოპოდები (მხარფეხიანები) უძველეს ზღვებში ფართოდ იყვნენ გავრცელებულნი. მათი ნამარხები შესანიშნავი საშუალებაა სხვადასხვა ადგილის დანალექი ქანების ფარდობითი ასაკის დასადგენად.

მაღლა იყო განლაგებული და ნიჟარიანი ორგანიზმების შემცველი დანალექი ქანები იქ არ ჩამოყალიბდა. ზოგი დანალექი ქანის შრემ ადგილი შეიცვალა (რომელიც ყალიბდებოდა, როცა ეს ადგილი წყლით იყო დაფარული).

დანალექ შრეებში არსებული ნამარხების შედარებით ვხედავთ ნამარხების დალაგების თანმიმდევრობას, მაგრამ მათ



▲ სურათი 26.7 რადიოაქტიური დათარიღება. რადიოაქტიური მშობლიური იზოტოპი შვილობილ იზოტოპებად მუდმივი სიჩქარით იშლება. დაშლის სიჩქარე გამოიხატება სიცოცხლის ნახევრად-პერიოდით. ეს არის მშობლიური იზოტოპის 50% დაშლისთვის საჭირო დრო (ამ საათზე ყოველი დანაყოფი ნახევრად პერიოდს შეესაბამება). ყოველი ტიპის რადიოაქტიური იზოტოპს მისთვის დამახასიათებელი ნახევრად დაშლის პერიოდი აქვს. მაგალითად, ნახშირბად -14 შედარებით სწრაფად იშლება, მისი ნახევრად დაშლის პერიოდი 5 730 წელია. ურანიუმ 238 ნელა იშლება. მისი ნახევრად დაშლის პერიოდი 4, 5 მილიარდი წელია.

ასაკს ვერ ვიგებთ. ქანებში ნამარხების ადგილმდებარეობის დადგენა შეიძლება შევადაროთ ძალიან ძველი სახლის კედლიდან ქალაქის ფენების მოცილებას. შეეძლებოდა კედელზე გაკრული ქალაქის თანმიმდევრობის დადგენას, მაგრამ მისი კედელზე დაწებების დროს ვერ დაადგენთ. გეოლოგებმა ნამარხების ზუსტი ასაკის დასადგენად რამდენიმე მეთოდი შეიმუშავეს. (ზუსტი ან „აბსოლუტური“ თარიღი არ ნიშნავს მართლაც ზუსტ თარიღს. უბრალოდ ამ შემთხვევაში ასაკი მოცემულია წლებში და არ არის დადგენილი რამე მოვლენასთან შედარებით. მაგალითად, იქამდე და იმის შემდეგ). ყველაზე გავრცელებული მეთოდია რადიომეტრიული დათარიღება. ის დაფუძნებულია რადიოაქტიური იზოტოპების დაშლის სიჩქარეზე. ყოველ რადიოაქტიურ ელემენტს დაშლის ზუსტი პერიოდი ახასიათებს. იზოტოპის ნახევრად დაშლის პერიოდი არის დრო, რომელიც საწყისი ნივთიერების 50%-ის დაშლას სჭირდება. დაშლის პროცესზე ტემპერატურა, წნევა და გარემოს სხვა ფაქტორები არ მოქმედებს (**სურათი 26.7**).

ნამარხები შეიცავს ორგანიზმში მისი სიცოცხლის განმავლობაში დაგროვილ იზოტოპებს. მაგალითად, ცოცხალ ორგანიზმში შემავალი ნახშირბადი შეიცავს ნახშირბადის ყველაზე გავრცელებულ იზოტოპს, ნახშირბად-12-ს და რადიოაქტიურ ნახშირბად-14 იზოტოპს. როცა ორგანიზმი კვდება ნახშირბადის დაგროვებაც წყდება. ნახშირბად-14, რომელსაც ის სიკვდილის მომენტში შეიცავდა, ნელა იშლება და სხვა ელემენტად — აზოტ-14-ად გარდაიქმნება. ნახშირბად-14-ის მთელ ნახშირბადთან ან აზოტ-14-თან შეფარდების გამოანგარიშებით ნამარხის ასაკის დადგენა შეიძლება. ნახშირბად-14, რომლის ნახევრად დაშლის პერიოდი 5 730 წელია, 75 000 წლის ნამარხების დათარიღებისთვის გამოდგება. ამაზე ძველი ნამარხები ნახშირბად-14-ის იმდენად მცირე რაოდენობას შეიცავს, რომ მისი დაფიქსირება ხელსაწყობით შეუძლებელია (13 ნახევრად დაშლის პერიოდის ანუ 74 490 წლის შემდეგ ნამარხი იმ ნახშირბად-14-ის მხოლოდ $1/2^{13}$ ანუ 0.012% შეიცავს, რომელიც ამ ნამარხში ფორმირების მომენტში იყო). უფრო დიდი ნახევრადდაშლის პერიოდის მქონე რადიოაქტიურ იზოტოპებს უფრო ძველი ნამარხების დასათარიღებლად იყენებენ.

ვულკანური დანალექი ქანების ნამარხების ასაკის დადგენა პალეონტოლოგებს ვულკანურ ფენებში რადიოაქტიური იზოტოპის პოტასიუმ-40-ის რაოდენობის განსაზღვრით შეუძლია. პოტასიუმ-40 ქიმიურად ნეიტრალურ გაზად - არგონ-40-ად იშლება, რომელიც ვულკანურ ქანებში თითქმის „დაჭერილია“. ვულკანური ამოფრქვევისას ქანები ცხელდება, არგონი ქანებიდან გამოიძევება, მაგრამ პოტასიუმში იქ რჩება. ამით შეგვიძლია პოტასიუმ-40-ის დაშლის დასაწყისის დრო დავადგინოთ. ვულკანურ შრეებში პოტასიუმ-40-ის არგონ-40-ად დაშლის სიჩარის მიხედვით ამ შრის ფორმირების თარიღს განსაზღვრავენ. ასე რომ, თუ ნამარხები ნაპოვნია ორ ვულკანურ შრეს შორის განლაგებულ დანალექ ქანებში, რომელთა ასაკი შესაბამისად 530 და 520 მილიონი წელია, შეგვიძლია დავადგინოთ, რომ ისინი დაახლოებით 525 მილიონი წლის ასაკის ორგანიზმებს ეკუთვნის.

ქანების მაგნეტიზმის საშუალებით ასევე შეგვიძლია მათი დათარიღება. ვულკანური ან დანალექი ქანების ფორმირების მომენტში ამ ქანებში შემავალი რკინის ნაწილაკები განლაგებული იყო დედამიწის მაგნიტური ველის შესაბამისად. როცა ქანები ქვავდება, რკინის ნაწილაკების ორიენტაცია „დროში იყინება“. ამ ქანების მაგნეტიზმს მაგნიტომეტრის მეშვეობით ზომავენ. ამ ხერხის გამოყენებით გეოლოგებმა განსაზღვრეს, რომ დედამიწის

ჩრდილოეთის და სამხრეთის მაგნიტური პოლუსები წარსულში ადგილს მრავალჯერ იცვლიდნენ. მაგნიტური პოლუსების ცვლილება მთელ პლანეტაზე მოქმედებდა და დანალექ ქანებზეც საკუთარი კვალი დატოვა. ერთ ადგილას მაგნიტური პოლუსების ცვლილების სტრუქტურა მსგავსია ნებისმიერ სხვა ადგილას შესაბამისი სტრუქტურის. ამიტომ სხვა მეთოდების მიუწვდომლობის შემთხვევაში ქანების დათარიღება ამ მეთოდითაც შეიძლება.

გეოლოგიური მაცნა

დედამიწის ისტორიის აღწერისთვის გეოლოგებმა გეოლოგიური მაცნა შემოიღეს. დედამიწის ისტორია სამ ეონად დაიყო (**ცხრილი 26.1** პირველ გვერდზე). პირველი ორი, არქეის და პროტეროზოური ეონი, დაახლოებით 4 მილიარდ წელს გრძელდებოდა. ერთად ამ ორ ეონს პრეკემბიულ პერიოდს უწოდებენ. ფანეროზოური ეონი, რომელიც უკანასკნელ ნახევარ მილიარდ წელს გრძელდება, ემთხვევა დედამიწაზე ეუკარიოტული ორგანიზმების არსებობის უმეტეს ნაწილს. ამ ეონს სამ — პალეოზოურ, მეზოზოურ და კაინოზოურ ერებად ყოფენ. ყოველი ერა დედამიწის ისტორიის განსხვავებულ დროს წარმადგენს. მაგალითად: მეზოზოურ ერას ხანდახან „რეპტილიების ერას“ ეძახიან, დიდი რაოდენობის რეპტილიების, მათ შორის დინოზავრების ნამარხების გამო. ერებს შორის არსებული დროის საზღვრები მასობრივ გადაშენებებს უკავშირდება, რომელთა კვალს ნამარხების კვლევისას ვხედავთ. დედამიწაზე ოდესმე არსებული მრავალი ორგანიზმი მთლიანად გადაშენდა, გადარჩენილებმა კი ახალი ფორმები მოგვცეს. ერებს პერიოდებად ყოფენ. ბევრი პერიოდის საზღვრებს შედარებით მცირე მასშტაბის კატასტროფების მიხედვით ადგენენ. პერიოდები იყოფა ინტერვალებად, რომლებსაც ეპოქებს ეძახიან. კაინოზოური ერის ეპოქების ჩამონათვალი მოცემულია 26.1 ცხრილში.

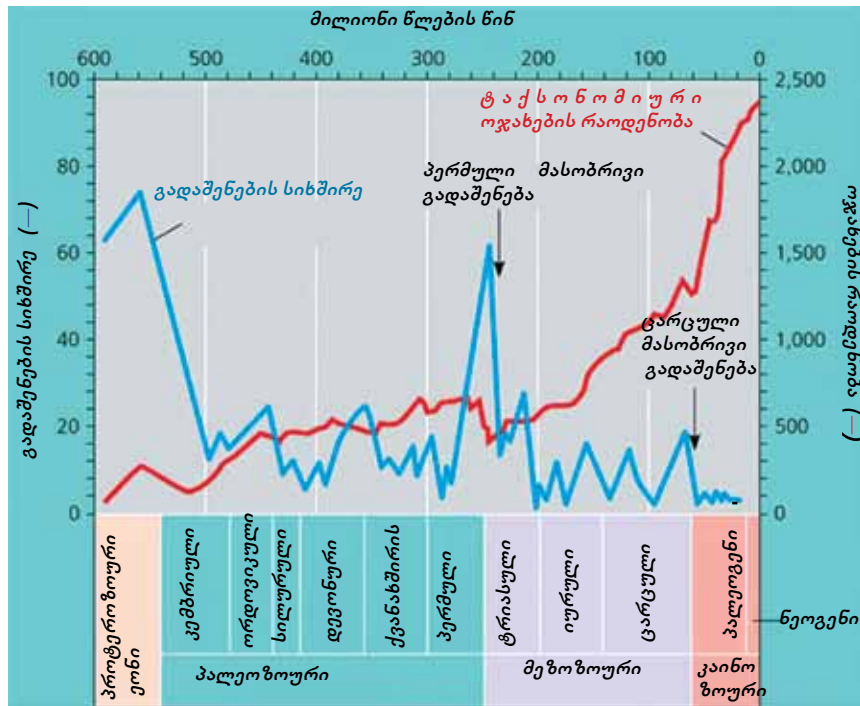
მასობრივი გადაშენებები

სახეობების გადაშენებას შეიძლება უამრავი მიზეზი ჰქონდეს: საბინდრო არეალი შეიძლება განადგურდეს ან გარემო სახეობისთვის არასასურველი მიმართულებით შეიცვალოს. ოკეანის ტემპერატურა რამდენიმე გრადუსით თუ დაიწვეს, თანამედროვე პირობებთან კარგად ადაპტირებული მრავალი სახეობა გადაშენდება. გარემოს ფიზიკური ფაქტორების სტაბილურობის შემთხვევაში შეიძლება შეიცვალოს ბიოლოგიური ფაქტორებიც. ერთი სახეობის საბინდრო გარემოში სხვა სახეობებიც ბინადრობენ. ამიტომ ერთი სახეობის ევოლუციური ცვლილება სხვებზეც აისახება.

ნამარხების შესწავლით დასტურდება გარემოს სწრაფი და გამანადგურებელი ცვლილებების რამდენიმე შემთხვევა, რომლის შედეგად სახეობების უმრავლესობა გადაშენდა (**სურათი 26.8**). მასობრივი გადაშენების მაგალითია სხეულის მკვრივი საფარის მქონე ცხოველების გადაშენება, რომლებიც წყალმარჩხ ზღვებში ბინადრობდნენ. სხვებთან შედარებით ამ ორგანიზმების ნამარხები უფრო სრულყოფილია. დიდ ინტერესს ორი მასობრივი გადაშენება — პერმული და ცარცული იწვევს. პერმული მასობრივი გადაშენება პალეოზოური და მეზოზოური ერების საზღვარზე მოხდა და ზღვის სახეობების 96%-მდე შეიწირა. მან იმოქმედა დედამიწის ზედაპირზე გავრცელებულ სიცოცხლეზეც. მაგალითად, მწერების 27 რიგიდან 8 გადაშენდა. ეს მასობრივი გადაშენე-

ცხრილი 26.1 გეოლოგიური ათვლა

ეონების ფარდობითი ხანგრძლივობა	ერა	პერიოდი	ეპოქა	ასაკი (მილიონ- ნი წლების წინ	სიცოცხლის ისტორიის ზოგი მნიშვნელოვანი მოვლენა
ფანერო- ზოური	კ ა ო ნ ი - ზოური	ნეოგენი	ჰოლოცენი		თანამედროვეობა
			პლეისტოცენი	0.01	გამყინვარება: ადამიანის წარმოშობა
			პლიოცენი	1.8	გვარი Homo-ს წარმოშობა
			მიოცენი	5.3	ძუძუმწოვრების და ფარულთესლოვანების დათიშ- ვის გაგრძელება. ადამიანის წინაპრის ადამიანის- მაგვარი მაიმუნის წარმოშობა
		პ ა ლ ე ო - გენი	ოლიგოცენი	23	პრიმატების მრავალი ჯგუფის, მათ შორის ადამიანისმაგვარი მაიმუნების წარმოშობა
			ეოცენი	33.9	იზრდება ფარულთესლოვანების უპირატესობა. ძუ- ძუმწოვრების უმეტესი თანამედროვე რიგის დათიშვის გაგრძელება
			პ ა ლ ე ო ვ - ცენი	55.8	ძუძუმწოვრების, ფრინველებისა და დამტ- ვერავი მწერების ძირითადი დათიშვა
				65.5	
		მ ე ზ ო - ზოური	ცარცის		ყვავილოვანი მცენარეების (ფარულთესლოვანების) წარ- მოშობა; მრავალი ორგანიზმის, დინოზავრების ჩათვლით, გადაშენება პეიოდის ბოლოს (ცარცული გადაშენება)
			იურული	145.5	შიშველთესლოვანების დომინანტო- ბის გაგრძელება; დინოზავრები მრავალ- რიცხოვანი და მრავალფეროვანია
ტრიასული	199.6		გირჩიანი (შიშველთესლოვანი) მცენარეების დომინირება; დინოზავრების დათიშვა; ძუძმ- წოვრებისმაგვარი რეპტილების წარმოშობა		
პ რ ო - ტ ე რ ო - ზოური	პ ა ლ ე ო - ზოური	პერმული	251	რეპტილების დათიშვა; მწერების თანამედროვე რიგების უმეტესობის წარმოშობა; პერიოდის ბოლოს უამრავი ზღვის და ხმელეთის ორგანიზმის გადაშენება	
		ქვანახშირის	299	ჭურჭლოვანი მცენარეების დიდი ტყეები; პირველი თესლოვანი მცენარეები; რეპტილი- ების წარმოშობა; ამფიბიების დომინანტობა	
		დევონური	359.2	ძვლოვანი თევზების გამრა- ვალფეროვნება; პირველი ოთხ- ფეხიანები და მწერები	
		სილურული	416	ადრეული ჭურჭლოვანი მცენარეების გამრავალფეროვნება	
		ორდოვიკული	443.7	ზღვის მრავალრიცხოვანი წყალმცენა- რეები; ფესხაბრინები და მცენარეები ხმელეთს ითვისებენ	
		კემბრიული	488.3	ცხოველების მრავალი ტიპის მრავალ- ფეროვნების სწრაფი ზრდა (კემბრიული აფეთქება)	
		არქეუ- ლი		542	მრავალფეროვანი წყალმცენარეები და რბილტანიანი უხერხემლო ცხოველები
				600	
				2,200	ეუკარიოტული უჯრედების უძვე- ლესი ნამარხები
				2,500	
დაახლოებით			2,700	ატმოსფერული ჟანგბადის კონცენტრაცია იზრდება	
				3,500	პროკარიოტული უჯრედების უძველესი ნამარხები
				3,800	დედამიწის ზედაპირის ყველაზე ძველი ცნობილი ქანები
				4,600	დედამიწის წარმოშობა



▲ **სურათი 26.8** სიცოცხლის მრავალფეროვნება და მასობრივი გადაშენების პერიოდები. ხმელეთისა და ზღვის ორგანიზმების ნამარხები დროის განმავლობაში ორგანიზმების მრავალფეროვნების ზრდის მაჩვენებელია (წითელი ხაზი და მარჯვენა ვერტიკალური ღერძი) მასობრივი გადაშენებები ნაჩვენებია გადაშენების სიხშირის მწვერვალებით (ლურჯი ხაზი და მარცხენა ვერტიკალური ღერძი) რომლებიც მრავალფეროვნების მუდმივ ზრდას წყვეტს. ყოველი გეოლოგიური პერიოდის განმავლობაში გადაშენებული ტაქსონომიური ოჯახების დადგენილი პროცენტი გადაშენების სიხშირეა.

ბა 5 მილიონზე ნაკლები წლის წინ მოხდა. გეოლოგიური დროის თვალსაზრისით ეს წამებია. ცარცის მასობრივი გადაშენება 65 მილიონი წლის წინათ მეზოზოური და კაინოზოური ერების საზღვარზე მოხდა. ზღვის სახეობების ნახევარზე მეტი და ხმელეთის ბინადართი მრავალი მცენარე და ცხოველი გადაშენდა. ამ დროს გადაშენდა დინოზავრების უმეტესობაც.

პერმული მასობრივი გადაშენება დაემთხვა უზარმაზარ ვულკანურ ამოფრქვევებს, რომლებიც ტამანდროვე ციმბირის ადგილას მოხდა. ბოლო ნახევარი მილიარდი წლის განმავლობაში ეს ყველაზე მასშტაბური ვულკანური ამოფრქვევები იყო. ლავის გამოსვლისა და ატმოსფეროში ნაცრის ამოფრქვევის გარდა, ატმოსფეროში დიდი რაოდენობით ნახშირორჟანგი მოხვდა, რამაც გლობალური კლიმატური ცვლილებები, კერძოდ კი გლობალური დათბობა გამოიწვია. ეკვატორსა და პოლუსებს შორის ტემპერატურის სხვაობა შემცირდა, რამაც ოკეანური ნყლების შერევის შენელება გამოიწვია. ამან თავის მხრივ შეამცირა ზღვის ცხოველებისთვის საჭირო ჟანგბადის რაოდენობა. ოკეანეებში ჟანგბადის დეფიციტმა პერმულ გადაშენებაში დიდი როლი შეასრულა.

ცარცის მასობრივი გადაშენების შესაძლებელი მიზეზის ასახსნელად იკვლევენ ირიდიუმით გამდიდრებულ თიხის თხელ ფენას, რომელიც განლაგებულია მეზოზოური და ცარცის ერების დანალექი ქანების საზღვარზე. ირიდიუმი დედამიწაზე ძალიან იშვიათად გვხვდება, მაგრამ ბევრია დედამიწაზე მოხვერილი მეტეორიტების და სხვა კოსმოსური ობიექტების შემადგენლობაში. ვალტერ და ლუის ალვარეზებმა და მათმა კოლეგებმა (კალიფორნიის უნივერსიტეტი) ივარაუდეს, რომ ეს შრე სხვადასხვანაირი ნამსხვრევების შემცველი უზარმაზარი ღრუბლის დალექვის შედეგად წარმოიქმნა, რომელიც ასტეროიდის ან დიდი კომეტის დედამიწასთან შეჯახების შედეგად ატმოსფეროში გავრცელდა. ამ ღრუბელს მზის სინათლის დაფარვა და რამდენიმე თვის განმავლობაში გლობალური კლიმატის სერიოზული ცვლილების

გამოწვევა შეეძლო. სად ჩამოვარდა ეს ასტეროიდი ან კომეტა? მკვლევრები თვლიან, რომ ის ჩიქსულუბის კრატერის, 65 მილიონი წლის წინათ წარმოქმნილი ღრმის, ადგილას ჩამოვარდა, რომელიც მექსიკაში, იუკატანის სანაპიროსთან, დანალექი ქანების ქვევით მდებარეობს (**სურათი 26.9**). კრატერის დიამეტრი - 180 კმ-ია, ასეთი ღრმის დატოვებას 10 კილომეტრი დიამეტრის ობიექტს შეეძლო.

მასობრივი გადაშენების სხვადასხვა მიზეზებზე არსებული ჰიპოთეზების განხილვა დღესაც გრძელდება. ცარცულ პერიოდში მომხდარი მასობრივი გადაშენებისას ვულკანური აქტივობის ჰიკი თანამედროვე ინდოეთის ადგილას იყო. გამოიწვია თუ არა ეს ჰიკი ჩიქსულუბის გავლენამ? ზოგი მეცნიერი თვლის, რომ პერმულ მასობრივ გადაშენებასთან დაკავშირებული ციმბირული ვულკანური აქტივობა შეიძლება კოსმოსურმა მოვლენებმა გამოიწვია. ამ დროს დიდი ავსტრალიის ნაპირთანაც ჩამოვარდა მეტეორიტი, რამაც ავსტრალიაზე გავლენა იქონია. ეს მოსაზრება დაუდასტურებელია. პერმულ დანალექ ქანებში ირიდიუმით მდიდარი შრეები არ არის აღნიშნული. მაგრამ ვულკანური აქტივობის გამოსაწვევად საკმარისია მეტეორიტის ან სხვა დიდი სხეულის სიახლოვე ან ირიბი დარტყმა.

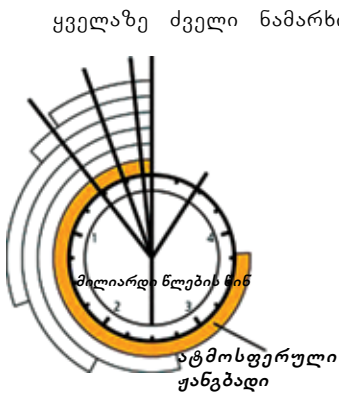
მასობრივი გადაშენებების მიზეზები ჯერ გამოსაკვლევი. მაგრამ ამ პერიოდში სიცოცხლეს განთავისუფლებულ ეკოლოგიურ ნიშებში ადაპტაციური რადიაციის შესანიშნავი შესაძლებლობა უჩნდებოდა. თავის ბოლოში სიცოცხლის ისტორიის ძირითად მომენტებზე ვისაუბრებთ. 26.10 **სურათზე** ასახულია ამ მოვლენების გეოლოგიურ აღრიცხვასთან შესაბამისობაში მოსაყვანად საათის პრინციპის გამოყენება. ამ საათს თავის სხვადასხვა ნაწილშიც გამოვიყენებთ. ის ამა თუ იმ მოვლენის თარიღის სწრაფ გახსენებაში დაგვეხმარება.

კონცეფტია 26.2

1. ანალიზის საშუალებით დაადგინეთ, რომ თქვენს მიერ აღმოჩენილი თავის ქალაში ნახშირბად-14/ნახშირბად-12-თან, თანამედროვე ცხოველების თავის ქალების მსგავსი შემადგენის 1/16-ია. რას უდრის გაქვავებული ნამარხის მიახლოებითი ასაკი?
2. 26.1 ცხრილზე დაყრდნობით გამოთვალეთ, რამდენ ხანს იყო დედამიწა მხოლოდ პროკარიოტებით დასახლებული?

კონცეფტია 26.3

პროკარიოტების ევოლუცია და მათი გავლენა ახლაგაზრდა დედამიწაზე



ყველაზე ძველი ნამარხი ფორმები სტრომატოლითებია, რომელთა ასაკი 3,5 მილიარდი წელია. სტრომატოლითები კლდოვანი სტრუქტურებია, რომლებიც ბაქტერიებისა და მისი სედიმენტების მრავალი შრისგან შედგება (სურ. 26.11). დღესდღეობით სტრომატოლითები მცირე ზომის თბილ გუბებში, წყალმარჩხ ადგილებში და მლაშე წყლებში გვხვდება.

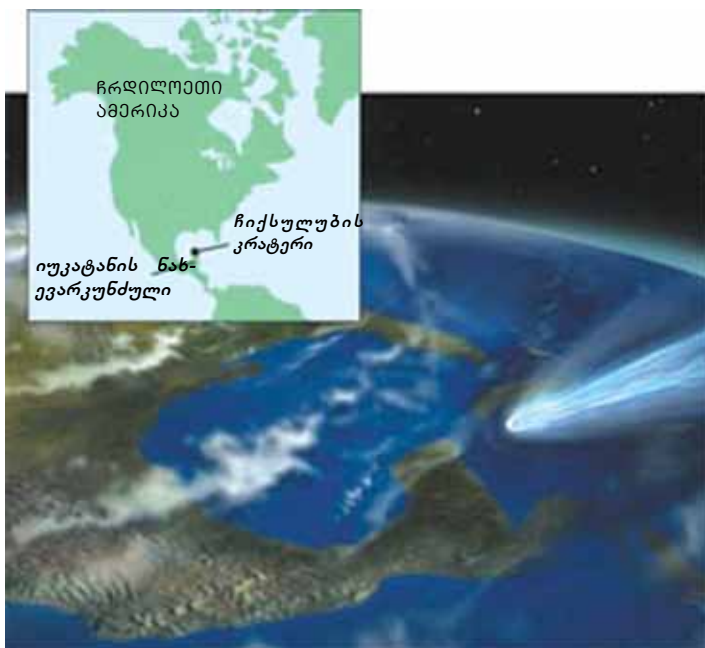
თუ მივიჩნევთ, რომ ბაქტერიები 3.5 მილიარდი წლის წინ არსებობდა, უნდა ვივარაუდოთ, რომ სიცოცხლე დედამიწაზე გაცილებით ადრე, დაახლოებით 3.9 მილიარდი წლის წინ წარმოიშვა, როცა დედამიწა იმდენად გაცივდა, რომ წყალი თხევადი გახდა. ამდენად, პროკარიოტები წარმოიშვა და განვითარდა, როცა დედამიწა ძალიან „ახალგაზრდა იყო“. ფაქტიურად პროკარიოტების განვითარების ადრეულ სტადიაში ჩამოყალიბდა ორი ძირითადი ევოლუციური ხაზი — ბაქტერიები და არქეაბაქტერიები. როგორც 27-ე თავში ნახავთ, ეს ორი ხაზი არსებობას დღესაც განაგრძობს და სხვადასხვა ბუნებრივ პირობებში გვხვდება.

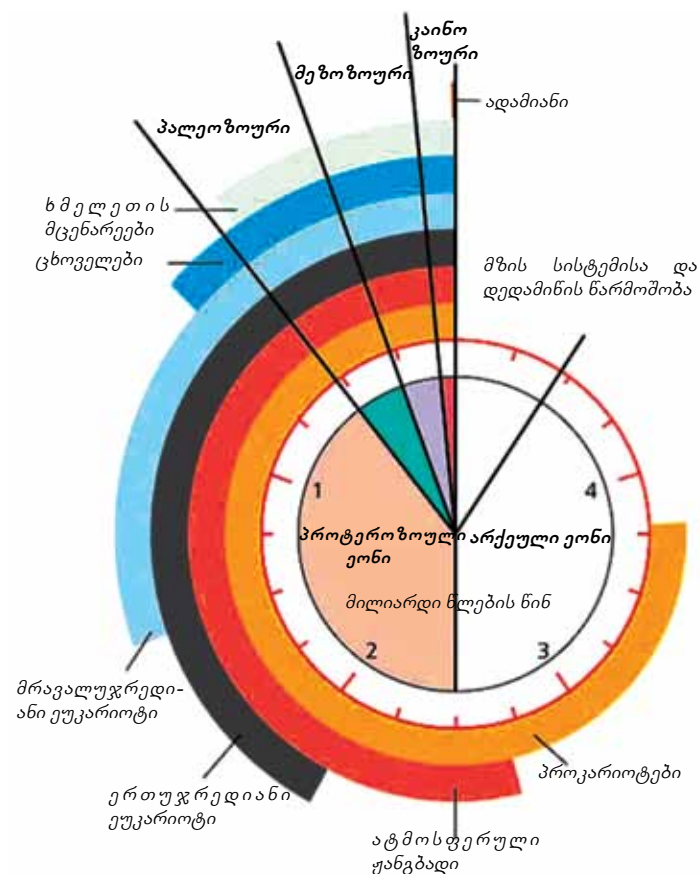
პირველი პროკარიოტები

გამრავლების უნარის მქონე ადრეული პროტობიონტები მეტაბოლიზმისთვის პრიმიტიულ ბუილიონში არსებულ მოლეკულებს იყენებდნენ. უმარტივეს პროტობიონტებსაც კი არეობისთვის გარემოს კონკრეტული პირობები ესაჭიროებოდა. სიცოცხლის ეს ფორმები იძულებული იყვნენ სინთეზის გზით შეექმნათ მათთვის სასიცოცხლოდ აუცილებელი ნივთიერებები. მოგვიანებით, პროტობიონტთა შორის ისეთი ორგანიზმები გაჩნდა, რომლებიც სინთეზის ენერგიის გამოყენებით საარსებო გარემოს არაორგანული მოლეკულებიდან, ორგანული ნაერთების სინთეზს აწარმოებენ ანუ პირველი აუტოტროფები განვითარდნენ. აუტოტროფების შემდგომ განვითარებამ ხელი შეუწყო ჰეტეროტროფების წარმოშობას, რადგანაც ისინი საკვებად სწორედ აუტოტროფების მიერ წარმოებულ ნივთიერებებს იყენებდნენ.

3,5 – 2 მილიარდი წლის წინ ჰეტეროტროფები და აუტოტროფები დედამიწის პირველი პროკარიოტული ორგანიზმები და სიცოცხლის ერთადერთი ფორმები იყვნენ. სწორედ ისინი არიან ჩვენი პლანეტის ყველა ცოცხალი ორგანიზმის წინაპრები.

▼ **სურათი 26.9** დედამიწაზე მომხდარი კატასტროფა და ცარცული პერიოდის სიცოცხლე. 65 მილიონი წლის ასაკის ჩიქსულუბის კრატერი განლაგებულია მექსიკაში, იუკატანის ნახევარკუნძულთან ახლოს კარიბის ზღვაში. კრატერის ნალის ფორმა და დანალექი ქანების შემადგენელი ნაწილების თვისებები ადასტურებს, რომ დედამიწაზე სამხრეთ-აღმოსავლეთიდან მცირე კუთხით ასტეროიდი ან კომეტა ჩამოვარდა. მხატვარმა გამოსახა შეჯახება და მისი მყისიერი შედეგი: ცხელი ორთქლის ღრუბელი და ნამსვრევები, რომლებმაც საათების განმავლობაში ჩრდილოეთი ამერიკის ცხოველებისა და მცენარეების უმეტესობა გაანადგურეს.





??

▲ **სურათი 26.10** დედამიწის ისტორიის ზოგიერთი ძირითადი მოვლენის ამსახველი საათი. ამ საათზე ნაჩვენებია ათვლა დედამიწის წარმოშობის მომენტიდან დღემდე

(ბ) კდოვანი სტრუქტურის ზოგიერთ ბაქტერიულ ნამარხ შრეს სტრომატოლიტი ეწოდება. ეს სტრომატოლიტი მოპოვებულია დასავლეთი ავსტრალიის ზვიგენის ყურეში. ზვიგენის ყურეს სტრომატოლიტების ფორმირება 3 მილიარდი წლის წინათ დაიწყო. ნიშნული მიუთითებს გაქვავებული სტრომატოლიტის გასწვრივ განლაგებულ სექციაზე, რომლის ასაკი დაახლოებით 3,5 მილიარდი წელია.



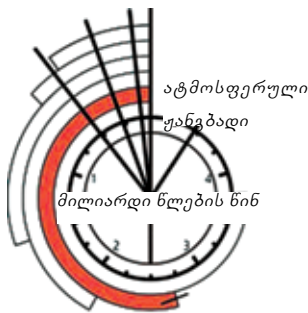
▲ **სურათი 26.11** ბაქტერიების ნამარხი ფენები და სტრომატოლიტები (ა) ლინ მარგულისი (მარჯვნივ ზევით) მასაჩუსეტის უნივერსიტეტიდან და კენეს ნელსონი სამხრეთი კაროლინის უნივერსიტეტიდან ბაზა კალიფორნიის ლაგუნასთან შეგროვებულ ბაქტერიულ ნამარხებს ათვალაიერებენ. ნამარხები ბაქტერიების კოლონიებს ეკუთვნის, რომლებიც ბინადრობდნენ სხვა ორგანიზმებისთვის არახელსაყრელ გარემოში. ნამარხის გასწვრივ განლაგებული ზოლი ნალექების შრეა რომელიც მიენება ბაქტერიას, როცა ის მაღლა მოძრაობდა.

ჟლოქტონების გადაცემის სისცემები

ატფ-ს სინთეზის ქემიოსმოსური მექანიზმი, რომელშიც მემბრანასთან დაკავშირებული ცილები მონაწილეობს, ელექტრონების ტრანსპორტს და ადენინდიფოსფატიდან ადენინტრიფოსფატს წარმოქმნას განაპირობებს. ეს სიცოცხლის სამივე ფორმას — ბაქტერიებს, არქეობაქტერიებსა და ეუკარიოტებს ახასიათებს. გვაქვს უტყუარი მტკიცებულება, რომ ელექტრონების გადაცემის მექანიზმი პირველად იმ ცოცხალ ორგანიზმებში გაჩნდა, რომლებიც თანამედროვე სასიცოცხლო ფორმების წინაპრები იყვნენ. ელექტრონების გადაცემის მექანიზმის ევოლუცია სავარაუდოდ მაშინ დაიწყო, როცა ფოტოსინთეზის შედეგად წარმოქმნილი თავისუფალი ჟანგბადის მოლეკულები ატმოსფეროში ჯერ არ არსებობდა. იმ დროს ორგანიზმები ენერგიის წყაროდ მეთანს და წყალბადის სულფიდს იყენებდნენ. სიცოცხლის წარმოშობის შემსწავლელი მეცნიერები ცდილობენ ელექტრონების გადაცემის მექანიზმების წარმოშობის ეტაპებისა და პირველად უჯრედებში მათი ფუნქციების დადგენას.

პროკარიოტების მეტაბოლიზმსა და ელექტრონების გადაცემის მექანიზმებს დეტალურად 27-ე თავში განვიხილავთ. ერთი რამ ცხადია: სხვადასხვა გარემო პირობებში მოხინაძრე პროკარიოტების ევოლუცია 3 მილიარდი წლის წინ დაიწყო. მაგრამ პროკარიოტების აგებულების ევოლუცია მნიშვნელოვნად ჩამორჩებოდა მათი მეტაბოლიზმის ევოლუციას.

ფოტოსინთეზი და ჟანგბადური ბრუნვა



სავარაუდოდ, ფოტოსინთეზი პროკარიოტების განვითარების ადრეულ სტადიაზე წარმოიქმნა, მაგრამ თავდაპირველად მეტაბოლიზმის დროს წყლის მოლეკულები არ იშლებოდა და თავისუფალ ჟანგბადის O_2 -ის მოლეკულებს არ წარმოქმნიდა. 27-ე თავში დეტალურად განვიხილავთ პროკარიოტებში არსებული “არაჟანგბადური” ფოტოსინთეზი. დღეს

პროკარიოტებიდან ფოტოსინთეზს მხოლოდ ციანობაქტერიები (ლურჯ-მწვანე წყალმცენარეები) აწარმოებენ.

ატმოსფეროში არსებული ჟანგბადის O_2 -ის დიდი ნაწილი ბიოლოგიური წარმოშობისაა და წყლის მოლეკულების გახლეჩით წარმოიქმნა. პიველი ჟანგბადური ფოტოსინთეზი თავისუფალი ჟანგბადი ჯერ წყალში დაგროვდა, რის შედეგად ზღვები და ტბები ჟანგბადის მოლეკულებით გაჯერდა. ჟანგბადი რეაქციაში რკინასთან შედიოდა და რკინის ოქსიდს წარმოქმნიდა. რკინის ოქსიდი წითელია და დღესაც რკინის წყაროა (სურათი 26.12). როცა თავისუფალი რკინის კონცენტრაცია ოკეანეში პირველად შემცირდა, O_2 -ის მოლეკულები წყლიდან ატმოსფეროში მოხვდა. რკინის დაჟანგვა დაახლოებით 2.7 მილიარდი წლის წინ რკინით მდიდარ კლდოვან შრეებშიც მიმდინარეობდა. რკინის დაჟანგვის ქრონოლოგიის მიხედვით შეგვიძლია ციანობაქტერიების ევოლუციაზე მსჯელობა. ისინი დაახლოებით 3,5 მილიარდი წლის წინ წარმოიშვნენ, როცა სტრომატოლიტების ფორმირება დაიწყო.



▲ სურათი 26.12 დაკავშირებული რკინის ფორმაცია: ჟანგბადური ფოტოსინთეზის დადასტურება. დანალექი ქანის წითელი ჩანარები რკინის ოქსიდის ზოლებია.

ატმოსფერული ჟანგბადის რაოდენობა 2.7 - 2.2 მილიარდი წლის ინტერვალში მნიშვნელოვნად გაიზარდა, მაგრამ მაშინ ის ატმოსფეროს მხოლოდ 10% -ს შეადგენდა. ამ “ჟანგბადურმა რევოლუციამ” მაშინდელ ცოცხალ ორგანიზმებზე მნიშვნელოვნად იმოქმედა. ჟანგბადის თავისუფალი და იონიზირებული მოლეკულები და მისი კომპონენტები, მაგალითად წყალბადის ზე-ჟანგი (H_2O_2), არღვევს ქიმიურ კავშირებს და ინჰიბირებს (აკავებს) ფერმენტებს, რაც უჯრედს აზიანებს. ჟანგბადის იონების კონცენტრაციის ზრდამ ატმოსფეროში პროკარიოტების დიდი ჯგუფის გადაშენება გამოიწვია. პროკარიოტების სახეობათა ნაწილი ანაერობულ ჰაბიტატში (გარემოში) გადაჩა. მათი ნაწილი დღესაც ობლიგატური ანაერობის (დაკავშირებული ანაერობის) სახით არსებობს (იხ. თავი 27). პროკარიოტების ზოგიერთმა ფორმამ ატმოსფეროს ცვლილების შედეგად სხვადასხვაგვარი ადაპტაცია შეიძინა ანუ უჯრედული სუნქვისთვის ენერგიის წყაროდ ჟანგბადის და ორგანული მოლეკულების გამოყენება დაიწყო.

ატმოსფეროში ჟანგბადის კონცენტრაციის მომატება ციანობაქტერიების წინაპრების მიერ ფოტოსინთეზის წარმოებაში გამოიწვია. მაგრამ რამ გამოიწვია ჟანგბადის რაოდენობის სწრაფი მომატება რამდენიმე ასეული მილიონი წლის წინ? ერთ-ერთი ჰიპოთეზის თანახმად ეს ეუკარიოტების ევოლუციის შედეგი იყო, რომელთა უჯრედები ქლოროპლასტებს შეიცავდა. ეუკარიოტების ევოლუციას შემდეგ ნაწილში განვიხილავთ.

კონკრეტული ცილები 26.3

- რა ინფორმაციას ვიღებთ ნამარხი სტრომატოლიტებიდან პროკარიოტების ევოლუციის შესახებ?
- ატმოსფეროში თავისუფალი ჟანგბადის (O_2) წარმოშობა პროკარიოტების მასობრივი გადაშენება გამოიწვია. რატომ?

ეუკარიოტული უჯრედები წარმოიქმნა სიმბიოზისა და პროკარიოტულ უჯრედებს შორის გენეტიკური ინფორმაციის მიმცვლის შედეგად

ეუკარიოტული უჯრედების მრავალი თვისება განსხვავდება უფრო მცირე ზომის ბაქტერიების ან არქეების უჯრედების თვისებებისგან (იხ. თავი 6). ყველაზე პატარა ერთუჯრედიანი ეუკარიოტების აგებულებაც კი უფრო რთულია, ვიდრე ნებისმიერი პროკარიოტის. ბიოლოგიის ერთ-ერთი ფუნდამენტური საკითხია მარტივი პროკარიოტული უჯრედისგან გაცილებით უფრო რთული ეუკარიოტული უჯრედების წარმოქმნა.

პირველი ეუკარიოტები



მკვლევრების უმრავლესობა თვლის, რომ ყველაზე ძველი ეუკარიოტების ნამარხები 2,1 მილიარდი წლით თარიღდება. მეცნიერებმა აღმოაჩინეს სხვა ნამარხებიც, რომლებიც ერთუჯრედიანი ალგის (წყალმცენარის) სპირალური ფორმის მარტივ ორგანიზმებს ეკუთვნის. ამ ნამარხების ასაკი ოდნავ

დიდია (2,2 მილიარდი წელი), მაგრამ გაურკვეველია იყვნენ თუ არა ეს ორგანიზმები ეუკარიოტები. ზოგი მკვლევარი ამტკიცებს, რომ ეუკარიოტები გაცილებით ადრე არსებობდნენ, რსთვისაც ისინი ქოლესტეროლის მსგავსი მოლეკულების ნაკვალევს ეყრდნობიან, რომლებიც 2,7 მილიარდი წლის ასაკის დანალექ ქანებში აღმოაჩინეს. ამ მოლეკულების სინთეზი მხოლოდ აერობული (სუნთქვა) ნივთიერებათა ცვლის მქონე ეუკარიოტულ უჯრედებში მიმდინარეობს. თუ ეს სიმართლეა, ეუკარიოტები იმ რევოლუციის დროს წარმოიშვნენ, რომელმაც დედამიწის საარსებო გარემო (ჟანგბადის ატმოსფეროში დაგროვებით) ძირფესვიანად შეცვალა.

მიტოქონდრიებისა და პლასტიდების ენდოსიმბიოზური წარმოშობა

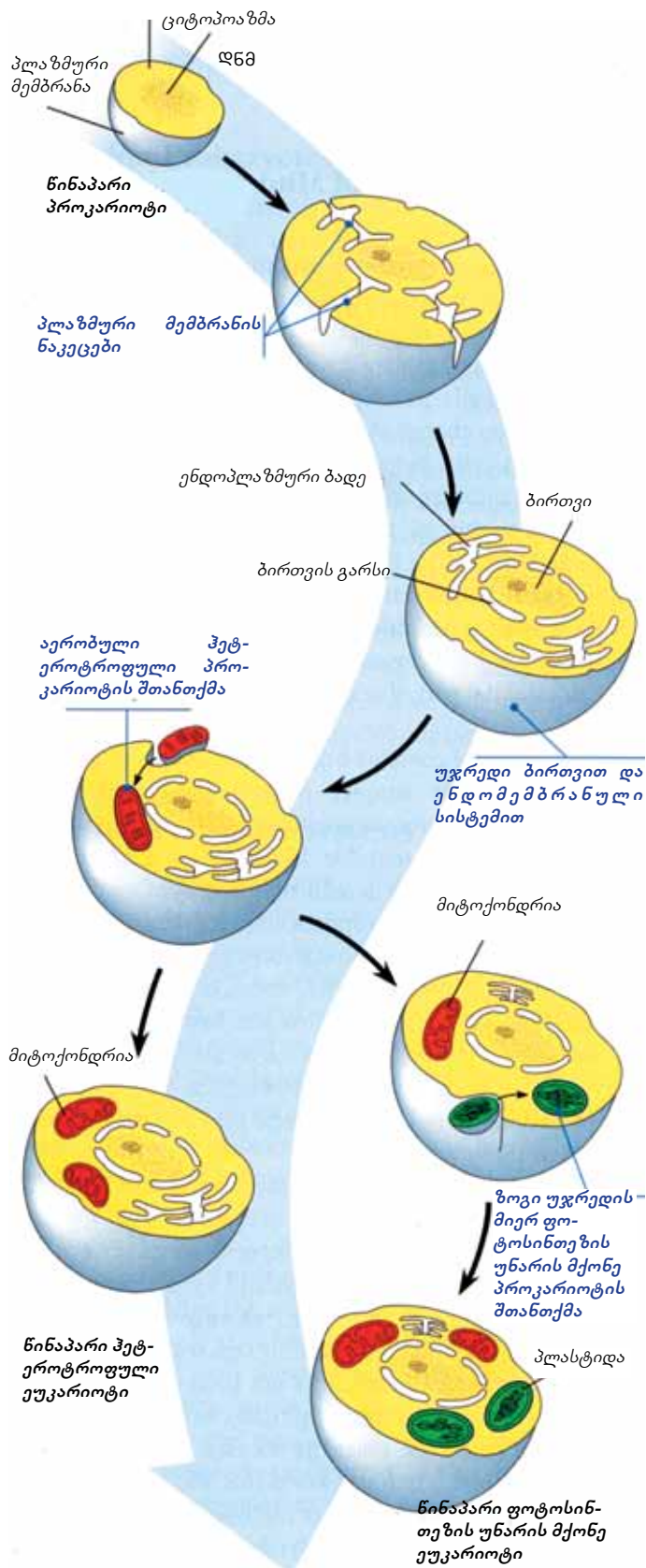
პროკარიოტების უჯრედებში არ გვხვდება მრავალი სტრუქტურა. ესენია: ბირთვის გარსი, ენდოპლაზმური ბადე და გოლჯის აპარატი. ეს სტრუქტურები დამახასიათებელია ეუკარიოტული უჯრედებისთვის. პროკარიოტებს არა აქვს უჯრედული ჩონჩხი (ციტოპლაზმის საყრდენი სტრუქტურები) და უჯრედის ფორმის შეცვლა მათ არ შეუძლია. ეუკარიოტულ უჯრედს კი აქვს ეს სტრუქტურები. მათ ფორმის შეცვლით სხვა უჯრედის დატყვევება და შთანთქმა შეუძლია. მართლაც, პირველი ეუკარიოტები ალბათ სხვა უჯრედებზე მონადირე მტაცებლები იყვნენ.

საყრდენი ჩონჩხის საშუალებით ეუკარიოტულ უჯრედს შეუძლია შინაგანი სტრუქტურების ადგილმდებარეობა შეცვლა, უჯრედის ერთი ნაწილიდან მეორე ნაწილში მათი გადაადგილებით. საყრდენი სტრუქტურა ხელს უწყობს მიტოზისა და მეოზის მსვლელობას ქრომოსომების მწყობრ მოძრაობას (იხ. თავები 12 და 13). მიტოზის გამო შესაძლებელი გახდა ეუკარიოტების დიდი გენომის რეპროდუქცია. ამ პროცესთან მჭიდროდ დაკავშირებულია მეოზის მექანიზმი, რომელიც სქესობრივი გამრავლების შედეგად მიღებული გენების რეკომბინაციის განუყოფელი ნაწილია.

როგორ განვითარდა ეუკარიოტული უჯრედების უფრო რთული ორგანიზაცია მარტივი პროკარიოტული უჯრედებისგან? მიტოქონდრიების და პლასტიდების (პლასტიდები ზოგადი სახელია როგორც ფოტოსინთეზის უნარის მქონე, ასევე ამ უნარის არმქონე ქლოროპლასტებისა და მათი მონათესავე ორგანოების) წარმოქმნა განაპირობა ენდოსიმბიოზმა. ენდოსიმბიოზის თეორიის მიხედვით, ადრე მიტოქონდრიები და პლასტიდები პატარა პროკარიოტების სახით არსებობდნენ და უფრო დიდ უჯრედებში ცხოვრობდნენ. ტერმინი ენდოსიმბიოტი სხვა უჯრედში მოხიზიდვით უჯრედს ნიშნავს. უჯრედს, რომელშიც სხვა უჯრედი ცხოვრობს, მასპინძელს უწოდებენ. მიტოქონდრიების სავარაუდო წინაპარი აერობული ჰეტეროტროფული პროკარიოტებია, რომლებიც შემდგომში ენდოსიმბიონტები გახდნენ; პლასტიდების სავარაუდო წინაპარი კი ფოტოსინთეზის უნარის მქონე პროკარიოტია, რომელიც ასევე ენდოსიმბიონტი გახდა.

როგორც ჩანს, მიტოქონდრიებისა და პლასტიდების წინაპრები მასპინძელ უჯრედში მოუნელებელი მსხვერპლის ან შინაგანი პარაზიტის სახით მოხვდნენ. ამ ჰიპოთეზიდან ენდომემბრანული სისტემისა და საყრდენი ჩონჩხის ადრეული ევოლუცია გამომდინარეობს, რომლის შედეგად უფრო დიდმა ზომის უჯრედმა პატარა პროკარიოტები შთანთქა და ბუშტუკებში (ვეზიკულებში) ჩაალაგა. ადვილი წარმოსადგენია, რომ ასეთი ურთიერთობის ჩამოყალიბების შემდეგ სიმბიოზი ურთიერთსასარგებლო გახდა. ჰეტეროტროფულ მასპინძელი ენდოსიმბიონტების ცხოველმოქმედების - ფოტოსინთეზის შედეგად მიღებულ საკვებს იყენებდა. ჟანგბადის კონცენტრაციის ზრდასთან ერთად გარემო აერობული გახდა, ანაერობული უჯრედი კი აერობული ენდოსიმბიონტით სარგებლობდა. ეს ენდოსიმბიონტები ჟანგბადს მასპინძელი უჯრედის სასარგებლოდ იყენებდნენ. მასპინძელისა და პარაზიტის ურთიერთდამოკიდებულება იზრდებოდა. ამ პროცესის შედეგად ერთიანი ორგანიზმი წარმოიქმნა, რომლის ნაწილები განუყოფელი გახდა. ჰეტეროტროფულ და აუტოტროფულ ეუკარიოტსაც ან საკუთრივ მიტოქონდრია, ან მისი მსგავსი ორგანიზმის არსებობის გენეტიკური კვალი აქვს. მაგრამ ზოგ ეუკარიოტს პლასტიდები არ ჰქონდა. სერიული ენდოსიმბიოზის (ენდოსიმბიოზური მოვლენების თანმიმდევრობა) ჰიპოთეზის თანახმად პლასტიდებზე ადრე ამ პროცესში მიტოქონდრია ჩაება (სურათი 26.13).

პლასტიდებისა და მიტოქონდრიების ენდოსიმბიოზური ბუ-ნების დამამტკიცებელი მრავალი არგუმენტი არსებობს. ორივე ორგანელას შინაგან მემბრანას აქვს ფერმენტები და სატრანსპორტო სისტემა, რომელიც პროკარიოტების პლაზმური მემბრანის იგივე სტრუქტურების ჰომოლოგიურია. მიტოქონდრიებისა და პლასტიდების რეპლიკაცია გახლეჩის გზით, ზოგი პროკარიოტის გაყოფის მსგავსად მიმდინარეობს. ყოველი ორგანელა ღწმ-ის ერთმაგ რგოლისებრ მოლეკულას შეიცავს, რომელიც ბაქტერიის ქრომოსომის მსგავსად ჰისტონებთან ან სხვა ცილებთან არ არის დაკავშირებული. ეს ორგანელები შეიცავს სატრანსპორტო რწმ-ს, რიბო-



▲ სურათი 26.13 რამდენიმე ენდოსიმბიოზის შედეგად ეუკარიოტის წარმოშობის მოდელი

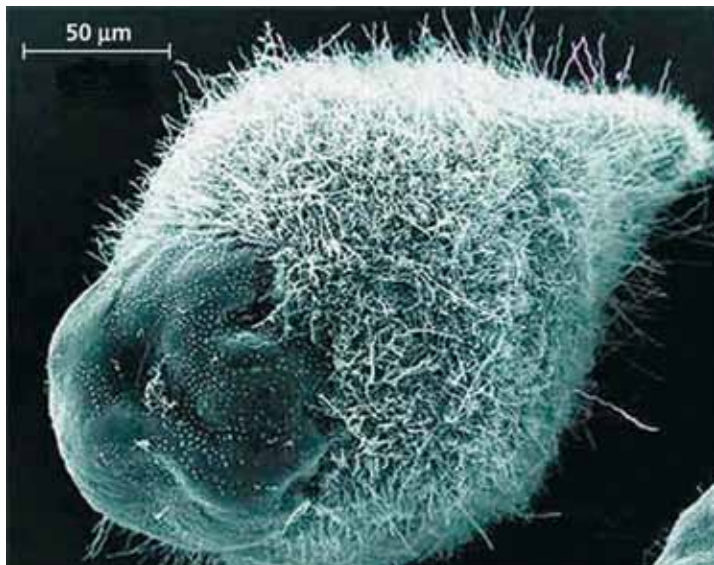
სომეხს ან მათი დნმ-ის ცილებში გადანერისა და კოდირებისთვის საჭირო სხვა მოლეკულებს. ზოგიერთ, ნუკლეოტიდური თანმიმდევრობით ან გარკვეული ანტიბიოტიკების მიმართ მგრძნობელობის მიხედვით მიტოქონდრიების და პლასტიდების რიბოსომები უფრო ნააგავს პროკარიოტების რიბოსომებს, ვიდრე ეუკარიოტული ჟგერედის ციტოპლაზმურ რიბოსომებს.

პროკარიოტების რომელმა შტომ მისცა დასაბამი მიტოქონდრიებს და პლასტიდებს? ამ კითხვაზე პასუხის გასაცემად სისტემატიკოსებმა რიბოსომის ერთი სუბერთეულის რნმ-ის ნუკლეოტიდების თანმიმდევრობა შეისწავლეს. გენი ამ მცირე რიბოსომული სუბერთეულის რნმ-ის გენი (SSU-rRNA) ყველა ორგანიზმში არსებობს და სიცოცხლის ხის განშტოებების უფრო დანერგვითი შესწავლის საშუალებას იძლევა (იხ. თავი 25). მიტოქონდრიების, პლასტიდებისა და სხვადასხვა თანამედროვე პროკარიოტების SSU-rRNA-ის შედარებიდან ჩანს, რომ ბაქტერიების ჯგუფი - ალფა პროტეობაქტერიები მიტოქონდრიების უახლოესი ნათესავებია. ლუჯ-მწვანე წყალმცენარეები კი პლასტიდების უახლოესი ნათესავებია.

დროთა განმავლობაში ზოგი გენი, რომელიც დასაწყისში მიტოქონდრიებსა და პლასტიდებში იყო ლოკალიზებული, ბირთვში გადაინაცვლა. ამ პროცესის დასრულებას ალბათ ხელი შეუწყო მობილურმა გენეტიკურმა ელემენტმა (იხ. თავი 18). ამის შედეგად ზოგ მიტოქონდრიულ და პლასტიდურ ცილას დნმ-ის მქონე ორგანოები აკოდირებს, სხვა ცილებს კი ბირთვის გენები. ზოგი ცილა დღესაც პოლიპეტიდების კომბინაციაა, რომელსაც ორივე ადგილას (ორგანოებშიც და ბირთვშიც) მდებარე გენები აკოდირებს: მაგალითად, მიტოქონდრიული ატმ-სინთაზა, ცილების კომპლექსი, რომელიც ჟგერედული სუნთქვისას ატმ-ს წარმოქმნის (იხ. თავი 9). გენების ბირთვში გადატანის პროცესი ზოგ ეუკარიოტში უფრო შორს წავიდა. მტკნარი წყლის უმარტივესის *Reclinomonas*-ის მიტოქონდრიას 97 გენი აქვს (იმ გენების ჩათვლით, რომლებიც სხვა ეუკარიოტებში ბირთვში გადაინაცვლა), ხერხემლიანების მიტოქონდრიას კი მხოლოდ 34 გენი. ეუკარიოტულ ჟგერედს ამაჟამად ერთი, ძირითადად ბირთვული გენომი აქვს, მაგრამ ამ გენომს ავსებს მიტოქონდრიებსა და პლასტიდებში შემორჩენილი დნმ.

ეუკარიოტული უჯრედი განვითვითი დიმიტაა

ბერძნულ მითოლოგიაში ქიმერა მონსტრია, რომელსაც სხეულის ერთი ნაწილი თხის, მეორე ლომის, მესამე კი გველის აქვს. ეუკარიოტული უჯრედები პროკარიოტების ნაწილებისგან შემდგარი ქიმერებია. მათი მიტოქონდრიები ერთი ტიპის ბაქტერიებიდან, პლასტიდები სხვა ტიპის ბაქტერიებიდან, ბირთვული გენომი კი ენდოსიმბიონტების გენომის ნაწილებიდან და ენდოსიმბიონტების მასპინძელი უჯრედის გენომიდან წარმოიქმნა. მიტოქონდრიებისა და პლასტიდების წარმოშობის დადგენა შესაძლებელია, რადგანაც მათში დღემდე შემორჩა დნმ-ის პატარა მოლეკულები, რომელთა გენები პროკარიოტული ორგანიზმების ორთოლოგიურია (იხ. სურათი 25.17) (ორთოლოგიური გენები, ფილოგენეტიკურად მონათესავე ორგანიზმების გენების ჰომოლოგიური გენებია). ეუკარიოტული უჯრედების წარმოქმნის სხვა საკითხები გაცილებით უფრო მრავალფეროვანი და დამაბნეველია. ზოგი მკვლევარი ამტკიცებს, რომ ბირთვი არქეას დომენში შემავალი ენდოსიმბიოტებიდან წარმოიქმნა. ეუკარიოტების ბირთვში აღ-



▲ **სურათი 26.14** **რთული სიმბიოზი.** ტერმიტების ნაწლავებში ცხოვრობს საინტერესო უმარტივესი *Mixotricha paradoxa*. მის ზედაპირზე მიმაგრებულია სამი ტიპის ბაქტერია, რომელიც უზრუნველყოფს მის მოძრაობას (SEM). მეოთხე ტიპის ბაქტერია უმარტივესის შიგნით ცხოვრობს და ეხმარება ტერმიტს მისი საკვების - ხის ნაწილაკების მონელებაში.

მოაჩინეს ერთდროულად ბაქტერიებისა და არქეების გენების ახლო მონათესავე გენები. მაგრამ ამ მტკიცებულების დამადასტურებელი მასალა არ არსებობს, ვინაიდან სხვადასხვა ბირთვს ამ გენების განსხვავებული კომბინაციები აქვს.

ეუკარიოტული უჯრედის გენომი შეიძლება გენეტიკური ანალიზის პროდუქტი იყოს (დნმ-ის და რნმ-ის შემთხვევაში ანალიზი წყალბადური ბმების მეშვეობით კომპლემენტალური თანმიმდევრობებისა და ორმაგი სპირალის ფორმის პოლინუკლეოტიდის წარმოქმნას ნიშნავს). ბაქტერიებისა და არქეების ბევრ შტოში ამ დროს გენების ჰორიზონტალურ გადატანა ხდება. კარლ ვოისი (ილინოისის უნივერსიტეტი) თვლის, რომ ამ გადატანის უმეტესი ნაწილი სიცოცხლის ევოლუციის ადრეულ ეტაპებზე მოხდა. თუმცა, ახალი გამოკვლევები ადასტურებს, რომ გენების ჰორიზონტალური გადატანა დრო და დრო დღემდე ხდება. ფორდ დულიტლმა (დალჰაუსის უნივერსიტეტი) გენების განმეორებადი გადაადგილების ცნება გამოიყენა და გენეტიკური ანალიზის საკუთარი ვარიანტი შემოგვთავაზა. მისი ჰიპოთეზა აგებულია ცნობილ გამოთქმაზე: „ის ხარ, რასაც ჭამ“. ის თვლის, რომ ეუკარიოტების მიერ სხვადასხვა ბაქტერიის და არქეას მონელებისას, ამ ბაქტერიების გენები (შემთხვევითად შერჩეული) ეუკარიოტების ბირთვში ხვდებოდა. ეუკარიოტების უჯრედის სხვა ორგანოების წარმოშობის საკითხი დღემდე აქტიური კვლევების საგანია. გოლჯის აპარატი და ენდოპლაზმური ბადე ალბათ პლაზმის მემბრანის ნაკეცებიდან წარმოიქმნა. აქტინისა და ტუბულინის (უჯრედული ჩონჩხის ცილების) ჰომოლოგიური ცილები ბაქტერიებში აღმოაჩინეს. ეს ცილები ბაქტერიული უჯრედის დაყოფაში მონაწილეობს. ბაქტერიული ცილებისა და მათი ფუნქციების შემდგომი შესწავლის შედეგად ეუკარიოტი უჯრედის ჩონჩხის წარმოშობის შესახებ ინფორმაციას ვიდებთ. ზოგი მკვლევარი თვლის, რომ ეუკარიოტული უჯრედების შოლტი და წამწამები სიმბიოტური ბაქტერიებისგან წარმოიქმნა. ამ იდეის დასამტკიცებლად ბაქტერიებსა და ზოგ უმარტივესს შორის შე

დარებით გვიან ჩამოყალიბებულ სიმბიოტურ კავშირს იყენებენ (**სურათი 26.14**). ეუკარიოტების შოლტებისა და წამწამების მიკრომილაკების 9+2 სტრუქტურა (იხ. თავი 6) პროკარიოტებში აღმოჩენილი არ არის.

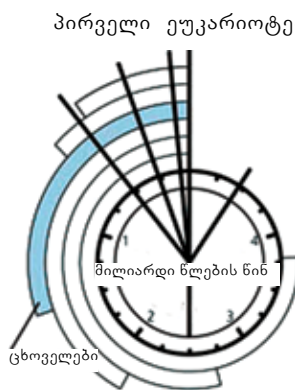
დიდ ორკესტრს, ერთ მევიოლინესთან შედარებით, მეტი მუსიკალური ნაწარმოების შესრულება შეუძლია. რთულ ორგანიზმს, მარტივთან შედარებით, მეტი შესაძლებლობა აქვს. ეუკარიოტული უჯრედების წარმოქმნამ აგებულების მრავალფეროვნების ევოლუცია დააჩქარა. პროკარიოტულ ორგანიზმებთან შედარებით ეუკარიოტს ამის მეტი შესაძლებლობა აქვს. ამ ევოლუციის შედეგად წარმოიქმნა პირველი დიდი ადაპტაციური რადიაცია, პროკარიოტების ნივთიერებათა ცვლის დივერსიფიკაცია (გამრავალფეროვნება). დივერსიფიკაციის მესამე ტალღა ეუკარიოტის ზოგიერთ ევოლუციურ შტოში მრავალუჯრედიანი სხეულის წარმოქმნას მოჰყვა.

კონცეფცია **26.4**

- რა ადასტურებს იმ ჰიპოთეზისა, რომლის მიხედვით ეუკარიოტული უჯრედის ევოლუციისას პლასტიდებზე ადრე მიტოქონდრია წარმოიქმნა?
- რითი ჰგავს ქიმერას ეუკარიოტული უჯრედი?

კონცეფცია **26.5**

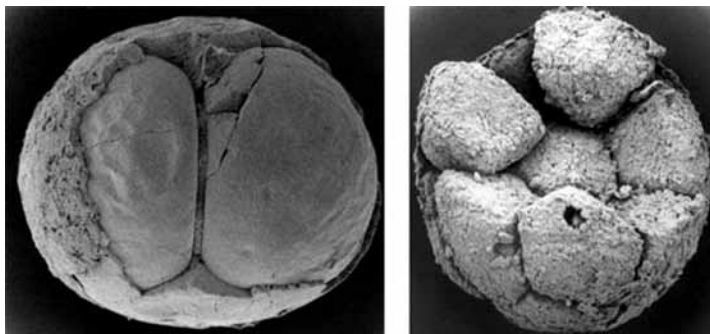
ეუკარიოტებში მრავალუჯრედიანობა ტამდენჯერმე განვითარდა



პირველი ეუკარიოტების წარმოშობის შემდეგ დიდი რაოდენობით ერთუჯრედიანი ორგანიზმები გაჩნდა. მათ დასაბამი მისცეს ერთუჯრედიანი ეუკარიოტების მრავალფეროვნების განვითარებას. ზოგი ეს ორგანიზმი დღესაც არსებობს. ამასთან ერთად, მრავალუჯრედიანი პრეანიზმებიც წარმოიშვა, რომელთა შთამომავლობაა სხვადასხვა წყალმცენარეები, ხმელეთის მცენარეები, სოკოები და ცხოველები.

მრავალუჯრედიანი ეუკარიოტების ადრეული ფორმები

მოლეკულური საათის მიხედვით მრავალუჯრედიანი ეუკარიოტების საერთო წინაპრები 1,5 მილიარდი წლის წინათ არსებობდნენ. პირველი ნამარხი მრავალუჯრედიანი ეუკარიოტები შედარებით მცირე ზომის წყალმცენარეებია, რომლებიც დედამიწაზე 1,2 მილიარდი წლის წინათ ცხოვრობდნენ. უფრო დიდი ორგანიზმების ნამარხები რამდენიმე ასეული მილიონი წლის ასაკისაა ანუ მრავალუჯრედიანი ორგანიზმების ნამარხები მხოლოდ პრო-



(ა) ორი უჯრედის სტადია 150 μm (ბ) მოგვიანებითი სტადია 200 μm

▲ სურათი 26.15 პროტეროზოული ცხოველის ემბრიონის ნამარხი

ტეროზოული ბოლოდან გვაქვს. ჩინელმა პალეონტოლოგებმა ახლახანს წყალმცენარეებისა და ცხოველების ნამარხებით განსაკუთრებით მდიდარი ადგილსამყოფელი აღმოაჩინეს. მისი ასაკი 570 მილიონი წელია და ნამარხები აქ შესანიშნავად შენახულია. სავარაუდოდ მათ შორის ცხოველთა ემბრიონების ნამარხებიცაა (სურათი 26.15).

რატომ იყო პროტეროზოული ერის ბოლომდე მრავალუჯრედიანი ეუკარიოტების ზომა, გავრცელება და მრავალფეროვნება შედარებით შეზღუდული? გეოლოგიური მონაცემებით დადასტურდა, რომ მკაცრი გამყინვარების პერიოდი 750 მილიონი წლის წინ დაიწყო და 570 მილიონი წლის წინ დამთავრდა. ამ პერიოდის განმავლობაში დედამიწა პოლუსიდან პოლუსამდე ყინულით იყო დაფარული და ზღვებიც გაიყინა. დედამიწაზე, რომელიც ამ ჰიპოთეზის თანახმად ყინულის ბურთს ჰგავდა, სიცოცხლე ძირითადად ზღვებში, ღრმა კრატერებსა და ცხელ წყაროებთან ახლოს არსებობდა, ან ოკეანეში, ყინულის თხელი საფარის ადგილებში, სადაც მზის სხივებს შეღწევა შეეძლო. მრავალუჯრედიანი ეუკარიოტების ნამარხების პირველი დიდი საბადო ყინულის დნობის პერიოდით თარიღდება.

ჯოლნიუტი ორგანიზმები

პირველი მრავალუჯრედიანები კოლონიური ორგანიზმები იყვნენ ანუ უჯრედების ერთობლიობა, რომლებიც ერთმანეთისგან დამოუკიდებლად მრავლდებოდა (სურათი 26.16). დროთა განმავლობაში კოლონიის ზოგმა უჯრედმა სპეციფიკური ფუნქცია შეიძინა. სპეციალიზაცია პროკარიოტულ ორგანიზმებში ადრეც არსებობდა. მაგალითად, გვარი Nostoc-ის, ძაფისებრი ლურჯ-მწვანე წყალმცენარის ზოგიერთი უჯრედი დიფერენცირდება და აზოტის შემკავების ფუნქციას იძენს. ასეთ უჯრედს ჰეტეროციტს უწოდებენ. მან დაკარგა გამრავლების უნარი; არადიფერენცირებულ უჯრედებს კი ფოტოსინთეზისა და გამრავლების უნარი აქვს. გამრავლებისას დროს ძაფი გრძელდება და შემდეგ მცირე ზომის მონაკვეთებად იყოფა. Nostoc-ს 7 000-ზე მეტი გენი აქვს, ორჯერ მეტი, ვიდრე მონათესავე ერთუჯრედიან ორგანიზმებს, მაგალითად Synechocyt-ის. ამ გენების უმრავლესობა უჯრედების დიფერენცირების რეგულაციას უზრუნველყოფს.

კოლონიების განვითარება და უჯრედული სპეციალიზაცია ეუკარიოტებში მკვეთრად გამოხატულია. ნებისმიერი მრავალუჯრედიანი ეუკარიოტი, მაგალითად, ცხოველი, სქესობრივი გამ-



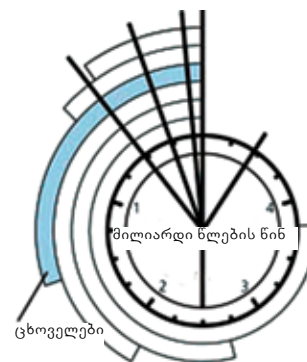
▲ სურათი 26.16 კოლონიური ეუკარიოტი. Pediastrum ფოტოსინთეზის უნარის მქონე ეუკარიოტია, რომელიც კოლონიებს წარმოქმნის

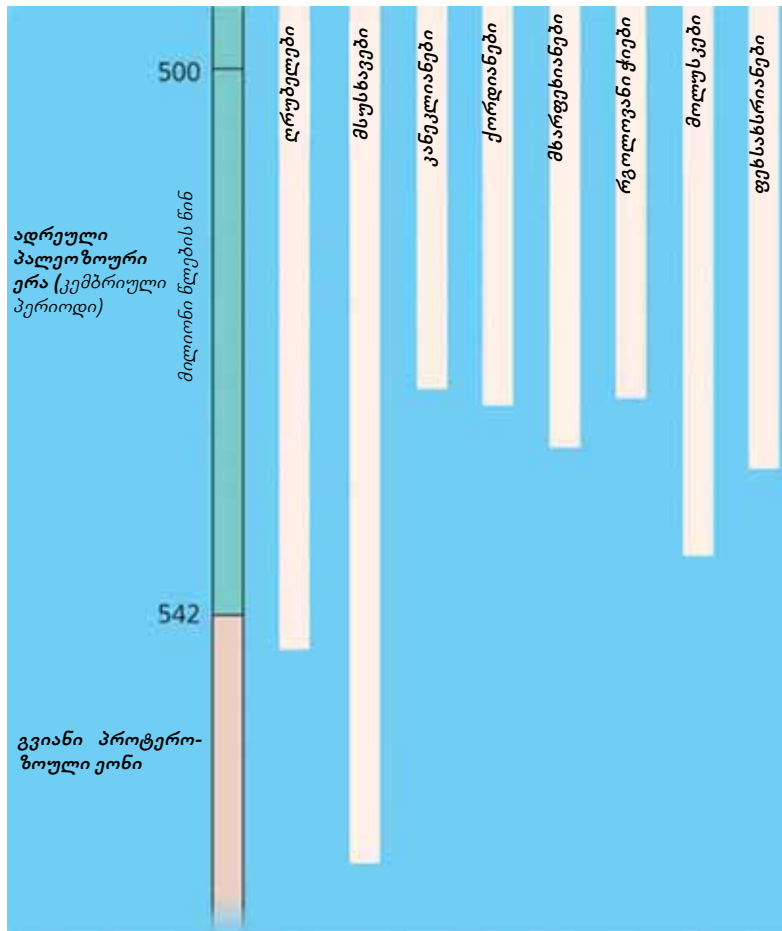
რავლების შედეგად ერთი უჯრედიდან, განაყოფიერებული კვერცხუჯრედიდან ანუ ზიგოტადან, ვითარდება (სურათი 13.5). უჯრედების გაყოფისა და დიფერენცირების შედეგად ერთი უჯრედი მრავალუჯრედიან ორგანიზმად ვითარდება. ორგანიზმი კი მრავალი, სხვადასხვა ფუნქციების მქონე უჯრედებისგან შედგება. უჯრედების მზარდი სპეციალიზაციის დახმარებით მრავალუჯრედიანმა ორგანიზმმა სასიცოცხლო ფუნქციები სპეციალიზებული უჯრედების ჯგუფებს შორის გაანაწილა, მათ შორის საკვების მიღება და გარემოს შეგრძნება. ეუკარიოტულ ორგანიზმში ფუნქციების განაწილება ქსოვილების, ორგანოებისა და ორგანოთა სისტემების ევოლუციას იწვევს.

ერთუჯრედიანი ეუკარიოტების ევოლუციის შედეგად უჯრედის აგებულების სირთულე გაიზარდა. მრავალუჯრედიანი ეუკარიოტების განვითარებამ კი სტრუქტურული ორგანიზაციის ბარიერები გაარღვია და დასაბამი მისცა მრავალფეროვნების განვითარების ახალ ეტაპს. უძველეს ეუკარიოტებში მრავალუჯრედიანობის ევოლუცია რამდენჯერმე მოხდა. რის შედეგად წყალმცენარეების, ხმელეთის მცენარეების, სოკოებისა და ცხოველების სახეობები წარმოიშვა.

„კემბრიული აფეთქება“

ცხოველების ტიპების უმეტესობის ნამარხები კემბრიული პერიოდის პირველი 20 მილიონი წლის დანალექ ქანებში აღმოჩინეს. ამ ფენომენს „კემბრიული აფეთქება“ უწოდებს. ცხოველების ორი ტიპის, მსუსხვების (ზღვის ანემომები და მონათესავე ორგანიზმები) და ღრუბლების (ღრუბელა) ნამარხები გვიანი პროტეროზოული პერიოდით თარიღდება ანუ ოდნავ ძველია (სურათი 26.17).





▲ **სურათი 26.17 ცხოველების კემბრიული დათიშვა.** ამ დიაგრამის მონაკვეთები მიუთითებს ნამარხებში ცხოველების რამდენიმე ტიპის გამოჩენაზე. თუმცა მოლეკულური მონაცემების თანახმად ეს ტიპები გაცილებით ადრე წარმოიშვა.

მაგრამ მოლეკულურ საათზე დაყრდნობით ვარაუდობენ, რომ ცხოველების ტიპების უმეტესი ნაწილი წარმოიშვა და განვითარდა გაცილებით ადრე, 1 მილიარდი - 700 მილიონი წლის წინათ. კემბრიუგის უნივერსიტეტის პალეონტოლოგს საიმონ კონვეი მორისს შესანიშნავი ფრაზა ეკუთვნის: „კემბრიულ აფეთქებას გრძელი პატრუქი (ფიტილი) ჰქონდა“. ჩვენთვის უცნობი მიზეზების გამო კემბრიული პერიოდის დასაწყისში ორგანიზმების სხვადასხვა ტიპები ერთდროულად და უეცრად შეიცვალა ანუ სახეობათა დივერსიფიკაცია (გამრავალფეროვნება) მოხდა. მრავალი დიდი ცხოველის მრავალფეროვნებაც გაიზარდა, მაგალითად მკვრივი ნიჟარისა (ჯავშნის) და გარეგანი ჩონჩხის მქონე ცხოველების, რაც ნამარხებით დასტურდება. მრავალფეროვნების ზრდის მიზეზების ჰიპოთეზას 32-ე თავში განვიხილავთ.

► **სურათი 26.18 დედამიწის ქერქის ძირითადი ფილები.** ფილები მუდმივად იცვლება. მაგალითად, ფილების ახალი საზღვარის ფორმირება მიმდინარეობს აღმოსავლეთ აფრიკასა და დანარჩენ კონტინენტს შორის. წითელი წერტილები სახიფათო ტექტონიკურ ზონებს აღნიშნავს, რომელთაგან მრავალი სუბდუქციის ზონებია (იხილეთ სურ. 26.19)

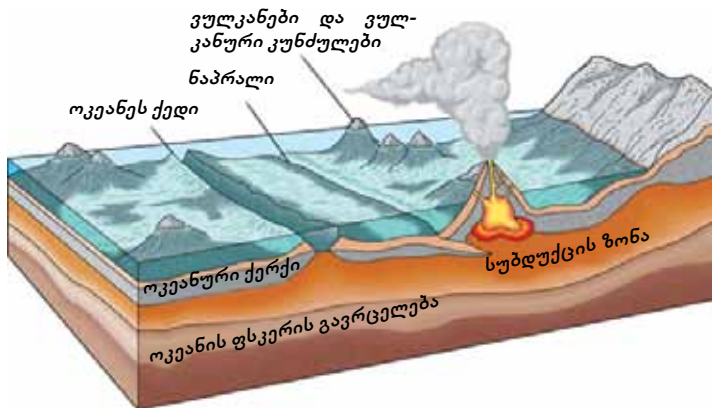


ხმელეთის კოლონიზაცია მცენარეების, სოკოებისა და ცხოველების მიერ

ორგანიზმების მიერ ხმელეთის ათვისება სიცოცხლის ისტორიის ყველაზე მნიშვნელოვანი პერიოდი იყო. ნამარხები ადასტურებს, რომ მილიარდზე მეტი წლის წინათ ლურჯ-მწვანე წყალმცენარეები და ფოტოსინთეზის უნარის მქონე სხვა უმარტივესები დედამიწის ტენიან ზედაპირს ფარავდნენ. დიდი ორგანიზმები: მცენარეები, სოკოები და ცხოველები, ადრეულ პალეოზოოურ ერამდე ანუ 500 მილიონი წლის წინათ დედამიწაზე არ არსებობდნენ. წყლის გარემოდან გასახწევად საჭირო იყო დეჰიდრატაციის დამაბრკოლებელი ადაპტაციური მექანიზმების თანდათანობითი ევოლუცია. ასეთი მექანიზმების ჩამოყალიბების შემდეგ შესაძლებელი გახდა ხმელეთზე გამრავლება. მაგალითად, ზღვის მწვანე წყალმცენარეებიდან განვითარებული ხმელეთის მცენარეების ფოთლები დაფარულია წყალგაუმტარი ცვილით, რომელიც წყლის აორთქლებას აფერხებს.

მცენარეებმა და სოკოებმა ხმელეთი ერთდროულად დაიპყრეს. მრავალი მცენარის ფესვები დღესაც დაკავშირებულია სოკოებთან, რომლებიც მათ ეხმარებიან ნიადაგიდან წყლისა და სასარგებლო ნივთიერებების მიღებაში (იხ. თავი 31). ფესვებთან მობინადრე სოკოები კი მცენარისაგან ორგანულ საკვებ ნივთიერებებს იღებენ. მცენარესა და სოკოების ამგვარი სიმბიოზური კავშირი ზოგიერთ ფაესვის უძველეს ნამარხში გვხვდება, რომელიც ხმელეთზე სიცოცხლის გავრცელების უძველესი პერიოდით თარიღდება.

ხმელეთზე ცხოველების მრავალი ჯგუფი ბინადრობს, მაგრამ ყველაზე მრავალრიცხოვანი და მრავალფეროვანია ფეხსახსრიანები (განსაკუთრებით მწერები და ობობასნაირები) და ხერხემლიანები (ამფიბიები, რეპტილიები, ფრინველები და ძუძუმწოვრები). ხმელეთის ხერხემლიანებს ოთხფეხიანებს (ტეტრაპოდა) უწოდებენ, ვინაიდან მათ ოთხი კიდური აქვს. ამით ისინი სხვა, წყალში მობინადრე ხერხემლიანებისაგან განასხვავდებიან. ადამიანიც ოთხფეხიანებში შედის, მაგრამ ჩვენ „ასპარეზზე“ შედარებით გვიან გამოვედით. ადამიანის ევოლუციური შტო სხვა ჰომინიდებს (ადამიანისმაგვარ მაიმუნებს) მხოლოდ 6-7 მილიონი წლის წინ გამოეყო. დედამიწის ისტორიის საათი ჩვეულებრივი საათი რომ ყოფილიყო, ადამიანი გაჩენიდან მხოლოდ ერთი წამი გავიდოდა.

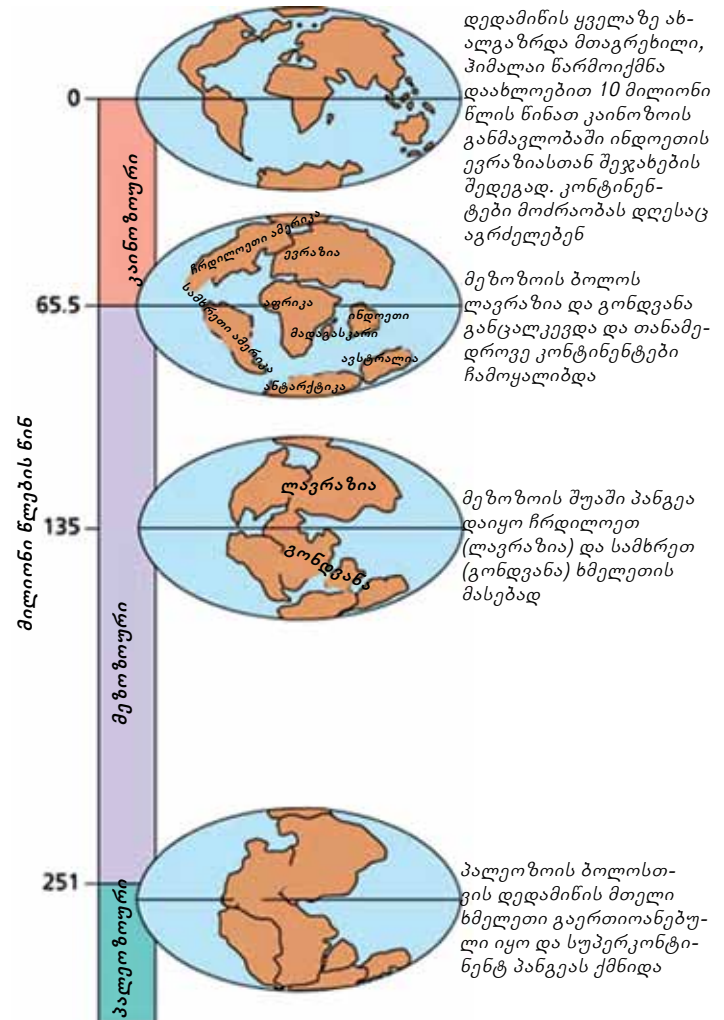


▲ **სურათი 26.19** ფილების საზღვრებზე მომხდარი მოვლენები. ზოგიერთი ფილის საზღვარზე, მაგალითად ოკეანის ფსკერის ქედზე (26.18 სურათზე აღნიშნულია წყვილი მოპირდაპირე ისრებით) ფილები ცალკეედება და გამდნარი ქანები ნაპრალიდან გადმოედინება. შემდგომში ქანები მკვრივდება და ორივე ფილას სიმეტრიულად ქერქი ემატება. სუბდუქციის ზონებში, სადაც ფილები ერთმანეთის შესახვედრად მოძრაობს, უფრო მკვრივი ფენა ნაკლებად მკვრივის ქვევით ექცევა და ნაპრალი წარმოიქმნება. სუბდუქციის ზონაში დაგროვილი დაძაბულობის უეცარი განთავისუფლება მიწისძვრებს იწვევს. როცა სხვადასხვა ფილებზე განლაგებული კონტინენტები ერთმანეთს ეჯახება, კონტინენტური და ოკეანის ფსკერის მასალა მალეა იწვეს და მთაგრებილებს წარმოქმნის.

კონტინენტების გადაადგილება

დედამიწაზე სიცოცხლის გავრცელების ამ მიმოხილვაში უნდა ავლიწნოთ, რომ ევოლუცია როგორც დროში ასევე სივრცეში მიმდინარეობდა. დარვინი და უოლესი სიცოცხლის განვითარებას მრავალ ადგილებში იკვლევდნენ, რამაც დასაბამი მისცა სიცოცხლის ევოლუციის მოძღვრების ჩამოყალიბებას. ამჟამად ეს ბიოგეოგრაფიის საგანია. გლობალურად რომ ვიმსჯელოთ, კონტინენტების გადაადგილება ის მთავარი ფაქტორია, რომელიც სიცოცხლის სივრცეში განაწილებას განსაზღვრავს. დედამიწის კონტინენტები მოძრაობს. ისინი დედამიწის ზედაპირის გარშემო, მისი ქერქის უზარმაზარ სიბრტყეზე (ფილებზე) გადაადგილდება. ფილები მანტიის ქვეშ მოქცეულ გავრვარებულ ლავაზე ტივტივებენ. ხშირ შემთხვევაში ეს სიბრტყეები ერთმანეთს შორდება ან უახლოვდება და ეჯახება კიდევაც (**სურათი 26.18**). მაგალითად, ჩრდილოეთი ამერიკა და ევროპა ამჟამად ერთმანეთის სანაპირებზე მიმართულებით, წელიწადში 2 სმ სიჩქარით, გადაადგილდება და კალიფორნიის, ცუდი რეპუტაციის მქონე სან ანდრეასის ბზარი, იმ საზღვრის ნაწილია, რომეზეც ორი ფილა ერთმანეთის მიმართ მოძრაობს. ფილების გადაადგილება ნელ-ნელა ცვლის გეოგრაფიას. ამ პროცესის საბოლოო ეფექტი ძალზე შთამბეჭდავია. მრავალი მნიშვნელოვანი გეოლოგიური პროცესი, მაგალითად მთებისა და კუნძულების წარმოქმნა, ფილების საზღვარზე ან უშუალოდ მათ სუსტ ადგილებში ხდება (**სურათი 26.19**).

კონტინენტების ცვლილების ორ მომენტს სიცოცხლის განვითარებისთვის განსაკუთრებული მნიშვნელობა ჰქონდა. დაახლოებით 250 მილიონი წლის წინ, პალეოზოური ერის ბოლოს, დედამიწის ქერქის სიბრტყეების გადაადგილების შედეგად მთელი ხმელეთი ერთ კონტინენტად შეერთდა. ამ კონტინენტს პანგეა უწოდეს, რაც „მთელ ხმელეთს“ ნიშნავს (**სურათი 26.20**). ოკეანის ღრმეები უფრო გაღრმავდა, რამაც წყლის დონე დაწია და მცირე სანაპირო ზღვების დრენაჟი გამოიწვია. წყალმარჩხ



▲ **სურათი 26.20** კონტინენტების მოძრაობის ისტორია ფანეროზოის განმავლობაში.

ადგილებში მაშინაც მრავალი ზღვის ორგანიზმი ცხოვრობდა. პანგეას ჩამოყალიბებამ ამ ორგანიზმების საარსებო გარემო მნიშვნელოვნად დაარღვია. ვრცელი კონტინენტის შიდა რეგიონები ცივი და მშრალი იყო. ალბათ იქ უფრო მკაცრი საარსებო პირობები იყო, ვიდრე დღეს ცენტრალურ აზიაში გვაქვს. პანგეას ჩამოყალიბებამ დიდი გავლენა იქონია ბიოლოგიური მრავალფეროვნების ზრდაზე. ზოგი სახეობა გადაშენდა. გადარჩენილი ტაქსონებისთვის კი განვითარების ხელშემწყობი ახალი პირობები შეიქმნა.

კონტინენტების ცვლილების ისტორიის მეორე თავი დაახლოებით 180 მილიონი წლის წინ, მეზოზოურ ერაში „დაიწერა“. კონტინენტები ერთმანეთს შორდებოდნენ და ორგანიზმების საარსებო გარემო უფრო მრავალფეროვანი გახდა, რამაც მცენარეების და ცხოველების განვითარების შესაძლებლობა გაზარდა. კონტინენტების გაერთიანებისა და დაცილების სქემა ბიოგეოგრაფიის მრავალი გამოცანის ახსნის შესაძლებლობას იძლევა. მაგალითად, განასა (დასავლეთი აფრიკა) და ბრაზილიაში პალეონტოლოგებმა მტკნარი წყლის რეპტილიების ერთ-ერთი სახეობის პერმიული პერიოდის ნამარხები აღმოაჩინეს. დედამიწის ეს ორი ნაწილი ამჟამად 3.000 კილომეტრით დაშორებულია ოკეანით. გვიან პალეოზოურ

და ადრეულ მეზოზოურ ერებში კი გაერთიანებული იყო. კონტინენტების ცვლილება ორგანიზმების დღევანდელ განაწილებასთან დაკავშირებულ მრავალ კოთხეზე პასუხობს; მაგალითად, რატომ განსხვავდება ავსტრალიის ფაუნა და ფლორა დანარჩენი სამყაროს ფაუნისა და ფლორისგან? ავსტრალიის ეკოლოგიურ ნიშას ჩანთოსანი ძუძუმწოვრები ავსებენ, დანარჩენი კონტინენტების ეკოლოგიურ ნიშებს კი პლაცენტური ძუძუმწოვრები (სურათი 25.5). სავარაუდოდ ჩანთოსნები დღევანდელი ჩრდილოეთი ამერიკის ტერიტორიაზე განვითარდნენ და ავსტრალიას სამხრეთი ამერიკისა და ანტარქტიკის გავლით მიაღწიეს. ეს მაშინ მოხდა, როცა ეს კონტინენტები ერთმანეთს უკავშირდებოდა. კონტინენტების შემდგომმა დაცილებამ ავსტრალია ჩანთოსნების „მოტივტივე“ დიდ კიდობნად გადააქცია. ავსტრალიაში ჩანთოსნების მრავალფეროვანი სახეობები განვითარდნენ, სხვა ძუძუმწოვრები კი გადაშენდნენ. სხვა კონტინენტებზე კი პირიქით მოხდა; ჩანთოსნების უმეტესობა გადაშენდა და განთავისუფლებული ადგილი პლაცენტური ძუძუმწოვრების მრავალფეროვანმა სახეობებმა დაიკავა.

კონცეფცია ცესდი 26.5

1. რითი განსხვავდება ერთუჯრედიანი და მრავალუჯრედიანი ორგანიზმების უჯრედების ფუნქციების განაწილება?
2. „კემბრიული აფეთქება“ იძლევა უძველესი დროის ცხოველების ნამარხების კარგ ჩამონათვალს. რატომ? რას იგლისმხება გამონათქვამში „გრძელი პატრუქი“ კემბრიულ აფეთქებასთან დაკავშირებით?

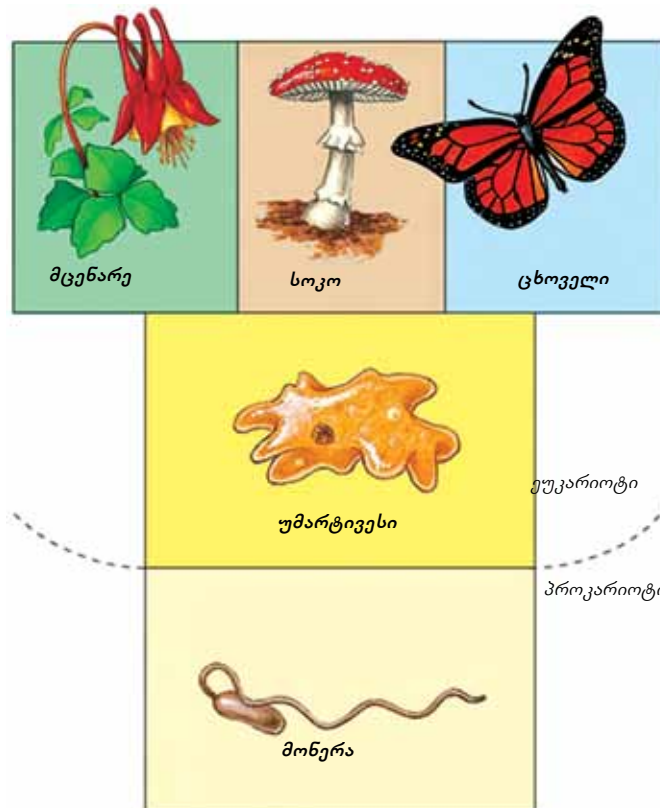
კონცეფცია 26.6

ახალმა ინფორმაციამ შეცვალა ჩვენი წარმოდგენა სიცოცხლის ხის შესახებ

როგორც 25-ე თავში ვთქვით, სისტემატიკა მათ შორის ანალიტიკური მიდგომაა, რომელსაც სიცოცხლის მრავალფეროვანი ფორმების ევოლუციური ნათესაური კავშირების დასადგენად ვიყენებთ. ბოლო ათწლეულებში მოლეკულურ-გენეტიკური მონაცემების ანალიზის შედეგად სიცოცხლის ხის ყველაზე უცნობ განშტოებებზე წარმოდგენა შეიცვალა. მიმდინარე კვლევების მასალებზე დაყრდნობით მიმდინარეობს სიცოცხლის ხის განშტოებების მუდმივი გადასინჯვა.

წატხულის ცაცხონომიუტი (კლასიფიკაციის) სისტემები

უფროსი თასობა ცოცხალი ორგანიზმების მხოლოდ ორ სამეფოს, მცენარეებსა და ცხოველებს იცნობდა. ადამიანი ძირითადად დედამიწის მაკროსკოპულ სამყაროს იკვლევს და იშვიათად აკვირდება იმ ორგანიზმებს, რომლებიც არც მცენარეები და არც ცხოველებია. ფორმალურ ტაქსონომიაში ცოცხალი სამყაროს ორ

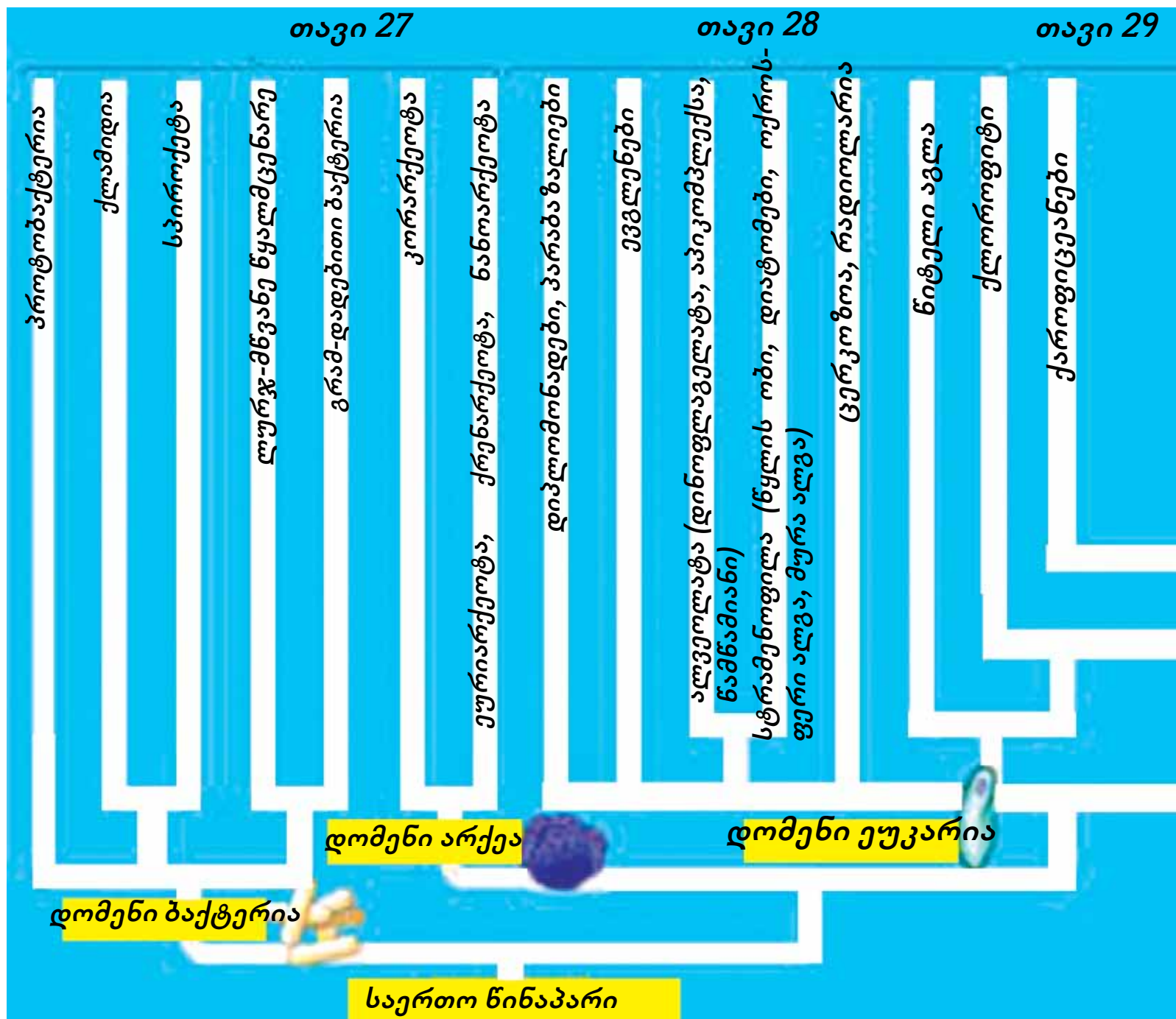


▲ სურათი 26.21 უიტტეკერის ხუთი სამეფოს სისტემა

სამეფოდ დაყოფას ხანგრძლივი ტრადიცია აქვს; კარლ ლინეი სიცოცხლის ყველა ფორმას ცხოველებსა და მცენარეებს მიაკუთვნებდა.

მიკროორგანიზმების მრავალფეროვანი სამყაროს აღმოჩენის შემდეგაც ცოცხალი ორგანიზმების ორ სამეფოდ დაყოფის სისტემა მაინც არსებობდა. ტაქსონომისტებმა ბაქტერიები მცენარეთა სამეფოს მიაკუთვნეს, ვინაიდან მათ უჯრედებს მკვრივი გარსი აქვს. ქლოროპლასტების მქონე ერთუჯრედიანი ეუკარიოტებიც მცენარეებში მოხვდნენ. სოკოებს ფოტოსინთეზის უნარი არა აქვს და აგებულებითაც მცენარეებისგან მნიშვნელოვნად განსხვავდებიან, მაგრამ ისინიც მცენარეებს მიაკუთვნეს, ვინაიდან მათ უმრავლესობას, ისევე როგორც მცენარეების უმრავლესობას, გადაადგილება არ შეუძლია. ერთუჯრედიანი ორგანიზმები, უმარტივესები, რომლებიც გადაადგილდებიან და საკვებს ითვისებენ ცხოველთა სამეფოში შეიყვანეს. გადაადგილებისა და ფოტოსინთეზის უნარი მქონე ევგლენა როგორც ბოტანიკოსების, ასევე ზოოლოგების მოთხოვნებს აკმაყოფილებს, ამიტომ ის როგორც ცხოველების, ასევე მცენარეების სამეფოში გვხვდება.

1969 წლამდე ორზე მეტი სამეფოს მქონე ტაქსონომიური სქემები ბიოლოგებში პოპულარულობით არ სარგებლობდა. 1969 წელს რობერტ ჰ. უიტეკერმა (კორნელის უნივერსიტეტი) კარგად არგუმენტირებული სისტემა შექმნა. ამ სისტემაში ხუთი სამეფო შედიოდა: მონერა, უმარტივესები, მცენარეები, სოკოები და ცხოველები (Monera, Protista, Plantae, Fungi, Animalia) (სურათი 26.21). უიტეკერი უჯრედების ორ ფუნდამენტურად განსხვავებულ ტიპს, პროკარიოტებს და ეუკარიოტებს გამოყოფდა. მან პროკარიოტები ეუკარიოტებისგან ცალკე, მონერას ჯგუფში მოათავსა.

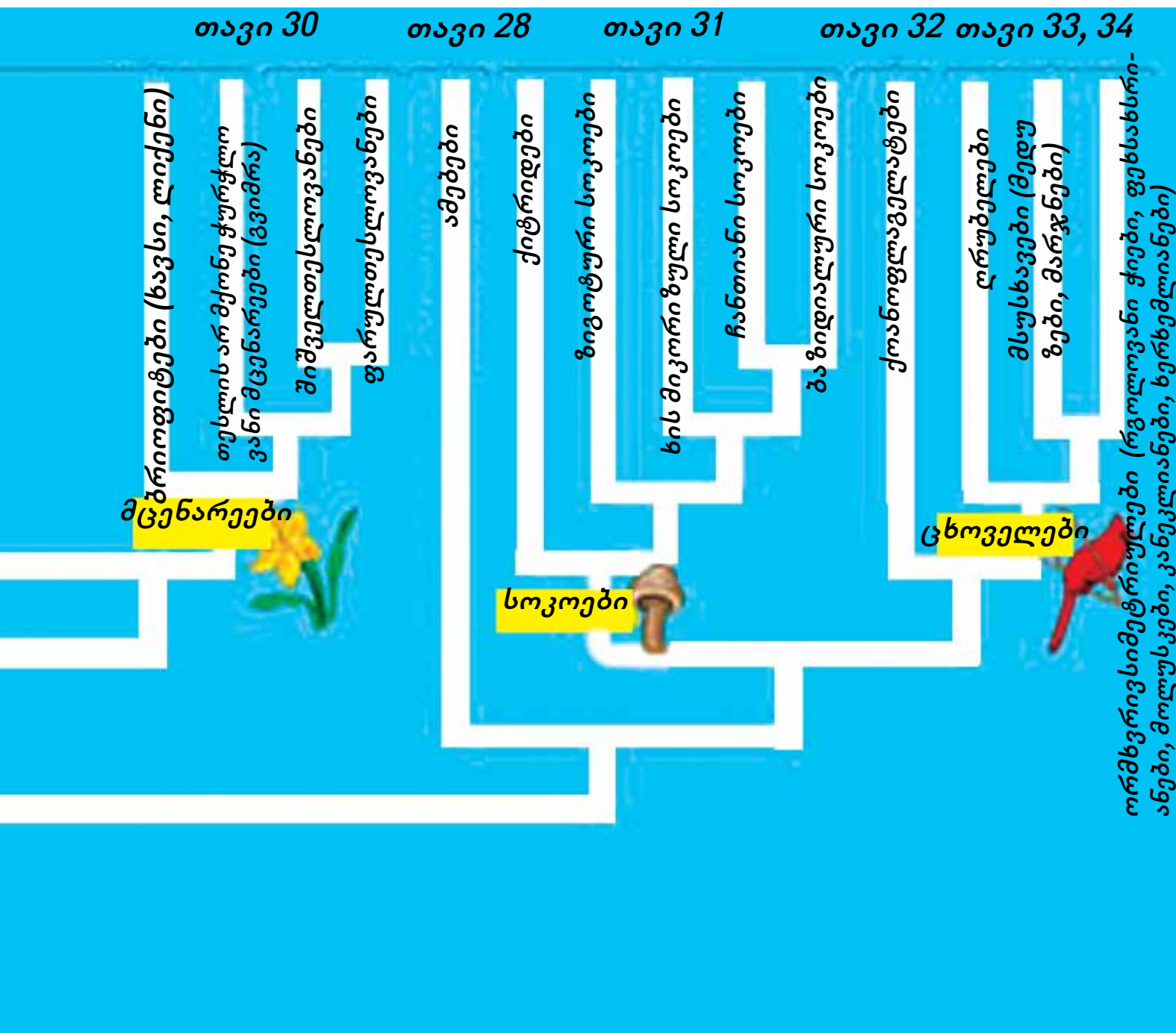


▲ **სურათი 26.22** ბიოლოგიური მრავალფეროვნების ერთ-ერთი თანამედროვე სქემა. ამ ხეზე ასახულია სიცოცხლის გამრავალფეროვნება ევოლუციური დროის განმავლობაში. ცხარე კამათი მიმდინარეობს აქ ასახულ ზოგიერთ ნათესაურ კავშირზე, რასაც სქემაზე მითითებულ თავებში გაეცნობით.

უიტეკერმა მრავალუჯრედიანი ეუკარიოტების სამი, მცენარეების, სოკოებისა და ცხოველების სამეფო გამოყო. ეს კლასიფიკაცია ძირითადად კვების თავისებურებებს ეფუძნებოდა. მცენარეები აუტოტროფებია, რომლებიც თავიანთ საკვებს ფოტოსინთეზის გზით ქმნიან. სოკოები და ცხოველები ჰეტეროტროფებია. სოკოების უმრავლესობა რედუცენტის (დამშლელი). ის საკვებ ობიექტში იჭრება, საჭმლის მომნელებელ ფერმენტებს გამოყოფს და მონელებული საკვების მცირე მოლეკულებს იწოვს.

ცხოველების უმრავლესობა საკვებს გარემოდან იღებს და ორგანიზმში არსებულ სპეციალურ ღრუში ინელებს.

უიტეკერის ხუთი სამეფოს სისტემაში უმარტივესების სამეფო შედარებით ბუნდოვნად განსაზღვრულია. უმარტივესების სამეფოში ყველა ეუკარიოტი შედიოდა, რომლებიც მცენარეების, სოკოებისა ან ცხოველების განსაზღვრას არ შეესაბამებოდა. უმარტივესთა უმრავლესობა ერთუჯრედიანია, მაგრამ მათი სამეფოს საზღვრები გააფართოეს დამასში ზოგიერთი



მრავალუჯრედიანი ორგანიზმიც მოათავსეს, მაგალითად ზღვის წყალმცენარეები, რომლებიც ერთუჯრედიანი უმარტივეების ნათესავეებია. ხუთი სამეფოს სისტემაში ბიოლოგიაში 20 წელზე მეტი იარსება.

სიცოცხლის ხის აღდგენა. სამუშაო გზა

ტაქსონომიური სისტემები ადამიანის შექმნილია. ეს სიცოცხლის მრავალფეროვნების სქემის შექმნის მცდელობაა. ასეთი სქემა ფილოგენეტიკურ კავშირებს ასახავს და ხმარებაში მოსახერხებელია. ბოლო სამი ათწლეულის განმავლობაში სისტემატიკოსები ტაქსონომიური საკითხების გადასაწყვეტად

მოლეკულურ-გენეტიკურ მონაცემებს იყენებენ. ამ მონაცემებზე დაყრდნობით სახეობათა გენეალოგიურ ხეებს, კლადოგრამებს აგებენ. 25-ე თავში ვნახეთ, რომ ამ მონაცემებზე დაყრდნობით ბიოლოგებმა სამი დომენისგან (სამფლობელოსგან) შემდგარი სისტემა შექმნეს. ბაქტერიების, არქეებისა და ეუკარიების (Bacteria, Archaea, Eukarya) დომენები ფაქტობრივად შესამეფოებია. დომენი ტაქსონომიურად უფრო მაღალი რანგია, ვიდრე სამეფო. ბაქტერიები არქეებისაგან მრავალი ძირითადი მახასიათებლით, აგებულებით, ბიოქიმიით და ფიზიოლოგიით განსხვავდება. ამ მახასიათებლებს 27-ე თავში განვიხილავთ. ამ სხვაობაზე დაყრდნობით ბაქტერიები და არქეები სხვადასხვა შესამეფოში (დომენში) მოათავსეს. სამი დომენის სისტემის შემოღების შემდეგ

მონერების სამეფო ამოვარდა, რადგან მისი წარმომადგენლები ორ განსხვავებულ დომენში აღმოჩნდნენ. დღეს მოლეკულური მონაცემების ფილოგენეზური ანალიზის საფუძველზე მრავალი მიკრობიოლოგი ორივე პროკარიოტულ დომენს მრავალ სამეფოდ ყოფს (**სურათი 26.22**).

ხუთი სამეფოს სისტემის მიმართ სხვა მნიშვნელოვანი შენიშვნები იმ სისტემატიკოსებმაც გამოთქვეს, რომლებიც უმარტივესების სამეფოში შემავალი ეუკარიოტების ფილოგენეზს იკვლევდნენ. ამჟამად ამ ორგანიზმებს ხუთ ან მეტ სამეფოდ ყოფენ, რომლებსაც სიცოცხლის ხის ეუკარიოტული შტოს ფუძეში საერთო წინაპარი ჰყავთ. კამათი ზოგიერთი ერთუჯრედიანი უმარტივესის მცენარეების, სოკოების ან ცხოველების სამეფოში გადაყვანაზე დღემდე გრძელდება. სრული თანხმობის მიღწევას მრავალი კვლევა დასჭირდება. დასადგენია სიცოცხლის სამ დომენს შორის არსებული კავშირი და მათში შემავალი სამეფოების რაოდენობა. მეცნიერები განაგრძობენ ორგანიზმების კოლონიების აღმოჩენას და შესწავლას, მაგალითად ღრმად მიწისქვეშ მოზინადრე ორგანიზმების და მათ კულტივირებას ცდილობენ.

ბიბლიოგრაფიული ლიტერატურის შემოწმება

▶ ჯანცოცია 26.1

ასალგაზრდა დედამიწაზე სიცოცხლის
წარმოშობისთვის ხელსაყრელი
პირობები იყო

- ▶ **ორგანული კომპონენტების სინთეზი უძველეს დედამიწაზე** დედამიწის ფორმირება დაახლოებით 4.6 მილიარდი წლის წინ მოხდა. ლაბორატორიულ ექსპერიმენტებში მეცნიერებმა რედუცირებული ატმოსფეროს შექმნეს. ამ ექსპერიმენტში არაორგანული ნივთიერებები-სგან ორგანული მოლეკულები წარმოიქმნა. ამინომჟავები უძველეს დედამიწაზე დაცემული მეტეორიტების შემადგენლობაშიც აღმოაჩინეს.
- ▶ **პოლიმერების აბიოტური სინთეზი** ამინომჟავების პოლიმერაზას დანვთებისას თბილ ქვიშაზე, თიხაზე ან ქვაზე.
- ▶ **პროტობიონტები** ლაბორატორიულ ცდებში, ორგანული კომპონენტები თავისთავად ლაგდებიან და ქმნიან პროტობიონტებს — ცხიმოვან წვეთებს, რომლებსაც უჯრედის ზოგი თვისება აქვს.
- ▶ **რნმ-ის სამყარო და ბუნებრივი სელექციის გარიჟრაჟი** პირველ გენეტიკური მასალა ალბათ რნმ-ის მოკლე მოლეკულები იყო. ისინი ქმნიდნენ ტრაფარეტს ამინომჟავებისთვის პოლიპეპტიდების სინთეზის დროს და ნუკლეოტიდებისთვის — პრიმიტიული თვითრეპლიკაციისას. ადრეული პროტობიონტები, რომლებიც თვითრეპლიცი-

უეჭველია, რომ ამ პროცესში ორგანიზმების ახალ ჯგუფებს აღმოვაჩენთ, რაც ტაქსონომიის მოდერნიზაციას გამოიწვევს. 27-34 თავების კითხვისას სიცოცხლის მრავალფეროვნებას გაეცნობით. გახსოვდეთ, რომ ფილოგენეზური ხე და ტაქსონომიური ჯგუფები ჩვენს ხელთ არსებულ მონაცემებზე აგებული ჰიპოთეზაა. შემომ-მებადი ჰიპოთეზების კვლევა უწყვეტად მიმდინარეობს, რაც ადასტურებს, რომ ევოლუციურ ბიოლოგია საბუნებისმეტყველო მეცნიერებაა.

▶ ჯანცოცია 26.6

1. ხუთი სამეფოს სისტემის რომელ სამეფოშია ორგანიზმები, რომლებიც ამჟამად ეუკარიოტების დომენში შედიან?
2. 26.22 სურათზე დაყრდნობით ახსენით, რატომ აღარ ითვლება მონერების სამეფო სრულფასოვან ტაქსონად.

რებად კატალიზურ რნმ-ს შეიცავდნენ, უფრო ეფექტურად იყენებდნენ რესურსებს. ამის გამო ბუნებრივი გადარჩევის შედეგად მათი რიცხვი უნდა გაზრდილიყო.

▶ ჯანცოცია 26.2

დედამიწის სიცოცხლის
დათარიღება ნამარხებით

- ▶ **როგორ ხდება დანალექი ქანებისა და ნამარხების დათარიღება** ნამარხების მიახლოებით ასაკზე ინფორმაცია დანალექ ქანებშია. ნამარხების აბსოლუტური ასაკი შეიძლება რადიომეტრიული და სხვა მეთოდების საშუალებით დავადგინოთ.
- ▶ **გეოლოგიური მატრიკა** დედამიწის ისტორიას გეოლოგიურ ეონებად, ერებად და პერიოდებად ყოფენ. ამ პერიოდებში ცოცხალ ბუნებაში მნიშვნელოვანი ცვლილებები მოხდა, რაც ნამარხებში აისახება.
- ▶ **მასობრივი გადაშენებები** ევოლუციის ისტორიაში რამდენიმე მასობრივი გადაშენება მოხდა, რაც მკვეთრად ზრდიდა ადაპტაციურ რადიაციას. ეს გადაშენებები ალბათ ვულკანურმა აქტივობამ ან მეტეორიტის თუ კომეტის ჩამოვარდნამ გამოიწვია.

▶ ჯანცოცია 26.3

პრეკამბრიუმის ევოლუცია და მათი გაფლანა
ასალგაზრდა დედამიწაზე

- ▶ **პირველი პროკარიოტები**
3.5-2 მილიარდი წლის წინ დედამიწაზე მხოლოდ პროკარიოტები არსებობდნენ.

- ▶ **ელექტრონების გადატანის სისტემები** ელექტრონების პირველი სატრანსპორტო ჯაჭვები ალბათ ატმ-ის შენახვას ემსახურებოდა, რაც ორგანული მჟავების დაჟანგვასა და H^+ -ის უჯრედის ფარგლებს გარეთ ტრანსპორტირებას შორის კავშირის შექმნით ხდებოდა.
- ▶ **ფოტოსინთეზის წარმოშობა და ჟანგბადის რევოლუცია** ადრეული ფოტოსინთეზის სხვადასხვა ფორმის არსებობის პერიოდში, ჟანგბადი ალბათ არ წარმოქმნებოდა. სავარაუდოდ, ჟანგბადის წარმოქმნელი ფოტოსინთეზი ლურჯ-მწვანე ბაქტერიებში 3,5 მილიარდი წლის წინ განვითარდა. ჟანგბადის დაგროვება ატმოსფეროში დაახლოებით 2.7 მილიარდი წლის წინ მოხდა, რამაც ორგანიზმების საარსებო გარემო შეცვალა. ამ პროცესის შედეგად კონკრეტული ადაპტაციები გაჩნდა, მაგალითად, უჯრედული სუნთქვა ჟანგბადის გამოყენებით.

კონცეფცია 26.4

ეუკარიოტული უჯრედები სიმბიოზისა და პათოკარიოტულ უჯრედებს შობის გენეტიკური ინფორმაციის მიმდევრის შედეგად წარმოიქმნა

- ▶ **პიველი ეუკარიოტები** ეუკარიოტული უჯრედების უძველესი ნამარხები 2.1 მილიარდი წლით თარიღდება.
- ▶ **მიტოქონდრიებისა და პლასტიდების ენდოსიმბიოზური წარმოშობა** პირველი ეუკარიოტები სხვა უჯრედებზე მონადირე მტაცებლები იყვნენ. მიტოქონდრია და პლასტიდები ეუკარიოტულ უჯრედებში ალბათ პროკარიოტებიდან მოხვდნენ. ეუკარიოტული უჯრედები უფრო მცირე პროკარიოტული უჯრედებით იკვებებოდნენ. ზოგი პროკარიოტული უჯრედის არ მოიწვლა და მასპინძელი ეუკარიოტული უჯრედის შემადგენლობაში შევიდა. განვითარდა სიმბიოზი. პროკარიოტულმა უჯრედებმა არსებობა ეუკარიოტული უჯრედების შემადგენლობაში განაგრძეს.
- ▶ **ეუკარიოტული უჯრედები გენეტიკური ქიშკრები.** ენდოსიმბიოზმა და გენების ჰორიზონტალურმა გადატანამ ხელი შეუწყო ეუკარიოტული უჯრედების აგებულების სირთულის ზრდას.

კონცეფცია 26.5

ეუკარიოტებში მრავალუჯრედიანობა ტამდენჯერმე განვითარდა

- ▶ **მრავალუჯრედიანი ეუკარიოტების ადრეული ფორმები** მრავალუჯრედიანი ეუკარიოტების უძველესი ნამარხები 1.2 მილიარდი წლით თარიღდება, მაგრამ მოლეკულური საათის მიხედვით მრავალუჯრედიანი ეუკარიოტების საერთო წინაპარი 1.5 მილიარდი წლის წინ უკვე არსებობდა.
- ▶ **კოლონიური ორგანიზმები** პირველი მრავალუჯრედიანი ორგანიზმები სპეციალიზებული უჯრედების მქონე კოლონიები.

- ▶ **„კემბრიული აფეთქება“** ცხოველთა ტიპების უმეტესობის უძველესი ნამარხები კემბრიული პერიოდით თარიღდება, მაგრამ მოლეკულურ-გენეტიკური კვლევები მიუთითებს, რომ ამ ტიპების უმრავლესობა გაცილებით ადრე, დაახლოებით 1 მილიარდი - 700 მილიონი წლის წინ გაჩნდა.
- ▶ **ხმელეთის კოლონიზაცია მცენარეების, სოკოებისა და ცხოველების მიერ** მცენარეები, სოკოები და ცხოველები ხმელეთზე დაახლოებით 500 მილიონი წლის წინ დასახლდნენ. მცენარეების ფესვებსა და სოკოებს შორის სიმბიოზური კავშირის ჩამოყალიბება ზუსტად ამ დროით თარიღდება და დღესაც გავრცელებული მოვლენაა.
- ▶ **კონტინენტების გადაადგილება** დედამიწის ფილების მოძრაობამ ევოლუციაზე დიდი გავლენა იქონია. სუპერკონტინენტ პანგეას ფორმირება, შემდეგ კი სხვადასხვა კონტინენტებად დაშლა, ბევრ ბიოგეოგრაფიულ გამოცანას ხსნის.

კონცეფცია 26.6

სიცოცხლის სეზონური წარმოდგენა ახლმა ინტელმაციამ შეცვალა

- ▶ **წარსულის ტაქსონომური სისტემები** წარსულის ტაქსონომიურ სისტემებში ორ, მცენარეებისა და ცხოველების სამეფოს, გამოყოფდნენ. შემდეგში ჩამოყალიბდა 5 სამეფოსგან შემდგარი სისტემა. ესენია: მონერა, უმარტივესები, მცენარეები, სოკოები და ცხოველები.
- ▶ **სიცოცხლის ხის განახლება. სამუშაო გრძელდება** სამი დომენის სისტემამ (ბაქტერიები, არქეები და ეუკარიოტები) ხუთი სამეფოს სისტემა შეცვალა. ყოველი დომენი სისტემატიკოსებმა მრავალ სამეფოდ დაყვეს.

შეამწმეთ საუთაბი ცდენა

თვითშეფასება

1. სიცოცხლის წარმოშობაზე ერთ-ერთი მოსაზრებიდან გამომდინარეობს, რომ დედამიწაზე პირველი ორგანული ნაერთები ატმოსფეროში კი არა არამედ წარმოიქმნა....
 - ა) მშრალ მიწაზე;
 - ბ) ზღვაში ღრმა ნაპრალებთან ახლოს;
 - გ) ვირუსებისგან;
 - დ) სამხრეთ აფრიკაში;
 - ე) დედამიწაზე მთვარის ნამსხვრევების ჩამოცვენიას.
2. რისი შესწავლა დღემდე ვერ დაასრულეს სიცოცხლის წარმოშობის საკითხებზე მომუშავე მეცნიერებმა?
 - ა) რიბოზიმების მიერ რნმ-ის პატარა პოლიმერების სინთეზის;
 - ბ) პოლიპეტიდების აბიოტური სინთეზის;
 - გ) მოლეკულური ერთობლიობების, რომლებიც მემბრანის შერჩევით შედნევადობას უზრუნველყოფენ;
 - დ) პროტეობიონტების ფორმირების, რომლებიც ამინომჟა-

- ვების სინთეზისთვის **ღმმ**-ს იყენებენ;
- ე) ორგანული მოლეკულების აბიოტური სინთეზის.
3. ბუნებრივი გადარჩევის შედეგად პროტობიონტების პოპულაციში ევოლუციური ცვლილებები მხოლოდ მაშინ მიმდინარეობდა, როცა
- მათ პირველად შეძლეს ქიმიური რეაქციების კატალიზი;
 - მემკვიდრეობითობის ზოგი მექანიზმი განვითარდა;
 - მათ ზრდა და ორად დაყოფა შეძლეს;
 - ფოტოსინთეზი წარმოიქმნა;
 - ღმმ** პირველად გაჩნდა.
4. რომელი მოსაზრება არ ეთანხმება ჰიპოთეზას, რომ რნმ იყო უძველესი პროტობიონტების გენეტიკური მასალა და ამ სახით ფუნქციონირებდა?
- რნმ-ის მოკლე თანმიმდევრობებს დნმ-ის ჯაჭვისთვის მხოლოდ შეზღუდული რაოდენობის კომპლემენტალური ფუძეების დამატება შეუძლია;
 - ცოცხალ უჯრედებში რნმ-ს კატალიზური აქტივობა აქვს;
 - თანმიმდევრობების შემადგენლობაში ცვლილებების შედეგად გარემოს სხვადასხვა პირობების მიმართ სხვადასხვა მდგრადობის მქონე მოლეკულებს ვიღებთ;
 - დღევანდელ უჯრედებში ცილების სინთეზისთვის რნმ მატრიცის როლს ასრულებს;
 - დღევანდელ უჯრედებში რნმ მატრიცაა, რომლის მიხედვით **ღმმ**-ის ნუკლეოტიდები ლაგდება.
5. კონკრეტულ დანალექ ქანებში მათი ფორმირებისას პოტასიუმ-40-ის 12მგ იყო. ამჟამად ეს ქანები 3მგ პოტასიუმ-40-ს შეიცავს. პოტასიუმის ნახევრად დაშლის პერიოდი 1.3 მილიარდი წელია. რას უდრის ამ ქანების ასაკი?
- 0.4 მილიარდი წელი;
 - 0.3 მილიარდი წელი;
 - 1.3 მილიარდი წელი;
 - 2.6 მილიარდი წელი;
 - 5.2 მილიარდი წელი.
6. ნამარხი სტრომატოლიტები
- 2.7 მილიარდი წლით თარიღდება;
 - მათი ფორმირება ზღვებში, ნაპრალების ახლოს მოხდა;
 - ისინი ბაქტერიების თანასაზოგადოებებს ჰგვანან, რომლებიც დღეს ზოგიერთ თბილ, მარილიან, წყალმარჩხ ყურეებში ბინადრობენ;
 - მონშობენ, რომ მცენარეები ხმელეთზე სოკოებთან ერთად, დაახლოებით 500 მილიონი წლის წინ დასახლდნენ;
 - შეიცავენ პირველი ნამდვილი ეუკარიოტების ნამარხებს, რომლებიც 2.1 მილიარდი წლით თარიღდება.
7. ჟანგბადის რევოლუციამ დედამიწის საარსებო გარემო მკვეთრად შეცვალა. ოქეანეებსა და ატმოსფეროში თავისუფალი ჟანგბადის არსებობამ გამოიწვია:
- ქლოროპლასტების ევოლუცია, იმის შემდეგ, რაც ადრეულმა უმარტივესებმა ფოტოსინთეზის უნარის მქონე ლურჯ-მწვანე წყალმცენარეები შთანთქმეს;
 - ანაერობულ ადგილებში მობინადრე ცხოველების ზოგი ჯგუფის მდგრადობის გაზრდა;
 - ფოტოსინთეზური პიგმენტების ევოლუცია, რომლებიც ადრეულ წყალმცენარეს ჟანგბადის კოროზიული (ჟანგვითი) მოქმედებისგან იცავდნენ;
 - უჯრედული სუნთქვის ევოლუცია: ჟანგბადის გამოყენება საკვები მოლეკულებისგან ენერგიის მისაღებად;
 - პროკარიოტების სიმბიოტური თანასაზოგადოებებიდან მრავალუჯრედიანი ეუკარიოტების კოლონიების განვითარება.
8. შემდეგი ჩამონათვალიდან, რომელი ასახავს დედამიწის ბიოლოგიური ისტორიის მოვლენების შესაძლო თანმიმდევრობას?
- ჯერ მეტაბოლიზმი, შემდეგ მიტოზი;
 - ჯერ ჟანგბადის შემცველი ატმოსფერო, შემდეგ რედუცირებული ატმოსფერო;
 - ჯერ ეუკარიოტები, შემდეგ პროკარიოტები;
 - ჯერ **ღმმ** გენები, შემდეგ რნმ გენები;
 - ჯერ ცხოველები, შემდეგ წყალმცენარეები.
9. ინდოეთის მცენარეები და ცხოველები შესამჩნევად განსხვავდებიან მასთან მეზობლად მდებარე სამხრეთ-აღმოსავლეთი აზიის სახეობებისგან. იმიტომ, რომ:
- სახეობები კონვერგენტული ევოლუციის შედეგად ერთმანეთს დაცილდნენ;
 - ორი რეგიონის კლიმატი აბსოლუტურად განსხვავდება;
 - ინდოეთი დანარჩენი აზიიდან გამოყოფის პროცესშია;
 - ვულკანური აქტივობის შედეგად სიცოცხლე ინდოეთში დიდი ხნის წინ შეიცვალა;
 - ინდოეთი შედარებით ახლახანს ცალკე კონტინენტი იყო.
10. კამათი სიცოცხლის სამეფოების რიცხვსა და საზღვრებზე ძირითადად ორგანიზმების შემდეგ ჯგუფებს ეხება:
- მცენარეებსა და ცხოველებს;
 - მცენარეებსა და სოკოებს;
 - პროკარიოტებსა და ერთუჯრედიან ეუკარიოტებს;
 - სოკოებსა და ცხოველებს;
 - ამფიბიებსა და რეპტილიებს.

უძლესი კავშირი

აღწერეთ აგებულების, მეტაბოლური და გენეტიკური ელემენტების მინიმუმი, რომლებიც პროტობიონტს ესაჭიროება ნამდვილ უჯრედად განვითარებისთვის.

მეცნიერული კვლევა

თუ მზის სისტემის ფარგლებში სიცოცხლეს კიდევ სადმე აღმოაჩენთ, გაჩნდება კითხვა: წარმოიშვა თუ არა დედამიწაზე არსებული და ეს აღმოჩენილი სიცოცხლე ერთმანეთისგან დამოუკიდებლად? ახალად აღმოჩენილი სიცოცხლის ფიზიკური და ქიმიური თვისებების შესაწავლის შედეგად, რა თვისებები დაადასტურებს მათ ერთიან წარმოშობას? რა კითხვები გაჩნდება, თუ აღმოჩნდება, რომ ეს სიცოცხლეები საერთო ან სხვადასხვა წარმოშობისაა?

მეცნიერება, ფიქციონალიზაცია და საზოგადოება

ექსპერტების მტკიცებით, ადამიანის ცხოველქმედების შედეგად ყოველწლიურად ასეულობით სახეობა ნადგურდება. სახეობების გადაშენების ბუნებრივი სიხშირე კი წელიწადში საშუალოდ რამდენიმე სახეობას უდრის. ადამიანი გარემოზე ზემოქმედებას, მაგალითად, ტროპიკული ტყეების განადგურებას აგრძელებს

და ხელს უწყობს დედამიწაზე კლიმატის ცვლილებას. ამის გამო სახეობების ჯამური გადაშენება შეიძლება ცარცული პერიოდის ბოლოს მოხდარ გადაშენებას გაუტოლდეს. უნდა გვაღელვებდეს თუ არა მოსალოდნელი მასობრივი გადაშენება? პასუხისას გაითვალისწინოთ, რომ სიცოცხლემ დედამიწაზე რამდენიმე მასობრივ გადაშენებას გაუძლო. რითი განსხვავდება წინა მასობრივი გადაშენებები მოსალოდნელი გადაშენებისგან? რა ბედი ელის გადარჩენილ სახეობებს, მათ შორის ჩვენსაც?

27

პროკარიოტები



▲ სურათი 27.1 „სითბოს მოყვარული“ პროკარიოტების წარინჯისფერი და ყვითელი კოლონიები. ნევადა, ცხელი გეიზერი.

ბიოთაღი კონცეფციები

- 27.1** პროკარიოტების წარმატებაში დიდ როლს ასრულებენ სტრუქტურული, ფუნქციონალური და გენეტიკური ადაპტაციები
- 27.2** პროკარიოტებში განვითარდა მრავალფეროვანი კვებითი და მეტაბოლური ადაპტაციები
- 27.3** პროკარიოტების ფილოგენეზის შესწავლას აწარმოებენ მოლეკულური სისტემატიკის საფუძველზე
- 27.4** პროკარიოტების როლი ბიოსფეროს ფორმირებაში ძალიან დიდია
- 27.5** პროკარიოტების აქვთ ადამიანებზე როგორც უარყოფითი, ასევე დადებითი გავლენა.

შესავალი

ისინი თითქმის ყველგან ატყვამყნ

პროკარიოტების უმრავლესობის ზომა მიკროსკოპულია. ზომის დანაკლისის ისინი მრავალრიცხოვნობით აკომპენსირებენ. ყველა პროკარიოტის ბიოლოგიური მასა (ბიომასა) ეუკარიოტების მასაზე ათჯერ მეტია. პროკარიოტების რაოდენობა ნოყიერი ნიადაგის ერთ მუჭაში მეტია, ვიდრე ადამიანების რაოდენობა, რომლებიც მისი წარმოშობის შემდეგ დედამიწაზე ბინადრობდნენ. თავისი არსებობის ისტორიის განმავლობაში ეს ნაზი ორგანიზმები ბიოსფეროში ბატონობენ. რატომ და რით არის ეს გამოწვეული? პროკარიოტების წარმატების ერთ-ერთი მიზეზია ადაპტაციების დიდი რაოდენობა, რომელთა საშუალებით სხვადასხვა პროკარიოტი სხვადასხვა გარემოს ადვილად ითვისებს. პროკარიოტები თითქმის ყველგან გვხვდებიან, სადაც სხვა ორგანიზმები ვერ ძლებენ: ძალიან მზავე ან ძალიან მარილიან გარემოში, ძალიან ცივ ან ძალიან ცხელ ადგილებში (სურათი 27.1). ისინი დანალექ ქანებში, 2 კილომეტრის სიღრმეზეც აღმოაჩინეს. როცა ბიოლოგები ცდილობდნენ პროკარიოტების ევოლუციის ისტორიის რეკონსტრუქციას, რომელიც საფუძვლად უდევს

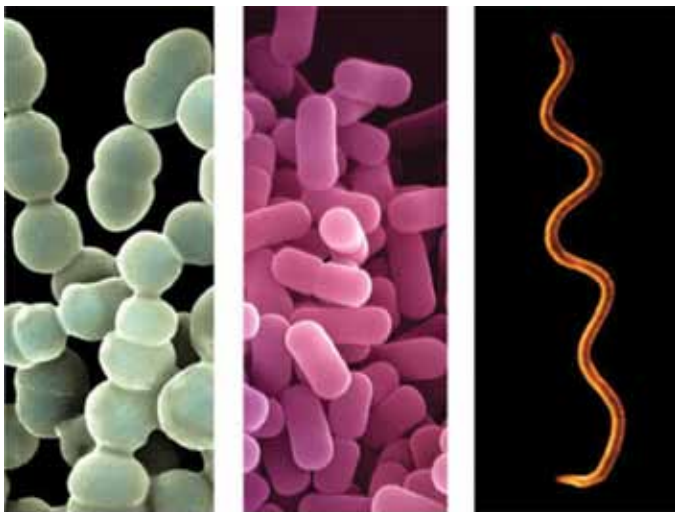
მათი ტიპების მრავალფეროვნებას, აღმოაჩინეს, რომ მათი გასაოცარი გენეტიკური მრავალფეროვნებაც ახასიათებს. მაგალითად: რიბოსომული რნმ-ის შედარება აჩვენებს, რომ ბაქტერიის, *Escherichia coli*-ს ორი შტამი გენეტიკურად უფრო განსხვავდება, ვიდრე იხვნისკარტა და ადამიანი.

როგორც 26-ე თავში ნაიკითხეთ, პროკარიოტებს ყოფენ ორ ღომენად: ბაქტერიებად და არქეებად. ეს ღომენები განსხვავდებიან ერთმანეთისგან მრავალი სტრუქტურული, ფიზიოლოგიური და ბიოქიმიური მაჩვენებლებით. ამ თავში პროკარიოტების ბიოლოგიურ მნიშვნელობაზე და მათ ძირითად ადაპტაციებზე ნაიკითხავთ. მაგალითად, პროკარიოტები მონაწილეობენ ქიმიური ნივთიერებების წრებრუნვაში. ნაიკითხავთ პროკარიოტების იმ სახეობებზე, რომლებიც ადამიანის სერიოზულ დაავადებებს იწვევენ. საბოლოოდ კი გაეცნობით ადამიანების სიცოცხლის დამოკიდებულებას „კეთილ“ პროკარიოტებზე და ბიოტექნოლოგიის მიერ ამ ფართოდ გავრცელებული ორგანიზმების მეტაბოლური (ნივთიერებათა ცვლის) აქტიობის გამოყენებას.

კონცეფცია 27.1

ფუნქციონალური და გენეტიკური ადაპტაციების ბოლი პროკარიოტების განვითარებაში

პროკარიოტების უმეტესობა ერთუჯრედიანი ორგანიზმია, თუმცა ზოგი სახეობა მცირე დროით აგრეგაციებს (მრავალი უჯრედის გროვა) ქმნის. ხანდახან აგრეგაცია მუდმივია და კოლონიები წარმოიქმნება. პროკარიოტული უჯრედების დიამეტრი, როგორც წესი, 1-5 მკმ-ია. ეუკარიოტული უჯრედების დიამეტრი კი საშუალოდ 10-100 მკმ-ია. პროკარიოტული უჯრედები ზომა ეუკარიოტული უჯრედების ზომაზე ბევრად მცირეა (ერთი გამონაკლისია გიგანტი პროკარიოტი *Thiomargarita namibiensis*, რომლის დიამეტრი 750 მკმ-ია. მას შეუიარაღებელი თვალითაც ნახავთ). პროკარიოტული უჯრედების ფორმა სხვადასხვაა. ყველზე გავრცელებული ფორმებია; სფერო (კოკი), ჩხირი (ბაცილა) და სპირალი (სურათი 27.2).



(ა) სფერული კოკი (ბ) ჩხირის ფორმის ბაცილა (გ) სპირალი

▲ **სურათი 27.2** პროკარიოტების ყველაზე გავრცელებული ფორმები (ა) კოკი, სფერული ფორმის პროკარიოტია. კოკები ცალკეული ორგანიზმებია, წყვილებს (დიპლოკოკები) და მრავალუჯრედებიან ძეწკვს (ამ სურათზე ნაჩვენებია სტრეპტოკოკები) ან ქმნიან. კოკები ხანდახან მტევნებად გროვდებიან (სტაფილოკოკები). (ბ) ბაცილა ჩხირისმაგვარი პროკარიოტია. როგორც წესი, ცალკეული უჯრედების სახით გვხვდება. ხანდახან ჩხირები ძეწკვს (სტრეპტობაცილები) ქმნიან. (გ) სპირალური პროკარიოტები, სპირილას ჩათვლით. მათი ფორმა მივივისმაგვარი ფორმიდან — გრძელ სპირალამდე მერყეობს. აქ ნაჩვენებია სპირალის ფორმის სპიროქეტები. (შეღებილია მ)

უჯრედის ზედაპირის სტრუქტურები

უჯრედის გარსი თითქმის ყველა პროკარიოტული უჯრედის ერთ-ერთი ძირითადი სტრუქტურაა, რომლის საშუალებით უჯრედი სტაბილურ ფორმას ინარჩუნებს. ის ასევე ქმნის ფიზიკურ ბარიერს და უჯრედს ჰიპოტონიურ გარემოში გასკდომისგან იცავს (**იხილეთ თავი 7**). ჰიპერტონიურ გარემოში პროკარიოტების უმეტესობა, ისევე როგორც გარსის მქონე სხვა უჯრედები, წყალს კარგავს და იკუმშება - მისი შიგთავსი უჯრედის გარსს შორდება (პლაზმოლიზი). წყლის დიდი დანაკლისი პროკარიოტების რეპროდუქციას (გამრავლებას) აბრკოლებს. მარილის გამოყენება კონკრეტული საკვების შესანახად, მაგალითად ლორისა და თევზის, ზუსტად ამ თვისებით აიხსნება.

პროკარიოტული უჯრედის გარსის მოლეკულური აგებულება და შემადგენლობა ეუკარიოტული უჯრედის გარსისგან განსხვავდება. მეხუთე თავში ნაიკითხეთ, რომ ეუკარიოტების უჯრედის გარსი ძირითადად ცელულოზისგან ან ქიტინისგან შედგება.

ბაქტერიების უმეტესობის უჯრედის გარსი კი **პეპტიდოგლიკანს**, შაქრის მოდიფიცირებულ პოლიმერს, შეიცავს. პოლიმერი ქმნის ბადეს, რომელიც მოკლე პოლიპეპტიდებით ჯვარედინად შეერთებულია. ეს მოლეკულური მასალა ბაქტერიის შიგთავსის შეკვრას ემსახურება და ბაქტერიის ზედა-

პირს მოსგან მოშორებულ მოლეკულებსაც აბავს. არქეების უჯრედის გარსი მრავალფეროვანი პოლისაქარიდებისა და ცილებისგან შედგება, მაგრამ პეპტიდოგლიკანს ანუ მუკოპეპტიდს არ შეიცავს.

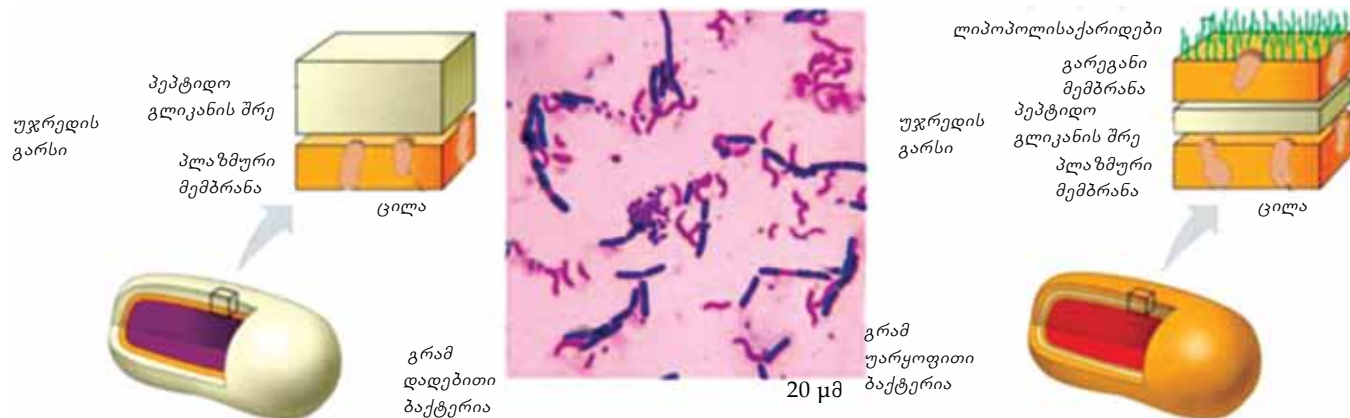
მეცხრამეტე საუკუნეში დანიელმა ექიმმა, ჰანს ქრისტიან გრამმა ბაქტერიული უჯრედის გარსის შეღებვის მეთოდითა განავითარა, რომელსაც გრამის სახელი უწოდეს. **ამ მეთოდით (გრამის საღებავი)** დაყრდნობით მეცნიერები ბაქტერიებს ორ ჯგუფად ყოფენ, რაც უჯრედის გარსის სხვადასხვა შემადგენლობას ეფუძნება. გრამდადებითი ბაქტერიების გარსი მარტივი აგებულებისაა და შედარებით დიდი რაოდენობის პეპტიდოგლიკანს შეიცავს (**სურათი 27.3 ა**). გრამუარყოფითი ბაქტერიების გარსი ნაკლებ პეპტიდოგლიკანს შეიცავს და მისი აგებულება უფრო რთულია. მათ აქვთ გარეგანი მემბრანა, რომელიც ლიპოპოლისაქარიდებს შეიცავს (ნახშირწყალბადების ნაერთი ლიპიდებთან) (**სურათი 27.3 ბ**).

მედიცინაში გრამის მიხედვით შეღებვა ძალიან მნიშვნელოვანი საიდენტიფიკაციო მეთოდია. ბაქტერიების პათოგენური და დაავადების გამომწვევი გრამუარყოფითი სახეობები ძირითადად უფრო სახიფათოა არიან, ვიდრე გრამდადებითი სახეობები. გრამუარყოფითი ბაქტერიების კედლებზე არსებული ლიპოპოლისაქარიდები ხშირად ტოქსიკურია. გარეგანი მემბრანა კი ეხმარება ბაქტერიას მასპინძლის თავდაცვითი მექანიზმებისგან დაცვაში. მეტიც, გრამუარყოფითი ბაქტერიები გრამდადებითებთან შედარებით ანტიბიოტიკების მიმართ უფრო რეზისტენტულნი (მდგრადები) არიან. მათი გარეგანი მემბრანა ხელს უშლის წამლის შეღწევას უჯრედში.

კონკრეტული ანტიბიოტიკების ეფექტურობას, პენიცილინის ჩათვლით, განაპირობებს მათი უნარი დააბრკოლონ პეპტიდოგლიკანის ჯვარედინი შეკვრის პროცესი. ანტიბიოტიკი ბლოკავს სრულყოფილი ბაქტერიული გარსის ჩამოყალიბებას. განსაკუთრებით ეფექტურია ანტიბიოტიკების გამოყენება გრამდადებითი ბაქტერიების წინააღმდეგ. ანტიბიოტიკები უამრავ სხვადასხვა პათოგენურ ბაქტერიას შლიან, მაგრამ არ აზიანებენ ადამიანის სხეულის უჯრედებს, რომლებიც პეპტიდოგლიკანს არ შეიცავენ.

მრავალი პროკარიოტის უჯრედის გარსი დაფარულია **კაპსულით**. კაპსულა პოლისაქარიდების ან ცილების წებოვანი შრეა (**სურათი 27.40**). მისი საშუალებით პროკარიოტები სუბსტრატს, ან კოლონიის სხვა ინდივიდებს ემაგრებიან. პათოგენურ პროკარიოტებს კაპსულა მასპინძლის იმუნური სისტემის იერიშისგან იცავს.

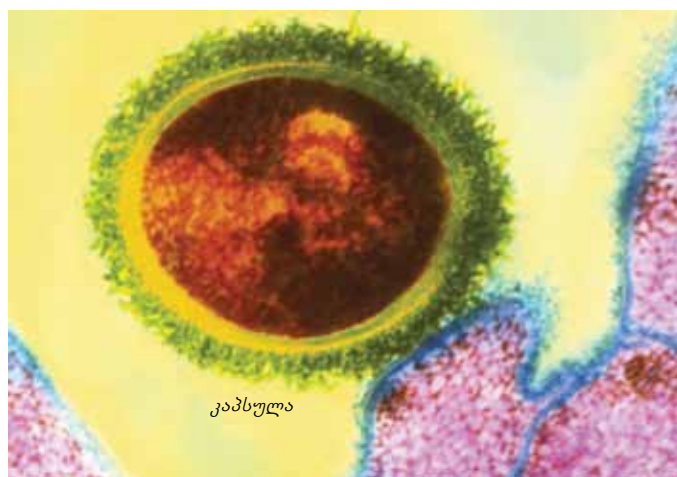
ზოგი პროკარიოტი ერთმანეთს ან სუბსტრატს თმისმაგვარი გამონაზარდების საშუალებით ემაგრება. ამ გამონაზარდებს **ფიმბრიებს – წამწამებს** ეძახიან. ზოგი კი ამისთვის **პილებს** იყენებს. როგორც წესი, ფიმბრიები უფრო მრავალრიცხოვანია და მოკლეა, ვიდრე პილები (**სურათი 27.5**) *Neisseria gonorrhoeae* — ბაქტერია, რომელიც გონორეას იწვევს, ფიმბრიებს მასპინძლის უჯრედების ლორწოვან მემბრანასთან მისამაგრებლად იყენებს. სპეციალიზირებული პილები, რომლებსაც სასქესო პილებს უწოდებენ, პროკარიოტებს კონიუგაციის მსვლელობისას აერთიანებენ. ამ პროცესის დროს ერთი უჯრედის **დნმ** მეორე უჯრედში გადადის (**იხ. სურათი 18.17**).



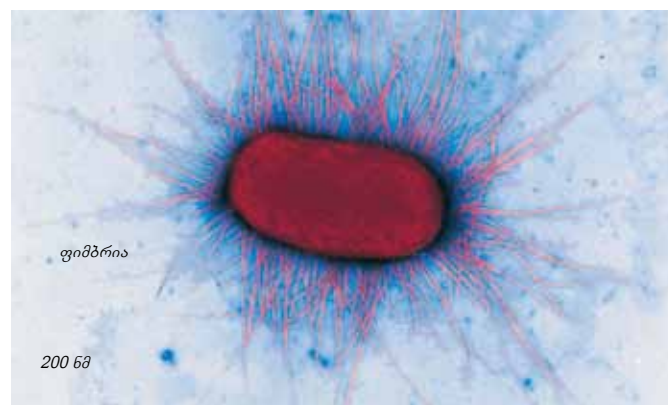
(ა) გრამდამდებითი. გრამდამდებით ბაქტერიას აქვს დიდი რაოდენობის პეპტიდოგლიკანის შემცველი უჯრედის გარსი, რომელიც იისფერ საღებავს ციტოპლაზმაში იკავებს. სპირტით გამოვსუცხვადამატებული ნითელ საღებავის მფარავ იისფერ საღებავს არ აუფერულებს.

(ბ) გრამუარყოფითი. გრამუარყოფითი ბაქტერია პეპტიდოგლიკანს ნაკლები რაოდენობით შეიცავს და ის განლაგებულია პლაზმური მემბრანისა და გარეგანი მემბრანის შუაში. იისფერი საღებავის ამორეცხვა არ არის რთული, რის შედეგად უჯრედი ნითელ ან ვარდისფერ ფერს იძენს.

▲ **სურათი 27.3** შეღებვა გრამის მიხედვით. ბაქტერიები შეღებილია ლილისფერი საღებავით და სპირტში გახსნილი იოდით, შემდეგ კი ნითელი საღებავით, ფუქსინით. გარსის აგებულება მისი შეღებვის უნარს განაპირობებს (ლმ).



▲ **სურათი 27.4** კაპსულა. სტრეპტოკოკის ბაქტერიას გარს ერტყმის პოლისაქარიდის კაპსულა, რომლის საშუალებით პათოგენური პროკარიოტი ადამიანის ტრაქტის შემომსაზღვრელ უჯრედებს ემაგრება. ამ სურათზე ნაჩვენებია სტრეპტოკოკის მიმაგრება ნუშისებრი ჯირკვლის უჯრედთან (შეღებილი ტრანს-მისიული ელექტრონული მიკროსკოპისთვის).



▲ **სურათი 27.5** ფიზმრია. მრავალრიცხოვანი გამონაზარდების საშუალებით ზოგი პროკარიოტი ეუკარიოტული უჯრედების ზედაპირს ან სხვა პროკარიოტებს ემაგრება (შეღებილი თ)

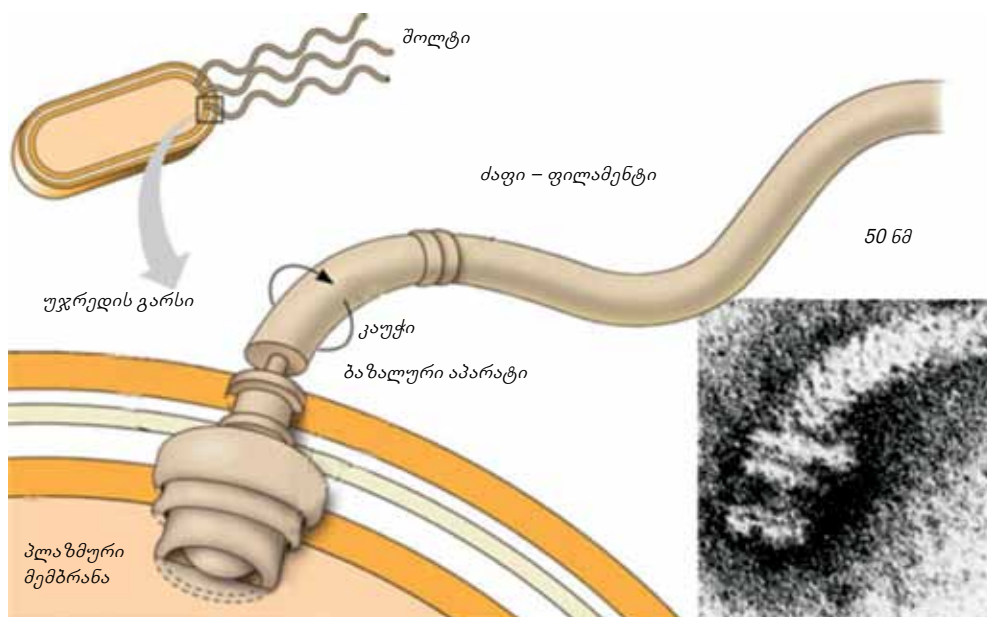
მოძრაობის უნარი

პროკარიოტებიდან დაახლოებით ნახევარს მიმართული მოძრაობა შეუძლია. ზოგი სახეობა უზარმაზარი სიჩქარით, 50 μm /წამში მოძრაობს. ეს 50-ჯერ აღემატება მათი სხეულის სიგრძის ტოლი მანძილის წამში გავლის სიჩქარეს.

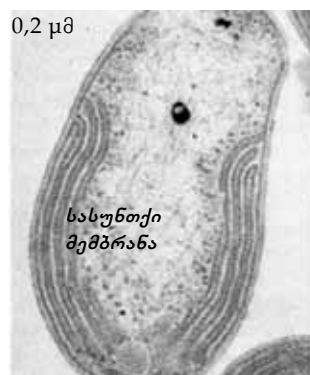
პროკარიოტის სამოძრაო მრავალფეროვანი სტრუქტურებიდან ყველაზე გავრცელებულია შოლტი. ის შეიძლება უჯრედის მთელ ზედაპირზე ვრცელდებოდეს, ან უჯრედის ერთ, ან ორივე ბოლოზე მდებარეობდეს. პროკარიოტების

შოლტი ეუკარიოტების შოლტისგან როგორც სტრუქტურულად, ასევე ბიძგების მექანიზმით განსხვავდება (**სურათი 27.6**). პროკარიოტის შოლტის სისქე ეუკარიოტის შოლტის ერთი მეათედია. ის არ არის დაფარული პლაზმური მემბრანის გამონაზარდებით (იხილეთ **სურათი 6.24** და 6.25 ეუკარიოტის შოლტის აგებულების გასახსენებლად)

შედარებით ერთგვაროვან გარემოში შოლტიანი პროკარიოტები ქაოტურად მოძრაობენ. პეტეროგენურ გარემოში კი ბევრ პროკარიოტს ტაქსისი ახასიათებს. ტაქსისი არის მოძრაობა სტიმულის, ან სტიმულის საპირისპირო მიმართულებით (ბერძნულად ტაქსისი ნესრიგში მოყვანაა). მაგალითად, ქემოტაქსისის მქონე პროკარიოტები კონკრეტულ ქიმიურ ნივთიერებებზე მოძრაობის მიმართულების შეცვლით პასუხობენ. ისინი საკვების ან ჟანგბადის მიმართულებით



▲ **სურათი 27.6** პროკარიოტის შოლტი. ბაზალური მექანიზმი, პროკარიოტის შოლტის მამოძრავებელი აპარატი, რგოლების სისტემაა, რომელიც ჩასმულია უჯრედის კელედში და პლაზმურ მემბრანაში (თ). ატფ-ით მართულ ტუმბოს გადააქვს პროტონები უჯრედის გარეთ. პროტონების დიფუზია უჯრედში კი ენერგიას ანიჭებს ბაზალურ აპარატს და ის კაუჭად იგრიხება. კაუჭი მიმაგრებულია ძაფებზე, რომლებიც ფლაგელის, გლობულარული ცილის, ძეწკვისგან შედგება. (ამ დიაგრამაზე ნაჩვენებია გრამუარყოფითი ბაქტერიებისთვის დამახასიათებელი შოლტის აგებულება).



(ა) აერობული პროკარიოტი.



(ბ) ფოტოსინთეზის უნარის პროკარიოტი

▲ **სურათი 27.7** როკარიოტების სპეციალიზებული მემბრანები (ა) პლაზმური მემბრანის ნაკეცი მითოქონდრიის კრისტებს წააგავს. ზოგ აერობულ პროკარიოტში ისინი უჯრედის სუნთქვაში მონაწილეობენ (თ) (ბ) ციანობაქტერიებს, ფოტოსინთეზის უნარის მქონე პროკარიოტული უჯრედებს, თილაკოიდური მემბრანა აქვს, რომელიც ძალიან ჰგავს ქლოროპლასტების მემბრანას. (თ)

მოძრაობენ (დადებითი ქემოტაქსისი) ან პირიქით, ტოქსიკურ ნივთიერებას გაუბრძან (უარყოფითი ქემოტაქსისი). 2003 წელს პრინსტონის უნივერსიტეტის და კიურის ინსტიტუტის (პარიზი) თანამშრომლებმა აჩვენეს, რომ *E. coli*-ს უჯრედი მისი სახეობის სხვა წარმომადგენლების მიმართ დადებით ქემოტაქსისს ავლენს, რის გამოც კოლონიებს წარმოიქმნის.

შინაგანი და გენეტიკური შემადგენლობა

პროკარიოტის უჯრედის შინაგანი აგებულება და გენეტიკური შემადგენლობა უფრო მარტივია, ვიდრე ეუკარიოტის. პროკარიოტულ უჯრედს არ ახასიათებს ცალკეული სტრუქტურები, რომლებიც ეუკარიოტულ უჯრედში არსებობს (**იხილეთ სურათი 6.6**). ზოგ პროკარიოტულ უჯრედს აქვს სპეციალიზებული მემბრანები, რომლებიც მეტაბოლურ ფუნქციებს ასრულებს (**სურათი 27.7**). როგორც წესი, ეს მემბრანები პლაზმური მემბრანის ნაკეცებია.

პროკარიოტების გენომის აგებულება ეუკარიოტების გენომისგან ძალიან განსხვავებულია. მათი **დნმ** ეუკარიოტების **დნმ**-ის საშუალოდ მეთასედს შეადგენს. პროკარიოტების უმეტესობის გენომის უდიდესი ნაწილი რგოლოვანი **დნმ**-გან შედგება. მასთან დაკავშირებულია შედარებით ნაკლები რაოდენობის ცილა. გენეტიკური მასალის ამ რგოლს პროკარიოტულ ქრომოსომას

წეტიკური მასალის ამ რგოლს პროკარიოტულ ქრომოსომას



▲ **სურათი 27.8** პროკარიოტული ქრომოსომა. *E. coli*-ს დაშლილ უჯრედს გარს ერტყმის თხელი დახვეული მარყუჟები. ეს **დნმ**-ის ერთი რგოლის ნაწილებია (**შეღებილი TEM**).

ეძახიან (**სურათი 27.8**). ეუკარიოტების ქრომოსომები განლაგებულია ბირთვში, პროკარიოტული ქრომოსომა კი **ბირთვის რეგიონში**. ბირთვის რეგიონი ციტოპლაზმის ადგილია, რომელიც ელექტრონულ მოკროსურათზე უფრო ღიაა, ვიდრე მის გარშემო მყოფი ციტოპლაზმა.

ქრომოსომას გარდა, ტიპური პროკარიოტული უჯრედი შეიძლება **დნმ**-ის მცირე რგოლებსაც შეიცავდეს, რომლებ-

საც პლაზმიდებს უწოდებენ. პლაზმიდების უმეტესობა მხოლოდ რამდენიმე გენისგან შედგება, რომლებიც ანტიბიოტიკების მიმართ მდგრადობას განაპირობებს. ისინი აგრეთვე იშვიათი საკვები ნივთიერებების მეტაბოლიზმს მართავენ, ან სხვა „იშვიათ“ ფუნქციას ასრულებენ. ხშირად პროკარიოტულ უჯრედს პლაზმიდების გარეშე შეუძლია არსებობა, ვინაიდან მისი ქრომოსომა ყველა მნიშვნელოვან ფუნქციას აკოდირებს. მაგრამ, კონკრეტულ პირობებში, მაგალითად ინფექციის წინააღმდეგ ანტიბიოტიკების გამოყენებისას, პლაზმიდამ პროკარიოტის გადარჩენის შანსი შეიძლება მნიშვნელოვანად გაზარდოს. პლაზმიდების რეპლიკაცია მთავარი ქრომოსომისგან დამოუკიდებელია. მრავალი პლაზმიდა კონიუგაციის პროცესში სხვა უჯრედში ადვილად აღწევს (იხ. სურათი 18.18).

მეთექვსმეტე და მეჩვიდმეტე თავებში ვახსენეთ, რომ პროკარიოტებში და ეუკარიოტებში ღწმ-ის რეპლიკაცია, ტრასკრიპცია და ტრანსლაცია ძირითადად მსგავსად მიმდინარეობს. თუმცა არის გარკვეული სხვაობაც. მაგალითად, პროკარიოტების რიბოსომები ოდნავ მცირე ზომისაა, ვიდრე ეუკარიოტების. ისინი ასევე ცილებისა და რწმ-ის შემადგენლობით განსხვავდებიან. ეს სხვაობა საკმარისია, რომ კონკრეტული ანტიბიოტი, მაგალითად ერითრომიცინი და ტეტრაციკლინი, პროკარიოტების, და არა ეუკარიოტების რიბოსომას დაუკავშირდეს და ცილების სინთეზის დაბლოკოს. ამიტომ ბაქტერიების მოსაკლავად ადამიანს შეუძლია ამ ანტიბიოტიკების გამოყენება საკუთარი თავისთვის ზიანის მიყენების გარეშე.

რეპროდუქცია და ადაპტაცია

ერთი მხვრივ, პროკარიოტები ძალიან წარმატებული ორგანიზმებია. ხელსაყრელ გარემოში ისინი სწრაფად, გაყოფით მრავლდებიან (იხილეთ სურათი 12.11) გაყოფის შედეგად ერთი პროკარიოტული უჯრედი 2 უჯრედს, შემდეგ კი შესაბამისად 4, 8, 16 და ა.შ. გვამძლევს. პროკარიოტების უმრავლესობა ყოველ 1-3 საათში ერთხელ იყოფა. კარგ პირობებში ზოგი სახეობა ახალ თაობას ყოველ 20 წუთში ერთხელ იძლევა. თუ ერთი პროკარიოტული უჯრედი ასეთი სისწრაფით დაბრკოლების გარეშე გამრავლდება, მისი კოლონია დედამიწას სამ დღეში დაფარავს! სინამდვილეში პროკარიოტების გამრავლება შეზღუდულია. პროკარიოტულ უჯრედს საკვებით მომარაგება სჭირდება, საკვები კი მიღევადი რესურსია. ამის გარდა, უჯრედი ნივთიერებათა ცვლის შედეგად წარმოქმნილი ნარჩენებით ინამლება, ან მას სხვა ორგანიზმები ანადგურებენ. ბუნებაში პროკარიოტებთან სხვა მიკროორგანიზმები კონკურირებს. ბევრი მათგანი თვითონ ასინთეზებს ანტიბიოტიკებს, რომლებიც პროკარიოტების რეპროდუქციას ანელებენ.

ზოგი პროკარიოტი საკმაოდ მძიმე პირობებს უძლევს, რაც ასევე ზრდის მათ წარმატებას. მაგალითად, კონკრეტული ბაქტერიები რეზისტენტულ უჯრედს – ენდოსპორას ქმნიან, როცა გარემოში ბაქტერიისთვის საჭირო საკვები არ არის (სურათი 27.9).

ენდოსპორის ჩამოყალიბებისას ბაქტერია მკვრივი გარსით დაცული, საკუთარი ქრომოსომების ასლებს წარმოქმ-



▲ სურათი 27.9 ენდოსპორა. ბაქტერია *Bacillus anthracis* სასიკვდილო დაავადებას, ციმბირულ წყლულს, იწვევს. მისი ენდოსპორა (TEM) სქელი, დამცველი გარსის გამო, ნიადაგში წლების განმავლობაში ცოცხალი რჩება.

ნის. ამ პროცესში უჯრედი წყალს კარგავს, ნივთიერებათა ცვლა მასში წყდება, მისი დანარჩენი ნაწილი იშლება და საკუთარი თავის მაგივრად უჯრედი ენდოსპორას ტოვებს. ენდოსპორების უმეტესობა იმდენად მდგრადია, რომ მდლარე წყალს უძლევს. მათ მოსაკლავად მიკრობიოლოგები ლაბორატორულ ინსტრუმენტებს 121°C - ზე გაცხელებული ორთქლით მაღალი წნევის ქვეშ ამუშავებენ. ცუდ პირობებში ენდოსპორა საუკუნეების განმავლობაში შეიძლება მიიძინებული, მაგრამ ცოცხალი იყოს და რეპიდრატაციის უნარს ინარჩუნებდეს. ხელსაყრელ გარემო პირობებში მისი ნივთიერებათა ცვლა აღდგება.

პროკარიოტებს ბუნებრივი გადარჩევის შედეგად გარემო პირობების ცვლილებებთან სწრაფი ადაპტაცია შეუძლია. ისინი სწრაფად მრავლდებიან, ამიტომ პოპულაციაში სწრაფად ვრცელდება მუტაციები, რომლებიც ზრდიან მათ წარმატებას გარემოს ახალ პირობებში. ლაბორატორულ პირობებში ევოლუციის შემსწავლელი მეცნიერებებისთვის პროკარიოტები შესანიშნავი მოდელია.

მაგალითად, რიჩარდ ლენსკი და მისი გუნდი (მიჩიგანის სახელმწიფო უნივერსიტეტი) *E. coli*-ს კოლონიებს 988 წლიდან, 1 20 000-ზე მეტი თაობის განმავლობაში აკვირდებიან. მკვლევრები კოლონიების ნიმუშებს რეგულარულად ყინავენ, შემდეგ აღლობენ და მათ თვისებებს შემდგომი თაობების თვისებებს ადარებენ. შედარება აჩვენა, რომ ერთსა და იმავე პირობებში, დღევანდელი კოლონია 1988 წლის კოლონიაზე 60%-ით სწრაფად იზრდება. ლენსკის გუნდი იმ გენეტიკურ ცვლილებებს სწავლობს, რომლებიც კოლონიის გარემოსთან ევოლუციური ადაპტაციის საფუძველია. 2003 წელს მკვლევრებმა გამოავლინეს, რომ ორ კოლონიაში, საწყის კოლონიებთან შედარებით, ერთი და იგივე 59 გენის ექსპრესიის პარალელური ცვლილებები მოხდა. *E. coli* სწრაფად მრავლდება და მეცნიერებს ადაპტაციური ევოლუციის დაფიქსირება შეუძლიათ.

გენების ჰორიზონტალური გადატანა (იხილეთ თავი 25)

პროკარიოტების სწრაფ ევოლუციას ასევე აადვილებს. მაგალითად, კონიუგაციის შედეგად პლაზმიდების გაცვლა ხდება. პლაზმიდები რამდენიმე გენს, ან თუნდაც გენების უფრო ფართე ჯგუფს შეიცავენ. გადატანილი გენები პროკარიოტის გენომში აღწევს. დაყოფის სერიების მსვლელობისას ისინი ბუნებრივი გადარჩევის სუბიექტები ხდებიან. გენების ჰორიზონტალური გადატანა პათოგენური ბაქტერიების გრძელვადიანი ევოლუციის ძირითადი მამოძრავებელი ძალაა. ამ თემას მოგვიანებით განვიხილავთ.

კონცეფცია 27.1

1. პროკარიოტებს შეუძლია სხვა ორგანიზმებისთვის ძალიან ცუდ პირობებში გადარჩენა. დაადგინეთ და ახსენით იმ ადაპტაციის ორი მაგალითი, რომლის მეშვეობით ეს შესაძლებელია.
2. განასხვავეთ პროკარიოტებისა და ეუკარიოტების უჯრედული და გენომური ორგანიზაცია.
3. ახსენით, როგორ ადაპტირდებიან პროკარიოტები სწრაფი რეპროდუქციის საშუალებით ცვალებად გარემოსთან.

კონცეფცია 27.2

პროკარიოტებში განვითარდა მრავალფეროვანი კვებითი და მეცამბლოტი ადაპტაციები

ყველა ორგანიზმის კლასიფიკაცია კვების ტიპის მიხედვით შეიძლება, ანუ მათ მიერ ენერგიისა და ნახშირბადის მიღების საშუალების მიხედვით. ენერგია და ნახშირბადი ორგანული მოლეკულების ასაშენებლად საჭიროა, რომლებსაც უჯრედი შედგება. პროკარიოტების კვებითი ტიპების მრავალფეროვნება ეუკარიოტებთან შედარებით მეტია: ეუკარიოტების კვების ყველა ტიპი პროკარიოტებშიც არსებობს. მაგრამ არის მხოლოდ პროკარიოტებისთვის დამახასიათებელი კვების ტიპებიც.

ფოტოტროფები ორგანიზმებია, რომლებიც ენერგიას სინათლიდან იღებენ. **ქემოტროფები** კი ენერგიას ქიმიური ნივთიერებებისგან იღებენ. ორგანიზმები, რომლებსაც ნახშირბადის წყაროდ მხოლოდ არაორგანული კომპონენტი CO_2 სჭირდება, **აუტოტროფებია**. **ჰეტეროტროფებს** კი, როგორც მინიმუმ, ერთი ორგანული საკვები, მაგალითად გლუკოზა სჭირდება, სხვანაირად ისინი ორგანულ ნაერთებს ვერ შექმნიან. ენერგიისა და ნახშირბადის წყაროს მიხედვით კვების ოთხ ძირითად მეთოდს გამოყოფენ. 27.1 ცხრილში ეს მეთოდები აღწერილია და შეჯამებული.

1. **ფოტოაუტოტროფები** ფოტოსინთეზის უნარის მქონე ორგანიზმებია. ისინი სინათლის ენერგიას „იჭერენ“ და

CO_2 -სგან ორგანული ნაერთების სინთეზისთვის იყენებენ. ციანობაქტერიები და მრავალი სხვა პროკარიოტი ფოტოაუტოტროფია. ფოტოაუტოტროფებია მცენარეებიც და წყალმცენარეებიც.

2. **ქემოაუტოტროფები** ნახშირბადის რესურსის სახით მხოლოდ CO_2 -ს საჭიროებენ. თუმცა ენერგიის წყაროდ სინათლეს არ იყენებენ. ისინი არაორგანულ ნივთიერებებს ჟანგავენ, მაგალითად, გოგირდწყალბადს (H_2S), ამიაკს (NH_3) ან რკინის იონებს (Fe^{2+}). კვების ეს ტიპი უნიკალურია კონკრეტული პროკარიოტებისთვის.

3. **ფოტოჰეტეროტროფები** სინათლეს ენერგიის წყაროდ იყენებენ, მაგრამ ნახშირბადი უნდა ორგანული ნივთიერებების შემადგენლობაში მიიღონ. ზღვის პროკარიოტების ნაწილი ასე იკვებება.

4. **ქემოჰეტეროტროფები** ორგანული მოლეკულების გამოიყენება როგორც ენერგიისთვის, ასევე ნახშირბადის წყაროს სახით შეუძლია. კვების ეს ტიპი ფართოდ გავრცელებულია პროკარიოტებში, უმარტივესებში, სოკოებში, ცხოველებში და ზოგ პარაზიტულ მცენარეშიც.

მეცამბლოტი კავშირი ქანგზადთან

ჟანგბადის მხვრივ პროკარიოტების მეტაბოლიზმი ასევე განსხვავდება (იხილეთ თავი 9). **ობლიგატური აერობები** O_2 -ს უჯრედული სუნთქვისთვის იყენებენ და O_2 -ის გარეშე ზრდა არ შეუძლია. **ფაკულტატური ანაერობები** O_2 -ს იყენებენ, თუ ის გარემოშია, მაგრამ ფერმენტაციის შედეგად უჟანგბადო (ანაერობულ) გარემოშიც იზრდებიან. **ობლიგატური ანაერობები** O_2 -ით იწამლებიან. ზოგი ობლიგატური ანაერობი მხოლოდ ფერმენტაციის გამო ცოცხლობს; სხვები ქიმიურ ენერგიას **ანაერობული სუნთქვის** გზით იღებენ. ამ დროს სხვა ნივთიერებები, და არა O_2 , მაგალითად ნიტრატების იონები (NO_3^-) ან სულფატის იონები (SO_4^{2-}), ელექტრონებს ელექტრონების სატრანსპორტო ჯაჭვის ბოლოში იძენენ.

აზოტოტი მეცამბლოტი

აზოტი მთელ რიგ ორგანიზმებს ამინომჟავებისა და ნუკლეინის მჟავების სინთეზისთვის სჭირდება. ეუკარიოტების შესაძლებლობა აზოტის სხვადასხვა ნაერთების შეთვისების შეზღუდულია. პროკარიოტები კი აზოტს მრავალი ფორმით იღებენ. მაგალითად, კონკრეტული პროკარიოტები, ზოგი ციანობაქტერიის (ლურჯ-მწვანე წყალმცენარის) ჩათვლით, ატმოსფერულ აზოტს — (N_2) ამიაკად (NH_3) გარდაქმნიან. ამ პროცესს **აზოტის ფიქსაცია** ჰქვია. „ფიქსირებული“ აზოტი შემდეგ უჯრედის ამინომჟავებისა და სხვა ორგანული მოლეკულების შემადგენლობაში შედის. აზოტის ფიქსირებად ციანობაქტერიებს, სხვა ორგანიზმებთან შედარებით, თვითდაკმაყოფილების ყველაზე მეტი უნარი აქვთ. მათ ზრდისთვის მხოლოდ სინათლე, CO_2 , O_2 , წყალი და ზოგი მინერალი სჭირდება. 54 თავში განხილულია ეკოსისტემაში მიმდინარე აზოტის ციკლისთვის პროკარიოტების დიდი მნიშვნელობა.

ცხრილი 27.1 კვების ბიოტეხნიკის ციკლები

კვების ტიპი	ენერგიის რესურსი	ნახშირბადის რესურსი	ორგანიზმების ტიპები
აუტოტროფები			
ფოტოაუტოტროფები	სინათლე	CO ₂	მაფოტოსინთეზირებელი პროკარიოტი (მაგ. ციანობაქტერია), ზმელეთის მცენარეები, ზოგი უმარტივესი (წყალმცენარე)
ქემოაუტოტროფები	არაორგანული ქიმ. ნივთ	CO ₂	კონკრეტული პროკარიოტი მაგალითად (<i>Sulfolobus</i>)
ჰეტეროტროფები			
ფოტოჰეტეროტროფები	სინათლე	ორგანული ნივთ	კონკრეტული პროკარიოტები (მაგ. <i>Rhodobacter</i> , <i>Chloroflexus</i>)
ქემოაუტოტროფები	ორგანული ნივთ	ორგანული ნივთ	მრავალი პროკარიოტი (მაგ. <i>Clostridium</i>) და პროტისტი; სოკოები, ცხოველები, ზოგი მცენარე..

თეზით დაკავებულია. რამდენიმე სპეციალიზებული უჯრედი, ჰეტეროცისტის, კი მხოლოდ აზოტს ფიქსირებს. ჰეტეროცისტები გარემო-ტყეპულია უჯრედის სქელი გარსით. ეს გარსი ზღუდავს უჯრედში ფოტოსინთეზის უნარის მქონე მეზობელი უჯრედებიდან O₂-ის შეღწევას. უჯრედში ფოტოსინთეზის კავშირების საშუალებით ჰეტეროცისტებს მეზობელ უჯრედებში ფიქსირებული აზოტი გადაეცემა და ნახშირ-წყლებში ცვლიან.

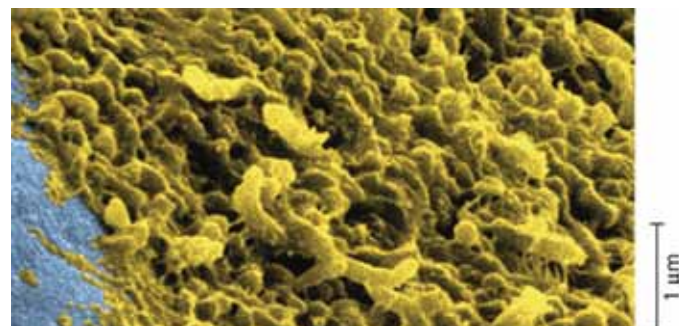
ზოგ პროკარიოტულ სახეობაში მეტაბოლური კავშირი ზედაპირული შრის შემქმნელ კოლონიებში არსებობს. ზედაპირული შრე ცნობილია ბიოაპკის სახელით (სუ-



▲ **სურათი 27.10** მეტაბოლური თანამშრომლობა კოლონიურ პროკარიოტებში. დაფისმაგვარი ციანობაქტერიის *Anabaena*-ს უჯრედები, ჰეტეროცისტები, აზოტს ფიქსირებს, სხვა უჯრედები კი მხოლოდ ფოტოსინთეზირებენ (სინათლის მიკროსკოპი) *Anabaena* მტკნარი წყლის ტბებში ბინადრობს.

მეცხოველური კომპლექსი

პროკარიოტები კოპერაციის (თანამშრომლობის) საშუალებით გარემოს იმ რესურსებს იყენებენ, რომლებსაც ცალკეული უჯრედი ვერ იყენებს. ზოგ შემთხვევაში კოლონიის სპეციალიზებული უჯრედები თანამშრომლობენ. მაგალითად, ციანობაქტერია *Anabaena*-ს აქვს გენები, რომლებიც ფოტოსინთეზისთვის და აზოტის ფიქსაციისთვის საჭირო ცილებს აკოდირებს. ცალკეულ უჯრედს ერთსა და იმავე დროს ორივე პროცესის შესრულება არ შეუძლია, იმიტომ, რომ ფოტოსინთეზის შედეგად O₂ წარმოიქმნება, რომელიც აზოტის ფიქსაციაში მონაწილე ფერმენტებს დეზაქტივირებს. ამიტომ *Anabaena* არა იზოლირებული უჯრედების სახით არსებობს, არამედ დაფისებრ კოლონიებს ქმნის (სურათი 27.10). დაფის შემადგენელი უჯრედების უმეტესობა მხოლოდ ფოტოსინ-



▲ **სურათი 27.11.** ბიოაპკი. ყვითელი მასა, რომელიც სკანირებულ ელექტრონულ მიკროსკოპში ჩანს, დენტალური ნადები. დენტალური ნადები ბიოაპკია, რომელიც კბილის ზედაპირზე წარმოიქმნება.

რათი 27.11). კოლონიის უჯრედები ასინთეზებს სასიგნალო მოლეკულებს, რომლებიც უჯრედების ირგვლივ გროვდება და კოლონიის ზრდას ასტიმულირებს. ამის გარდა, უჯრედები ცილებს ასინთეზებს რომელთა საშუალებით უჯრედები სუბსტრატს და ერთმანეთს ემაგრება. ბიოაპკებში არსებობს არხები, რომელთა საშუალებით საკვები უჯრედის შიგნით აღწევს, ცხოველმოქმედების ნარჩენები კი გარეთ გამოიდევენება.

სხვადასხვა სახეობის პროკარიოტები ასევე თანამშრომლობენ. მაგალითად, ბაქტერია, რომელიც გოგირდს შთანთქავს და არქეა, რომელიც მეთანს შთანთქავს, ოკეანის ფსკერზე სფეროს ფორმის გროვას ქმნიან. როგორც ჩანს, ბაქტერია არქეას ნარჩენ პროდუქტებს, მაგალითად, ორგანულ კომპონენტებსა და წყალბადს იყენებს. საპირისპიროდ, ბაქტერია წარმოქმნის კომპონენტებს, რომლებიც არქეას უადვილებს მეთანის გამოყენებას. ამ თანამშრომლობას გლობალური

მნიშვნელობა აქვს: ყოველ წელს არქეები დაახლოებით 300 მილიარდ კგ მეთანს სპობენ, რომელიც სათბურის ეფექტის ძირითადი მონაწილეა (იხილეთ თავი 54).

▶ პანცეფცია ცისცი 27.2

1. ბნელ გამოქვაბულებში მოზინადრე ბაქტერიას ორგანული საკვების სახით მხოლოდ ამინომჟავა მეთიონინი სჭირდება. კვების რა ტიპთან გვაქვს საქმე?
2. რა შეადგენს ნახშირბადის წყაროს აზოტის ციანობაქტერია *Anabaena*-სთვის?

▶ პანცეფცია 27.3

პროკარიოტების ფილოგენეზს მღლქულუთი სისტემატიკის საფუძვლზე სწავლობენ

მეოცე საუკუნის ბოლომდე პროკარიოტების ტაქსონომიის დასადგენად სისტემატიკოსები ფენოტიპური კრიტერიუმებით ხელმძღვანელობდნენ, მაგალითად, ფორმით, მოძრაობის უნარით, კვების ტიპითა და გრამის მეთოდით შეღებვაზე საპასუხო რეაქციით. გარკვეული თვალსაზრისით ეს კრიტერიუმები დღემდე მნიშვნელოვანია, მაგალითად, როცა საჭიროა პაციენტის სისხლის პათოგენური ბაქტერიების კლასიფიკაცია. მაგრამ, როცა საქმე პროკარიოტების ფილოგენეზს ეხება, მათი თვისებების შედარება ნათელ სურათს არ იძლევა. მოლეკულური სისტემატიკა კი პროკარიოტების ფილოგენეზის კვლევისას საოცარ შედეგებს იძლევა.

მღლქულუთი სისტემატიკის გამოყენებიდან მიღებული გაკვეთილები

როგორც 25 თავში ვთქვით, მოკრობიოლოგებმა პროკარიოტული გენების თანმიმდევრობების შედარება 1970 წელს დაიწყეს. ევოლუციური ნათესაური კავშირის დასადგენად მარკერის სახით რიბოსომულ რნმ-ს მცირე ქვეერთულს (SSU-rRNA) იყენებდნენ. კარლ უოზემ და მისმა კოლეგებმა ამ მეთოდის გამოყენებით დაასკვნეს, რომ მრავალი პროკარიოტი, რომლებსაც ადრე ბაქტერიებად თვლიდნენ, სინამდვილეში უფრო ახლოს ეუკარიოტებს ენათესავებიან. ეს ორგანიზმები ცალკე დომენად — არქეებად გამოყვეს. დღეს მიკრობიოლოგებმა გენეტიკური მონაცემების დიდი ბაზა შეისწავლეს, ზოგი ორგანიზმის მთლიანი გენომიც გაშიფრეს. მათ დაასკვნეს, რომ რამდენიმე ტრადიციული ტაქსონომიური ჯგუფი, მაგალითად ციანობაქტერიები, მართლაც მონოფილეთური ჯგუფია. სხვა ჯგუფები, მაგალითად

გრამუარყოფითი ბაქტერიები, რამდენიმე ევოლუციურ შტოს შორის გაფანტულია (სურათი 27.12. ამ სურათზე ნაჩვენებია პროკარიოტების ზოგი ძირითადი ტაქსონის ფილოგენეზის ფრთხილი მცდელობა, რომელიც მოლეკულურ სისტემატიკას ეფუძნება).

პროკარიოტების ფილოგენეზი დღემდე კვლევის საგანია, მაგრამ ორი მნიშვნელოვანი გაკვეთილი უკვე მივიღეთ. პირველი: პროკარიოტების გენეტიკური მრავალფეროვნება საოცრად დიდია. როცა მკვლევრებმა პროკარიოტების გენების სეკვენირება დაიწყეს, მათ მხოლოდ ლაბორატორიულ პირობებში გამრავლებადი სახეობების გამოკვლევა შეძლეს. რატომ უნდა, ეს პროკარიოტული სახეობების მხოლოდ მცირე ნაწილია.

ნორმან ფეისმა (კოლორადოს უნივერსიტეტი) 1980-იან წლებში შეიმუშავა მეთოდები, რომელთა საშუალებით მკვლევრებს გენეტიკური მასალის აღება პირდაპირ გარემოდან შეუძლიათ. ამ „გენეტიკური კვლევის“ საშუალებით, სიცოცხლის ხის ძირითად ნაწილს ყოველ წელს ახალი ტოტები ემატება (ზოგი მკვლევარი თვლის, რომ კონკრეტული ტოტები სინამდვილეში ახალი სამეფოებია). დღეისთვის მთლიანად აღწერილია პროკარიოტების მხოლოდ 4 500 სახეობა. ზოგი მონაცემების მიხედვით კი ერთი მუჭა ნიადაგი შეიძლება პროკარიოტების 10 000 სახეობას შეიცავდეს. ცხადია, რომ ამ მრავალფეროვნებიდან სრული მონაცემების შეგროვებისთვის კვლევის მრავალი წელია საჭირო.

მეორე მნიშვნელოვანი გაკვეთილია პროკარიოტების ევოლუციაში გენების ჰორიზონტალური გადატანის მნიშვნელობა. ასეულობით მილიონი წლის განმავლობაში პროკარიოტები გენებს შორეულად მონათესავე სახეობებიდან იღებდნენ და ეს პროცესი დღესაც ფრქვევდება. ამიტომ მრავალი პროკარიოტის გენომის მნიშვნელოვანი წილი სხვა სახეობებიდან იმპორტირებული გენების მოზაიკაა.

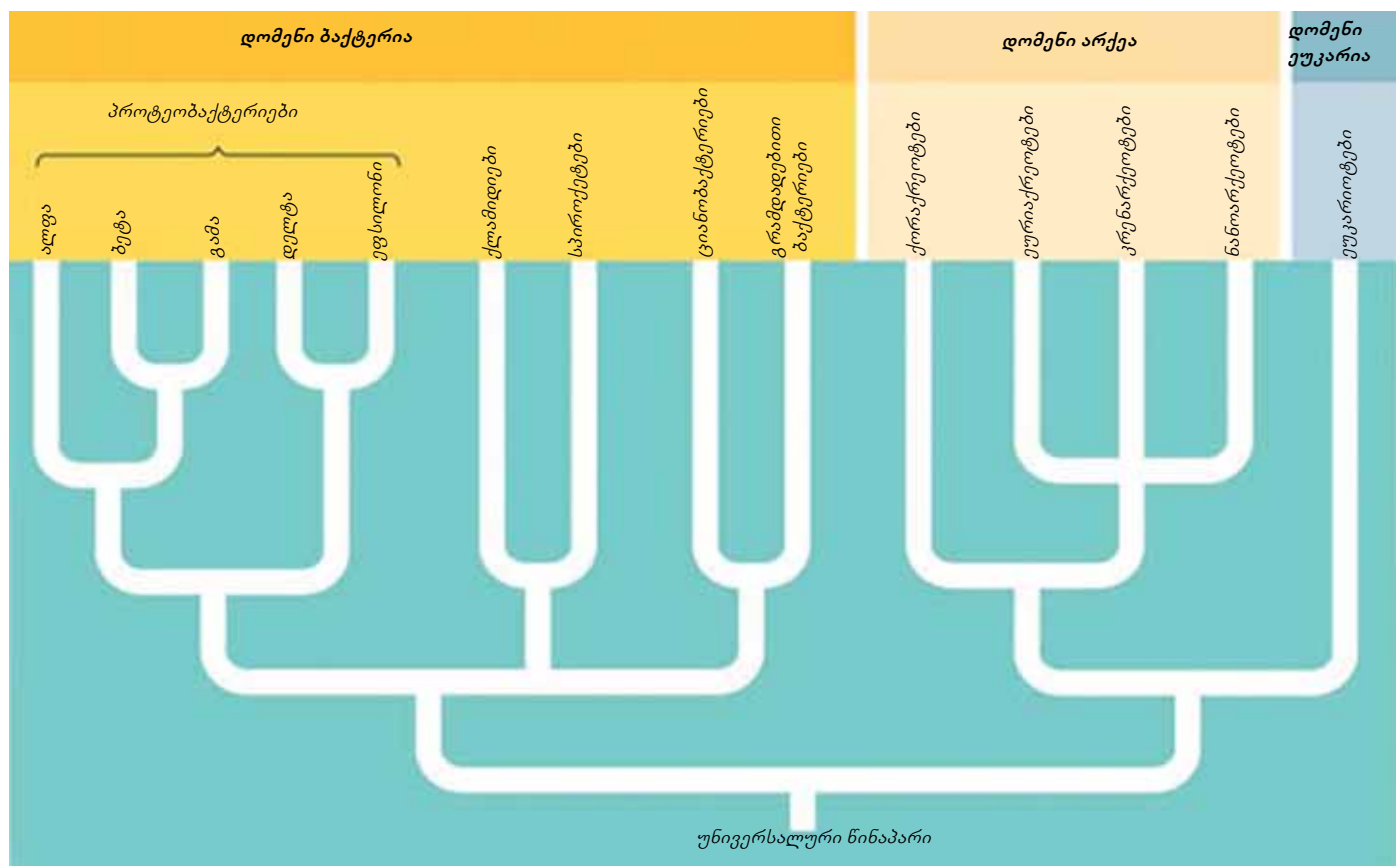
კვლავ დახედეთ 27.12 სურათს, რომელიც მოლეკულურ სისტემატიკას ეფუძნება: პროკარიოტების ორ მთავარ ხაზად, ბაქტერიებად და არქეად ადრეული დათიშვა.

მაღცვრიბი

პროკარიოტების უმეტესობა ბაქტერიებია, რომლებსაც მრავალი ადამიანი კარგად იცნობს. ეს როგორ პათოგენური სახეობებია, რომლებიც ყელის სტრეპტოკოკულ ინფექციას და სხვა დაავადებებს იწვევს, ასევე სახეობები, რომლებსაც მაგალითად შვეიცარიული ყველის დამზადებაში იყენებენ. ბაქტერიებში და ბაქტერიების მცირე ტაქსონომიური ჯგუფიც კი კვებისა და მეტაბოლიზმის ყველა ძირითადი ტიპი გვსვდება. დააკვირდით 27.13 სურათს, რომ უფრო ახლოს გაიცნოთ ბაქტერიების რამდენიმე ძირითადი ჯგუფი.

აბქეზი

არქეებს ზოგი თვისება ბაქტერიის, ზოგი კი ეუკარიოტის აქვს (ცხრილი 27.2). თუმცა არქეებს მრავალი უნიკალური თვისებაც ახასიათებს, როგორც ეს მოსალოდნელია გრძელი, იზოლირებული ევოლუციური გზის მქონე ტაქსონისგან.



▲ **სურათი 27.12** პროკარიოტების გამარტივებული ფილოგენეზი. ეს ფილოგენეტიკური ხე ეფუძნება მოლეკულურ მონაცემებს. მასზე ნაჩვენებია პროკარიოტების ძირითად ჯგუფებს შორის ნათესაური კავშირი, რომლებსაც ამ თავში განვიხილავთ.

პირველი პროკარიოტები, რომლებიც არქეას დომენში შეიყვანეს, სახეობებია, რომლებიც სხვა ორგანიზმებისთვის მომაკვდინებელ ექსტრემალურ გარემოში ბინადრობენ. ასეთ ორგანიზმები ცნობილია **ექსტრემოფილების სახელით**, რაც ექსტრემალური პირობების მოყვარულებს ნიშნავს (ბერძნულად *philos* — მოყვარულია). ექსტრემოფილებში ექსტრემალური თერმოფილები, ექსტრემალური გალოფილები და მეთანოგენები შედიან.

ექსტრემალური თერმოფილები (ბერძნულად *thermos* — ცხელია) ძალიან ცხელ გარემოში ყვავიან (იხილეთ სურათი 27.1). მაგალითად, არქეა, გვარი *Sulfolobus*-ის წარმომადგენელი, გოგირდით მდიდარ ვულკანურ წყაროებში 90°C -ზე მეტ ტემპერატურაზე ბინადრობს. *Pyrolobus fumarii*, ექსტრემალური თერმოფილი, შუა ატლანტიკური მთაგრეხილის ღრმა ჰიდროთერმულ გასასვლელთან ბინადრობს. ის 113°C-ზე მეტ ტემპერატურაზე ცოცხლობს. სხვა მაგალითია თერმოფილი *Pyrococcus furiosus*-ის ბიოტექნოლოგიებში გამოიყენება პოლიმერაზას ჯაჭვური რეაქციის (PCR) მეთოდიკაში **დნმ** პოლიმერაზას რესურსის სახით (იხილეთ თავი 20).

ექსტრემალური ჰალოფილები (ბერძნულად *halo* — მარილიანი) ძალიან მარილიან გარემოში ბინადრობენ, როგორცაა დიდი მარილიანი ტბა და მკვდარი ზღვა. ზოგი სახეობა მარი-

ლის მიმართ უბრალოდ მდგრადია, სხვებს კი სჭირდება ზღვის წყალზე რამდენჯერმე მარილიანი გარემო. ზოგი ექსტრემალური ჰალოფიტის კოლონია ქმნის ლილისფერ ქაფს, რომლის შეფერილობას ბაქტერიოროდოფინი, ხერხემლიანების ბადურის მხედველობითი პიგმენტის მსგავსი ფოტოსინთეზური პიგმენტი განაპირობებს (**სურათი 27.14**).

მეთანოგენებს იმ უნიკალური ხერხის გამო დაერქვათ, რომლითაც ისინი ენერგიას იღებენ. ისინი H_2 -ის დასაჟანგად CO_2 -ს იყენებენ და ნარჩენი პროდუქტის სახით მეთანს გამოყოფენ. მეთანოგენები მკვეთრად გამოხატული ანაერობებიან რომლებიც O_2 -ით ინამლებიან. ზოგი სახეობა ჭაობებში და დაჭაობებულ ადგილებში ბინადრობს, სადაც მთელ O_2 -ს სხვა მიკროორგანიზმები იყენებენ. ამ ადგილების „ჟაოების აირი“ ამ არქეების მიერ გამოყოფილი მეთანია. მეთანოგენების სხვა სახეობები ანაერობულ გარემოში ბინადრობენ. მაგალითად მსხვილფეხა რქოსანი საქონელის ნაწლავებში, ტერმიტებისა და მცენარეებით მკვებავი სხვა ცხოველების ნაწლავებში და ამ ცხოველების კვებაში მნიშვნელოვან როლს თამაშობენ. მეთანოგენები აგრეთვე დამშლელებია და დაბინძურებული წყლის გაწმენდაშიც მონაწილეობენ.

ყველა ცნობილი ექსტრემალური ჰალოფილები და მეთანოგენები იმ კლადას წევრებია, რომელსაც *Euryarchaeo-*

ცხრილი 27.2 სიცოცხლის სამი დომენის შედარება

თვისება	დომენი		
	ბაქტერია	არქეა	ეუკარიო
ბირთვის გარსი	არა	არა	არის
მემბრანის მქონე ორგანოები	არა	არა	არის
უჯრედის გარსის პეპტიდოგლიკანი	არის	არა	არა
მემბრანის ლიპიდები	არადატოტვილი ნახშირწყალბადები	ზოგი არა-დატოტვილი ნახშირწყალბადი	არადატოტვილი ნახშირწყალბადები
რნმ პოლიმერაზა	ერთი ტიპის	რამდენიმე ტიპის	რამდენიმე ტიპის
ცილის სინთეზის ინიციატორი ამინომჟავა	ფორმალმეთიონინი	მეთიონინი	მეთიონინი
ინტრონები (გენის არამაკოდირებელი ნაწილები)	იშვიათი	არის რამდენიმე გენში	არის
ანტიბიოტიკებზე რეაქცია სტრუქტომიცინი და ქლორამფენიკოლი	ზრდა ითრგუნება	ზრდა არ ითრგუნება	ზრდა არ ითრგუნება
დნმ-თან ასოცირებული პისტონები	არ არის	არის	არის
რგოლისებრი ქრომოსიმა	არის	არის	არ არის
>100°C –ზე ზრდის უნარი	არა	ზოგ სახეობას	არა

ta ქვია (ბერძნულად *eury*s — ფართე, ამ პროკარიოტების გავრცელების შესაძლებლობას აღნიშნავს). Euryarchaeota-ში ზოგი ექსტრემალური თერმოფილიც შედის, თუმცა თერმოფილური სახეობების უმეტესობა მეორე კლადას Crenarchaeota-ს ეკუთვნის (*cren* — „ნაკადულს“ ნიშნავს, ისინი ჰიდროთერმულ ნაკადულებში ბინადრობენ). გენეტიკური კვლევების შედეგად დადგინდა, რომ ორივე კლადი Euryarchaeota და Crenarchaeota - ში შედის არქეების მრავალი სახეობა, რომლებსაც აექსტრემალური პირობები არ უყვარს. ეს სახეობები ბინადრობენ მრავალფეროვან ადგილებში, მაგალითად ფერმერმის ნიადაგში, ტბის შლამში და ღია ოკეანის ზედაპირულ წყლებში.

ახალი აღმოჩენების შედეგად არქეების ფილოგენეზის სურათი შეიცვალა. 1996 წელს მკვლევრებმა იელოვსტონის ნაციონალური პარკის ცხელი ნაკადულებიდან ნიმუშები აიღეს და აღმოაჩინეს არქეა, რომელიც არც ერთ კლადაში არ შედის. მკვლევრებმა ის ახალ კლადაში Korarchaeota-ში მოათავსეს (ბერძნულად *koron* – ახალგაზრდა კაცი). დომენ არქეაში Koarchaeota ყველაზე ძველი ევოლუციური შტოა და მისი შესწავლის შედეგად შეიძლება დედამიწის მთელი სიცოცხლის ევოლუციას უკეთ ჩავნვადეთ. 2002 წელს მკვლევრებმა, რომლებიც ისლანდიის სანაპიროსთან მდებარე ჰიდროთერმულ წყლებს იკვლევდნენ, აღმოაჩინეს მხოლოდ 0.4 μ m დიამეტრის არქეას უჯრედები, რომლებიც გაცილებით უფრო დიდ crenarchaeote-ს ემაგრებიან.

ამ პატარა არქეებს სხვა ორგანიზმებთან შედარებით ყველაზე მცირე გენომი აქვს. მასში მხოლოდ 500 000 ფუძე წყვილია. გენომის ანალიზი აჩვენებს, რომ ეს პროკარიოტები არქეების მეოთხე კლადას ეკუთვნის, რომელსაც ახლა Nanoarchaeota-ს უწოდებენ (ბერძნულად *nanos* — ჯუჯა). ამ კლადას დარქმევიდან ერთ წელიწადში Nanoarchaeote-ს სხვა სამი სახეობის დნმ-ის თანმიმდევრობა გამოყვეს: ერთი იელოუსტონის ცხელი ნაკადულებიდან, ესთო ციმბირის ცხელი ნაკადულებიდან და ერთი წყნარ ოკეანეში ჰიდროთერმული გასასვლელიდან. კვლევა გრძელდება, და 27.12 სურათზე გამოსახული ხე, როგორც ჩანს, უახლოეს წლებში ისევ შეიცვლება.

კონცეფცია 27.3

1. ახსენით, რამდენად ზრდის მოლეკულური სისტემატიკა პროკარიოტების ფილოგენეზის სიზუსტეს?
2. რა აქვთ საერთო სიფილისსა და ლაიმის დაავადებას?
3. რა თვისებების საშუალებით არქეების გარკვეული სახეობები ექსტრემალურ გარემოში არსებობენ?

კონცეფცია 27.4

პროკარიოტები ბიოსფეროში უდიდეს ბოლს თამაშობენ

თუ ადამიანი დედამიწის ზურგიდან დღესვე გაქრება, სახეობების უმეტესობა არსებობას, რა თქმა უნდა, გააგრძელებს. პროკარიოტების მნიშვნელობა ბიოსფეროსთვის კი იმდენად დიდია, რომ მათი გადაშენების შემთხვევაში ყველა სხვა სახეობაც გაქრება.

ნატჩენების ქიმიური გადამუშავება

ატომები, რომლებიც ყველა ცოცხალი ორგანიზმის ორგანულ მოლეკულებს ქმნიან, ერთ დროს ნიადაგის, ჰაერისა და წყლის არაორგანული კომპონენტების შემადგენლობაში შედიოდა. ადრე თუ გვიან, ისინი უკან ბრუნდებოდნენ. ეკოსისტემები დამოკიდებულია გარემოს ცოცხალსა და არა-ცოცხალ კომპონენტებს შორის ქიმიური ელემენტების მიმოქცევაზე. ამ პროცესში ძირითად როლს პროკარიოტები თამაშობენ. მაგალითად, ქემოპეტროტროფული პროკარიოტები დამშლელების სახით ფუნქციონირებენ, ისინი ლეს, აზოტსა და სხვა ელემენტებს შლიან (იხილეთ თავი 54 ქიმიური ციკლის დეტალური განხილვისთვის).

პროკარიოტები არაორგანულ კომპონენტებს ისეთ

პეფა: მადცფრირბის მირირადი ჯგუფები

ჯგუფი/ალწარა

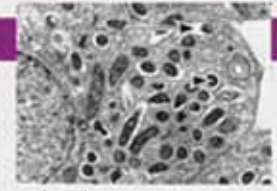
მამალირი

პროტოპაქტერიები

გრამუარყოფირი ბაქტერიების დირი და მრავალფეროვანი კლადა ფოტოავტოტროფებს, ქემოავტოტროფებს და პეტეროტროფებს მოიცავს. ზოგი პროტოპაქტერია ანაერობია, სხვები აერობები. მოლეკულური სისტემატიკოსები პროტოპაქტერიებს ხუთ ქვეჯგუფად ყოფენ.

ქვეჯგუფი ალფა პროტოპაქტერიები

ამ ქვეჯგუფის მრავალი სახეობა მჭიდროდ ასოცირებულია ეუკარიოტულ მასპინძლებთან. მაგალითად, *Rhizobium* species ბინადრობს legume-ს ფესვის კვანძებში (ცერცვის/ბარდის ჯგუფის მცენარეები). აქ მობინადრე ბაქტერიები ატმოსფერულ N-ს მცენარესთვის ადვილად შესათვისებელ კომპონენტად გარდაქმნიან და მცენარეს ცილების სინთეზი შეუძლია. გვარი *Agrobacterium*-ის სახეობები მცენარეების სიმსივნეებს იწვევს; გენურ ინჟინერიაში ამ ბაქტერიას უცხო დნმ-ის მცენარეული უჯრედის გენომში გადასატანად იყენებენ (იხილეთ სურათი 20.19) როგორც 26 თავში ვთქვით, მეცნიერები ვარაუდობენ, რომ მიტოქონდრია აერობული ალფა პროტოპაქტერიიდან ენდოსიმბიოზის გზით განვითარდა.



Rhizobium (ისარი) ბარდისებრთა ფესვის უჯრედში (TEM)

ქვეჯგუფი: ბეტა პროტოპაქტერია

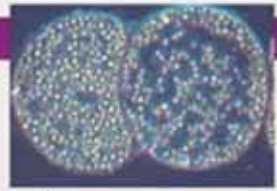
კვების მრავალფეროვანი ტიპები ახასიათებს ჯგუფს, რომელშიც *Nitrosomosa*, ნიადაგის ბაქტერიების გვარი შედის, რომლებიც აზოტის წრებრუნვაში მნიშვნელოვან როლს თამაშობენ. ამ დროს ამონიუმი (NH_4^+) -იჟანგება და ნარჩენი პროდუქტის სახით ნიტრიტი (NO_2^-) წარმოიქმნება.



Nitrosomonas (შეღებლიი TEM)

ქვეჯგუფი გამა პროტოპაქტერია

ამ ქვეჯგუფის ფოტოსინთეზის უნარის მქონე ორგანიზმებია, მათ შორის გოგირდის ბაქტერიები, მაგალითად, *Chromatium*, რომლებიც ენერგიას H_2S -ის დაჟანგვისთა იღებენ, გოგირდი კი ნარჩენი პროდუქტის სახით წარმოქმნება. ზოგი პეტეროტროფი გამა პროტოპაქტერია პათოგენია, მაგალითად, *Legionella* დაავადება ლეგიონელოზს იწვევს, *Salmonella* საკვებით მოწამვლას, და *Vibrio cholerae* ქოლერას იწვევს. *Escherichia coli*, ადამიანის და სხვა ძუძუმწოვრების ნაწლავების ჩვეულებრივი ბინადარია და როგორც წესი არ არის პათოგენი.



Chromatium; პატარა ბურთები გოგირდის ნარჩენებია (LM)

ქვეჯგუფი დელტა პროტოპაქტერია

ამ ქვეჯგუფში ლორწოს სინთეზის უნარის მქონე მიქსო-ბაქტერიები შედიან, რომლებიც კოლონიებს ქმნიან. ნიადაგის გამოშრობისას, ან საკვების გამოლევისას უჯრედები ნაყოფსხეულში გროვდება, რომელიც რეზისტენტულ სპორებს ათავისუფლებს. გარემოს შესაბამის პირობებში სპორები აქტიურდებიან და ახალ კოლონიებს ქმნიან. *Bdellovibrios* დელტა პროტოპაქტერიებია, რომლებიც სხვა ბაქტერიებზე ნადირობენ. ისინი მსხვერპლს 100 მმ/წამში სიჩქარით ესხმიან. (ადამიანისთვის ეს 600 კმ/სთ-ში სიჩქარით სირბილის ტოლია) და მსხვერპლის სხეულში წამში 100 ბრუნვითი მოძრაობით იხრახნებიან.



მიქსობაქტერია *Chondromyces crocatus*-ის ნაყოფსხეულები (SEM)



Bdellovibrio bacteriophorus, უფრო დირი ზომის ბაქტერიას უტევს (შეღებლიი TEM)

ქვეჯგუფი ეფსილონ პროტოპაქტერიები

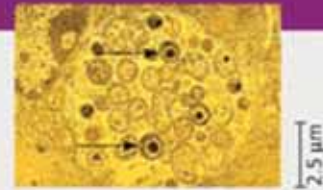
ამ ქვეჯგუფის სახეობების უმეტესობა ადამიანისა და სხვა ცხოველების პათოგენებია. ეფსილონ პროტოპაქტერიებში შედის *Campylobacter*, რომელიც სისხლის მოწამვლას და ნაწლავების ანთებას იწვევს და *Helicobacter pylori*, რომელიც კუჭის წყლულს იწვევს.



Helicobacter pylori (შეღებლიი TEM)

ქლამიდიები

ეს პარაზიტები მხოლოდ ცხოველების უჯრედებში ბინადრობენ, ისინი ატფ -ის მიხედვით მასპინძელზე არიან დამოკიდებული. ქლამიდიების გრამუარყოფითი გარსი ან შეიცავს პეპტიდოგლიკანს. ერთი სახეობა *Chlamydia trachomatis* სიბრმავეს ერთ-ერთი ჩვეულებრივი გამომწვევია, ასევე არაგონოკოკურ ურეთრითს იწვევს. შეერთებულ შტატებში ერთ-ერთი ყველაზე გავრცელებულ დაავადებას. გადადოს სქესობრივი გზით



Chlamydia (ისრები)
ცხოველური უჯრედის
შიგნით (შეღებილი TEM)

სპიროქეტები

სპირალური ფორმის ჰეტეროტროფები გარემოში შინაგანი შოლტის მსგავსი ძაფების ბრუნვის საშუალებით გადაადგილდებიან. სპიროქეტას ბევრი სახეობა თავისუფლად მცხოვრებია, სხვები გამოკვეთილი პათოგენური პარაზიტებია: *Treponema pallidum* სიფილისის იწვევს, *Borrelia burgdorferi* კი ლაიმის დაავადებას



Leptospira, სპიროქეტა
(შეღებილი TEM)

გრამდადებითი ბაქტერიები

მრავალფეროვნების მიხედვით პროტეობაქტერიების კონკურენტია. ერთი ქვეჯგუფის სახეობები, აქტინომიცეტები (ბერძნულად μυkes – სოკო, რომელშიც ეს ბაქტერიები წარსულში ეშლებოდათ) კოლონიებს ქმნიან, რომლებიც უჯრედების დატოვებული ძეკვისგან შედგება. აქტინომიცეტების ორი სახეობა ტუბერკულოზსა და ლეპროზს იწვევს: თუმცა მათი უმეტესობა თავისუფლად მცხოვრები ორგანიზმებია და ნიადაგში ორგანულ მასალას შლის: ნოყიერი ნიადაგის დამახასიათებელ სუნს მათი სეკრეტი იწვევს. გვარი *Streptomyces*-ის ნიადაგში მოზინადრე სახეობებს ფარმაცევტული კომპანიები მრავალი ანტიბიოტიკის, სტრუქტომიცინის ჩათვლით, რესურსის სახით იყენებენ. კოლონიურ აქტინომიცეტებთან ერთად გრამდადებით ბაქტერიებში ინდივიდუალური ორგანიზმების მრავალი სახეობა შედის. მაგალითად *Bacillus anthracis* (იხილეთ სურათი 27.9), რომელიც ციმბირულ წყლულს იწვევს და *Clostridium botulinum*, რომელიც ბოტულიზმს იწვევს. *Staphylococcus*-ის და *Streptococcus*-ის მრავალი სახეობა ასევე გრამდადებითი ბაქტერიებია. მიკოპლაზმები ბაქტერიებია, რომლებსაც უჯრედის გარსი. არა აქვს. მათი უჯრედები სხვა ცნობილ უჯრედებთან შედარებით ყველაზე პატარაა, მათი სხეული რიბოზომაზე მხოლოდ ხუთჯერ დიდია და დიამეტრი 0.1 μm -ს შეადგენს. მიკოპლაზმების გენომიც პატარაა. *Mycoplasma genitalium*-ს მხოლოდ 517 გენი აქვს. მრავალი მიკოპლაზმა ნიადაგის თავისუფლად მცხოვრები ბაქტერიაა, სხვები პათოგენებია, იმ სახეობების ჩათვლით, რომლებიც ადამიანში „მოხეტიალე პნევმონიას“ იწვევენ.



Streptomyces მრავალი
ანტიბიოტიკის რესურსი
(შეღებილი SEM)



ადამიანის ფიბრობლასტის
უჯრედს ასობით მიკო-
პლაზმა ფარავს (შეღებილი
SEM)

ციანოპატერიები (ლურჯ-მწვანე წყალმცენარეები)

ეს ფოტოავტოტროფები ჟანგბადის წარმოქმნელი ფოტოსინთეზის მქონე მცენარესმაგვარი პროკარიოტებია (ქლოროპლასტები, როგორც ჩანს, ენდოსიმბიოზური ციანოპატერიებისგან წარმოიქმნენ: იხილეთ თავი 26). როგორც ინდივიდუალური, ასევე კოლონიური ციანოპატერია წყალშია გავრცელებული. ისინი მტკნარი წყლისა და ზღვის აკოსისტემებისთვის დიდი რაოდენობის საკვებს წარმოქმნიან. ზოგ ძაფისებრ კოლონიებს აზოტის ფიქსაციის სპეციალიზირებული უჯრედები აქვს; პროცესი, რომლის დროს ატმოსფერული N₂-ი გარდაქმნება ნივთიერებად, რომელიც ცილებში და სხვა ორგანულ მოლეკულებში ჩართულია (იხილეთ სურათი 27.10).



Oscillatoria-ს ძაფისებრი ციანო-
ბაქტერიაა ორი სახეობა (LM)



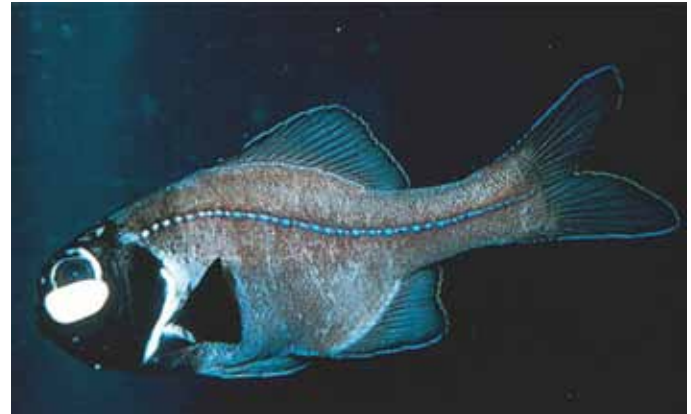
▲ გვ. 544. სურათი 27.14 ექსტრემალური ჰალოფილები. „მარილის მოყვარული“ ფერადი არქეა სან ფრანცისკოსთან ახლოს განლაგებული ტბებში ყვავის. ტბებს მარილის კომერციული მოპოვებისთვის იყენებენ, ვინაიდან მათში წყლის მარილიანობა დაახლოებით ექვსჯერ აღემატება ზღვის წყლის მარილიანობას.

ნაერთებად ცვლიან, რომელთა შეთვისება სხვა ორგანიზმებსაც შეუძლია. მაგალითად, აუტოტროფული პროკარიოტები, ორგანული ნივთიერებების შესაქმნელად CO_2 -ს იყენებენ, შემდეგ ეს ნივთიერებები კვებით ჯაჭვში მაღლა გადადის. ციანობაქტერიები ათავისუფლებენ ატმოსფეროში O_2 -ს. ზოგი სახეობა აზოტს ისეთი ფორმით აფიქსირებს, რომლის შეთვისება სხვა ორგანიზმებს ცილის სინთეზისთვის შეუძლია.

სიმბიოზი ნათესაური კავშირი

პროკარიოტების კონკრეტულ სახეობებს მომგებიანი კავშირი აქვს სხვა პროკარიოტებთან (მეტაბოლური კოოპერაცია), ზოგი პროკარიოტი კი მსგავს ინტიმურ კავშირს ეუკარიოტებთან ქმნის. პირდაპირი კავშირის მქონე სხვადასხვა სახეობის ორგანიზმების ეკოლოგიური კავშირი **სიმბიოზის** სახელით ცნობილია (ბერძნულად „ერთად ცხოვრება“). თუ ერთი სიმბიოტური ორგანიზმი მეორეზე ბევრად დიდია, უფრო დიდს **მასპინძელს** უწოდებენ, პატარსა კი სიმბიონტს. სიმბიოზურ კავშირებს ყოფენ მუტუალიზმად, კომენსალიზმად და პარაზიტიზმად. **მუტუალიზმის** შემთხვევაში ორივე სიმბიონტი სარგებელს იღებს (სურათი 27.15). **კომენსალიზმის** შემთხვევაში სარგებელს ერთი ორგანიზმი იღებს, მეორე კი არც ზინდება და არც სარგებლობს (კომენსალიზმი ბუნებაში იშვიათია, როგორც ამას 53 თავში ვნახავთ). **პარაზიტიზმის** შემთხვევაში ერთი ორგანიზმი, **პარაზიტი**, მასპინძლის ხარჯზე იღებს სარგებელს.

მრავალი ეუკარიოტის კეთილდღეობა, მათ შორის ჩვენიც, დამოკიდებულია მიტუალისტურ პროკარიოტებზე. მაგალითად, ადამიანის ნაწლავები დაახლოებით 500-1000 სახეობის



▲ გვ. 545. სურათი 27.15 მუტუალიზმი: ბაქტერიების შექმნილი „პროექტორები“. მანათებელი თევზის (*Photoblepharon palpebratus*) თვალის ქვეშ აორგანოა, რომელშიც ბიოლუმინესცენციის უნარის მქონე ბაქტერიები იმალებიან. თევზი ამ სინათლეს მსხვერპლის მისაზიდად და პოტენციური პარტნიორის მოსაძებნად იყენებს. ბაქტერია კი თევზისგან საკვებს იღებს.

ბაქტერიის სახლია; მათი უჯრედების რაოდენობა ადამიანის ხსეულის ყველა უჯრედის რაოდენობაზე მეტია. აქედან მრავალი სახეობა მუტუალისტია, ისინი იმ საკვებს ინელებენ, რომელსაც ჩვენი ნაწლავები ვერ შლიან. 2003 წელს ვაშინგტონის უნივერსიტეტის (სენტ ლუისი) მეცნიერებმა ნაწლავების ერთ-ერთი მუტუალისტის, *Bacteroides thetaiotaomicron*-ის პირველი სრული გენომი გაშიფრეს.

გენომში გენების ფართო სპექტრია, რომლებიც ნახშირწყალბადების, ვიტამინებისა და ადამიანისთვის საჭირო სხვა საკვების სინთეზში მონაწილეობს. ბაქტერიის სიგნალი საკვების აბსორბციისთვის აუცილებელ, ადამიანის ნაწლავების სისხლძარღვების ბადის გენებს ააქტიურებს. სხვა სიგნალები იწვევს ადამიანის უჯრედების ინდუქციას და ისინი ისეთი ანტიმიკრობული კომპონენტის სინთეზს იწყებენ, რომლის მიმართ *B.thetaiotaomicron* არ არის მგრძნობიარე. *B. thetaiotaomicron*-ის წარმატებისთვის საჭიროა სხვა კონკურენტი ბაქტერიების მოცილება, რაც ადამიანისთვისაც სასარგებლოა.

კანცელაცია ცისტი 27.4

1. ცალკეული პროკარიოტების მცირე ზომის მიუხედავად, დედამიწაზე არსებულ სიცოცხლეზე მათი ერთობლივი გავლენა უზარმაზარია. ახსენით რატომ.
2. *B. thetaiotaomicron*-სა და ადამიანს შორის კავშირი მუტუალიზმის მაგალითია. ახსენით, რატომ.

პათოგენების ადამიანებზე ორივე, კატგი და ცუდი გაფლანა აქვს

ყველაზე კარგად ცნობილია ის პროკარიოტები, რომლებიც ადამიანის დაავადებების გამომწვევია. პათოგენები პროკარიოტების მხოლოდ მცირე ნაწილია. მრავალ პროკარიოტს ადამიანთან დადებითი კავშირი აქვს და სასოფლო-სამეურნეო საქიანობისა და ინდუსტრიის მნიშვნელოვანი ინსტრუმენტია.

პათოგენური პათოგენები

ადამიანის პარაზიტ პროკარიოტულ სახეობებს ცუდი რეპუტაცია აქვს. ისინი ადამიანის ნახევარზე მეტი დაავადების მიზეზია. წელიწადში 2-3 მილიონი ადამიანი ფილტვების დაავადებით ტუბერკულოზით იღუპება, რომელსაც ბაცილა *Mycobacterium tuberculosis* იწვევს. კიდევ 2 მილიონი სხვა პროკარიოტებით გამოწვეული სხვადასხვა დიარეული დაავადებებით იღუპება. შეერთებულ შტატებში პარაზიტებით გამოწვეული დაავადებებიდან ყველაზე გავრცელებულია ლაიმის დაავადება (სურათი 27.16). მას იწვევს ბაქტერია, რომლის გადამტანია ირმისა და მინდვრის თაგვის ტკიპები. ლაიმის დაავადება, თუ დროზე ს არ უმკურნალებთ, არტრითის, გულის დაავადებასა და ნერვულ აშლილობას იწვევს.

როგორც წესი, პათოგენური პროკარიოტები დაავადებას იმით იწვევენ, რომ შხამს, ეგზოტოქსინს ან ენდოტოქსინს გამოყოფენ. **ეგზოტოქსინი** პროკარიოტების მიერ სინთეზირებული ცილებია. სახიფათო დიარეული დაავადება ქოლერა, გამოწვეულია ეგზოტოქსინით, რომელსაც პროტეობაქტერია



▲ **სურათი 27.16** ლაიმის დაავადება. *Ixodes*-ს გვარის ტკიპები დაავადებას სპიროქეტა *Borrelia burgdorferi*-ს გადატანით ავრცელებენ (შეღებლი მასკანირებული ელექტრონული მიკროსკოპისთვის). ნაკბენის ადგილას ფართე რგოლის ფორმის გამონაყარი შეიძლება განვითარდეს, რაც ადამიანის ფეხის ქვედა ნაწილზე ჩანს.

Vibrio cholerae ასინთეზებს. ეგზოტოქსინი ნაწლავის უჯრედებს ასტიმულირებს და ისინი ნაწლავებში და წყალში, ოსმოსის შედეგად, ქლორის იონებს ათავისუფლებენ. ეგზოტოქსინის მოქმედების შედეგად დაავადება მაშინაც ვითარდება, როცა ეგზოტოქსინის მწარმოებელი პროკარიოტი ორგანიზმში აღარ არის. მაგალითად, სასიკვდილო დაავადება ბოტულიზმს იწვევს ბოტულინი. ეს ეგზოტოქსინია, რომელსაც გრამდადებითი ბაქტერია *Clostridium botulinum* გამოყოფს, რომელიც არასწორად დაზოფული საკვების დუღილს იწვევს.

ენდოტოქსინები გრამუარყოფითი ბაქტერიის გარეგანი მემბრანის ლიპოპოლისაქარიდული კომპონენტებია. ეგზოტოქსინებისგან განსხვავებით, ენდოტოქსინები მხოლოდ ბაქტერიის სიკვდილის და მისი უჯრედის გარსის დაშლის შემდეგ გამოიყოფა. ენდოტოქსინის მწარმოებელი ბაქტერიის მაგალითია *Salmonella*-ს გვარის თითქმის ყველა სახეობა, რომლებიც, როგორც წესი, ჯამრთელ ცხოველებში არ ბინადრობენ. *Salmonella typhi* ტიფის ციებ-ცხელებას იწვევს. *Salmonellas* რამდენიმე სხვა სახეობა, (ზოგი მათგანი ხშირია ფრინველებში) საკვებით მონამვლას იწვევს.

მეცხრამეტე საუკუნიდან განვითარებად ქვეყნებში დაიწყო კანალიზაციის სისტემის გაუმჯობესება, რამაც პათოგენური პროკარიოტების მავნე გავლენა მნიშვნელოვნად შეამცირა. მრავალი სიცოცხლე ანტიბიოტიკებმა გადაარჩინა და ამან დაავადებების შემთხვევები შეამცირა. თუმცა ანტიბიოტიკების მიმართ მდგრადობა პროკარიოტების მრავალ შტამში ვითარდება. როგორც უკვე ნაიკითხეთ, პროკარიოტების სწრაფი გამრავლების გამო ბუნებრივი გადარჩევის შედეგად პროკარიოტის პოპულაციაში რეზისტენტული გენები სწრაფად ვრცელდება. ეს გენები შეიძლება სხვა სახეობებშიც გავრცელდეს, გენების ჰორიზონტალური გადატანის შედეგად.

გენების ჰორიზონტალური გადატანის შედეგად ვირულენტობასთან ასოცირებული გენებიც ვრცელდება, ამიტომ უვნებელი პროკარიოტი გახდეს ფატალური პათოგენი შეიძლება. მაგალითად, *E. coli*, ჩვეულებრივ, ადამიანის ნაწლავების უვნებელი სიმბიონტია. მაგრამ წარმოიშვა პათოგენური შტამი, რომელიც სისხლიან დიარეას იწვევს. ერთ-ერთი ყველაზე სახიფათო შტამი, O157:H7, მიკრობიოლოგების ყურადღების ცენტრში პირველად 1982 წელს მოხვდა.

დღეს მან გლობალური საფრთხე შექმნა. მხოლოდ შეერთებულ შტატებში O157:H7-ით ყოველწლიურად 75 000 ადამიანი ინფიცირდება, ინფექცია ხშირად ხორციდან ხვდება. 2001 წელს მეცნიერების საერთაშორისო გუნდმა O157:H7-ის გენომის სეკვენირება გააკეთა და *E. coli*-ს უვნებელი შტამის გენომს, K-12, შეადარა. მათ აღმოაჩინეს, რომ O157:H7-ის 5,416 გენიდან 1,387 გენს K-12-ში ორეული არა აქვს. ეს 1 387 გენი O157:H7 გენომში უნდა გენების ჰორიზონტალური გადატანის შედეგად მოხვედრილიყო. როგორც ჩანს, ბაქტერიოფაგების მოქმედების შედეგად (იხილეთ სურათი 18.16). მრავალი შემოტანილი გენი ასოცირებულია პათოგენური ბაქტერიებით მასპინძლის ინვაზიასთან. მაგალითად, ზოგი გენი აკოდირებს ეგზოტოქსინს, რომლის მეშვეობით O157:H7 უკავშირდება ნაწლავის კედელს და იღებს იქიდან საკვებს.

პათოგენური პროკარიოტები ბიოტერორიზმის მხვრივაც პოტენციური საფრთხეა. 2001 წლის ოქტომბერში ციმბირული წყლულის გამომწვევი ბაქტერიის, *Bacillus anthracis*-ის ენდოსპორები, იპოვეს კონვერტებში, რომლებიც მედიისა და შეერთებული შტატების სენატის წარმომადგენლებმა მიიღეს. ციმბირული წყლულით თვრამეტი ადამიანი დაავადდა და ხუთი აქედან გარდაიცვალა. ასეთ იარაღად გადაქცევის კანდიდატებია სხვა პროკარიოტებიც. *C. botulinum*-ისა და *Yersinia pestis*-ის ჩათვლით, რომელიც შავ ჭირს იწვევს. ეს საფრთხე გახდა პათოგენური პროკარიოტების სახეობების ინტენსიური კვლევის სტიმული. ახალი ვაქცინებისა და ანტიბიოტიკების განვითარების იმედით, 2003 წლის მაისში, მერილენდის გენეტიკური კვლევების ინსტიტუტის მეცნიერებმა, 2001 წლის იერიშში გამოყენებული *B. anthracis*-ის სრული გენომი გამოაქვეყნეს.

პროკარიოტები კვლევასა და ცოდნოლოგიებში

პროკარიოტების მეტაბოლური შესაძლებლობების ხარჯზე უამრავ სარგებელს ვიღებთ. მაგალითად, რძიდან ყველისა და იოგურტის მისაღებად ბაქტერიებს დიდი ხანია ვიყენებთ. ჩვენი ცოდნის გაღრმავებასთან ერთად ბოლო წლებში პროკარიოტების გამოყენება ბიოტექნოლოგიაშიც დავინწყეთ. მაგალითად, *E. coli*-ს გენების კლონირებაში, *Agrobacterium tumefaciens* კი ტრანსგენური მცენარეების შექმნაში იყენებენ (იხილეთ თავი 20).

პროკარიოტების ძირითადი როლი **ბიოაღდგენა**. ისინი ნარჩენებისგან ნიადაგს, ჰაერს ან წყალს ათავისუფლებენ. მაგალითად, ანაერობული ბაქტერიები და არქეები დაბინძურებულ ორგანულ მასალას შლიან, მაგალითად, კანალიზაციის დაბინძურებულ წყალს ასუფთავებენ, და იქ არსებულ მასალას გარდაქმნიან ნივთიერებად, რომლის გამოყენება, ქიმიური სტერილიზაციის შემდეგ, როგორც ნარჩენების გადასამუშავებლად, ასევე სასუქად შეიძლება. ბიოაღდგენის სხვა მეთოდებში რადიოაქტიური ნარჩენების დაშლა და ნავთობის დაღვრის შედეგების ნეიტრალიზაცია (შედის **სურათი 27.17**).

სამთო წარმოებაში პროკარიოტები მადნეულიდან მეტალების ექსტრაქციაში გვხვმარება. ბაქტერია სპილენძის სულფიდებიდან ყოველ წელს 30 მილიარდი კგ სპილენძის მიღებაში გვხვმარება. სხვა პროკარიოტების მონაწილეობენ მადნეულიდან ოქროს ექსტრაქციაში. განას (აფრიკა) ერთი ქარხანა 1 მილიონი კგ ოქროს კონცენტრატს აწარმოებს, რაც განას ყოველდღიური ექსპრტის ნახევარის ტოლია.

გენური ინჟინერიის დახმარებით ადამიანს შეუძლია პროკარიოტების გარდაქმნა ვიტამინების, ანტიბიოტიკების, ჰორ-



▲ **სურათი 27.17 ნავთობის დაღვრის შედეგების ბიოგანმეწა.** ალასკის სანაპიროსთან მუშა ხსნარს ნავთობით დაბინძურებულ ადგილს ასხურებს. ხსნარი ბუნებრივი ბაქტერიების ზრდას ასტიმულირებს, რომლებიც ნავთობს შლიან და ზოგ შემთხვევაში ბუნებრივი დაშლის პროცესს ხუთჯერ აჩქარებენ.

მონებისა და სხვა პროდუქტების მისაღებად (იხილეთ თავი 20). პროკარიოტების მოდიფიცირების ერთ-ერთი ყველაზე რადიკალური იდეა კრაიგ ვენტერს ეკუთვნის (ადამიანის გენომის პროექტის ერთ-ერთი ლიდერი), რომელმაც გამოაცხადა, რომ ის და მისი კოლეგები პროკარიოტების „ხელოვნური ქრომოსომები“-ს აშენებას ცდილობენ, რაც სინამდვილეში ცარიელი ადგილიდან მთლიანად ახალი სახეობების შექმნას ნიშნავს. ვენტერის იმედოვნებს ისეთი პროკარიოტების შექმნას, რომლებიც სპეციფიკურ სამუშაოს, მაგალითად დიდი რაოდენობის წყალბადის წარმოებას, შეასრულებენ, რაც ნამარხ საწვავზე ადამიანის დამოკიდებულებას შეამცირებს.

პროკარიოტების გამოყენების შესაძლებლობა დიდად დამოკიდებულია მათი კვებისა და მეტაბოლიზმის მრავალფეროვან ფორმაზე. ეს მეტაბოლური მრავალფეროვნება იმ სტრუქტურული სიახლეების გაჩენამდე განვითარდა, რომლებმაც ეუკარიოტული ორგანიზმების ევოლუციას წინ უძღოდა.

კანცეფცია ცისდი 27.5

1. განასხვავეთ ეგზოტოქსინი და ენდოტოქსინი.
2. რა თვისებების გამო პროკარიოტები ბიოტერორისტების პოტენციური იარაღია?
3. განსაზღვრეთ, როგორც მინიმუმ, ორი გზა, რომლითაც პროკარიოტები თქვენს ცხოვრებაზე დღეს დადებითად მოქმედებენ

27-ე თავის შემოქმედება

ბიბლიური კანცელაციის შემოქმედება

კანცელაცია 27.1

პატარაობის წარმადობას ხელს უწყობს სტრუქტურული, ფუნქციონალური და გენეტიკური ადაპტაციები

უჯრედის ზედაპირის სტრუქტურები. თითქმის ყველა პროკარიოტს აქვს უჯრედის გარსი. გრამდადებითი და გრამუარყოფითი ბაქტერიები განსხვავდებიან გარსის აგებულებით. ბევრ სახეობას უჯრედის გარსის გარეთა ნაწილზე აქვს კაფსულა, ფიბრილები (ფოჩისმაგვარი გამონაზარდები) და პილები, რომელთა დახმარებით უჯრედები ერთმანეთს ან სუბსტრატს ემაგრებიან.

► **მოძრაობა** ყველაზე მოძრავი ბაქტერიები შოლტის მეშვეობით მოძრაობენ. შოლტები აგებულია და ფუნქციებით ეუკარიოტების შოლტებისგან განსხვავდება. ჰეტეროგენურ (მრავალფეროვან) გარემოში ბევრ პროკარიოტს გარკვეული სტიმულის ან მისი საწინააღმდეგო მიმართულებით მოძრაობა შეუძლია.

► **შინაგანი და გენეტიკური აგებულება** როგორც წესი, პროკარიოტების უჯრედების აგებულება მარტივია. ტიპური პროკარიოტული გენომი **დნმ**-ის რგოლია, რომელიც არ არის მემბრანით გარშემორტყმული. ზოგ სახეობას ასევე აქვს **დნმ**-ის მცირე რგოლები, პლაზმიდები.

► **რეპროდუქცია და ადაპტაცია** პროკარიოტები სწრაფად მრავლდებიან მარტივი დაყოფით. ენდოსპორის მრავალი ფორმა მძიმე პირობებს საუკუნეების განმავლობაში უძლევს. სწრაფი რეპროდუქცია და გენების ჰორიზონტალური გადატანა პროკარიოტების ევოლუციას ცვალებად გარემოში აადვილებს.

კანცელაცია 27.2

პატარაობაში კვებითი და მეტაბოლური ადაპტაციების დიდი მრავალფეროვნება განვითარდა

► პროკარიოტებში აღმოჩენილია კვების ოთხი ტიპი: ფოტოაუტოტროფია, ქემოაუტოტროფია, ფოტოჰეტეროტროფია და ქემოჰეტეროტროფია.

► **მეტაბოლური კავშირი ჟანგბადთან** ობლიგატურ აერობებს O_2 სჭირდება, ობლიგატური ანაერობები კი O_2 -ით ინამლებიან. ფაკულტატურ ანაერობებს O_2 -ის გარეშე არსებობა შეუძლია.

► **აზოტის მეტაბოლიზმი** პროკარიოტებს ფართო სპექტრის აზოტოვანი კომპონენტების მეტაბოლიზმი შეუძლია. ზოგი აზოტის ფიქსაციის პროცესში ატმოსფერულ აზოტს ამი-აკად გარდაქმნის.

► **მეტაბოლური თანამშრომლობა** მრავალი პროკარიოტი დამოკიდებულია სხვა პროკარიოტების მეტაბოლურ აქტიობაზე. ციანობაქტერია *Anabaena*-ში ფოტოსინთეზის უნარის მქონე და აზოტის ფიქსაციის უჯრედები მეტაბოლიზმის პროდუქტებს ცვლიან. ზოგი პროკარიოტი ზედაპირის მფარავ კოლონიებს, ბიოაპკს ქმნის, სადაც ხანდახან სხვადასხვა სახეობები შედის.

კანცელაცია 27.3

მოლეკულური სისტემატიკა პატარაობის ფილოგენეზს აშუქებს

► **გაკვეთილები მოლეკულური სისტემატიკიდან** მოლეკულური სისტემატიკის როლი პროკარიოტების ფილოგენეტიკურ კლასიფიკაციაში უდიდესია. მისი საშუალებით სისტემატიკოსებს ახალი ძირითადი კლადების იდენტიფიკაცია შეუძლიათ.

► **ბაქტერია** ბაქტერიების სხვადასხვა ჯგუფისთვის დამახასიათებელია კვების სხვადასხვა ტიპი. ორი ყველაზე დიდი ჯგუფი პროტობაქტერიები და გრამდადებითი ბაქტერიები.

► **არქეები** არქეებსა და ბაქტერიებს, აგრეთვე არქეებსა და ეუკარიოტებს ზოგი თვისება საერთო აქვს. ზოგი არქეა ექსტრემალურ გარემოში ბინადრობს. ესენია; ექსტრემალური თერმოფილები, ექსტრემალური ჰალოფილები და მეთანოგენები (მეთანის წარმომქმნელი ბაქტერიები)

კანცელაცია 27.4

პატარაობები ბიოსფეროში უდიდეს ბოლს თამაშობენ

► **ქიმიური წრებრუნვა** ჰეტეროტროფული პროკარიოტების, აუტოტროფებისა და აზოტის ფიქსატორი პროკარი-

ოტების მიერ წარმოებული სინთეზი ხელს უწყობს ეკოსისტემაში ნივთიერებათა წრებრუნვას.

- ▶ **სიმბიოზური კავშირები** მრავალი პროკარიოტი სხვა ორგანიზმებთან სიმბიოზურ კავშირს ქმნის ან მათში პარაზიტობს. ესენია: მუტუალისტები, კომენსალისტები ან პარაზიტები

კონცეფცია 27.5

პრაქტიკულად აღამიანებზე ზოგადი უაწყდეთი, ასევე დადებითი გავლენა აქვთ

- ▶ **პათოგენური პროკარიოტები** პათოგენური პროკარიოტები ეგზოტოქსინებსა და ენდოტოქსინებს გამოყოფენ და დაავადებებს რიწვენ, ამიტომ ბიოტერორიზმის პოტენციურ იარაღს წარმოადგენენ. სახიფათო შტამების ვირულენტობასთან დაკავშირებული გენები ჰორიზონტალური გადაცემის საშუალებით ვრცელდება.
- ▶ **პროკარიოტები კვლევაში და ატექნოლოგიებში** *E. coli* და *A. tumefaciens* -ის მსგავს პროკარიოტებზე ჩატარებული ხელს უწყობს დნმ-ის ტექნოლოგიების მნიშვნელოვან პროგრესს. პროკარიოტებს იყენებენ ბიოაღდგენაში და მალარობის, ვიტამინების, ანტიბიოტიკებისა და სხვა ნივთიერებების სინთეზში.

შეამოწმეთ საკუთარი ცოდნა

თვითშეფასება

1. ქვეთ ჩამოთვლილიდან რა არ შეესაბამება პეპტიდოგლიკანს?
 - ა. ის შაქრის მოდიფიცირებული პოლიმერისგან შედგება.
 - ბ. ის ბაქტერიის ზედაპირზე სხვა მოლეკულებს იერთებს.
 - გ. გრამდადებით ბაქტერიებში მისი რაოდენობა შედარებით დიდია.
 - დ. ის ყველა პროკარიოტის უჯრედის გარსშია.
 - ე. ის ბაქტერიების უმეტესობის პლაზმური მემბრანის გარეთ მდებარეობს.
2. ფოტოაუტოტროფები იყენებენ
 - ა. ენერგიის წყაროდ სინათლეს და ნახშირბადის წყაროდ CO_2 -ს.
 - ბ. ენერგიის წყაროდ სინათლეს და ნახშირბადის წყაროდ მეთანს.
 - გ. ენერგიის წყაროდ N_2 -ს და ნახშირბადის წყაროდ CO_2 -ს.
 - დ. ენერგიის წყაროდ H_2S -ს და ნახშირბადის წყაროდ CO_2 -ს.
3. შემდეგი დებულებიდან რომელი არ არის სწორი?
 - ა. არქეებსა და ბაქტერიებს განსხვავებული მემბრანული ლიპიდები აქვს.
 - ბ. ორივეს, არქეებისა და ბაქტერიების ორგანოებს ძირითადად მემბრანა არა აქვს.
 - გ. არქეების უჯრედის გარსს არა აქვს პეპტიდოგლიკანი.
 - დ. მხოლოდ ბაქტერიას აქვს დნმ-თან ასოცირებული ჰისტონები.
 - ე. ბაქტერიებში სპიროქეტები შედიან.
4. პროკარიოტების ბიოლოგიის შემდეგი თვისებებიდან რომელი მოიცავს უჯრედებს შორის მეტაბოლურ კოოპერაციას?
 - ა. უჯრედის ორად დაყოფა.
 - ბ. ენდოსპერმის ფორმირება.
 - გ. ენდოტოქსინის განთავისუფლება.
 - დ. ბიოაპკი.
 - ე. ფოტოაუტოტროფია.
5. შემდეგი დებულებებიდან რომელი არ არის სწორი?
 - ა. არქეებში ეურიაჩქოტები და კრენარქოტები შედიან.
 - ბ. არქეებში მეთანოგენები და ექსტრემალური თერმოფილები შედიან.
 - გ. არქეები ხმელეთის ჰაბიტატებში არ ბინადრობენ.
 - დ. არქეების თვისებები როგორც ბაქტერიების, ასევე ეუკარიოტების თვისებების მსგავსია.
 - ე. არქეები ბაქტერიებისგან ნაწილობრივ მოლეკულური სისტემატიკის წყალობით განასხვავებს.
6. პროკარიოტების რომელი ჯგუფი არ შეესაბამება მის წევრებს?
 - ა. პროტეობაქტერია — მრავალფეროვანი გრამუარყოფითი ბაქტერიები.
 - ბ. ქლამიდია — შიდაუჯრედული პარაზიტებია.
 - გ. სპიროქეტა — სპირალური პეტეროტროფებია.
 - დ. გრამდადებითი ბაქტერია — სიმბიონტებია.
 - ე. ციანობაქტერია — ინდივიდუალური და კოლონიური ფოტოაუტოტროფებია.
7. რა ტიპის კავშირია ლაიმის დაავადების გამომწვევ *B. burgdorferi*-სა და ადამიანს შორის?
 - ა. მუტუალიზმი.
 - ბ. კომენსალიზმი.
 - გ. პარაზიტიზმი.
 - დ. მეტაბოლური კოოპერაცია.
 - ე. არც ერთი.
8. ანტიბიოტიკი ერითრომიცინი ამცირებს ზოგიერთი პროკარიოტის შესაძლებლობას
 - ა. სპორების შექმნის.
 - ბ. დნმ-ის რეპლიკაციის.
 - გ. უჯრედის ნორმალური გარსის სინთეზის.
 - დ. რიბოსომებში ცილების სინთეზის.
 - ე. ატფ-ის სინთეზის.
9. მცენარეების ფოტოსინთეზის მსგავსი ფოტოსინთეზი,

რომლის შედეგად O₂ თავისუფლდება, მიმდინარეობს

- ა. ციანობაქტერიებში.
- ბ. ქლამიდიებში.
- გ. არქეებში.
- დ. აქტინომიცეტებში.
- ე. ქემოაუტოტროფულ ბაქტერიებში.

10. ბიოაღდგენის მაგალითია

- ა. პროკარიოტების გამოყენება დაბინძურებული წყლებისა ან დაღვრილი ნავთობის გასაწმენდად.
- ბ. ანტიბიოტიკების პროდუცირება კულტივირებული პროკარიოტების მიერ.
- გ. ბაქტერიის გამოყენება ტრანსგენური მცენარეების მისარებად.
- დ. პარაზიტული ბაქტერიის შეღწევა სხვა ბაქტერიის მოსაკლავად.
- ე. ყველაფერი ერთად.

ოჯდოუცოქტი კაჟშიტი

ჯანდაცვის მუშაკებს აღელვებთ იმ დაავადებების აღდგენა, რომელთა გამომწვევი ბაქტერიები მდგრადებია სტანდარტული ანტიბიოტიკების მიმართ. მაგალითად, ანტიბიოტიკის მიმართ რეზისტენტული ბაქტერია ტუბერკულოზის (TB) ეპიდემიას იწვევს. ეს ფილტვების დაავადება ჰაერის წვეთებით ვრცელდება. წამალი TB სიმპტომებს რამდენიმე კვირაში ხს-

ნის, მაგრამ ინფექციის განადგურებას გაცილებით მეტი დრო სჭირდება. პაციენტები ხშირად ბქტერიის განადგურებამდე წყვეტენ მკურნალობას. რატომ შეუძლია პროკარიოტს პაციენტის სწრაფი რეინფიცირება, თუ ის არ არის მთლიანად განადგურებული? როგორ აისახება ეს მოვლენა წამლის მიმართ რეზისტენტული პათოგენების ევოლუციაზე?

მეცნიერული კვლევა

თქვენ წაიკითხეთ, რომ ზოგი მეცნიერი იკვლევს სრულიად ახალი პროკარიოტული სახეობების შექმნის შესაძლებლობას. რშია ამ პროექტის რისკი და პოტენციური სარგებელი? რითი დაეხმარება ამ კვლევას პროკარიოტების ბუნების ისტორია და ევოლუცია?

მეცნიერება, ფეცნოლოგია და საზოგადოება

მრავალი ადგილობრივი გაზეთი რეგულარულად აქვეყნებს იმ რესტორნების ჩამონათვალს, რომლებიც სანიტარულმა ინსპექციამ აღრიცხა. გაეცანით ასეთ მოხსენებას და დაადგინეთ შემთხვევები, რომლებიც მართლაც უკავშირდება პათოგენური პროკარიოტებით საკვების დაბინძურების შესაძლებლობას.

28

უმარტივესები (Protista)



▲ სურათი 28.1 ერთუჯრედიანი და კოლონიური ეუკარიოტები გუბის წყლის წვეთში (სინათლის მიკროსკოპი LM).

ძირითადი კონცეფციები

- 28.1** უმარტივესები ეუკარიოტების უაღრესად მრავალფეროვანი ჯგუფია
- 28.2** დიპლომონადებისა და პარაბაზალიების მიტოქონდრია მოდიფიცირებულია
- 28.3** ევგლენასნაირების შოლტი უნიკალური შინაგანი აგებულებისაა
- 28.4** ალვეოლატების პლაზმურ მემბრანასთან განლაგებულია ტომარაკები
- 28.5** სტრამენოფილებს აქვთ „ბუსუსიანი“ და გლუვი შოლტები
- 28.6** ცერკოზოას და რადიოლარიების ფსევდოპოდიები ძაფისებრია
- 28.7** ამებასნაირების ფსევდოპოდია მომრგვალოა
- 28.8** ძონეული და მწვანე წყალმცენარეები ხმელეთის მცენარეების უახლოესი ნათესავებია.

შესავალი

სამცაბო წყლის წვეთში

გუბის წყლის წვეთზე დაბალი სიმძლავრის სინათლის მიკროსკოპით დაკვირვებისას საოცრად მრავალფეროვან ორგანიზმებს აღმოაჩენთ (სურათი 28.1). ამ პატარა ორგანიზმებიდან ზოგი შოლტის საშუალებით მოძრაობს, სხვები კი წვეთის ფორმის გამონაზარდებით. ზოგი მინიატურულ საიუველირო ნამუშევარს ჰგავს, სხვები კი მბრუნავ მწვანე ბურთებს. ამ მშვენიერ არსებებს მრავალ განსხვავებულ სამეფოში აერთიანებენ, სადაც ძირითადად ერთუჯრედიანი ეუკარიოტები შედიან. ყველა მათგანს **პროტისტებს** – უმარტივესებს უწოდებენ. 300 წლის წინათ ეს ორგანიზმები პირველმა მიკროსკოპის გამომგონებელმა, ჰოლანდიელმა, ანტონ ვან ლევენჰუკმა დაინახა. მან დაწერა: „ამაზე ლამაზი სანახაობა მე დღემდე

არ მინახია“. ამ დროიდან მოყოლებული უმარტივესები მეცნიერებში დიდ ინტერესს იწვევენ.

ადრე სისტემატიკოსები ყველა ერთუჯრედიან ორგანიზმს ერთ სამეფოში – უმარტივესებში (Protista) აერთიანებდნენ. მაგრამ ეუკარიოტების სისტემატიკის განვითარებასთან ერთად ეს სამეფო დაიშალა. ცხადი გახდა, რომ სინამდვილეში უმარტივესები პარაფილეტური სამეფოა (იხილეთ სურათი 25.10). ზოგი უმარტივესი უფრო ახლოს ენათესავება მცენარეებს, სოკოებს ან ცხოველებს, ვიდრე სხვა უმარტივესებს. ამიტომ ზოგი თანამედროვე ბიოლოგი უმარტივესების სხვადასხვა ევოლუციურ შტოს დამოუკიდებელ სამეფოდ თვლის. ბიოლოგების უმეტესობა ტერმინ პროტისტას ახლაც იყენებს, მაგრამ მხოლოდ იმ ეუკარიოტების მიმართ, რომლებიც არც მცენარეები, არც ცხოველები და არც სოკოებია.

ამ თავში გაეცნობით უმარტივესების ყველაზე მნიშვნელოვან ჯგუფებს, მათ სტრუქტურულ და ბიოქიმიურ ადაპტაციებსა და ეკოსისტემაზე, ინდუსტრიაზე და ადამიანის ჯანმრთელობაზე მათ უდიდეს გავლენას.

კონცეფცია 28.1

უმარტივესები ეუკარიოტების უკიდურესად მრავალფეროვანი ჯგუფია

ვინაიდან უმარტივესები აღმოჩნდა პარაფილეტური ჯგუფი ლოგიკურია, რომ მათი მხოლოდ რამდენიმე ძირითადი თვისება მოვიყვანოთ. სინამდვილეში უმარტივესებს მეტი სტრუქტურული და ფუნქციონალური მრავალფეროვნება ახასიათებს, ვიდრე ორგანიზმების ნებისმიერ სხვა ჯგუფს.

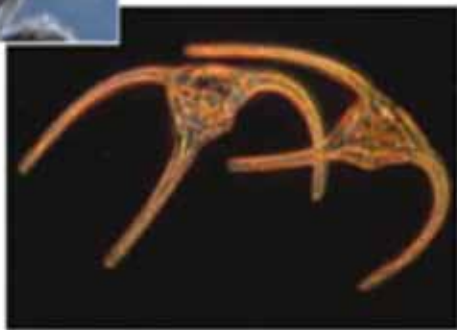
უმარტივესების უმეტესობა ერთუჯრედიანია, თუმცა ამ ჯგუფში შედის რამდენიმე კოლონიური და მრავალუჯრედიანი სახეობაც. ერთუჯრედიანი უმარტივესები ნამდვილად ყველაზე მარტივი ეუკარიოტებია, მაგრამ უჯრედულ დონეზე მრავალი მათგანის აგებულება ძალიან რთულია – სხვა უჯრედებთან შედარებით ალბათ ყველაზე უფრო. ეს მოსალოდნელია, ვინაიდან ამ ორგანიზმების შემთხვევაში ერთმა უჯრედმა ყველა ეს ძირითადი ფუნქცია უნდა შეასრულოს,



(ა) მტკნარი წყლის უმარტივესი წამწამიანი ერთუჯრედიანი *Stentor* (LM)

100μმ

100μმ

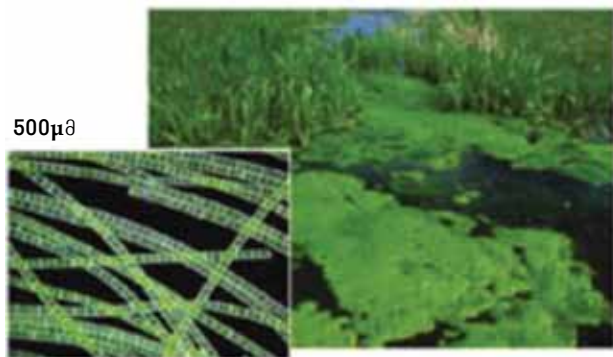


(ბ) *Ceratium tripos*, ზღვის ერთუჯრედიანი პიროფიტული წყალმცენარე (LM).

4სმ



(გ) *Delesseria sanguinea*, ზღის მრავალუჯრედიანი ძონეული წყალმცენარე.



(დ) *Spirogyra*, მტკნარი წყლის მწვანე ძაფისებრი წყალმცენარე

▲ სურათი 28.2 უმარტივესების მრავალუჯრედიანების მცირე ნიმუში.

რომელსაც მრავალუჯრედიან ორგანიზმში სპეციალიზებული უჯრედები ასრულებენ.

სხვა ეუკარიოტულ ორგანიზმებთან შედარებით უმარტივესების კვების ტიპი ყველაზე მრავალფეროვანია. ზოგი ქლოროპლასტებს შეიცავს და ფოტოაუტოტროფია. ზოგი ჰეტეროტროფია, ისინი ორგანულ მოლეკულებს შთანთქავენ, ან საკვების უფრო დიდ ნაწილაკებს იწელებენ. სხვები – მიქსოტროფია, ისინი ერთდროულად ფოტოსინთეზით და ჰეტეროტროფიულად იკვებებიან. უმარტივესების მრავალ ევოლუციურ შტოში ფოტოაუტოტროფია, ჰეტეროტროფია და მიქსოტროფია დამოუკიდებლად განვითარდა. კვების ტიპში სხვაობის დახმარებით შეგვიძლია ბიოლოგიურ თანასაზოგადოებაში უმარტივესების როლის უკეთესი განსაზღვრა. ეკოლოგიურ კონტექსტში უმარტივესები შეგვიძლია სამ კატეგორიად დავყოთ: ფოტოსინთეზის უნარის მქონე (მცენარეების მსგავსი) უმარტივესები ან ზღვის წყალმცენარეები (ალგა); მონელების უნარის მქონე (ცხოველების მსგავსი) უმარტივესები ან პროტოზოანები; და შთანთქმის უნარის მქონე (სოკოების მსგავსი) უმარტივესები, რომლებსაც სხვა ზოგადი სახელი არა აქვთ. გახსოვდეთ, რომ თუმცა უმარტივესების ეკოლოგიაზე საუბრისას იყენებენ ტერმინებს ალგა და უმარტივესი ცხოველი, ამ ტერმინებით მონოფილეტურ ჯგუფებს არ აღნიშნავენ.

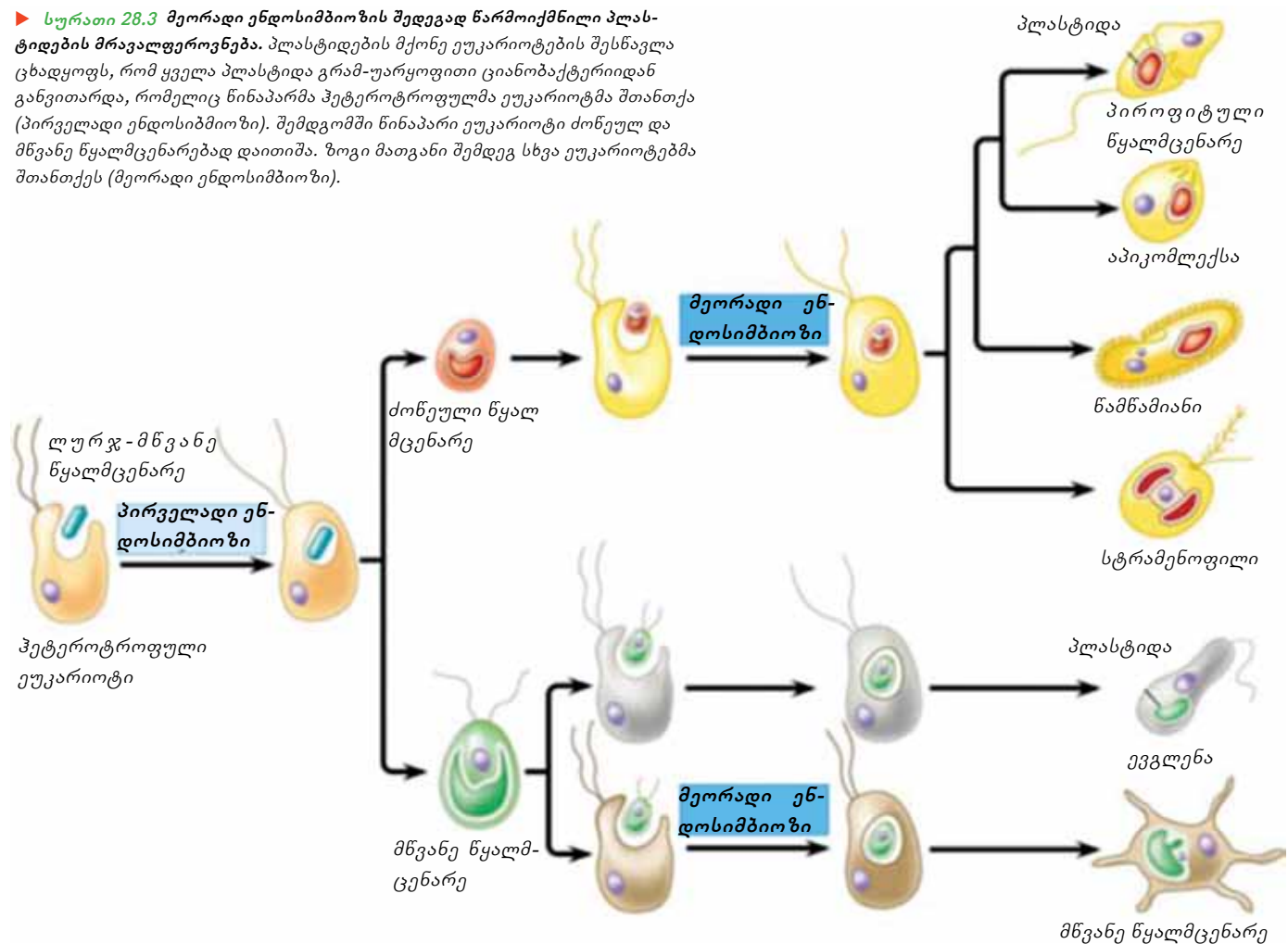
უმარტივესების ჰაბიტატი ძალიან მრავალფეროვანია (სურათი 28.2). მათი უმეტესობა წყალში თითქმის ყველგან ბინადრობს. ისინი ხმელეთზეც, ტენიან ადგილებში ბინადრობენ, მაგალითად სველ ნიადაგში და დაცვნილ, ლპობად ფოთლებში. ოკეანეებში, წყალსატევებში და ტბებში გავრცელებული უმარტივესების უმეტესობა ფსკერის ბინადარია. ისინი კლდეებსა და სხვა სუბსტრატს ემაგრებიან, ან სილასა და შლამში დახოხავენ. პლანქტონიც ძირითადად უმარტივესებისგან შედგება (ბერძნულად *planktos* — მოხეტიალეა). პლანქტონი ორგანიზმების ერთობლიობაა, რომლებიც წყლის ზედაპირთან ახლოს პასიურად ტივტივებენ. ფიტოპლანქტონი (პლანქტონური წყალმცენარეები და ლურჯ-მწვანე წყალმცენარეები-cyanobacteria) ზღვისა და მტკნარი წყლის უმეტესი კვებითი ჯაჭვის საფუძველია. თავისუფლად მცხოვრები სახეობების გარდა, გვხვდება მრავალი უმარტივესი, რომელიც სხვა ორგანიზმებში სიმბიონტის სახით ბინადროს.

უმარტივესების გამრავლება და სასიცოცხლო ციკლი ასევე ძალიან მრავალფეროვანია. ზოგი მხოლოდ უსქესოდ მრავლდება. სხვები სქესობრივად მრავლდებიან ან როგორც მინიმუმ, მეიოზისა და სინგამიის სქესობრივ მექანიზმებს იყენებენ. უმარტივესებში ვხვდებით სქესობრივი სასიცოცხლო ციკლის სამივე ძირითად ტიპს (იხილეთ სურათი 13.6) და ამასთან ერთად რამდენიმე ვარიაციას, რომელიც სამიდან არც ერთ ტიპს არ უხდება. ამ თავში უმარტივესების რამდენიმე ჯგუფის სასიცოცხლო ციკლს განვიხილავთ.

ენდოსიმბიოზი ეუკარიოტების ევოლუციაში

რამ განაპირობა უმარტივესების საოცარი მრავალფეროვნება? დღეს მრავალი მტკიცებულება გავაჩნია, რომ უმარტივესების მრავალფეროვნებას დასაბამი ენდოსიმბიო-

► **სურათი 28.3** მეორადი ენდოსიმბიოზის შედეგად წარმოიქმნილი პლასტიდების მრავალფეროვნება. პლასტიდების მქონე ეუკარიოტების შესწავლა ცხადყოფს, რომ ყველა პლასტიდა გრამ-უარყოფითი ციანობაქტერიიდან განვითარდა, რომელიც წინაპარმა პეტროტროფულმა ეუკარიოტმა შთანთქა (პირველადი ენდოსიმბიოზი). შემდგომში წინაპარი ეუკარიოტი ძონეულ და მწვანე წყალმცენარებად დაიშალა. ზოგი მათგანი შემდეგ სხვა ეუკარიოტებმა შთანთქეს (მეორადი ენდოსიმბიოზი).

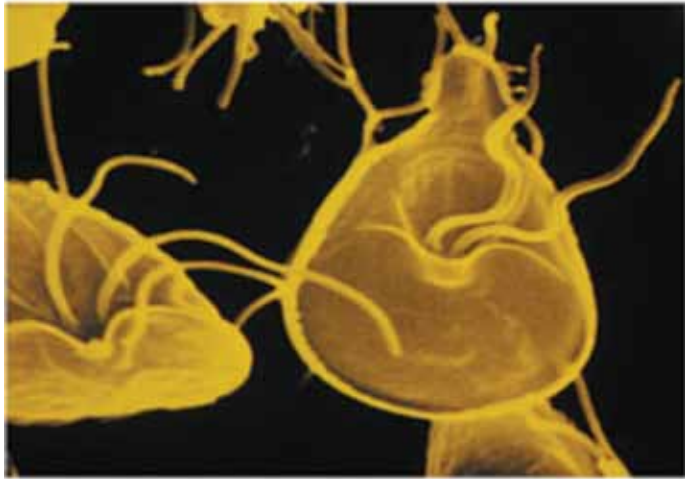


ოზმა დაუდო. ეს პროცესია, როცა ზოგი ერთუჯრედიანი ორგანიზმი სხვა უჯრედებს შთანთქავს, რომლებიც შემდგომში მასპინძელ უჯრედებში ენდოსიმბიონტებად, საბოლოოდ კი ორგანელებად გადაიქცევა. მაგალითად, როგორც 26 თავში ვთქვით, მიტოქონდრია უძველესმა ეუკარიოტებმა ალბათ ალფა პროტეობაქტერიების შთანთქმის შედეგად შეიძინეს. დღეისთვის ყველა შესწავლილ ეუკარიოტში მიტოქონდრია ან გვხვდება, ან გვაქვს იმის ნიშნები, რომ წარსულში არსებობდა. ეს მიტოქონდრიის ძალიან ძველ წარმოშობას ადასტურებს.

ბიოლოგები ამტკიცებენ, რომ მოგვიანებით ჰეტეროტროფული ეუკარიოტების ევოლუციურმა შტომ დამატებითი ენდოსიმბიონტები – ფოტოსინთეზის უნარის მქონე ლურჯ-მწვანე წყალმცენარეებიც შეიძინა, რომლებიც შემდგომში პლასტიდებად განვითარდნენ. 28.3 სურათზე მოცემულ მოდელზე ნაჩვენებია პლასტიდების მატარებელი ევოლუციური შტო, რომელმაც საბოლოოდ დასაბამი მწვანე და ძონეულ წყალმცენარეებს მისცა. ამ ჰიპოთეზას ადასტურებს მონაცემი, რომ ძონეული და მწვანე წყალმცენარეების პლასტიდების გენების დნმ ძალიან ჰგავს ლურჯ-მწვანე წყალმცენარეების დნმ-ს. ამასთან ერთად, ძონეული და მწვანე წყ-

ალმცენარეების პლასტიდებს აქვს ორი მემბრანა, რომლებიც გრამ-უარყოფითი ლურჯ-მწვანე წყალმცენარეების ენდოსიმბიონტების შიდა და გარე მემბრანებს შეესაბამება.

ეუკარიოტების ევოლუციის მსვლელობისას რამდენიმე შემთხვევაში ძონეულმა და მწვანე წყალმცენარეებმა მეორადი ენდოსიმბიოზი განიცადეს. ისინი ჰეტეროტროფული ეუკარიოტის საკვებ ვაკუოლში მოხვდნენ და თვითონ გახდნენ ენდოსიმბიონტები. მაგალითად, ქლორარაქნიოფიტას სახელით ცნობილი წყალმცენარე მაშინ წარმოიქმნა, როცა ჰეტეროტროფულმა ეუკარიოტმა მწვანე წყალმცენარე შთანთქა. ევოლუციური დროის შკალაზე ეს შედარებით ახალ მოვლენად გვეჩვენება, ვინაიდან შთანთქმული წყალმცენარის პლასტიდებში ფოტოსინთეზი ახლაც მიმდინარეობს და მას საკუთარი პატარა, რუდიმენტული ბირთვიც – ნუკლეომორფი აქვს. ქლორარაქნიოფიტების პლასტიდებს ოთხი მემბრანა აქვს, რაც შეესაბამება იმ ჰიპოთეზის, რომ ქლორარაქნიოფიტები განვითარდნენ ეუკარიოტისგან, რომელმაც სხვა ეუკარიოტი შთანთქა. ორი შიდა მემბრანა წინაპარი ციანობაქტერიის შიდა და გარე მემბრანისგან წარმოიქმნა, მესამე შთანთქმული წყალმცენარის პლაზმური მემბრანისგან და



(ა) *Giardia intestinalis* დიპლომონადა (შეღებლი SEM) 5 მმ

შოლტი



ტალღოვანი მემბრანა. 5 მმ

(ბ) *Trichomonas vaginalis* – პარაბაზალია (შეღებლი SEM).

▲ სურათი 28.5 დიპლომონადები და პარაბაზალიები

მიმდინარე ატფ-ის სინთეზში. დიპლომონადებისა და პარაბაზალიების უმეტესობა ანაერობულ გარემოში ბინადრობს.

დიპლომონადები

დიპლომონადებს ორი ერთნაირი ზომის ბირთვი და მრავალი შოლტი აქვთ. გაიხსენეთ, რომ ეუკარიოტების შოლტი ციტოპლაზმის წაგრძელებაა და უჯრედის პლაზმური მემბრანით დაფარული მიკრომილაკების კონებისგან შედგება (იხილეთ სურათი 6.24). ის საკმაოდ განსხვავდება პროკარიოტების შოლტისგან, რომელიც უჯრედის ზედაპირთან მიმდებარე გლობულარული ცილა ფლაგელინისგან შემდგარი ბოჭკოებია (იხილეთ სურათი 27.6).

ზოგ დიპლომონადას აქვს ცუდი სახელი. მაგალითად, ძუძუმწოვრების ნაწლავებში მობინადრე პარაზიტს - ნაწლავის ლამბლიას (სურათი 28.5ა). ადამიანი ლამბლიოზით ხშირად

ავადდება, როცა ცისტის სტადიაში მყოფი პარაზიტის შემცველი ფეკალიებით დაბინძურებულ წყალს დალევს. პარაზიტით დაბინძურებული ნაკადულის ან მდინარის წყალი გარეგნულად სუფთაა, მაგრამ მისი დალევის შემდეგ ვითარდება დიარეა, რომელსაც ტურისტული ლაშქრობის ჩაშლა ნამდვილად შეუძლია. თუ დალევს წინ წყალს აადუღებთ, ცისტა მოკვდება.

პარაბაზალიები

პარაბაზალიებში უმარტივესები - ტრიქომონადები შედიან. ყველაზე ცნობილი სახეობა *Trichomonas vaginalis* ქალის ვაგინის ჩვეულებრივი ბინადარია (სურათი 28.5ბ) *T. vaginalis* მასპინძლის სასქესო და გამომყოფი სისტემის ლორწოვან ზედაპირზე შოლტის საშუალებით და პლაზმური მემბრანის ნაწილის ტალღისებრი მოძრაობით გადაადგილდება. თუ ვაგინის ნორმალური მჟავე გარემო დარღვეულია, ტრიქომონა სხვა სასარგებლო მიკრობებს ჩაგრავს და ვაგინის გარსს აავადებს. სქესობრივი გზით გადადები ეს ინფექცია შეიძლება ასევე მამრის შარდსადენში განვითარდეს, თუმცა ამ შემთხვევაში დაავადება ხშირად სიმპტომების გარეშე მიმდინარეობს.

T. vaginalis-ის გენეტიკურმა შესწავლამ აჩვენა, რომ ეს სახეობა პათოგენური გახდა, როცა ზოგმა პარაბაზალიამ ვაგინაში მობინადრე ერთ-ერთი ბაქტერიისგან გარკვეული გენი გენების ჰორიზონტალური გადაცემის შედეგად შეიძინა. ამ გენის საშუალებით *T. vaginalis*-ს ეპითელიურ უჯრედებზე კვება შეუძლია, რაც ინფექციის განვითარებას იწვევს.

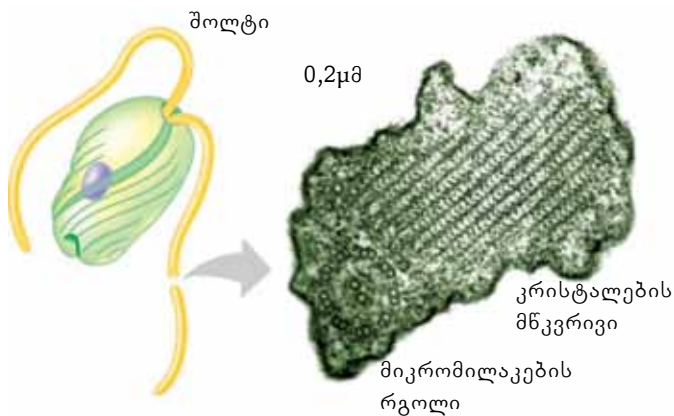
▶ ჯანცუფცია 28.2

1. რატომ თვლის ზოგი ბიოლოგი დიპლომონადებისა და პარაბაზალიების მიტოქონდრიას “ძალიან რედუცირებულად”?
2. რამდენად შეესაბამება *Trichomonas vaginalis*-ის აგებულება მასპინძლის გამრავლებისა და საშარდე სისტემებში მის პარაზიტულ ცხოვრების ნირს?

▶ ჯანცუფცია 28.3

ეგლენასნაირების შოლტი უნიკალური შინაგანი აგებულებისაა

ეგლენასნაირები (Euglenozoa) მრავალფეროვანი კლასია, სადაც მტაცებელი ჰეტეროტროფები, ფოტოსინთეზის უნარის მქონე აუტოტროფები და პათოგენური პარაზიტები შედიან. მთავარი ნიშანი, რომელიც ამ კლასში გაერთიანებულ უმარტივესებს განასხვავებს, შოლტში გან-



▲ **სურათი 28.6 ეგლენასნაირების შოლტები.** ეგლენასნაირების უმეტესობას ერთ-ერთ შოლტში აქვს კრისტალური ლერძი (TEM). ეს ლერძი განლაგებულია $9 + 2$ მოკრომილაკების რგოლის გასწვრივ, რომელიც ყველა ეუკარიოტის შოლტში არსებობს (შეადარეთ 6.24 სურათთან).

ლაგებული სპირალური ან კრისტალური ლერძია, რომლის ფუნქცია დღემდე უცნობია (სურათი 28.6). ეგლენასნაირების უმეტესობას აქვს დისკის ფორმის მიტოქონდრიული კრისტა. კინეტოპლასტიდები და ეგლენები ორი ყველაზე უკეთ შესწავლილი ჯგუფია.

კინეტოპლასტიდები

კინეტოპლასტიდებს აქვთ ერთი დიდი მიტოქონდრია, რომელიც დალაგებულ დნმ-ს - კინეტოპლასტს შეიცავს. ამ უმარტივესებში შედიან მტკნარი წყლის, მლაშე წყლისა და ნესტიანი ნიადაგის ეკოსისტემების თავისუფლად მცხოვრები ორგანიზმები, რომლებიც პროკარიოტებით იკვებებიან. აგრეთვე ცხოველების, მცენარეებისა და სხვა უმარტივესების პარაზიტები. მაგალითად, გვარი *Trypanosoma*-ს კინეტოპლას-



▲ **სურათი 28.7 კინეტოპლასტიდა ტრიპანოსომა, რომელიც ძილის დაავადებას იწვევს.** სისხლის ნითელ უჯრედებს შორის განლაგებული არსებები ტრიპანოსომებია (შეღებლია SEM).

ტიდები ადამიანში ძილის დაავადებას იწვევენ, რომელსაც აფრიკული ბუზი — ცეცე ავრცელებს. მკურნალობის გარეშე ეს დაავადება სასიკვდილოა (სურათი 28.7) ტრიპანოსომები ჩაგას დაავადებასაც იწვევენ, რომელიც სისხლისმწოველ მწერებს გადააქვთ და რომელმაც შეიძლება გულის გაჩერება გამოიწვიოს.

ტრიპანოსომებს იმუნური სისტემისგან ეფექტური სტრატეგია - „მიიზიდე და მოატყუე“ იცავს. ტრიპანოსომას უკრე-დის ზედაპირზე ერთი ცილის მილიონობით ასლია განლაგებული. სანამ მასპინძლის იმუნური სისტემა ცილას ამოიცნობს და შეუტევს, პარაზიტის ახალი თაობა სხვა ზედაპირული ცილის სინთეზზე გადადის, რომლის მოლეკულური სტრუქტურა მცირედ განსხვავებულია. ზედაპირული ცილის აგებულება ხშირად იცვლება, ამიტომ მასპინძელი იმუნიტეტს ვერ ივითარებს. ტრიპანოსომას გენომის მესამედი დაკავებულია ზედაპირული ცილების სინთეზით.

ეგლენასნაირები

ეგლენასნაირებს უჯრედის ერთ-ერთ ბოლოზე აქვს ჯიბე, რომლიდანაც ერთი ან ორი შოლტი გამოდის (სურათი 28.8). ეგლენასნაირების დამახასიათებელი ნიშანია პარამილონი — გლუკოზის პოლიმერი, რომელიც სამარაგო მოლეკულის სახით ფუნქციონირებს. ეგლენასნაირის *Euglena*-ს მრავალი სახეობა აუტოტროფია, მაგრამ სიბნელეში ჰეტეროტროფებად გადაიქცევა და გარემოდან ორგანულ საკვებს აბსორბირებს. მრავალ ეგლენასნაირს მსხვერპლის შთანთქმა ფაგოციტოზის გზითაც შეუძლია.

კონცეფტია ცისდი 28.3

1. ტრიპანოსომას გადარჩენისთვის რითია სასარგებლო უჯრედის ზედაპირზე განლაგებული ცილების სინთეზის უნარი?
2. არის თუ არა ეგლენა წყალმცენარე? ახსენით თქვენი პასუხი.

კონცეფტია 28.4

ალვეოლატების პლაზმოქს მემბრანასთან განლაგებულია ციმატაკები

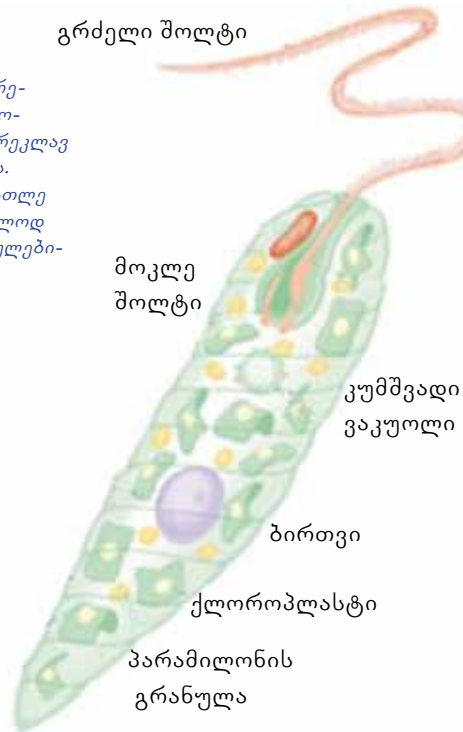
ალვეოლატები (Alveolata) უმარტივესების კლადაა, რომლის იდენტიფიკაცია მოლეკულური სისტემატიკის საფუძველზე მოხდა. მათთვის დამახასიათებელია პლაზმოქს მემბრანის შიგნით განლაგებული და მასთან მიმაგრებული ციმატაკები (ალვეოლები) (სურათი 28.9). ალვეოლების ფუნქცია უცნობია; მკვლევრები ვარაუდობენ, რომ ისინი ალ-



ევგლენა (LM) 5 μm

პელიკულა: პლაზმური მემბრანის უკან განლაგებული ცილის შრე, რომელიც სიმკვირივესა და მოქნილობას უზრუნველყოფს (ევგლენას უჯრედის კედელი არა აქვს).

გრძელი შოლტი



ფოტომიმლეზი: გრძელი შოლტის ფუძის ახლოს მდებარე ამოზნექილი ადგილი; გრძელ სინათლეს, რომელიც თვალაკით არ იბლოკება. ამის შედეგად ევგლენა სინათლის მიმართულებით შესაბამისი ინტენსიურობით მოძრაობს. ეს მნიშვნელოვანი ადაპტაცია ფოტოსინთეზის ალბათობას ზრდის.

▲ **სურათი 28.8** ევგლენა - ევგლენასნაირი, რომელსაც ჩვეულებრივ გუბეში პოულობენ.

0,2μm შოლტი ალვეოლა



▲ **სურათი 28.9** ალვეოლატები. ალვეოლატების განმასხვავებელი ნიშანია პლაზმური მემბრანასთან განლაგებული ტომარაკები (TEM).

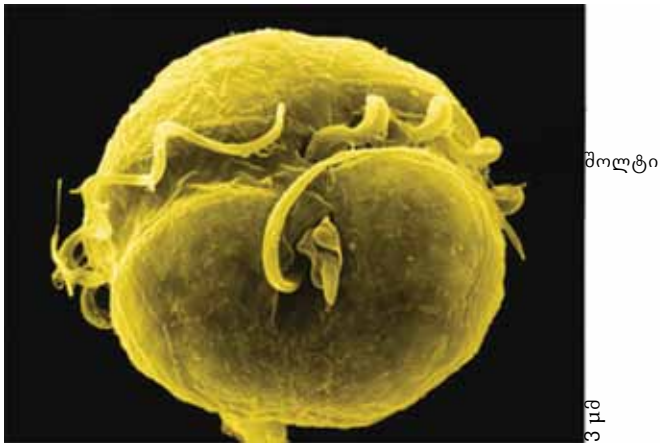
ბათ ხელს უწყობენ უჯრედის ზედაპირის სტაბილურობას ან უჯრედში წყლისა და იონების შემცველობას არეგულირებენ. ალვეოლატებში გაერთიანებულია სამი ჯგუფი: შოლტიანები

(dinoflagellates) პარაზიტები (apicomplexans) და წამწამების საშუალებით მოძრავი უმარტივესები (ciliates).

პირთფიტული წყალმცენარეები (dinoflagellates)

პირთფიტული წყალმცენარეები როგორც მლაშე, ასევე მტკნარი წყლის ფიტოპლანქტონის მრავალრიცხოვანი ორგანიზმებია. ხშირად გვხვდება ჰეტეროტროფული პირთფიტული წყალმცენარეებიც. ამჯერად ცნობილია პირთფიტული წყალმცენარეების რამდენიმე ათასი სახეობა. მათი უმეტესობა ერთუჯრედიანია, ზოგი კოლონიურია. ყოველ სახეობას აქვს დამახასიათებელი ფორმა, რომელსაც მეტ სიმყარეს ხშირად ცელულოზის შინაგანი შრეები ანიჭებენ. ამ შრეების პერპენდიკულარულ ღარებში განლაგებულია ორი შოლტი, რომელთა საშუალებით ორგანიზმი წყალში მოძრაობისას ბრუნავს (ბერძნულად *dinos* – მბრუნავია) (სურათი 28.10).

პირთფიტული წყალმცენარეების ყვავილობამ – პოპულაციის დემოგრაფიული აფეთქების ეპიზოდმა – შეიძლება წარმოქმნას ფენომენი, რომელიც ცნობილია სანაპიროს წყლების „წითელი მოქცევის“ სახელით. ყვავილობა მოყვანისფრო წითელი ან მოვარდისფრო-წარინჯისფერია, ამ შეფერილობას განაპირობებს კაროტინოიდები – პირთფიტული წყალმცენარეების პლასტიდების ყველაზე მრავალრიცხოვანი პიგმენტები. ზოგი პირთფიტული წყალმცენარე გამოყოფს ტოქსინებს, რომლებმაც შეიძლება უხერხემლოებისა და თევ-



▲ სურათი 28.10 *Pfiesteria shumwayae*, პიროფიტული წყალმცენარე. ალვეოლატა ბრუნავს სპირალური შოლტის დარტყმებით, რომელიც განლაგებულია უჯრედის გარშემო არსებულ ლარში (შეღებლია SEM).

ზების მასობრივი დახოცვა გამოიწვიონ. თუ ადამიანი შეჭამს მოლუსკებს, რომლებშიც ეს შხამი დაგროვდა, ის მასზეც იმოქმედებს და ხანდახან მის სიკვდილსაც იწვევს.

ზოგი პიროფიტული წყალმცენარე ეფექტური ბიოლუმინესცენცია: ღამით, როცა ტალღები, ნავები ან მოცურავეები პიროფიტული წყალმცენარეების მჭიდრო პოპულაციის ადგილას მოძრაობენ, პტშ-ის გადატანის ქიმიური რეაქციის შედეგად ზებუნებრივი ნათება წარმოიქმნება. ბიოლუმინესცენციის ერთ-ერთი შესაძლებელი ფუნქციაა პიროფიტული წყალმცენარეებით მკვებავი ორგანიზმებისგან დაცვა, რადგანაც სინათლე იზიდავს თევზებს, რომლებიც პიროფიტული წყალმცენარეების მოყვარულებით იკვებებიან.

ზოგი პიროფიტული წყალმცენარე მარჯნის პოლიპების - ცხოველების, რომლებიც მარჯნის რიფებს აშენებენ - მუცულისტი სიმბიონტია. პიროფიტული წყალმცენარეების ფოტოსინთეზის პროდუქტი რიფების თანასაზოგადოებების მთავარი საკვებია.

აპიკომპლექსები ანუ სპორიანები

ყველა სპორიანი ცხოველების პარაზიტია, ზოგი მათგანი ადამიანის სერიოზულ დაავადებებს იწვევს. პარაზიტები მასპინძელში პატარა, ინფექციის გადამტანი უჯრედების - სპოროზოიტების სახით ვრცელდებიან. აპიკომპლექსებს ეს სახელი იმიტომ დაარქვეს, რომ სპორიანი უჯრედის ერთ ბოლოზე (აპექსზე) მასპინძლის უჯრედებისა და ქსოვილების გასარღვევად სპეციალიზირებული ორგანოების კომპლექსი აქვთ. სპორიანებს აქვთ პლასტიდა - აპიკოპლასტი, რომელიც ფოტოსინთეზს არ აწარმოებს. ამის მიუხედავად, სპორიანების აპიკოპლასტი სასიცოცხლო მნიშვნელობის ფუნქციებს მაინც ასრულებს, მაგალითად ცხომოვანი მჟავების სინთეზს.

აპიკომპლექსების უმეტესობის სასიცოცხლო ციკლი ძალიან რთულია და როგორც სქესობრივ, ასევე უსქესო სტადიებს მოიცავს. ასეთი სასიცოცხლო ციკლის დასამთავრებლად ხშირად საჭიროა ორი ან მეტი სხვადასხვა სახეობის

მასპინძელი. მაგალითად, მალარიის გამომწვევი პარაზიტი - პლაზმოდიუმი როგორც კოლოებში, ასევე ადამიანებში ბინადრობს (სურათი 28.11, შემდეგ გვერდზე).

1960 წლებში დაიწყო მალარიის გამავრცელებელი კოლო ანოფელესის საწინააღმდეგო ინსექციტიდების წარმოება და მალარიის საწინააღმდეგო წამლების გამოყენება, რომლებიც დაინფიცირებულ ადამიანში პლაზმოდიუმს კლავენ. ამის შედეგად მალარიის შემთხვევების რაოდენობა მნიშვნელოვნად შემცირდა. მაგრამ მალარია ნელ-ნელა აღდგა, ვინაიდან გაიზარდა როგორც ინსექციტიდების მიმართ რეზისტენტული კოლოების, ასევე წამლის მიმართ რეზისტენტული პლაზმოდიუმების რაოდენობა. ტროპიკულ ქვეყნებში ამჟამად მალარიით დაავადებულია დაახლოებით 300 მილიონი ადამიანი, რომელთაგან ყოველ წელს 2 მილიონი იღუპება.

მალარიის საწინააღმდეგო ვაქცინის შექმნას ის ართულებს, რომ პლაზმოდიუმი უმეტეს დროს ადამიანის უჯრედებში ატარებს და იმუნური სისტემის მოქმედებისთვის მიუწვდომელია. ტრიპანოსომას მსგავსად, პლაზმოდიუმიც განუწყვეტილად ცვლის უჯრედის ზედაპირზე განლაგებულ ცილებს. მალარიის საწინააღმდეგო ახალი მეთოდების შემუშავების აუცილებლობამ განაპირობა პლაზმოდიუმის გენომის სეკვენირება. მკვლევრებმა 2003 წლისთვის დაადგინეს პარაზიტის გენების უმეტესობის გამოვლენა მისი სასიცოცხლო ციკლის სხვადასხვა ეტაპზე. კვლევამ უნდა დაეხმაროს მეცნიერებს ვაქცინის მოქმედების ახალი შესაძლო მიზანის გამოავლენაში.

წამწამიანები

წამწამიანები უმარტივესების მრავალფეროვანი ჯგუფია, რომლებიც მოძრაობისას და საკვების მოსაპოვებლად წამწამებს იყენებენ. ეს სახელიც ამიტომ დაერქვათ. წამწამები უჯრედის ზედაპირს ან მთლიანად ფარავენ, ან რამდენიმე მწკრივს ან კონას ქმნიან. ზოგ სახეობაში, მაგალითად *Stentor* (იხილეთ სურათი 28.2ა) მჭიდროდ განლაგებული წამწამების მწკრივები მოძრაობისას ერთად ფუნქციონირებენ. სხვა წამწამიანები სწრაფად მოძრაობენ ფეხისმაგვარი სტრუქტურების საშუალებით, რომლებსაც ერთმანეთთან შეერთებული მრავალი წამწამი ქმნის. წამწამების მოძრაობას მიკრომილაკების სუბმემბრანული სისტემა არეგულწამწამიანების საიდენტიფიკაციო თვისებაა ორი ტიპის ბირთვი: დიდი - მაკრონუკლეუსი და მცირე - მიკრონუკლეუსი. უჯრედში შეიძლება ყოველი ტიპის ერთი ან მეტი ბირთვი იყოს. როგორც წესი, ყოველ მაკრონუკლეუსში წამწამიანის გენომის ათეულობით ასლია. გენები ქრომოსომებში არ ლაგდებიან, ისინი მცირე კოპლექტებს ქმნიან, რომელთაგან ყოველი რამდენიმე გენის მრავალი ასლის მატარებელია. მაკრონუკლეუსის გენები ყოველდღიურ ფუნქციებს აკონტროლებენ, მაგალითად კვებას, ნარჩენების განდევნასა და წყლის ბალანსის შენარჩუნებას. 28.12 სურათის ზედა ნაწილზე გამოსახულია წამწამიანი პარამეციუმი, რომლის მაგალითზე განხილულია ეს ფუნქციები.

წამწამიანები ძირითადად უსქესოდ, ორად დაყოფით,

კონცეფცია ცისცი 28.4

1. რა მორფოლოგიური თვისება შეესაბამება მოლეკულურ მონაცემებს, რომელთა მიხედვით პიროფიტული წყალმცენარეები, სპორიანები და წამწამიანები ერთ კლასში შედიან?
2. „ნითელმა მოცეცვამ“ შეიძლება ჯანმრთელობის პრობლემა შეუქმნას ადამიანებს, რომლებიც ამ ადგილას მოპოვებული ზღვის პროდუქტებით იკვებებიან. რატომ?
3. რატომ არ არის სწორი წამწამებში მიმდინარე კონიუგაცია რეპროდუქციის ფორმად ჩაეთვალო?

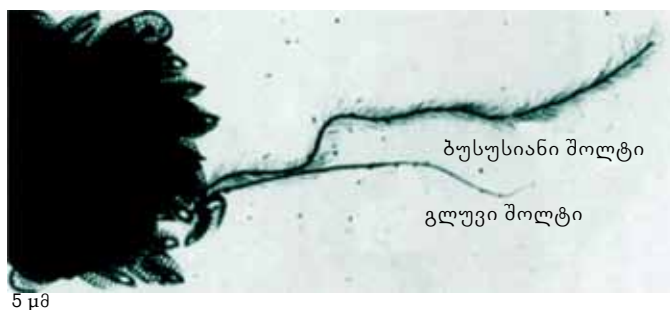
კონცეფცია 28.5

სტრამენოფილს აქვთ „ბუსუსებიანი“ და გლუვი შოლცები

კლასი სტრამენოფილებში (Stramenopila, იგივე ჰეტეროკონტები) შედის როგორც ჰეტეროტროფების რამდენიმე ჯგუფი, ასევე წყალმცენარეების კონკრეტული ჯგუფები. კლასს სახელი (ლათინურად *stramen* – ჩალა, და *pilos* – თმა) დაერქვა იმ შოლტის გამო, რომელსაც მრავალი, ნაზი, თმისმაგვარი გამონაზარდი აქვს, რაც ამ უმარტივესების დამახასიათებელი ნიშანია. სტრამენოფილების უმეტესობაში „ბუსუსებიანი“ შოლტი „გლუვი“ (უთმო) შოლტთან დაწყვილებულია (სურათი 28.13). სტრამენოფილების ზოგ ჯგუფში შოლტიანია მხოლოდ მოძრავი, რეპროდუქციული უჯრედები.

ოომიცეტები (ქალის თმა და ნათესავები)

ოომიცეტებში შედის წყლის ობი, თეთრი ჟანგი და ვაზის ჭრაქი. ადრეული მორფოლოგიური კვლევებიდან გამომდინარეობდა, რომ ეს ორგანიზმები სოკოებია (oomyce „სოკოს კვერცხს“ ნიშნავს). ოომიცეტების უმეტესობას აქვს მრავალ-



▲ **სურათი 28.13** სტრამენოფილას შოლტი. სტრამენოფილების უმეტესობას, მაგალითად *Synura petersenii* - ს, აქვს ორი შოლტი: ერთი დაფარულია თხელი, ხშირი ბუსუსებით, ერთი კი გლუვია.

ბირთვიანი ძაფები (ჰიფები) რომლებიც სოკოების ჰიფებს გვანან. თუმცა ოომიცეტებსა და სოკოებს შორის მნიშვნელოვანი სხვაობაა. როგორც წესი, ოომიცეტების უჯრედის კედელი ცელულოზისგან შედგება, სოკოების უჯრედის კედელი კი სხვა პოლისაქარიდისგან — ქიტინისგან. ოომიცეტების უმეტესობის სასიცოცხლო ციკლში დიპლოიდური მდგომარეობა ჭარბობს, რომელიც სოკოებში რედუცირებულია. ოომიცეტებს აქვს შოლტიანი უჯრედები, თითქმის ყველა სოკოს კი შოლტი არა აქვს. მოლეკულური სისტემატიკის საშუალებით დადგინდა, რომ ოომიცეტები სოკოების ახლო ნათესავები არ არიან. მათი გარეგნული მსგავსება კი კონვერგენტული ევოლუციის შედეგია (იხილეთ თავი 25). ორივეში, ოომიცეტებსა და სოკოებშიც, ძაფისმაგვარი სტრუქტურების ზედაპირის მოცულობასთან შეფარდების მაღალი კოეფიციენტი ზრდის ორგანიზმის გარემოდან საკვების ათვისების უნარს.

თუმცა ოომიცეტები პლასტიდების მატარებელი წინაპრების შთამომავლებია, მათ არც პლასტიდები და არც ფოტოსინთეზის უნარი აღარ აქვთ. ისინი ძირითადად პარაზიტებია ან რედუცენტები. წყლის ობის სახეობების უმეტესობა რედუცენტია, ისინი ძირითადად მტკნარ წყალში, მკვდარ წყალმცენარეებსა და ცხოველებზე ბუსუსებიანი მასის სახით იზრდებიან (სურათი 28.14). თეთრი ჟანგი და ვაზის ჭრაქი ხმელეთზე მოზინადრე მცენარეების პარაზიტებია. მათი სპორები ძირითადად ქარით ვრცელდება, თუმცა სასიცოცხლო ციკლის გარკვეულ მომენტში ისინი შოლტიან ზოოსპორებს ქმნიან.

ოომიცეტების ეკოლოგიური გავლენა შეიძლება ძალიან დიდი იყოს. მაგალითად, ოომიცეტა *phytophthora infestans* კარტოფილის დაავადებას, ფიტოფტოროზს იწვევს, რომლის შედეგად კარტოფილის ღერო და ყუნწი შავ ლორწოდ გადაიქცევა. ფიტოფტოროზი იყო მეცხრამეტე საუკუნეში ირლანდიაში მომხდარი გამანადგურებელი შიმშილის მიზეზი, რომლის შედეგად მილიონი ადამიანი დაიღუპა და თითქმის ამდენივემ ირლანდია დატოვა. ეს დაავადება დღესაც დიდი პრობლემაა. ის იწვევს შეერთებულ შტატებში მოსავლის 15%-იან დანაკარგს. რუსეთის იმ ნაწილებში, სადაც პესტიციდებს არ იყენებენ კი 70%-ანს. პათოგენის უკეთესი კვლევისთვის მოლეკულურმა ბიოლოგიებმა 1840 წლის ირლანდიური დაავადებული კარტოფილიდან ფიტოფტორას დნმ გამოყვეს. გენეტიკური კვლევებით დადასტურდა, რომ ოომიცეტამ ბოლო ათწლეულების განმავლობაში მეტი პათოგენურობის და პესტიციდების მიმართ მეტი მდგრადობის გენები შეიძინა. მეცნიერები დაავადების წინააღმდეგ ახალი საშუალებების შესაქმნელად როგორც ფიტოფტორას, ასევე კარტოფილის გენომს იკვლევენ. მაგალითად, 2003 წელს მკვლევრების გუნდმა ფიტოფტორიზის მიმართ რეზისტენტული გარეული კარტოფილიდან გენები გადაიტანა და ფიტოფტორიზის მიმართ რეზისტენტული კარტოფილის ხაზი გამოიყვანა.

კაქოჯანი წყალმცენარეები (Diatomeae)

კაქოჯანი წყალმცენარეები (ლათ. Diatomeae, anu Bacillariophyta) ერთუჯრედიანი წყალმცენარეებია, რომელთა უჯრედს ორგანულ მატრიქსში მოთავსებული და ჰიდრატ-

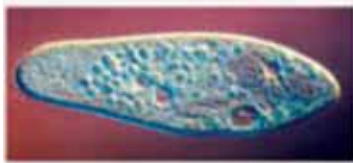
კვლევა: წამწამიანი *Paramecium caudatum*-ის სტრუქტურა და ფუნქცია

კვება, ნარჩენების გამოყოფა და წყლის ბალანსი.

პარამეციუმი მტკნარი წყლის სხვა უმარტივესების მსგავსად, ჰიპოტონური გარემოდან წყალს ოსმოსის გზით მუდმივად იღებს. რადიალური არხებიდან ბუშტის მსგავს კუმშვად ვაკუოლში ზედმეტი წყალი გროვდება და პლაზმური მემბრანის გავლით გარეთ პერიოდულად გამოიდევენება.

პარამეციუმის ზედაპირის ათასობით წამწამი ფარავს.

50 μm



კუმშვადი
ვაკუოლი

პარამეციუმი ძირითადად ბაქტერიებით იკვებება. წამწამების რიგები განლაგებულია ძაბრის ფორმის პირის ჩაღრმავებასთან, საკვები უჯრედის „პირში“ წამწამების მოძრაობით ხვდება. აქ მას საკვები ვაკუოლებით ფაგოციტოზის საშუალებით შთაინთავს.

პირის ღარი

უჯრედის პირი

საკვები ვაკუოლები დაკავშირებულია ლიზოსომებთან. საკვების მონელების შემდეგ ვაკუოლი უჯრედში მარყუჟის ფორმის გზით მოძრაობს.

საკვები ვაკუოლის მოუნელებელი ნაწილი გამოიყოფა, როცა ვაკუოლი პლაზმური მემბრანის სპეციალიზირებულ რეგიონს ემაგრება, რომელიც ანალური ხვრელის მსგავსად ფუნქციონირებს.

კონიუგაცია და გამრავლება

1. დაწყებულად ორი უჯრედი ერთმანეთის გვერდი-გვერდ ლაგდება და ერთმანეთს ნაწილობრივ ერწყმის.

2. მიკრობირთვი გადის მეოთხე. ყოველ უჯრედში ოთხი ჰაპლოიდური მიკრობირთვი წარმოიქმნება.

3. ოთხიდან სამი მიკრობირთვი იშლება. დარჩენილი მიკრობირთვი მიტოზით იყოფა.

4. უჯრედები ერთ მიკრობირთვს ცვლიან.

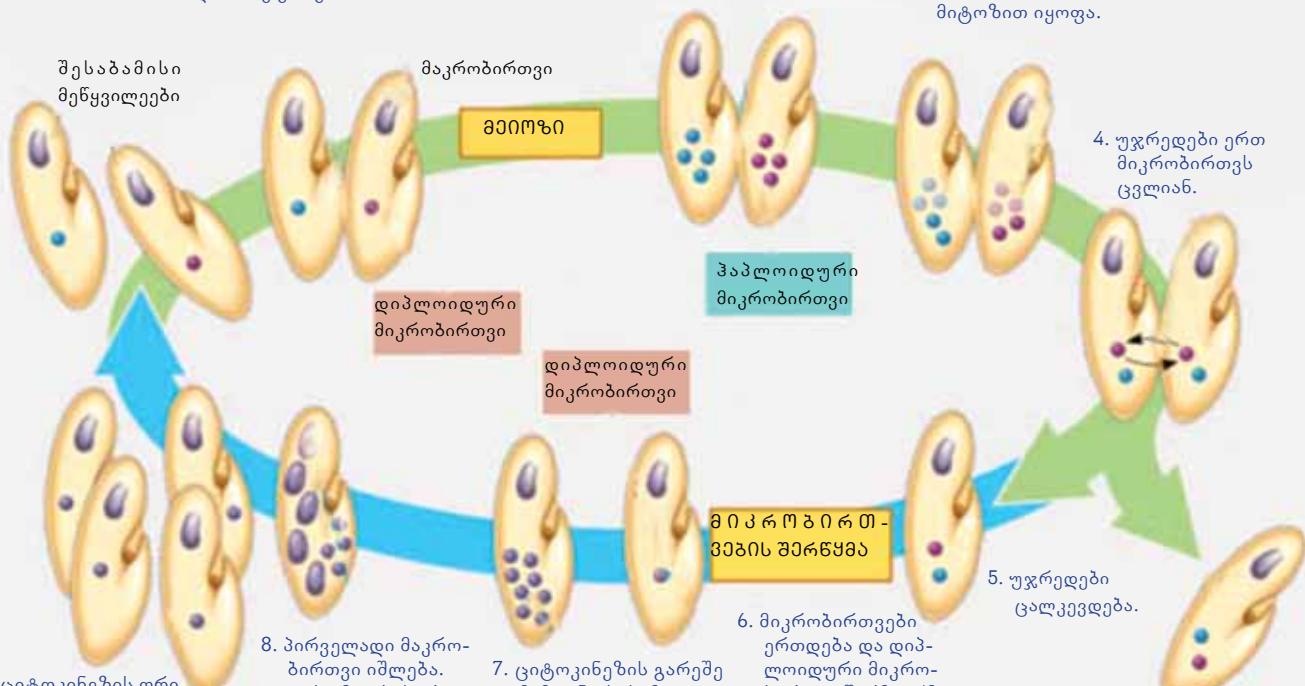
5. უჯრედები ცალკეედება.

6. მიკრობირთვები ერთდება და დიპლოიდური მიკრობირთვი წარმოიქმნება.

7. ციტოკინეზის გარეშე მიმდინარე სამი მიტოზური დაყოფის შედეგად რვა მიკრობირთვი წარმოიქმნება.

8. პირველადი მაკრობირთვი იშლება. ოთხი მიკრობირთვი მაკრობირთვებად გარდაიქმნება, დანარჩენი ოთხი მიკრობირთვებად რჩება.

9. ციტოკინეზის ორი რაუნდის შედეგად უჯრედი ოთხად იყოფა. თითოეულში ერთი მაკრობირთვი და ერთი მიკრობირთვი ხვდება.



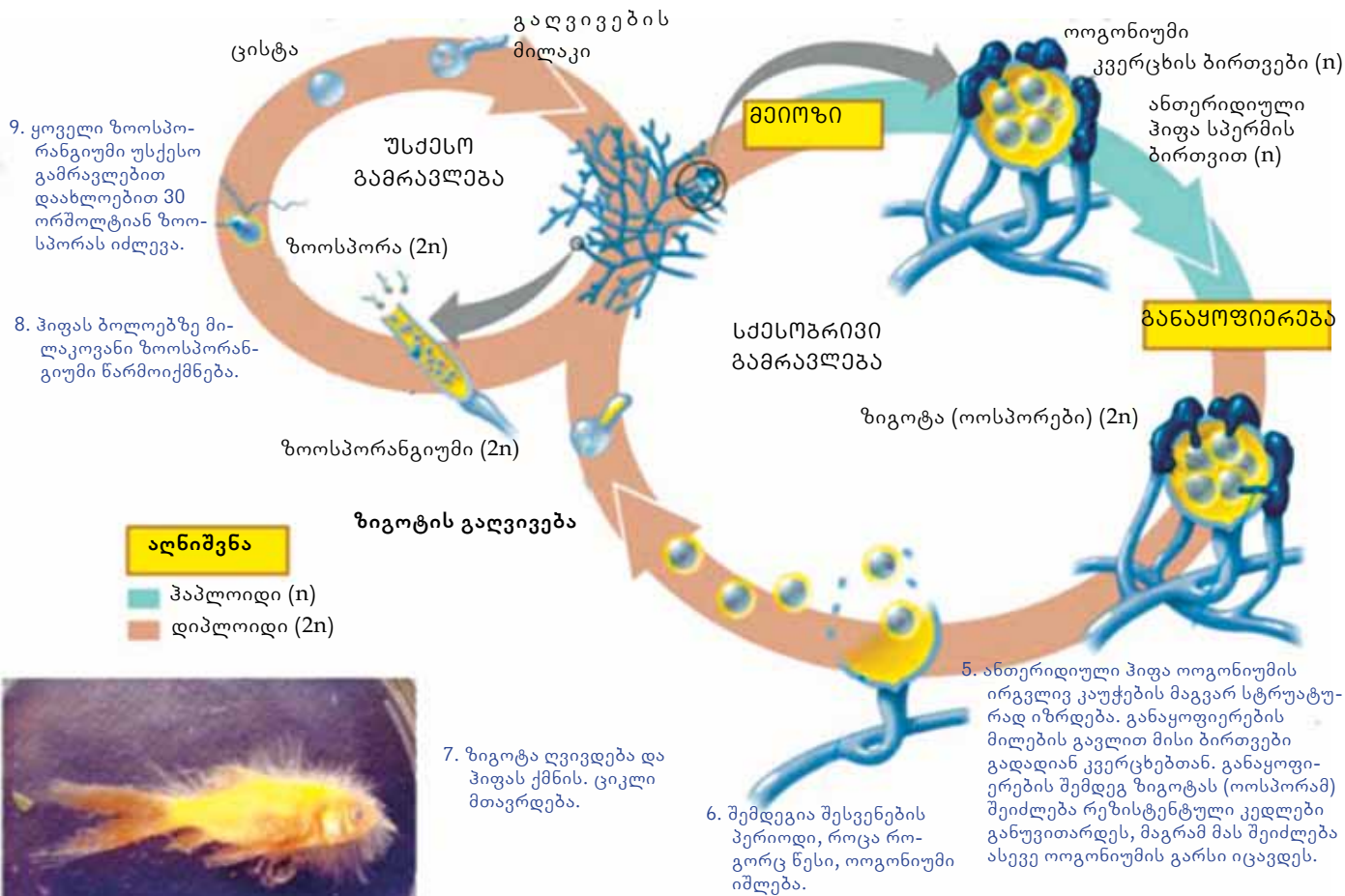
გასაღები
კონიუგაცია
გამრავლება

1. კაპსულირებული ზოოსპორები სუბსტრატზე ილექება და კვირტებს იძლევა, რომლებიც ჰიპების დატოტვილ სხეულად იზრდება.

2. რამდენიმე დღეში ჰიფებში სქესობრივი სტრუქტურების ფორმირება იწყება.

3. მეიოზის შედეგად ოოგონიუმში კვერცხი წარმოიქმნება.

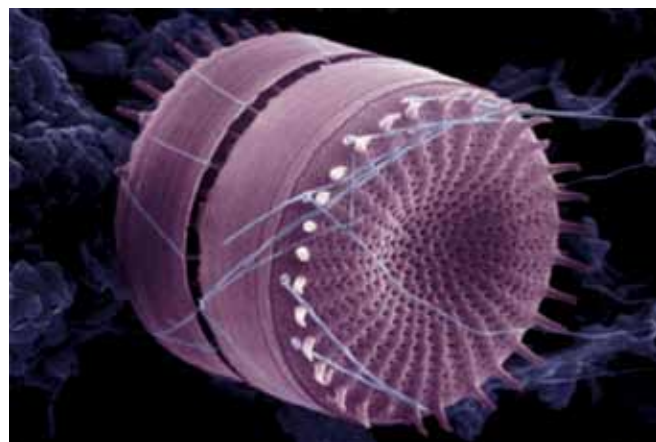
4. იგივე ან სხვა ინდივიდის სხვა ტოტებზე მეიოზის შედეგად სპერმის რამდენიმე ჰაპლოიდური ბირთვი წარმოიქმნება, რომლებიც ანთერიდიულ ჰიფაში ჩერდება.



▲ **სურათი 28.14** წყლის ობის სასიცოცხლო ციკლი. მტკნარ წყალში წყლის ობი მწერებს, თევზებსა და სხვა მკვდარ ცხოველებს შლის. (ყურადღება მიაქციეთ სურათზე მარცხნივ, ქვევით, ოქროს თევზზე გამოსახულ ჰიფებს).

ირებული კვარცისგან შემდგარი უნიკალური, შუშის მსგავსი კედელი აქვს. ის ორი ნაწილისგან შედგება, რომლებიც ფეხსაცმლის კოლოფისა და მისი სახურავის მსგავსად გადაიფარება (სურათი 28.15). კედლები მტაცებლის ყბებისგან ეფექტურ დაცვას უზეუნვეცყოფენ: 2003 წელს გერმანელმა მკვლევარებმა აღმოაჩინეს, რომ ცოცხალი კაჟოვანი წყალმცენარეები დაახლოებით 1,4 მილიონ კგ/მ2 წნევას უძლებენ. ეს იგივე წნევაა, რომელიც მაგიდის ფეხზე მოვა, თუ მასზე სპილო დადგება! დიატომების ძალის უმეტეს ნაწილს უზრუნველყოფს მათი უჯრედის კედელში არსებული ნახვრეტებისა და ღარების ნატიფი ბადე. უჯრედის კედელი გლუვი რომ ყოფილიყო, მის დასამტვრევად 60%-ით ნაკლები ძალა იქნებოდა საჭირო.

წლის უმეტესი ნაწილის განმავლობაში კაჟოვანი წყალმცენარეები უსქესოდ, მიტოზით მრავლდებიან. ამ დროს ყოველი შვილობილი უჯრედი მშობლიური უჯრედის კედელ-



▲ **სურათი 28.15** მტკნარი წყლის კაჟოვანი წყალმცენარეები (შეღებილი SEM).

ფიქ



50µm

▲ სურათი 28.16 კაუოვანი წყალმცენარეების მრავალფეროვნება (LM).

ის ნახევარს იღებს და ახალ კედელს ქმნის, რომელიც ძველზე შიგნიდან მორგებულია. ზოგი სახეობას ცისტის სახით რეზისტენტული სტადია ახასიათებს. კაუოვან წყალმცენარეებში სქესობრივი გამრავლება იშვიათია. ამ დროს წარმოქმნება კვერცხუჯრედი და სპერმა; სხვადასხვა სახეობებში სპერმის უჯრედები შეიძლება ამეობიდური ან შოლტიანი იყოს.

კაუოვანი წყალმცენარეები უმარტივესების ძალიან მრავალფეროვანი ჯგუფია. დღეისთვის იდენტიფიცირებულია 100,000 სახეობა (სურათი 28.16). ისინი როგორც ოკეანეების, ასევე ტბების ფიტოპლანქტონის ძირითადი შემადგენელი ნაწილია: ზღვის ზედაპირიდან აღებული წყლის ერთი კასრი შეიძლება მილიონობით მიკროსკოპულ წყალმცენარეს შეიცავდეს. ოქროსფერი და მურა წყალმცენარეების მსგავსად, კაუოვანები საკვებს გლუკოზის პოლიმერის - ლამინარინის ფორმით ინახავენ. ზოგი კაუოვანი წყალმცენარე საკვებს ზეთოვანი ნივთიერების სახით ინახავს.

დანალექი ქანების ძირითადი კომპონენტია ნამარხი კაუოვანი წყალმცენარეების კედლების უზარმაზარი რაოდენობა, რომელიც ცნობილია კიხელგურის სახელით. მას ფილტრების მოსამზადებლად და სხვა მრავალი მიზნისთვის მოიპოვებენ. აღსანიშნავია კაუოვანების შენატანი ნანოტექნოლოგიის განვითარებაში, სხვადასხვა ფორმის მიკროსკოპული დეტალების სახით. კაუოვანები ნიჟარების მშენებლობისას მიკროსკოპული კომპონენტების რთულ, სამგანზომილებიან ერთობას ქმნიან. ნანო-ინჟინერებისთვის ეს პროცესი მინიატურული ძრავების, ლაზერებისა და სამედიცინო აღჭურვილობის სისტემების შექმნის ხერხია. ისინი იმაზეც კი ფიქრობენ, რომ შეცვალონ კაუოვანების დნმ ადამიანისთვის სპეციფიკური სტრუქტურების შესაქმნელად.

ოქროსფერი წყალმცენარეები

ოქროსფერ წყალმცენარეებს ანუ chrysophyta-s (ბერძნულად *chrysos* – ოქროსფერი), სახელი ფერის გამო დაერქვა, რომელსაც ყვითელი და ყავისფერი კაროტინოიდები განაპირობებს. როგორც წესი, ოქროსფერი წყალმცენარეების უჯრედები ორშოლტიანია. ორივე შოლტი მიმავრებულია უჯრედის ერთ ბოლოსთან. მრავალი ოქროსფერი წყალმცენარე



▲ სურათი 28.17 ოქროსფერი კოლონიური წყალმცენარე — დინობრიონი, რომელიც მტკნარ წყალში ბინადრობს (LM).

რე მტკნარი წყლისა და ზღვის პლანქტონის შემადგენელი ნაწილია. ყველა ოქროსფერი წყალმცენარე ფოტოსინთეზს აწარმოებს, მაგრამ, ამავე დროს ზოგი სახეობა მიქსოტროფია. მათ გახსნილი ორგანული კომპონენტების აბსორბცია ან ფაგოციტოზის გზით საკვების ნაწილაკებისა და პროკარიოტების მონელება შეუძლია. სახეობების უმეტესობა ერთუჯრედიანია, მაგრამ ზოგი, მაგალითად მტკნარი წყლის გვარი *Dinobryon*-ი, კოლონიურია (სურათი 28.17). თუ უჯრედების სიმჭიდროვემ გარკვეულ დონეს გადააჭარბა, ბევრი სახეობა ქმნის რეზისტენტულ ცისტას, რომელიც ათწლეულების განმავლობაში არსებობს.

მურა წყალმცენარეები

ყველაზე დიდი და რთული აგებულების წყალმცენარეა მურა წყალმცენარე - phaeophyta (ბერძნულად *phaeos* — მუქი, ყავისფერი). ყველა მათგანი მრავალუჯრედიანია, უმეტესობა ზღვის ბინადარია. მურა წყალმცენარეები ფართოდ გავრცელებულია ზომიერი სარტყელის სანაპირო ზოლის ცივ წყლებში. მათთვის დამახასიათებელია ყავისფერი ან მუქი შეფერილობა, რომელსაც პლასტიდებში არსებული კაროტინები განაპირობებს. მათი პლასტიდები ოქროსფერია და კაუოვანი წყალმცენარეების პლასტიდების ჰომოლოგიურია.

მურა წყალმცენარეებში შედის მრავალი სახეობა, რომელსაც ჩვეულებრივ ზღვის წყალმცენარეებს ეძახიან (ზოგი დიდი ძონეული და მწვანე წყალმცენარეების მრავალუჯრედიან სახეობებსაც წყალმცენარეებს მიაკუთვნებენ. ჩვენ



▲ **სურათი 28.18** ოკეანის ნაპირთან ცხოვრებასთან ადაპტირებული წყალმცენარეები. ზღვის პალმა (*Postelsia*) ჩრდილო-დასავლეთი შეერთებული შტატებისა და დასავლეთი კანადის სანაპიროსთან, კლდეებზე ბინადრობს. ამ მურა წყალმცენარის თაღუსი კარგადაა ადაპტირებული. ის მტკიცედაა დამაგრებული და მიმოქცევის დიდ ტალღებს შესანიშნავად უძლებს.

მათზე ამ თავში, მოგვიანებით, ვისაუბრებთ). ამ წყალმცენარეებს ყველა სხვა წყალმცენარეებთან შედარებით რთული, მრავალუჯრედიანი აგებულება ახასიათებს. ზოგს სპეციალიზირებული ქსოვილებიც და ორგანოებიც აქვს, რომლებიც ხმელეთის მცენარეების შესაბამის ორგანოებს წააგავს. მაგრამ მრავალი კვლევა ადასტურებს, რომ წყალმცენარებისა და ხმელეთის მცენარეების ევოლუციურ შტოებში მსგავსება დამოუკიდებლად განვითარდა და ანალოგიას, და არა ჰომოლოგიას წარმოადგენს.

თაღუსი (ბერძნულად *thallos* – ყლორტია) წყალმცენარის სხეულს დაერქვა, რომელიც ხმელეთის მცენარეების სხეულის მსგავსია. ხმელეთის მცენარის სხეულისგან განსხვავებით, თაღუსს ნამდვილი ფესვები, ღეროები და ფოთლები არა აქვს. წყალმცენარის ტიპური თაღუსი შედგება ფესვისმაგვარი **“კავისგან”**, რომლითაც ის ნიადაგს ემაგრება, ღეროსმაგვარი **ლე-რძისგან**, რომელსაც ემაგრება ფოთლისმაგვარი **ფირფიტები** (სურათი 28.18). ფოტოსინთეზი ძირითადად ფოთლისმაგვარ ფირფიტებში ხდება. ზოგ მურა წყალმცენარეს აქვს “ტივტივა”, რომლის საშუალებით ფირფიტები წყლის ზედაპირთან ახლოს ჩერდებიან. მიმოქცევის ზონიდან მოშორებით, ღრმა წყლებში, გიგანტური წყალმცენარე ლამინარია ბინადრობს (სურათი 28.19). ამ მურა წყალმცენარის ღერძმა შეიძლება სიგრძეში 60 მეტრს მიაღწიოს.

მიმოქცევის ზონაში მობინადრე წყალმცენარეებმა უნდა ტალღების დარტყმის ძალას და უკუქცევას გაუძლონ (დღეში ორჯერ), რომლის შედეგად წყალმცენარე მშრალი ატმოსფეროსა და ინტენსიური გამოსხივების გავლენის ქვეშ ექცევა. უნიკალური ადაპტაციები ხელს უწყობს წყალმცენარეების გადარჩენას. მაგალითად, მათი უჯრედების გარსი ცელუ-



▲ **სურათი 28.19** ლამინარიის ტყე. ზომიერ სანაპირო წყლებში მობინადრე ლამინარია უამრავი ორგანიზმის ჰაბიტატია და საკვების წყაროც (სარეწაო მნიშვნელობის თევზების მრავალი სახეობის ჩათვლით). *Macrocystis* გვარის წარმომადგენელი, ჩვეულებრივი ლამინარია, რომელიც შეერთებული შტატების სანაპიროებთან წყნარ ოკეანეში ბინადრობს, შეიძლება ერთ სეზონში 60 მეტრამდე გაიზარდოს. სხვა ორგანიზმთან შედარებით ის ყველაზე სწრაფ ხაზობრივ ზრდას ავლენს.

ლოზისგან და ჟელეს მაგვარი პოლისაქარიდებისგან შედგება, რაც თაღუსზე ტალღების დარტყმას ამცირებს და უკუქცევისას წყალმცენარეს ამოშრობისგან იცავს.

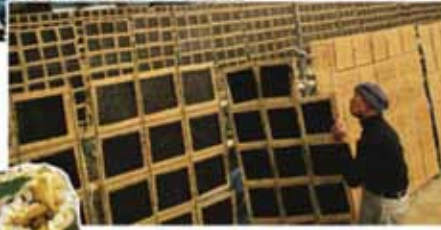
ადამინის მიერ წყალმცენარეების გამოყენება

წყალმცენარეები – მურა და მრავალუჯრედიანი ძონეული და მწვანე წყალმცენარეები - ადამიანისთვის მნიშვნელოვანი რესურსია. მრავალ წყალმცენარეს საკვებად იყენებენ. მაგალითად, მურა წყალმცენარე ლამინარიას (იაპონურად „კომბუ“) წვნიანის მოსამზადებლად იყენებენ, ძონეული წყალმცენარე პორფირასგან (იაპონურად „ნორი“) ხრაშუნა ფირფიტებს ამზადებენ ან მის ფირფიტებში სუშის ახვევენ (სურათი 28.20). წყალმცენარის უჯრედის გარსის ჟელესმაგვარ ნივთიერებას (მურა წყალმცენარეებში - ალგინი, ძონეული წყალმცენარეებში - აგარი და კარაგინანი) მრავალი საკვების მომზადებისას იყენებენ, მაგალითად: პუდინგის, ნაყინისა და სალათის საწებლების.



(ა) წყალმცენარეები ბადეზე ნაპირის წყალმარჩ ადგილზე იზრდება.

(ბ) მუშა წყალმცენარეებს ბამბუკის ფიცრებზე გასაშრობად ათავსებს.



(გ) ქალაქის ფურცლის სისქის ნორის პრილა, მინარელებით მდიდარ ფირფიტებს ზღვის პროდუქტებისგან და ბოსტნეულისგან სუშის მომზადებისას იყენებენ.

▲ **სურათი 28.20** საკვებად ვარგისი წყალმცენარეები. ნორი ტრადიციული იაპონური საკვებია, რომელსაც წყალმცენარე პორფირასგან ამზადებენ (ძონეული წყალმცენარე, რომელზეც ამ თავში უფრო დანვრილებით ვისაუბრებთ).

თაობათა მონაცვლეობა

მრავალუჯრედიან წყალმცენარეებში სხვადასხვა სასიცოცხლო ციკლი განვითარდა. ყველაზე რთულია სასიცოცხლო ციკლი, რომელსაც **თაობათა მონაცვლეობა** ახლავს ანუ ჰაპლოიდური და დიპლოიდური ფორმები ერთმანეთს ენაცვლება. მაგრამ ჰაპლოიდური და დიპლოიდური მდგომარეობის მონაცვლეობა ყველა სქესობრივი სასიცოცხლო ციკლის შემადგენელი ნაწილია. მაგალითად, ადამიანის გამეტა ჰაპლოიდურია. მაგრამ თაობათა მონაცვლეობაზე საუბრისას მხოლოდ ისეთ სასიცოცხლო ციკლს ვგულისხმობთ, როცა ჰაპლოიდური და დიპლოიდური სტადიაც მრავალუჯრედიანია. როგორც 29-ე თავში ნახავთ, თაობათა მონაცვლეობა ყველა მცენარის სასიცოცხლო ციკლში განვითარდა.

მურა წყალმცენარის - ლამინარიის რთული სასიცოცხლო ციკლი თაობათა მონაცვლეობის მალაგითია (სურათი 28.21). დიპლოიდურ ინდივიდს სპოროფიტი დაარქვეს, ვინაიდან ის რეპროდუქციულ უჯრედებს - ზოოსპორებს იძლევა. ზოოსპორა მდებარეობს და მამრ ჰაპლოიდ გამეტოფიტად ვითარდება, რომლებიც გამეტებს ქმნიან. ორი გამეტას შერწყმის შედეგად (განაყოფიერება ან სინგამია) დიპლოიდურ ზიგოტას ვიღებთ, რომელიც ახალ სპოროფიტს აძლევს დასაბამს. ლამინარიის შემთხვევაში ორი თაობა **ჰეტერომორფულია**, ანუ სპოროფიტი და გამეტოფიტი სტრუქტურულად განსხვავებულია. სხვა წყალმცენარეების სასიცოცხლო ციკლში გვაქვს **იზომორფული** თაობების მონაცვლეობა, როცა სპოროფიტი და გამეტოფიტი გარეგნულად ერთმანეთის მსგავსია, თუმცა მათი ქრომოსომების რიცხვი განსხვავებულია.

კონცეფტია 28.5

1. რომელი უნიკალური უჯრედული თვისება საერთოა ყველა სტრამენოფილისთვის?
2. შეადარეთ ოომიცტებისა და ოქროსფერი წყალმცენარეების კვება.
3. როგორაა მორგებული მურა წყალმცენარის - ლამინარიის აგებულება მის ჰაბიტატს, მიმოქცევის ზონას?

კონცეფტია 28.6

ცქვრვზას და ზადიოლარების ფსევდოპლდიები ძაფისებრია

ახალ კლავა ცერკოზოაში (Cercosozoa) შედის მრავალი სახეობა. ისინი იმ ორგანიზმებს მიეკუთვნებიან, რომელსაც ზოგადად **ამებებს** ვეძახით. **ამებას** ადრე **ფსევდოპლდიების** (ცრუფეხების) მეშვეობით მოძრავ და მკვებად უმარტივესებს მიაკუთვნებდნენ. ფსევდოპოდა წაგრძელებია, რომელიც უჯრედის ზედაპირის ნებისმიერ ადგილას შეიძლება გაჩნდეს. ამებას გადაადგილებისას ფსევდოპოდა იწელება, გარკვეულ ნერტილზე ფიქსირდება და შემდეგ იქ დანარჩენი ციტოპლაზმაც გადაიღვრება. მოლეკულურ სისტემატიკაზე დაყრდნობით ცხადი გახდა, რომ ამება არ არის მონოფილეთური ჯგუფი. ეს ორგანიზმები ეუკარიოტების შორეულად მონათესავე მრავალტაქსონს შორის გაბნეულია. კლავა ცერკოზოას წარმომადგენლები სხვა ამებებისგან ძაფისმაგვარი ფსევდოპლდიებით განსხვავდება. ცერკოზოაში შედიან ქლორარაქნიოფიტები (ისინი ამ თავში ადრეც ვახსენეთ, როცა მეორად ენდოსიმბიოზზე ვსაუბრობდით) და ფორამინიფერები. მეორე კლავას, რადიოლარიას (Radiolaria) წარმომადგენლებს ასევე აქვთ ძაფისმაგვარი ფსევდოპოდა და ცერკოზოას ახლო ნათესავეები არიან.

ფორამინიფერები

ფორამინიფერებს (ლათინურად *foramen* — პატარა ნახვრეტი და *ferre* — მატარებელი) ან ფორამებს სახელი ფორებიანი ნიჟარის — **ტესტის** გამო დაერქვათ (სურათი 28.22). ფორამების ტესტები მრავალსაკნიათა და ორგანული მასალისგან შედგება, რომელსაც სიმკვრივეს კალციუმის კარბონატი ანიჭებს. ფორებიდან გაშვებული ფსევდოპლდიები ცურვაში, ნიჟარის ფორმირებასა და კვებაში მონაწილეობს. ნიჟარაში მოზინდრე ფოთოსინთეზის უნარის მქონე წყალმცენარე მრავალი ფორამის სიმბიონტია და მას საკვებს ასევე აწვდის. ფორამინიფერები როგორც ოკეანეში, ასევე მტკნარ წყალში ბინადრობენ. სახეობების უმეტესობა ქვიშაში ცხოვრობს ან კლდეებსა და წყალმცენარეებს ემაგრება, ზოგი კი პლანქტონის მრავალრიცხოვანი ბინადარია. ყველაზე დიდი ფორა-



1. როგორც წესი, წყალმცენარეების სპოროფიტებს წყალში ყველზე დაბალი მოქცევის ზონის ქვეშ ნახულობენ. ისინი კლდეებს დატოტვილი კავებით ემაგრებიან.

სპორანგიუმი

2. ადრე გაზაფხულზე, ზრდის ძირითადი სეზონის ბოლოს, ფირფიტის ზედაპირის უჯრედები სპორანგიუმებად ვითარდება.

3. სპორანგიუმი ზოოსპორებს მეიოზის გზით წარმოქმნის.

მეიოზი

4. ყველა ზოოსპორა სტრუქტურულად მსგავსია, მაგრამ მათი ნახევარი ვითარდება მამრობითი გამეტოფიტად, ნახევარი კი მდედრობითი გამეტოფიტად, რომლებიც სპოროფიტებს არ გვანან. ეს მოკლე დატოტვილი ძაფებია, რომლებიც მოქცევის ზონის კლდეების ზედაპირზე იზრდება.

5. მამრობითი გამეტოფიტებიდან თავისუფლდება სპერმა, მდედრობითი გამეტოფიტები კი კვერცხებს იძლევა, რომლებიც მიმაგრებულნი რჩებიან მდედრობითი გამეტოფიტზე. კვერცხუჯრედები ასინთეზებენ ქიმიურ სასიგნალო ნივთიერებას, რომელიც იგივე სახეობის სპერმას იზიდავს. ეს ზრდის ოკეანში განაყოფიერების ალბათობას.

6. სპერმა კვერცხუჯრედს ანაყოფიერებს.

7. ზიგოტა იზრდება ახალ სპოროფიტად და სიცოცხლეს მდედრობითი გამეტოფიტთან მიმაგრებულ მდგომარეობაში ინწყებს.

განვითარებადი სპოროფიტი

სპოროფიტი (2n)

მდედრი

გამეტოფიტი (n)

ზიგოტა (2n)

მნიფე მდრე-დრობითი გამეტოფიტი (n)

განაყოფიერება

კვერცხი

მამრი

სპერმა

გასაღები:

ჰაპლოიდი (n)
დიპლოიდი (2n)

▲ სურათი 28.21 ლამინარიას სასიცოცხლო ციკლი თაობათა მონაცვლეობის მაგალითია.

მინიფერები დიამეტრში რამდენიმე სანტიმეტრს აღწევენ, თუმცა ერთუჯრედიანი ორგანიზმები არიან.

ფორამინიფერების დადგენილი სახეობების ოთხმოცდაათი პროცენტი ცნობილია ნამარხებიდან. სხვა უმარტივესების კიროვან ნამარხებთან ერთად, ფორამინიფერების ნიჟარები ზღვის დანალექი ქანების (ხმელეთზე განლაგებული დანალექი კლდეების ჩათვლით) შემადგენელი ნაწილია. ფორამინიფერების ნამარხები მსოფლიოს სხვადასხვა ადგილას განლაგებული დანალექი ქანების ასაკის დადგენისთვის შესანიშნავი მარკერია.

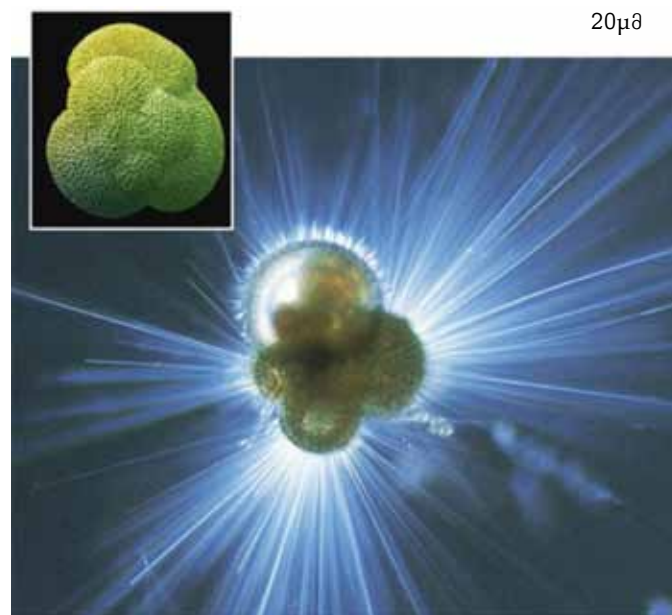
ბადილატიები

რადიოლარიები კვარცისგან შემდგარი ნატიფი აგებულების ნიჟარების მქონე ზღვის უმარტივესებია. რადიოლარიების ფსევდოპოდიები – აქსოპოდიები – ცენტრალური სხეულიდან იტოტება. სიმტკიცეს მათ მიკრომილაკების შეკვრები ანიჭებს (სურათი 28.23). მიკრომილაკები დაფარულია ციტოპლაზმის თხელი ფენით. ფაგოციტოზისას ციტოპლაზმა გარს ერტყმის მცირე მიკროორგანიზმებს, რომლებიც აქსოპოდიას ეხებიან. შთანთქმული მსხვერპლი ციტოპლაზმის ნა-

კადს უჯრედის მთავარი ნაწილისკენ მიაქვს. რადიოლარიების სიკვდილის შემდეგ მათი ნიჟარები ზღვის ფსკერზე ილექება და შლამის მასას ქმნის. ზოგიერთ ადგილას შლამის სისქე რამდენიმე ასეულ მეტრს აღწევს.

კონცეფცია 28.6

1. ფორამინიფერების ნამარხები კარგად შემონახულია. რატომ?
2. შეადარე ფორამინიფერებისა და რადიოლარიების კვება.



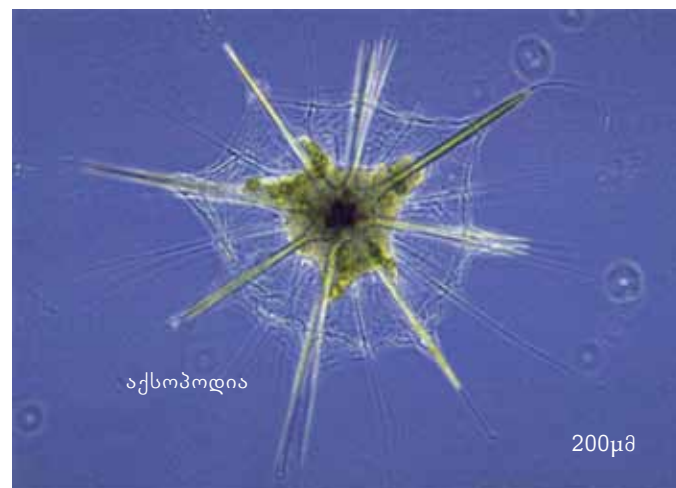
20μm

▲ სურათი 28.22 გლობიგერინა (რიგი Globigerinida) ფორამინიფერების მსგავსი ნიჟარის მქონე ფორამინიფერაა. ძაფის-მაგვარი ფსევდოპოდები ნიჟარის ფორებიდან ვრცელდება (LM). ელექტრონულ მიკროსკოპში ჩანს ფორამინიფერას კიროვანი ნიჟარა.

კონცეფცია 28.7

ამეზასნაირების ფსევდოპოდი მონგრევა

ამეზას მრავალი სახეობა, რომელსაც უფრო მომრგვალებული, ვიდრე ძაფისმაგვარი ფსევდოპოდები აქვს, კლადა ამეზოზოაში (Amoebozoa) შედის. ამ კლადაში გაერთიანებულია შიშველი ლობოზური ამეზები (Gymnamoeba), ამეზოზის გამომწვევი ამეზები (Entamoeba) და მიქსომიცეტები.



აქსოპოდი

200μm

▲ სურათი 28.23 რადიოლარია. წითელ ზღვაში ნაპოვნი რადიოლარიას ცენტრალური სხეულიდან მრავალი ძაფისმაგვარი აქსოპოდი იტოტება (LM).

შიშველი ლობოზური ამეზები

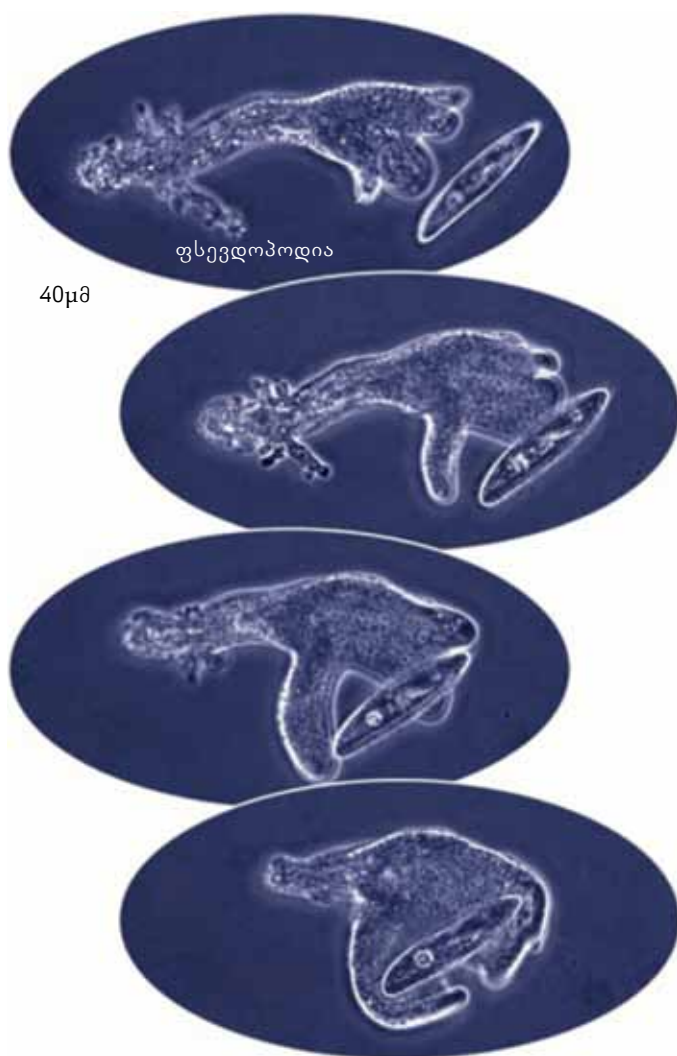
Gymnamoeba ამეზების დიდი და მრავალფეროვანი ჯგუფია. ეს ერთუჯრედიანი უმარტივესები ნიადაგში, მტკნარ წყალში და ზღვაშიც გვხვდება. მათი უმეტესობა ჰეტეროტროფია, რომლებიც ბაქტერიებსა და სხვა უმარტივესებს აქტიურად ეძებენ და სპობენ (სურათი 28.24). ზოგი შიშველი ამეზა დეტრიტით (მკვდარი ორგანიზმებით) იკვებება.

ამეზიზის გამომწვევი ამეზები

ამეზების უმეტესობა თავისუფლად მცხოვრები ორგანიზმია. გვარ Entamoeba-ში კი შედიან პარაზიტები, რომლებიც როგორც ხერხემლიანების ყველა კლასის წარმომადგენლებს, ასევე უხერხემლოებსაც აინფიცირებენ. ადამიანი, როგორც მინიმუმ, Entamoeba-ს ექვსი სახეობის მასპინძელია, მაგრამ პათოგენად მხოლოდ ერთია - *E. histolytica* აღიარებული. ის ამეზის დიზენტერიას იწვევს და დაინფიცირებული სასმელი წყალით, საკვებით ან ჭურჭლით ვრცელდება. ამ დაავადებით მსოფლიოში ყოველ წელს 100000 ადამიანი იღუპება. პარაზიტებით გამოწვეული სიკვდილიანობის მიხედვით ის, მალარიისა და შისტოსომოზის შემდეგ, მესამე ადგილზე იმყოფება (იხილეთ თავი 33).

მიქსომიცეტები

მიქსომიცეტები ან mycetozoa (რაც ლათინურად „სოკო ცხოველს“ ნიშნავს) ადრე სოკოდ ითვლებოდა, ვინაიდან სოკოს მსგავსად ნაყოფსხეულს წარმოქმნის, რომელიც სპორების გავრცელებას ეხმარება. თუმცა მსგავსება მიქსომიცეტებსა და სოკოებს შორის ევოლუციური კონვერგენციის კიდევ ერთი მაგალითია. მოლეკულურმა სისტემატიკოსებმა მოათავსეს მიქსომიცეტები კლადა Amoebozoa-ში და თვლიან, რომ ისინი ერთუჯრედიანი gymnamoeba-ს მსგავსი წი-



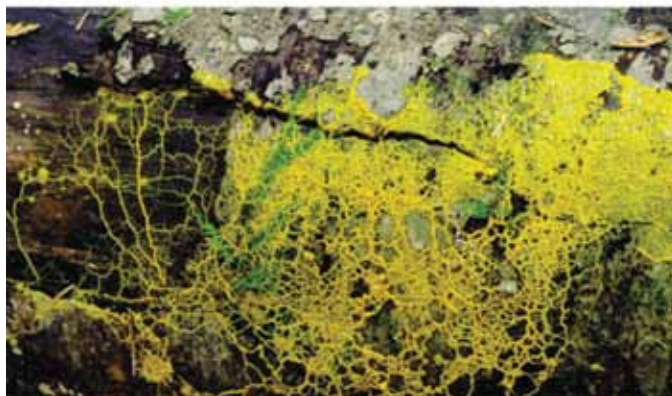
▲ სურათი 28.24 შიშველი ლობოზური ამებას კვება. ვიდუოფირი-დან შერჩეულ გამოსახულებებზე ნაჩვენებია *Amoeba* sp., რომელიც მომრგვალო ფსევდოპოლიას მისი მსხვერპლის, ნამწამიანის შთანთქმისთვის იყენებს.

ნაპრების შთანთქმავლობა. მიქსომიცეტები ორ მთავარ შტოდ, პლაზმოდირ მიქსომიცეტებად და უჯრედულ მიქსომიცეტებად დაითიშნენ, რომლებსაც ნაწილობრივ სასიცოცხლო ციკლის

პლაზმოდირ მიქსომიცეტები

პლაზმოდირ მიქსომიცეტების მრავალი სახეობა მკვეთრად პიგმენტირებულია და ხშირად ყვითელი ან ნარინჯისფერია (სურათი 28.25). სასიცოცხლო ციკლის ერთ-ერთ სტადიაზე ისინი მასას - პლაზმოდირ ქმნიან, რომელმაც დიამეტრში შეიძლება მრავალ სანტიმეტრს მიაღწიოს (სურათი 28.26). (არ აგერიოთ მიქსომიცეტას პლაზმოდირში აპიკომპლექსების პარაზიტ პლაზმოდირთან).

ზომის მიუხედავად, პლაზმოდირ არ არის მრავალუჯრედიანი. ეს ციტოპლაზმის მასაა, რომელსაც მემბრანები არ



▲ სურათი 28.25 პლაზმოდირ მიქსომიცეტა - *Physarum polycephalum*

ყოფენ და რომელსაც მრავალი დიპლოიდური ბირთვი აქვს. ეს „სუპერუჯრედი“ ბირთვის მიტოზური დაყოფის პროდუქტია, რომელსაც ციტოკინეზი (ციტოპლაზმის დაყოფა) არ ახლავს. პლაზმოდირ მიქსომიცეტების სახეობათა უმეტესობაში მიტოზური დაყოფა სინქრონულია ანუ ათასობით ბირთვი მიტოზის ყოველ ფაზას ერთდროულად გადის. ამ თვისების გამო პლაზმოდირ მიქსომიცეტებს უჯრედის ციკლის მოლეკულური დეტალების შესასწავლად იყენებენ.

პლაზმოდირის წვრილ არხებში ციტოპლაზმა პულსაციის მსგავსი ნაკადებით ჯერ ერთი გზით, შემდეგ კი მეორეთი მიედინება. მიკროსკოპში ეს ძალიან ლამაზი სანახაობაა. ციტოპლაზმური ნაკადები საკვებისა და ჟანგბადის გადატანაში მონაწილეობს. პლაზმოდირ ფსევდოპოლიას სველ ნიადაგში, ლობობად ფოთლებში და კუნძებშიც ავრცელებს. ის საკვების ნაწილაკებს ფაგოციტოზის გზით შთანთქავს და იზრდება. თუ ჰაბიტატი შრება, ან საკვები ილევა, პლაზმოდირის ზრდა ჩერდება და იწყება სასიცოცხლო ციკლის სხვა სტადია - ნაყოფსხეულის წარმოქმნა, რომელიც სქესობრივ გამრავლებაში მონაწილეობს. პლაზმოდირ მიქსომიცეტების უმეტესობაში დიპლოიდური მდგომარეობა სასიცოცხლო ციკლის ძირითადი სტადიაა.

უჯრედული მიქსომიცეტები

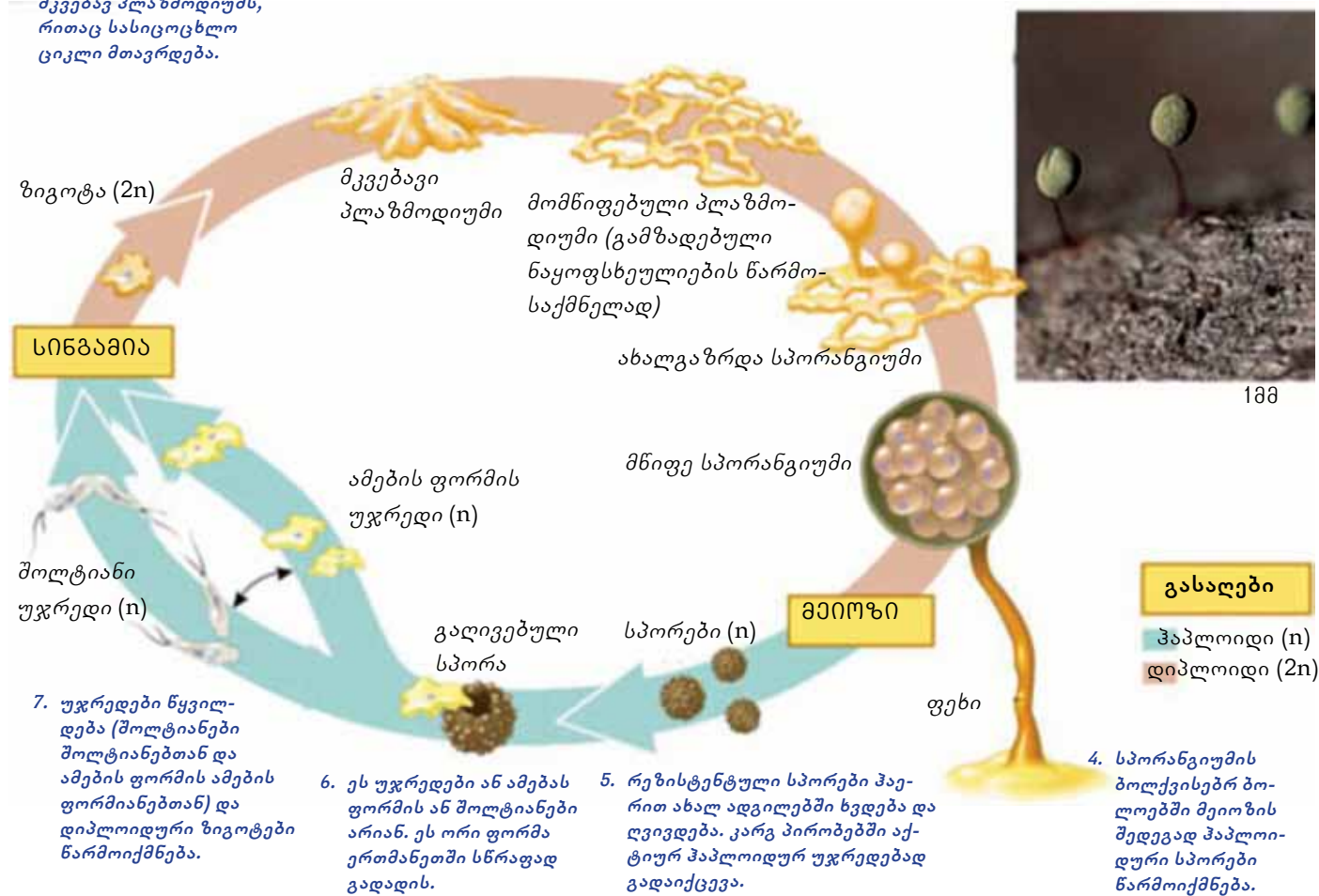
უჯრედულ მიქსომიცეტებზე დაკვირვებისას იბადება ფილოსოფიური შეკითხვა: რას ნიშნავს იყო ინდივიდუალური ორგანიზმი? სასიცოცხლო ციკლის კვების სტადია ცალკეული უჯრედებისგან შედგება, რომლებიც ინდივიდუალურად ფუნქციონირებენ. მაგრამ, როცა საკვები ქრება, უჯრედები ერთიანდებიან და ერთად ფუნქციონირებენ (სურათი 28.27 შემდეგ გვერდზე). გარეგნულად ეს მასა პლაზმოდირ მიქსომიცეტას ნაგავს, მაგრამ ამ შემთხვევაში უჯრედებს მემბრანები ყოფენ. უჯრედული მიქსომიცეტები პლაზმოდირ მიქსომიცეტებისგან იმითაც განსხვავდებიან, რომ ჰაპლოიდური ორგანიზმები არიან (დიპლოიდი მხოლოდ ზიგოტაა). მათ აქვთ ნაყოფსხეულები, რომლებიც ძირითადად უსქესო და არა სქესობრივი

8. ზიგოტის ბირთვის განმეორებადი მიტოზური დაყოფა, რომელიც ციტოპლაზმის დაყოფის გარეშე მიმდინარეობს, იძლევა მკვეთრ პლაზმოდიუმს, რითაც სასიცოცხლო ციკლი მთავრდება.

1. მკვეთრ სტადია მრავალუჯრედიანი პლაზმოდიუმი, რომელიც ორგანულ ნარჩენებზე ბინადრობს.

2. პლაზმოდიუმი ბადისებრ ფორმას იღებს.

3. ცუდ პირობებში პლაზმოდიუმიდან ფეხებიანი ნაყოფსხეულები (სპორანგიუმი), იზრდება.



▲ სურათი 28.26 პლაზმოდიური მიქსომიცეტას სასიცოცხლო ციკლი.

გამრავლების დროს ფუნქციონირებენ. მეტიც, უჯრედოვან მიქსომიცეტებს შოლტიანი სტადია არ აქვს.

Dictyostelium discoideum, ტყეების ნიადაგის ჩვეულებრივი უჯრედული მიქსომიცეტა მრავალუჯრედიანობის ევოლუციის შესწავლის ობიექტია. ზოგი მკვლევარი ნაყოფსხეულის სტადიას იკვლევს. ამ სტადიისას “ღეროს” შემქმნელი უჯრედები გაშრობისას კვდებიან, მაშინ, როცა კენწეროში განლაგებული სპორის უჯრედები გადარჩებიან და გამრავლების შესაძლებლობა აქვთ. მეცნიერებმა აღმოაჩინეს, რომ ერთ გენში მომხდარი მუტაციის შედეგად *Dictyostelium*-ის ზოგი უჯრედი “მატყუარად” გადაიქცევა და ღეროს შემადგენლობაში არასდროს არ შედის. ამ უჯრედებს “პატიოსნებთან” შედარებით დიდი რეპროდუქციული უპირატესობა აქვთ, ამი-

თომ გასაკვირია, რომ *Dictyostelium* -ის ყველა უჯრედი არ არის მატყუარა.

2003 წელს რაისისა და ტურინის უნივერსიტეტების მეცნიერებმა (იტალია) აღმოაჩინეს, თუ რატომ არ არიან სხვა უჯრედებიც მატყუარები. მატყუარა მუტანტებს უჯრედის ზედაპირზე არა აქვთ ცილა და პატიოსან უჯრედებს შეუძლიათ მათი ამოცნობა. პატიოსნები უპირატესობას სხვა პატიოსნებთან გაერთიანებას ანიჭებენ და მატყუარებს თავისი ექსპლოატაციის საშუალებას არ აძლევენ. ამნოცნობის ასეთი სისტემა მრავალუჯრედიანი ეუკარიოტების, მაგალითად მცენარეებისა და ცხოველების, ევოლუციისას ალბათ ძალიან მნიშვნელოვანი იყო.

გასაღები

ჰაპლოიდი (n)

დიპლოიდი (2n)

9 კარგ გარემო პირობებში ამება სპორის გარსიდან თავისუფლდება და კვებას იწყებს.

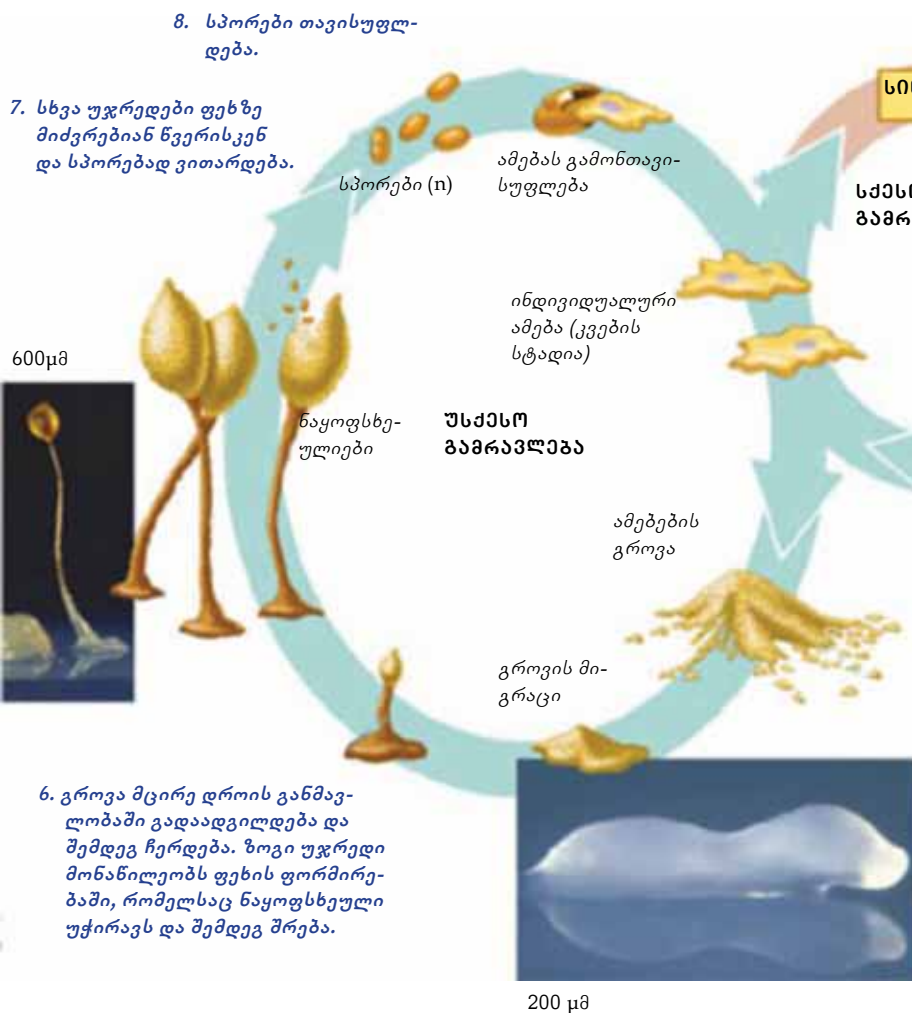
1. სასიცოცხლო ციკლის კვების სტადიაზე ინდივიდუალური ჰაპლოიდი ამება შთანთქავს ბაქტერიას.

2. სქესობრივი გამრავლებისას ორი ჰაპლოიდიური ამება ერთმანეთს ერწყმის და ქმნის ზიგოტას.

3. ზიგოტა გარდაიქმნება გიგანტურ უჯრედად ჰაპლოიდიური ამებების შთანთქმის შედეგად. რეზისტენტული კედლის ჩამოყალიბების შემდეგ გიგანტური უჯრედი გადის მეიოზის, რომელსაც რამდენიმე მიტოზური დაყოფა ახლავს.

4. რეზისტენტული კედელი ირღვევა და ახალი ჰაპლოიდიური ამებები თავისუფლდება.

5. როცა საკვები ილევა, ასობით ამება მიმზიდველი ქიმიური ნივთიერების მოქმედების საპასუხოდ გროვდება და ლოქორას მსგავს ერთობას აყალიბებს (ფოტო ქვევით მარცხნივ). ერთობის ფორმირება უსქესო გამრავლების დასაწყისია.



6. გროვა მცირე დროის განმავლობაში გადაადგილდება და შემდეგ ჩერდება. ზოგი უჯრედი მონაწილეობს ფეხის ფორმირებაში, რომელსაც ნაყოფსხეული უჭირავს და შემდეგ შრება.

200 μ m

▲ სურათი 28.27 უჯრედული მიქსომიცეტას, *Dictyostelium*-ის, სასიცოცხლო ციკლი

ჯანცუფცია 28.7

1. განასხვავეთ ამოებოზოა -ს და ფორამინიფერების ფსევდოპოდიები.
2. რატომ უხდება მიქსომიცეტებს განმარტება „სოკო ცხოველი“ და რატომ არ უხდება?
3. არსებობს თუ არა ამოებოზოა-ში უჯრედების თანამშრომლობა? ახსენით.

ჯანცუფცია 28.8

ბაქტერიული და მწვანე წყალმცენარეები სმელეთის მცენარეების უახლოესი ნათესაჟებია

როგორც 26-ე თავში ავლენრეთ, მოლეკულური სისტემატიკისა და უჯრედის აგებულების შესწავლის შედეგები შემდეგ ფილოგენეტიკურ სურათს ადასტურებს: მილიარდ წელზე მეტი გავიდა, რაც ლურჯ-მწვანე წყალმცენარე (ციანობაქტერია) ჰეტეროტროფულ უმარტივესში სიმბიონტის



(ა) *Bonnemaisonia hamifera*. ეს ძონეული წყალმცენარე ძაფისებრი აგებულებისაა.



(ბ) მუქი წითელი ფერის საკვებად ვარგისი წყალმცენარე (*Palmaria palmata*). ამ წყალმცენარეს აქვს ფოთლის ფორმა

(გ) მარჯნისებრი წყალმცენარე. ამ წყალმცენარის უჯრედის კედლებს სიმარგრეს კალციუმის კარბონატი ანიჭებს. ზოგი მარჯნისებრი წყალმცენარე მარჯნის რიფებთან არსებული ბიოლოგიური თანასაზოგადოების წევრია.



სახით დამკვიდრდა. ამ უმარტივესი ფოტოსინთეზის უნარის მქონე შთამომავლობა ძონეულ და მწვანე წყალმცენარეებად განვითარდა (იხილეთ სურათი 28.3). დაახლოებით 475 მილიონი წლის წინათ, მწვანე წყალმცენარეების ევოლუციურმა შტომ დასაბამი მისცა ხმელეთის მცენარეების განვითარებას. ხმელეთის მცენარეებზე 29 და 30 თავებში ვისაუბრებთ. ამ თავში კი განვიხილავთ მათი უახლოესი ნათესავების, ძონეული და მწვანე წყალმცენარეების მრავალფეროვნებას.

ძონეული წყალმცენარეების უმეტესობა მრავალუჯრედიანია, ყველაზე დიდებს უბრალოდ “წყალმცენარეებს” ეძახიან (სურათი 28.28), თუმცა ვერც ერთი ძონეული წყალმ-

ბოჭყული წყალმცენარეები

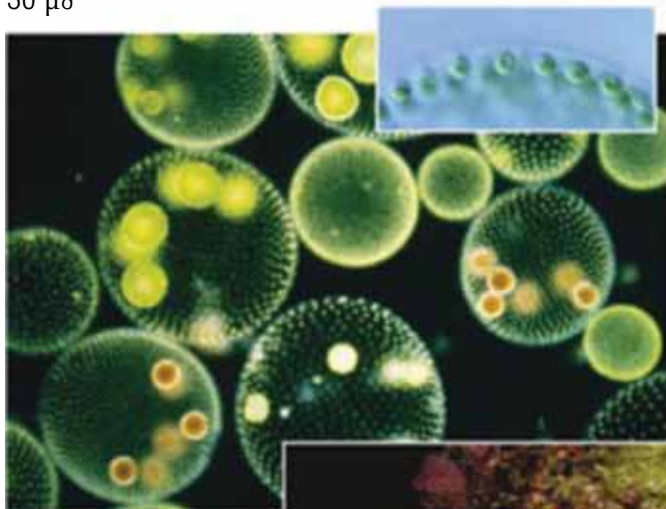
ძონეული წყალმცენარეების (ბერძნულად rhodophytes—rhodos — წითელია) 6 000 ცნობილი სახეობიდან ბევრი მოწითალო შეფერილობისაა, რაც გამოწვეულია დამატებითი პიგმენტით - ფიკოერითრინით, რომელიც ქლოროფილის მწვანე ფერს ფარავს. თუმცა, წყალმარჩხ ადგილებში ცხოვრებას ადაპტირებული სახეობები ფიკოერითრინის ნაკლები რაოდენობით შეიცავს. ამიტომ ძონეული წყალმცენარეების სახეობები ღრმა წყალში თითქმის შავი ფერის შტაბეჭდილებას ტოვებენ, საშუალო სიღრმის წყალში - მკვეთრი წითელისა და წყალმარჩხ ადგილებში - მომწვანოსი. ზოგიერთი სახეობა საერთოდ არ არის პიგმენტირებული და სხვა ძონეული წყალმცენარეების ჰეტეროტროფი პარაზიტია.

ძონეული წყალმცენარე ტროპიკული ოკეანის თბილ სანაპიროს წყლებში ყველაზე გავრცელებული დიდი წყალმცენარეა. დამატებითი პიგმენტების საშუალებით მას შეუძლია ცისფერი და მწვანე სინათლის შთანთქმა, რომელიც წყალში შედარებით ღრმად აღწევს. ახლახანს აღმოაჩინეს, რომ ბაჰამას ახლოს მობინადრე ძონეული წყალმცენარეების სახეობები 260 მეტრის სიღრმეზეც ცხოვრობენ. იდენტიფიცირებული მტკნარი წყლისა და ხმელეთის სახეობებიც.



▲ სურათი 28.29 საზამთროს თოვლი. თოვლში მობინადრე ზოგი წყალმცენარის, როგორიცაა *Chlamydomonas nivalis*, კაროტინოიდები თოვლს წითლად ღებავენ.

50 μ m



20 μ m

ა) ვოლვოქსი, მტკნარი წყლის კოლონიური მწვანე წყალმცენარე. კოლონია ღრუიანი ბურთია, რომლის კედელი ჟელატინისებრ მატრიქსში (ციტოპლაზმის ძირითადი მასა) ჩართული ასობით ან ათასობით ორშოლტიანი უჯრედისგან შედგება (იხილეთ ჩართვა). როგორც წესი, უჯრედები დაკავშირებულია ციტოპლაზმური ჭიმებით; იზოლირებულ უჯრედებს გამრავლება არ შეუძლია. აქ გამოსახულ დიდ კოლონიებში საბოლოოდ მცირე ზომის „შვილობილი კოლონიები“ ყალიბდება (LM)

ბ) *Caulerpa*, მიმოქცევის ზონის მწვანე წყალმცენარე. დატოტვილ ძაფებს ან აქვს განივი კედლები და ამიტომ მრავალბირთვიანებია. ამიტომ თალუსი ერთ დიდ „სუპერ-უჯრედს“ წარმოადგენს.



გ) *Ulva*, ან ზღვის ლატუკი. საჭმელად ვარგის წყალმცენარეს აქვს მრავალბირთვიანი თალუსი, რომელიც დიფერენცირებულია ფოთლისმაგვარ ფირფიტებად და ფესვისმაგვარ კავებათ, რომელთა დახმარებით წყალმცენარე ტალღებსა და მიმოქცევას უძლებს.



▲ სურათი 28.30 კოლონიალური და მრავალუჯრედიანი მწვანე წყალმცენარეები.

ცენარე გიგანტური მურა ლამინარიის ზომას ვერ აღწევს. მრავალი ძოწეული წყალმცენარის თალუსი ბოჭკოვანია, ხშირად დატოტვილია და ტოტები ერთმანეთში გადახლართულია. თალუსის ფუძე ხშირად უბრალო კავივით გამოიყურება.

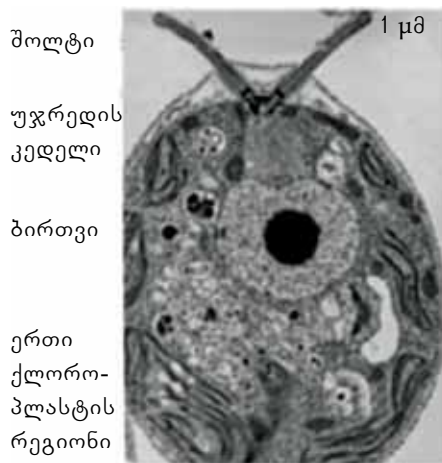
ძოწეულ წყალმცენარეს განსაკუთრებით მრავალფეროვანი სასიცოცხლო ციკლი ახასიათებს, სადაც თაობების მონაცვლეობა ჩვეულებრივი მოვლენაა. მაგრამ სხვა წყალმცენარეებისგან განსხვავებით, მათ სასიცოცხლო ციკლში შოლტიანი სტადია არ არის. გამრავლებისას მათი გამეტების დაახლოება წყლის ნაკადზეა დამოკიდებული.

მწვანე წყალმცენარეები

მწვანე წყალმცენარებს სახელი მწვანე ქლოროპლასტების გამო დაერქვათ. ულტრასტრუქტურითა და პიგმენტის შემადგენლობით ისინი იმ ორგანიზმების ქლოროპლასტებს ძალიან ჰგვანან, რომლებსაც ჩვენ ტრადიციულად უბრალოდ მცენარეებს ვეძახით. მოლეკულური სისტემატიკისა და უჯრედული მორფოლოგიის გამოკვლევების შედეგად ცხადი

გახდა, რომ მწვანე წყალმცენარეები და ხმელეთის მცენარეები ახლო ნათესავებია. ზოგი სისტემატიკოსი მოითხოვს კიდევაც მწვანე წყალმცენარეების „მცენარეების“ სამეფოში, Viridiplantae-ში ჩართვას (ლათინურად *viridis* – მწვანე).

მწვანე წყალმცენარეები ორ მთავარ ჯგუფად – მწვანე წყალმცენარეებად — chlorophyta (ბერძნულიდან *chloros* — მწვანე) და ხაროვანებად — charophyceae (იხილეთ სურათი 28.4) იყოფა. დღეისთვის იდენტიფიცირებულია chlorophyta-ს 7 000 სახეობაზე მეტი. მათი უმეტესობა მტკნარ წყალში ბინადრობს, მაგრამ ბევრია ზღვის სახეობაც. ყველაზე მარტივი აგებულების მწვანე წყალმცენარეები ორშოლტიანი ერთუჯრედიანი ორგანიზმებია, მაგალითად ქლამიდომონადა, რომელიც უფრო რთული აგებულების მწვანე წყალმცენარეების გამეტებსა და ზოოსპორებს წააგავს. ერთუჯრედიანი ქლოროფიტების მრავალი სახეობა პლანქტონის სახით არსებობს ან ტენიან ნიადაგში ბინადრობს. ზოგი სხვა სახეობა ეუკარიოტებში სიმბიოტის სახით არსებობს და ფოტოსინთეზის შედეგად მიღებული პროდუქტის ნაწილს მასპინძელს საკვებად უწილადებს. სოკოების სიმბიოტები, სხვა წყალმ-



შოლტი
უჯრედის
კედელი
ბირთვი
ერთი
ქლორო-
პლასტის
რეგიონი

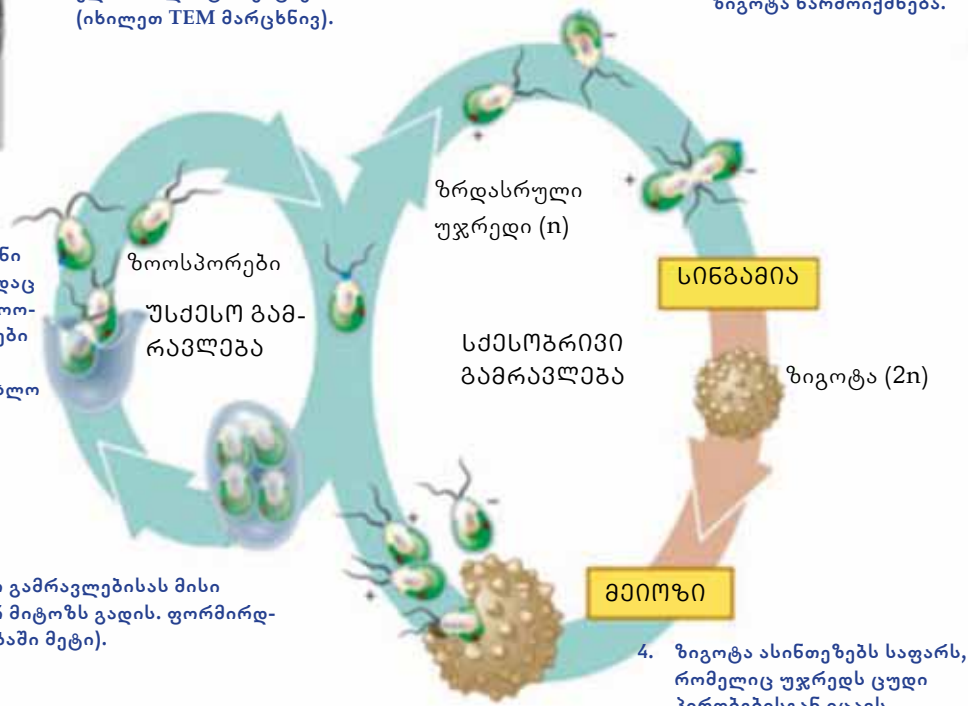
1. ქლამიდომონაში მნიშვნელოვან უჯრედები ჰაპლოიდურია და ჭიქის ფორმის ერთ ქლოროპლასტს შეიცავს (იხილეთ TEM მარცხნივ).

2. საკვების ნაკლებობის, გუბის ამოშრობისა ან სხვა სტრესის საპასუხოდ უჯრედები გამეტებად ვითარდება.

3. მენწყვილეების გამეტები (ალნიშნულია + და —) წყვილდება და ერთ-მანეთს ეწებება. გამეტების შერწყმის შედეგად (სინგამია) დიპლოიდური ზიგოტა წარმოიქმნება.

7. შვილობილ უჯრედებს შოლტები და უჯრედის კედელი უვითარდება და ისინი მშობლიური უჯრედის კედელიდან, სადაც აქამდე ჩაკეტილი იყვნენ, მცურავი ზოოსპორების სახით გამოდიან. ზოოსპორები იზრდება ზრდასრულ ჰაპლოიდურ უჯრედებად, რითაც უსქესო სასიცოცხლო ციკლი მთავრდება.

6. ზრდასრული უჯრედის უსქესო გამრავლებისას მისი შოლტი იშლება და უჯრედი ორ მიტოზს გადის. ფორმირდება ოთხი უჯრედი (ზოგ სახეობაში მეტი).



5. შესვენების პერიოდის შემდეგ, მეიოზის შედეგად ოთხი ჰაპლოიდური ინდივიდი (ორ-ორი ყოველი მენწყვილესაგან) წარმოიქმნება, რომლებიც საფარისგან თავისუფლდება და მნიშვნელოვან უჯრედებად ვითარდება.

4. ზიგოტა ასინთეზებს საფარს, რომელიც უჯრედს ცუდი პირობებისგან იცავს.

გასაღები

ჰაპლოიდი (n)
დიპლოიდი (2n)

▲ სურათი 28.31 ერთუჯრედიანი მწვანე წყალმცენარის - ქლამიდომონადის სასიცოცხლო ციკლი.

ცენარეების გარდა, მწვანე წყალმცენარეებიც არიან. ასეთი სიმბიოზის პროდუქტს ლიქენებს ეძახიან. (იხილეთ სურათი 31.24).

ზოგი მწვანე წყალმცენარე ისეთ ადგილებში ცხოვრობს შეეგუა, სადაც მათ ნახვას ნამდვილად არ ელოდებით. მაგალითად, წყალმცენარე *Chlamydomonas nivalis* დიდ სიმაღლეზე განლაგებულ მყინვარებსა და თოვლის მდელოებზე „ყვავილოვან“, მისი მონითალო პიგმენტი აქ „საზამთროს თოვლის“ სახელით ცნობილ ეფექტს იძლევა (სურათი 28.29). ამ წყალმცენარეებში ფოტოსინთეზი მიმდინარეობს ყინვისა და ხილვადი და ულტრაიისფერი ინტენსიური გამოსხივების მიუხედავად. მათ იცავს ციტოპლაზმაში არსებული რადიაციის დამბლოკავი ნაერთები და თვით თოვლიც, რომელიც დამცავი ფარის როლს ასრულებს.

მწვანე წყალმცენარეების დიდი ზომა და რთული აგებულება სამი სხვადასხვა მექანიზმით განვითარდა: (1) ინდივიდუალური უჯრედების კოლონიების, მაგალითად ვოლვოქსი, (სურათი 28.30) და ძაფისებრი ფორმების წამოქმნილ რომლებიც „გუბის ქაფის“ სახელით ცნობილ ძაფისმაგვარ მასას ქმნიან (2) ბირთვის განმეორებადი დაყოფით, რომელსაც ციტოპლაზმის დაყოფა არ ახლავს, მაგალითად, *Caulerpa*-ს მრავალბირთვიანი ძაფები (სურათი 28.30ბ); (3) უჯრედის დაყოფისა და უჯრედული დიფერენცირების გზით ნამდვილი მრავალუჯრედიანი ფორმების ჩამოყალიბებით, მაგალითად *Ulva* (სურათი 28.30გ). ზღვის ზოგი მრავალუჯრედიანი მწვანე წყალმცენარე იმდენად დიდი და რთული აგებულებისაა, რომ წყალმცენარის სახელს იმსახურებს.

მწვანე წყალმცენარეების უმეტესობას აქვს სქესობრივი

და უსქესო გამრავლების სტადიების შემცველი რთული სა-
სიცოცხლო ციკლი. თითქმის ყველა მრავლდება სქესობრივად,
ჭიქის ფორმის ქლოროპლასტების მქონე ორშოლტიანი გამ-
ეტებით (სურათი 28.31). გამონაკლისია კონიუგაციის მქონე
წყალმცენარე *Spirogyra*, რომელიც ამებოიდურ გამეტებს
წარმოქმნის (იხილეთ სურათი 28.2დ). თაობათა მონაცვლეო-
ბა ზოგი მწვანე წყალმცენარის სასიცოცხლო ციკლში განვი-
თარდა, მათ შორის *Ulva*-ს შემთხვევაშიც, სადაც ეს თაობები
იზომორფულია.

მწვანე წყალმცენარეების მეორე ძირითადი ჯგუფია
ხაროვანები, რომლებიც ყველაზე ახლოს ხმელეთის მცენა-
რებს ენათესავენ. ამის გამო მათ 29 თავში, ხმელეთის
მცენარეებთან ერთად განვიხილავთ.

▶ ჯანსაღი ციკლი 28.8

1. დაადგინეთ ორი გზა, რომლითაც ძონეული წყალმ-
ცენარეები მურა წყალმცენარეებისგან განსხვავ-
დება.
2. რატომ არის სწორი, რომ *Ulva* ნამდვილი მრავალუ-
ჯრედიანი ორგანიზმია და *Caulerpa* არა?

28-ე თავის შემოწმება

ძირითადი ჯანსაღი ციკლის შემოწმება

▶ ჯანსაღი ციკლი 28.1

უმატციფესები ეუკარიოტების უკიდურესად მბაჟალუფთან ჯგუფია

▶ უმარტივესები ეუკარიოტების ყველაზე მრავალფეროვანი
ჯგუფია. ერთ სამეფოში მათ აღარ აერთიანებენ. უმარ-
ტივესების უმეტესობა ერთუჯრედიანია, ზოგი ორგანიზ-
მი კოლონიური ან მრავალუჯრედიანია. უმარტივესებში
შედიან ფიტოაუტოტროფები, ჰეტეროტროფები და მიქ-
სოტროფები. სახეობების უმეტესობა წყალში ბინადრობს,
სხვები ხმელეთის ტენიანი ადგილების ბინადრებია. ზოგი
სახეობა მხოლოდ უსქესოდ მრავლდება, სხვები კი სქესო-
ბრივად. 28.1 ცხრილში მოყვანილია ამ თავში განხილული
უმარტივესების ჯგუფები.

▶ ენდოსიმბიოზი ეუკარიოტების ევოლუციაში ზოგი ბი-
ოლოგი თვლის, რომ მიტოქონდრია და პლასტიდები შეს-
აბამისად ალფა პროტეობაქტერიებისა და ლურჯ-მწვანე
წყალმცენარეების შთამომავლობაა, რომლებიც ეუკარი-
ოტულმა უჯრედმა შთანთქა, რის შემდეგ ისინი ენდოსიმ-
ბიონტებად გადაიქცენენ. საბოლოოდ კი პლასტიდების
მატარებელი ევოლუციური შტო ძონეულ და მწვანე წყალმ-
ცენარეებად განვითარდა. უმარტივესების სხვა ჯგუფები
მეორადი ენდოსიმბიოტური მოვლენების შედეგად გან-
ვითარდნენ, როცა სხვა ორგანიზმებმა თვით ძონეული ან
მწვანე წყალმცენარეები შთანთქეს.

▶ ჯანსაღი ციკლი 28.2

დიპლომონადებს და პარაბაზალიებს აქვთ მოდულირებული მიტოქონდრია

- ▶ დიპლომონადებისა და პარაბაზალიების მიტოქონდრია
მოდულირებულია დიპლომონადები და პარაბაზალი-
ები ადაპტირებულია ანაერობულ გარემოსთან. მათ არა
აქვთ პლასტიდები. მათ მიტოქონდრიას არა აქვს დნმ,
ელექტრონების გადაცემის ჯაჭვი, ან კრების ცილის
ფერმენტები.
- ▶ დიპლომონადები დიპლომონადებს აქვთ მრავალი შოლტი
და ორი ბირთვი.
- ▶ პარაბაზალიები პარაბაზალიებში შედიან ტრიქომონები,
რომლებიც შოლტისა და პლაზმური მემბრანის ტალღისე-
ბრი მოძრაობით გადაადგილდებიან.

▶ ჯანსაღი ციკლი 28.3

Euglenozoan-ებს აქვთ შოლტი უნიკალური შინაგანი სტრუქტურა

- ▶ ევგლენასნაირების შოლტი უნიკალური შინაგანი აგებ-
ულებისაა. ევგლენასნაირების შოლტის შიგნით განლაგე-
ბულია სპირალური ან კრისტალური ღერძი. სახეობების
უმეტესობას აქვს დისკის ფორმის მიტოქონდრიალური
კრისტა. ევგლენასნაირებში შედიან აუტოტროფები, მტა-
ცებელი ჰეტეროტროფები და პარაზიტები.

- ▶ **კონეტოპლასტიდები** კონეტოპლასტიდების დიდ მიტოქონდრიაში განლაგებულია დნმ-ის დალაგებული მასა - კინეტოპლასტი. პარაზიტული კინეტოპლასტიდები ძილისა და ჩაგას დაავადებას იწვევენ.
- ▶ **ევგლენები** ევგლენებს აქვთ ერთი ან ორი შოლტი, რომლებიც უჯრედის ერთ ბოლოში არსებული ჯიბიდან ვრცელდება. ეს უმარტივესები აგროვებენ გლუკოზის პოლიმერის - პარამილონის მარაგს. ევგლენას ზოგ სახეობას სიბნელეში აუტოტროფიული კვებიდან ჰეტეროტროფიულზე გადართვა შეუძლია.

▶ ჯანცეფცია 28.4

ალვეოლაციების პლაზმურ მემბრანასთან განლაგებულია ციმატაქსები

- ▶ ალვეოლები, პლაზმური მემბრანის შიდა მხრიდან მიბმული ტომარაკებია, რომლებიც ალვეოლატებს სხვა უმარტივესებისგან განასხვავებენ.
- ▶ **პიროფიტული წყალმცენარეები (dinoflagellatae)** პიროფიტული წყალმცენარეები წყლის ფოტოაუტოტროფებისა და ჰეტეროტროფების მრავალფეროვანი ჯგუფია. მათთვის დამახასიათებელია ბრუნვადი მოძრაობა, რომელსაც უჯრედის ზედაპირზე პერპენდიკულარულ ღარებში განლაგებული ორი შოლტით ახორციელებენ. ზოგი პიროფიტული წყალმცენარის პოპულაციის სწრაფი ზრდა წითელი მოქცევის ეფექტს იძლევა.
- ▶ **აპიკომპლექსები ანუ სპორიანები** აპიკომპლექსები პარაზიტებია, რომლებსაც მასპინძლის უჯრედში შესაღწევად სპეციალიზირებული ორგანოების აპიკალური კომპლექსი აქვთ. მათ ასევე ახასიათებს აპიკოპლასტი - ფოტოსინთეზის უნარის არმქონე პლასტიდა. სპორიანი პლაზმოდიუმი მალარიას იწვევს.
- ▶ **ნამწამიანები** ნამწამიანები ნამწამების საშუალებით მოძრაობენ და იკვებებიან. მათ აქვთ დიდი მაკრობირთვი და მცირე მიკრობირთვი. მიკრობირთვი ფუნქციონირებს კონიუგაციისას - სქესობრივი პროცესის დროს, რომელიც ხელს უწყობს გენეტიკურ მრავალფეროვნებას. კონიუგაცია განსხვავდება რეპროდუქციისგან, რომელიც ძირითადად ორად დაყოფით ხორციელდება.

▶ ჯანცეფცია 28.5

სტამენთილოზს აქვთ „ბუსუსებიანი“ და გლუვი შოლტები

- ▶ **ოომიცეტები („წყლის ობი“ და ნათესავები)** ოომიცეტების უმეტესობა ძაფების (ჰიფების) მქონე ლპობის ორ-

განიში ან პარაზიტია. ჰიფები საკვების შეთვისებას აადვილებს. ოომიცეტა *Phytophthora infestans* კარტოფილის ლპობას იწვევს.

- ▶ **კაჟოვანი წყალმცენარეები (Diatomeae)** კაჟოვანი წყალმცენარეების უჯრედი გარშემორტყმულია ორი ნაწილისგან შემდგარი შუშისმაგვარი კედლით. ეს წყალმცენარეები ფიტოპლანქტონის ძირითადი კომპონენტია. ნამარხი დიატომების უჯრედების კედლები დანალექი ქანების უმეტეს ნაწილს შეადგენს, მათ კაჟის სახელით იცნობენ.
- ▶ **ოქროსფერი წყალმცენარეები** როგორც წესი, ოქროსფერ წყალმცენარეს აქვს ორი შოლტი, რომლებიც უჯრედის ერთ ბოლოსთან მიმაგრებულია. მრავალი სახეობა პლანქტონურია. მათ ფერს კაროტინოიდები განაპირობებს.
- ▶ **მურა წყალმცენარეები** მურა წყალმცენარეები მრავალუჯრედიანი უმარტივესებია, რომლებიც ძირითადად ზღვაში ბინადრობენ. მათ შორის არის ყველაზე რთულად აგებული ზღვის წყალმცენარეები. მრავალ სახეობას ადამიანი მეურნეობაში იყენებს. ზოგი მურა წყალმცენარის სასიცოცხლო ციკლი თაობათა მონაცვლეობით ხასიათდება, ისევე, როგორც ზოგი ძონეული და მწვანე წყალმცენარის და ყველა ხმელეთის მცენარის სასიცოცხლო ციკლი. მრავალუჯრედიან დიპლოიდურ ფორმას მრავალუჯრედიანი ჰაპლოიდური ფორმა ცვლის.

▶ ჯანცეფცია 28.6

ცრტვინისა და რადიოლარიების ფსევდოპოდები ბაფისებრია

- ▶ **ფორამინიფერანები (ფორამები)** ფორამები ზღვისა და მტკნარი წყლის ამებებია, რომელთა მრავალსაკნინი ფორებიანი ნიჟარები ორგანული მასალისგან და კალციუმის კარბონატისგან შედგება. ფსევდოპოდიებს ფორებიდან ავრცელებს. დანალექი ქანების ნამარხების უმეტეს ნაწილს ფორამების ნიჟარები წარმოადგენს.
- ▶ **რადიოლარიები** რადიოლარიების შერწყმული ნიჟარა, როგორც წესი, კვარცისგან შედგება. ისინი სხვადასხვა მიკროორგანიზმებს ცენტრალური სხეულიდან გავრცელებული ფსევდოპოდიების საშუალებით იჭერენ და ინელებენ.

▶ ჯანცეფცია 28.7

ამეზასნაირების ფსევდოპოდი მთმგვალაა

- ▶ **შიშველი ლობოზური ამებები (Gymnamoeba)** შიშველი ლობოზური ამება ჩვეულებრივი ერთუჯრედიანი ამეზასნაირია, რომელიც გავრცელებულია ნიადაგში და მტკნარსა და მლაშე წყალში. მათი უმეტესობა ჰეტეროტროფია.
- ▶ **ამეზიზის გამომწვევი ამებები. (Entamoeba)** ხერხემლიანების და ზოგი უხერხემლოს ამეზიზის გამომწვევი

ცხრილი 28.1

უმატციფესების მრავალჯეფტოფენების ნიმუში

ძირითადი კლასი	ძირითადი თვისებები	მაგალითები ამ თავიდან
Diplomonadida (დიპლომონადები)	ორი, ერთნაირი სიდიდის ბირთვი; მოდიფიცირებული მიტოქონდრია	<i>Giardia</i>
Parabasala (პარაბაზალეები)	ტალისებრიმემბრანა; მოდიფიცირებული მიტოქონდრია	<i>Trichomonas</i>
Euglenozoa (ევგლენები)	სპირალური ან კრისტალური მწკრივი შოლტის შიგნით	<i>Trypanosoma</i>
Kinetoplastida (კინეტოპლასტიდები)	კინეტოპლასტი (დნმ მიტოქონდრიაში)	<i>Euglena</i>
Euglenophyta (ევგლენიდები)	მარაგი მოლეკულები პარამილონი	
Alveolata (ალვეოლატები)	ალვეოლა პლაზმური მემბრანის შიგნით	<i>Ceratium, Phytheria</i>
Dinoflagellata (პიროფიტული წყალმცენარეები)	შეიარაღებულია ცელულოზის ფირფიტებით	
Apicomplexa (აპიკომპლექსები)	ორგანელების აპიკალური კომპლექსი	<i>Plasmodium</i>
Ciliophora (ინფუზორიები)	წამწამებს იყენებენ მოძრაობისა და კვებისას. მაკრო და მიკრობირთვები	<i>Paramecium Stentor</i>
Stramenopila (სტრემენოპილატები)	ბუსუსიანი და გლუვი შოლტი	
Oomycota (ოომიცეტები)	ჰიფები, რომლებიც აბსორბირებენ საკვებს	წყლის ობი, თეთრი ჟანგი, ვაზის ჭრაქი
Bacillariophyta (კაჟოვანი წყალმცენარეები)	შუშისებრი, ორნაწილიანი კედელი	
Chrysophyta (ოქროსფერი წყალმცენარე)	შოლტი უჯრედის ერთ ბოლოსთან მიმაგრებული	<i>Dinobryon</i>
Phaeophyta (მურა წყალმცენარე)	ყველა მრავალუჯრედიანი, ზოგი თაობათა მონაცვლეობით	<i>Laminaria, Macrocystis, Postelsia</i>
Cercozoa (ცერკოზები) და Radiolaria (რადიოლარიები)	ამება ძაფისმაგვარი ფსევდოპოდიებით	
Foraminifera (ფორამები)	ფორიანი ნიჟარა	
Radiolaria (რადიოლარიები)	ფსევდოპოდია ცენტრალური სხეულიდან გამოდის	<i>Globigerina</i>
Amoebozoa (ამებები)	ამება მომრგვალო ფსევდოპოდიებით	
Gymnamoeba (შიშველი ლობოზური ამება)	ნიადაგის, მკნარი და მლაშე წყლის ბინადარი	<i>Amoeba</i>
Entamoeba (ამებიაზის გამომწვევი)	პარაზიტები	<i>Entamoeba</i>
Myxogastrea (პლაზმოდური ლორწოვანები)	მრავალუჯრედიანი პლაზმოდუმი; ნაყოფსხეული მონაწილეობს სქესობრივ გამრავლებაში	<i>Physarum</i>
Dictyostelida (უჯრედულ ილორწოვანები)	მრავალუჯრედიანი აგრეგატი რომელიც უსქესო ნაყოფსხეულებს წარმოქმნის	<i>Dictyostelium</i>
Rhodophyta (ძონეული წყალმცენარე)	ფიკოერითრინი (დამატებითი პიგმენტი) არ არის შოლტიანი სტადია	<i>Bonnemaisonia, Delesseria, Palmaria</i>
Chlorophyta (მწვანე წყალმცენარე)	მწვანე წყალმცენარეს ქლოროპლასტი სმელების მცენარის ტიპისაა	<i>Caulerpa, Chlamydomonas Spirogyra, Ulva, Volvox</i>

პარაზიტებია. *Entamoeba histolytica* ადამიანის ამებას დიზენტერიის გამომწვევია.

- **მიქსომიცეტები** პლაზმოდური მიქსომიცეტები ციტოპლაზმის მრავალბირთვიან მასაში - პლაზმოდუმი ერთიანდება, რომელსაც უჯრედის მემბრანები ყოფენ. პლაზმოდუმი ცრუფეხებს ღებობდა მასაში ავრცელებს და საკვებს ფაგოციტოზის საშუალებით შთანთქავს. უჯრედული

მიქსომიცეტები მრავალუჯრედიან ორგანიზმს ქმნიან, რომელშიც უჯრედები გამოყოფილია მემბრანებით. უჯრედული მიქსომიცეტა *Dictyostelium discoideum*

მრავალუჯრედიანების ევოლუციის შესწავლის ექსპერიმენტული მოდელია.

ბოქოლი და მწვანე წყალმცენარეები ხმელეთის მცენარეების უახლოესი ნათესავებია

- **ძონეული წყალმცენარეები** ძონეული წყალმცენარეების შეფერილობა მწვანედან შავ ფერამდე მერყეობს, რაც დამოკიდებულია დამატებითი პიგმენტის ფიკოერითრინის რაოდენობაზე. ძონეული ზღვის წყალმცენარის უმეტესობა მრავალუჯრედიანია, ყველაზე დიდებს უბრალოდ წყალმცენარეების სახელით იცნობენ. დიდი ძონეული წყალმცენარეები ფართოდ გავრცელებულია ტროპიკულ სანაპირო წყლებში.
- **მწვანე წყალმცენარეები** მწვანე წყალმცენარეები (chlorophytae და charophyceae) ხმელეთის მცენარეების ახლო ნათესავებია. მწვანე წყალმცენარეების უმეტესობა მტკნარი წყლის ბინადარია, თუმცა ბევრია ზღვის სახეობაც. სხვები ტენიან ნიადაგში და თოვლშიც ბინადრობენ ან ლიქენების სიმბიონტები არიან. მწვანე წყალმცენარეებში შედის ერთუჯრედიანი, კოლონიური და მრავალუჯრედიანი ფორმები. უმეტესობის სასიცოცხლო ციკლი რთულია.

შეამოწმეთ საკუთარი ცოდნა

თვითშეფასება

1. ორზე მეტი მემბრანით შემოსაზღვრული პლასტიდები მანიშნებელია:
 - ა. მიტოქონდრიდან განვითარების;
 - ბ. პლასტიდების შერწყმის;
 - გ. პლასტიდების არქეადან წარმოშობის;
 - დ. მეორადი ენდოსიმბიოზის;
 - ე. პლასტიდების ბირთვის მემბრანიდან გამოყოფის;
2. ბიოლოგები ვარაუდობენ, რომ პლასტიდებამდე ენდოსიმბიოზის გზით მიტოქონდრიები წარმოიქმნენ, ვინაიდან:
 - ა. მიტოქონდრიული ფერმენტების გარეშე არ ხდება ფოტოსინთეზის პროდუქტების მეტაბოლიზმი;
 - ბ. თითქმის ყველა ეუკარიოტს აქვს მიტოქონდრია, პლასტიდები კი მხოლოდ აუტოტროფულ ეუკარიოტებს აქვს;
 - გ. პლასტიდების დნმ უფრო ჰგავს უმარტივესების დნმს, ვიდრე მიტოქონდრიული დნმ;
 - დ. მიტოქონდრიების მიერ წარმოებული CO₂-ის გარეშე ფოტოსინთეზი არ მიმდინარეობს;
 - ე. მიტოქონდრიული ცილების სინთეზი ხდება ციტოზოლის რიბოსომებზე, პლასტიდები კი საკუთარ რიბოსომებს იყენებენ;
3. შემდეგი ეუკარიოტებიდან, რომელს აქვს ელექტრონების გადატანის ჯაჭვის არ მქონე მიტოქონდრია?
 - ა. ოქროსფერ წყალმცენარეს;
 - ბ. დიპლომონადებს;
 - გ. აპიკომპლექსებს;
 - დ. კინეტოპლასტიდებს;
 - ე. კაუოვან წყალმცენარეებს;
4. რომელი ორგანიზმები არ შეესაბამება თავიანთ აღწერას?
 - ა. ცერკოზოა – ძაფისმაგვარი ფსევდოპოდიების მქონე ამებები;
 - ბ. ევგლენები – პარამილონის მარაგის შემგროვებელი უმარტივესებია;
 - გ. ფორამები – მრავალი მიკრობირთვის მქონე წამწამიანი წყალმცენარეებია;
 - დ. აპიკომპლექსები – რთული სასიცოცხლო ციკლის მქონე პარაზიტები;
 - ე. დიპლომონადები – მოდიფიცირებული მიტოქონდრიის მქონე უმარტივესებია.
5. კლადა ალვეოლატაში მოათავსეს პიროფიტული წყალმცენარეები, აპიკომპლექსები და წამწამიანები, ვინაიდან ყველას აქვს:
 - ა. შოლტი ან წამწამები;
 - ბ. ცხოველების პარაზიტებია;
 - გ. მხოლოდ ზღვისა ან მტკნარი წყლის ჰაბიტატში არსებობენ;
 - დ. აქვთ მიტოქონდრია;
 - ე. პლაზმური მემბრანის შიდა მხარეს მემბრანასთან მიბმული ტომარაკები აქვთ;
6. წამწამიანებში ბირთვების გაცვლა უზრუნველყოფს გენეტიკური მრავალფეროვნების წარმოქმნას. ეს პროცესია:
 - ა. მიქსოტროფია;
 - ბ. ენდოსიმბიოზი;
 - გ. მეიოზი;
 - დ. კონიუგაცია;
 - ე. ორად დაყოფა;
7. უმარტივესი, რომელმაც ირლანდიაში კარტოფილის შიმშილი გამოიწვია იყო:
 - ა. ფორამი;
 - ბ. წამწამიანი;
 - გ. ოომიცეტი;
 - დ. პლაზმოდური მიქსომიცეტი;
 - ე. უჯრედული მიქსომიცეტი;
8. წყალმცენარეების რომელ ჯგუფს არ შეესაბამება მისი აღწერა:
 - ა. პიროფიტული წყალმცენარეები – შუშისმაგვარი, ორი ნაწილისგან შემდგარი ნიჟარა;
 - ბ. მწვანე წყალმცენარე – ხმელეთის მცენარეების უახლოესი ნათესავია;
 - გ. ძონეულ წყალმცენარეს სასიცოცხლო ციკლში შოლტიანი სტადია არა აქვს;
 - დ. მურა წყალმცენარეებში უდიდესი წყალმცენარეები შედიან;
 - ე. კაუოვანი წყალმცენარეები ფიტოპლანქტონის ძირითადი კომპონენტია;
9. თაობათა მონაცვლეობით მიმდინარე სასიცოცხლო

ციკლში მრავალუჯრედიან ჰაპლოიდურ ფორმას ცვლის:

- ა. ერთუჯრედიანი ჰაპლოიდური ფორმა;
- ბ. ერთუჯრედიანი დიპლოიდური ფორმა;
- გ. მრავალუჯრედიანი ჰაპლოიდური ფორმა;
- დ. მრავალუჯრედიანი დიპლოიდური ფორმა;
- ე. მრავალუჯრედიანი პოლიპლოიდური ფორმა;

10. რომელი უმარტივესები ქმნიან მკვეთრი შეფერილობის მქონე მრავალბირთვიან მასას:

- ა. ევგლენები;
- ბ. პლაზმოდური მიქსომიცეტა;
- გ. უჯრედული მიქსომიცეტა;
- დ. ფორამები;
- ე. ნყლის ობი;

უფლუციუდი კაუშიტი

სისტემატიკოსებმა გადაწყვიტეს, რომ სამეფო უმარტივესები დაძველებული ტაქსონია

მეცნიერული კულვა

მეცნიერული „თუ...მაშინ“ ლოგიკიდან გამომდინარე (იხილეთ თავი 1) რა პროგნოზებამდე მივყევართ ჰიპოთეზას, რომ ხმელეთის მცენარეები მწვანე წყალმცენარეებისგან განვითარდნენ? როგორ შეგიძლიათ ამ ჰიპოთეზის სხვა გზით შემოწმება?

მეცნიერება, ფიქნლმდგია და საზმგადრდმა

პათოგენპლაზმოდუმს შეუძლია ადამიანის იმუნური სისტემის მოქმედების არიდება. ამიტომ მალარიის საწინააღმდეგო ვაქცინის შემუშავება საკმაოდ რთულია. მეორე მხრივ, მალარიის კვლევაზე ნაკლები ფული იხარჯება, ვიდრე იმ დაავადებების, რომლებიც გაცილებით ნაკლებ ადამიანს ემართება, მაგალითად, შარდის ბუშტის ფიბროზის. რა მიზეზები იწვევს ამ კვლევების დისბალანსს?