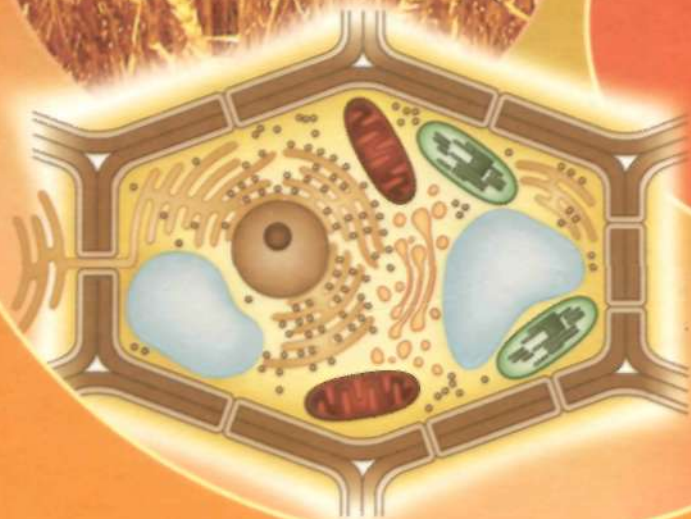


БІЯЛОГІЯ

10



БІЯЛОГІЯ

Вучэбны дапаможнік для 10 класа
агульнаадукацыйных устаноў
з беларускай мовай навучання

Пад рэдакцыяй М. Дз. Лісава

*Дарушчана
Міністэрствам адукацыі
Рэспублікі Беларусь*

2-е выданне, перапрацаванае

Мінск «Народная асвета» 2009

УДК 57(075.3=161.3)
ББК 28.0я721
Б67

Аўтары:

М. Дз. Лісаў, М. А. Лемязя, У. У. Шэвярдоў, Р. Р. Ганчарэнка

Пераклад з рускай мовы *Г. І. Кулеш*

Рэцэнзенты:

кафедра біялогіі Беларускага дзяржаўнага медыцынскага
універсітэта (кандыдат біялагічных навук, дацэнт кафедры *У. В. Давыдаў*);
металыст *вышэйшай катэгорыі* вучэбна-метадычнага аддзела
Гродзенскага дзяржаўнага інстытута павышэння кваліфікацыі
і перападрыхтоўкі кіруючых кадраў і спецыялістаў
адукацыі *Н. П. Коравая*

Біялогія : вучэб. дапам. для 10-га кл. агульнаадукац. устаноў з беларус.
Б67 мовай навучання / М. Дз. Лісаў [і інш.] ; пад рэд. М. Дз. Лісава ; пер. з рус.
мовы Г. І. Кулеш. — 2-е выд., перапрац. — Мінск : Нар. асвета, 2009. —
230 с. : іл.

ISBN 978-985-03-1133-7.

УДК 57 (075.3=161.3)
ББК 28.0я721

ISBN 978-985-03-1133-7

© Лісаў М. Дз., Камлюк Л. В., Лемязя М. А.,
2001
© Лісаў М. Дз., Лемязя М. А., Шэвярдоў У. У.,
Ганчарэнка Р. Р., 2009, са змяненнямі
© Кулеш Г. І., пераклад на беларускую мову,
2009
© Афармленне. УП «Народная асвета», 2009

Глава 6 Спадчыннасць і зменлівасць арганізмаў

§ 44. Заканамернасці наследавання прыкмет, устаноўленыя Г. Мендэлем. Монагібрыднае скрыжаванне. Першы і другі законы Мендэля

Паняцце аб спадчыннасці і зменлівасці. Спадчыннасць — гэта ўласцівасць усіх жывых арганізмаў захоўваць і перадаваць свае прыкметы і ўласцівасці наступным пакаленням. Дзякуючы гэтаму кожны від жывых арганізмаў захоўвае на працягу доўгага часу характэрныя для яго рысы. Напрыклад, сучасная кіся-пёрая рыба *латимерыя* мала адрозніваецца ад сваіх старажытных продкаў, якія жылі каля 400 млн гадоў таму.

Працэс перадачы спадчынай інфармацыі ад аднаго пакалення арганізмаў другому называецца **наследаваннем**. У аснове наследавання ляжыць здольнасць ДНК храмасом да рэплікацыі. Даччыныя храмасомы ў час клетачнага дзялення раўнамерна размяркоўваюцца паміж даччынымі клеткамі. У храмасомах лакалізаваны гены (участкі малекул ДНК), якія кодзіруюць усе бялкі арганізма: бялкі ў сваю чаргу вызначаюць развіццё прыкмет. Сукупнасць спадчынных задаткаў (генаў) арганізма называюць **генацыям**. А сукупнасць усіх прыкмет і ўласцівасцей арганізма — гэта **фенатып**.

Зменлівасць — здольнасць арганізмаў у працэсе жыццядзейнасці набываць новыя і страчваць старыя прыкметы пад уздзеяннем розных фактараў асяроддзя. Дзякуючы зменлівасці асобіны ў межах віду адрозніваюцца паміж сабой.

Спадчыннасць і зменлівасць арганізмаў вывучае **генетыка**. Асноўным метадам даследаванняў у генетыцы з’яўляецца *гібрыдалагічны* метада, які зводзіцца да пэўнай сістэмы скрыжаванняў (гібрыдызацыі) арганізмаў, якія адрозніваюцца адзін ад аднаго па адной, некалькіх або многіх парах альтэрнатыўных (процілеглых) прыкмет з наступным аналізам патомства. Акрамя таго, выкарыстоўваюцца *цытагенетычны* (вывучэнне марфалогіі храмасом), *біяхімічны* (даследаванне ўтрымання нуклеінавых кіслот, бялкоў і іншых рэчываў у клетках арганізмаў), *антагенетычны* (вывучэнне працягу дзеяння генаў у антагенезе, г. зн. у працэсе індывідуальнага развіцця арганізма) і іншыя метады. У генетыцы шырока прымяняюцца таксама статыстычныя метады аналізу.

Гісторыя вывучэння спадчыннасці. Вывучэнне характару і спосабаў перадачы прыкмет патомству пры гібрыдызацыі ў раслін і жывёл праводзілася яшчэ ў XVIII ст. У 1760 г. нямецкі вучоны, член Расійскай акадэміі навук І. Г. Кель-рэйтэр ажыццявіў першыя даследы па штучнай гібрыдызацыі ў раслін і даказаў,

што ў фарміраванні прыкмет у патомкаў прымаюць удзел абедзве расліны-бацькі. Пры штучным перанясенні пылку з кветкі расліны аднаго сорту на пестык кветкі расліны другога сорту ўтвараецца насенне, што паходзіць ад раслін двух сартоў адразу. Расліны, якія выраслі з такога насення, называюцца **гібрыдамі (гібрыдамі першага пакалення)**. Кельрэйтэр звярнуў увагу на тое, што ў гібрыдаў адны прыкметы праяўляюцца, г. зн. дамінуюць над іншымі, і што ў іх могуць праяўляцца прыкметы, скрытыя ў папярэдніх пакаленнях.

У канцы XVIII ст. англійскі расліназнавец Т. Найт, скрыжоўваючы розныя сарты гароху, выявіў, што ў гібрыдаў першага пакалення прыкметы аднаго з бацькоў у колькасных адносінах пераважаюць над прыкметамі другога. А ў наступных пакаленнях ён знаходзіў расліны, у якіх праяўляліся раней скрытыя прыкметы.

У сярэдзіне XIX ст. французскія батанікі А. Сажрэ і Ш. Надэн, вывучаючы гібрыды *гарбуза* па такіх прыкметах, як афарбоўка мякаці пладоў (жоўтая і белая) і насення (жоўтае і белое), выявілі, што пры скрыжоўванні розных сартоў з неаднолькавымі прыкметамі ў гібрыдаў першага пакалення праяўляюцца прыкметы толькі аднаго з бацькоў. Гэтыя прыкметы былі названы **дамінантнымі** (ад лац. *дамінантус* — пануючы), а прыкметы прыгнечаныя, якія не праяўляюцца ў гібрыдаў першага пакалення, — **рэцэсіўнымі** (ад лац. *рэцэсус* — адступленне).

Такім чынам, к сярэдзіне XIX ст. вучоныя і практыкі з многіх краін выявілі такія асаблівасці наследвання прыкмет, як дамінаванне, аднароднасць гібрыдаў першага пакалення, расшчэпленне і перакамбінаванне спадчынных задаткаў пры гібрыдызацыі. Аднак устанавіць механізмы гэтай з'явы не ўдалося, паколькі адначасова вывучалася наследванне некалькіх прыкмет і не дапускалася магчымасць іх раз'яднання ў працэсе наследвання.

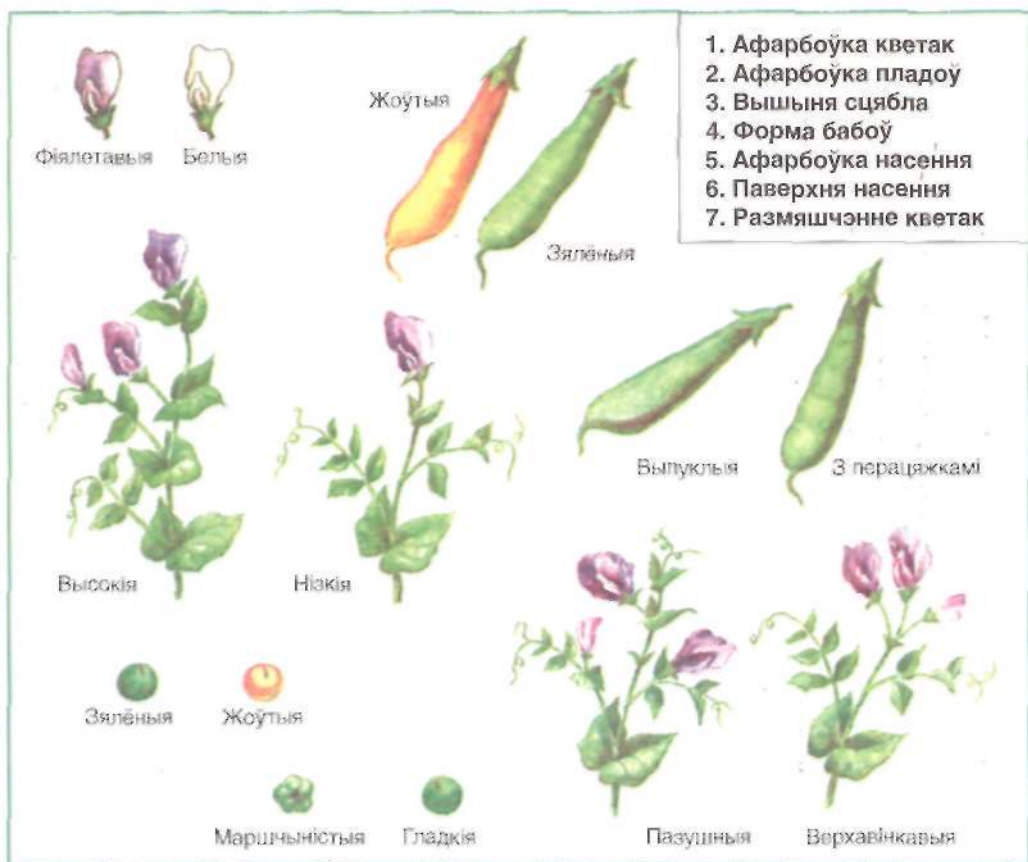
Вывучэнне спадчынасці Г. Мендэлем. Гібрыдалагічны метады. Механізмы і заканамернасці наследвання прыкмет раскryў чэшскі даследчык-аматар Г. Мендэль у 1855—1865 гг. У чым жа было адрозненне яго работ ад работ папярэднікаў? Галоўная заслуга Мендэля заключаецца ў тым, што ён здолеў правільна паставіць задачу даследавання — высветліць, як наследуюцца асобныя прыкметы. Для гэтага ён прымяніў гібрыдалагічны метады. Для скрыжавання ён адбіраў бацькоўскія асобіны з канстантнымі (узнаўляльнымі з пакалення ў пакаленне пры скрыжаванні ў межах роднасных формаў) прыкметамі. Ім выбіраліся бацькоўскія расліны, якія кантрастна адрозніваліся адна ад адной па парах альтэрнатыўных прыкмет.

Удала быў выбраны Мендэлем аб'ект даследавання — *садовы гарох* (*Pisum sativum*). Ён лёгка культывуецца, непатрабавальны, дае шматлікае патомства, у яго многа сартоў, патомства ад скрыжавання якіх добра размнажаецца. Мендэль

Мендэль Грэгар Іаган (1822—1884) — выдатны чэшскі вучоны-прыродазнавец. Заснавальнік вучэння аб спадчыннасці. Упершыню выявіў існаванне спадчынных фактараў, названых у далейшым генамі.



з 34 сартоў гароху выбраў 22, якія выразна адрозніваюцца па сямі парах кантрастных прыкмет: жоўтая або зялёная афарбоўка насення, іх гладкая або маршчыністая паверхня, фіялетаваыя або белыя кветкі, іх пазушнае або верхавінкавае размяшчэнне, высокія (да 2 м) або нізкія (да 60 см) сцябліны, зялёныя або жоўтыя, выпуклыя або з перацяжкамі плады-бабы (мал. 99). Для гэтага ён на



Мал. 99. Сем прыкмет, наследаванне якіх вывучаў Мендэль

працягу двух гадоў правяраў «чысцію сорту»: даў раслінам магчымасць самаапыляцца (гарох — самаапыляльнік) і выбраў сарты, дзе патомкі ў шэрагу пакаленняў не змяняюцца па знешнім выглядзе і не даюць расшчаплення. У далейшым такія групы арганізмаў былі названы **чыстымі лініямі**.

Акрамя таго, Мендэль выкарыстоўваў дакладныя колькасныя метады для ўліку размеркавання прыкмет у гібридных пакаленнях і праводзіў індывідуальны аналіз патомства ад кожнага гібриднага пакалення асобна па кожнай пары прыкмет.

Пералічаныя прыёмы даследавання склалі прынцыпова новы гібридалагічны метад, які адкрыў цэлую эпоху ў вывучэнні спадчыннасці і зменлівасці. Сукупнасць генетычных метадаў вывучэння спадчынных уласцівасцей арганізма (яго генатыпу) называюць **генетычным аналізам**.

У сваёй рабоце Мендэль аналізаваў наследаванне, улічваючы спачатку адну пару альтэрнатыўных прыкмет, затым дзве, тры і г. д., называючы скржжванне адпаведна мана-, ды- і полігібридным.

Скржжванне двух арганізмаў яшчэ ў XVIII ст. было названа **гібридызацыяй**, а патомства ад скржжвання дзвюх асобін з рознай спадчыннасцю — **гібридным**.

Монагібриднае скржжванне. Закон аднароднасці гібридаў першага пакалення. Монагібридным называецца такое скржжванне, пры якім бацькоўскія арганізмы адрозніваюцца адзін ад аднаго па адной пары альтэрнатыўных прыкмет.

У адным з даследаў Мендэль вывучаў наследаванне афарбоўкі насення гароху пры скржжванні раслін, вырашчаных з жоўтага насення, з раслінамі, вырашчанымі з насення зялёнага колеру. У першым гібридным пакаленні (F_1) назіралася аднароднасць асобін, прычым у гібридаў праяўлялася прыкмета толькі аднаго з бацькоў:

P : ♀ жоўты колер гарошыны \times ♂ зялёны колер гарошыны
 F_1 : усе расліны маюць гарошыны жоўтага колеру

Пры аналізе заканамернасцей наследавання прыкмет даследчыкі для запісу сістэмы скржжванняў карыстаюцца міжнароднай сімволікай: P — бацькоўскія асобіны (ад лац. *parentes* — бацька); ♀ — жаночая асобіна; ♂ — мужчынская асобіна; G — гамета; F — гібриднае патомства (ад лац. *filiale* — даччыны) з адпаведным індэксам (F_1, F_2, F_3 і г. д.); значок « \times » выкарыстоўваецца для абазначэння скржжвання.

Значыць, у гібридаў першага пакалення з пары прыкмет праяўляецца толькі адна. Другая прыкмета нібы знікае, не развіваецца. Перавага ў гібрида прыкметы аднаго з бацькоў называецца **дамінаваннем**.

Мендэль выявіў таксама, што ўсе гібрыды першага пакалення атрымаліся аднароднымі па кожнай з сямі пералічаных вышэй даследаваных прыкмет.

З'ява дамінавання адной прыкметы над другой у гібрыдаў першага пакалення і аднароднасць гібрыдаў па гэтай прыкмеце ў далейшым была названа **законам аднароднасці гібрыдаў першага пакалення або першым законам Мендэля**.

Гэты закон фармулюецца наступным чынам: пры скржаванні дзвюх асобін чыстых ліній аднаго віду, якія адрозніваюцца па адной пары альтэрнатыўных прыкмет, гібрыды першага пакалення па дамінантнай прыкмеце будуць аднароднымі.

Закон расшчаплення. У другім пакаленні пры самаапыленні гібрыдаў першага пакалення выявілася вышчапленне прыгнечанай (рэцэсіўнай) бацькоўскай прыкметы ў $\frac{1}{4}$ часткі патомства: $\frac{3}{4}$ раслін мелі гарошыны жоўтага колеру і $\frac{1}{4}$ — гарошыны зялёнага колеру.

Такое ж расшчапленне было выяўлена Мендэлем і па іншых даследаваных прыкметах ($\frac{3}{4}$ раслін у F_2 мелі дамінантныя прыкметы і $\frac{1}{4}$ — рэцэсіўныя).

Значыць, рэцэсіўная прыкета ў гібрыдаў першага пакалення не знікла, а толькі была прыгнечана і зноў праявілася ў другім пакаленні. Гэта абгульненне пазней было названа **законам расшчаплення або другім законам Мендэля**, які фармулюецца так: пры скржаванні гібрыдаў першага пакалення паміж сабой у другім пакаленні назіраецца расшчапленне па альтэрнатыўных прыкметах у суадносінах: 3 часткі асобін з дамінантнай прыкметай да 1 часткі асобін з рэцэсіўнай прыкметай.

Неабходна адзначыць, што ідэальных суадносін 3 : 1 звычайна не выяўлялася ні ў адным даследзе. Напрыклад, вывучачы расшчапленне па афарбоўцы насення, Мендэль даследаваў 8023 гарошыны і атрымаў суадносіны: 6022 жоўтыя і 2001 зялёная, што вельмі блізка да суадносін 3 : 1, і толькі статыстычны аналіз дазволіў усталяваць характар расшчаплення.

Шматлікімі назіраннямі шэрага даследчыкаў у наступныя гады быў устаноўлены універсальны характар законаў Мендэля. Ім падпарадкоўваюцца ўсе жывыя арганізмы, у тым ліку чалавек, у якога вывучана і апісана многа пар альтэрнатыўных прыкмет.

Выяўлення Г. Мендэлем заканамернасці не зразумелі яго сучаснікі; яны былі па заслугах ацэнены толькі праз 35 гадоў. У 1900 г. амаль адначасова, але незалежна адзін ад аднаго Г. дэ Фрыз (Галандыя) на *аслінніку*, *маку* і *дурнап'яне*, К. Корэнс (Германія) на *гароху* і *кукурузе* і Э. Чэр-

мак (Аўстрыя) на *гароху* выявілі тая ж заканамернасці наследавання, што і Мендэль. З гэтага моманту ўсім стала відавочным, наколькі вялікае значэнне даследавання Мендэля; менавіта ім быў адкрыты шлях да разгадкі таямніцы спадчыннасці. Пераадкрыццё законаў Мендэля выклікала імклівае развіццё генетыкі.

? 1. Што такое спадчыннасць і якое яе біялагічнае значэнне? 2. Што такое генатып і фенатып? 3. Што такое дамінантная і рэцэсіўная прыкметы? 4. Якія законы ўстанавіў Мендэль на аснове монагібрыднага скржавання? Сфармулюйце іх сутнасць. 5. Якія бясспрэчныя правілы пакладаюны Мендэлем у аснову метаду гібрыдалагічнага аналізу? 6. Прааналізуйце прыкметы і ўласцівасці вашых пакаёвых або дачных раслін ці свойскіх жывёл. Паспрабуйце выявіць у іх дамінантныя і рэцэсіўныя прыкметы.

§ 45. Цыталагічныя асновы наследавання прыкмет пры монагібрыдным скржаванні

Папярэдне аб алейных, дамінантных і рэцэсіўных генах. Каб высветліць, як будзе ажыццяўляцца наследаванне прыкмет у трэцім, чацвёртым і наступных пакаленнях, Мендэль прарошчваў насенне F_2 і даў атрыманым раслінам магчымасць самаапыляцца. У раслін, якія выраслі з насення зялёнага колеру, насенне заўсёды было зялёным. Аднак расліны, атрыманыя з жоўтага насення, паводзілі сябе зусім інакш. Высветлілася, што жоўтае насенне бывае двух тыпаў, якія знешне зусім не адрозніваюцца: прыкладна адна трэць з яго давала расліны з такім жа насеннем, а ў патамстве жоўтага насення другога тыпу (яно складала $\frac{2}{3}$) сустракалася жоўтае і зялёнае насенне ў суадносінах 3 : 1.

У чым жа прычына расшчаплення? Чаму пры далейшым самаапыленні зноў адбываецца расшчапленне ў строга вызначаных суадносінах?

Для растлумачэння вынікаў сваіх назіранняў Мендэль выказаў наступную гіпотэзу. Альтэрнатыўныя прыкметы, такія, як, напрыклад, жоўтая і зялёная афарбоўкі насення гароху, вызначаюцца якімісьці спадчыннымі фактарамі (задаткамі), якія перадаюцца ад бацькоў патамкам з гаметамі.

У далейшым гэтыя спадчынныя задаткі, адказныя за фарміраванне прыкмет, пачалі называць **генамі**. Кожны ген можа існаваць у адной або некалькіх альтэрнатыўных формах. Такія формы называюцца **алелямі** або **алельнымі генамі**. Такім чынам, у кожнай расліне гароху ёсць два гены, якія вызначаюць афарбоўку насення. Кожны з іх можа быць або ў форме, што вызначае жоўты колер гарошыны (алець жоўтай афарбоўкі — дамінантны), альбо ў форме, што вызначае зялёную афарбоўку (алець зялёнай афарбоўкі — рэцэсіўны). Дамінантныя гены Мендэль

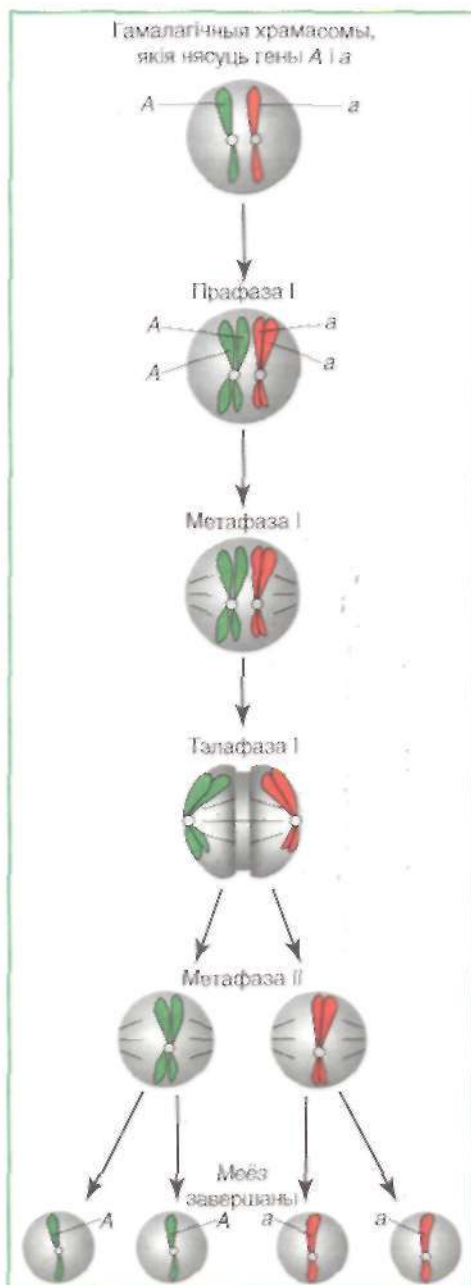
абазначыў вялікімі літарамі лацінскага алфавіта (напрыклад, A), рэцэсіўныя — малымі (a).

У залежнасці ад таго, якія аальныя гены — аднолькавыя (дамінантныя ці рэцэсіўныя) або розныя — нясе асобіна, адрозніваюць гомазіготныя ($\frac{A}{A}$, $\frac{a}{a}$) або гетэразіготныя асобіны ($\frac{A}{a}$). Такім чынам, **гомазігота** — гэта асобіна, якая нясе аднолькавыя аальныя гены (AA , aa), **гетэразігота** — асобіна, якая нясе розныя аальныя гены (Aa).

У доследах Мендэля чыстыя лініі (расліны, якія не даюць расшчэплення ў шэрагу пакаленняў па вывучаемай прыкмеце) з жоўтым насеннем гомазіготныя па гэтай прыкмеце ($\frac{A}{A}$). А расліны з зялёнай афарбоўкай насення, у патомстве якіх усё насенне зялёнае, гомазіготныя па прыкмеце ($\frac{a}{a}$). Значыць, гібрыднае патомства павінна стаць гетэразіготным, таму што яно атрымлівае розныя аальныя гены.

Цыталагічныя асновы расшчэплення. Расшчэпленне ў другім пакаленні абумоўлена механізмам меёзу і аднолькавай верагоднасцю сустрэчы гамет. У выніку меёзу пры дзяленні дыплоіднай першаснай палавой клеткі ўтвараюцца чатыры гаплоідныя гаметы, якія атрымліваюць па адной хромасоме з кожнай пары гамалагічных хромасом, а адпаведна па адным гене (алелю) з кожнай пары (мал. 100).

Пры злічці гамет мужчынскага і жаночага арганізмаў утвараецца дыплоідная



Мал. 100. Цыталагічныя асновы монагібрыднага скржавання

Фенатыпы першага пакалення	Дамінантны	×	Дамінантны
Генатыпы першага пакалення	Aa	×	Aa
Выпадковае апладненне	♀ \ ♂	A	a
	A	AA	Aa
	a	Aa	aa

Мал. 101. Рашотка Пенета

зігота, у якой зноў збіраюцца пары гамалагічных храмасом (па храмасоме ад кожнага бацькоўскага арганізма), а адпаведна два гены, якія вызначаюць развіццё прыкметы.

Роўнаімавернае спалучэнне гамет пры скржаванні асобін першага пакалення абумоўлівае расшчапленне па фенатыпе ў суадносінах 3:1 у другім пакаленні.

Для спрашчэння разліку спалучэнняў розных тыпаў гамет англійскі генетык Р. Пенет прапанаваў рабіць запіс у выглядзе рашоткі, якая і ўвайшла ў літаратуру пад назвай **рашоткі Пенета** (мал. 101). Злева па вертыкалі размяшчаюцца жаночыя гаметы, зверху па гарызанталі — мужчынскія. У квадраты рашоткі ўпісваюць атрыманыя спалучэнні гамет, якія адпавядаюць генатыпам зігот.

Такім чынам, у другім пакаленні тры часткі патомства атрымліваюць дамінантную прыкмету, адна частка — рэцэсіўную. Расшчапленне па генатыпе складае 1:2:1, г. зн. $\frac{1}{4}$ патомства ўяўляе сабой дамінантнага гомазігота ($\frac{A}{A}$), $\frac{2}{4}$ — гетэразігота ($\frac{A}{a}$), $\frac{1}{4}$ — рэцэсіўнага гомазігота ($\frac{a}{a}$).

- ? 1. Што такое ген? 2. Якія гены называюцца алельнымі, дамінантнымі і рэцэсіўнымі? 3. Растлумачце паняцці «гомазігота», «гетэразігота». 4. Якія цыталагічныя асновы наследвання прыкмет пры монагібрыдным скржаванні? 5. Якія цыталагічныя асновы расшчаплення прыкмет у другім пакаленні?

§ 46. Дыгібрыднае скрыжаванне. Трэці закон Мендэля

Дыгібрыднае скрыжаванне. Арганізмы адрозніваюцца па многіх генах і, як вынік, па многіх прыкметах. Каб адначасова прааналізаваць наследаванне некалькіх прыкмет, неабходна вывучыць наследаванне кожнай пары паасобку, а затым супаставіць і аб'яднаць усе гэтыя назіранні. Менавіта так зрабіў Мендэль.

Скрыжаванне, пры якім бацькоўскія формы адрозніваюцца па дзвюх парах альтэрнатыўных прыкмет (па дзвюх парах алеляў), называецца *дыгібрыдным*. Гібрыды, гетэразіготныя па двух генах, называюцца *дыгетэразіготнымі*.

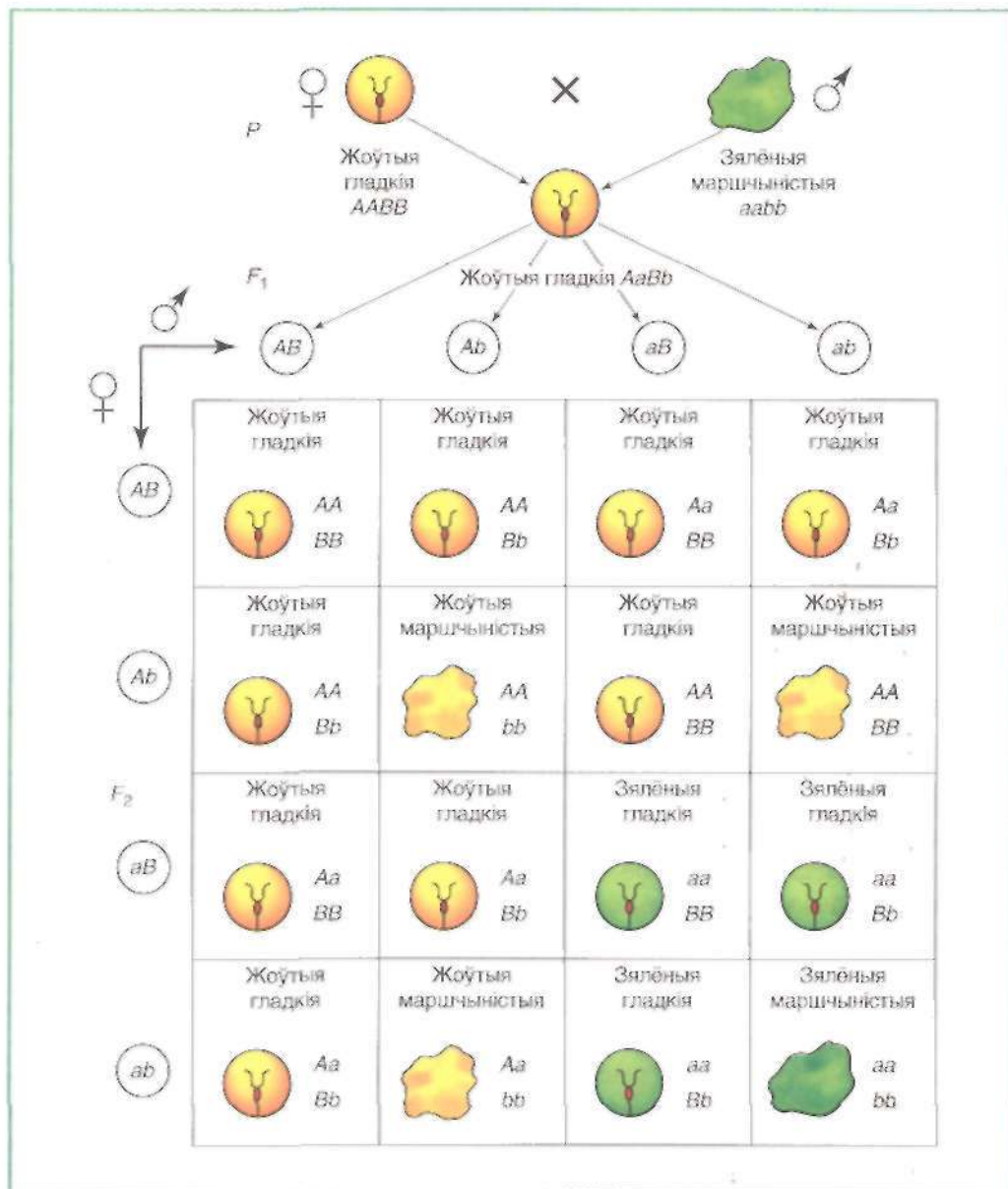
Незалежнае наследаванне прыкмет. Для дыгібрыднага скрыжавання Мендэль выкарыстоўваў гомазіготныя расліны гарошу, якія адрозніваюцца адначасова па дзвюх парах прыкмет. Адна са скрыжоўваемых раслін мелі жоўтае гладкае насенне, другія — зялёнае маршчыністае (мал. 102, с. 172).

Усе гібрыды першага пакалення гэтага скрыжавання мелі жоўтае гладкае насенне. Значыць, жоўтая афарбоўка насення дамінуе над зялёнай і гладкая форма — над маршчыністай. Абазначым алелі жоўтай афарбоўкі A , зялёнай — a , гладкай формы — B , маршчыністай — b . Гены, якія вызначаюць развіццё розных пар прыкмет, называюцца *неалельнымі*. У гэтым выпадку гены афарбоўкі насення A і a неалельныя генам, якія вызначаюць паверхню насення, — B і b . Бацькоўскія расліны будуць мець генатыпы $AABB$ і $aabb$. Генатып гібрыдаў F_1 будзе $AaBb$, г. зн. дыгетэразіготны.

У другім пакаленні пасля самаапылення гібрыдаў F_1 у адпаведнасці з законам расшчаплення зноў паявілася маршчыністае і зялёнае насенне. Пры гэтым у *доследах Мендэля назіраліся наступныя спалучэнні прыкмет*: 315 жоўтых гладкіх, 101 жоўтае маршчыністае, 108 зялёных гладкіх і 32 зялёныя маршчыністыя семі, г. зн. суадносіны, вельмі блізкія да $9:3:3:1$.

Каб высветліць, як паводзіць сябе кожная пара алеляў у патомстве дыгетэразіготы, мэтазгодна правесці паасобны ўлік кожнай пары прыкмет — па форме і афарбоўцы насення. З 556 гарошын Мендэлем атрымана 423 гладкія і 133 маршчыністыя, а таксама 416 жоўтых і 140 зялёных. Такім чынам, і ў гэтым выпадку суадносіны дамінантных і рэцэсіўных формаў па кожнай пары прыкмет сведчаць аб расшчапленні па фенатыпе $3:1$, якія назіраюцца пры монагібрыдным скрыжаванні. Адсюль вынікае, што дыгібрыднае расшчапленне ўяўляе сабой па сутнасці два незалежныя монагібрыдных скрыжаванні.

Праведзеныя назіранні пераканаўча паказваюць, што асобныя пары прыкмет паводзяць сябе ў наследаванні незалежна. Гэты феномен адлюстроўвае сутнасць трэцяга закона Мендэля — закона незалежнага наследавання прыкмет, або незалежнага камбінавання генаў: пры скрыжаванні асобін, якія адрозніваюцца



Мал. 102. Дыгібрыднае скрыванне гарохаў, якія адрозніваюцца афарбоўкай і формай насення (A — жоўтыя, a — зялёныя, B — гладкія, b — маршчыністыя)

ца адна ад адной па дзвюх і больш парах альтэрнатыўных прыкмет, гены і аднаведныя ім прыкметы наследуюцца незалежна адно ад аднаго і камбінуюцца ва ўсіх магчымых спалучэннях.

Цыталагічныя асновы закона незалежнага наследавання прыкмет.

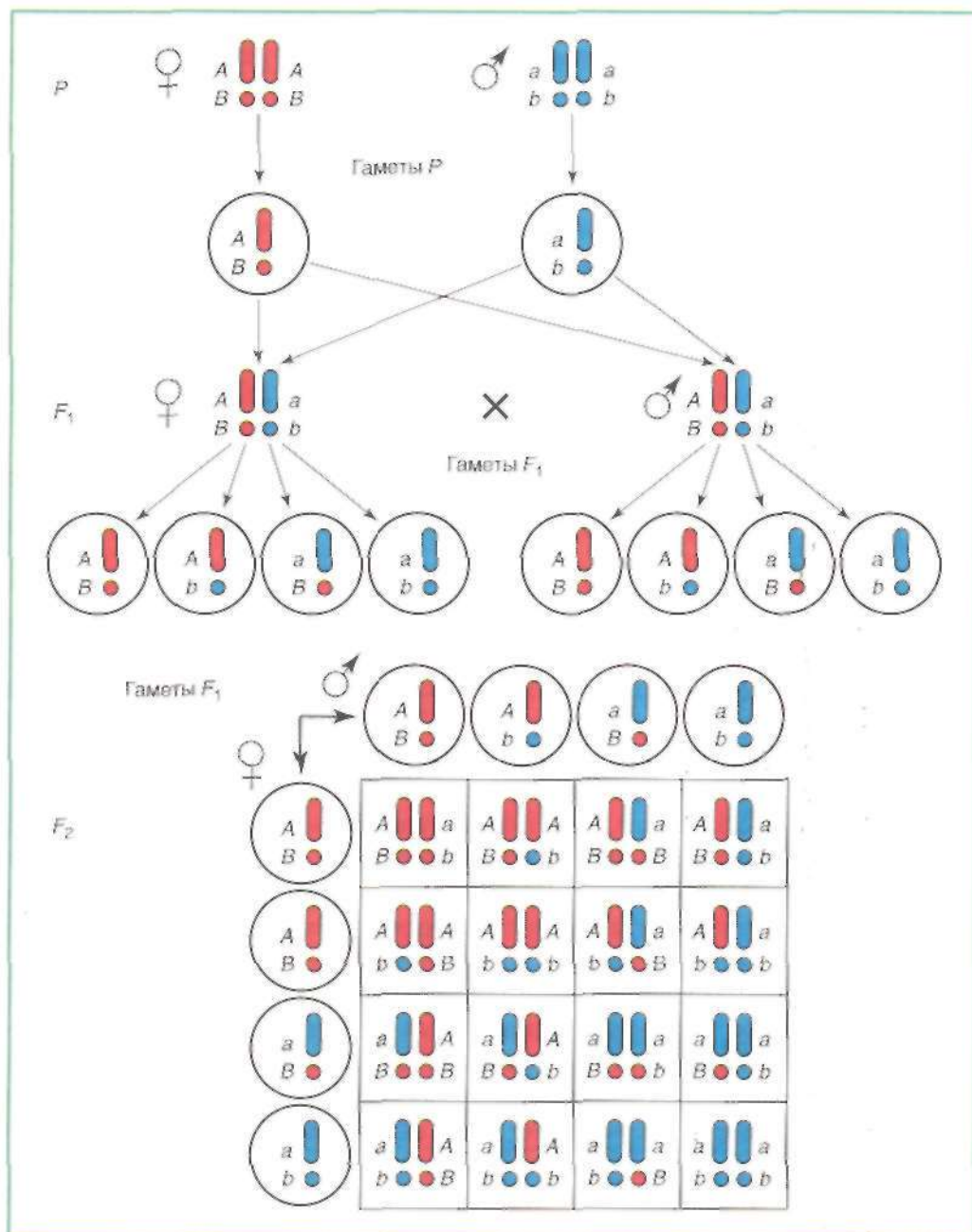
Як вядома, у прафазе I меёзу гамалагічныя храмасомы кан'югіруюць, а ў анафазе адна з гамалагічных храмасом адыходзіць да аднаго полюса клеткі, другая — да другога. Пры разыходжанні да розных полюсаў негамалагічныя храмасомы камбінуюцца свабодна і незалежна адна ад адной. Пры апладненні ў зігоце аднаўляецца дыплоідны набор храмасом і гамалагічныя храмасомы, якія знаходзяцца ў розных палавых клетках бацькоў, злучаюцца.

Данусім, што кожная храмасома ўтрымлівае толькі адзін ген. Палачкападобныя храмасомы нясуць алель A або a , сферычныя — B або b , г.зн. гэтыя дзве пары алеляў знаходзяцца ў негамалагічных храмасомах (мал. 103, с. 174).

Гомазіготныя бацькі $\left(\frac{A}{A} \frac{B}{B} ; \frac{a}{a} \frac{b}{b}\right)$ фарміруюць толькі адзін тып гамет (G) з дамінантнымі ($A B$) або рэцэсіўнымі ($a b$) алелямі. Пры зліцці гамет утвараецца аднароднае першае пакаленне гібрыдаў. Гэтыя гібрыды дыгетэразіготныя $\left(\frac{A}{a} \frac{B}{b}\right)$, але паколькі ў іх прысутнічаюць гены A і B , то па фенатыпе яны падобныя да аднаго з бацькоў.

Пры меёзе ў гібрыдных арганізмаў з кожнай пары гамалагічных храмасом да полюсаў адыходзіць па адной храмасоме. Пры гэтым з прычыны выпадковасці разыходжанні бацькаўскіх і мацярынскіх храмасом ген A можа трапіць у адну гамету з генам B або генам b . Дакладна гэтак жа ген a можа апынуцца ў адной гамеце з генам B або з генам b . Таму гібрыды ўтвараюць чатыры тыпы гамет: AB , Ab , aB і ab . Утварэнне кожнага з іх роўнаімавернае, г. зн. усе гэтыя тыпы гамет утвараюцца ў роўных колькасцях. Свободнае спалучэнне такіх гамет у працэсах апладнення заканчваецца ўтварэннем 16 магчымых варыянтаў зігот, а значыць, і патомкаў.

Патомкі падзяляюцца на чатыры фенатыпічныя класы: дамінантныя па абедзвюх прыкметах — 9 частак, дамінантныя па першай і рэцэсіўныя па другой прыкмеце — 3, рэцэсіўныя па першай і дамінантныя па другой — 3, рэцэсіўныя па абедзвюх прыкметах — 1 частка. Выкарыстоўваючы фенатыпічны радыкал $A-$, дзе замест рысачкі можа быць як дамінантны, так і рэцэсіўны ген (фенатып асобіны ў абодвух выпадках будзе аднолькавы), расшчапленне па фенатыпе пры гібрыдным скрыжаванні можна паказаць наступным чынам: $9A-B- ; 3A-bb ; 3aaB- ; 1aabb$. Генатыпічных класаў будзе дзевяць: $1AABB, 2AABb, 1AAbb, 2Aabb, 4AaBb, 2AaBB, 1aaBB, 2aaBb, 1aabb$.



Мал. 103. Цыталагічныя асновы расчыхлення прыкмет пры дыгібрыдным скрываванні

- ? 1. Якое скрыжаванне называецца дыгібрыдным? 2. У чым сутнасць закона незалежнага наследвання прыкмет? 3. Ахарактарызуйце цыгалагічныя асновы закона незалежнага наследвання прыкмет. 4. Якая сувязь паміж першым, другім і трэцім законамі Мендэля? 5. Якое будзе расшчапленне па генатыпе і фенатыпе ў F_2 калі гібрыды другога пакалення дыгібрыднага скрыжавання (гл. рашотку Пенета) будуць размнажацца самаапыленнем? 6. Якую колькасць тыпаў гамет утвараюць асобіны з генатыпамі $AaBbCcDd$ і $aaBbDdKkPp$?

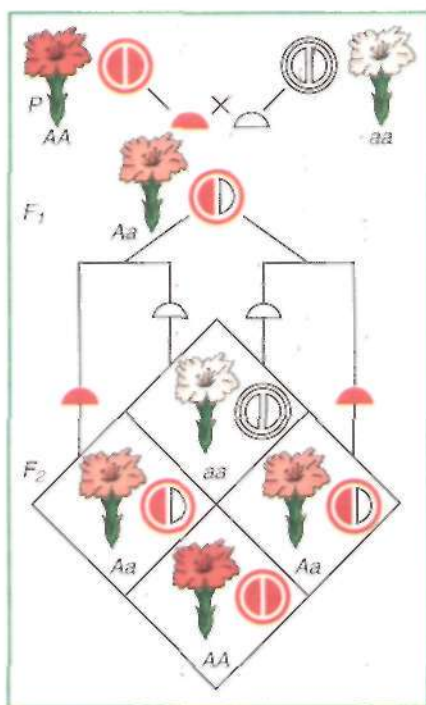
§ 47. Узаемадзеянне аэльных генаў.

Множны аэлізм

З'ява няпоўнага дамінавання. На прыкладзе даследавання ў гароху афарбоўкі насення і іншых прыкмет відаць, што гены, якія вызначаюць развіццё ўзаемавыключальных прыкмет, з'яўляюцца парнымі. Пару аэльных генаў (алеляў), якія вызначаюць альтэрнатыўныя прыкметы, называюць *алеламорфнай* парай, а саму з'яву парнасці — **аэлізмам**. Аэльныя гены размешчаны ў гамалагічных участках (локусах) гамалагічных храмасом.

Праз многа гадоў пасля класічных даследаванняў Г. Мендэля стала зразумела, што паняцці «дамінантны ген» і «рэцэсіўны ген» з'яўляюцца адноснымі. У гена, які вызначае якую-небудзь прыкмету, можа быць і іншы «стан», які пельга назваць ні дамінантным, ні рэцэсіўным.

Часам адзін аэльны ген не поўнасцю прыгнечвае праяўленне дзеяння другога. Пры гэтым узнікаюць прамежкавыя прыкметы, і прыкмета ў гомазіготнай па дамінантным гене асобіны будзе не такой, як у гетэразіготнай асобіны. Гэта з'ява атрымала назву **няпоўнага дамінавання**. Прыкладам няпоўнага дамінавання з'яўляецца наследванне афарбоўкі кветак у расліны *начная прыгажуня* (мал. 104). Як відаць з малюнка, гомазіготныя расліны маюць альбо чырвоныя (AA), альбо белыя (aa) кветкі, а гетэразіготныя (Aa) — ружовыя. Пры скрыжаванні расліны з чырвонымі кветкамі і расліны з бе-



Мал. 104. Наследванне афарбоўкі кветак у начной прыгажуні (няпоўнае дамінаванне)

лымі кветкамі ў F_1 на ўсіх раслін кветкі будуць ружовымі, г. зн назіраецца пра-
межкавы характар наследавання.

Пры няпоўным дамінаванні змяняецца характар расшчаплення ў другім па-
каленні, паколькі фенатып гетэразігот адрозніваецца ад фенатыпу гомазігот. У
гэтым выпадку расшчапленне па фенатыпе (1:2:1) і па генатыпе (1:2:1) су-
падае: 1 частка мае чырвоную афарбоўку кветак (AA), 2 часткі — ружовую (Aa)
і 1 частка — белую (aa).

Няпоўнае дамінаванне шырока распаўсюджана. Яно назіраецца ў наследа-
ванні кучаравасці валасоў у чалавека, масці ў буйной рагатай жывёлы, афарбоўкі
алярэнія ў курэй, многіх іншых марфалагічных і фізіялагічных прыкмет у раслін,
жывёл і чалавека.

Множны аалелізм. У самым простым выпадку ген прадстаўлены двума але-
лямі (напрыклад, гены, якія вызначаюць жоўтую і зялёную афарбоўку гарошыцы,
пурпурную і белую афарбоўку венчыка кветкі і г. д.). Часта аалеляў бывае больш;
ген, які вызначае ў чалавека сістэму груп крыві АВО, існуе ў трох формах; для
гена, які кантралюе сінтэз гемаглабіну, іх вядома некалькі дзесяткаў. З'ява, калі
гены існуюць не ў двух, а ў трох і больш станах, называецца **множным аалеліз-
мам**. Аднак у клетках кожнага канкрэтнага дыплоіднага арганізма прысутнічае
толькі два аалелі кожнага гена (падумайце чаму).

Кадамінаванне. У саматычнай клетцы заўсёды ёсць толькі два аалельныя
гены — адзін ад бацькаўскага, а другі ад мацярынскага арганізма. Пры мно-
жным аалелізме спалучэнні гэтых генаў у розных асобін адной папуляцыі будуць
рознымі — каму якія дастануцца ад бацькоў. Напрыклад, група крыві ў чалавека
вызначаецца генам, які можа быць прадстаўлены трыма аалелямі — I^A , I^B , I^O .
Пры гэтым аалелі, якія вызначаюць першую і другую групы крыві (I^A , I^B), да-
мінантныя ў адносінах да аалеля першай групы (I^O). Такім чынам, першая група
крыві фарміруецца ў гомазігодзе (генатып $I^O I^O$); а другая і трэцяя ў гомо- і ге-
тэразігодзе (генатыпы — $I^A I^A$ і $I^A I^O$; $I^B I^B$ і $I^B I^O$). У выпадку $I^A I^B$ гены не пры-
гнечваюць дзеянне адзін аднаго, пры гэтым у арганізма фарміруецца новы ва-
рыянт прыкметы (у адрозненне ад няпоўнага дамінавання прыкмета мае новую
якасць) — чацвёртая група крыві. Такі тып узаемадзеяння дамінантных аалель-
ных генаў, калі яны разам вызначаюць новую якасць або варыянт прыкметы, на-
зваецца **кадамінаваннем**.

- ? 1. У чым выяўляецца ўзаемадзеянне аалельных генаў? 2. Растлумачце, што такое да-
мінаванне, няпоўнае дамінаванне і кадамінаванне. 3. У чым выяўляецца множнае дзе-
янне генаў? Прывядзіце прыклады. 4. Што такое множны аалелізм? 5. Ці можа ў маці з
групай крыві А і бацькі з групай крыві В нарадзіцца дзіця з групай крыві В? Растлумачце
адказ.

§ 48. Храмасомная тэорыя спадчыннасці. Счэплене наследаванне

Сутнасць храмасомнай тэорыі спадчыннасці. У 1902—1903 г. амерыканскі цытолаг У. Сетан і нямецкі цытолаг і эмбрыёлаг Т. Боверы незалежна адзін ад аднаго выказалі меркаванне, што гены размешчаны ў храмасомах. Аднак эксперыментальны доказ лакалізацыі канкрэтных генаў у канкрэтных храмасомах быў атрыманы толькі ў 1910 г. амерыканскім генетыкам Т. Морганам, які ў наступныя гады (1911—1926) абгрунтаваў храмасомную тэорыю спадчыннасці. Згодна з гэтай тэорыяй перадача спадчыннай інфармацыі звязана з храмасомамі, у якіх лінейна, у пэўнай паслядоўнасці лакалізаваны гены. Такім чынам, менавіта храмасомы з'яўляюцца матэрыяльнай асновай спадчыннасці.

Счэплене наследаванне. Незалежнае камбінаванне прыкмет (трэці закон Мендэля) ажыццяўляецца пры ўмове, што гены, якія вызначаюць гэтыя прыкметы, знаходзяцца ў розных парах гамалагічных храмасом. Значыць, у кожнага арганізма колькасць генаў, здольных незалежна камбінавацца ў меўзе, абмежавана колькасцю храмасом. Гены, лакалізаваныя ў адной храмасоме, утвараюць групу счэплення і наследуюцца разам.

Сумеснае наследаванне генаў Т. Морган прапанаваў назваць **счэпленым наследаваннем**. Колькасць груп счэплення адпавядае гаплііднаму набору храмасом, паколькі кожную групу счэплення складаюць дзве гамалагічныя храмасомы, у якіх лакалізаваны гены, якія адказваюць за адны і тыя ж прыкметы.

Наследаванне счэпленых генаў адрозніваецца ад наследавання генаў, лакалізаваных у розных парах гамалагічных храмасом. Так, калі пры незалежным кам-

бінаванні дыгібрыд $\left(\frac{A}{a} \frac{B}{b}\right)$ утварае чатыры тыпы гамет (AB , Ab , aB , ab) у роўных колькасцях, то такі ж дыгібрыд $\left(\frac{AB}{ab}\right)$ утварае толькі два тыпы гамет: AB і ab таксама ў роўных колькасцях. Апошнія паўтараюць камбінацыю генаў у храмасоме бацькі.

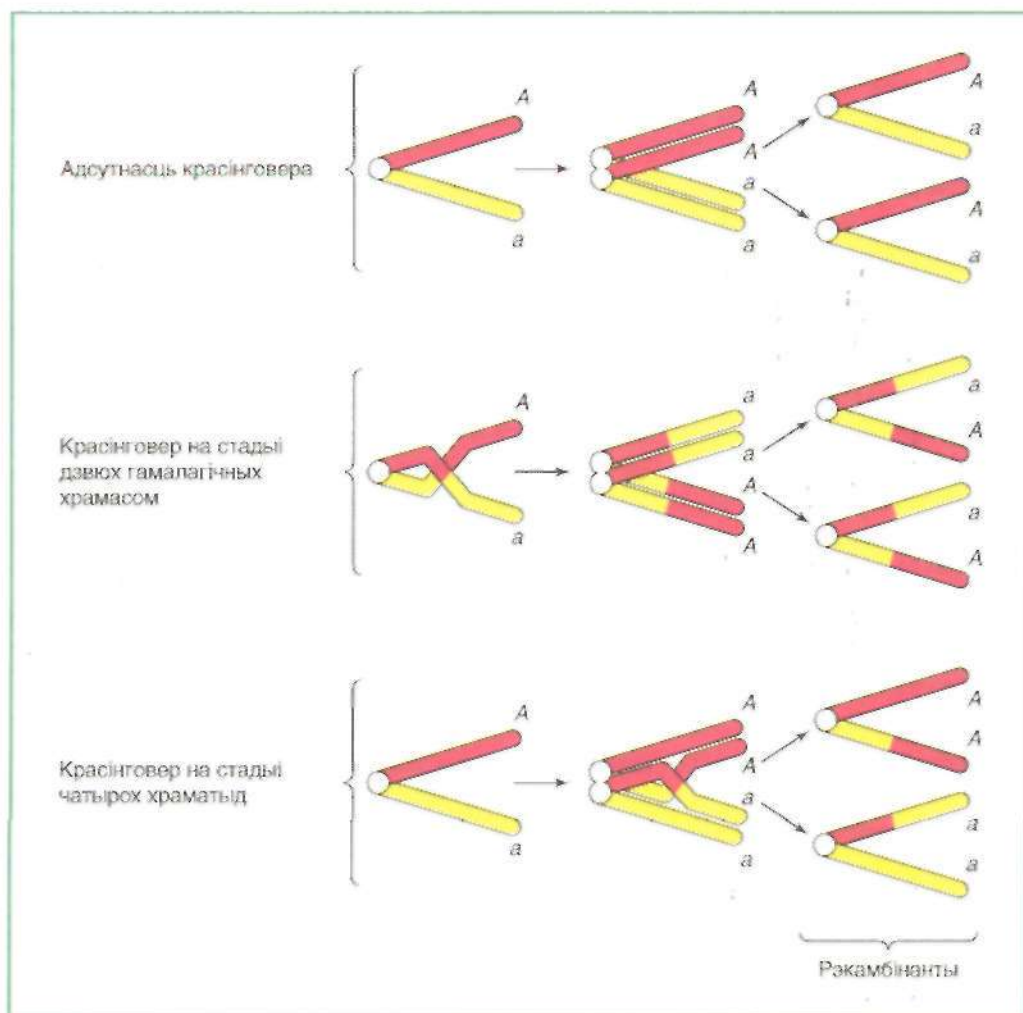
Было ўстаноўлена, аднак, што, акрамя гэтых гамет (AB і ab), узнікаюць і іншыя — Ab і aB — з новымі кам-



Морган Томас Хант (1866—1945) — амерыканскі біёлаг, адзін з заснавальнікаў генетыкі. Першым пачаў даследаванні на плодовай мушцы дразафіле. Вынікам гэтых даследаў з'явілася храмасомная тэорыя спадчыннасці. Лаўрэат Нобелеўскай прэміі (1933 г.).

бівацямі генаў. Прычынай узнікнення новых гамет з'яўляецца абмен участкімі гамалагічных храмасом, або красінговер.

Красінговер адбываецца ў прафазе I меёзу ў час кан'югацыі гамалагічных храмасом (мал. 105). У гэты час часткі дзвюх храмасом могуць перакрывацца і абменьвацца сваімі ўчасткімі (генамі), у выніку чаго ўзнікаюць храмасомы з іншымі камбінацыямі генаў. Асобіны, якія атрымліваюцца з такіх гамет з новым спалучэннем аляляў, атрымалі назву *красоверных*, або *рэкамбінантных*.



Мал. 105. Схema красінговера

Разгледзім адзін з эксперыментаў Т. Моргана па вывучэнні счэпленага наследавання (мал. 106). Пры скржаванні мушак *дразафіла*, якія адрозніваюцца па дзвюх парах альтэрнатыўных прыкмет (шэрых з нармальнымі крыламі і чорных з зачаткавымі крыламі), былі атрыманы дэгетэразіготныя па гэтых генах асобіны. Усе мухі ў адпаведнасці з законам аднароднасці гібрыдаў першага пакалення былі шэрымі з нармальнымі крыламі.

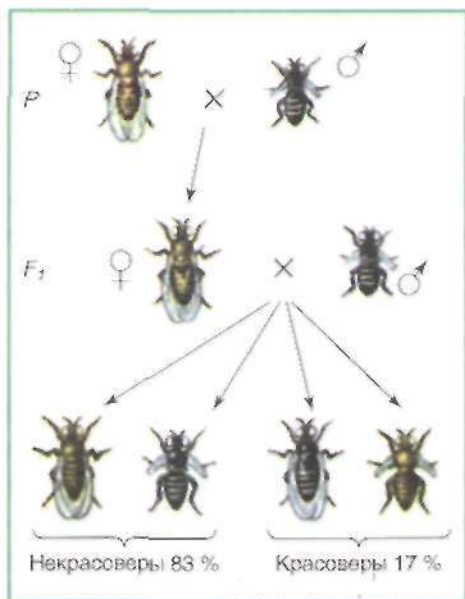
Далей было праведзена аналізуючае скржаванне — дэгетэразіготную самку скржавалі з гомазіготным па абодвух рэцэсіўных генах самцом (чорнае цела і зачаткавыя крылы). Калі б дзве пары алельных генаў, якія вызначаюць указанія альтэрнатыўных прыкметы, размяшчаліся ў розных храмасомах, то ў другім пакаленні пры аналізуючым скржаванні можна было б чакаць чатыры розныя фенатыпы ў роўных суадносінах: шэрае цела, нармальныя крылы; шэрае цела, зачаткавыя крылы; чорнае цела, нармальныя крылы; чорнае цела, зачаткавыя крылы.

На самай жа справе ў выніку такога скржавання назіраецца пераважна два класы: шэрыя мухі з нармальнымі крыламі і чорныя мухі з зачаткавымі крыламі (на іх долю прыпадае 83 %); два другія класы — шэрыя мухі з зачаткавымі крыламі і чорныя мухі з нармальнымі крыламі былі ў невялікай колькасці (17 %).

Атрыманы вынік сведчыць аб цеснай сувязі паміж генамі, якія вызначаюць афарбоўку цела і даўжыню крылаў, што магчыма толькі пры знаходжанні гэтых генаў у адной храмасоме.

Прычынай з'яўлення невялікай колькасці мух з новымі спалучэннямі прыкмет з'яўляецца красінговер, які прыводзіць да новага рэкамбінантнага спалучэння алеляў генаў у гамалагічных храмасомах. Гэтыя абмены адбываюцца з верагоднасцю 17 % і ў выніку даюць два класы рэкамбінантаў з роўнай верагоднасцю — па 8,5 %.

Частата (працэнт) перакржавання паміж двума генамі, размешчанымі ў адной храмасоме, залежыць ад адлегласці паміж імі. Красінговер паміж двума генамі адбываецца тым радзей, чым бліжэй адзін да аднаго яны размешчаны.



Мал. 106. Счэпленое наследаванне: наследаванне прыкмет пры няпоўным счэпленні

Адлегласць паміж генамі характарызуе сілу счэплення і выражаецца ў марганідах (у гонар Т. Моргана) або ў працэнтах рэкамбінацыі (красінговера). Марганіда — гэта генетычная адлегласць, на якой красінговер адбываецца з верагоднасцю 1 %.

Біялагічнае значэнне красінговера надвычай вялікае. Генетычная рэкамбінацыя дазваляе ствараць новыя, раней не існаваўшыя камбінацыі генаў. Гэта павышае спадчынную зменлівасць, якая дае шырокія магчымасці для адаптацыі арганізмаў у розных умовах асяроддзя. Чалавек спецыяльна праводзіць гібрыдызацыю з мэтай атрымання неабходных варыянтаў камбінацыі для выкарыстання ў селекцыйнай рабоце.

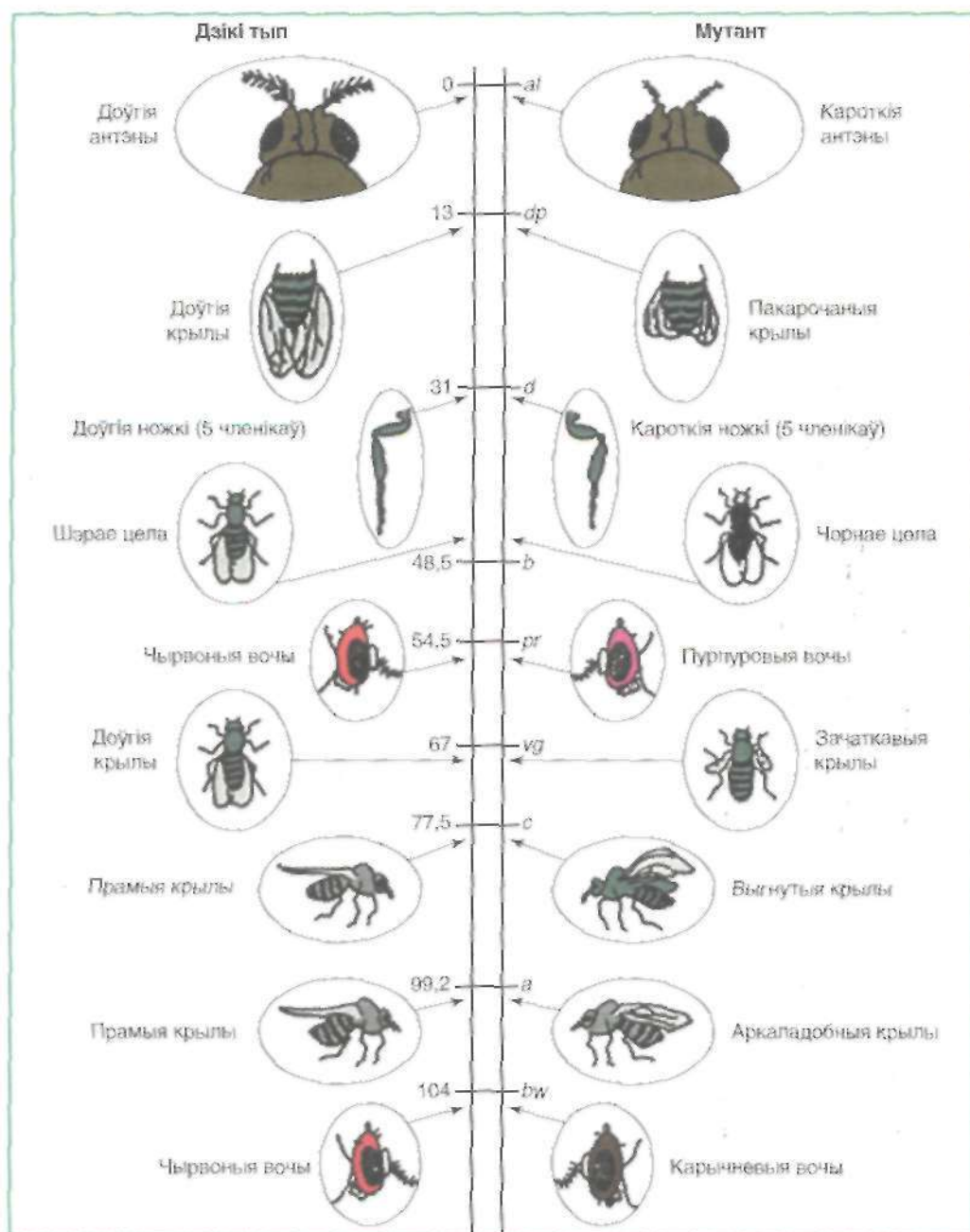
Генетычныя карты. Счэпленне генаў, лакалізаваных у адной храмасоме, не бывае абсалютным. Красінговер, які адбываецца ў працэсе меўу паміж гамалагічнымі храмасомамі, прыводзіць да рэкамбінацыі (пераразмеркавання) генаў. Т. Морган і яго супрацоўнікі К. Брыджэс, А. Стэртэвант і Г. Мелер эксперыментальна паказалі, што значэнне з'яў счэплення і красінговера дазваляе не толькі ўстанавіць групу счэплення генаў, але і пабудаваць генетычныя карты храмасом, на якіх указаны парадак размяшчэння генаў у храмасоме і адносныя адлегласці паміж імі.

Генетычнай картай храмасом называюць схему ўзаемнага размяшчэння генаў, якія знаходзяцца ў адной групе счэплення. Генетычныя карты складаюцца для кожнай пары гамалагічных храмасом.

Магчымасць такога карціравання заснавана на наяўнасці працэнта красінговера паміж пэўнымі генамі. Калі вядома ўзаемнае размяшчэнне генаў у храмасоме (іх парадак і адлегласць паміж імі), то яго можна паказаць у выглядзе схемы (мал. 107). Паралельныя лініі схематычна паказваюць частак храмасомы; лініі ўказваюць адносную адлегласць паміж генамі і верхнім канцом храмасомы, побач з імі прыведзены абазначэнні мутантных алеляў; злева ад храмасомы намалёван нармальны орган або нармальная асобіна, а справа — мутантная.

Генетычныя карты храмасом складзены для многіх арганізмаў: насякомых (*дразафіла*, *камар*, *таракан*), грыбоў (*дрожжы*, *аспергіл*), многіх пратыстаў, бактэрый і вірусаў.

Наяўнасць генетычнай карты сведчыць аб высокай ступені вывучанасці таго або іншага віду арганізма і мае вялікую навуковую цікавасць. Такі арганізм з'яўляецца выдатным аб'ектам для правядзення далейшых эксперыментальных работ, якія маюць не толькі навуковае, але і практычнае значэнне. У прыватнасці, веданне генетычных карт дазваляе планаваць работы па атрыманні арганізмаў з пэўнымі спалучэннямі прыкмет, што цяпер шырока выкарыстоўваецца ў селекцыйнай практыцы.



Мал. 107. Участак генетычнай карты другой храмасомы дразафілы з указаннем шэрага генаў

Генетычныя карты чалавека таксама могуць аказацца карыснымі ў развіцці аховы здароўя і медыцыны. Веды аб лакалізацыі гена ў пэўнай храмасоме выкарыстоўваюцца пры дыягностыцы шэрага цяжкіх спадчынных захворванняў чалавека.

Асноўныя палажэнні храмасомнай тэорыі спадчыннасці. Аналіз з'яў счэпленняга наследвання і красінговера дазваляе сфармуляваць асноўныя палажэнні храмасомнай тэорыі спадчыннасці.

1. Гены лакалізаваны ў храмасомах.
2. Гены размешчаны ў храмасоме лінейна.
3. Гены, лакалізаваныя ў адной храмасоме, наследуюцца разам і ўтвараюць групу счэплення. Колькасць груп счэплення роўна гаплоіднаму набору храмасом.
4. Счэпленне паміж генамі, лакалізаванымі ў адной храмасоме, няпоўнае, паміж імі можа адбывацца красінговер. Частата красінговера служыць мерай адлегласці паміж генамі, размешчанымі ў адной храмасоме.

? 1. Што такое група счэплення? Чаму роўна колькасць груп счэплення ў клетках розных арганізмаў? 2. Якія факты, атрыманыя пры вывучэнні счэплення і красінговера паміж генамі, пацвярджаюць храмасомную тэорыю спадчыннасці? 3. Што такое генетычныя карты храмасом? Якія перспектывы іх выкарыстання? 4. Якія асноўныя палажэнні храмасомнай тэорыі спадчыннасці?

§ 49. Генетыка полу

Палавыя адрозненні арганізмаў. Пол — гэта сукупнасць генератыўных і морфафізіялагічных асаблівасцей арганізма, якія забяспечваюць узнаўленне да сябе падобных і перадачу спадчыннай інфармацыі наступнаму пакаленню.

Палавы дымарфізм — гэта адрозненні марфалагічных, фізіялагічных і біяхімічных прыкмет асобін розных полаў, г. зн. прыкмет, па якіх жаночая асобіна адрозніваецца ад мужчынскай. Асаблівасці марфалагічнай будовы і фізіялагічных уласцівасцей мужчынскага і жаночага арганізмаў забяспечваюць не толькі ўтварэнне палавых клетак — гамет, але і іх сустрэчу, зліццё, а таксама хуткае развіццё зіготы.

Усе палавыя прыкметы ўмоўна дзеляць на першасныя і другасныя.

Першасныя палавыя прыкметы забяспечваюць утварэнне гамет і апладненне. Да іх належыць наяўнасць палавых залоз пэўнага тыпу (яечнікі, якія прадудыруюць яйцаклеткі, у самак і семеннікі, якія ўтвараюць сперматазоіды, у самцоў) і органаў, непасрэдна звязаных з працэсам размнажэння (палавыя шляхі, па якіх адбываецца вывадзенне гамет, капюлятыўныя органы і да т. п.).

Другасныя палавыя прыкметы — гэта сукупнасць марфалагічных і фізіялагічных прыкмет і ўласцівасцей, якія вызначаюць фенатыпічныя адрозненні па-

між асобінамі розных полаў (тып валасянога покрыва, тэмбр голасу, шлюбная афарбоўка ў жывёл і г. д.).

Храмасомнае вызначэнне полу. Ад чаго ж залежыць фарміраванне мужчынскіх і жаночых асобін? Паколькі пол з'яўляецца такой жа прыкметай жывога арганізма, як і іншыя марфалагічныя, фізіялагічныя і біяхімічныя асаблівасці, было выказана меркаванне, што гэта прыкмета вызначаецца генетычна. Разгледзім два тыпы храмасомнага вызначэння полу.

1. Пры вывучэнні меўзу ў насякомых вучоныя выявілі, што ў гаметах самцоў аднаго з відаў клопоў роду *пратэнар* знаходзіцца неаднолькавая колькасць храмасом: у адных клетках — сем, у другіх — шэсць. Шэсць храмасом з'яўляюцца парнымі, а сёмая — няпарная. Яе і палічылі адказнай за фарміраванне полу і назвалі *палавой* або *X-храмасомай*. У самак у гаметах было па сем храмасом, і адна з іх аказалася такой жа *X-храмасомай*. Астатнія шэсць храмасом былі названы *аўтасомамі* (*A*). Яны не прымаюць удзелу ў вызначэнні полу. Такім чынам, у самак пратэнара ў саматычных клетках існуе двойны набор храмасом: $12A$ і $2X$ -храмасомы; іх палавыя клеткі ўтрымліваюць палавінны набор $6A + X$. Дыплоідны набор храмасом самца прадстаўлены ў выглядзе $12A + X0$ (0 — адсутнасць храмасомы). Значыць, у гаметах будуць утрымлівацца наборы $6A + X$ або $6A + 0$. Калі ў працэсе палавога размнажэння злучаюцца гаметы, якія ўтрымліваюць *X-храмасомы*, у патомстве з'яўляецца жаночая асобіна, калі ж у апладненні прыме ўдзел бацькаўская гамета, якая не ўтрымлівае *X-храмасомы*, утвораная зігота дае пачатак мужчынскай асобіне.

$$\begin{array}{l} P: \quad \quad \quad \text{♀ } 12A + XX \quad \times \quad \text{♂ } 12A + X0 \\ G: \quad \quad \quad (6A + X) \quad \quad \quad 6A + (X) (6A + 0) \\ F_1: \quad \quad \quad 12A + XX, 12A + X0 \end{array}$$

Расшчэпленне паводле полу 1 : 1.

2. У мужчынскіх асобін іншага віду клопоў (*худы клоп*) у клетках была выяўлена пара храмасом, якія адрозніваліся адна ад адной па форме і памерах. Адна храмасома з такой пары, тоесная пары храмасом клетак жаночай асобіны, была названа *X-храмасомай*, другая, якая адрознівалася па знешнім выглядзе, — *Y-храмасомай*. У самак такіх клопоў у яйцаклетках утрымліваўся набор храмасом $6A + X$, а ў самцоў было два тыпы гамет: $6A + X$ і $6A + Y$. Пол іх патомкаў залежыць ад таго, з якой бацькаўскай гаметай сустрэнецца гамета жаночай асобіны:

$$\begin{array}{l} P: \quad \quad \quad \text{♀ } 12A + XX \quad \times \quad \text{♂ } 12A + XY \\ G: \quad \quad \quad (6A + X) \quad \quad \quad (6A + X) (6A + Y) \\ F_1: \quad \quad \quad 12A + XX, 12A + XY \end{array}$$

Расшчэпленне паводле полу 1 : 1.

У абодвух апісаных выпадках храмасомнага вызначэння полу жаночыя асобіны ўтвараюць гаметы толькі аднаго тыпу. Гэта так званы *гомагаметны* пол. Мужчынскія асобіны даюць два тыпы гамет, значыць, мужчынскі пол — *гетэрагаметны*.

Вызначэнне полу па першым тыпе ($X0$ -тып) сустракаецца ў многіх відаў павукоў, клопоў, конікаў; па другім тыпе (XU -тып) — у большасці арганізмаў (мал. 108). У абодвух выпадках жаночыя асобіны патэнцыяльна здольныя даць жаночае патомства, паколькі перадаюць толькі X -храмасому. Пол патомства вызначаецца тыпам гамет, якія перадаюцца мужчынскай бацькоўскай асобінай: калі гамета мацеры сустракаецца з X -гаметай бацькі, нараджаецца жаночая асобіна, калі з Y -гаметай — мужчынская. Прычым абодва тыпы гамет у мужчынскай асобіны ўтвараюцца з аднолькавай верагоднасцю, што і дае расщепленне ў патомстве паводле полу 1 : 1.

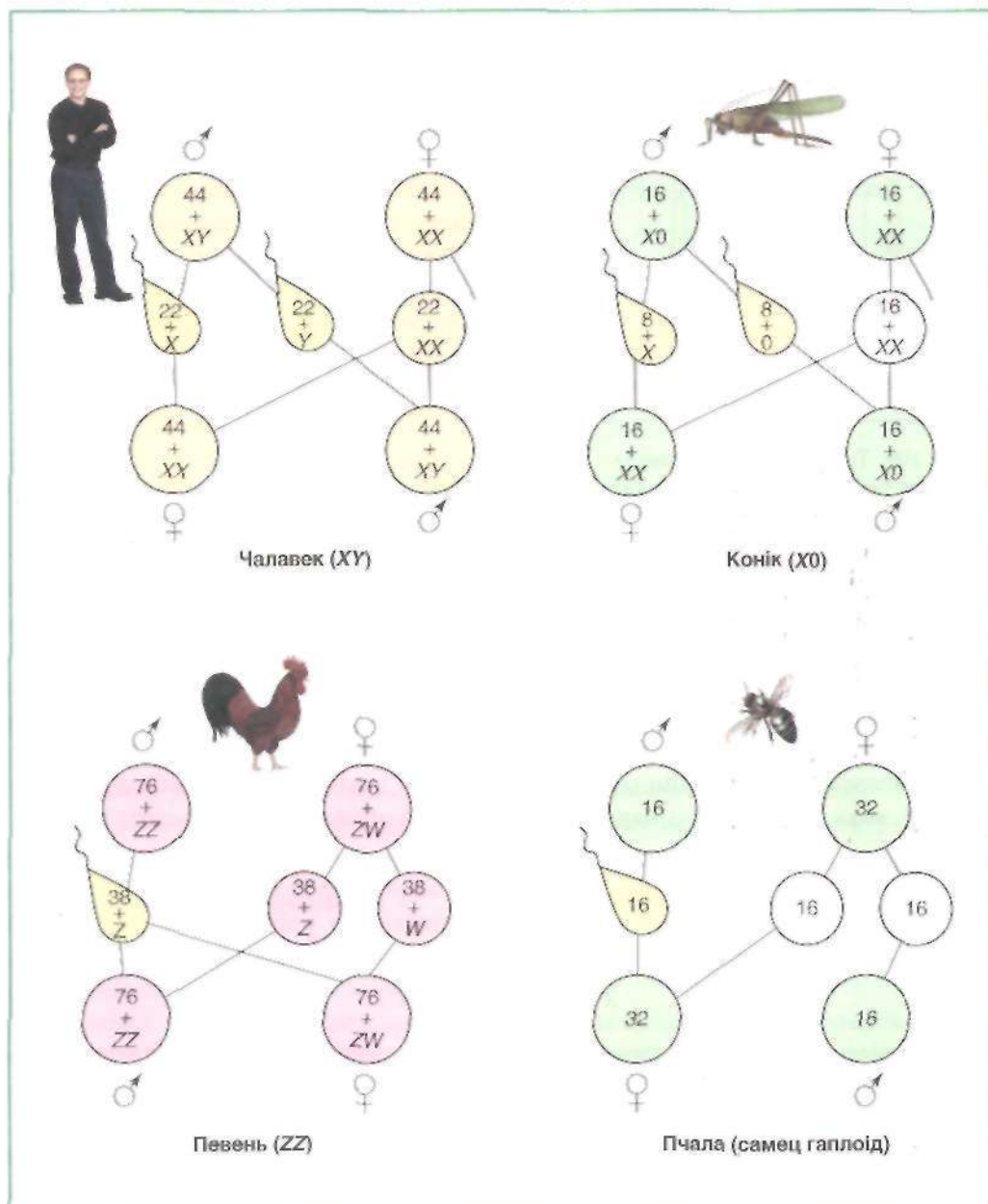
У чалавека пол вызначаецца па другім тыпе. У дыплоідным наборы ў чалавека ўтрымліваецца 46 храмасом (23 пары): 22 пары аўтасом і 1 пара палавых храмасом. У жаночага арганізма ёсць дзве X -храмасомы, а ў мужчынскага — X і Y . Набор храмасом жанчыны можа быць паказаны ў выглядзе вступнага запісу: $44A + XX$, а мужчыны — $44A + XY$. Жаночыя арганізмы ўтвараюць адзін тып гамет: $22A + X$, а мужчынскія — два тыпы: $22A + X$ і $22A + Y$.

У іншых арганізмаў вызначэнне полу ажыццяўляецца інакш. Напрыклад, у птушак, паўзуноў, некаторых рыб і земнаводных самцы з'яўляюцца гомагаметным полам, а самкі — гетэрагаметным (тыпу XU або $X0$). Палавыя храмасомы ў гэтых відаў часам абазначаюць літарамі Z і W , каб вылучыць такім чынам гэты спосаб вызначэння полу; пры гэтым самцы абазначаюцца сімвалам ZZ , а самкі — сімвалам ZW або $Z0$ (гл. мал. 108).

Іншыя варыянты вызначэння полу. Арыгінальны спосаб вызначэння полу ёсць у некаторых перапончатакрылых (пчол, мураўёў і інш.). У гэтых насякомых няма палавых храмасом. Самкі развіваюцца з аплодненых яец з дыплоідным наборам храмасом (у пчол $2n = 32$), а трутні — з неаплодненых з гаплоідным наборам храмасом (у пчол $n = 16$) (гл. мал. 108).

У некаторых жывёл вызначэнне полу залежыць ад знешніх умоў. Так, у марскога чарвяка *Bonellia* самцы і самкі маюць аднолькавы генатып. Асобіны, якія ў лічынкавай стадыі застаюцца свабоднаплаваючымі, становяцца самкамі, а лічынкі, якія пранікаюць у хабаток дарослай самкі, развіваюцца ў мікраскапічных самцоў. Самцы мігрыруюць у палавыя шляхі самкі, дзе яны жывуць у якасці паразітаў, выконваючы галоўную функцыю — апладненне яйцаклетак.

У шэрага відаў яшчарак, чарапах і кракадзілаў выяўлена залежнасць полу зародка ад тэмпературы, пры якой адбываецца развіццё яец. Так, у яшчарак пры павышэнні тэмпературы рэзка зніжаецца працэнт самак у патомстве; у многіх чарапах, наадварот, з павышэннем тэмпературы працэнт самак у патомстве рэзка ўзрастае.



Мал. 108. Асноўныя тыпы вызначэння полу

часта ўплывае на многія прыкметы. Акрамя таго, дзеянне гена можа быць зменена суседствам іншых генаў або ўмовамі знешняга асяроддзя.

Такім чынам, пры развіцці арганізма праяўляецца дзеянне хутчэй не асобных генаў, а ўсяго генатыпу як цэласнай сістэмы. Гэта сістэма дынамічная, яна мяняецца і ўдасканальваецца ў часе, у выніку мутацыі з'яўляюцца новыя алелі або гены. Нанова ўзнікшыя гены могуць адразу ж уступаць ва ўзаемадзеянне з ужо існуючымі генамі або мяняць характар апошніх.

? 1. Чаму нараджаецца прыкладна аднолькавая колькасць асобін мужчынскага і жаночага полу? 2. Як вызначаецца пол у чалавека? 3. Растлумачце цыталагічны механізм расшчэплення паводле полу. 4. Якія прыкметы называюцца счэпленымі з полам? 5. Якія асаблівасці наследавання прыкмет, счэпленых з полам? 6. Дачка дальтоніка выйшла замуж за мужчыну з нармальным зрокам, бацька якога быў дальтонікам. Якія генатыпы мужа і жонкі? Які фенатып будзе ў іх дзяцей?

§ 50. Зменлівасць арганізмаў, яе тыпы.

Мадыфікацыйная зменлівасць

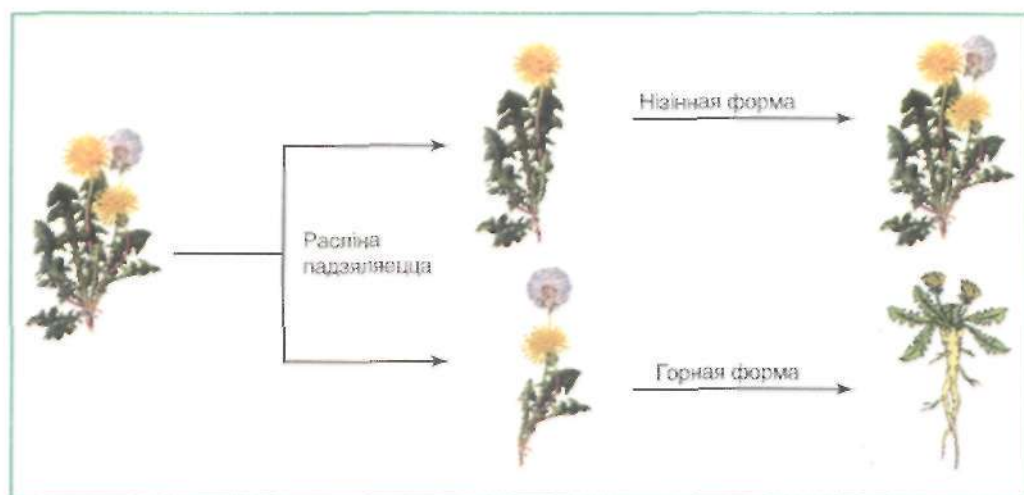
Узаемадзеянне генатыпу і ўмоў асяроддзя. Вывучаючы заканамернасці наследавання прыкмет, мы пераканаліся, што фенатып вызначаецца генатыпам. У шэрагу выпадкаў прыкмета сапраўды фарміруецца толькі пад уплывам генатыпу і не залежыць ад умоў асяроддзя, у якіх развіваецца арганізм. Напрыклад, у чалавека, які мае ў генатыпе гены I^A і I^B , незалежна ад умоў жыцця фарміруецца IV група крыві. У той жа час маса цела, колер скуры, колькасць эрытрацытаў у крыві залежаць яшчэ і ад умоў навакольнага асяроддзя.

У 1895 г. французскі батанік Г. Бан'е правёў наступны дослед: раздзяліў маладую расліну *адувачыка* на дзве часткі і пачаў вырошчваць іх у розных умовах — на раўніне і высока ў гарах. Першая расліна дасягнула нармальнай вышыні, а другая аказалася карлікавай (мал. 110, с. 188). Гэты дослед паказвае, што на фарміраванне прыкмет (фенатып) аказвае ўплыў не толькі генатып, але і ўмовы асяроддзя.

З гэтага доследу вынікае і другі вывад: кожны арганізм, развіваючыся ў пэўных умовах асветленасці, вільготнасці, тэмпературы і г. д., зведвае на сабе дзеянне фактараў асяроддзя і здольны змяняцца пад іх уплывам.

Такім чынам, генатып паслядоўна рэалізуецца ў фенатып у ходзе індывідуальнага развіцця арганізма і ў пэўных умовах навакольнага асяроддзя. Менавіта гэтым тлумачыцца тое, што арганізмы, якія маюць аднолькавыя генатыпы, могуць выразна адрознівацца адзін ад аднаго па фенатыпе.

Адрозніваюць два тыпы зменлівасці: *няспадчынную (мадыфікацыйную, фенатыпічную)* і *спадчынную (генатыпічную)*.



Мал. 110. Змяненне знешняга выгляду адуванчыка пад уплывам умоў знешняга асяроддзя

Мадыфікацыйная (фенатыпічная) зменлівасць — гэта змяненне фенатыпу пад уздзеяннем фактараў знешняга асяроддзя без змянення структуры генатыпу. Фенатыпічныя адрозненні ў генетычна тоесных асобін, якія ўзнікаюць пад уздзеяннем фактараў знешняга асяроддзя, называюцца **мадыфікацыямі**.

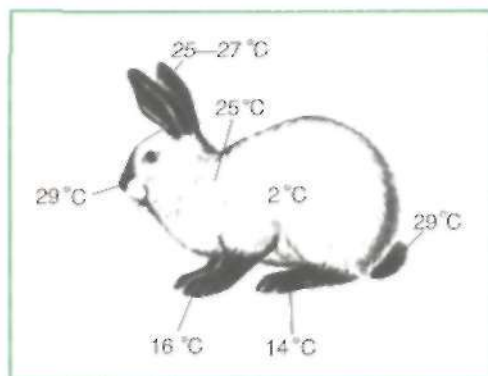
Розныя прыкметы арганізма ў рознай ступені змяняюцца пад уплывам знешніх умоў. Адна з іх вельмі пластычныя і зменлівыя, другія менш зменлівыя, трэція могуць быць зменены ўмовай асяроддзя ў вельмі малой ступені. Некаторыя прыкметы практычна не змяняюцца. Напрыклад, калі мы ўважліва разгледзім форму кветак і карзінак адуванчыкаў, а таксама форму лістоў і вымераем іх велічыню, то выявім, што велічыня і форма кветак змяняюцца мала, у большай ступені вар'іруе велічыня карзінак. У той жа час даўжыня лістоў і іх форма істотна адрозніваюцца нават у межах адной расліны. Заўважана, чым пры больш нізкай тэмпературы ішло фарміраванне лістоў, тым яны драбнейшыя і тым большыя выразы мае ліставая пласцінка. Наадварот, пры больш высокай тэмпературы (15—20 °С) фарміруюцца буйнейшыя лісты з невялікімі выразамі ліставой пласцінкі.

Аднак пры якой бы тэмпературы ні ішло фарміраванне лістоў, мы не знойдем сярод дарослых лістоў ні занадта маленькіх (некалькі міліметраў), ні занадта вялікіх (больш за 40 см). Значыць, пад уплывам асяроддзя прыкметы могуць змяняцца толькі ў пэўных межах. Межы мадыфікацыйнай зменлівасці прыкметы называюць яе **нормай рэакцыі**. Адна прыкметы, напрыклад даўжыня

лістоў, вышыня раслін, маса цела, удойнасць буйной рагатай жывёлы, яйцаноскасць курэй, маюць шырокую норму рэакцыі. Другія, напрыклад велічыня кветак і іх форма, афарбоўка насення, кветак, пладоў, масць жывёлы, тлустасць малака, — больш вузкую норму рэакцыі.

Яшчэ адным прыкладам, які ілюструе ўплыў знешняга асяроддзя на праўленне якасных прыкмет, служыць змяненне афарбоўкі поўсці ў *гімалайскіх трусой*. Звычайна пры 20 °C поўсць у гэтых трусой на ўсім цале белая, за выключэннем чорных вушэй, лап, хваста і мордачкі. Пры 30 °C трусой вырастаюць поўнасьцю белымі. Калі ж у гімалайскага труса збрыць поўсць на баку або спіне і трымаць яго пры тэмпературы паветра ніжэй за +2 °C, то замест белай поўсці вырасце чорная. Але калі збрыць поўсць на вуху, то ў звычайных умовах там зноў вырасце чорная поўсць. Значыць, для кожнага ўчастка цела ў труса ёсць свой тэмпературны парог (мал. 111). Гэтыя назіранні тлумачаць, чаму гімалайскія трусой нараджаюцца белымі, без участкаў чорнай поўсці: іх эмбрыянальнае развіццё адбываецца ва ўмовах высокай тэмпературы.

Узнікненне мадыфікацый звязана з тым, што такія найважнейшыя фактары асяроддзя, як святло, цяпло, вільгаць, уздзейнічаюць на актыўнасць ферментаў і ў пэўнай меры змяняюць ход біяхімічных рэакцый, што адбываюцца ў арганізме, які развіваецца.



Мал. 111. Карта тэмпературных парогаў пігментацыі поўсці ў гімалайскага труса

Мадыфікацыйная зменлівасць характарызуецца шэрагам асаблівасцей, найважнейшымі з якіх з'яўляюцца наступныя.

1. Пярэдка мадыфікацыі маюць *абарачальны* характар у межах аднаго пакалення, г. зн. са зменай знешніх умоў у дарослых асобін змяняецца ступень выяўленасці тых або іншых прыкмет. Напрыклад, у кароў могуць змяняцца надой, у курэй — яйцаноскасць.

2. У большасці выпадкаў мадыфікацыі маюць *адэкватны* характар, г. зн. ступень выяўленасці прыкметы знаходзіцца ў прамой залежнасці ад віду і працягласці дзеяння таго або іншага фактара. Так, паляпшэнне ўтрымання жывёлы спрыяе павелічэнню жывой масы жывёлы, пладавітасці, надойу. Таму мадыфікацыйную зменлівасць яшчэ называюць *акрэсленай*.

3. Мадыфікацыі маюць *прыстасавальны, адаптыўны* характар. Гэта азначае, што ў адказ на зменення ўмовы асяроддзя ў асобіны праўляюцца такія фенатыпічныя змяненні, якія спрыяюць яе выжыванню. Напрыклад, у чалавека, які апынуўся высока ў гарах, павялічваецца ўтрыманне эрытрацытаў у крыві, каб забяспечыць клеткі цела кіслародам.

4. Одной з асноўных уласцівасцей мадыфікацый з'яўляецца іх *масавасць*. Гэта абумоўлена тым, што адзін і той жа фактар выклікае прыкладна аднолькавае змяненне ў асобін, падобных генатыпічна. Таму мадыфікацыйную зменлівасць называюць *групавой*. Напрыклад, пры перамяшчэнні авечак у больш халодныя ўмовы воўна ў іх становіцца больш густой.

5. Паколькі пры мадыфікацыйнай зменлівасці генатып не закранаецца, то мадыфікацыі *не наследуюцца*. Наследуецца норма рэакцыі, якая абумоўлена генатыпам.

Такім чынам, усе прыкметы і ўласцівасці арганізмаў генетычна дэтэрмінаваныя і могуць змяняцца пад уплывам асяроддзя без змены генатыпу толькі ў межах нормы рэакцыі.

Статыстычны аналіз мадыфікацыйнай зменлівасці. Прыкметы арганізмаў падзяляюцца на *якасныя* (колёр вачэй і валасоў у чалавека, масць жывёлы, афарбоўка насення і інш.) і *колькасныя* (рост і маса цела, колькасць каласкоў у коласе і інш.). Для характарыстыкі ступені зменлівасці колькасных прыкмет прымяняюць статыстычныя метады — пабудову варыяцыйнага раду і варыяцыйнай крывой. Напрыклад, колькасць каласкоў у калосі пшаніцы аднаго сорту вар'іруе ў даволі шырокіх межах. Калі размясціць каласы па ўзрастанні колькасці каласкоў, то атрымаецца **варыяцыйны рад** зменлівасці гэтай прыкметы, які складаецца з асобных варыянт. Частата сустрэкаемасці асобнай варыянты ў варыяцыйным радзе неаднолькавая: найбольш часта сустракаюцца каласы з сярэдняй колькасцю каласкоў і радзей — з большай і меншай.

Колькасць каласкоў у коласе (v): 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20.

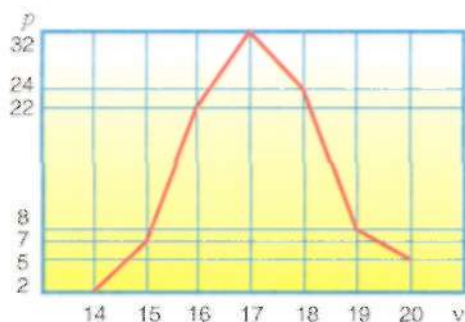
Колькасць каласоў (p): 2, 7, 22, 32, 24, 8, 5.

Размеркаванне варыянт у гэтым радзе можна паказаць наглядна на графіку (мал. 112). Для гэтага на восі абсцыс адкладаюць значэнні варыянт v у парадку іх павелічэння, а на восі ардынат — частату сустрэкаемасці p кожнай варыянты.

Графічнае выражэнне зменлівасці прыкметы, якое паказвае як размах варыяцый, так і частоты сустрэкаемасці асобных варыянт, называюць **варыяцыйнай крывой**.

Каб даць аб'ектыўную характарыстыку зменлівасці прыкметы, неабходна вывучыць вялікую колькасць асобін, паколькі статыстычныя заканамернасці — гэта заканамернасці вялікіх лікаў.

Веданне заканамернасцей мадыфікацыйнай зменлівасці мае вялікае практычнае значэнне, паколькі дазваляе прадбачыць і загадзя планаваць многія паказ-



Мал. 112. Варыяцыйная крывая колькасці каласкоў у коласе пшаніцы

чыкі. У прыватнасці, стварэнне аптымальных умоў для рэалізацыі генатыпу дае магчымасць дабіцца высокай прадуктыўнасці жывёл і раслін.

- ? 1. Якая роля генатыпу і умоў асяроддзя ў фарміраванні фенатыпу? Прывядзіце прыклады. 2. Што такое мадыфікацыйная зменлівасць? Прывядзіце прыклады. 3. Што такое норма рэакцыі? Дакажыце на канкрэтных прыкладах справядлівасць сцвярджэння, што наследуюцца не сама прыкмета, а норма рэакцыі арганізма на знешнія ўмовы. 4. Чаму спадчынную зменлівасць называюць групавой, акрэсленай? 5. Якія статыстычныя заканомернасці мадыфікацыйнай зменлівасці? 6. Наколькі важна на практыцы ведаць норму рэакцыі прыкметы ў раслін, жывёл і чалавека?

§ 51. Генатыпічная зменлівасць

Генатыпічную зменлівасць падзяляюць на камбінатыўную і мутацыйную.

Камбінатыўная зменлівасць. Вядома, што дзеці звычайна падобныя на сваіх бацькоў, аднак яны ніколі не з'яўляюцца іх дакладнай копіяй. Акрамя таго, дзеці адных і тых жа бацькоў могуць прыкметна адрознівацца адно ад другога. У чым прычына такіх адрозненняў? Яна можа заключацца альбо ў адрозненні ўмоў, у якіх адбывалася развіццё арганізмаў, альбо ў адрозненні генатыпаў гэтых арганізмаў. Уплыў асяроддзя на жывыя арганізмы мы разгледзелі ў папярэднім параграфі. Тут пастараемся разабрацца, з чым могуць быць звязаны адрозненні генатыпаў у роднасных арганізмаў.

Першая прычына такіх адрозненняў — узнікненне ў новых арганізмаў новых спалучэнняў генаў, якія мелі бацькі. Такія зменлівасць называецца *камбінатыўнай*.

У аснове камбінатыўнай зменлівасці ляжыць палавое размнажэнне арганізмаў, у выніку якога ўзнікае велізарная разнастайнасць генатыпаў. Крыніцамі камбінатыўнай зменлівасці служаць тры працэсы.

1. Абмен часткамі гамалагічных храмасом, або кросінговер.

2. Незалежнае разыходжанне гамалагічных храмасом у анафазе I меёзу. Менавіта незалежнае камбінаванне храмасом пры меёзе з'яўляецца асновай трэцяга закона Мендэля. З'яўленне зялёнага гладкага і жоўтага маршчыністага насення ў F_2 ад скрэжвання раслін з жоўтым гладкім і зялёным маршчыністым насеннем — прыклад камбінатыўнай зменлівасці.

3. Выпадковае спалучэнне гамет пры апладненні.

Гэтыя тры крыніцы камбінатыўнай зменлівасці дзейнічаюць незалежна і адначасова, забяспечваючы пастаянную «перастаноўку» генаў. У выніку ў гібрыдаў у фенатыпе з'яўляюцца новыя камбінацыі прыкмет. Структура генаў пры гэтым не змяняецца.

Комбінацыйная зменлівасць з'яўляецца найважнейшай крыніцай разнастайнасці жывых арганізмаў. Аднак пералічаныя вышэй крыніцы зменлівасці не спараджаюць буйных змен у генатыпе, неабходных, згодна з эвалюцыйнай тэорыяй, для ўзнікнення новых відаў. Такія змены ўзнікаюць у выніку мутацый, якія з'яўляюцца другой прычынай спадчынай зменлівасці арганізмаў.

Мутацыйная зменлівасць. Мутацыі — гэта змяненні генетычнага матэрыялу арганізма, якія наследуюцца. Зменлівасць, выкліканая ўзнікненнем мутацый, называецца *мутацыйнай*.

Упершыню тэрмін «мутацыя» быў прапанаваны галандскім вучоным Г. дэ Фрызам у класічнай працы «Мутацыйная тэорыя» (1901—1903 гг.), асноўныя палажэнні якой да гэтага часу не страцілі свайго значэння.

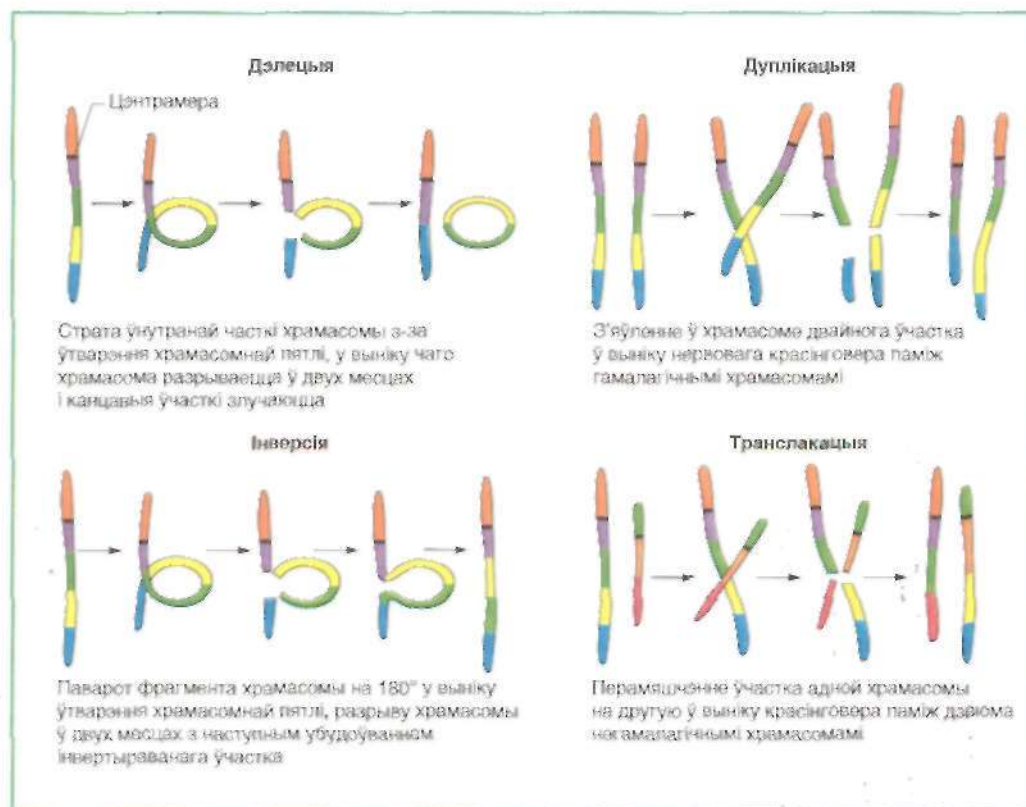
1. Мутацыі ўзнікаюць раптоўна як дыскрэтныя змяненні прыкмет.
2. Мутацыі наследуюцца.
3. Мутацыі могуць быць як карыснымі, так і шкоднымі, як дамінантнымі, так і рэцэсіўнымі.
4. Падобныя мутацыі могуць узнікаць неаднаразова.
5. Мутацыі ненакіраваныя (спонтанныя), г. зн. нельга з дакладнасцю прадказаць, які менавіта ген будзе муціраваць пад дзеяннем мутагеннага фактара.

Практычна любое змяненне ў структуры або колькасці храмасом, пры якім клетка захоўвае здольнасць да самаўзнаўлення, абумоўлівае спадчыныя змяненні прыкмет арганізма. Жывыя істоты, якія змянілі свой фенатып у выніку мутацый, называюцца мутантамі.

Паводле змянення генетычнага матэрыялу мутацыі падзяляюць на генныя, храмасомныя і геномныя.

Генныя мутацыі — вынік змянення нуклеатыднай паслядоўнасці ў малекуле ДНК у межах аднаго гена ў выніку ўстаўкі, выпадзення або замены нуклеатыдаў. Такое змяненне ў гене ўзнаўляецца пры транскрыпцыі ў структуры іРНК і прыводзіць да змянення паслядоўнасці амінакіслот у поліпептыдным ланцугу, які ўтвараецца пры трансляцыі на рыбасомах. У выніку сінтэзуецца іншы бялок, што вядзе да змянення прыкмет арганізма. Гэта найбольш пашыраны від мутацый і найважнейшая крыніца спадчынай зменлівасці арганізмаў.

Прыкладам геннай мутацыі служыць серпападобнаклетачная анемія — захворванне чалавека, якое выклікае замена нуклеатыда ў адным з генаў, адказных за сінтэз гемаглабіну. Гэта вядзе да змянення малекулярнай структуры бялку гемаглабіну. Пры гэтым эрытрацыты страчаюць здольнасць да транспарту кіслароду і замест акруглай формы набываюць серпападобную. Развіваецца вострая анемія. Яна выклікае фізічную слабасць, а часам прыводзіць да парушэння дзейнасці сэрца і нырак. Гомазіготы па гене серпападобнаклетачнасці гінуць пры нараджэнні.



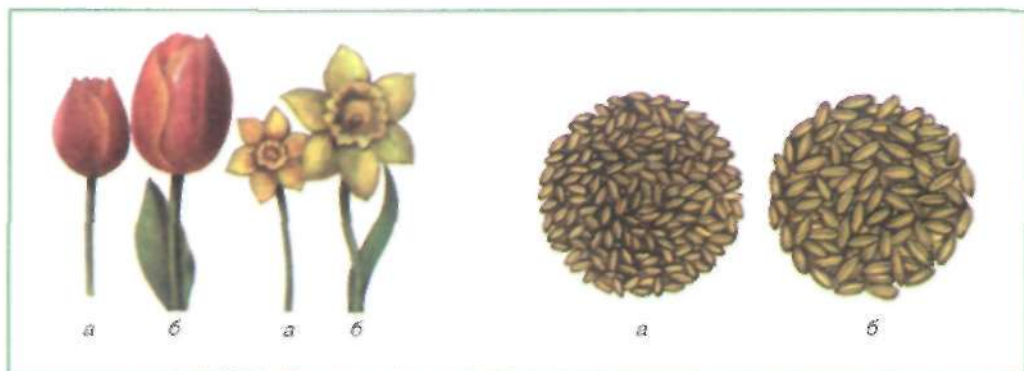
Мал. 113. Храмасомныя мутацыі, якія змяняюць размяшчэнне генаў у храмасомах

Храмасомныя мутацыі (мал. 113) — гэта змяненні ў структуры храмасом. Храмасомныя мутацыі падзяляюць на ўнутрыхрамасомныя і міжхрамасомныя.

Да *ўнутрыхрамасомных* мутацый належаць: выпадзенне ўчастка храмасомы (дэлецыя), двух- і шматразовыя паўтарэнні фрагмента храмасомы (дуплікацыя), паварот участка храмасомы на 180° , у выніку чаго гены ў гэтым участку размяшчаюцца ў адваротнай паслядоўнасці (інверсія).

Да *міжхрамасомных* мутацый належыць абмен участкамі паміж двума негамалагічнымі храмасомамі (транслакацыя).

Геномныя мутацыі — гэта змяненне колькасці храмасом у клетках арганізма. У аснове такіх парушэнняў ляжыць неразыходжанне храмасом да полюсаў клетак пры меёзе або мітозе. Гэта можа быць выклікана дзеяннем розных фізічных і хімічных фактараў на ніў верацяна дзялення, што прыводзіць да іх разбурэння.



Мал. 114. Паліплоідныя формы кветак цюльпана, нарцыса і зярнявак жыта (а — дыплоідныя, б — тэтраплоідныя)

Сярод геномных мутацый вылучаюць поліплаідыю і гетэраплаідыю.

Поліплаідыя — гэта павелічэнне колькасці храмасом у клетках, кратнае гаплоіднаму. Пры поліплаідыі ўзнікаюць трыплоідныя ($3n$), тэтраплоідныя ($4n$), гексаплоідныя ($6n$), актаплоідныя ($8n$) і г. д. клеткі. Поліплаідыя пашырана гадоўным чынам у раслін.

Паліплоідныя формы маюць буйныя лісты, кветкі, плады і насенне (мал. 114). Многія культурныя расліны з'яўляюцца паліплоіднымі (розныя сарты *пшаніцы*, *жыта*, *цукровых буракоў*, *грэчкі*, *дэкаратыўных раслін* і інш.).

Гетэраплаідыя (анеўплаідыя) — гэта змяненне колькасці храмасом, не кратнае гаплоіднаму. Гетэраплаідыя назіраецца, калі ў час мітозу або меёзу асобныя гамалагічныя храмасомы не разыходзяцца або страчваюцца.

У выніку пры гаметагенезе могуць узнікнуць палавыя клеткі з лішнімі храмасомамі. Пры зліцці з нармальнымі гаметамі яны ўтвараюць зіготу $2n + 1$ (трысомік па пэўнай храмасоме). Так, людзі, хворыя на сіндром Даўна, з'яўляюцца трысомікамі па 21-й храмасоме, паколькі яны маюць у клетках адну лішнюю храмасому з 21-й пары. Калі ў гамеце аказалася менш на адну храмасому, то наступнае апладненне прыводзіць да ўтварэння зіготы $2n - 1$ (манасомік). Акрамя таго, сустракаюцца формы, якія ўтрымліваюць больш за адну дабавачную храмасому. Такія формы называюць палісомікамі.

У залежнасці ад таго, у якіх клетках адбыліся мутацыі, іх падзяляюць на саматычныя і генератыўныя. *Саматычныя* мутацыі адбываюцца ў саматычных клетках і праяўляюцца ў самой асобіны. Яны перадаюцца ў спадчыну пры вегетатыўным размнажэнні і не перадаюцца пры палавым. *Генератыўныя* мутацыі адбываюцца ў палавых клетках і перадаюцца пры палавым размнажэнні.

Пагодле ўплыву на жыццяздольнасць і пладавітасць асобін мутацыі дзеляць на:

- *лятальныя* (абумоўліваюць гібель мутантаў);
- *напаўлятальныя* (зніжаюць жыццяздольнасць мутантаў, якія звычайна не дажываюць да рэпрадуктыўнага ўзросту);
- *нейтральныя* (не ўплываюць на жыццяздольнасць і пладавітасць арганізма);
- *карысныя* (павышаюць жыццяздольнасць і пладавітасць асобін).

Пагодле паходжання адрозніваюць *спантанныя* і *індуцыраваныя* мутацыі.

Мутагенныя фактары асяроддзя. Рэзкае павелічэнне частаты мутацый (у сотні разоў) адбываецца пад уздзеяннем усіх відаў іанізуючых выпраменьванняў (гама- і рэнтгенаўскія прамяні, пратоны, нейтроны), ультрафіялетавага выпраменьвання і інш. Да хімічных мутагенаў належаць такія рэчывы, як фармалін, калхіцын, кафеін, некаторыя кампаненты тытунёвага дыму, лекавых прэпаратаў, харчовых кансервантаў і пестыцыдаў. Біялагічнымі мутагенамі з'яўляюцца вірусы і таксіны шэрага плесневых грыбоў.

Закон гамалагічных радоў спадчынай зменлівасці. Выдатны расійскі генетык М. І. Вавілаў вывучаў разнастайнасць і паходжанне культурных раслін. Ён устанавіў важную заканамернасць, вядомую пад назвай **закона гамалагічных радоў спадчынай зменлівасці**. Сутнасць гэтага закону заключаецца ў тым, што віды і роды, блізкія генетычна, звязаныя адзінствам паходжання, характарызуюцца падобнымі радамі спадчынай зменлівасці. Ведаючы, якія формы зменлівасці сустракаюцца ў аднаго віду, можна прадбачыць знаходжанне аналагічных формаў у іншых відаў.

Фактамі, якія пацвярджаюць гэты закон, з'яўляюцца выпадкі альбінізму ў названочных, гемафілія ў чалавека і іншых млекакормячых, адсутнасць восцей у суквеццях шэрага раслін, чорная афарбоўка і голазерненасць злакавых культур і г. д.

Вавілаў Мікалай Іванавіч (1887—1943) — рускі батанік, генетык, расліназнавец, географ. Сфармуляваў закон гамалагічных радоў спадчынай зменлівасці. Стварыў вучэнне аб цэнтрах паходжання культурных раслін. Правёў серыю экспедыцый па 40 краінах, сабраўшы ўнікальную калекцыю сартоў культурных раслін, якая да сённяшняга дня з'яўляецца асновай для селекцыйных работ.



З'явлення падобных мутацый тлумачыцца некаторай агульнасцю генатыпаў. У працэсе ўзнікнення новых відаў адрозненні паміж імі ўставаўліваюцца толькі па частцы генаў, якія абумоўліваюць іх паспяховае існаванне ў канкрэтных умовах. У той жа час многія гены ў відаў пэўнага роду або нават сямейства застаюцца нязменнымі і пры мутацыях даюць падобныя прыкметы. Чым бліжэй таксанамічна разглядаемыя арганізмы, тым больш падабенства назіраецца ў радзе зменлівасці.

Закон М. І. Вавілава мае вялікае практычнае значэнне, паколькі прагназуе пошук пэўных формаў зменлівасці ў раслін і жывёл. Ведаючы характар зменлівасці аднаго або некалькіх блізкіх відаў, можна мэтанакіравана шукаць формы, яшчэ не вядомыя ў гэтага арганізма, але ўжо адкрытыя ў яго таксанамічных сваякоў.

Значэнне генатыпічнай зменлівасці. Мутацыі як крыніцы генатыпічнай зменлівасці з'яўляюцца найважнейшым фактарам эвалюцыі, якая забяспечвае прыстасаванасць папуляцый і асобных відаў да зменлівых умоў асяроддзя.

Генатыпічная зменлівасць ляжыць у аснове практычнай селекцыі пры стварэнні новых парод жывёлы, сартоў раслін, штамаў мікраарганізмаў. Так, у наш час уся сусветная вытворчасць антыбіётыкаў заснавана на выкарыстанні арганізмаў-мутантаў, атрыманых над дзеяннем радыяцыі або хімічных мутагенаў. У выніку ўздзеяння на мікраарганізмы (бактэрыі, грыбы), якія выпрацоўваюць антыбіётыкі, мутагенаў з далейшым адборам найбольш удалых формаў прадуктыўнасць некаторых мікраарганізмаў удалося павялічыць у 1000 разоў.

Акрамя таго, выкарыстанне мутагенаў дазволіла паскорыць узнікненне разнастайных мутантаў у сотні разоў. Напрыклад, выкарыстанне іанізуючых выпраменьванняў у селекцыі раслін дазволіла атрымаць новыя сарты пшаніцы, жыта, ячменю, гароху і інш. Хімічныя мутагены далі магчымасць атрымаць паліплоідныя расліны, якія лягчэй прыстасоўваюцца да неспрыяльных умоў жыцця, лягчэй пераносяць нізкія тэмпературы і засуху і больш прадуктыўныя.

- ? 1. Што такое камбінатыўная зменлівасць? Якія біялагічныя з'явы ляжаць у яе аснове?
 2. Што такое мутацыя? Якія яе ўласцівасці? 3. Якія прынцыпы пакладзены ў аснову класіфікацыі мутацый? 4. У чым прынцыповае адрозненне паміж камбінатыўнай і мутацыйнай зменлівасцю? 5. Якое значэнне мае рэцэсіўны характар большасці генных мутацый? 6. У чым сутнасць і практычнае значэнне закона гамалагічных радоў спадчынай зменлівасці?

§ 52. Асаблівасці спадчыннасці і зменлівасці чалавека

Асноўныя заканамернасці спадчыннасці і зменлівасці, устаноўленыя для арганізмаў, універсальныя, значыць — справядлівыя і для чалавека. Іх вывучэннем займаецца **генетыка чалавека**.

Як аб'ект генетычных даследаванняў чалавек мае свае асаблівасці. Для людзей немагчыма эксперыментальна атрымаць мутацыі, не прымяняльны гібридалагічны метад. Акрамя таго, генетычны аналіз ускладняецца шэрагам фактараў: вялікай колькасцю храмасом, малой колькасцю нашчадкаў у сям'і (у апошні час у большасці сем'яў нараджаецца не больш за двое дзяцей), працягласць змены пакаленняў (адно пакаленне — у сярэднім 30 гадоў), вялікім генатыпічным і фенатыпічным полімарфізмам, а таксама залежнасцю праяўлення многіх прыкмет і хвароб ад умоў знешняга асяроддзя. Разам з тым, дзякуючы дакладнай выбарцы з вялікай колькасці шлюбных пар, магчымасці ўліку ў вялікай папуляцыі сем'яў з зацікавіўшымі прыкметамі, распрацоўцы найноўшых метадаў, работы з ДНК і многаму іншаму генетыка чалавека ў апошнія гады дасягнула значных поспехаў.

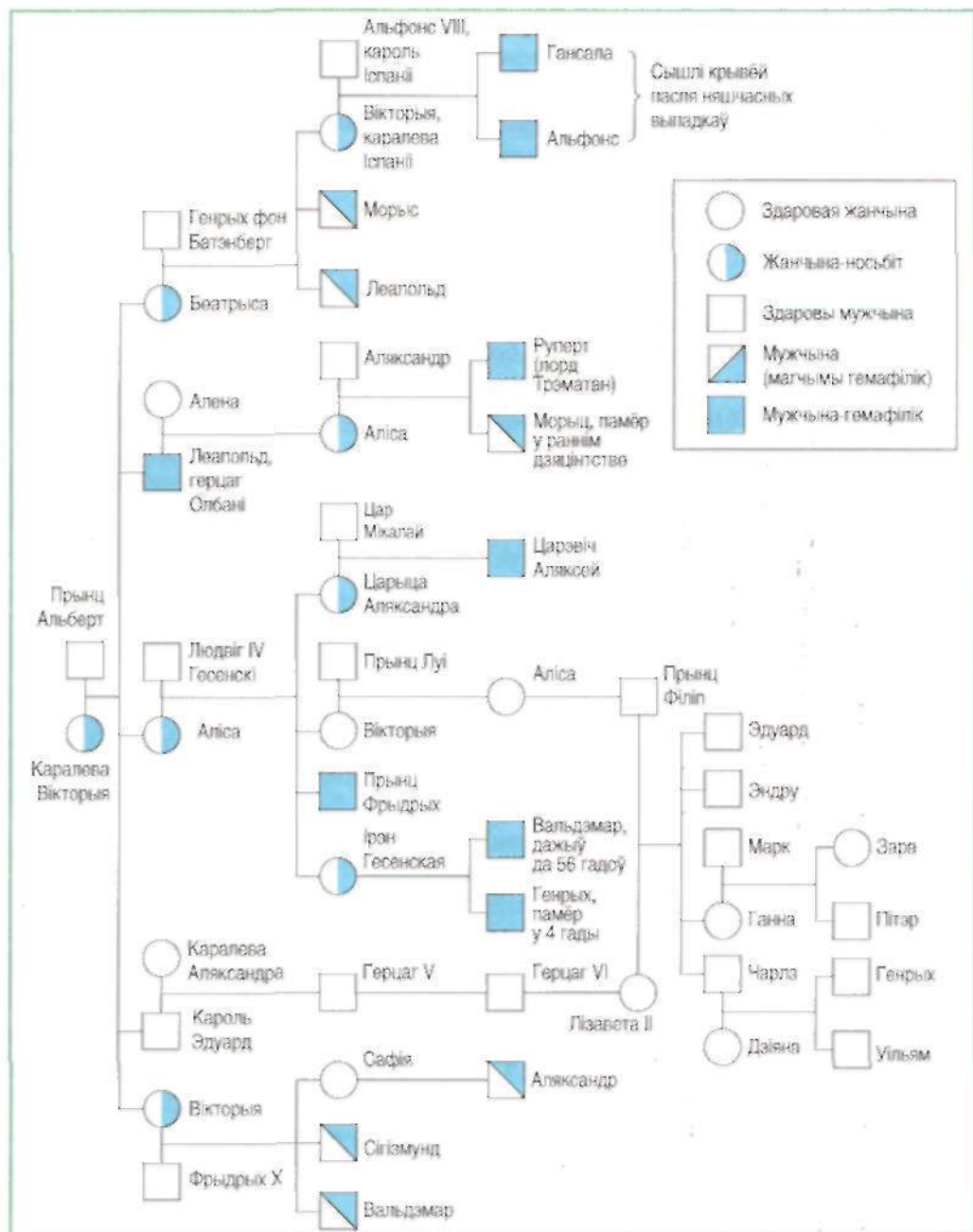
У сучаснай генетыцы чалавека выкарыстоўваюцца як класічныя, так і найноўшыя метады: генеалагічны, блізнятны, цытагенетычны, папуляцыйна-статыстычны, дэрматагліфічны, біяхімічны і малекулярна-генетычны.

Генеалагічны метад абапіраецца на генеалогію — вучэнне аб радаслоўных. З дапамогай гэтага метаду можна высветліць спадчынны характар прыкметы і вызначыць тып наследавання (дамінантны, рэцэсіўны, счэплены з полам або аўтасомны), а таксама тып узаемадзеяння генаў.

Генеалагічны метад выкарыстоўваецца для дыягностыкі спадчынных захворванняў і медыка-генетычнага кансультавання.

З дапамогай генеалагічнага метаду даказана наследаванне многіх прыкмет і захворванняў. Гемафілія з'яўляецца класічным прыкладам рэцэсіўнага, счэпленага з полам захворвання, наследаванне якога выразна прасочваецца па радаслоўных сем'яў, якія царствавалі ў Еўропе (мал. 115, с. 198). Аналагічны X-счэплены тып наследавання маюць м'япатыя Дзюшэна і некаторыя формы дальтанізму. Да захворванняў з аўтасомна-дамінантным тыпам наследавання належаць полідактылія (шасціпальцасць), брахідактылія (караткапальцасць), ахандраплазія (карлікавасць) і інш. Аўтасомна-рэцэсіўны тып наследавання маюць многія хваробы абмену рэчываў (фенілкетанурыя, альбінізм і інш.).

Блізнятны метад заключаецца ў вывучэнні развіцця прыкмет у блізнят. Ён упершыню быў прапанаваны англійскім антрапологам і псіхолагам Ф. Галь-



Мал. 115. Генеалагічнае дрэва сем'яў, царстваваўшых у Еўропе, якое ілюструе наследванне гемафіліі

то нам у 1875 г. Гэты метада дазваляе вызначыць уклад генетычных і асяродзевых фактараў (клімац, харчаванне, навучанне і г.д.) у развіццё канкрэтных фенатыпічных прыкмет чалавека.

Пры выкарыстанні блізнятнага метаду праводзіцца параўнанне моназіготных (аднаяйцавых) блізнят як аднаго з адным, так і з дызіготнымі (разнаяйцавымі) блізнятамі і з агульнай папуляцыяй.

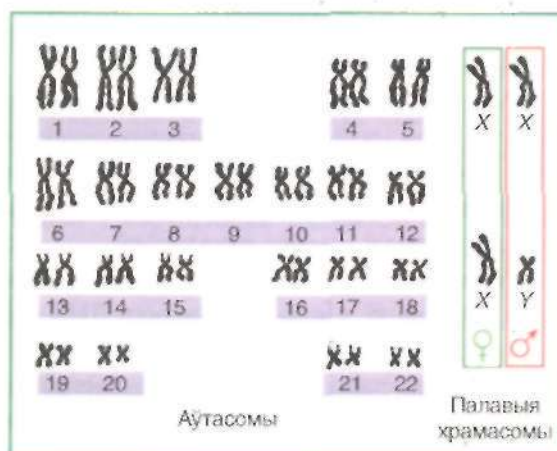
Моназіготныя блізнятны развіваюцца з адной зіготы, якая на стады драблення дала пачатак двум або больш эмбрыёнам. З генетычнага пункту погляду, яны ідэнтычныя, паколькі маюць аднолькавыя генатып. Аднак, яны вельмі падобныя знешне, аднаго полу, маюць аднолькавую групу крыві, аднолькавыя адбіткі пальцаў.

Дызіготныя блізнятны развіваюцца ў тым выпадку, калі адначасова адбылося апладненне дзвюх яйцаклетак двума сперматазоідамі. Аднак, такія блізнятны маюць розныя генатыпы і падобныя паміж сабой не больш, чым звычайныя браты і сёстры, паколькі маюць каля 50 % ідэнтычных генаў. У сярэднім частата нараджэння блізнят складае каля 1 %, з іх каля $\frac{1}{3}$ прыпадае на аднаяйцавых блізнят.

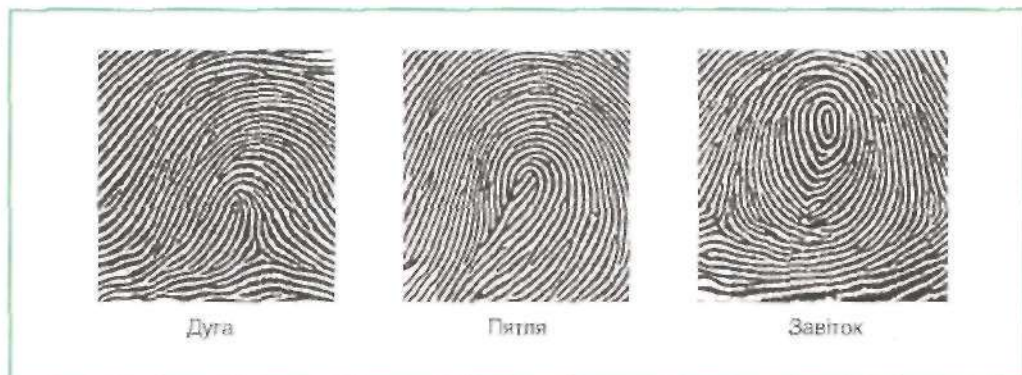
Цытагенетычны метада заснаваны на мікраскапічным вывучэнні храмасом. У 1956 г. шведскія цытолагі Д. Тьо і А. Леван устанавілі, што ў чалавека 46 храмасом (мал. 116), што паклала пачатак шырокаму вывучэнню храмасом чалавека.

У 1959 г. французскія вучоныя Д. Лежэн, Р. Цюрпен і М. Гацье ўстанавілі храмасомную прыроду сіндрома Даўна. У дадэйшым былі апісаны іншыя храмасомныя сіндромы, якія сустракаюцца ў чалавека. У выніку цытагенетыка стала найважнейшым раздзелам практычнай медыцыны. У наш час цытагенетычны метада прымяняецца для дыягностыкі храмасомных хвароб, складання цыталагічных карт храмасом, вывучэння мутацыйнага працэсу і г.д.

Дэрматагліфічны метада заснаваны на вывучэнні рэльефу скуры на пальцах, далонях, падэшвах ступняў (мал. 117, с. 200). У адрозненне ад іншых частак цела тут ёсць эпідэрмальныя вы-



Мал. 116. Набор храмасом чалавека



Мал. 117. Асноўныя тыпы дэрматагліфічных узораў

ступы (грабяні), якія ўтвараюць складаныя ўзоры (дугі, пеглі, завіткі). Малюнак на пальцах строга індывідуальны і можа супадаць толькі ў аднаіццавых блізнят.

Класіфікацыя ўзораў была распрацавана Ф. Гальтонам у 1892 г. Дэрматагліфіка ўключае 3 раздзелы: дактыласкапію (вывучэнне ўзораў на пальцах), пальмаскапію (малюнак далоні) і плантаскапію (малюнак падэшвы ступняў).

У наш час дэрматагліфіка выкарыстоўваецца ў вызначэнні зіготнасці блізнят, дыягностыцы некаторых спадчыных захворванняў, судовай медыцыне і крыміналістыцы для ідэнтыфікацыі асобы.

Папуляцыйна-статыстычны метад выкарыстоўваецца для вывучэння частаты генаў у папуляцыі. Ён дазваляе выявіць частату спадчыных хваробаў, заканамернасці мутацыйнага працэсу, ролю спадчынасці і асроддзя ва ўзнікненні хваробаў і многае іншае.

Метад знайшоў сваё прымяненне ў медыцынскай генетыцы пры вывучэнні частаты нармальных і паталагічных генаў, генатыпаў і фенатыпаў у папуляцыях розных мясцовасцей, краін і гарадоў. Акрамя таго, гэты метад прымяняецца для вывучэння спадчыных хваробаў у розных папуляцыях з наступным прагназаваннем іх частаты ў шэрагу пакаленняў.

Біяхімічны і малекулярна-генетычны метады заснаваны на выяўленні змяненняў у пэўных участках ДНК, вызначэнні біяхімічнага саставу плазмы і форменных элементаў крыві, мачы, поту, амніятычнай вадкасці. Прадметам дыягностыкі з'яўляюцца разнастайныя бялкі, нуклеінавыя кіслоты і спецыфічныя метабаліты, якасны і колькасны аналіз якіх дастаткова дакладна адлюстроўвае сутнасць цэлага шэрага захворванняў, напрыклад хваробаў абмену рэчываў.

Гэтыя метады прымяняюцца ў медыка-генетычным кансультаванні і ў клінічнай практыцы для вызначэння ступені сваяцтва, дыягностыкі гетэразіготнасці бацькоў па пэўнай прыкмеце або захворванні.

? 1. Што ўскладняе вывучэнне спадчыннасці і зменлівасці чалавека? 2. Якія асноўныя метады вывучэння спадчыннасці і зменлівасці чалавека? 3. Якія магчымасці і перспектывы выкарыстання генетычных метадаў для дыягностыкі, прафілактыкі і лячэння спадчынных паталогій?

§ 53. Спадчыныя хваробы чалавека

Праблема здароўя і генетыка цесна ўзаемазвязаны. З расшырэннем нашых ведаў у галіне медыцыны і генетыкі колькасць вядомых спадчынных захворванняў павялічваецца. У цяперашні час да спадчынных залічваюць звыш 5500 хваробаў і прыкмет. Сярод іх вылучаюць генныя, храмасомныя хваробы і захворванні са спадчынай схільнасцю.

Генныя хваробы — гэта значная група захворванняў, якія ўзнікаюць пры пашкоджаннях ДНК на ўзроўні гена. Звычайна гэтыя захворванні з'яўляюцца манагеннымі, г. зн. у аснове паталагічных вынікаў ляжыць адна пара алельных генаў.

Агульная частата генных захворванняў у папуляцыі складае 1—2 %. Манагенныя захворванні наследуюцца ў адпаведнасці з законам Г. Мендэля. Паводле тыпу наследавання вылучаюць аўтасомна-дамінантныя, аўтасомна-рэцэсіўныя і счэпленыя з полам захворванні.

Большасць генных паталогій выклікана мутацыямі ў структурных генах, якія ажыццяўляюць сваю функцыю праз сінтэз бялкоў. Мутацыя вядзе да змянення структуры або колькасці бялку, што можа выклікаць функцыянальныя і фенатыпічныя праявы.

Да генных хваробаў належаць шматлікія хваробы абмену рэчываў. Яны могуць быць звязаны з парушэннем абмену вугляводаў, ліпідаў, амінакіслот, металяў і інш.

Прыкладам геннай хваробы, звязанай з парушэннем амінакіслотнага абмену, з'яўляецца **фенілкетанурыя**. Гэта рэцэсіўнае захворванне выклікаецца парушэннем метабалізму амінакіслаты фенілаланіну з-за дэфекту гена, які кодзіруе фермент, што ператварае гэту амінакіслату ў тыразін. У выніку ў арганізме назапашваецца фенілаланін, які ў далейшым ператвараецца ў фенілэправінаградную кіслату. Гэта кіслата, з'яўляючыся нейратропным ядам, выклікае пашкоджанні нервовай сістэмы. Пры своєчасовай пастаноўцы дыягназу (на ранніх этапах развіцця дзіцяці) фенілкетанурыя паспяхова лечыцца з дапамогай спецыяльна падабранай дыеты з нізкім утрыманнем фенілаланіну.



Мал. 118. Характэрныя прыкметы сіндрому Марфана

Мутацыя гена, які адказвае за сінтэз бялку злучальнатканых валокнаў, прыводзіць да блакіроўкі яго сінтэзу. У выніку развіваецца **сіндром Марфана** («павучыныя пальцы»), які наследуецца па аўтасомна-дамінантным тыпе і характарызуецца сістэмным пашкоджаннем злучальнай тканкі. Хворых вылучае вялікі рост, доўгія павукападобныя пальцы, плоскаступнёвасць, дэфармацыя грудной клеткі (мал. 118). Акрамя гэтага, захворванне можа суправаджацца недаразвіццём мышцаў, касавокасіцю, катарактай, прыроджанымі парокмі сэрца і г. д. Неабходна адзначыць, што на сіндром Марфана хварэлі такія вядомыя людзі, як Н. Паганіні і А. Лінкальн.

Акрамя парушэнняў абмену рэчываў, генныя мутацыі здольны выклікаць змяненні асобных прыкмет: караткапальчасць, шасціпальчасць, карлікавасць, атрафію зрокавага нерва, глухату і г. д.

Храмасомныя хваробы прынята дзяліць на дзве групы: хваробы, звязаныя з аномаліямі колькасці храмасом, і хваробы, звязаныя з аберациямі (структурнымі парушэннямі) храмасом. У цяперашні час апісана каля 700 такіх захворванняў. Большасць з іх прыпадае на паталогію палавых храмасом, затым ідуць аўтасомныя трысоміі, радзей сустракаюцца аберацыі храмасом.

Да сіндромаў з лікавымі аномаліямі палавых храмасом належаць: сіндром Шарашэўскага — Тэрнера, сіндром палісоміі па X-храмасоме ў жанчын, сіндром Клайнфельтера. Прычынай гэтых захворванняў з'яўляецца парушэнне разыходжання палавых храмасом пры ўтварэнні гамет.

Сіндром Шарашэўскага — Тэрнера характэрны толькі для жанчын, у іх адсутнічае адна X-храмасома (манасомія па X-храмасоме, карыятып — $44 + X0$). Частата сустракаемасці 1 : 3000 нованароджаных дзяўчынак. Для хворых з гэтым захворваннем характэрны нізкі рост (у сярэднім 135 см), кароткая шыя з бакавымі скурнымі складкамі, укарачэнне 4—5-га пальцаў рук, адсутнасць або слабае развіццё другасных палавых прыкмет, бясплоднасць. Нярэдка адзнача-

ещы касавокасць, катаракта, дэфекты слыху, ананаліі мачавой сістэмы. У 50 % выпадкаў хворыя маюць разумовую адсталасць або схільнасць да псіхозаў (мал. 119).

Сіндром палісоміі па X-храмасоме ў жанчын уключае трысомію (карыятып $44 + XXX$), тэтрасомію ($44 + XXXX$) і пентасомію ($44 + XXXXX$). Трысомія сустракаецца з частатой 1 : 1000 нованароджаных дзяўчынак. Праявы дастаткова разнастайныя: адзначаецца нязвычайнае зніжэнне інтэлекту, магчымае развіццё псіхозаў і пшызафрэнні, пладавітасць звычайна ў нормі. Пры тэтрасоміі і пентасоміі павышаецца верагоднасць разумовай адсталасці, адзначаюцца саматычныя ананаліі, недаразвіццё геніталій.

Сіндром Клайнфельтэра назіраецца з частатой 2 : 1000 нованароджаных хлопчыкаў. Хворыя маюць лішнюю X-храмасому (карыятып — $44 + XXY$). Генетычныя ананаліі праяўляюцца ў перыяд палавога выспявання і вызўляюцца ў недаразвіцці семеннікоў і другасных палавых прыкмет. Для мужчын з гэтым сіндромам характэрны высокі рост, еўнухойдны тып целаскладу (вузкія плечы, шырокі таз), павелічэнне грудных залоз, слабы рост валасоў на твары. У большасці парушаны сперматагенез, і яны бясплодныя. Магчымае адставанне інтэлектуальнага развіцця.

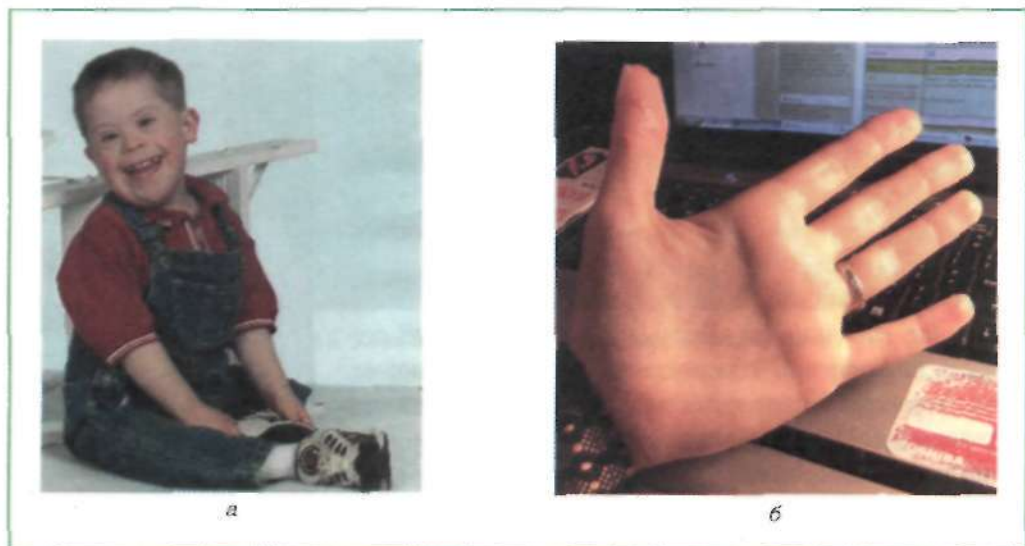
Сустракаецца сіндром дысоміі па Y-храмасоме (карыятып $44 + XYY$). Назіраецца з частатой 1 : 1000 нованароджаных хлопчыкаў. Звычайна мужчыны з гэтым сіндромам не адрозніваюцца ад нормы па разумовым і фізічным развіцці. Магчымае павелічэнне росту, нязвычайнае зніжэнне інтэлекту, схільнасць да агрэсіі.

Сярод аўтасомных трысомій найбольш пашыраным з'яўляецца **сіндром Даўна**, прычынай якога з'яўляецца трысомія па 21-й храмасоме. Частата захворвання складае 1 : 600—800 нованароджаных.

Хворыя з гэтым сіндромам звычайна характарызуюцца нізкім ростам, круглым плоскім тварам, мангалоідным разрэзам вачэй з эпікантусам — навісаючай складкай над верхнім павекам, маленькімі дэфармаванымі вушамі, выступаючай сківіцай, маленькім носам з шырокім плоскім пераносем, парушэннямі разумовага развіцця (мал. 120, с. 204). Каля палавіны хворых маюць парокі развіцця сардэчна-сасудзістай сістэмы (сэрца, буйных сасудаў). Хвароба супра-



Мал. 119. Дзяўчынка з сіндромам Шарапэўскага — Тэрнера



Мал. 120. Синдром Дауна: а — хворе дзіця; б — характэрны дэрмататліфічны малюнак далоні хворага

ваджаецца зніжэннем імунітэту, расстройтвам эндакрынных залоз, парушэннем абмену рэчываў.

Сустрэкаюцца захворванні, звязаныя з трысоміяй па 13-й і 18-й храмасомах. Дзеці з такімі анамаліямі храмасом з-за многіх паталогій развіцця звычайна паміраюць ва ўзросце да аднаго года.

Каля 90 % ад агульнай колькасці спадчынных паталогій чалавека складаюць **захворванні са спадчыннай схільнасцю**. Да найбольш пашыраных хваробаў гэтага тыпу належаць: рэўматызм, цыроз печані, цукровы дыябет, гіпертанія, ішэмічная хвароба сэрца, шызафрэнія, бронхіальная астма і г. д. У адрозненне ад генных хваробаў ступень праяўлення захворвання залежыць як ад спадчыннасці, так і ад дзеяння фактараў знешняга асяроддзя. Пэўнае спалучэнне знешніх фактараў можа справакаваць ранняе развіццё хваробы. Напрыклад, курэнне можа стымуляваць развіццё бронхіальнай астмы, гіпертанічнай хваробы і г. д.

Спадчынная схільнасць можа мець мазагенны або палігенны характар. У першым выпадку яна вызначаецца мутацыяй аднаго гена, для праяўлення якой неабходны пэўны знешні фактар. У другім выпадку — спалучэннем алеляў некалькіх генаў і комплексам фактараў знешняга асяроддзя. Такія хваробы называюць яшчэ *мультифактарыяльнымі*.

Дыягностыка, прафілактыка і лячэнне спадчынных і прыроджаных захворванняў маюць вялікае значэнне. Для гэтага ў многіх краінах свету, у тым ліку

і ў Беларусі, створана сетка ўстаноў, якія забяспечваюць медыка-генетычнае кансультаванне насельніцтва. Асноўная мэта медыка-генетычнага кансультавання — прадухіленне нараджэння хворага дзіцяці.

Генетычная кансультацыя і дародавая дыягностыка абавязковыя, калі бацькі будучага дзіцяці з'яўляюцца сваякамі (пры шлюбе блізкіх сваякоў у некалькі разоў павышаецца верагоднасць нараджэння дзяцей з рэцэсіўнымі спадчыннымі захворваннямі), іх ўзрост перавышае 35 гадоў, яны працуюць на шкоднай вытворчасці, маюць генетычна праблемных сваякоў, ужо маюць дзяцей з прыроджанымі паталогіямі развіцця.

Прымяненне комплексу дыягнастычных метадаў дазваляе разлічыць рызыку нараджэння дзіцяці са спадчынай аямаліяй, устаноўіць на ранніх этапах прычыны захворвання і прымяніць адпаведныя меры лячэння. Неабходна адзначыць, што курэнне, ужыванне алкаголю і наркатыкаў маці або бацькам будучага дзіцяці значна павышаюць верагоднасць нараджэння дзіцяці з цяжкімі спадчыннымі паталогіямі.

У выпадку нараджэння хворага дзіцяці пры своєчасовым выяўленні шэрага захворванняў магчымае медыкаментознае, дыетычнае і гарманальнае лячэнне, напрыклад, як ужо адзначалася, пры фенілкетанурыі і дыябеце.

- ? 1. Якія прычыны розных спадчынных захворванняў чалавека? 2. Якія тыпы спадчынных хваробаў вылучаюць? Якія гённыя хваробы вы можаце назваць? 3. Якія храмасомныя хваробы вы ведаеце? 4. Што выклікае развіццё хваробаў са спадчынай схільнасцю? 5. Якія задачы медыка-генетычнага кансультавання?

Глава 7 Селекція і біотехнологія

§ 54. Селекція, яе задачи і асноўныя напрамкі

Селекція (ад лац. *selectio* — адбор, выбар) — гэта навука аб шляхах стварэння новых і паляпшэння ўжо існуючых сартоў культурных раслін, парод свойскіх жывёл і штамаў мікраарганізмаў з каштоўнымі для чалавека прыкметамі і ўласцівасцямі (мал. 121).

Сортам, пародай, штамам называюць устойлівую групу (папуляцыю) жывых арганізмаў, якая штучна створана чалавекам і мае спадчыныя асаблівасці. Усе асобіны ўнутры пароды, сорту, штама маюць ідэнтычныя, спадчына замацаваныя марфалагічныя, фізіка-біяхімічныя і гаспадарчыя прыкметы і ўласцівасці, а таксама аднатыпную рэакцыю на дзеянне фактараў знешняга асяроддзя.

Узнікненне селекцыі як навукі было звязана з неабходнасцю вырашэння такой жыццёва важнай праблемы ўсяго чалавецтва, як харчовая. Для гэтага неабходна не толькі пастаянна ўдасканальваць традыцыйныя метады выдзення сельскай гаспадаркі (унясенне аптымальных доз мінеральных і арганічных угнаенняў, ажыццяўленне комплексу мер па захаванні і набыццё ўрадлівасці глеб і інш.), але і выкарыстоўваць новыя навуковыя метады вытворчасці прадуктаў харчавання ва ўмовах інтэнсіўнага земляробства.

Магчымасці павелічэння прадукцыі сельскай гаспадаркі эканамічным шляхам, г. зн. шляхам павелічэння пасяўных плошчаў, ужо даўно вычарпаны. Таму самым эфектыўным і найбольш эканамічна выгадным спосабам павышэння прадуктыўнасці сельгасвытворчасці з'яўляецца селекцыя высокапрадуктыўных фор-



Мал. 121. Прымяненне селекцыі ў розных галінах

маў жывых арганізмаў. Напрыклад, так званую «зялёную рэвалюцыю» ў земляробстве Мексікі, Індыі і шэрагу іншых краін ажыццявіла ўкараненне нізкарослых (з вышынёй сцябла 100—110 см), нападкарлікавых (80—100 см) і карлікавых (60—80 см) сартоў *рысу*, *пшаніцы* і г. д. Яны характарызуюцца не толькі ўстойлівасцю да палягання, але і прадуктыўнасцю коласа, галоўным чынам за кошт павышанай колькасці ў ім зярнявак. У выніку ўраджайнасць пшаніцы ў Мексіцы вырасла ў 2 разы.

Асноўнымі напрамкамі сучаснай селекцыі з'яўляюцца: 1) атрыманне высокаўраджайных сартоў раслін, пладавітых і прадуктыўных парод жывёлы; 2) павышэнне якасці прадукцыі (напрыклад, смаку, знешняга выгляду, лёгкасці пладоў і агародніны, хімічнага саставу зерня — утрымання бялку, клейкавіны, незаменных амінакіслот); 3) атрыманне раслін і жывёл з гаспадарча важнымі фізіялагічнымі ўласцівасцямі (скараспеласцю, устойлівасцю да хвароб, шкоднікаў і неспрыяльных кліматычных умоў); 4) інтэнсіфікацыя развіцця (у раслін — рэагаванне на ўгнаенні, паліванне, а ў жывёл — «аплата» корму).

На сённяшні дзень у шэрагу выпадкаў селекцыя літаральна дасягнула нейкай мяжы: ёсць пароды курэй, якія нясуць яйкі практычна кожны дзень. Далейшая селекцыйная работа вядзецца ў кірунку найвышэйшай «аплаты» корму (г. зн. стварэння парод, якія даюць найбольшы выхад прадукцыі пры найменшых затратах корму) з улікам узроўню развіцця і індустрыялізацыі аграрна-прамысловага комплексу. Напрыклад, выведзены пароды курэй, што не зніжаюць прадуктыўнасці ва ўмовах вялікай скучанасці жывёлы на птушкафабрыках, а таксама сарты агароднінных культур, што даюць высокія ўраджай пры вырошчванні ў цяпліцах.

Сучасная селекцыя вядзецца з улікам патрэбнасцей рынку сельскагаспадарчай прадукцыі і канкрэтных галін прамысловай вытворчасці. Інакш кажучы, праводзіцца спецыялізаваная селекцыя. Напрыклад, для выпечкі высокакаснага хлеба з эластычным мякішам і хрусткай скарынкай неабходны моцныя (шклопадобныя) сарты мягкай пшаніцы з вялікім утрыманнем бялку, пруткай клейкавінай (не менш за 30 %). Толькі ў гэтым выпадку са 100 г збожжа можна атрымаць батон аб'ёмам 1000 см³, паколькі эластычная клейкавіна ўтрымлівае вуглякіслы газ, які вылучаецца пры браджэнні. Для вырабу вышэйшых сартоў пачэння неабходны мучністыя (слабыя) сарты мягкай пшаніцы, а макаронныя вырабы (ражкі, вермішэль, локшына і інш.) вырабляюцца з цвёрдых сартоў пшаніцы.

Яскравым прыкладам селекцыі з улікам патрэбнасцей рынку служыць пушыная зверагадоўля. Напрыклад, пры гадаванні такіх каштоўных звяркоў, як норка, выдра, ліса, адбіраюцца жывёлы з такім генатыпам, які ў большай ступені адпавядае пастаянна зменлівай модзе адносна афарбоўкі і адценняў футра.

Поспех работы селекціонера ў многім залежыць ад правільнасці выбару зыходнага матэрыялу (відаў, сартоў, парод, штамаў) для селекцыі, вывучэння яго паходжання і эвалюцыі, выкарыстання ў селекцыйным працэсе арганізмаў з каштоўнымі прыкметамі і ўласцівасцямі. Пошук неабходных формаў вядзецца з улікам усяго сусветнага генафонду ў пэўнай паслядоўнасці. Перш за ўсё выкарыстоўваюцца мясцовыя формы з неабходнымі прыкметамі і ўласцівасцямі, затым прымяняюцца металы інтрадукцыі і акліматызацыі (г. зн. прыцягваюцца формы, якія населяюць іншыя краіны або кліматычныя зоны) і, нарэшце, звяртаюцца да самых сучасных метадаў селекцыйнай работы.

Для выкарыстання ў селекцыі разнастайнага зыходнага матэрыялу (рэдкай дзікіх формаў; сартоў, знятых з вытворчасці, і г. д.) ствараюцца спецыялізаваныя **генетычныя банкі даных**. Прыкладам такога банка з'яўляецца калекцыя Усерайскага інстытута раслінаводства імя М. І. Вавілава (УІРа). У цяперашні час яна налічвае звыш 213 000 узораў культурных раслін і іх дзікіх сародзічаў, 155 батанічных сямействаў, якія шырока выкарыстоўваюцца селекціонерамі розных краін як зыходны матэрыял для стварэння новых сартоў збожжавых, пладовых, агароднінных, тэхнічных, лекавых і іншых культур.

Генетыцы належыць вызначальная роля ў вырашэнні практычна ўсіх селекцыйных задач. Яна дапамагае рацыянальна планаваць селекцыйны працэс з улікам асаблівасцей наследавання кожнай канкрэтнай прыкметы. Павелічэнне эфектыўнасці селекцыйнай работы стала магчымым у выніку прымянення законаў і метадаў генетыкі:

- 1) закона гамалагічных радоў спадчынай зменлівасці;
- 2) тэстаў для ранняй дыягностыкі селекцыйнай перспектыўнасці зыходнага матэрыялу;
- 3) метадаў эксперыментальнага мутагенезу і аддаленай гібрыдызацыі ў спалучэнні з поліплаідызацыяй;
- 4) метадаў кіравання працэсамі рэкамбінацыі і эфектыўнага адбору найбольш каштоўных генатыпаў з неабходным комплексам прыкмет і ўласцівасцей.

Разам з тым селекцыя абапіраецца і на дасягненні іншых навук: сістэматыкі і геаграфіі раслін і жывёл, цыталогіі, эмбрыялогіі, біялогіі індывідуальнага развіцця, малекулярнай біялогіі, фізіялогіі і біяхіміі. Бурнае развіццё гэтых напрамкаў прыродазнаўства адкрывае зусім новыя перспектывы. Шырокае выкарыстанне ў апошнія гады метадаў біятэхналогіі, культуры клетак і тканак дазволіла значна паскорыць селекцыйны працэс і паставіць яго на якасна новую аснову. На сённяшні дзень селекцыя ўжо выйшла на ўзровень мэтанакіраванага канструявання арганізмаў з неабходнымі прыкметамі і ўласцівасцямі.

? 1. Што такое селекцыя? Якія напрамкі яе развіцця? 2. Што называюць пародай жывёл? Сортам раслін? Штамам мікраарганізмаў? 3. З улікам чаго вядзецца селекцыйная работа? 4. Якое значэнне для селекцыі мае зыходны матэрыял? 5. На дасягненні якіх навуц абавіраецца сучасная селекцыя?

§ 55. Метады селекцыі і яе дасягненні

Асноўнымі метадамі селекцыі з'яўляюцца адбор, гібрыдызацыя і мутагенез.

У аснове селекцыйнага працэсу ляжыць **штучны адбор**. У спалучэнні з генетычнымі метадамі ён дазваляе ствараць сарты, пароды і штамы з загадым вызначанымі прыкметамі і ўласцівасцямі. У селекцыі адрозніваюць два асноўныя віды адбору: масавы і індыўідуальны.

Масавы адбор — гэта вылучэнне групы асобін, падобных па адной або комплексе пажаданых прыкмет, без праверкі іх генатыпу. Напрыклад, з усёй напуляцый злакаў таго або іншага сорту для далейшага размнажэння пакідаюць толькі тэя расліны, якія вызначаюцца ўстойлівасцю да ўзбуджальнікаў хвароб і палягання, маюць буйны колас з вялікай колькасцю каласкоў і г. д. Пры іх паўторным пасеве зноў адбіраюць расліны з неабходнымі якасцямі.

Асноўнымі вартасцямі гэтага метаду з'яўляюцца яго прастата, эканамічнасць і магчымасць параўнальна хуткага паляпшэння мясцовых сартоў і парод. Недахоп заключаецца ў немагчымасці індыўідуальнай ацэнкі патомства, у выніку чаго вынікі адбору няўстойлівыя.

Пры *індыўідуальным адборам* (па генатыпе) атрымліваюць і ацэньваюць патомства кожнай асобнай расліны або жывёлы ў шэрагу пакаленняў пры абавязковым кантролі наследавання прыкмет, якія цікавіць селекцыянера. На наступных этапах адбору выкарыстоўваюць толькі тэя асобіны, якія далі найбольшую колькасць патомкаў з высокімі паказчыкамі.

Падобны адбор найбольш эфектыўны сярод самаапыляльных раслін (*пшаніца, ячмень*), паколькі прыводзіць да атрымання чыстых ліній, якія маюць максімальную ступень гомазіготнасці. Пры гэтым ад адной расліны можна атрымаць вялікую колькасць ідэнтычных патомкаў за кошт бясплодага і палавога размнажэння.

Для сельскагаспадарчых жывёл характэрна толькі палавое размнажэнне і нешматлікае патомства. Таму побач з адборам вытворніка або пары бацькоўскіх арганізмаў прымяняюцца спецыяльныя метады развядзення, напрыклад штучнае асемяненне і штучнае апладненне. У апошнія дзесяцігоддзі распрацаваны новыя метады, якія значна расшыраюць магчымасці рэгулявання ўзнаўлення. Яны звязаны з маніпуляваннем на ўзроўні клетак або эмбрыёнаў,

з выкарыстаннем фізіялагічна актыўных злучэнняў, таму можна гаварыць аб прымяненні **рэпрадуктыўных тэхналогій (біятэхналогій)**. Да ліку такіх тэхналогій належаць: суперавуляцыя, транспланцыя эмбрыёнаў, захоўванне гамет і эмбрыёнаў, мэтанакіраванае атрыманне двойнят, рэгуляванне полу, кланіраванне і г. д.

Патэнцыяльныя магчымасці ўзнаўлення млекакормячых велізарныя. У вёшкіх самак утрымліваюцца дзесяткі і сотні тысяч яйцаклетак. Аднак у працэсе антагенезу толькі невялікая частка з іх рэалізуецца ў выглядзе патомства. З дапамогай суперавуляцыі — стану, выкліканага гармонамі, калі ў вёшкіх развіваецца і авулюе ў некалькі разоў больш яйцаклетак (ад 3—8 да 50), становіцца магчымым атрыманне большай колькасці патомства ад лепшых па прадуктыўнасці самак.

Наступным этапам развядзення становіцца транспланцыя эмбрыёнаў (эмбрыятэхналогія), якая заключаецца ў перасадцы аднаго або некалькіх эмбрыёнаў з маткі племянных жывёл (донараў) у матку рэцыпіентаў, дзе эмбрыёны развіваюцца да нараджэння. Прымяненне гэтага метаду спрыяе абмену генафондам сельскагаспадарчых жывёл паміж краінамі і кантынентамі. Перасадка эмбрыёнаў можа быць выкарыстана і для атрымання патомства ад каштоўных, але бесплодных жывёл, якія страцілі здольнасць да размнажэння ў выніку няшчаснага выпадку, хваробы або па ўзросце.

Штучнае асемяненне з'яўляецца самым старым і добра адпрацаваным метадам развядзення сельскагаспадарчых жывёл. Прымяненне гэтага метаду дазваляе эфектыўна выкарыстоўваць генетычны патэнцыял лепшых вытворнікаў. Эканамічны эффект ад штучнага асемянення абумоўлены зніжэннем затрат на ўтрыманне вялікага пагалоўя вытворнікаў, а таксама магчымасцю хуткага размнажэння генатыпу з гаспадарча карыснымі прыкметамі. Напрыклад, выкарыстоўваючы штучнае асемяненне, ад аднаго быка можна атрымаць 35 000 цялят. Для працяглага захоўвання семени выкарыстоўваецца **метад глыбокага замарожвання**. Сёння ў многіх краінах свету існуюць банкі спермы жывёл з каштоўнымі генатыпамі.

Адбор у селекцыі найбольш эфектыўны пры спалучэнні з пэўнымі тыпамі скрывавання (**метадамі гібрыдызацыі**).

Уся разнастайнасць метадаў унутрывідовай гібрыдызацыі зводзіцца да інбрыдынгу і аўтбрыдынгу. **Інбрыдынг** — гэта блізкароднаснае (унутрыпароднае або ўнутрысартавое), а **аўтбрыдынг** — няроднаснае (міжпароднае або міжсартавое) скрываванне.

Пры блізкароднасным скрываванні (інбрыдынг) у якасці зыходных формаў выкарыстоўваюцца браты і сёстры або бацькі і патомства (бацька — дачка, маці — сын, стрыечныя браты — сёстры і г. д.). Гэты тып скрывавання прымяняецца для таго, каб перавесці большасць генаў народы або сарту ў гомазіготны стан і, як вынік, пазбегнуць расшчэплення па гаспадарча каштоўных прыкметах у шэрагу пакаленняў.

Разам з тым пры інбрыдынгу часта назіраецца зніжэнне жыццяздольнасці раслін і жывёл, паколькі ў гомазіготны стан пераходзяць і шкодныя рэцэсіўныя мутацыі.

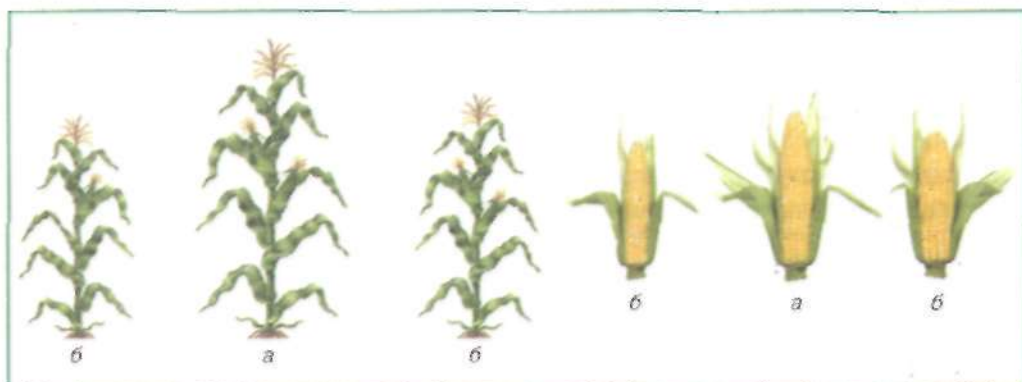
Няроднаснае скрываванне (аўтбрыдынг) побач з рознымі формамі адбору дазваляе стварыць камбінацыю карысных прыкмет, якія паасобку характарызавалі зыходныя пароды або сарты.

Пры міжнародным або міжсартавым скрываванні ўзрастае гетэразіготнасць арганізмаў, у выніку чаго гібрыды першага пакалення часта аказваюцца больш жыццяздольнымі і пладавітым, чым іх бацькоўскія формы. Гэта з'ява называецца **гетэрозіс** (ад грэч. *heterosis* — змяненне, ператварэнне) або **гібрыдная магутнасць**. У наступных пакаленнях эфект гетэрозісу слабее і знікае.

Класічным прыкладам паспяховага прымянення гетэрозісу ў раслінаводстве з'яўляецца *кукуруза* (мал. 122). Упершыню атрыманне высокапрадуктыўных гетэрозісных гібрыдаў менавіта гэтай расліны было пастаўлена на прамысловую аснову. Валавыя зборы зерня такога гібрыду былі на 20—30 % вышэйшымі, чым у бацькоўскіх арганізмаў.

У наш час гетэрозіс шырока выкарыстоўваецца ў селекцыі для павышэння прадуктыўнасці раслін, а таксама ў прамысловай штускагадоўлі (бройлерныя кураняты) і свінагадоўлі.

Пры стварэнні новых сартоў раслін селекцыянерамі шырока выкарыстоўваецца шэраг метадаў па штучным атрыманні паліплоідаў. Метад **аўтаполіплоідыі** (кратнага павелічэння колькасці набораў храмасом аднаго віду) прыводзіць да павелічэння памераў клетак і ўсёй расліны ў цэлым. Паліплоіды ў парадванні з зыходнымі дыплоіднымі арганізмамі, як правіла, маюць большую вегетатыўную



Мал. 122. Гетэрозісныя гібрыды кукурузы (а), бацькоўскія лініі (б)

масу, больш буйныя кветкі і насенне (гл. мал. 114). Акрамя таго, лішак храмасом павышае іх устойлівасць да патогенных арганізмаў (вірусаў, грыбоў, бактэрый) і шэрага іншых неспрыяльных фактараў. Каля 80 % сучасных культурных раслін з'яўляюцца паліплоідамі.

Каштоўныя вынікі дае **аддаленая гібрыдызацыя** (скрыжаванне розных відаў або родаў) арганізмаў. Такія гібрыды, як правіла, бесплодныя. Гэта звязана з тым, што ў геноме ўтрымліваюцца розныя храмасомы, якія ў меёзе не кан'югіруюць. Для аднаўлення пладавітасці ў міжвідавых гібрыдаў у 1924 г. савецкі генетык Г. Д. Карпечанка прапанаваў выкарыстаць у аддаленых гібрыдаў падваенне колькасці храмасом.

Спалучэнне аддаленай гібрыдызацыі і **алаплаідзіі** (кратнага павелічэння колькасці храмасом у гібрыдных арганізмаў, якія з'яўляюцца пры міжродавай і міжвідавай гібрыдызацыі) дазволіла атрымаць гібрыды *капусты* і *рэдзькі*, *жыта* і *пшаніцы*, *пшаніцы* і *пырніку* і інш. Напрыклад, у выніку гібрыдызацыі пшаніцы (*Triticum*) і жыта (*Sekale*) атрымалі шэраг формаў, аб'яднаных агульнай назвай трыцікале. Яны маюць высокую ўраджайнасць пшаніцы, зімаўстойлівасць і непатрабавальнасць жыта, устойлівасць да многіх хвароб.

З мэтай павелічэння варыянтаў зыходнага матэрыялу для селекцыі выкарыстоўваецца **індуцыраваны мутагенез**. Так, у многіх злакаў (*ячмень*, *пшаніца*, *жыта*) з дапамогай рэнтгенаўскага выпраменьвання былі атрыманы мутантныя формы з шэрагам карысных прыкмет. Яны вызначаюцца не толькі павышанай ураджайнасцю збожжа, але і ўкарачэннем сцяблом. Такія расліны ўстойлівыя да палягання і маюць яўныя перавагі пры машынай уборцы ўраджаю. Акрамя таго, кароткая і трывалая саломіна дазваляе весці далейшую селекцыю на павелічэнне памеру і масы зерня без асцярогі, што павышэнне ўраджаю прывядзе да палягання раслін.

Селекцыя мікраарганізмаў прадстаўляе вялікую цікавасць і мае шэраг асаблівасцей: 1) у селекцыянера ёсць неабмежаваная колькасць матэрыялу для работы: за лічаныя дні на пажыўным асяроддзі можна атрымаць мільярдны клетак; 2) больш эфектыўнае выкарыстанне мутацыйнага працэсу, якое дазваляе выявіць любыя мутацыі ўжо ў першым пакаленні; 3) прастата генетычнай арганізацыі бактэрый: значна меншая колькасць тэнаў, простая генетычная рэгуляцыя і г. д.

Гэтыя асаблівасці накладваюць адбітак на выбар метадаў селекцыі мікраарганізмаў. Так, адбору высокапрадуктыўных штамаў напярэднічае мэтанакіраваная работа селекцыянера з генетычным матэрыялам зыходных мікраарганізмаў. У прыватнасці, шырока выкарыстоўваюцца розныя спосабы рэкамбінавання генаў: кан'югацыя, трансдукцыя, трансфармацыя і інш. Напрыклад, кан'югацыя

(абмен генетычным матэрыялам паміж бактэрыямі) дазволіла стварыць штамы, здольныя утылізаваць вуглявадароды нафты.

Часта звяртаюцца да трансдукцыі (перанос гена з адной бактэрыі ў другую з дапамогай бактэрыяфагаў) і трансфармацыі (перанос ДНК, ізаляванай з адных клетак, у другія клеткі).

Нягледзячы на тое, што верагоднасць узнікнення мутацый у мікраарганізмаў ніжэйшая, чым ва ўсіх іншых арганізмаў, імавернасць вылучэння мутацый на даным гене ў бактэрыі значна вышэйшая, паколькі атрымаць шматмільённае патомства ў мікраарганізмаў можна даволі хутка.

Для выяўлення мутацый служаць *селекцыйныя* асяроддзі, на якіх здольныя расці мутанты, але гінуць бацькоўскія клеткі дзікага тыпу.

Важным падыходам у селекцыйнай рабоце з мікраарганізмамі з'яўляецца атрыманне рэкамбінантаў шляхам зліцця пратапластаў або гібрыдызацыі розных штамаў бактэрыі.

Дасягненні сучаснай селекцыі. За апошнія 100 гадоў намаганнямі селекцыянераў ураджайнасць зерневых культур была павышана амаль у 10 разоў. Сёння ў шэрагу краін атрымліваюць рэкордныя ўраджайны рысу (100 ц/га), пшаніцы, кукурузы і інш.

Вялікія поспехі дасягнуты і селекцыянерамі Беларусі. Выкарыстанне найноўшых дасягненняў у галіне генетыкі і біятэхналогіі дазволіла вучоным Інстытута земляробства і селекцыі НАН Беларусі значна скараціць селекцыйны працэс і паскорыць стварэнне новых сартоў.

За 10 гадоў колькасць раяніраваных сартоў павялічылася ў 3 разы. Толькі за перыяд 2001—2005 гг. перададзена для выпрабавання 122 сарты, уключаны ў Дзяржрэестр 56 сартоў зерневых, зернебабовых, тэхнічных і кармавых культур. Беларускія сарты высока цэняцца не толькі на радзіме, дзе яны займаюць звыш 75 % ворнай зямлі, але і ў іншых краінах. Больш за 70 распрацаваных у інстытуце сартоў дапушчаны да выкарыстання ў 35 абласцях і краях Расіі, а таксама ва Украіне, Літве, Латвіі, Германіі, выпрабавваюцца ў Малдове, Кыргызстане, Канадзе.

Вучонымі навукова-даследчага інстытута бульбаводства і плодаагародніцтва П. І. Альсміка выведзены высокаўраджайныя, устойлівыя да хваробў сарты бульбы — *Тэмпа*, *Аграрнамічная*, *Агеячык*, *Зубраня*, *Беларуская ранняя*, *Ласунак*, *Арбіта*, *Беларуская-3*, *Сінтэз* і інш.

Шырокую папулярнасць у нашай краіне і за мяжой атрымалі беларускія сарты ягадных і плодовых культур (чорныя парэчкі — *Беларускія салодкія*, *Кантата*, *Памяці Вавілава*, *Кацюша*, *Партызанка*; яблыні — *Антэй*, *Беларускія малінавы*).

Дасягнуты значныя поспехі ў стварэнні новых і паляпшэнні ўжо існуючых парод жывёлы. У выніку працяглай і мэтанакіраванай селекцыйна-племянной

работы беларускімі вучонымі і практыкамі выведзены чорна-пярэсты тып буйной рагатай жывёлы, які забяспечвае ў добрых умовах кармлення і ўтрымання надоі да 6787 кг малака на год тлустасцю да 3,94 % і ўтрыманнем бялку 3,26 %.

Спецыялістамі Навукова-практычнага цэнтра НАН Беларусі па жывёлагадоўлі створаны беларуская чорна-пярэстая парода буйной рагатай жывёлы; беларуская мясная, беларуская чорна-пярэстая парода свіней і заводскія тыпы свіней буйной белай пароды. Пароды свіней вылучаюцца тым, што жывёла дасягае жывой масы 100 кг за 182—186 дзён пры сярэднесутачным прыросте на кантрольным адкорме звыш 700 г, а прылігод складае 10—12 парасят за апарос.

Працягваецца селекцыйная работа па ўзбуджэнні, павышэнні скараспеласці і працаздольнасці коней беларускай запражной групы, паліпшэнні прадуктыўнага патэнцыялу авечак па настрыву воўны, жывой масе і пладавiтасці, па стварэнні прадуктыўных ліній курэй, качак, парод карпа, развядзенні трансгенных па гене лактаферону коз і інш.

Беларускімі вучонымі інстытута распрацаваны таксама тэхналогія трансплантаты эмбрыёнаў у малочнай і мясной жывёлагадоўлі (забяспечвае атрыманне 55 цялят на 100 эмбрыяперасадак) і тэхналогія замарожвання эмбрыёнаў, якая забяспечвае павышэнне іх захаванасці і прыжывальнасці на 10 % у параўнанні з існуючай.

? 1. Што такое селекцыя? 2. Якія формы штучнага адбору вам вядомы? Ахарактарызуйце іх. 3. Якія дадатныя і адмоўныя бакі імбрыдынгу ў свойскіх жывёл? 4. Што такое гетэрозіс і якое яго практычнае значэнне? 5. Якая роля поліплаіды ў стварэнні новых сартоў раслін? 6. Для чаго прымяняецца індцыраваны мутагенез? 7. Раскажыце аб дасягненнях беларускіх селекцыянераў.

§ 56. Асноўныя напрамкі біятэхналогіі

Тэрмін «біятэхналогія» атрымаў шырокае распаўсюджанне ў нашым лексіконе параўнальна нядаўна, хоць многія тэхналогіі вытворчасці (хлебпячэнне, вінаробства, зброджванне малочных прадуктаў, апрацоўка скуры і г. д.), заснаваныя на біялагічных працэсах, існуюць з даўніх часоў.

У вытворчых адносінах асновай біятэхналогіі ў працэсе яе фарміравання стала мікрабіялагічная прамысловасць, бурнае развіццё якой звязана з адкрыццём і пачаткам вытворчасці антыбіётыкаў.

Біятэхналогія — гэта навука, якая вывучае магчымасці выкарыстання арганізмаў, біялагічных працэсаў і сістэм у вытворчасці, уключаючы ператварэнне розных відаў сыравіны ў высакаякасныя прадукты. Прымяненне біялагічных працэсаў пры распрацоўцы вытворчых тэхналогій дае падставу разглядаць біятэхналогію як галіну той або іншай вытворчасці, напрыклад сельскагаспа-

ларчая біятэхналогія, біяэнергетыка, біятэхналогія харчовай прамысловасці і г. д.

Аб'ектамі біятэхналогіі з'яўляюцца вірусы, бактэрыі, пратысты, грыбы, а таксама расліны, жывёлы або ізаляваныя клеткі і субклетачныя структуры (арганелы).

Асноўныя напрамкі біятэхналогіі:

1) вытворчасць з дапамогай мікраарганізмаў і культывуемых эўкарыятычных клетак біялагічна актыўных злучэнняў (ферментаў, вітамінаў, гармонаў), лекавых прэпаратаў (антыбіётыкаў, сываратак, высокаспецыфічных антыцел) і інш.;

2) стварэнне новых карысных штамаў мікраарганізмаў, сартоў раслін і парод жывёл;

3) распрацоўка і выкарыстанне біялагічных метадаў аховы раслін ад шкоднікаў і хвароб;

4) стварэнне і выкарыстанне біятэхналагічных метадаў аховы навакольнага асяроддзя.

Поспехі, дасягнутыя біялогіяй за апошнія дзесяцігоддзі дзякуючы хуткаму развіццю малекулярнай біялогіі і генетычнай інжынерыі, дазволілі мета-накіравана кіраваць біялагічнымі працэсамі, зрабілі магчымым канструяванне малекул ДНК, асобных клетак і цэлых арганізмаў з зададзенымі параметрамі, што прывяло да стварэння новага напрамку ў навуцы — сучаснай біятэхналогіі.

Асновай сучаснай біятэхналогіі з'яўляецца генетычная і клетачная інжынерыя ў спалучэнні з мікрабіялагічным сінтэзам і шырокім наборам метадаў біяхіміі.

Клетачная інжынерыя — гэта культываванне ў спецыяльных умовах паза арганізмам ізаляваных клетак або тканак раслін, жывёл і мікраарганізмаў, уключаючы розныя маніпуляцыі з імі (зліццё, размнажэнне і г. д.).

Асабліва паспяхова развіваецца клетачная інжынерыя раслін. Выкарыстоўваючы метады генетыкі, вучоныя адбіраюць лініі клетак раслін-прадцэнтаў каштоўных рэчываў, якія здольны расці на простых пажыўных асяроддзях, сінтэзуючы пры гэтым неабходнае рэчыва ў колькасцях, перавышаючых яго сінтэз у самой расліне. Культываванне масы такіх клетак ужо выкарыстоўваецца ў прамысловых маштабах для атрымання фізіялагічна актыўных злучэнняў. Напрыклад, наладжана вытворчасць біямасы *жэньшэню* для патрэб медыцынскай і парфумернай прамысловасці.

Другі важны напрамак клетачнай інжынерыі — кланальнае мікраразмнажэнне раслін на аснове **культуры тканак**. Гэта стала магчымым дзякуючы здоль-

наслі раслінных клетак у выніку рэгенерацыі фарміраваць цэлую расліну з адной клеткі.

Культуру раслінных тканак выгадна выкарыстоўваць для хуткага размнажэння раслін, якія павольна растуць, — *алеінай пальмы, персіка* і інш. Так, пры звычайным развядзенні куст *маліны* можа даць не больш за 50 парасткаў за год, у той час як з дапамогай культуры тканак можна атрымаць больш чым 50 тыс. раслін.

Метады клетачнай інжынерыі дазваляюць значна паскорыць селекцыйны працэс пры вывядзенні новых сартоў збожжавых злакаў і іншых важных сельскагаспадарчых культур: тэрмін іх атрымання скарачаецца да 3—4 гадоў (замест 10—12 гадоў).

Перспектыўным спосабам вывядзення новых сартоў каштоўных сельскагаспадарчых культур з'яўляецца прымяненне нетрадыцыйных метадаў клетачнай інжынерыі, такіх, як саматычная гібрыдызацыя, гаплаідыя, клетачная селекцыя, пераадоленне нескрыжавальнасці ў культуры і інш.

Саматычная гібрыдызацыя — гэта зліццё дзвюх розных клетак у культуры тканак. Злівацца могуць розныя віды клетак аднаго арганізма і клеткі розных, часам вельмі далёкіх відаў, напрыклад мышы і паўка, кошкі і сабакі, чалавека і мышы.

Культываванне клетак раслін стала магчымым, калі навучыліся з дапамогай ферментаў пазбаўляцца ад тоўстай клетачнай сценкі і атрымліваць ізаліяваны пратапласт. Пратапласты можна культываваць гэтак жа, як і клеткі жывёл, забяспечваць іх зліццём з пратапластамі іншых відаў і атрымліваць новыя гібрыдныя расліны.

Важны напрамак клетачнай інжынерыі звязаны з раннімі стадыямі эмбрыягенезу. Напрыклад, апладненне яйцаклетак у прабірцы ўжо цяпер дазваляе пераадольваць некаторыя распаўсюджаныя формы бесплоднасці ў чалавека. У сельскагаспадарчых жывёл з дапамогай ін'екцыі гармонаў удаецца атрымаць ад адной каровы-рэкардысткі дзесяткі яйцаклетак, апладніць іх у прабірцы спермай пародзістага быка, а затым імплантаваць у матку іншых кароў і такім шляхам атрымаць ад аднаго каштоўнага экзэмпляра ў 10 разоў больш патомства, чым гэта было б магчыма звычайным шляхам.

Генная інжынерыя — гэта раздзел малекулярнай біялогіі, звязаны з мэтанакіраваным стварэннем малекул ДНК, здольных рэпліцыравацца ў клетцы-гаспадары і ажыццяўляць кантроль за сінтэзам неабходных рэчываў.

У кола інтарэсаў генетычнай інжынерыі ўваходзяць пытанні расшыфроўкі структуры генаў, сінтэзу рэкамбінантнай ДНК, кланіравання, пераносу генетыч-

нага матэрыялу ў рэцыпіентныя клеткі (трансгенез), культывавання клетак, вывучэння новых прыкмет у трансгенных арганізмаў.

Расліны і жывёлы, геном якіх зменены шляхам гена-інжынерных аперацый, атрымалі назву **трансгенных раслін і трансгенных жывёл**.

Ужо атрыманы трансгенныя мышы, трусy, свінні, козы, у геноме якіх працуюць чужародныя гены рознага паходжання, у тым ліку гены бактэрый, грыбоў, млекакормячых, чалавека. Ёсць трансгенныя расліны, на базе якіх створаны сарты або формы розных сельскагаспадарчых культур, якія немагчыма было атрымаць традыцыйнымі метадамі селекцыі. Напрыклад, выведзены сарты *бульбы*, устойлівай да каларадскага жука (лісты выпрацоўваюць бялок, ядавіты для жукоў), расліны, здольныя ахоўваць сябе ад такіх цяжкіх металаў і нафтапрадуктаў і нават ачышчаць ад гэтых рэчываў глебу.

На сённяшні дзень метады генетычнай інжынерыі дазволілі ажыццявіць сінтэз у прамысловых маштабах такіх гармонаў, як інсулін, інтэрферон і самататрапін (гармон росту), неабходных для лячэння цукровага дыябету, некаторых відаў анкалагічных захворванняў і карлікавасці адліведна.

У біятэхналогіі, генетычнай і клетачнай інжынерыі шматбагатыя перспектывы. Укараненне неабходных генаў у клеткі раслін, жывёл і чалавека дазволіць паступова пазбавіцца ад многіх спадчынных хвароб чалавека, прымусіць клеткі сінтэзаваць неабходныя лякарствы і біялагічна актыўныя злучэнні, а затым — бялкі і незаменныя амінакіслоты, неабходныя арганізму чалавека і звычайна атрымліваемыя з ежы.

Выкарыстоўваючы метады, ужо засвоеныя прыродай, біятэхналогіі працуюць над стварэннем новых крыніц энергіі. **Прымяненне біяпаліва** з'яўляецца эканамічна і экалагічна апраўданым, паколькі дазваляе ў перспектыве скараціць выкарыстанне неўзнаўляльных крыніц энергіі (нафта, газ, вугаль), пры спалванні якіх да таго ж забруджваецца навакольнае асяроддзе.

- ? 1. Што такое біятэхналогія? 2. Якія асноўныя напрамкі біятэхналогіі? 3. Раскажыце аб метадах генетычнай і клетачнай інжынерыі. Якія вынікі атрыманы пры іх прымяненні? 4. Якія перспектывы адкрываюцца ў селекцыі ў сувязі з прымяненнем метадаў генетычнай і клетачнай інжынерыі?

§ 57. Інструменти генетычнай інжынерыі

Ферменты разрэзання і шывання фрагментаў ДНК. Для таго каб штучным шляхам надзяліць арганізм новымі спадчыннымі ўласцівасцямі (стварыць трансгенную асобіну), неабходна ўвесці ў яго хоць бы адзін чужародны ген. Прычым неабходна падрыхтаваць (сканструяваць) фрагмент чужароднай ДНК, які ўтрымлівае гэты неабходны ген. Ажыццяўляецца гэта працэдура з дапамогай дзвюх аперацый: «разрэзання» і «шывання». Ролю кравецкіх інструментаў адыгрываюць ферменты рэстрыктазы і лігазы.

Рэстрыктазы (своеасаблівыя малекулярныя нажніцы), дзейнічаючы на двухланцужковую ДНК, «пазнаюць» у ёй пэўную паслядоўнасць нуклеатыдаў. Прычым кожная рэстрыктаза пазнае толькі сваю паслядоўнасць ДНК, прымацоўваюцца да яе і разрэзвае ў месцы прымацавання. Рэстрыктазам усё роўна, якую ДНК разразаць — чалавека або расліны, бактэрыі або віруса, былі б толькі ў ёй распазнавальныя ўчасткі.

Звычайна рэстрыктазы распазнаюць у малекулах ДНК вельмі кароткія, але строга спецыфічныя для кожнага ферменту ўчасткі (п а л і н д р о м ы) даўжынёй на 4—6 пар нуклеатыдаў. Іх асаблівасцю з'яўляецца тое, што верхні і ніжні ланцугі распазнавальных участкаў чытаюцца злева направа і справа налева аднолькава. Рэстрыктазы разрэзваюць абодва ланцужкі ДНК пасярэдзіне гэтых участкаў або з некаторым зрушэннем. У першым выпадку ўтвараюцца абрыўкі з роўнымі (тупымі) канцамі, а ў другім — бакі разрэзваемых ланцужкоў ДНК заходзяць адзін за другі. Такія адналанцужковыя канцы называюцца «ліпкімі», паколькі яны могуць як бы зліпацца паміж сабой з прычыны камплементарнасці.

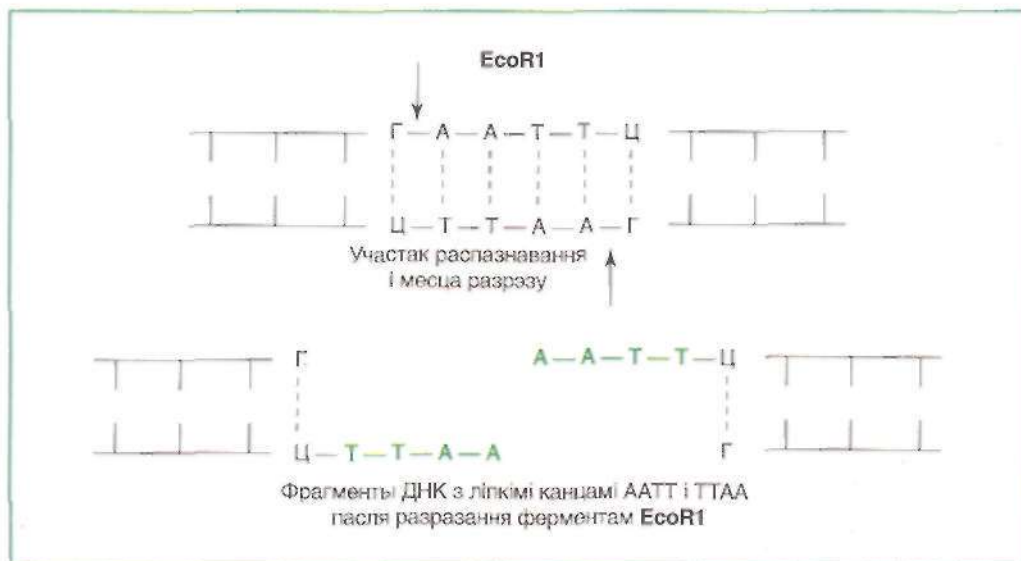
Яскравым прыкладам рэстрыктазы другога тыпу з'яўляецца **EcoR1**, якая пазнае фрагмент ДНК з шасці пар нуклеатыдаў

$$\begin{array}{c} \text{GAATTC} \\ \text{CTTAAG} \end{array}$$

і рэжа гэту паслядоўнасць ДНК асіметрычна, «прыступкай» паміж нуклеатыдамі Г і А (мал. 123).

У выніку месца разрэзу ў адным ланцужку зрушана адносна другога на 4 пары асноў. Пры такім разрэзе ўтвараюцца два выступаючыя канцы. Яны прыцягваюцца адзін да аднаго, каб аднавіць старыя сувязі і змацавацца вадароднымі моесцікамі.

Калі з выкарыстаннем той жа **EcoR1** атрымаць фрагменты ДНК з розных арганізмаў (дапусцім, слана і жабы), то ўсе яны будуць мець аднолькавыя «ліпкія канцы», якія падыходзяць адзін да другога. Змацаваць выступаючыя ліпкія канцы дзвюх малекул ДНК дапамагае іншы фермент — **ДНК-лігаза**. Ён лігіруе, гэта значыць «шывае» паміж сабой цукрафасфатныя каркасы двух фрагментаў з утварэннем поўнай структуры двайной спіралі ДНК. Знешне яна нічым не адрозніваецца ад звычайнай ДНК.



Мал. 123. Схема дзеяння ферменту рэстрыктазы **EcoRI** на двухланцужковую малекулу ДНК

У якасці прыкладу прывядзём паслядоўнасці двух фрагментаў ДНК, вылучаных з арганізмаў розных відаў:

1) АГЦАТАЦГГГТААТЦАЦАЦ
ЦЦГТАГТАЦАЦГТААГГГТ

2) АТГААТЦЦГТАГЦАТАЦ
ТАЦГТААГААТЦТАГГ

Калі мы хочам атрымаць гібрыдную малекулу ДНК, то на першым этапе неабходна разрэзаць прадстаўленыя фрагменты ДНК розных відаў з дапамогай падыходзячых рэстрыкцыйных ферментаў. У гэтым выпадку можна выкарыстаць рэстрыктазу **EcoRI**, якая расчэпіць ДНК двух відаў на чатыры новыя фрагменты 1а, 1б і 2а, 2б з ліпкімі канцамі ААТТ і ТТАА:

1а) АГЦАТАЦГГГ
ЦЦГТАГТАЦАЦГТАА

1б) ААТЦАЦАЦ
ГГГГ

2а) АТГ
ТАЦГТАА

2б) ААТЦЦГТАГЦАТАЦ
ГААТЦТАГГ

У ходзе другога этапу неабходна злучыць патрэбныя нам фрагменты розных відаў, дапусцім, 1а і 2б. У выніку выступаючыя ліпкія концы змацоўцца паміж сабой, як ім і належыць, вадароднымі сувязямі з прычыны камплементарнасці:

АГЦАТАЦГГГ А-А-Т-Т-ЦЦГТАГЦАТАЦ
ЦЦГТАГТАЦАЦ-Т-Т-А-А ГААТЦТАГГ

Канчатковае змацаванне фрагментаў 1а і 2б двох малекул ДНК праводзіць фермент ДНК-лігаза, якая «сшывае» паміж сабой цукрафасфатныя каркасы абодвух фрагментаў паміж нуклеатыдамі Г і А з утварэннем поўнай структуры ДНК. Такім чынам, атрыманне міжвідаввой гібрыднай малекулы ДНК завершана.

Цяпер у арсенале генетычных інжынераў ёсць звыш 500 розных рэстрыктаз, здольных разрэзаць ДНК прыкладна ў 120 розных месцах.

Вектары — устройства для дастаўкі і кланіравання чужародных генаў. Шляхам сшывання розных фрагментаў ДНК у прабірцы (па-за арганізм) з дапамогай ферментаў **рэстрыктаз** і **лігаз** даследчыкі навучыліся канструяваць разнастайныя па сваіх састаўных частках гібрыдныя ДНК.

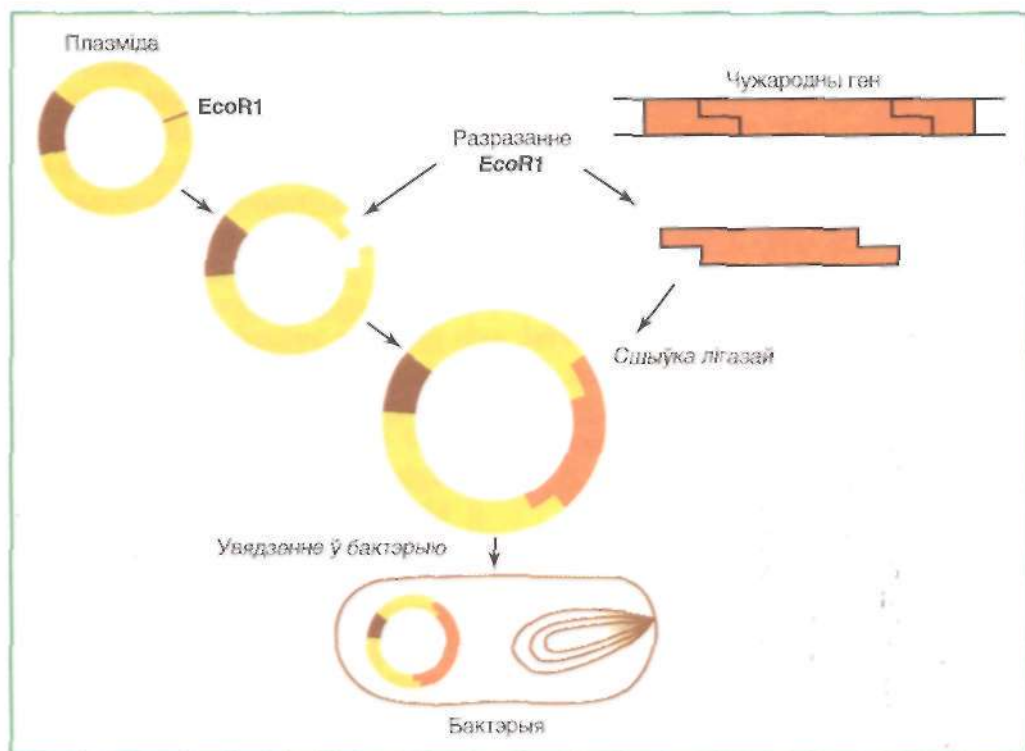
Але як атрыманым фрагментам ДНК, якія нясуць каштоўныя гены, трапіць у клетку і пачаць там «працаваць» — вырабляць бялкі?

Для дастаўкі чужародных генаў у розныя арганізмы вучоныя пачалі прымяняць спецыяльныя ўстройства, так званыя вектары. **Вектар** — гэта малекула ДНК, здольная самастойна рэпліцыравацца (самаўзнаўляцца) у клетках розных арганізмаў і забяспечваць размнажэнне (кланіраванне) і работу (экспрэсію) якога-небудзь штучна ўбудаванага ў яе гена.

Ідэальнымі вектарнымі малекуламі, створанымі самой прыродай, аказаліся **плазміды**, якія ўяўляюць сабой невялікія кальцавыя малекулы ДНК, што самастойна існуюць у цытаплазме бактэрый. Плазміды здольныя да аўтаномнай рэплікацыі, валодаюць генамі ўстойлівасці да розных антыбіётыкаў, што дазваляе лёгка выявіць іх прысутнасць у клетках. Плазміды могуць укараняцца ў храмасому клеткі гаспадара, а таксама маюць участкі ДНК (сайты рэстрыкцыі) для дзеяння шэрага ферментаў рэстрыктаз. Першым паспяховым вектарам, які пачалі выкарыстоўваць у генетычнай інжынерыі, стала кальцавая плазмідка **pSC101**. Яна нясе толькі адзін участак расшчаплення рэстрыктазай **EcoRI**. Пад дзеяннем гэтага ферменту плазмідка з кальцавой ператвараецца ў лінейную. Канцы лінейнай малекулы могуць «зліпацца» паміж сабой або з любымі фрагментамі іншай ДНК, атрыманымі пад дзеяннем той жа рэстрыктазы. Этапы ўвядзення фрагмента чужароднай ДНК у працейшы плазмідны вектар **pSC101** з дапамогай рэстрыктазы **EcoRI** і наступнае ўкараненне рэкамбінантнай плазміды ў бактэрыю *кішэчная палачка* (*E. coli*) для кланіравання (размнажэння) неабходнага рэкамбінантнага гена схематычна паказаны на малюнку 124.

Акрамя плазмід, у якасці вектараў пачалі паспяхова выкарыстоўваць **фагі** і **вірусы**. Пазней былі створаны **касміды** — спецыяльны тып вектараў, якія спалучаюць уласцівасці плазміды і фага.

Такім чынам, паслядоўна была створана асноўная трыяда элементаў тэхнікі генетычнай інжынерыі: 1) вылучэнне генаў; 2) «сшыванне» іх з вектарам; 3) дастаўка гібрыднай структуры (канструкцыі) у канкрэтны арганізм, дзе яна змога размнажацца і наследавацца ў патамстве.



Мал. 124. Увядзенне фрагмента рэкамбінантнай малекулы ДНК у плазмідны вектар рSC101 з дапамогай рэстрыктазы *EcoRI*

- ? 1. Што такое рэстрыктазы? Якую функцыю яны выконваюць? 2. Чым адрозніваюцца разрэзаныя фрагменты ДНК з ліпкімі і тупымі канцамі? 3. Якія ферменты лігіруюць (сшываюць) фрагменты ДНК з утварэннем поўнай двухланцужковай структуры? 4. Што такое вектары? Якія тыпы вектараў вам вядомыя?

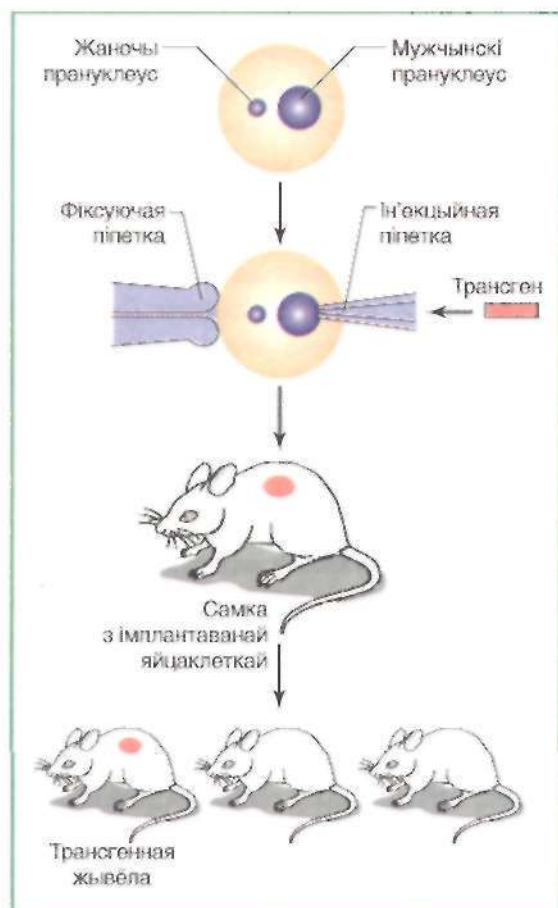
§ 58. Пospехі і дасягненні генетичнай інженерії

Метады атрымання трансгенных арганізмаў. Як ужо адзначалася, расліны і жывёлы, якія нясуць у сваім геноме рэкамбінантны (чужародны) ген, прыняты называць трансгеннымі, а ген, інтэграваны ў геном рэцыпіента, — **трансгенам**. Прадукт гэтага гена (бялок) з'яўляецца трансгенным. Дзякуючы пераносу генаў трансгенныя жывёлы набываюць новыя якасці.

Метад мікраін'екцыі ДНК у аплодненыя яйцаклеткі з 1982 г. да цяперашняга часу застаецца найбольш папулярным у даследчыкаў, занятых атрыманням трансгенных жывёл. І гэта нягледзячы на тое, што ён патрабуе высокай

кваліфікації і дарагога абсталявання. Сутнасць гэтага метаду заключаецца ў наступным: трансгенную канструкцыю ін'ектуюць у мужчыньскі прануклеус аплодненай яйцаклеткі. Далей яйцаклеткі імплантуюць у сурогатную маці, якая нараджае трансгенных дзіцянят. Этапы атрымання трансгенных мышэй, якія нясуць чужародную ДНК у кожным клетачным ядры, прадстаўлены на малюнку 125. Усё пачынаецца з увядзення фрагмента ДНК, які ўтрымлівае некалькі копій неабходнага гена, у прануклеус аплодненай яйцаклеткі мышы з дапамогай мікрапіпеткі.

У апошнія гады пры стварэнні трансгенных жывёл выкарыстоўваюць таксама эмбрыянальныя стваловыя клеткі, якія бяруць з эмбрыёна на самых ранніх стадыях развіцця (з бластацысты, што складаецца прыблізна са 150 клетак). Гэтыя клеткі могуць дыферэнцыравацца ў любы тып клетак мнагаклетачнага арганізма.



Мал. 125. Атрыманне трансгенных мышэй метадам мікраін'екцыі ДНК

Эмбрыянальныя стваловыя клеткі можна культываваць у штучных умовах на працягу доўгага часу і ўводзіць у іх мэжавыя трансгены з дапамогай вірусных вектараў. Пасля чаго клеткі з убудаванымі чужароднымі генамі можна ўводзіць у іншыя эмбрыёны на стадыі бластацысты для атрымання трансгенных жывёл.

Атрыманне трансгенных жывёл з неабходнымі прыкметамі. Адна з найважнейшых задач сучаснай біятэхналогіі — вывядзенне трансгенных жывёл з палепшанай прадуктыўнасцю, устойлівасцю да хвароб, а таксама стварэнне так званых **жывёл-біярэактараў** — прадукцэнтаў каштоўных біялагічна актыўных рэчываў. Асаблівую цікавасць мае ген, які кадыруе гармон росту.

Першыя трансгенныя *мышы* з убудаваным генам гармона ро-

сту былі атрыманы ў 1982 г. У іх адзначалася павелічэнне хуткасці росту і паскарэнне набору жывой масы.

Уражальныя вынікі атрыманы былі і на *еўрапейскім ласосі*. Асобіны ласоса з убудаваным генам гармона росту былі на 20 % буйнейшымі за звычайныя і ў 2 разы хутчэй дасягалі таварнай масы. Асноўныя этапы атрымання трансгенных ласосаў паказаны на малюнку 126.

Даволі часта для вытворчасці гена-інжынерных медыцынскіх прэпаратаў выкарыстоўваюць культуру клетак жывёл. На гэтай аснове распрацавана вытворчасць так званага **фактара VIII** згусальнасці крыві чалавека. Гэта дазволіла паспяхова праводзіць лячэнне хворых гемафіліяй. Раней бялок фактара VIII вылучалі толькі з крыві донараў, што было звязана з рызыкай заражэння пацыентаў гепатытам і іншымі віруснымі інфекцыямі.

Трансгенныя жывёлы як прадукцыі каштоўных біялагічна актыўных бялкоў і гармонаў маюць шэраг пераваг перад мікраарганізмамі і клетачнымі сістэмамі. Асноўная перавага заключаецца ў немагчымасці функцыянавання генаў эўкарыёт у пракарыятычных клетках. Акрамя таго, такія жывёлы лёгка размнажаюцца, утрыманне іх адносна недрэагае, што робіць трансгенных жывёл добрымі прадукцыямі разнастайных бялкоў з прымальным коштам.

Важна, што новыя бялкі, якія атрымліваюць у лініях клетак трансгенных жывёл, могуць быць мадыфікаваныя тым або іншым чынам.



Мал. 126. Схема атрымання трансгенных ласосаў з убудаваным генам гармону росту

У апошнія гады паспяхова пачаў працаваць сумесны беларуска-расійскі гена-інжынерны праект па вытворчасці двух лекавых прэпаратаў на аснове выкарыстання малака трансгенных коз, у геном якіх убудаваныя адпаведныя гены. Напрыклад, ген, што кадыруе бялок груднога малака лактаферын, які з'яўляецца асноўным антыбактэрыяльным і супрацьзапаленчым кампанентам жаночага малака. Кошт гэтага прэпарата на рынку перавышае 3 тыс. долараў за 1 г. Прымяненне лактаферыну дазваляе ў 10 разоў знізіць захворванне грудных дзяцей гастрэнтэрытамі.

Прауракіназа — тромбалітычны фермент, прымяненне якога адразу пасля інфаркту ў 5 разоў зніжае смертнасць. Нягледзячы на моцны лячэбны эфект, гэты прэпарат маладаступны для насельніцтва, наколькі кошт аднаго курсу лячэння перавышае тысячы долараў. У той жа час толькі ў Беларусі і Расіі ў такім лячэнні маюць патрэбу амаль паўмільёна кардыялагічна хворых. Выкарыстанне трансгенных жывёл знізіць кошт гэтых прэпаратаў у 10—20 разоў, што дазволіць перавесці названыя лекі ў шэраг агульнадаступных.

Генетычная тэрапія. Хуткаму развіццю генетычнай тэрапіі спрыялі вынікі, атрыманыя ў ходзе ажыццяўлення міжнароднага праекта «Геном чалавека». Чакаецца, што ў бліжэйшыя гады даследчыкі вызначыць усе функцыі генаў і будучы паспяхова выкарыстоўваць атрыманыя даныя з тэрапеўтычнымі мэтамі для лячэння і прадухілення спадчынных хваробаў.

Генетычную тэрапію на сучасным этапе можна вызначыць як лячэнне спадчынных захворванняў шляхам увядзення генаў у клеткі пацыентаў з мэтай накіраванага змянення генных дэфектаў або надання клеткам новых функцый.

Першым спадчынным захворваннем, адносна якога былі прыменены метады генетычнай тэрапіі, аказаўся спадчыны імунадэфіцыт, абумоўлены мутацыяй у гене адэназіндэзаміназы (ADA). 14 верасня 1990 г. чатырохгадовай дзяўчыцы Ашлі Дз-Сільва, якая мела гэты захворванне, былі перасаджаны яе ўласныя Т-лімфацыты, папярэдне трансфармаваныя па-за арганізмам генам ADA пры дапамозе вектара. Пасля лячэння 25—30 % Т-лімфацытаў дзяўчычкі ўзровень ферменту адэназіндэзаміназы стаў нармальным, і цяпер яна здаровая. У цяперашні час генетычная тэрапія гэтага захворвання праводзіцца ў Італіі, Францыі, Вялікабрытаніі і Японіі.

Вырашальнай умовай паспяховай генатэрапіі з'яўляецца забеспячэнне эфектыўнай дастаўкі чужароднага гена ў **клеткі-мэшэні**, а таксама стварэнне ўмоў для паўнацэннай работы гена. У якасці клетак-мішэней часцей за ўсё выкарыстоўваюцца лімфацыты, клеткі касцявога мозга, пухлін, печані, лёгкіх, сэрца, шкідных м'ясаў і інш.

У цяперашні час паспяхова прымяняецца ўвядзенне вектарнай канструкцыі, якая нясе ген фактара VIII згусальнасці крыві хворым на гемафілію А. Вынікі клінічных даследаванняў сведчаць, што такое лячэнне прадухіляе ўзнікненне крывацёкаў і пацыенты звыш года не маюць неабходнасці ў ін'екцыях фактара. Цяпер на правядзенне курсаў замасціцельнай тэрапіі для аднаго хворага затрачваецца 100 тыс. долараў на год. Лічыцца, што новы метады дазволіць пацыентам абыходзіцца без дарагіх ін'екцый 5—10 гадоў.

З пункту погляду генетычнай тэрапіі самымі простымі захворваннямі з'яўляюцца **манагенныя**, якія патрабуюць работы з адным генам. Ёсць дадзеныя аб распрацоўцы эксперыментальных падыходаў і правядзенні клінічных выпрабаванняў метадаў генетычнай тэрапіі амаль 30 манагенных захворванняў чалавека.

Больш складанымі з'яўляюцца даследаванні ў напрамку шэрагу набытых захворванняў, развіццё якіх абумоўлена комплексным узасмадзейненнем генаў з фактарамі навакольнага асяроддзя — дыябету, астэапарозу, рэўматоіднага артыту, анкалагічных захворванняў. Вынікі першых клінічных выпрабаванняў гэтых падходаў аказаліся ў найвышэйшай ступені абнадзейвальнымі, асабліва пры лячэнні нейрадэгенератыўных і анказахворванняў першай сістэмы.

- ? 1. Якія арганізмы называюцца трансгеннымі? 2. Дайце характарыстыку метаду мікраін'екцыі ДНК. 3. Прывядзіце прыклады выкарыстання метаду генетычнай інжынерыі ў жывёлагадоўлі. 4. Што такое генетычная тэрапія?

§ 59. Дасягненні генетычнай інжынерыі ў раслінаводстве. Генетычная інжынерыя і біябяспека

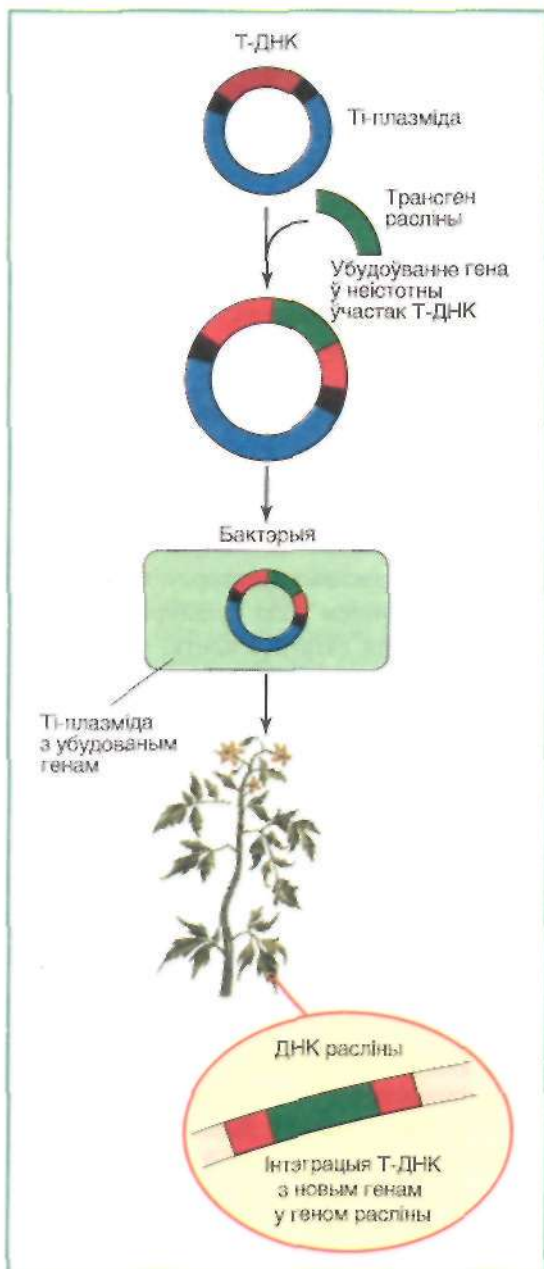
Прымяненне метаду генетычнай інжынерыі для палепшэння гаспадарчых уласцівасцей раслін. Праблемы вырошчвання сельскагаспадарчых раслін звязаны з павышэннем іх устойлівасці да стрэсавых фактараў, фітапатагенаў, гербіцыдаў і пестыцыдаў, а таксама з расшырэннем кола культурных раслін, здольных да сімбіятычнай фіксацыі азоту і г. д. Для гэтага ў клеткі раслін уведзяцца неабходныя гены, перанесеныя не толькі ад іншых раслін, але і ад мікраарганізмаў і нават ад жывёл.

Натуральнымі вектарамі, здольнымі ажыццяўляць перанос чужародных генаў у расліны, з'яўляюцца **Ті-плазміды**, якія жывуць у цытаплазме глебавай аграбактэрыі (*Agrobacterium tumefaciens*) (мал. 127, с. 226).

Сёння генетычная біятэхналогія асвойвае новыя рубяжы. У цяперашні час ужо атрыманы трансгенныя формы *таматаў* (звыш 260), *сой* (звыш 200), *бавоўніку* (звыш 150), *гарбузовых раслін* (звыш 80), *тытуню* (звыш 80), а таксама *пшаніцы*, *рысу*, *сланечніку*, *агуркоў*, *салаты*, *яблынь* і інш. Большасць створаных трансгенных раслін (або раслін першага пакалення) утрымліваюць гены ўстойлівасці да насякомых-шкоднікаў і гербіцыдаў.

У апошні час распрацоўваецца праект увядзення ў зерневыя культуры групы генаў бактэрыі, здольных засвойваць атмасферны азот. Гэта дазволіць пазбавіцца ад неабходнасці ўносіць у глебу азотныя ўгнаенні. Аднак убудоваць у зерневыя неабходна цэлы комплекс з 17 бактэрыяльных генаў. Акрамя таго, неабходна прымусіць «працаваць» усе гэтыя гены ў чужародным для іх геоме (напрыклад, пшаніцы), што істотна ўскладняе задачу.

Адным з перспектыўных напрамкаў генетычнай інжынерыі з'яўляецца стварэнне **раслін-біярэактараў** (па аналогіі з жывёламі-біярэактарамі), здольных прадукцыраваць бялкі, неабходныя ў медыцыне, фармакалогіі і інш. Варта сцяміць



Мал. 127. Етапи увведення ДНК у рослину при допомогою Ті-плазмідного вектора

рослин-біореакторів з'являється адвасна прастата їх стварення і розміжання, высокая прадуктынасць. Акрамя таго, чужародныя бялкі не выклікаюць імунных рэакцый у раслін, чаго цяжка дабіцца ў жывёл.

Адным з найноўшых напрамкаў, у якім паспяхова выкарыстоўваюцца трансгенныя расліны, з'являється ачышчэнне глебаў і грунтовых вод ад цяжкіх металаў, радыенуклідаў і іншых забруджвальнікаў.

Генетычная інжынерыя і біябяспека. Адной з праблем, з якой сутыкнулася генетычная інжынерыя, з'являюцца насцярожаныя, а часам і негатыўныя адносіны некаторай часткі насельніцтва да трансгенных арганізмаў і прадуктаў з іх. Гэтаму спрыялі публікацыі ў сродках масавай інфармацыі, у якіх сцвярджалася, што трансгенная прадукцыя шкодная для чалавека, паколькі яна можа ўтрымліваць алергены, а самі трансгенныя арганізмы нясуць пагрозу для экалогіі і будучых пакаленняў.

Неабходна падкрэсліць, што ўжо звыш 15 гадоў у развітых краінах (ЗША, Канадзе і інш.) выкарыстоўваецца значная колькасць гена-інжынерных прадуктаў. Аднак якіх-небудзь навукова даказаных непажаданых эфектаў ад іх прымянення ўстаноўлена не было.

Яшчэ на стадыі стварення генетычна мадыфікаваных арганізмаў ажыццяўляецца строгі кантроль за

тым, каб уносімы ген не сінтэзаваў які-небудзь таксічны або алергенны кампанент. Пасля стварэння трансгеннага арганізма выпрацаваныя ім прадукты таксама вывучаюцца ў лабараторных умовах.

Акрамя таго, пры выпуску на рынак генетычна мадыфікаваныя прадукты гэтак жа, як і любыя іншыя, атрыманыя хімічным або іншым спосабам (фармакалагічныя прэпараты, стымулятары росту, цукразамяняльнікі, харчовыя фарбавальнікі, кансерванты, угнаенні і г. д.), правяраюцца спецыяльнымі службамі. Яны выпрабавваюцца на таксічнасць, канцэрагеннасць і да т. п. Таму трансгенная прадукцыя, прайшоўшы такія выпрабаванні, становіцца не больш небяспечнай, чым любая іншая. Што датычыць шкоднага ўплыву генетычна змененых арганізмаў на навакольнае асяроддзе, то тут адназначнага адказу пакуль што няма, і гэарэтычна такая праблема існуе.

Вынікі спецыяльных даследаванняў паказваюць, што экалагічную рызыку пры вырошчванні трансгенных раслін можна параўнаць з рызыкай выпрабавання новых селекцыйных сартоў. Усе злучэнні, якія з'яўляюцца ў трансгенных раслінах, як правіла, ужо існуюць у прыродзе. Ёсць пэўная рызыка пераносу генаў гербіцыдаўстойлівасці ў пустазелле ў працэсе іх выпадковага скрывавання з гербіцыдаўстойлівымі трансгеннымі раслінамі. Аднак ужо даўно вядома, што пры працяглым выкарыстанні гербіцыду такое пустазелле можа з'яўляцца і ў звычайных умовах. Акрамя таго, магчымы абмен генаў паміж сканструяванымі раслінамі і роднаснымі ім культурнымі і дзікімі відамі, што ў аддаленай будучыні можа адбіцца на стабільнасці ўзнікшых экасістэм. Сёння з-за параўнальна кароткага тэрміну выкарыстання трансгенных раслін мы не можам абсалютна дакладна прадказаць аддаленыя вынікі іх уплыву на навакольнае асяроддзе.

Каб выключыць некантраляемае выкарыстанне генетычна змененых арганізмаў, міжнародныя арганізацыі і асобныя краіны распрацавалі шэраг заканадаўчых дакументаў, накіраваных на прадукцыйнае магчымых неспрыяльных экалагічных вынікаў для навакольнага асяроддзя і здароўя чалавека ад выкарыстання гена-інжынерных біятэхналогій.

У Беларусі, як і ў большасці развітых краін, вядзецца работа па стварэнні нарматыўнай базы па бяспецы. У 2006 г. быў прыняты Закон Рэспублікі Беларусь «Аб бяспецы гена-інжынернай дзейнасці». У ім сфармуляваны асноўныя прынцыпы бяспекі ў рабоце з генетычна мадыфікаванымі арганізмамі і прадуктамі, створанымі на іх аснове. Вызначаны арганізацыйна-прававыя асновы дзяржаўнага рэгулявання, парадак дзяржаўнай экспертызы бяспекі генетычна мадыфікаваных арганізмаў, іх рэгістрацыі, выслабавення ў навакольнае асяроддзе і іншыя пытанні.

Усе гэтыя меры будуць спрыяць мінімізацыі магчымых шкодных вынікаў ад выкарыстання генна-інжынерных біятэхналогій, без якіх чалавецтва ў XXI ст. ужо ніяк не можа абысціся. Дастанкова сказаць, што даход ад выкарыстання прадуктаў малекулярна-біятэхналагічнай індустрыі за апошняе дзесяцігоддзе павялічыўся з 30 млрд да 100 млрд долараў за год.

? 1. Назавіце паспяхова і перспектыўныя прыклады прымянення метадаў генетычнай інжынерыі ў раслінаводстве. 2. Прывядзіце прыклады непажаданых эфектаў выкарыстання генетычна мадыфікаваных арганізмаў. 3. Якія меры прымаюцца для недапушчэння некантралюемага выкарыстання генетычна мадыфікаваных арганізмаў?

ЗМЕСТ

Уводзіны	3
----------------	---

Глава 1

Хімічныя кампаненты жывых арганізмаў

§ 1. Утрыманне хімічных элементаў у арганізме. Макра- і мікраэлементы	6
§ 2. Хімічныя злучэнні ў жывых арганізмах. Неарганічныя рэчывы	8
§ 3. Арганічныя рэчывы. Амінакіслоты. Бялкі	12
§ 4. Уласцівасці і функцыі бялкоў	18
§ 5. Вугляводы	24
§ 6. Ліпіды, іх будова і функцыі	29
§ 7. Нуклеінавыя кіслоты	32
§ 8. АТФ	37
§ 9. Біялагічна актыўныя рэчывы	38

Глава 2

Клетка — структурная і функцыянальная адзінка жывых арганізмаў

§ 10. Гісторыя адкрыцця клеткі. Стварэнне клетачнай тэорыі	42
§ 11. Метады вывучэння клеткі	45
§ 12. Будова клеткі	48
§ 13. Цыталазматычная мембрана	51
§ 14. Гіялаплазма. Цыташкілет	55
§ 15. Клетачны цэнтр. Рыбасомы	58
§ 16. Эндаплазматычная сетка. Комплекс Гольджы. Лізасомы	59
§ 17. Вакуолі	63
§ 18. Мітахондрый. Пластыды	65
§ 19. Ядро	70
§ 20. Асаблівасці будовы клетак пракарыёт	73
§ 21. Асаблівасці будовы клетак эўкарыёт	76
§ 22. Клетачны цыкл	79
§ 23. Мітоз. Амітоз. Простае бінарнае дзяленне	82
§ 24. Меёз і яго біялагічнае значэнне	87

Глава 3

Абмен рэчываў і пераўтварэнне энергіі ў арганізме

§ 25. Агульная характарыстыка абмену рэчываў і пераўтварэння энергіі	90
§ 26. Энергетычны абмен	92
§ 27. Браджэнне	95
§ 28. Фотасінтэз	97
§ 29. Захаванне спадчынай інфармацыі	102
§ 30. Рэалізацыя спадчынай інфармацыі — сінтэз бялку на рыбасомах	104

Глава 4

Структурная арганізацыя і рэгуляцыя функцый у жывых арганізмах

§ 31. Тыпы структурнай арганізацыі жывых арганізмаў	109
§ 32. Тканкі і органы раслін	113
§ 33. Тканкі і сістэмы органаў жывёл	118
§ 34. Рэгуляцыя жыццёвых функцый арганізма	126
§ 35. Агульная неспецыфічная ахова арганізма	132
§ 36. Спецыфічная імунная ахова арганізма	134
§ 37. Імуналагічная рэакцыя арганізма (імунны адказ)	136

Глава 5

Размнажэнне і індывідуальнае развіццё арганізмаў

§ 38. Тыпы размнажэння арганізмаў. Бясполое размнажэнне	139
§ 39. Палавое размнажэнне. Утварэнне палавых клетак	142
§ 40. Апладненне	147
§ 41. Антагенез. Эмбрыянальнае развіццё жывёл	152
§ 42. Постэмбрыянальнае развіццё	156
§ 43. Антагенез чалавека	158

Глава 6

Спадчынасць і зменлівасць арганізмаў

§ 44. Заканамернасці наследвання прыкмет, устаноўленыя Г. Мендэлем. Монагібрыднае скрыжаванне. Першы і другі законы Мендэля	163
§ 45. Цыталогічныя асновы наследвання прыкмет пры монагібрыдным скрыжаванні	168
§ 46. Дыгібрыднае скрыжаванне. Трэці закон Мендэля	171
§ 47. Узаемадзеянне алельных генаў. Множны алелізм	175
§ 48. Храмасомная тэорыя спадчынасці. Счэпленае наследванне	177
§ 49. Генетыка полу	182
§ 50. Зменлівасць арганізмаў, яе тыпы. Мадыфікацыйная зменлівасць	187
§ 51. Генатыпчная зменлівасць	191
§ 52. Асаблівасці спадчынасці і зменлівасці чалавека	197
§ 53. Спадчычныя хваробы чалавека	201

Глава 7

Селекцыя і біятэхналогія

§ 54. Селекцыя, яе задачы і асноўныя напрамкі	206
§ 55. Метады селекцыі і яе дасягненні	209
§ 56. Асноўныя напрамкі біятэхналогіі	214
§ 57. Інструменты генетычнай інжынерыі	218
§ 58. Паспехі і дасягненні генетычнай інжынерыі	221
§ 59. Дасягненні генетычнай інжынерыі ў раслінаводстве. Генетычная інжынерыя і біябяспека	225

Вучэбнае выданне

Лісаў Мікалай Дамітрыевіч
Лемяза Мікалай Аляксеевіч
Шэвярдоў Уладзімір Уладзіміравіч
Ганчарэнка Рыгор Рыгоравіч

БІЯЛОГІЯ

Вучэбны дапаможнік для 10 класа
агульнаадукацыйных устаноў
з беларускай мовай навучання
2-е выданне, перапрацаванае

Заг. рэдакцыя *В. Г. Быхціна*. Рэдактар *Л. В. Грынкевіч*. Афармленне *А. С. Хацеева*. Мастацкі рэдактар *Л. А. Дашкевіч*. Тэхнічны рэдактар *М. І. Чаплаводская*. Камп'ютэрная вёрстка *Г. В. Свірыдзенка*. Карэктары *В. С. Бабеня, Д. Р. Лосік, Т. М. Відзернікава, А. П. Ткір*.

Падпісана ў друк 26.05.2009. Фармат 70 × 90 ¹/₁₆. Папера афсетная. Гарнітура літаратурная. Афсетны друк. Умоўн. друк. арк. 16,97. Мл.-выд. арк. 16. Тыраж 24 761 экз. Заказ 56.

Выдавешкае рэспубліканскае ўнітарнае прадпрыемства «Народная асвета»
Міністэрства інфармацыі Рэспублікі Беларусь.

ЛДІ 02330/0494083 ад 03.02.2009. Пр. Пераможцаў, 11, 220004, Мінск.

Рэспубліканскае ўнітарнае прадпрыемства «Мінская фабрыка каляровага друку»,
ЛДІ № 02330/0494156 ад 03.04.2009. Вул. Каржанеўскага, 20, 220024, Мінск.