

УДК – 373.5.016:57

МОДЕЛЬНІ ЕКСПЕРИМЕНТИ ПРИ ВИВЧЕННІ

ЗАКОНУ ХАРДІ - ВАЙНБЕРГА

Анотація. У статті розглядається методика модельних експериментів з генетики та еволюції популяції як методу розвитку в учнів уміння моделювання. Стверджується, що навчальною моделлю генетичної структури популяції є отримане в ході експериментальних дій перше співвідношення генів та генотипів. У статті описані особливості модельних експериментів при відсутності і наявності впливу на популяцію факторів динаміки її генетичної структури.

Ключові слова: модель, модельний експеримент, генетична структура популяції, фактори динаміки генетичної структури популяції.

Елена КОМАРОВА

Модельные эксперименты при изучении закона Харди - Вайнберга

Аннотация. В статье рассматривается методика модельных экспериментов по генетике и эволюции популяции как метода развития у учащихся умения моделирования. Утверждается, что учебной моделью генетической структуры популяции является полученное в ходе экспериментальных действий первое соотношение генов и генотипов. В статье описаны особенности модельных экспериментов при отсутствии и наличии влияния на популяцию факторов динамики ее генетической структуры.

Ключевые слова: модель, модельный эксперимент, генетическая структура популяции, факторы динамики генетической структуры популяции.

Olena KOMAROVA

Model experiments in the study of the Hardy - Weinberg's law

Summary. In the article the technique of model experiments on the genetics and evolution of the population as a method of developing students' skills simulation. States that the training model of the genetic structure of the population is obtained in the pilot action the first relation of genes and genotypes. This article describes the features of model experiments in the absence and presence of the influence of factors on the population dynamics of its genetic structure.

Key words: the model, the model experiment, the genetic structure of a population, factors dynamics of genetic population structure.

На сторінках журналу «Біологія і хімія в сучасній школі» були розглянуті окремі питання формування міжпредметних умінь учнів старшої школи [5]. Продовжимо розпочату розмову.

Метою статті є висвітлення методики модельних експериментів з генетики та еволюції популяції як методу розвитку в учнів уміння моделювання.

Для досягнення поставленої мети розв'яжемо **завдання:** по-перше, з'ясуємо сутність понять «моделювання», «модель», «модельний експеримент», по-друге, визначимо мету модельних експериментів з вивчення динаміки генетичної структури популяції та опишемо навчальну модель останньої, по-третє, сформулюємо методичні рекомендації по розвитку вміння моделювання в учнів 11 класу при вивченні ними закону рівноваги генних концентрацій та відхилень від нього.

Моделювання – відтворення характеристик певного об'єкта на іншому об'єкті, спеціально створеному для їх вивчення. Цей останній називається моделлю [9].

Модель – форма і засіб пізнання, будь – яка система, що відображає оригінал, замінює його і надає інформацію про нього. При цьому модель може бути створена шляхом усунення з об’єкту тих властивостей, які здаються несуттєвими [6].

Відношення між моделлю та об’єктом мають задовольняти дві умови:

- 1) модель відповідає тим елементарним властивостям або комплексам властивостей (фізичні характеристики, функції, математичний опис «поведінки» об’єкта і його моделі [9]), які вчений прагне вивчити в об’єкті;
- 2) модель відрізняється від об’єкта в інших відношеннях, причому настільки, щоб ці відмінності робили прозорими ті сторони і характеристики моделі, які роблять її замісником об’єкту, що вивчається [7, 108]. Іншими словами, модельні відношення будуються за принципом аналогії, а не тотожності [10, 90]. **Аналогія** – *схожість* нетотожних об’єктів у деяких сторонах, якостях, відношеннях. **Тотожність** – категорія, що виражає *рівність, однаковість* предмета, явища із самим собою або рівність декількох предметів [9].

Отже, підсумуємо:

- об’єкт та його модель схожі, але не тотожні;
- об’єкт та його модель подібні не у всьому, а лише в деяких аспектах;
- модель містить лише суттєві характеристики об’єкту або його частини.

Модельний експеримент – особлива форма експерименту, для якого характерним є використання діючих моделей у якості спеціальних засобів експериментального дослідження. Модель при цьому відіграє подвійну роль: вона є і об’єктом дослідження, і засобом пізнання.

З якою метою доцільно використовувати метод модельного експерименту при вивченні генетики та еволюції популяцій? Вважаємо, що:

- учні переконуються на практиці в тому, що в ідеальних популяціях частоти генів та співвідношення генотипів із покоління в покоління

зберігаються, на відміну від популяцій, на які діють фактори генетичної динаміки;

- модельні експерименти дозволяють уявляти первинні еволюційні перетворення в популяціях;

- модельні експерименти демонструють імовірнісний характер генетичних та мікроеволюційних процесів;

- модельні експерименти сприяють перетворенню знань учнів у стійкі переконання, які є невід'ємною складовою світогляду.

Грунтуючись на підходах до розуміння сутності понять «модель» [6], «генетична структура популяції» [5], з'ясуємо, що представляє собою модель генетичної структури популяції, та сформулюємо вимоги до останньої.

Зазначимо, що окремі питання постановки модельних експериментів з генетики та еволюції популяцій розглянуті у літературі [2; 3; 8]. Водночас у методиці навчання загальної біології відсутня чіткість підходів стосовно того, що є моделлю генетичної структури популяції. Набір певних елементів у заданому співвідношенні – фішки, шашки, кульки, з якими маніпулюють учні? Вважаємо, що назвати такий набір елементів навчальною моделлю генетичної структури популяції не можна. Пояснимо чому.

Модель – це система, а не проста сукупність складових. Якщо припустити, що набір з 70 червоних та 30 білих кульок є моделлю популяції з частотами алелів $p = 0,7$ та $q = 0,3$, закономірно виникає питання, в яких зв'язках знаходяться ці елементи у системі? Відповісти на це питання можна, однак принаймні учням важко. Але ж саме школярі мають розуміти, які характеристики реального об'єкту змодельовані.

Генетична структура популяції – частота різноманітних **алелів** у популяції і частотне (у %) співвідношення різних **генотипів** (гомозигот і гетерозигот) у ній. У наборі елементів представлені лише алелі. Отже, формулюємо висновок: вихідну сукупність будь-яких елементів у певному співвідношенні не можна вважати моделлю генетичної структури популяції.

На нашу думку, навчальна модель, про яку йдеться, має задовольняти такі вимоги:

- містити **суттєві достатні** характеристики генетичної структури популяції;
- елементи моделі мають бути зручними у користуванні;
- експлуатація та заміна елементів моделі не повинні потребувати значних матеріальних вкладень.

Розглянемо названі вимоги детальніше. Повернемося до визначення *генетичної структури популяції*. Отже, у моделі мають бути представлені різні алелі. Виникає питання – алелі скількох і яких генів? Учні знають, що у генотипі велика кількість різних генів, які розташовані як в аутосомах, так і у статевих хромосомах; які можуть бути представлені як двома, так і більшою кількістю алелів. Спираючись на вимоги до відношення моделі та об'єкту, наведені вище у статті, генетичну структуру популяції доцільно вивчати на прикладі **одного двохалельного гена, розташованого в аутосомі**. Вважаємо, що такі характеристики є суттєвими і достатніми для створення та дослідження навчальної моделі генетичної структури популяції.

Елементи моделі повинні демонструвати як розподіл алелів, так і генотипів у популяції. Тому обидва алелі мають легко комбінуватися один з одним, але при цьому різнитися.

Оскільки модельний експеримент демонструє ймовірнісний характер генетичних процесів, то й процес поєднання алелів учнями теж має бути таким. Як цього досягти? Вважаємо, що слід максимально «вилучити» органи чуття з процесу моделювання можливих генотипів. Тактильні рецептори під час утворення пар алелів повністю «вимкнути» неможливо, але відчуття, які формуються при цьому, можна звести до мінімуму. Для цього слід підібрати такі елементи моделі, які при тактильному контакті під час формування генотипів будуть абсолютно ідентичними – тобто абсолютно всі гладенькі

або шорсткі, м'які або жорсткі, круглі або квадратні, об'ємні або плоскі, великі або маленькі тощо.

Різні елементи моделі мають на етапі розпізнавання та підрахунку сформованих генотипів. Відбуватиметься це при зоровому контакті з елементами моделі, представленими, наприклад, у двох кольорах.

Модель має бути пристосована до легкого багаторазового розбору на елементи (алелі) та їх поєднання. Вказані дії мають виконуватися без скочування елементів зі столу, їх зчеплення один з одним та деформації.

Елементи моделі слід підбирати так, щоб у разі псування їх можна було замінити без значних матеріальних витрат. Останнє важливо і для організації групової роботи учнів, тому у кабінеті бажано мати декілька наборів для моделювання. Це дозволить залучити до роботи більшу кількість учнів, провести одночасно різні за метою експерименти. А найголовніше, можливим буде проведення одного за метою експерименту одночасно у декількох повторностях, що збільшить точність розрахунків при обробці загальних результатів, а тому сприятиме формуванню стійких переконань про досліджувані закономірності.

У статті розкриємо методичні особливості постановки модельних експериментів на вивчення генетичної структури та еволюції ідеальних популяцій і популяцій, для яких не дотримано умови достовірності закону Харді – Вайнберга. Нижче розглянемо такі фактори генетичної динаміки популяції як природний відбір, міграції, мутації, дрейф генів.

Кожний експеримент проводиться за схемою: визначення мети, необхідних матеріалів, ознайомлення з інструкцією до роботи, виконання роботи, фіксування результатів, їх аналіз та формулювання висновків.

Розпочинати серію експериментів доцільно з моделювання генетичної структури поколінь популяції при відсутності дії факторів генетичної динаміки популяції [2; 3; 8].

Експеримент 1. Моделювання генетичної структури ідеальної популяції*.

Мета. З'ясувати співвідношення генотипів та частоти генів у поколіннях популяції при відсутності факторів впливу на її генетичну структуру.

Матеріали: 70 фішок червоного кольору, 30 фішок білого кольору, 1 непрозорий пакет.

Примітка* - одна особина утворює 2 гамети.

Хід роботи:

1. Перемішайте фішки у пакеті.
2. Не зазираючи у нього, діставайте по 2 фішки і кладіть їх до однієї з трьох куп: до першої – пари червоних фішок, до другої – пари з червоної та білої, до третьої – пари білих фішок. Робіть так доти, доки не витягнете всі фішки з пакету. Так моделюється батьківська популяція.
3. Порахуйте кількість пар фішок у кожній купі. Результати занесіть у рядок для батьківського покоління в таблиці 1.
4. Зберіть фішки у пакет, перемішайте та повторіть дії № 2 та 3 послідовно ще два рази, заповнюючи відповідно рядки у таблиці для першого та другого покоління.
5. Обчисліть частоти генотипів та генів (алелів) у кожному поколінні.
6. Сформулюйте висновки згідно плану [8]:
 - співвідношення частот генотипів у поколіннях;
 - співвідношення частот генів у поколіннях;
 - напрямки еволюційних змін.

Таблиця 1

Покоління	Кількість особин	Розподіл генотипів						Частоти алелів	
		AA		Aa		aa		A(p)	a(q)
P									
F ₁									
F ₂									
Всього									

У методичній літературі [2; 8] наводиться інша форма таблиці для заповнення (див. таблицю 2). Там же пропонується при обробці результатів модельних експериментів розраховувати частоти генів у поколіннях за формулами: $p = (D + 0,5H) / N$ та $q = (R + 0,5H) / N$, де p – частота домінантного алеля, q – частота рецесивного алеля, D – кількість домінантних гомозигот, R – кількість рецесивних гомозигот, H – кількість гетерозигот, N – загальна кількість членів популяції. У заповненому вигляді таблиця може виглядати так:

Таблиця 2

Покоління	Розподіл генотипів			Частоти алелів	
	AA	Aa	aa	A(p)	A(q)
0	23	24	3	0,7	0,3
1	26	18	6	0,7	0,3
2	24	22	4	0,7	0,3
Сума	73	64	13	0,7	0,3

Розрахувати частоти генів можна і в інший спосіб - витягненням квадратних коренів з частот гомозигот. У такому випадку заповнена таблиця 1 виглядатиме так (далі у статті будемо спиратися саме на заповнений варіант таблиці):

Покоління	Кількість особин	Розподіл генотипів			Частоти алелів	
		AA	Aa	aa	A(p)	a(q)

P	50	23	0,46	24	0,48	3	0,06	0,68	0,24
F ₁	50	26	0,52	18	0,36	6	0,12	0,72	0,35
F ₂	50	24	0,48	22	0,44	4	0,08	0,69	0,28
Всього	150	73	0,49	64	0,42	13	0,09	0,7	0,3

У чому різниця між обома варіантами? Як вона впливає на досягнення мети модельного експерименту?

Дані, занесені до обох таблиць, різняться за:

- повнотою розрахунків: у таблиці 1 наведені **частоти** всіх можливих **генотипів**;
- обчисленням у таблиці 1 **середнього арифметичного значення** частот кожного з генотипів та генів за результатами трьох експериментів;
- **розбіжностями** розрахованих **частот генів (алелів)** у таблиці 1 порівняно із **сталістю** таких у таблиці 2.

Зрозуміло, що варіант обробки результатів у таблиці 2 є спрощеним порівняно з таблицею 1, але обидва дозволяють сформулювати **найголовніший висновок** – в ідеальних популяціях співвідношення частот генів та генотипів залишаються сталими з покоління в покоління.

Дані, занесені до першої таблиці, не тільки можна, а необхідно проаналізувати з учнями більш ґрунтовно.

У ході обговорення вчитель звертає увагу учнів на невеликий розмір модельної популяції - 50 особин. Він пояснює закономірність: *чим менший розмір вибірки, тим більша похибка у виконаних розрахунках*. Крім того, продовжує вчитель, однією з умов достовірності закону Харді – Вайнберга є великий розмір популяції, але це неможливо змоделювати в умовах шкільного експерименту. Також доцільно відмітити, що результати біологічних експериментів, навіть поставлених у строго контрольованих умовах, можуть надзвичайно відрізнитися, оскільки «жива природа надзвичайно різноманітна та складна для математичного опису» [1].

Оскільки розмір модельної популяції не змінюється в поколіннях, на популяцію не впливають фактори, що змінюють її генетичну структуру,

можна умовно вважати, що *експеримент проведений у трьох повторностях*, а значить, можна знайти середні арифметичні значення частот генотипів та генів. Як бачимо, підсумовує вчитель, середні арифметичні частот генів у таблиці 1 збігаються із частотами генів таблиці 2. Отже, із збільшенням кількості проаналізованих поколінь моделі генетичної структури ідеальної популяції зростатиме точність розрахованих частот генів.

Знаходження співвідношення середніх арифметичних значень частот генотипів у таблиці 1 дозволяє продемонструвати учням той факт, що в ідеальній популяції співвідношення частот генотипів відповідає рівнянню Харді – Вайнберга $p^2 + 2pq + q^2 = 1$, а саме $0,49 + 0,42 + 0,09 = 1$

При проведенні вищеописаного експерименту, а також наступних слід пам'ятати, що незалежно від того, скільки алелів має певний ген у популяції і який характер взаємодії між ними, суми частот алелів і генотипів, що ними утворені, завжди дорівнюватимуть одиниці. Питання полягає в іншому – чи будуть змінюватися співвідношення частот генотипів та генів у поколіннях і чому? Саме тому, пропонування учням для заповнення та подальшого аналізу таблиці 1, порівняно з таблицею 2, видається нам ефективнішим способом формування переконань про співвідношення генів і генотипів та напрямом еволюційних змін у популяції при відсутності дії на неї факторів генетичної динаміки.

Експеримент 2. Моделювання генетичної структури популяції при дії природного відбору*.

Мета. З'ясувати напрямок еволюційних змін у популяції при 100% життєздатності домінантних гомозигот та гетерозигот і нежиттєздатності рецесивних гомозигот.

Матеріали: 70 фішок червоного кольору, 30 фішок білого кольору, 1 пакет.

Примітка* - одна особина утворює 2 гамети.

Хід роботи:

1. Перемішайте фішки у пакеті.
2. Діставайте по 2 фішки з пакету і кладіть їх до однієї з трьох куп: до першої – пари червоних фішок, до другої – пари з червоної та білої, до третьої – пари білих фішок. Робіть так доти, доки не витягнете всі фішки з пакету. Так моделюється батьківська популяція.
3. Порахуйте кількість пар фішок у кожній купі. Результати занесіть у рядок для батьківського покоління в таблиці 3.
4. Зберіть фішки у пакет, перемішайте та повторіть дію № 2. Порахуйте кількість пар фішок у кожній купі. Результати занесіть у рядок для першого покоління в таблиці 3. Фішки з третьої купи відкладіть і не включайте їх до загальної кількості особин. Так ми видаляємо рецесивних гомозигот з популяції, усвідомлюючи при цьому, що рецесивні гомозиготні генотипи утворюються, але є нежиттєздатними (у таблиці відповідні клітинки позначено сірим кольором). Зберіть фішки у пакет з перших двох куп.
5. Виконайте дію № 4 ще 5 разів, кожного разу відкладаючи фішки з третьої купи в бік. Результати занесіть у рядки таблиці для наступних поколінь.
6. Обчисліть частоти генотипів та генів у кожному поколінні.

Таблиця 3

Покоління	Кількість особин	Розподіл генотипів						Частоти алелів	
		AA		Aa		aa		A(p)	a(q)
P	50	23	0,46	24	0,48	3	0,06	0,7	0,3
F ₁	47	23	0,49	24	0,51	3	0	0,74	0,26
F ₂	44	26	0,59	18	0,41	3	0	0,8	0,2
F ₃	41	29	0,71	12	0,29	3	0	0,85	0,15
F ₄	39	31	0,79	8	0,21	2	0	0,9	0,1
F ₅	39	31	0,79	8	0,21	0	0	0,9	0,1

F ₆	38	32	0,84	6	0,16	1	0	0,92	0,08
----------------	----	----	------	---	------	---	---	------	------

При заповненні цієї таблиці, а саме обчисленні частот алелів, можна користуватися як формулами, наведеними у першому експерименті, так і визначати частоту домінантного алеля шляхом витягнення квадратного кореня з частоти домінантних гомозигот, а частоту рецесивного - з добутку $2\sqrt{pq}$. Витягувати квадратний корінь з частоти рецесивних гомозигот не представляється можливим, оскільки такі генотипи на певному етапі онтогенезу елімінуються з популяції. Одразу зазначимо, що в цілому результати обчислень кожного з обраних способів співпадатимуть, відмінності будуть у сотих частках. Вони обумовлюються незначною чисельністю популяції, тобто тією ж причиною, що і в першому модельному експерименті.

7. Сформулюйте висновки згідно плану (див. експеримент 1, п. 6).

Із заповненої таблиці видно, що у популяції при 100% життєздатності домінантних гомозигот та гетерозигот і нежиттєздатності рецесивних гомозигот у поколіннях:

- збільшується частота домінантних гомозигот, зменшується частота гетерозигот;
- зростає частота домінантного алеля (p), і відповідно знижується частота рецесивного алеля (q);
- у процесі еволюції такої популяції рецесивний алель поступово переходить у гетерозиготний стан. Частота виникнення рецесивних гомозигот зменшується, оскільки із зниженням частоти гетерозигот зменшується ймовірність схрещування останніх. Можна очікувати, що у такій популяції при подальшому збереженні умов, а саме вказаної життєздатності генотипів, їх плідності, панміксії та відсутності впливу інших факторів, у майбутньому рецесивний алель повністю елімінується.

При проведенні експерименту у школярів може виникнути питання, чому в батьківській популяції не видалялися рецесивні гомозиготи. Вчитель

пояснює, що спочатку необхідно було змодельовати вихідну популяцію, в якій усі генотипи однаково пристосовані до дії певного абіотичного фактору, наприклад, солоності води. На певному етапі існування популяції змінилися умови існування, внаслідок чого підвищилася солоність води. Виявилось, що рецесивні гомозиготи не здатні витримувати такий показник солоності і гинули. За цієї причини, пояснює вчитель, рецесивні гомозиготи видалялися з дочірніх популяцій.

Відмітимо, що описаний експеримент у надзвичайно спрощеному вигляді моделює ті процеси, які відбуваються у природних популяціях при зміні умов існування. Зміна умов середовища і як результат боротьба членів популяції за існування з абіотичними факторами середовища, розширення або звуження норми реакції, утворення потомства найбільш пристосованими особинами та загибель непристосованих, тобто дія природного відбору відбувається в природних популяціях поступово, повільніше, ніж це змодельовано в експерименті. Вчителю слід звернути на це увагу учнів у ході обговорення отриманих результатів, але одночасно підкреслити, що в модельному експерименті змодельовано загальну тенденцію динаміки генетичної структури популяції при дії на неї певного фактору.

Повернемося до питання, сформульованого на початку статті про те, що, на нашу думку, слід вважати навчальною моделлю генетичної структури популяції.

Беручи до уваги сформульовані вище вимоги до навчальної моделі генетичної структури популяції, враховуючи етапи роботи з моделями: перший – побудова моделі, другий – її дослідження, третій – інтерпретація результатів [1], аналізуючи результати двох описаних експериментів, пропонуємо вважати *отримане в ході експериментальних дій з елементами моделі перше співвідношення частот генотипів та співвідношення частот генів, тобто співвідношення частот генотипів та генів у батьківській*

популяції, навчальною моделлю генетичної структури популяції.
Обґрунтуємо це твердження.

Насамперед, у першому отриманому співвідношенні генотипів, тобто у батьківській популяції, алелі в експерименті об'єднуються попарно у генотипи, тому можна повноправно говорити про генетичну структуру утвореної популяції, на відміну від співвідношення тільки алелів у наборі елементів для моделювання.

По-друге, отримання першого співвідношення генотипів та генів є по суті початковим етапом роботи з моделлю – етапом побудови останньої.

По-третє, сукупність експериментальних дій у другому експерименті, спрямованих на поступове вилучення рецесивних гомозигот, а також відсутність будь – якого впливу на популяцію у першому експерименті, є другим етапом роботи з моделлю, тобто її дослідженням. Іншими словами, на другому етапі вивчається динаміка генетичної структури батьківської популяції в наступних поколіннях під дією певного фактору та без нього.

По-четверте, інтерпретація результатів експерименту здійснюється на основі аналізу та порівняння генетичної структури батьківської популяції із дочірніми. При цьому відбувається пошук відповіді на питання – які зміни відбулися з моделлю в ході експериментальних дій? В залежності від відповіді на це та інші питання [1] можливі наступні висновки з експериментування: модель відкидається, модель вписується у раніше засвоєні уявлення про об'єкт, модель стає фундаментом для побудови нових знань про об'єкт. Для нас важливими є два останні варіанти. Так, отримані результати остаточно переконують учнів у тому, що в ідеальних популяціях частоти генів та співвідношення генотипів із покоління в покоління зберігаються (результати першого експерименту), на відміну від популяцій, для яких умови достовірності закону Харді – Вайнберга порушуються (результати другого експерименту). Отже, результати експериментів є фактичним підтвердженням теоретичних знань, засвоєних учнями раніше.

З іншого боку, результати експериментів є підґрунтям для розуміння учнями первинних еволюційних процесів у популяціях, у тому числі формування уявлень про популяцію як елементарну одиницю еволюції, мікроеволюцію.

Вважаємо, що постановка модельних експериментів взагалі та з генетики й еволюції популяцій зокрема має переслідувати не тільки цілі, окреслені на початку статті. Справа в тому, що обидва розглянуті приклади передбачають вихідну заданість умов експериментування. Учні працюють із попередньо сформульованими темою, метою, виконують визначену послідовність експериментальних дій, формулюють висновок за складеним вчителем планом. Закономірно виникає питання, а чи в повній мірі оволодівають учні вмінням моделювання при цьому? Адже останнє передбачає, перш за все, побудову моделі, а не тільки її дослідження та аналіз результатів експериментування.

Вважаємо, що метод модельного експерименту повинен, насамперед, сприяти формуванню та розвитку в учнів вміння моделювання. При цьому це завдання є першочерговим для будь-якого модельного експериментування безвідносно до конкретного змісту останнього.

Пояснимо процес формування вміння моделювання динаміки генетичної структури популяції, звернувшись до основних етапів формування вмінь. На першому етапі – введення прийому – учні повинні усвідомити сутність процесу створення моделі генетичної структури популяції за допомогою набору елементів для моделювання. На другому етапі – виконання вправ за зразком (тренувальні вправи) – школярами вивчається динаміка генетичної структури популяції при відсутності факторів впливу на неї. На третьому етапі – закріплення прийому (творчі вправи) – досліджуються зміни в генетичній структурі популяції в поколіннях при дії на неї різних факторів, таких як природний відбір, міграції, мутації, дрейф генів.

Описані у статті експеримент №1 та експеримент № 2 відповідають другому та третьому етапам. Перший етап розкриємо нижче. Його прикінцевий опис у статті пояснюється логікою розмірковувань стосовно того, що є навчальною моделлю генетичною структури популяції. Підкреслимо, що у реальному навчанні описаний нижче етап відповідає етапу побудови моделі і передує експериментам № 1 та 2.

Спочатку організовується бесіда з повторення основних понять: ген, домінантний та рецесивний алелі, гомозигота, гетерозигота, популяція, генофонд, генетична структура популяції, закон Харді – Вайнберга та умови його достовірності, генетична рівновага, модель.

Експеримент проводиться демонстраційно. Для цього необхідно мати 100 червоних та 100 білих фішок, непрозорий пакет.

Вчитель формулює завдання: необхідно побудувати модель генетичної структури ідеальної популяції за двоухалельним аутосомним геном з кількістю особин 50. Вчитель самостійно визначає послідовність дій для побудови моделі та виконує їх.

1. Обчислюємо загальну кількість алелів двоухалельного гена у популяції з кількістю особин 50: $50 \times 2 = 100$ (алелів)

Отже, сума червоних та білих фішок має дорівнювати 100.

2. Визначаємося із співвідношенням домінантного та рецесивного алелів (наприклад, частки p та q дорівнюватимуть по 0,5, пам'ятаючи, що $p + q = 1$) і відбираємо відповідну кількість фішок (по 50 червоних та білих фішок).

3. Вміщуємо відібрані фішки у непрозорий пакет, перемішуємо їх.

4. Моделюємо співвідношення генотипів у популяції. Для цього, не зазираючи у пакет, дістаємо по 2 фішки і кладемо їх до однієї з трьох куп: до першої – пари червоних фішок (генотип AA), до другої – пари з червоної та

білої (генотип Аа), до третьої – пари білих фішок (генотип аа). Робимо так доти, доки не витягнемо всі фішки з пакету.

5. Підраховуємо кількість пар фішок у кожній купі, занотовуємо результати.

6. Обчислюємо отримані частоти генотипів. Формулюємо висновок про змодельовану генетичну структуру популяції.

Співвідношення алелів можна варіювати (наприклад, $p = 0,7$ та $q = 0,3$; $p = 0,2$ та $q = 0,8$), саме тому для демонстраційного експерименту рекомендуємо брати по 100 фішок кожного кольору.

Цей експеримент можна ускладнити, використавши евристичну бесіду. Для цього вчитель пропонує учням самостійно визначити послідовність дій, необхідних для побудови моделі. Найчастішими при цьому є дві помилки школярів. Перша – обмеження процесу побудови моделі відбором алелів у вибраному співвідношенні. Друга – цілеспрямований підбір пар алелів (фішок), які в сукупності дорівнюють заданому розміру модельної популяції. Якщо має місце перша помилка, хід евристичної бесіди слід спрямувати на повторення поняття «генетична структура популяції» і акцентування уваги учнів на відсутності у створеній моделі генотипів особин. Під час аналізу другої помилки вчитель відмічає цілеспрямований характер підбору пар алелів і пропонує подумати, яку з умов достовірності закону рівноваги генних концентрацій не дотримано.

Література:

1. Базыкин А.Д. Моделирование биологических процессов / А.Д. Базыкин // Биология в школе. – 1988. - № 4. - С. 5 – 9.
2. Бородин П.М. Модельные эксперименты по генетике и эволюции популяций / П.М. Бородин // Биология в школе. – 1987. - № 1, С. 49 – 53.
3. Булаева К.Б. Изучение закона Харди – Вайнберга в курсе общей биологии / К.Б. Булаева // Биология в школе. – 1977. - № 6. – С. 46 – 49.
4. Комарова О. Методологія біологічного експерименту в 9-му класі / О.Комарова // Біологія і хімія в школі. – 2010. - № 4. – С. 12-14.

5. Комарова О. Формування міжпредметних умінь формалізації та ідеалізації на уроках біології в 11 класі / О. Комарова // Біологія і хімія в сучасній школі. – 2012. - № 1. – С. 16 – 20
6. Комиссаров Б.Д. Методологические проблемы школьного биологического образования / Борис Дмитриевич Комиссаров. – М.: Просвещение, 1991. – 160 с.
7. Ракитов А.И. Анатомия научного знания / А.И. Ракитов. – М., Политиздат, 1969. – 206 с.
8. Сидорова Н.А. Математическое моделирование при изучении темы «Генетика и эволюция популяций» / Н.А. Сидорова // Биология в школе. – 2009. - № 6. - С. 27 – 29.
9. Философский словарь / [Под ред.И.Т. Фролова]. – 5-е изд. – М.: Политиздат, 1987. – 590 с.
10. Штофф В.А. Введение в методологию научного познания / В.А. Штофф. - Изд-во Ленинградского ун-та, 1972. - 192 с.

(Далі буде)

Кандидат педагогічних наук,
доцент кафедри зоології
Криворізького педагогічного інституту
державного вищого навчального закладу
«Криворізький Національний університет»
Комарова Олена Володимирівна