

Під час складання тесту треба пам'ятати, що тестові завдання мають бути: *правильними* – не допускати вільного тлумачення в тексті завдання; *однозначними* – виключати можливість формулювання багатозначних відповідей; *відносно короткими* – обмежувати кількість слів у тексті завдання; *технологічними* – забезпечувати можливість співвіднести кількісну оцінку виконання тесту зі шкалою вимірювання та давати змогу здійснювати математичну обробку результатів; *придатними* – забезпечувати вимірювання рівня навченості широкого контингенту учнів, які оволодівають однаковим обсягом знань на однаковому рівні навчання.

Отже, з'ясувавши сутність понять «педагогічний тест», «тестування», вимоги, правила та принципи розроблення завдань, різних за формою, ми дійшли висновку, що ретельне виконання визначених правил дає змогу формувати культуру тестування як в учнів, так і вчителів. Але лише цими правилами обмежуватися не можна. Так, потребує подальшого удосконалення методика впровадження комбінованого використання тестів з іншими засобами навчання і контролю знань. Перспективним є пошук зв'язків між здатністю учнів засвоювати хімічний навчальний зміст із

загальними психодіагностичними показниками людського інтелекту з метою створення найбільш ефективних методик навчання хімії.

ЛІТЕРАТУРА

1. Аванесов В. С. Композиция тестовых заданий / В. С. Аванесов. – М.: Центр тестирования, 2002. – 105 с.
2. Бершадский М. Е., Гузеев В. В. Мониторинг учебного процесса. – Измерительные инструменты / М. Е. Бершадский, В. В. Гузеев // Химия в шк. – 2002. – № 10. – С. 15–21.
3. Булах І. Є., Мруга М. Р. Створюємо якісний тест: навч. посіб. / І. Є. Булах, М. Р. Мруга. – К.: Майстер-клас. – 2006. – 160 с.
4. Ингенкамп К. Педагогическая диагностика / К. Ингенкамп. – Сер. «Зарубеж. Шк. и педагогика». – М.: Педагогика, 1991. – 239 с.
5. Романенко Ю. А., Олійник М. М. Проблеми валідації системи тестів з хімії для контролю знань учнів загальноосвітньої школи / Ю. А. Романенко, М. М. Олійник // Педагогіка і психологія. – 2002. – № 1 – 2(34 – 35). – С. 41 – 52.
6. Челышкова М. Б. Теория и практика конструирования педагогических тестов: учеб. пособие / М. Б. Челышкова. – М.: Логос, 2002. – 432 с.

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»

У цій статті продовжимо розмову про методичні особливості модельних експериментів з генетики й еволюції популяцій. Розглянемо моделювання впливу на популяцію таких чинників її генетичної динаміки, як потік генів, випадкові неспрямовані процеси, що спричиняють дрейф генів, мутації.

Потік генів – обмін генами між популяціями, що здійснюється у формі нерегулярних спарювань між особинами, проникнення в дану популяцію тварини, яка народилася в іншому місці, або ж внесення чужого насіння або пилку [5, 130].

Потоком генів називають переміщення алелів з однієї популяції в іншу в результаті

Закінчення. Початок див.: «Біологія і хімія в сучас. шк.». – 2013. – № 4.
© Комарова О. В., 2013

схрещувань між членами цих двох популяцій [4, 288]. Вважається, що потік генів підсилює генетичну мінливість у популяціях, але його дія на процес еволюції виду є консервативною. Це пояснюється тим, що, поширюючи мутантні алелі серед популяцій, потік генів приводить до зменшення відмінностей між ними.

Перед проведенням експерименту з моделювання потоку генів учитель формулює завдання: «Уявіть, що існують дві популяції тварин: популяція А чисельністю 30 особин і популяція В чисельністю 15 особин. Частота домінантного алеля у першій популяції – 0,8, у другій – 0,4. Змодельуйте в ході експерименту генетичну структуру першого покоління популяції С, що утвориться в результаті злиття популяцій А та В».

У процесі обговорення етапів експерименту насамперед визначають необхідну кількість червоних і білих фішок. Нагадаємо, що червоні фішки – домінуючі алелі, білі фішки – рецесивні алелі.

Учитель. Скільки домінуючих алелів досліджуваного гена є в популяції А? Яка частота рецесивного алеля та скільки рецесивних алелів досліджуваного гена є в популяції А?

Учні міркують приблизно так: якщо в популяції А є 30 особин, а досліджуваний ген двохалельний, значить, кількість алелів цього гена дорівнює 60. Оскільки, за умовою завдання, частота домінуючого алеля становить 0,8, значить кількість домінуючих алелів дорівнює: $60 \cdot 0,8 = 48$. Далі обчислюється частота рецесивного алеля: $q = 1 - p$, $q = 1 - 0,8 = 0,2$ та кількість рецесивних алелів: $60 - 48 = 12$.

Відповідь: у популяції А кількість домінуючих алелів становить 48, рецесивних – 12. Необхідно взяти 48 червоних та 12 білих фішок.

Аналогічно обчислюється кількість фішок для популяції В. Для неї треба взяти 12 червоних та 18 білих фішок.

Експеримент 1. Моделювання впливу потоку генів на генетичну структуру популяції”.

Мета. З'ясувати вплив потоку генів на генетичну структуру популяції.

Матеріали: 48 червоних та 12 білих фішок для популяції А, 12 червоних та 18 білих фішок для популяції В, 2 непрозорі пакети.

Примітка. Одна особина утворює 2 гамети.

ХІД РОБОТИ

1. Розкладіть фішки для обох популяцій в окремі пакети. Перемішайте фішки в кожному з них.

2. Не зазираючи в перший пакет, 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 генетична структура популяції А.

3. Обчисліть кількість пар фішок у кожній купі. Результати занесіть у рядок для популяції А таблиці 1.

4. Виконайте дії п. 2 та п. 3 із фішками з другого пакета, моделюючи генетичну структуру популяції В. Результати занесіть у рядок для популяції В таблиці 1.

5. Зберіть усі фішки у один пакет, перемішайте та повторіть дії № 2 та 3 послідовно двічі, заповнюючи відповідно рядки у таблиці для новоутвореної популяції С та її першого покоління. Так моделюємо процес злиття популяції А та В.

6. Обчисліть частоти генотипів та генів у кожній популяції, заповніть таблицю 1.

7. Сформулюйте висновок за планом:

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

У заповненому вигляді табл. 1 може мати такий вигляд.

Таблиця 1

Популяція	Кількість особин	Розподіл генотипів						Частота алелів	
		AA		Aa		Aa		A(p)	a(q)
A	30	19	0,64	10	0,33	1	0,03	0,8	0,2
B	15	3	0,2	6	0,4	6	0,4	0,4	0,6
C	45	23	0,51	14	0,31	8	0,18	0,67	0,33
F ₁	45	24	0,53	12	0,27	9	0,2	0,67	0,33

Для обчислення частот генів використовуються формули:

$$p = (D + 0,5H)/N, \quad (1)$$

$$q = (R + 0,5H)/N, \quad (2)$$

де p – частота домінуючого алеля; q – частота рецесивного алеля; D – кількість домінуючих гомозигот; R – кількість рецесивних гомозигот; H – кількість гетерозигот; N – загальна кількість членів популяції.

У ході обговорення школярі формулюють висновок, що, по-перше, частоти генів і генотипів в утвореній популяції С змінилися порівняно з такими у вихідних популяціях А та В. По-друге, частоти генів і генотипів залишаються відносно сталими в першому поколінні F₁ порівняно з батьківською популяцією С. Це пояснюється тим, що після об'єднання на змішану популяцію більше не чинять дію фактори генетичної динаміки і зберігаються умови достовірності закону Харді – Вайнберга.

Учитель підкреслює, що незначні відмінності в обчислених частотах генотипів у першому поколінні порівняно з батьківською популяцією С пояснюються її невеликим розміром (45 особин). Зміни в генетичній структурі популяцій у разі потоку генів (у нашому випадку – злитті цілих популяцій) полягають у встановленні нового співвідношення генів у змішаній популяції та його збереженні в поколіннях за відсутності подальшої дії факторів генетичної динаміки.

Розрахувати частоти генів можна і в інший спосіб – обчисленням квадратних коренів із частот гомозигот. У такому випадку матимуть місце певні розбіжності між обчисленими частотами генів у батьківській популяції С, першому поколінні F₁ та значеннями цих частот, обчислених за формулою (3). Причини таких розбіжностей та обговорення їх з учнями наведено в першій частині статті під час розгляду методики постановки експерименту «Моделювання генетичної структури ідеальної популяції».

Змоделювати генетичну структуру першого покоління популяції С можна в ході логічних

міркувань, не вдаючись до методу експериментування. Це пропонує школярам зробити вчитель. Для цього на першому етапі слід скористатися формулою для обчислення частоти алеля при змішуванні популяцій [2, 198]:

$$P_{\text{зміш}} = (P_1 \times P_1 + P_2 \times P_2) / N, \quad (3)$$

де $P_{\text{зміш}}$ – частота алеля А у новій за складом популяції; P_1 – частота алеля А у першій популяції; P_2 – частота алеля А у групі прибульців; P_1 – кількість особин у першій популяції; P_2 – кількість особин у групі прибульців; N – число особин у змішаній популяції.

За вище наведеною формулою обчислюється частота домінантного алеля p у популяції С: $(30 \cdot 0,8 + 15 \cdot 0,4) / 45 = 0,67$. Частота рецесивного алеля q дорівнюватиме: $q = 1 - p = 1 - 0,67 = 0,33$.

Другим етапом є обчислення частот генів для першого покоління змішаної популяції. Учитель нагадує, що експериментальні дії виконувати не потрібно, частоти алелів необхідно визначити в ході логічних міркувань. У результаті обговорення школярі мають дійти висновку, що частоти алелів у першому поколінні популяції С за відсутності дії факторів генетичної динаміки залишаться сталими порівняно з батьківською популяцією. Причиною цього є дія закону рівноваги генних концентрацій.

Підсумуємо, що під час постановки експерименту з моделювання впливу потоку генів на генетичну структуру популяції увагу учнів слід акцентувати не тільки на зміні частот генів і генотипів у змішаній популяції, а й на збереженні встановленого їх співвідношення в наступних поколіннях за умови відсутності подальшої дії факторів генетичної динаміки.

Вище наведено найпростіший спосіб моделювання впливу потоку генів на генетичну структуру популяції. Експеримент із такою самою метою можна провести за іншою схемою, а завдання для учнів сформулювати таким чином: «Уявіть, що існує дві популяції тварин – популяція А чисельністю 30 особин і популяція В чисельністю 15 особин. Частота домінантного алеля у першій популяції – 0,8, у другій популяції – 0,4. Третина особин першої популяції мігрувала до другої та схрестилася з нею. Змоделуйте в ході експерименту генетичну структуру першого покоління популяції С, що утвориться в результаті злиття $1/3$ частини популяції А та всієї популяції В. Змоделуйте генетичну структуру першого покоління популяції А після міграції з неї $1/3$ частини особин».

Укажемо, що у схемі цього експерименту матимуть місце додаткові дії порівняно з першим експериментом, а саме: неспрямоване вилучення з популяції А 10 мігруючих особин (20 фішок) і моделювання генетичної структури першого покоління популяції А після цього.

Дрейф генів – зміна генних частот, яка не є прямим результатом природного відбору [5, 188].

Дрейф генів – генетико-автоматичні процеси, зміни частоти генів у популяції в ряду поколінь під дією випадкових (стохастичних) чинників, що призводить, як правило, до зниження спадкової мінливості популяцій [3, 184]. Дрейф генів є важливим механізмом еволюційних змін у невеликих та ізольованих популяціях. Випадковий дрейф генів непередбачуваний, оскільки невелику популяцію може призвести до загибелі, може зробити її більш пристосованою до даного середовища, а може посилити її дивергенцію від батьківської популяції [4, 287].

Дрейф генів – процес різкої ненаправленої зміни частот алелів у популяції за зменшення її чисельності. «Найчастіше дрейф генів пов'язаний зі стихійними лихами чи екологічними катастрофами (пожежа в лісі, повінь тощо). Це призводить до різкого зниження чисельності популяцій (так званий *ефект шийки пляшки*), а невелика група особин, які залишилися, формують нову популяцію зі зміненими частотами алелів і генотипів (*ефект засновника*) [1, 182].

Перед проведенням експерименту з моделювання дрейфу генів учитель формулює завдання: «Уявіть, що існує популяція лісових тварин чисельністю 50 особин. Частота домінантного алеля у популяції – 0,7. Раптово у лісі виникла пожежа, в результаті якої вижила $1/10$ частина популяції. Змоделуйте в ході експерименту генетичну структуру цієї популяції в першому поколінні».

Кількість необхідних для моделювання червоних та білих фішок обчислюється так, як описано для експерименту 1.

Експеримент 2. Моделювання впливу випадкових процесів на генетичну структуру популяції, моделювання дрейфу генів*.

Мета. З'ясувати вплив випадкових факторів на генетичну структуру популяції, змоделувати дрейф генів.

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

*Примітка. Одна особина утворює 4 гамети.

ХІД РОБОТИ

1. Покладіть фішки до пакета і перемішайте їх.
2. Не зазираючи у пакет, 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 генетична структура батьківської популяції.
3. Полічіть кількість пар фішок у кожній купі. Результати занесіть у рядок для батьківської популяції P_1 (табл. 2).

4. Зберіть усі фішки в один пакет, перемішайте. Не зазираючи у пакет, дістаньте з нього почергово 5 пар фішок і покладіть кожну з пар до однієї з трьох куп. Всі інші фішки відкладіть окремо. Так моделюється процес виживання $1/10$ частини популяції.

5. Полічіть кількість пар фішок у кожній купі. Результати занесіть у рядок для батьківської популяції P_2 (табл. 2).

6. Пам'ятаючи, що кожна особина дає 4 гамети, покладіть у пакет відповідну кількість фішок (20 фішок).

7. Повторіть дії 2 та 3 ще один раз. Результати занесіть у рядок для F_1 (табл. 2). Так моделюється генетична структура першого покоління популяції після стихійного лиха.

8. Обчисліть частоти генотипів та генів у кожній популяції, заповніть табл. 2.

Таблиця 2

Популяція	Кількість особин	Розподіл генотипів						Частота алелів	
		AA		Aa		Aa		A(p)	a(q)
P_1	50	25	0,5	20	0,4	5	0,1	0,7	0,3
P_2	5	1	0,2	4	0,8	-	-	0,6	0,4
F_1	10	3	0,3	6	0,6	1	0,1	0,6	0,4

9. Сформулюйте висновок згідно з планом:

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

У заповненому вигляді табл. 2 може мати такий вигляд.

Частоти генів обчислюються за тими самими формулами, що й для експерименту 1.

Оскільки дія стихійного лиха є неспрямованою, можливі й інші варіанти генетичної структури популяції P_2 та F_1 за тих самих вихідних умов (табл. 3).

Таблиця 3

Популяція	Кількість особин	Розподіл генотипів						Частота алелів	
		AA		Aa		Aa		A(p)	a(q)
P_1	50	25	0,5	20	0,4	5	0,1	0,7	0,3
P_2	5	3	0,6	2	0,4	-	-	0,8	0,2
F_1	10	7	0,7	2	0,2	1	0,1	0,8	0,2

Експеримент з дрейфом генів доцільно повторити мінімум двічі. Це необхідно для того, щоб продемонструвати випадковість загибелі однієї частини популяції та виживання іншої. При цьому учні переконуються в неспрямованому характері встановлення генетичної структури дочірньої популяції.

Аналізуючи експериментальні дані, школярі відмічають, що частоти генотипів та генів у вихідній популяції та дочірній різняться між собою. Під дією неспрямованих факторів та випадковому виживанні особин генетична струк-

тура дочірньої популяції є непередбачуваною і багатоваріантною.

Дія випадкових процесів на батьківську популяцію може приводити до дрейфу генів, а еволюційними змінами в генетичній структурі дочірньої популяції буде встановлення нового співвідношення алельних генів та його збереження в поколіннях за відсутності подальшої дії факторів генетичної динаміки.

Експерименти із впливу мутацій на генетичну структуру популяції наведемо у двох варіантах, а саме змодельуємо виникнення корисних та шкідливих (летальних) мутацій.

Перед проведенням експерименту з моделювання впливу корисних мутацій учитель формулює завдання: «Уявіть, що існує популяція комах чисельністю 50 особин. Частота домінуючого алеля у популяції – 0,7. На популяцію подіяли сильнодіючим інсектицидом. У 4 статевих клітинах відбулася мутація гена a на ген a^m . В наступних поколіннях організми з генотипами AA, Aa та aa стали нежиттєздатними, організми з генотипами Aa^m , aa^m та a^ma^m – життєздатними носіями мутантного гена. Змодельуйте в ході експерименту генетичну структуру цієї популяції у п'яти поколіннях».

Кількість необхідних для моделювання червоних та білих фішок обчислюється так, як описано для експерименту 1. Крім того, для проведення експерименту потрібно 20 фішок (**) зеленого кольору, які слугуватимуть моделями мутантного гена a^m .

Експеримент 3. Моделювання впливу мутацій на генетичну структуру популяції.

Мета. З'ясувати вплив мутацій на генетичну структуру популяції*.

Матеріали: 70 фішок червоного кольору, 30 фішок білого кольору, 20 фішок зеленого кольору, 1 непрозорий пакет.

*Примітка. Одна особина утворює 2 гамети.

ХІД РОБОТИ

1. Покладіть червоні та білі фішки до пакета, перемішайте їх

2. Не зазираючи у пакет, 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 генетична структура батьківської популяції.

3. Полічіть кількість пар фішок у кожній купі. Результати занесіть у рядок для батьківської популяції P (табл. 4).

4. Відкладіть окремо 4 білі фішки. Зберіть всі інші білі та червоні фішки, додайте 4 зелені та покладіть їх у пакет, перемішайте. Так моделюється процес мутації гена a в ген a^m . Співвідношення алельних нормальних та мутантних генів наведено у рядку P_m (табл. 4).

Таблиця 4

Популяція	Кількість особин	Розподіл генотипів										Частота алелів				
		AA		Aa		aa		Aa ^m		aa ^m		a ^m a ^m		A(p)	a(q)	a ^m (q ^m)
P	50	24	0,48	22	0,44	4	0,08							0,7	0,3	0
P _m	50													0,7	0,26	0,04
F ₁	4	25	0	16	0	5	0	4	1					0,5	0	0,5
F ₂	3	1	0					2	0,67			1	0,33	0,33	0	0,67
**F ₂	15													0,33	0	0,67
F ₃	12	3	0					4	0,33			8	0,67	0,17	0	0,83
F ₄	12							4	0,33			8	0,67	0,17	0	0,83
F ₅	12							4	0,33			8	0,67	0,17	0	0,83

**Примітка. Подальше моделювання здійснюється на модельній популяції більшого розміру. Для подальшого експериментування з F₂ кількість особин збільшено у 5 разів (15 особин). Кількість необхідних для моделювання червоних та зелених фішок обчислюється так, як описано для експерименту 1, а саме червоних фішок потрібно 10, зелених – 20 штук. Це відповідає співвідношенню алелів у F₂.

5. Не зазираючи у пакет, діставайте по 2 фішки і кладіть їх до однієї з шести куп: до першої – пари червоних фішок, до другої – пари з червоної та білої, до третьої – пари білих фішок, до четвертої – пари з червоної та зеленої, до п'ятої – пари з білої та зеленої, до шостої – пари зелених фішок. Робіть так доти, доки не витягнете всі фішки з пакета.

6. Полічіть кількість пар фішок у кожній купі. Результати занесіть у рядок для F₁ (табл. 4).

7. Пам'ятаючи про життєздатність генотипів, відкладіть окремо нежиттєздатні (у таблиці відповідні клітинки пофарбовано сірим кольором). Так моделюється генетична структура першого покоління популяції після дії інсектициду. Зберіть фішки у пакет з куп, що залишились.

8. **Повторіть дії 5 – 7 ще чотири рази. Результати занесіть у відповідні рядки табл. 4. Так моделюються генетичні структури другого – п'ятого поколінь популяції. Іншими словами, так моделюється процес поширення мутантного гена.

9. Обчисліть частоти генотипів та генів у P та F₁ – F₅, заповніть табл. 4.

10. Сформулюйте висновок згідно з планом:

- співвідношення частот генотипів у популяції;

- співвідношення частот генів у популяції;
- напрямок еволюційних змін.

Обговорення результатів третього експерименту слід спрямувати так, щоб учні усвідомили корисність мутації a – a^m.

Учитель. Проаналізуйте дані експерименту і визначте, шкідливою чи корисною є дана мутація для організмів.

Можливо, учні відмітять, що мутація є шкідливою, оскільки 50 % усіх генотипів виявилися нежиттєздатними. У такому разі слід наголосити на тому, що всі генотипи, які містять мутантний ген, є життєздатними. Це означає, що мутація,

спричинена дією хімічної сполуки, виявилася корисною для популяції. Вона забезпечила виживання тих організмів, генотипи яких містили мутантний ген. Іншими словами, мутація підвищила пристосованість членів популяції до дії несприятливого чинника.

Перед проведенням експерименту з моделювання впливу шкідливих (летальних) мутацій учитель формулює завдання: «Уявіть, що існує популяція комах чисельністю 50 особин. Частота домінуючого алеля в популяції – 0,7. Тварин піддали впливу рентгенівського випромінювання. У 4 статевих клітинах відбулася мутація гена a на ген a^m. У наступних поколіннях організми з генотипом a^ma^m стали нежиттєздатними, з генотипами Aa^m, aa^m – життєздатними носіями летального гена. Організми з генотипами AA, Aa та aa також зберегли життєздатність. Змоделюйте в ході експерименту генетичну структуру цієї популяції в п'яти поколіннях».

Кількість необхідних для моделювання червоних та білих фішок обчислюється так, як описано для експерименту 1. Крім того, для проведення експерименту потрібно 4 фішки зеленого кольору, які слугуватимуть моделями мутантного гена a^m.

Експеримент 4. Моделювання впливу мутацій на генетичну структуру популяції.

Мета. З'ясувати вплив мутацій на генетичну структуру популяції*.

Матеріали: 70 фішок червоного кольору, 30 фішок білого кольору, 4 фішки зеленого кольору, 1 непрозорий пакет.

*Примітка. Одна особина утворює 2 гамети.

ХІД РОБОТИ

1. Покладіть червоні та білі фішки до пакета, перемішайте їх.

2. Не зазираючи у пакет, діставайте по 2 фішки і кладіть їх до однієї з трьох куп: до пер-

шої – 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 генетична структура батьківської популяції.

3. Полічіть кількість пар фішок у кожній купі. Результати занесіть у рядок для батьківської популяції P (табл. 5).

4. Відкладіть окремо 4 білі фішки. Зберіть всі інші білі та червоні фішки, додайте 4 зелені та покладіть їх у пакет, перемішайте. Так моделюється процес мутації гена a в ген a^m . Співвідношення алейних нормальних та мутантних генів наведено у рядку P_m (табл. 5).

5. Не зазираючи у пакет, діставайте по 2 фішки і кладіть їх до однієї з шести куп: до першої – пари червоних фішок, до другої – пари з червоної та білої, до третьої – пари білих фішок, до четвертої – пари з червоної та зеленої, до п'ятої – пари з білої та зеленої, до шостої – пари зелених фішок. Робіть так доти, доки не витягнете всі фішки з пакета.

6. Полічіть кількість пар фішок у кожній купі. Результати занесіть у рядок для F_1 (табл. 5).

7. Пам'ятаючи про життєздатність генотипів, відкладіть окремо нежиттєздатні (у таблиці відповідні клітинки зафарбовано сірим кольором). Так моделюється генетична структура першого покоління популяції після дії рентгенівського випромінювання. Зберіть фішки у пакет з куп, що залишилися.

8. Повторіть дії 5 – 7 ще чотири рази. Результати занесіть у відповідні рядки табл. 5. Так моделюються генетичні структури другого – п'ятого поколінь популяції. Іншими словами, так моделюється процес поширення мутантного гена.

9. Обчисліть частоти генотипів та генів у P та $F_1 - F_5$, заповніть табл. 5.

10. Сформулюйте висновок згідно з планом:

- співвідношення частот генотипів у популяції;
- співвідношення частот генів у популяції;
- напрямок еволюційних змін.

Обговорення результатів останнього експерименту спрямовується так, щоб учні усвідомили

шкідливість для популяції рецесивної мутації $a - a^m$. Як й у попередньому експерименті, вчитель пропонує проаналізувати отримані дані й визначити, шкідливою чи корисною є дана мутація для організмів. У процесі бесіди слід наголосити на тому, що тільки один генотип, який містить мутантний ген, є нежиттєздатним – $a^m a^m$. Гомозиготні мутанти елімінуються з популяції. Всі інші генотипи є життєздатними. Це означає, що мутантний ген не видаляється з популяції, а зберігається в ній у гетерозиготному стані.

Керуючи бесідою далі, вчитель запитує: «Що об'єднує й чим різняться результати модельних експериментів з вивчення впливу мутацій? Як поява корисних та шкідливих (летальних) мутацій може відбитися на напрямі еволюційних змін у популяціях?».

Школярі самостійно або з допомогою вчителя формулюють висновок: спільним у експериментах є те, що поява мутацій привела до змін у генетичній структурі обох популяцій. Водночас у першому експерименті частка мутантного алейля невинно зростає, в другому – спадає. У випадку з корисною мутацією це може привести до подальших мікроеволюційних перетворень і виникнення нового виду, стійкого проти використаного інсектициду. У випадку зі шкідливою мутацією мікроеволюційні перетворення є мало ймовірними, оскільки мутантний ген поступово видаляється з популяції, хоча довгий час може зберігатися в гетерозиготному стані.

Зазначимо, що вихідні умови завдання для моделювання можна варіювати. Наприклад, у завданні для експерименту 3 генотипи без мутантного алейля вважати життєздатними, але їх плідність знизити вдвічі порівняно з плідністю носіїв мутантного гена, плідність гомозиготних мутантів збільшити вдвічі порівняно з носіями мутантного гена; у завданні з шкідливими мутаціями вважати гомозиготних мутантів життєздатними, але нездатними до розмноження, а плідність гетерозигот із мутантним алейлем знизити вдвічі порівняно з іншими.

Модельні експерименти з вивчення впливу мутацій на генетичну структуру популяції є най-

Таблиця 5

Популяція	Кількість особин	Розподіл генотипів										Частота алейлів				
		AA		Aa		aa		Aa ^m		aa ^m		a ^m a ^m		A(p)	a(q)	a ^m (q ^m)
P	50	24	0,48	22	0,44	4	0,08							0,7	0,3	0
P_m	50													0,7	0,26	0,04
F_1	50	24	0,48	19	0,38	3	0,06	3	0,06	1	0,02			0,7	0,26	0,04
F_2	50	24	0,48	19	0,38	3	0,06	3	0,06	1	0,02			0,7	0,26	0,04
F_3	49	30	0,61	9	0,19	8	0,16	1	0,02	1	0,02	1	0	0,71	0,27	0,02
F_4	49	25	0,51	19	0,39	3	0,06	1	0,02	1	0,02			0,71	0,27	0,02
F_5	49	25	0,51	19	0,39	3	0,06	1	0,02	1	0,02			0,71	0,27	0,02

складнішими серед описаних у статті. Під час їх проведення увага учнів акцентується на таких суттєвих характеристиках мутаційного процесу:

- мутаційний процес існує, мутації постійно виникають у популяціях;
- мутації є одним із чинників динаміки генетичної структури популяції;
- найбільший фенотиповий вияв мають рецесивні гомозиготні мутанти. У гетерозиготному стані рецесивні мутації довгий час зберігаються в популяції.

Водночас з цим у експерименті не враховано інші ознаки мутаційного процесу, а саме:

- мутації бувають не тільки прямими, а й зворотними. Так, частота алеля A_1 залежить лише від частоти, з якою він мутує до A_2 , а також від частоти, з якою A_2 зворотно мутує до алеля A_1 [5, 129]. Якщо частота прямого мутування дорівнює частоті зворотного, то ефективної зміни концентрацій генів не відбувається. Якщо ж частоти прямих і зворотних мутацій різняться між собою, то виникає мутаційний тиск. Його напрям залежить від кількісного співвідношення прямих і зворотних мутацій [2, 185];
- прийнята в експерименті частота мутацій набагато більша, ніж у природних популяціях. Для того щоб мутація могла закріпитися, вона повинна мати не тільки селективні переваги, а й характеризуватися достатньою вихідною частотою [5, 130]. У середньому частота мутацій становить $10^{-4} - 10^{-8}$ на один ген на одне покоління (тобто від однієї мутації у даному локусі на 10 000 генів у одному поколінні до лише однієї на 100 000 000 генів у одному поколінні) [5, 127]. За нормальної частоти мутацій ($10^{-4} - 10^{-9}$) для того, щоб половина алелів A_1 була замінена на

алель A_2 , потрібно мінімум від 5 000 до більш ніж 50 000 000 поколінь [5, 129];

- до еволюційних змін, як правило, приводить накопичення мутацій за багатьма генами та ін.

Врахувати названі вище ознаки мутаційного процесу в умовах шкільного модельного експерименту неможливо, тому до уваги взято лише його суттєві характеристики. На це слід звернути увагу школярів під час обговорення з ними схем відповідних модельних експериментів.

Отже, розвиток уміння моделювання під час постановки модельних експериментів з генетики й еволюції популяцій, з одного боку, відбувається згідно з етапами формування вмінь, з іншого – зумовлюється конкретним змістом навчального матеріалу. Завдяки такому зв'язку останній засвоюється не тільки на рівні знань, а й стійких переконань учнів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Афанасьєва К. С. Олімпіадний мінімум: Генетика та молекулярна біологія / К. С. Афанасьєва, С. Р. Рушковський. – Харків: Основа, 2012. – 189 с.
2. Барна І. В. Біологія: Задачі та розв'язки: навч. посіб. / І. В. Барна, М. М. Барна, Л. С. Барна. – Тернопіль: Мандрівець, 2005. – 384 с.
3. Биологический энциклопедический словарь / [гл. ред. М. С. Гиляров]. – М.: Сов. энцикл., 1986. – 831 с.
4. Грин Н. Биология : В 3 т. / [Н. Грин, У. Стаут, Д. Тейлор]; под ред. Г. Сонера. – М.: Мир, 1990. – Т. 3. – 1990. – 376 с.
5. Солбриг О. Популяционная биология и эволюция / О. Солбриг, Д. Солбриг. – М.: Мир, 1982. – 488 с.

ПАМ'ЯТКА ДЛЯ АВТОРІВ ЖУРНАЛУ

1. Автор подає до редакції рукопис українською мовою обсягом до 20 сторінок формату А4.
2. Автор підписує рукопис, стверджуючи цим достовірність дат, цитат, фактів тощо.
3. Текст рукопису потрібно набрати на комп'ютері (друк з одного боку сторінки, півтора інтервала між рядками, розмір шрифту 14), до нього додати диск.
4. Поля сторінок рукопису: ліве і нижнє – 25 мм, верхнє – 20 мм, праве — 10 мм.
5. Ілюстрації подаються на окремих аркушах.
6. Бібліографія до рукопису має бути складена з додержанням правил стандартів.
7. До рукопису додаються дані про автора (прізвище, ім'я та по батькові, місце роботи, посада, адреса, телефон).
8. Статті, які передбачається використати під час подання до захисту дисертаційних робіт, надсилати з рецензією. Необхідно зазначити УДК, написати трьома мовами (українською, російською, англійською) ім'я і прізвище автора, назву статті, анотацію та ключові слова.
9. Просимо не надсилати одні й ті самі матеріали водночас до нашого журналу та інших видань.

Бажаємо успіхів!