

АТРАМЕНТОВА Л. О.

Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна,
Україна, 61022, м. Харків, площа Свободи, 4, ORCID: 0000-0002-7143-9411

МЕНДЕЛІЗМ У КУРСІ БІОЛОГІЇ НОВОЇ УКРАЇНСЬКОЇ ШКОЛИ

У статті звертається увага на невідповідність викладання менделізму в курсі біології середньої школи рівня сучасної генетики. Вказується на зміщення акценту у викладанні закономірностей успадкування та спрощене розуміння менделізму шляхом зведення його до трьох законів. Причина цього вбачається у необгрунтованому наданні результатам, отриманих Менделем у генетичному експерименті, статусу законів, які без урахування сучасних наукових досягнень некритично переходять із підручника до підручника. Вказується на необхідність у новій українській школі при викладанні основ класичної генетики врахувати новітні досягнення генетики й подавати менделівські результати не як закони, а як дані генетичного експерименту, які стали підставою для зміни парадигми в розумінні явищ спадковості – переходу від ідеї зливої спадковості до теорії дискретності спадкового матеріалу. Пропонується представляти учням досягнення Менделя як один фундаментальний закон дискретності спадковості, який займає гідне місце в ряду ідей про дискретність матерії та енергії.

Ключові слова: генетика, закономірності наслідування, викладання.

«Забудьте усе, чому вас вчили в школі» – таку настанову іноді чують першокурсники від викладача на першій університетській лекції. Рекомендація, мабуть, занадто категорична, тому що студенти, які забули *все*, чому навчилися в школі, марні як об'єкти університетської освіти. Однак, деякого сенсу ця порада все ж таки не позбавлена – бувають ситуації, коли побажання забути, чому навчилися в школі, виявляється доречним. Зробити це непросто, тому що перше враження про науковий напрямок, який молоді люди отримують саме в школі, є найсильнішим і залишається на все життя, впливаючи на різні його складові. Це явище психологи називають словом імпринтинг [1].

Вражаючим прикладом освітнього імпринтингу є «три закони» Менделя, з якими знайомлять на уроках біології у старших класах середньої школи. Вони формулюються як закон однаковості гібридів першого покоління, закон розщеплення у другому поколінні та закон незалежного успадкування ознак. Взяті в лапки три закони не випадково, оскільки статусу законів насправді ці постулати не відповідають, а демонструють зміщення мислення. На запитання, що зробив Мендель, школяр найчастіше відповідає: відкрив три закони, і більш менш точно відтворює текст підручника.

До змісту шкільних підручників висловлено чимало претензій. Удосконалення шкільних підручників часто здійснюється шляхом ускладнення матеріалу, що наближує їх до рівня посібників для вищих навчальних закладів, без урахування кліпового мислення сучасних школярів.

Що стосується підручників біології, то до невдач слід віднести невдале викладання основ менделізму. Тому поруч із викладом нових фактів і блискучих теорій, основи генетики подаються у тому вигляді, як і сто років тому переходячи з підручника до підручника [2–7] у вигляді трьох законів. Нові підручники, як і належить, доповнюються останніми науковими фактами та ідеями, але трактування менделізму залишається таким як сто років тому. Можна тільки дивуватися потужності психічного імпринтингу, який діє вже понад сто років.

Носіями зміщеного розуміння менделізму є викладачі біології у галузевих вишах, які отримали ці знання у шкільному курсі біології та некритично передають його студентам без огляду на безліч нових фактів, накопичених сучасною генетикою. Виходить як у відомій репліці: три закони Менделя окремо, а сучасна генетика окремо.

Внаслідок ситуації, яка склалася, викладачі генетики класичних університетів змушені кривити душею, домовляючись не знижувати

оцінку на вступному іспиті чи на олімпіаді за неправильну відповідь, посилаючись на те, що саме така відповідь збігається з текстом шкільного підручника, але не з науковою істиною.

Чомусь так склалося, що у викладанні основ генетики ідея Менделя про дискретну природу спадкового матеріалу опинилася на другому плані, а на першому виявилися «три закони», які досі зазубрюють не лише школярі, а й студенти.

Як вчить нас філософія, закон – це загальний стійкий зв'язок предметів і явищ [8]. На момент вивчення основ генетики школярам вже відомі фундаментальні закони природи: закон всесвітнього тяжіння, закон збереження енергії тощо. Вони можуть навести приклади того, як працюють ці закони в природі, техніці та в побуті. А ось прохання навести приклад, де в природі, домашньому господарстві, городі чи на фермі можна спостерігати закони Менделя, вводять учнів у замішання. І це не дивно, тому що відомі постулати – це не закони, а *результати генетичного експерименту в штучно створених і контрольованих умовах*. Результатам генетичного експерименту, проведеного Менделем, надано статус законів. Це зробили його послідовники, отримавши подібні факти у власних експериментах.

На початку ХХ століття ознайомившись із статтею Менделя, багато біологів стали їх перевіряти й на інших об'єктах – рослинах і тваринах. Результати виходили різні, і це дало привід псевдонауковцям ввести в обіг глузливе поняття «горохові закони ченця Менделя». Сам Мендель у своїй статті «Досліди над рослинними гібридами» [9] *описав* результати генетичного експерименту, який він провів за розробленою ним методикою, не називав їх законами.

Результати, отримані Менделем у дійсності є *закономірностями передачі у ряді поколінь деяких ознак в експериментальних умовах*. Ці умови лягли в основу методології розробленого Менделем методу гібридологічного аналізу, який став фундаментом для інших методів генетичного аналізу (цитогенетичний, молекулярно-генетичний, популяційний та інші).

У гібридологічному аналізі для схрещування використовують гомозиготні (чистопородні, чистолінійні) форми організмів, які різняться за аналізованою ознакою. У такому разі перше гібридне покоління виходить фенотипово однорідним («перший закон» Менделя), і результат не залежить від напрямку схрещування.

Мендель створив штучні умови: перевіряв чистоту сортів гороху, провів цілеспрямовані реципрокні схрещування і врахував гібридне потомство.

Сучасні генетики знають, що цей «перший закон» не працює, якщо ген, який контролює аналізовану ознаку, зчеплений зі статевою хромосоною. Рівність реципрокних схрещувань не виконується, якщо ознака залежить від генів, локалізованих у мтДНК.

Відповідно до «другого закону» друге гібридне покоління фенотипово розщеплюється за однією ознакою у співвідношенні 3 : 1 або 1 : 2 : 1, яке отримало назву менделівське. Але співвідношення виходить іншим, якщо відмінності батьківських форм зумовлені не одним, а більшою кількістю генів. З цього випливає, що термін «моногенна ознака», що досить часто вживається учнями, не відображає суті, а є лише ефектом спостереження, яке свідчить, що батьківські форми розрізняються за однією парою генів з сильним ефектом.

Сучасна генетика встановила, що формування будь-якої біологічної особливості організму відбувається під дією багатьох генів, вплив кожного з яких проявляється із різною силою. Це головні гени із сильним ефектом і гени зі слабким ефектом, або гени-модифікатори. Тобто істинно моногенних ознак не існує. При відмінностях за двома, трьома та більшою кількістю генів, включених у формування ознаки, в другому гібридному поколінні розщеплення не відповідає менделівському. Не менделівський чисельний результат виходить, якщо ген зчеплений зі статевою хромосоною або локалізований у мтДНК. Причиною відхилення від чисельних менделівських співвідношень є неоднакова життєздатність носіїв різних генотипів.

Враховуючи результат генетичного експерименту за двома ознаками, Мендель виявив їхню випадкову комбінацію. Цей факт назвали «третьім законом» Менделя, або законом незалежного успадкування. Незалежне успадкування спостерігається, якщо відповідні гени локалізовані на різних хромосомах, а якщо вони розташовані на одній хромосомі, то «третьій закон» не виконується. У геномах живих істот тисячі генів, а число хромосом варіює від декількох одиниць до декількох десятків. Природно, що багато генів, отже, ознак, успадковуються зчеплено, порушуючи «третьій закон» Менделя. Ознаки, відібрані Менделем для аналізу, вияви-

лися не зчепленими, тому їхня комбінація виявилася статистично випадковою.

Істинно менделівський результат можливо отримати, якщо:

- відмінності за ознакою контролюються одним ядерним аутосомним геном,
- ознака є вродженою,
- ознака онтогенетично стабільна,
- ознака селективно нейтральна,
- ознака не модифікується під дією середовищних факторів,
- не відбуваються мутації,
- ознака не піддається генетичному імпринтингу та іншим епігенетичним ефектам,
- окремі ознаки генетично не зчеплені.

З позицій сучасної генетики неможливо не дивуватися, як вдалося Менделю серед безлічі ознак, успадкування яких не відповідає приписаним йому «законам», отримати та зрозуміти результати, які лягли в основу єдиного закону – *закону дискретності спадковості*.

Менделівські закономірності не можна спостерігати, якщо ознака контролюється цитоплазматичними генами або ядерними генами, які локалізовані в статевих хромосомах, якщо відмінності за ознакою обумовлені кількома генами, якщо альтернативні стани ознаки неоднаково адаптивні, якщо ознака змінюється впродовж онтогенезу та демонструє епігенетичні ефекти.

Вважається, що Менделю пощастило з об'єктом дослідження. Але одного лише везіння недостатньо. Мендель не отримав ідеального чисельного співвідношень, і справа, мабуть, не тільки в статистичній випадковості – можливо, що вивчені ним ознаки не є селективно нейтральними.

Варто звернути увагу школярів, що не лише Мендель проводив дослідження з гібридизації рослин, але особливість його підходу полягала в тому, що він поравував кількість і вивів співвідношення, а його попередники обмежувалися якісною оцінкою результатів. Мендель був математиком і діяв як математик. Співвідношення виявилися простими, і він побачив у цьому комбінацію пари спадкових чинників, згодом названих генами. Він не формулював «три закони», це зробили його послідовники, які через 35 років на рослинах отримали схожі результати. У своїй статті 1866 року Мендель докладно, як належить науковцю, описав результати, а послідовники поспішили назвати ці результати законами. За цими «законами», як за

деревами, більшість учнів не бачать лісу – єдиного закону Менделя, для формулювання якого потрібні лише два слова – *спадковість дискретна*. Менделізм це теорія дискретної спадковості. Менделем було здійснено інтелектуальний прорив, що означало виникнення нової науки – генетики.

При викладанні основ класичної генетики у середній школі, діє інерція мислення, через яку, незважаючи на досягнення сучасної генетики, не бачать єдиного величного закону Менделя – закон дискретності (квантованості) спадковості.

Щоб учні змогли оцінити значення робіт Менделя, слід розповісти їм, які ставлення до спадковості панували раніше, в догенетичну епоху. Впродовж тривалого часу розводячи тварин, вирощуючи рослини, люди проводили схрещування, вели відбір, вивівши породи тварин і сорти рослин. Було помічено, що за сукупністю ознак нащадки нагадують обох батьків, будучи чимось середнім. Замислюючись про природу подібності батьків і нащадків, вчені пропонували теорії, які, незважаючи на їхню різноманітність, сходилися в головному: спадковість у них представлялася чимось на кшталт рідини. Всі теорії об'єднувалася ідеєю зливої спадковості. Нині ці теорії становлять інтерес лише як набір фантазій, заснованих на ілюзіях.

Відповідно до ідеї зливої спадковості спадковий матеріал батьків об'єднується у нащадків, змішуючись як дві рідини в різних пропорціях і в наступних поколіннях на похідні «чисті» стани розшаруватися не може. Такі уявлення про спадковість у цілому не суперечили сільськогосподарській практиці і, бажаючи отримати нову форму рослин або тварин, розвідники знали, яких батьків слід підібрати, щоб отримати потомство з бажаним набором ознак.

Недоліком цієї теорії було те, що вона не пояснювала, чому траплялося, що нащадки не схожі на батьків. А найслабшим місцем цієї теорії була її неможливість пояснити, чому рідкісні мутантні ознаки стабільно успадковуються у ряді поколінь, а не послаблюються і не розчиняються у ряду поколінь. Доцільно пояснити учням, що теорія зливої спадковості перешкоджала прийняттю дарвінівської теорії еволюції. Згідно з Дарвіном, еволюція відбувається завдяки тому, що в організмів випадково з'являються нові ознаки, що підхоплюються відбором. Противники теорії еволюції як контраргумент наводили уможлидний доказ про неможливість ево-

люції на тій підставі, що нова ознака, яка спонтанно виникла у якоїсь особини, повинна неминує розчинитися у потомстві, оскільки її носій схрещується з особинами, які такої ознаки не мають.

Дослідження Менделя здійснили переворот в уявленні про природу спадкової речовини. Це була відмова від теорії злитості (безперервної) спадковості та прийняття ідеї дискретної (переривчастої, або квантової) спадковості. Ось чому зводили велике відкриття Менделя до трьох окремих закономірностей, які проявляються на невеликій кількості ознак в умовах експерименту, означає применшувати його вчення.

З усвідомлення ідеї дискретної природи спадковості почалася історія генетики. Для фо-

рмулювання ЗАКОНУ Менделя достатньо двох слів: *спадковість дискретна*. До речі, чим величніший закон, тим менше слів потрібно, щоб його висловити. Наприклад, закон про зв'язок між енергією і масою формулюється за допомогою лише п'яти символів: $E = mc^2$. Закон Менделя продовжує низку фундаментальних наукових ідей: дискретність матерії, дискретність енергії, дискретність спадковості.

Про все це варто розповісти учням нової української школи, тоді університетські викладачі не матимуть підстав на вступній лекції з генетики казати студентам першу фразу з цієї статті.

References

1. Vary M. Y. General psychology. Kyiv : Center of Educational Literature, 2009. 1007 p
2. Golynska E. L. Fundamentals of genetics. Kyiv : Kyiv edition. University, 1968. 330 p. [in Ukrainian]
3. Pomogaibo V. M., Petrushov A. V. Human genetics. Kyiv : Academy, 2014. 280 p.
4. Lyshenko I. D. Genetics with the basics of selection. Kyiv : Vyshcha Shkola, 1994. 416 p. [in Ukrainian]
5. Totskyi V. M. Genetics. Odesa : Astroprint, 2008. 712 p. [in Ukrainian]
6. Prykhodko A. B., Emets T. Y., Pavlychenko V. I. et al. Biology with the basics of genetics. Zaporizhzhia : ZDMU, 2016. 145 p. [in Ukrainian]
7. Syvolob A. V., Rushkovskiy S. R., Kiryachenko S. S. et al. Genetics. Kyiv : University Publishing and Printing Center, 2008. 320 p. [in Ukrainian]
8. Shinkaruk V. I. Philosophical encyclopedic dictionary. Kyiv : Abrys, 2002. 742 p. [in Ukrainian]
9. Mendel G. Versuche über Pflanzen-Hybriden. *Verhandlungen des naturforschenden Vereines in Brünn*. 1866. Bd. IV. P. 3–47. [in German]

ATRAMENTOVA L. O.

V. N. Karazin Kharkiv National University,
Ukraine, 61022, Kharkiv, Svoboda square, 4

MENDELISM IN THE COURSE OF BIOLOGY OF THE NEW UKRAINIAN SCHOOL

The article draws attention to the discrepancy between the teaching of Mendelism in the secondary school biology course and the level of modern genetics. It is pointed out the shift of emphasis in teaching the laws of inheritance and the simplified understanding of Mendelism by reducing it to three laws. The reason for this can be seen in the unjustified giving to the results obtained by Mendel in the genetic experiment, the status of laws, which, without taking into account modern scientific achievements, uncritically pass from textbook to textbook. It is pointed out the need in the new Ukrainian school, when teaching the basics of classical genetics, to take into account the latest achievements of genetics and suppress Mendelian results not as laws, but as data of a genetic experiment, which became the basis for a paradigm shift in the understanding of the phenomena of heredity – a transition from the idea of fused heredity to the theory of hereditary discreteness material. It is proposed to present Mendel's achievements to students as one fundamental law of discreteness of heredity, which takes a worthy place in the series of ideas about the discreteness of matter and energy.

Keywords: genetics, patterns of inheritance, teaching.