

МЕТОДИЧНІ УМОВИ ФОРМУВАННЯ МЕТОДОЛОГІЧНИХ ЗНАНЬ
СТАРШОКЛАСНИКІВ ПРО ЗАКОН ХАРДІ-ВАЙНБЕРГА ПРИ
РОЗВ'ЯЗУВАННІ ЗАДАЧ З ГЕНЕТИКИ ПОПУЛЯЦІЙ

Анотація. Стаття присвячена методичним умовам формування елементів методологічних знань старшокласників з біології, таких як знання про закон Харді-Вайнберга та умови його достовірності. Проаналізовано такі умови як розуміння учнями сутності методологічної категорії «закон»; поступове ускладнення змісту задач (відомого та шуканого); формулювання умови задачі, що передбачає обов'язкову актуалізацію знань про закон, умови його достовірності, математичні формули його вираження. Автором розроблена класифікація навчальних задач з генетики популяцій для курсу біології старшої школи. В процесі їх розв'язування у школярів теоретичні уявлення трансформуються у практичні вміння аналізу генетичної структури як ідеальних популяцій, так і таких, для яких умови достовірності не дотримано.

Ключові слова: методологічні знання, методичні умови формування методологічних знань, закон Харді-Вайнберга, умови достовірності закону, класифікація навчальних задач з генетики популяцій.

Досвід роботи зі старшокласниками та студентами перших курсів факультету природознавства педінституту свідчить про те, що закон Харді-Вайнберга засвоюється школярами формально. Недостатньо розуміються теоретична основа і практична значущість самого закону, учні та студенти не можуть назвати умови його достовірності, хоча останні є одним із структурних елементів знання про закон як методологічної категорії. Загальновідомо, що знання про основні види знання (тавтологія в даному

випадку доречно) і способи їх отримання, є обов'язковою складовою системи знань школярів з біології в цілому.

Причин формального засвоєння закону рівноваги генних концентрацій декілька. Слід констатувати недостатність акцентування уваги учнів на самій сутності категорії «закон» взагалі і закон Харді-Вайнберга зокрема як у діючих шкільних програмах, так і в підручниках з біології. Оскільки про якість засвоєння теоретичного знання про закон Харді-Вайнберга свідчить сформованість у старшокласників уміння вирішувати різні типи задач з генетики популяцій, то ще однією причиною є відсутність класифікації останніх, і, отже, незадовільна розробленість методики розв'язання їх різних груп.

Проблема формування методологічних знань у педагогічній науці не нова. Наукові розвідки з цього питання ведуться у різних напрямках, а саме: визначення змісту та обсягу поняття «методологічні знання», їх структури, функцій, умов та етапів формування, а також критеріїв та рівнів сформованості як в цілому, так і в межах окремих шкільних предметів (Ю. Альтшуллер, Н. Бабаєвська, З. Байбагісова, О. Богданова, С. Гончаренко, Н. Кравець, В. Краєвський, С. Кримський, І. Крутова, В. Левашова, Н. Міщук, С. Похлебаєв, М. Сидорович, А. Степанюк). На сучасному етапі розвитку педагогічної науки методологічні знання розглядаються, по-перше, як система знань, що включає змістовний та процесуальний компоненти, тобто вони є не тільки засобом навчання (інтелектуальним інструментарієм), а й об'єктом вивчення (С. Владімірцева, Н. Кочергіна, Л. Лободіна, Л. Мікешина, Е. Нуркасімов, І. Фішман), по-друге, як система знань конкретнонаукового та загальнонаукового рівнів, що включає знання про закономірності сучасного функціонування предметної галузі та знання про історичний розвиток конкретної предметної галузі. Отже, серед науковців відсутня єдність у розумінні співвідношення нормативного та предметного знання. Залишаються відкритими і дискусійними питання про взаємозв'язок

базової науки та навчального предмета на рівні методологічних знань (Ю. Самоненко); реалізацію нормативної та дескриптивної функцій методологічних знань на методичному рівні (Т. Корнілова).

Мета статті - на конкретних прикладах розв'язання задач з популяційної генетики розкрити методичні умови формування таких елементів методологічних знань старшокласників з біології, як знання про закон Харді-Вайнберга і умови його достовірності.

У навчальній літературі з біології (шкільних підручниках, посібниках для вступників до вузів та ін.) можна зустріти кілька відмінних один від одного формулювань закону рівноваги генних концентрацій. Найбільш вдалою з точки зору доступності для розуміння учнями та відповідності сутності категорії «закон» можна вважати таку: *частоти домінантного і рецесивного алелів у цій популяції будуть залишатися постійними з покоління в покоління при наявності певних умов: 1) Розміри популяції великі; 2) Парування відбувається випадковим чином; 3) Нові мутації не виникають; 4) Всі генотипи однаково плідні; 5) Покоління не перекриваються; 6) Відсутня обмін генами з іншими популяціями, тобто не відбувається ні еміграція, ні імміграція [2, с. 284].* До вказаних умов додаються і такі: *1) Гени знаходяться в аутосомах, а не в статевих хромосомах; 2) Особини різних генотипів однаково життєздатні; 3) Співвідношення особин чоловічої та жіночої статі — 1:1 [6, с.128].*

Чому саме таке формулювання найбільш вдале? Для цього звернемося до визначення категорії «закон». *Закон - внутрішній суттєвий і стійкий зв'язок явищ, що зумовлює їх впорядковану зміну. Реалізація закону залежить від наявності відповідних умов. Створення останніх забезпечує перехід наслідків, що впливають із закону, зі сфери можливого в сферу дійсного [4, с. 147].*

Отже, школярі повинні зрозуміти, що закон відображає існування зв'язків між явищами в даних конкретних умовах, тобто в певних межах. При

зміні умов, для яких було встановлено зв'язок, закон не є достовірним. Таким чином, однією з головних методичних умов формування уявлення про генетичну структуру популяцій є **розуміння учнями сутності методологічної категорії «закон».**

Не менш значуща і така методична умова як **використання в процесі навчання різноманітних задач з генетики популяцій, з поступовим ускладненням їх змісту (відомого і шуканого).** У ході їх вирішення у школярів теоретичні уявлення про закон рівноваги генних концентрацій трансформуються у практичні вміння аналізу і моделювання генетичної структури як ідеальних популяцій, так і таких, для яких умови достовірності закону не дотримані.

Нами розроблена класифікація задач з генетики популяцій для використання в шкільному курсі загальної біології:

1. Задачі на застосування закону Харді-Вайнберга для ідеальних популяцій.

1.1 На спадкування аутосомних двухалельних генів.

1.2 На спадкування аутосомних множинних генів.

2. Задачі на відхилення від закону Харді-Вайнберга.

2.1 На визначення генетичної структури популяції за генами, які знаходяться в статевих хромосомах.

2.2 На визначення генетичної структури популяції при впливі факторів, що впливають на останню.

3. Задачі, в яких за умовою вихідне співвідношення частот генотипів не відповідає рівнянню Харді-Вайнберга.

Наступною важливою методичною умовою є **формулювання задачі, яке передбачає при розв'язанні обов'язкову актуалізацію знань про закон Харді-Вайнберга, умови достовірності та використання математичних формул його вираження.** Іншими словами, учні повинні зрозуміти, чи є вихідні дані або отримані на основі їх результати такими, які підтверджують закон генетичної рівноваги, і якщо ні, то які причини.

Розглянемо особливості розв'язування декількох задач на генетику популяції, при цьому особливу увагу приділимо дотриманню третьої методичної умови успішного формування знань про закон Харді-Вайнберга.

Задача № 1. У корінних жителів Австралії з 730 обстежених група крові М (генотип ММ) виявлена у 22 осіб, група крові MN (генотип MN) — у 216, група крові N (генотип NN) — 492. Визначте генетичну структуру популяції [6, с. 134].

За запропонованою класифікацією задача відноситься до задач на застосування закону Харді-Вайнберга для ідеальних популяцій, а саме на спадкування аутосомних двухалельних генів.

Розв'язок задачі № 1. Заздалегідь слід відмітити, що розглянуті нижче способи відображають хід міркувань учнів, і в деяких випадках є неповними і помилковими. Однак вважаємо доречним навести приклади таких міркувань, проаналізувати їх і сформулювати рекомендації для попередження помилок.

Хід міркувань учнів № 1

1. Обчислюємо об'єм вибірки: $22 + 216 + 492 = 730$ (осіб);
2. Розраховуємо частоту генотипу ММ: $22 / 730 = 0,03$;
3. Розраховуємо частоту генотипу MN: $216 / 730 = 0,3$;
4. Розраховуємо частоту генотипу NN: $492 / 730 = 0,67$.

Відповідь: структура популяції наступна (ММ = $p^2 = 0,03$) + (MN = $2pq = 0,3$) + (NN = $q^2 = 0,67$).

Хід міркувань учнів № 2

1. Обчислюємо об'єм вибірки: $22 + 216 + 492 = 730$ (осіб);
2. Розраховуємо частоту генотипу NN: $492 / 730 = 0,67$;
3. Розраховуємо частоту аллеля N: $\sqrt{0,67} = 0,82$;

4. Розраховуємо частоту аллеля М: $1 - 0,82 = 0,18$;
5. Розраховуємо частоту генотипу ММ: $0,18^2 = 0,03$;
6. Розраховуємо частоту генотипу MN: $2 \times 0,18 \times 0,82 = 0,3$ (а) або $1 - 0,03 - 0,67 = 0,3$ (б).

Відповідь: генетична структура популяції наступна (ММ = $p^2 = 0,03$) + (MN = $2pq = 0,3$) + (NN = $q^2 = 0,67$), ($p = 0,18$) + ($q = 0,82$).

Слід зазначити, що в другому ході міркувань при розрахунку частоти генотипу MN (п.6) школярі частіше виконують дію а, ніж б (при цьому в ряді випадків забуваючи про множник 2). Здавалося б, різниці немає. Однак ми вважаємо, що виконання дії б свідчить про більш глибоке розуміння учнем сутності поняття «генетична структура популяції», оскільки саме ця дія демонструє знання школярем того, що сума всіх частот генотипів дорівнює 1.

Хід міркувань учнів № 3

1. Обчислюємо обсяг вибірки: $22 + 216 + 492 = 730$ (осіб);
2. Розраховуємо частоту аллеля М за формулою $p = (D + 0,5H) / N$, де D – кількість домінантних гомозигот; H – кількість гетерозигот; N – загальна кількість членів групи: $(22 + 0,5 \times 216) / 730 = 0,18$;
3. Розраховуємо частоту аллеля N за формулою $q = (R + 0,5H) / N$, де D – кількість домінантних гомозигот; R – кількість рецесивних гомозигот; H – кількість гетерозигот; N – загальна кількість членів групи: $(492 + 0,5 \times 216) / 730 = 0,82$;
4. Розраховуємо частоту генотипу ММ: $0,18^2 = 0,03$;
5. Розраховуємо частоту генотипу NN: $0,82^2 = 0,67$;
6. Розраховуємо частоту генотипу MN: $2 \times 0,18 \times 0,82 = 0,3$ або $1 - 0,03 - 0,67 = 0,3$.

Відповідь: генетична структура популяції наступна (ММ = $p^2 = 0,03$) + (MN = $2pq = 0,3$) + (NN = $q^2 = 0,67$), ($p = 0,18$) + ($q = 0,82$).

Отже, на цьому етапі маємо три способи розв'язку задачі. Як показує досвід, учні найчастіше використовують перший спосіб і практично ніколи третій. Коротко проаналізуємо кожен із способів для пошуку відповіді на питання: Чи орієнтований спосіб на засвоєння знань про закон рівноваги генних концентрацій? Чи можна застосувати спосіб для вирішення задачі № 1 саме в такому варіанті формулювання її умови? Чи орієнтований спосіб на засвоєння знань про закон рівноваги генних концентрацій?

У першому варіанті для знаходження генетичної структури популяції учні користуються способом знаходження частини від цілого. При цьому рівняння Харді-Вайнберга для розрахунків не використовується. Відповідно знання про закон не актуалізуються. У другому варіанті використовуються обидві формули, що відображають закон — для знаходження частот генотипів і знаходження частот генів. У третьому варіанті використовується одна формула, що відображає закон Харді-Вайнберга — для знаходження частот генотипів. У третьому способі учні також використовують додаткові формули для знаходження частот алелей у популяції.

Чи можна застосувати спосіб для вирішення задачі № 1 саме в такому варіанті формулювання її умови? У першому способі вирішення учнями знайдена тільки генотипна структура популяції, на відміну від другого і третього способів, де розрахована як генотипна, так і генетична структура, що власне і вимагається в задачі. Отже, перший спосіб вирішення слабо орієнтований на засвоєння знань про закон рівноваги генних концентрацій і при вихідному варіанті формулювання умови задачі призводить до отримання неповних результатів. А що з другим і третім способом розв'язку? Для відповіді на це питання розглянемо розв'язок задачі № 2. За наведеною класифікацією вона відноситься до задач, в яких за умовою вихідне співвідношення частот генотипів не відповідає рівнянню Харді-Вайнберга.

Задача № 2. Напишіть генотипну структуру панміктичної популяції в F₃, якщо вихідне співвідношення генотипів було: 2AA : 1Aa : 3aa [5, с. 201]?

Розв'язок задачі № 2. *Хід міркувань учнів № 1*

Визначасмо генотипну структуру вихідної популяції: AA = 2 / 6 = 0, 33, Aa = 1 / 6 = 0, 17; aa = 3 / 6 = 0, 5.

Відповідь: генотипна структура вихідної популяції наступна (AA = p² = 0, 33) + (Aa = 2pq = 0, 17) + (aa = q² = 0, 5).

Слід зазначити, що в ряді випадків рішення задачі на цьому етапі закінчується. Учні вважають, що вихідна популяція і популяція через три покоління будуть мати однакову генотипну структуру, оскільки «у самій умові сказано, що популяція панміктична, а значить дотримано умову достовірності закону» (відповідь школяра А). Частина одинадцятикласників продовжують міркування.

Хід міркувань учнів № 2

1. Знаходимо частоту генотипу AA у вихідній популяції: AA = 2 / 6 = 0, 33;

2. Розраховуємо частоту аллеля А у вихідній популяції: $\sqrt{0, 33} = 0, 57$;

3. Розраховуємо частоту аллеля а у вихідній популяції: 1 – 0, 57 = 0, 43.

4. Знаходимо частоту генотипу aa у вихідній популяції: aa = 0, 43² = 0, 18;

4. Обчислюємо частоту генотипу Aa у панміктичній популяції після схрещувань: Aa = 2 x 0, 57 x 0, 43 = 0, 49 або 1 – 0,33 – 0,18 = 0, 49.

Відповідь: генотипна структура популяції в F₃ наступна (AA = p² = 0,33) + (Aa = 2pq = 0, 49) + (aa = q² = 0, 18).

Отже, маємо дві відповіді задачі: генотипна структура у панміктичній популяції в F₃ або така: (AA = p² = 0,33) + (Aa = 2pq = 0,17) + (aa = q² = 0,5), тобто така ж, як у вихідній популяції; або (AA = p² = 0,33) + (Aa = 2pq = 0,49) + (aa = q² = 0,18), тобто відмінна від вихідної популяції. Зауважимо, що школярі приходять і до інших помилкових відповідей, але в даній статті для нас більш важливим є факт їх наявності, ніж розгляд їхньої різноманітності.

Жодна з наведених відповідей задачі № 2 не є правильною. У першому випадку хід міркувань учнів є неповним. У другому випадку спосіб розрахунку частоти алеля a є методологічно помилковим, оскільки у вихідній популяції частоти алелей і генотипів не врівноважені згідно закону рівноваги генних концентрацій. Ця методологічна помилка призводить до отримання неправильної відповіді в цілому.

Хід міркувань учнів № 3

1. Знаходимо частоту генотипу AA , Aa і aa у вихідній популяції: $AA = 2 / 6 = 0,33$, $Aa = 1 / 6 = 0,17$, $aa = 3 / 6 = 0,5$;

2. Розраховуємо частоту алеля A у вихідній популяції: $\sqrt{0,33} = 0,57$;

3. Розраховуємо частоту алеля a у вихідній популяції: $\sqrt{0,5} = 0,7$;

4. Розраховуємо частоту гамет з алелем A за формулою $p = D + 0,5 H$, де D – частота домінантних гомозигот; H – частота гетерозигот: $(0,33 + 0,5 \times 0,17) = 0,41$.

5. Розраховуємо частоту гамет з алелем a за формулою $q = R + 0,5 H$, де R – частота рецесивних гомозигот; H – частота гетерозигот: $(0,5 + 0,5 \times 0,17) = 0,59$.

6. Розраховуємо частоту генотипів AA , Aa і aa у популяції після першого схрещування, у F_1 : $AA = 0,41^2 = 0,17$, $Aa = 2 \times 0,41 \times 0,59 = 0,49$, $aa = 0,59^2 = 0,34$.

Відповідно до закону Харді-Вайнберга, у панміктичній популяції частоти алелів і генотипів після першого ж схрещування врівноважуються і залишаються постійними. Тому генотипна структура в F_3 буде такою ж, як в F_1 .

Відповідь: генотипна структура панміктичної популяції в F_3 буде такою: $(AA = p^2 = 0,17) + (Aa = 2pq = 0,49) + (aa = q^2 = 0,34)$. **Отримана відповідь є єдиною правильною.**

Отже, в обох задачах наведено кількісні дані по генотипам особин популяції і потрібно визначити генетичну (генотипну структуру популяції). Обидві задачі розв'язані трьома способами. Аналіз результатів, отриманих учнями різними способами, показує, що в задачі № 1 вони ідентичні. В задачі № 2 тільки результати, отримані третім способом, є правильними. Яка причина такого протиріччя, чому тільки третій спосіб вирішення задачі № 2 дозволяє прийти до правильної відповіді? Чи застосовні у такому випадку два інших способи вирішення до задачі № 1? А якщо і застосовні, то за яких умов?

Порівняння умов задач № 1 і № 2 показує, що в задачі № 1 відсутня інформація про те, чи можна вважати вихідну популяцію ідеальною. У задачі № 2 теж відсутня явна вказівка на відповідність вихідної генотипної структури популяції закону Харді-Вайнберга. Однак з формулювання умови ясно, що вихідна популяція приступає до розмноження як панміктична і залишається такою в поколіннях. У задачі № 2 і подібних їй, тобто в тих, які за запропонованою класифікацією належать до третьої групи, потрібно спершу встановити генотипну і алельну структуру вихідної популяції. Потім, користуючись додатковими формулами, обчислити алельну і генотипну структуру популяції у поколіннях.

Виходячи з вищесказаного, можна стверджувати, що наявність або відсутність в умовах задач прямої вказівки на те, чи можна вважати вихідну популяцію ідеальною, визначає спосіб її розв'язання. Так, використання для розрахунків тільки рівнянь Харді-Вайнберга (спосіб 2) є обґрунтованим, якщо в умові зазначено, що популяцію вважати ідеальною. Наприклад, при переформулюванні умови задачі № 1 як «У корінних жителів Австралії з 730 обстежених група крові М (генотип ММ) виявлено у 22 осіб, група крові MN (генотип MN) — у 216, група крові N (генотип NN) — у 492. Визначте генетичну структуру популяції. Популяцію вважати умовно ідеальною», використання для розв'язку способу № 2 буде методично виправданим. В

іншому випадку, для знаходження шуканого необхідно виконати розрахунки за іншими формулами (спосіб 3).

З метою ускладнення задачі № 1 можна запропонувати старшокласникам таке її формулювання «У корінних жителів Австралії з 730 обстежених група крові М (генотип ММ) виявлено у 22 осіб, група крові MN (генотип MN) — у 216, група крові N (генотип NN) — у 492. Визначте генетичну структуру вихідної популяції. Чи відповідає співвідношення генотипів і алелей у ній закону Харді-Вайнберга?» При такому шуканому методично виправданим буде використання трьох вищенаведених способів вирішення, порівняння між собою отриманих результатів та формулювання відповідних висновків.

Вважаємо, що дотримання описаних методичних умов дозволить запобігти формалізму знань старшокласників про закон Харді-Вайнберга і сприятиме якісному формуванню цих елементів системи методологічних знань з біології. Перспективи подальшого дослідження в порушеному у статті напрямку вбачаємо у визначенні методичних особливостей інших задач з генетики популяцій, що вписуються у запропоновану класифікацію, а саме задач на відхилення від закону Харді-Вайнберга, та розробці методичних рекомендацій з їх розв'язання.

Список використаних джерел

1. Барабанщиков Б. И. Сборник задач по генетике / Б. И. Барабанщиков, Е. А. Сапаев. — Казань: Изд-во Казанского университета, 1988. — 192 с.
2. Грин Н. Биология. В 3 т. Т. 3: пер. с англ. / под ред. Р. Сонера / Н. Грин, У. Стаут, Д. Тейлор. — М.: Мир, 1990. — 376 с.
3. Песецкая Л. Н. Сборник задач по генетике: [учеб.-метод. пособие] / Л. Н. Песецкая, Г. Г. Гончаренко, Н. Н. Острейко. — Гомель, 2002. — 114 с.

4. Философский словарь / [Под ред. И. Т. Фролова]. — 5-е изд. — М.: Политиздат, 1987. — 590 с.
5. Барна І. В. Біологія. Задачі та розв'язки: [навч. посіб.] / І. В. Барна, М. М. Барна, Л. С. Барна. — Тернопіль: Мандрівець, 2005. — 384 с.
6. Барна І. В. Методика розв'язування задач: [навч. посіб.] / І. В. Барна. — Тернопіль: Мандрівець, 2009. — 216 с.

METHODICAL CONDITIONS OF FORMATION OF STUDENTS' METHODOLOGICAL KNOWLEDGE ABOUT THE LAW OF HARDY- WEINBERG DURING THE SOLUTION OF TASKS IN POPULATION GENETICS

Komarova E. V.

Annotation. The article deals with methodological conditions of formation of the elements of methodological knowledge of high school students in biology, such as knowledge of the law Hardy-Weinberg and conditions of authenticity. It is analyzed such conditions as understanding of the essence of methodological category "law"; gradual complication terms of tasks (known and seeking); formulation of a problem which provides mandatory actualization of knowledge about the law, conditions of authenticity, mathematical formulas of expression. The author developed a classification of learning tasks of population genetics biology course high school. Theoretical knowledge of students are transformed into practical skills of analysis of the genetic structure of populations as ideal and those for which the conditions of authenticity are not met.

Keywords: methodological knowledge, the methodological conditions of formation of methodological knowledge, the law of Hardy-Weinberg, conditions of authenticity law, classification of learning tasks of population genetics.