

УДК – 373.5.016:57

МОДЕЛЬНІ ЕКСПЕРИМЕНТИ ПІД ЧАС ВИВЧЕННЯ ЗАКОНУ ХАРДІ – ВАЙНБЕРГА

Олена КОМАРОВА, кандидат педагогічних наук, доцент кафедри зоології Криворізького педагогічного інституту державного вищого навчального закладу «Криворізький національний університет»

Анотація. У статті розглядається методика модельних експериментів з генетики й 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 описано особливості модельних експериментів за відсутності й наявності впливу на популяцію чинників динаміки її генетичної структури.

Ключові слова: модель, модельний експеримент, генетична структура популяції, чинники 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 моделировать. 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.

Keywords: 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» розглядалися окремі питання формування міжпредметних умінь учнів старшої школи під час вивчення біології [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 з розвитку вміння моделювання в учнів 11 класу під час вивчення 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'єкта тих властивостей, що 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]), що їх учений прагне вивчити в об'єкті; 2) модель відрізняється від об'єкта в інших аспектах, причому настільки, щоб ці відмінності робили прозорими ті риси і характеристики моделі, які роблять її замінником об'єкта, що вивчається [7, 108]. Іншими словами, модельні відношення будуються за принципом аналогії, а не тотожності [10, 90].

Аналогія – схожість нетотожних об'єктів у деяких аспектах, 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 в усьому, а лише в деяких аспектах;
- модель містить лише суттєві характеристики об'єкта або його частини.

Моделльний експеримент – особлива форма експерименту, для якого характерним є використання діючих моделей як 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 під час вивчення 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 чинники генетичної динаміки;
- модельні експерименти дають змогу 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 являє собою модель генетичної структури популяції й сформулюємо вимоги до останньої.

Зазначимо, що окремі питання постановки модельних експериментів з генетики та еволюції популяцій розглянуто в літературі [2; 3; 8]. Водночас у методиці навчання загальної біології немає чіткості у підходах 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 запитання, в яких зв'язках перебувають ці елементи в системі? Відповісти на це запитання можна, однак принаймні учням важко. Але ж саме школярі по-

винні розуміти, які характеристики реального об'єкта змодельовано.

Генетична структура популяції – частота різноманітних **алелів** у популяції і частотне (у відсотках) співвідношення різних **генотипів** (гомозигот і гетерозигот) у ній. У наборі елементів представлено 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 в користуванні;
- ♦ експлуатація та заміна елементів моделі не повинні потребувати значних матеріальних вкладень.

Розглянемо названі вимоги докладніше. Повернемося до означення *генетичної структури популяції*. Отже, в моделі мають бути представлені різні алелі. Виникає запитання, алелі скількох і яких генів? Учні знають, що в генотипі є велика кількість різних генів, які розташовані як в аутосомах, так й у статевих хромосомах; вони можуть бути представлені як двома, так і більшою кількістю алелів. Спираючись на вимоги до відношення моделі та об'єкта, наведені вище, 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 мають демонструвати як розподіл алелів, так і генотипів у популяції. Тому обидва алелі мають легко комбінуватися один з одним, але при цьому різнитися між собою.

Оскільки модельний експеримент демонструє ймовірнісний характер генетичних процесів, то й процес поєднання алелів учнями також 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, що формуються при цьому, можна мінімізувати. Для цього слід підібрати такі елементи моделі, які за тактильного контакту 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.

Різнитися між собою елементи моделі мають на етапі розпізнавання та підрахунку сформованих генотипів. Відбуватиметься це під час

зорового контакту з елементами моделі, представленими, наприклад, у двох кольорах.

Модель має бути пристосована до легкого багаторазового розбирання 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 в кабінеті бажано мати декілька наборів для моделювання. Це уможливить залучення до роботи більшої кількості учнів, одночасне проведення різних за метою експериментів. А найголовніше, можливим буде проведення одного за метою експерименту водночас у декількох повторах, що збільшить точність розрахунків під час обробки загальних результатів, а тому сприятиме формуванню стійких переконань про досліджувані закономірності.

У статті розкриємо методичні особливості постановки модельних експериментів з вивчення генетичної структури та еволюції ідеальних популяцій і популяцій, для яких не дотримано умови достовірності закону Харді – Вайнберга. Нижче розглянемо такі чинники генетичної динаміки популяції, як природний добір, 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 покоління популяції за відсутності дії чинників генетичної динаміки популяції [2; 3; 8].

Експеримент 1. Моделювання генетичної структури ідеальної популяції*.

Мета. З'ясувати співвідношення генотипів і частоти генів у поколіннях популяції за відсутності чинників впливу на її генетичну структуру.

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

ХІД РОБОТИ

1. Перемішайте фішки в пакеті.

2. Не зазираючи в 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 пакета. Так моделюється батьківська популяція.

3. Полічіть кількість пар фішок у кожній купі. Результати занесіть у рядок для батьківського покоління в табл. 1.

*Одна особина утворює 2 гамети.

4. Зберіть фішки в пакет, перемішайте та повторіть дії № 2 і 3 послідовно ще двічі, заповнюючи відповідно рядки в таблиці для першого та другого покоління.

5. Обчисліть частоти генотипів та генів (алелів) у кожному поколінні.

6. Сформулюйте висновки згідно з планом [8]:

- співвідношення частот генотипів у поколіннях;
- співвідношення частот генів у поколіннях;
- напрям еволюційних змін.

Т а б л и ц я 1

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

У методичній літературі [2; 8] наводиться інша форма таблиці для заповнення (див. таблицю 2). Там же пропонується під час обробки результатів модельних експериментів обчислювати частоти генів у поколіннях за формулами:

$$p = (D + 0,5H)/N; q = (R + 0,5H)/N,$$

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 матиме такий вигляд.

Т а б л и ц я 2

Покоління	Розподіл генотипів			Частота алелів	
	AA	Aa	aa	A(p)	A(q)
0	23	24	3	0,7	0,3
1	66	18	6	0,7	0,3
2	24	22	4	0,7	0,3
Сума	73	64	13	0,7	0,3

Обчислити частоти генів можна і в інший спосіб, а саме добувши квадратний корінь із частоти гомозиготи. У такому випадку заповнена таблиця 1 матиме такий вигляд (далі у статті посилатимемося саме на заповнений варіант таблиці) (табл. 3).

Т а б л и ц я 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	0,68	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
Разом	150	73	0,49	64	0,42	13	0,09	0,7	0,3

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

Дані, що їх занесено до обох таблиць, різняться за:

- повнотою розрахунків: у табл. 1 наведено **частоти** всіх можливих **генотипів**;
- обчисленням у табл. 1 **середнього арифметичного значення** частот кожного з генотипів і генів за результатами трьох експериментів;
- **розбіжностями** обчислених **частот генів (алелів)** у табл. 1 порівняно зі **сталістю** таких у табл. 2.

Зрозуміло, що варіант обробки результатів у табл. 2 є спрощеним порівняно з табл. 1, але обидва дають змогу сформулювати **найголовніший висновок** – в ідеальних популяціях співвідношення частот генів і генотипів залишаються сталими з покоління в покоління.

Дані, що їх занесено до табл. 1, 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 обчисленнях*. Крім того, однією з умов достовірності закону Харді – Вайнберга є великий розмір популяції, але це неможливо змодельювати в умовах шкільного експерименту. Також доцільно зазначити, що результати біологічних експериментів, навіть поставлених у строго контрольованих умовах, можуть надзвичайно різнитися між собою, оскільки «жива природа надзвичайно різноманітна та складна для математичного опису» [1].

Оскільки розмір модельної популяції не змінюється в поколіннях, на популяцію не впливають чинники, що змінюють її генетичну структуру, можна умовно вважати, що *експеримент повторений тричі*, а значить можна знайти середні арифметичні значення частот генотипів та генів. Як бачимо, підсумовує вчитель, середні арифметичні частот генів у табл. 1 збігаються із частотами генів, наведених у табл. 2. Отже, зі збільшенням кількості проаналізованих поколінь моделі генетичної структури ідеальної популяції зростатиме точність обчислених частот генів.

Знаходження співвідношення середніх арифметичних значень частот генотипів у табл. 1 дає змогу продемонструвати учням той факт, що в ідеальній популяції співвідношення частот генотипів відповідає рівнянню Харді – Вайнберга $p^2 + 2pq + q^2 = 1$, а саме $0,49 + 0,42 + 0,9 = 1$.

Під час проведення вище описаного експерименту, а також наступних треба пам'ятати, що незалежно від того, скільки алелів має певний ген у популяції і яким є характер взаємодії між ними, суми частот алелів і генотипів, що ними утворено, завжди дорівнюватимуть одиниці. Пи-

тання полягає в іншому – чи змінюватимуться співвідношення частот генотипів та генів у поколіннях і чому? Саме тому пропонування учням для заповнення та подальшого аналізу табл. 1 порівняно з табл. 2 видається нам ефективнішим способом формування переконань про співвідношення генів і генотипів і напрям еволюційних змін у популяції за відсутності дії на неї чинників генетичної динаміки.

Експеримент 2. Моделювання генетичної структури популяції під дією природного добору*.

Мета. З'ясувати напрям еволюційних змін у популяції за умови 100 %-ї життєздатності домінантних гомозигот та гетерозигот і нежиттєздатності рецесивних гомозигот.

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

ХІД РОБОТИ

1. Перемішайте фішки в пакеті.
2. Діставайте по 2 фішки з пакета і кладіть їх до однієї із 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 пакета. Так моделюється батьківська популяція.
3. Обчисліть кількість пар фішок у кожній купі. Результати занесіть у рядок для батьківського покоління в табл. 4.
4. Зберіть фішки в пакет, перемішайте та повторіть дію № 2. Обчисліть кількість пар фішок у кожній купі. Результати занесіть у рядок для першого покоління в табл. 4. Фішки з третьої купи відкладіть і не включайте їх до загальної кількості особин. Так ми видаляємо рецесивні гомозиготи з популяції, усвідомлюючи при цьому, що рецесивні гомозиготні генотипи утворюються, але є нежиттєздатними (у таблиці відповідні клітинки позначено сірим кольором). Зберіть фішки в пакет з перших двох куп.
5. Виконайте дію № 4 ще 5 разів, щоразу 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 4

Покоління	Кількість особин	Розподіл генотипів						Частота алелів	
		AA	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

*Одна особина утворює 2 гамети.

Під час заповнення цієї таблиці, а саме обчислення частот алелів можна користуватися як формулами, наведеними в першому експерименті, так і визначати частоту домінантного алеля шляхом добування квадратного кореня з частоти домінантних гомозигот, а частоту рецесивного – із добутку $2 \times p \times q$. Добувати квадратний корінь з частоти рецесивних гомозигот неможливо, оскільки такі генотипи на певному етапі онтогенезу елімуються з популяції. Одразу зазначимо, що в цілому результати обчислень кожного з обраних способів збігатимуться, відмінності будуть лише у сотих частках. Вони зумовлюються незначною чисельністю популяції, тобто тією самою причиною, що й у першому модельному експерименті.

Сформулюйте висновки згідно з планом (див. експеримент 1, п. 6).

Із заповненої таблиці видно, що в популяції за умови 100 %-ї життєздатності домінантних гомозигот та гетерозигот і нежиттєздатності рецесивних гомозигот у поколіннях:

- збільшується частота домінантних гомозигот, зменшується частота гетерозигот;
- збільшується частота домінантного алеля (p) і відповідно зменшується частота рецесивного алеля (q);
- у процесі еволюції такої популяції рецесивний алель поступово переходить у гетерозиготний стан. Частота виникнення рецесивних гомозигот зменшується, оскільки зі зниженням частоти гетерозигот зменшується ймовірність схрещування останніх. Можна очікувати, що в такій популяції за подальшого збереження умов, а саме вказаної життєздатності генотипів, їх плідності, панміксії та відсутності впливу інших чинників, у майбутньому рецесивний алель повністю елімується.

Під час проведення експерименту в учнів може виникнути запитання, 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 чинника, 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 й гинуть. З цієї причини, пояснює вчитель, рецесивні гомозиготи видалялися з дочірніх популяцій.

Зазначимо, що описаний експеримент у надзвичайно спрощеному вигляді моделює ті процеси, які відбуваються у природних популяціях за зміни умов існування. Зміна умов середовища і як результат – боротьба членів популяції за існування з абіотичними чинниками середови-

ща, розширення або звуження норми реакції, утворення потомства найпристосованішими особинами і загибель непристосованих, тобто дія природного добору відбувається в природних популяціях поступово, повільніше, ніж це змодельовано в експерименті. Вчителю слід звернути на це увагу учнів у ході обговорення отриманих результатів, але водночас підкреслити, що в модельному експерименті змодельовано загальну тенденцію динаміки генетичної структури популяції під дією певного чинника.

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 і співвідношення частот генів, тобто співвідношення частот генотипів і 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 в генотипи, тому можна впевнено говорити про генетичну структуру утвореної популяції на відміну від співвідношення тільки алелів у наборі елементів для моделювання.

По-друге, отримання першого співвідношення генотипів і 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 в 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 чинника і без нього.

По-четверте, інтерпретація результатів експерименту здійснюється на основі аналізу й порівняння генетичної структури батьківської популяції із дочірніми. При цьому відбувається пошук відповіді на запитання: які зміни відбулися з моделлю в ході експериментальних дій? Залежно від відповіді на це та інші запитання [1] можливі такі висновки з експериментуван-

ня: модель відкидається, модель вписується в 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 і 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.

Водночас 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 на меті не тільки цілі, окреслені на початку статті. Річ у тім, що обидва розглянуті приклади передбачають вихідну заданість умов експериментування. Учні працюють із попередньо сформульованими темою, метою, виконують визначену послідовність експериментальних дій, формулюють висновок за планом, складеним учителем. Закономірно виникає запитання, а чи повною мірою оволодівають учні вмінням моделювання при цьому? Адже останнє передбачає передусім побудову моделі, а не тільки її дослідження та аналіз результатів експериментування.

Вважаємо, що метод модельного експерименту має насамперед сприяти формуванню та розвитку в учнів умінь моделювати. Це завдання є першочерговим для будь-якого модельного експериментування безвідносно конкретного змісту останнього.

Пояснимо процес формування вміння моделювати динаміку 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) учні вивчають динаміку генетичної структури популяції за відсутності чинників впливу на неї. На *третьому етапі* (закріплення прийому – творчі вправи) досліджуються зміни в генетичній структурі популяції у поколіннях під дією різних чинників, таких як природний добір, міграції, мутації, дрейф генів.

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

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

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

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

1. Обчислюємо загальну кількість алелів двохалельного гена в популяції з кількістю особин $50 : 50 \cdot 2 = 100$ (алелів).

Отже, сума червоних та білих фішок має дорівнювати 100.

2. Визначаємося зі співвідношенням домінуючого та рецесивного алелів (наприклад, частки p і 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 в непрозорий пакет, перемішуємо їх.

4. Моделюємо співвідношення генотипів у популяції. Для цього, не зазираючи в 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 Aa), до третьої – пари білих фішок (генотип aa). Робимо так доти, доки не витягнемо всі фішки з пакета.

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

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

Співвідношення алелів можна варіювати (наприклад, $p = 0,7$ і $q = 0,3$; $p = 0,2$ і $q = 0,8$), 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. Найчастіше при цьому є дві помилки учнів. Перша – обмеження процесу побудови моделі добором алелів у вибраному співвідношенні. Друга – цілеспрямований підбір пар алелів (фішок), які в сукупності дорівнюють заданому розміру модельної популяції. Якщо має місце перша помилка, то хід евристичної бесіди слід спрямувати на повторення поняття «генетична структура популяції» і акцентувати увагу учнів на відсутності у створеній моделі генотипів особин. Під час аналізу другої помилки вчитель підкреслює цілеспрямований характер підбору пар алелів і пропонує визначити, яку з умов достовірності закону рівноваги генних концентрацій не дотримано.

ЛІТЕРАТУРА

1. Базыкин А. Д. Моделирование биологических процессов / А. Д. Базыкин // Биология в шк. – 1988. – № 4. – С. 5 – 9.
2. Бородин П. М. Модельные эксперименты по генетике и эволюции популяций / П. М. Бородин // Там же. – 1987. – № 1. – С. 49 – 53.
3. Булаева К. Б. Изучение закона Харди – Вайнберга в курсе общей биологии / К. Б. Булаева // Там же. – 1977. – № 6. – С. 46 – 49.
4. Комарова О. Методология биологического эксперимента в 9 класі / О. Комарова // Биология і хімія в шк. – 2010. – № 4. – С. 12–14.
5. Комарова О. Формування міжпредметних умінь формалізації та ідеалізації на уроках біології в 11 класі / О. Комарова // Биология і хімія в сучас. шк. – 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 шк. – 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. – Л.: Изд-во Ленинград. ун-та, 1972. – 192 с.

(Далі буде)

УДК 371.13:54(07)

ХІМІЧНИЙ ЕКСПЕРИМЕНТ УЖИТКОВОГО ХАРАКТЕРУ*

Андрій ГРАБОВИЙ, кандидат педагогічних наук, доцент, професор Черкаського національного університету ім. Богдана Хмельницького

Дослід 2. Адсорбція активованим вугіллям купрум(II)-іонів.

Реактиви та обладнання: активоване вугілля (аптечні пігулки); розчини: купрум(II) сульфат ($c = 0,1$ моль/л), натрій гідроксид ($c = 0,1$ моль/л), два хімічні стакани місткістю 100 – 150 мл, скляні палички.

Техніка виконання

У два хімічні стакани наливають воду об'ємом 50 – 60 мл і додають розчин купрум(II) сульфату об'ємом 2 мл. Уміст стаканів перемішують скляною паличкою. Потім в 1-й стакан додають 2 мл розчину натрій гідроксиду. Спостерігають випадання блакитного осаду: $\text{CuSO}_4 + 2\text{NaOH} = \text{Cu}(\text{OH})_2 \downarrow + \text{Na}_2\text{SO}_4$

У 2-й стакан додають дві пігулки активованого вугілля. Вміст стакану добре перемішують

і дають відстоятися. До відстояного розчину додають 2 мл розчину натрій гідроксиду. Ефекту реакції не спостерігають. Роблять висновок, що активоване вугілля виявляє адсорбційні властивості.

Екологічне спрямування ужиткового експерименту виявляється через висвітлення впливу хімічних чинників на здоров'я людини, пояснення згубної дії алкоголю, наркотичних речовин, куріння.

Вивчаючи зазначені питання в 9 та 11 класах, вчитель може продемонструвати денатурацію білка під дією етанолу.

Дослід 3. Денатурація білка під дією етанолу.

Реактиви та обладнання: етиловий спирт ($w = 96\%$), білок курячого яйця ($w = 1\%$), хімічний стакан місткістю 50 мл, скляна паличка.

* Закінчення. Початок див.: «Биология і хімія в сучас. шк.». – 2013. – №3.
© Грабовий А. К., 2013