ВСТУП

Цей збірник задач з загальної генетики призначений для студентів біологічних факультетів вузів.

У більшості завдань, представлених у збірці, потрібно провести генетичний аналіз результатів схрещувань. У цих задачах дані розщеплення з різними типами успадкування ознак: аутосомне або зчеплене зі статтю, контрольоване одним або кількома генами, незалежне або зчеплене. В ряді задач на основі відомостей про спадкування, які даються в умови, пропонується визначити генотип і фенотип, обчислити ймовірність появи в потомстві того чи іншого класу.

Основна мета завдань збірника - розвиток у студентів логіки генетичного мислення.

До збірки включені завдання за такими розділами: розділ 1 "Моногібридне схрещування", розділ 2 "Дігібридне і полігібридне схрещування", розділ 3 "Взаємодія неалельних генів", розділ 4 "Успадкування ознак, зчеплених зі статтю", розділ 5 "Успадкування при зчепленні і кросинговері ", розділ 6" Генетика популяцій ", розділ 7" Успадкування при поліплоїдії ". До збірки включено також розділи: "Як вирішувати генетичні завдання" і "Зразки вирішення завдань"; в додатку дані таблиці: "Значення *x2*при різних ступенях свободи (по Фішеру)", "Деякі типи розщеплень при моногенному і дігенном успадкуванні ознаки" . Все це повинно допомогти студентам у їх самостійній роботі.

Рішення задач сприяє поглибленню знань генетики, служить хорошою перевіркою засвоєння матеріалу, частково демонструє прикладне значення генетики в селекційній роботі, дає студентам можливість самоконтролю.

ЯК ВИРІШУВАТИ ГЕНЕТИЧНІ ЗАВДАННЯ

У цьому збірнику представлені задачі двох типів:

1. Завдання, в яких пропонується визначити на основі аналізу розщеплення, як успадковується ознака або ознаки, тобто з'ясувати число генів; характер їх успадкування (незалежне, зчеплене, зчеплене зі статтю); тип взаємодії (домінування, неповне домінування, кодомінування - при алельних взаємодіях; епістаз, компліментарність, полімерія при неалельних взаємодіях).

2. Завдання, в яких пропонується з'ясувати генотипи і фенотипи, розрахувати поява в потомстві того чи іншого класу на основі відомих даних про спадкування.

Правильно вирішити генетичну задачу можна за допомогою логіки генетичного аналізу, знаючи деякі закономірності успадкування ознак. Перш за все, слід пам'ятати, що відомості про кількість генів, по яких йде розщеплення, про тип їх взаємодії та характері успадкування ми отримуємо на основі аналізу розщеплення в залежності від числа фенотипічних класів та їх співвідношення. Важливо розуміти, що кількість і співвідношення фенотипічних класів в ₣2 визначається кількістю і співвідношенням типів гамет гібридних батьків, можливостями їх поєднання, виживаності та типом взаємодії генів. Фенотип нащадків аналізуючого схрещування залежить від гамет гетерозиготного батька і розщеплення в цьому випадку визначається співвідношенням його гамет, типом взаємодії між генами і характером їх успадкування.

Основним принципом генетичного аналізу є принцип аналізу поодиноких ознак, згідно з яким на першому етапі аналізується перше і друге покоління по кожній парі ознак окремо, незалежно від інших ознак.

Після з'ясування успадкування кожної ознаки аналізується загальне розщеплення по всіх досліджуваних ознаках. Очевидно, що істотну роль у вирішенні завдань відіграє знання елементарних формул розщеплення і причин, що викликають відхилення у розщепленні, вміння правильно виписувати гамети, утворені особинами різних генотипів, знання формул, за якими знаходять число типів гамет, фено-і генотипів в розщепленні, число можливих сполучень, а також методу статистичної обробки даних розщеплення - методу *х2*. Задача повинна вирішуватися послідовно, відповідно до логіки генетичного аналізу. Кожний висновок має бути аргументовано.

Рішення включає в себе:

1. Короткий запис умови задачі за допомогою генетичної символіки.

2. Аргументована пропозицію нульової гіпотези (Н0).

3. Визначення розщеплення в досвіді на основі нульової гіпотези.

4. Перевірку відповідності результатів досвіду теоретичного очікування при даній нульовій гіпотезі.

5. Аргументоване введення генів і визначення на їх основі фено - і генотипів.

6. Відповідь на всі поставлені в задачі питання.

У завданнях, в яких відомо, як успадковуються ознаки, і потрібно визначити генотипи, також необхідно коротко записати умови задачі, а потім аргументовано пояснити, чому пропонується той чи інший генотип.

ЗРАЗКИ РІШЕННЯ ЗАДАЧ

При вирішенні завдань назви ознак можна записувати в скороченні: чорний - черн., білий - біл. і т.п. У зразках рішення задач не наводиться обробка даних по методу *х2*, дається лише кінцевий висновок на основі його визначення. При виконанні завдання студент повинен привести обробку за методом *х2* повністю.

Розділ 1

№ 1. У фігурного гарбуза біле забарвлення плодів (А) домінує над жовтим (а). Які гамети утворюються рослинами в наведених нижче схрещуваннях і який фенотип цих рослин та їх нащадків: АА × Аа; Аа × аа; аа × аа; Аа × Аа?

Короткий запис умови задачі і рішення.

1. АА × Аа.

За умовою А - біле забарвлення, отже, обидва рослини мають білі плоди. Гамети: від АА тільки А, від Аа - А і а порівну, відповідно до закону чистоти гамет. Фенотипи - все білі.

2. Аа × аа.

За умовою Аа - білі, аа - жовті. Гамети: від Аа - А і а порівну, від аа - всі а. Фенотипи: 1/2 білі і 1/2 жовті.

3. аа × аа.

За умовою аа - жовті, гамети тільки а, фенотипи всі жовті.

4. Аа × Аа.

За умовою Аа - білі, гамети у обох батьків А і а порівну, фенотип 3/4 білих і 1/4 жовтих.

№ 2. При схрещуванні між собою чорних мишей завжди виходить чорне потомство. При схрещуванні між собою жовтих мишей завжди відбувається розщеплення - 1/3 потомства виявляється чорної і 2/3 жовтою. Як успадковується забарвлення? Чому відбувається розщеплення при схрещуванні жовтих мишей? Як перевірити правиль-ність вашого припущення?

Короткий запис умови задачі.

Миші. Спадкування забарвлення шерсті.

1. Р чорн. × черн. 2. Р жовтий. × жовтий.

 ₣ 1 чорн. ₣ 1 2/3 жовтий. : 1/3 чорн.

Розв'язок.

1. Однаковість в потомстві від схрещування чорних мишей, очевидно, свідчить про їх гомозиготність.

2. Наявність розщеплення при схрещуванні жовтих мишей свідчить про їх гетерозиготність.

3. Розщеплення 2:1 свідчить про моногенне спадкування, про домінування жовтого забарвлення над чорною і про загибель 1/3 нащадків з жовтим забарвленням, очевидно, з генотипом АА, тому що в розщепленні 3/4А: 1/4а серед особин з фенотипом А 1/3 нащадків має генотип АА і 2/3-Аа.

4. Перевіркою даного припущення служить схрещування жовтих мишей з чорними: Аа × аа, при цьому 1/2 нащадків повинні бути жовтими і 1/2 - чорними.

 Висновок: забарвлення шерсті у мишей контролюється одним геном, жовте забарвлення - результат дії домінантного алеля з рецесивним летальним ефектом, чорне забарвлення - рецесивне по відношенню до жовтої.

№ 3. У матері нульова група крові, у батька група крові В. Чи можуть діти успадкувати групу крові матері? Які генотипи матері і батька?

Короткий запис умови задачі.

Людина. Спадкування груп крові.

Р ♀ гр. 0 × ♂ гр. В.

Розв'язок.

Відомо, що генотип людей з групою крові 0 – J0J0, отже, генотип матері - J0J0. У людей з групою крові В генотип або J0JB, або JBJB. Діти можуть успадкувати групу крові матері тільки в тому випадку, якщо генотип батька J0JB.

№ 4. На колишньої Центральної станції з генетики тварин під Москвою був поставлений ряд схрещувань курей з розовидним і простим гребенями. Від цих схрещувань отримали 117 курчат з розовидним гребенем; від схрещування гібридів ₣1 - 146 з розовидним і 58 з простим. Від схрещування гібридів ₣1 з птахами з простим гребенем - 790 з розовидним і 798 з простим. Як успадковується ознака? Визначте генотипи вихідних птахів і гібридів ₣1.

Короткий запис умови задачі.

Кури. Спадкування форми гребеня.

Р розовидн. × прост:

₣1 117 розовидн. × прост.

₣2 146 розовидн. ₣в 790 розовидн.

 58 прост. 798 прост.

 204 1588

Розв'язок.

1. В ₣1 одноманітність - Р; очевидно, гомозиготних.

2. Оскільки в ₣2 розщеплення на два класи з переважанням розовидної форми гребеня над простим, припускаємо моногенне спадкування. Визначаємо величину одного можливого поєднання гамет в розщепленні 204:4 = 51. Знаходимо розщеплення в досвіді: 146: 51 = 2,9 і 58: 51 = 1/1, тобто приблизно 3: 1. Перевірка Н0 про моногенне розщеплення щодо 3:1 за методом *х2* її не відкидає. Вводимо позначення алелів: А - розовидн., а - прост. Генотипи вихідних птахів: АА і аа, гібридів - ₣1 - Аа. Схрещування гібридів ₣1 з птахами, які мають простий гребінь, - аналізуюче; розщеплення, що отримується при цьому - 1:1 - добре відповідає розщепленню в досвіді.

Висновок: форма гребеня успадковується моногенно з домінуванням розовидного гребеня над простим.

Розділ 2

№ 5. У томатів пурпурне забарвлення стеблю домінує над зеленим, Розсічені листя над суцільнокрайніми. Ознаки наслідуються незалежно. Нижче наведені результати схрещувань, на основі яких визначте найбільш ймовірні генотипи вихідних рослин в кожному з цих схрещувань.

|  |  |
| --- | --- |
| Ознаки батьківськихрослин | Кількість рослин в потомстві |
| пурп. окрас, розсіч. лист | пурп. окрас, цільнокр. лист | зел. окрас, розсіч. лист | зел. окрас цільнокр. лист |
| 1. Пурп. розсіч. ×× пурп. розсіч: | 258 | 95 | 100 | 28 |
| 2. Пурп. цільнокр. ×× зел. розсіч. |  117 | 120 | 125 | 119 |
| 3. Пурп. розсіч. ×× зел. цільнокр. | 98 | - | - | - |

Розв'язок.

За умовою: А - пурпурне, а - зелене забарвлення стебеля, В - розсічений, b - суцільнокрайній лист.

Перше схрещування: обоє батьків мають аллелі А і В, тому що обидва домінантні по обох ознаках. Оскільки в ₣1 спостерігається розщеплення за обома ознаками, обидва батьки гетерозиготні, їх генотипи АаВb. За умовою ознаки успадковуються незалежно, отже, розщеплення має відповідати розщепленню 9:3:3:1. Перевірка по *х2* не відкидає гіпотези.

Друге схрещування: за умовою рослина з пурпурним стеблом і суцільнокрайнім листям - А-bb, з зеленими кавалками - ААВ-. Оскільки в спостерігається розщеплення за обома ознаками, обидва батьки гетерозиготності, але з різними генам: АаВb і ааВb. Розщеплення повинно відповідати 1:1:1:1, так як для кожної пари ознак схрещування є анализирующим. Перевірка по *х2* не відкидає гіпотези.

Третє схрещування: за умовою рослина з пурпуровими кавалками листям містить в генотипі аллели А і В, із зеленими суцільнокрайнім має генотип ааbb. Оскільки в ₣1 при досить великій вибірці немає розщеплення, припускаємо, що рослина з пурпуровими кавалками листям гомозиготною по обох генам, тобто його генотип - ААВВ.

№ 6. При схрещуванні рослин левового зіву з червоними пілоричними (правильними) квітками з рослинами, що мають жовті зигоморфні (неправильні) квітки, у першому поколінні всі рослини мали рожеві зигоморфні квітки, а в другому:

39 з червоними зигоморфними,

94 з рожевими зигоморфними,

45 з жовтими зигоморфними,

15 з червоними пілоричними,

28 з рожевими пілоричними,

13 з жовтими пілоричними

234

 Як успадковуються ознаки? Визначте генотипи вихідних рослин. Яка частина рослин з червоними зигоморфними квітками буде гомозиготна за цими ознаками?

Короткий запис умови задачі.

Левиний зев. Спадкування забарвлення і форми квітки, Р черв. пілоріч. × жовтий. зигоморфні.

₣1 троянд. зигоморфні.

₣2  39 черв. зигоморфні.

 94 троянд. зигоморфні.

 45 жовтий. зигоморфні.

 15 черв. пілорич.

 28 троянд. пілорич.

 13 троянд. пілорич.

 234

Розв'язок.

I. Аналіз спадкування за кожною ознакою.

Забарвлення квіток

1. У ₣1 однаковість - передбачається гомозиготності вихідних рослин.

2. У ₣2 розщеплення: черв. рожев. жовтий.

 39 94 45

 15 28 13

 54 122 58

Оскільки розщеплення на три фенотипічних класи а в ₣1 – проміжне забарвлення, можна припустити моногенне розщеплення з неповним домінуванням. Визначаємо величину одного можливого поєднання гамет в розщепленні: 234:4 = 58,5. Розщеплення в досвіді: 54:58,5 = 0,9; 122:58,5 = 2,1; 58:58,5 = 1, тобто приблизно 1:2:1. Перевірка Н0 про моногенне розщеплення з неповним домінуванням у відношенні 1:2:1 за методом *х2* гіпотезу не відкидає.

Висновок: забарвлення квітки контролюється однією парою алелів з ​​неповним домінуванням, генотипи вихідних рослин: АА - з червоними, аа - з жовтими квітками.

Форма квітки

1. У ₣1 однаковість - припускаємо гомозиготність вихідних рослин.

2. У ₣2 розщеплення: зигоморфні. пілорич.

 39 15

 94 28

 45 13

178 56

 Оскільки в ₣2 два фенотипічних класи з переважанням зигоморфних над пілоричноми, припускаємо моногенне розщеплення. Визначаємо величину одного можливого поєднання гамет в розщепленні, воно дорівнює 58,5. Розщеплення в досвіді - 178:58,5 = 3; 56:58,5 = 0,9, тобто приблизно 3:1. Перевірка Н0 про моногенному розщепленні щодо 3:1 за методом *х2* її не відкидає.

3. Вводимо позначення алелів: В - зигоморфні., B - пілорич., Генотипи вихідних рослин: ВВ з зигоморфні. квітками, bb - з пілоріч.

Висновок: форма квітки контролюється однією парою алелів з ​​домінуванням зигоморфний форми квітки над пілоричною.

II. Аналіз успадкування двох ознак.

Н0Н0: ознаки успадковуються незалежно. В цьому випадку з теорії ймовірності розщеплення по обох ознаках повинно бути: (1АА: 2Аа: 1аа) × (3В: 1b) = 3ААВ: 6АаВ: 3ааВ: 1ААb: 2Ааb: 1ааb. Визначаємо величину одного можливого поєднання гамет в розщепленні - 234:16 = 16,6. Розщеплення в досвіді - 39:16,6 = 2,3; 94:16,6 = 5,7; 45:16,6 = 2,7; 15:16,6 = 0,9; 28:16,6 = 1,7; 13:16,6 = 0,8, тобто приблизно 3:6:3:1:2:1. Перевірка Н0 про незалежне успадкування ознак по *х2* її не відкидає.

Висновок: ознаки успадковуються незалежно.

У ₣2 39 рослин мають червоні зигоморфні квітки, причому 1/16 мають генотип ААВВ і 2/16 - ААВb. Отже, тільки 1/3 з них гомозиготні по обох домінантним алелям.

III. Висновки:

1. Забарвлення квіток контролюється однією парою алелей з неповним домінуванням.

2. Форма квітки контролюється однією парою алелей з ​​повним домінуванням зигоморфного над пілоричним.

3. Ознаки забарвлення і форми квітки успадковуються незалежно.

4. Генотипи вихідних рослин: червона пілорична ААbb, жовта зигоморфні ааВВ.

5. Серед 39 рослин з червоними зигоморфними квітками 1/3 гомозигот по обох домінантних ознаках.

№ 7. № 7. Припускають, що в людини карий колір очей домінує над блакитним, праворукість - над ліворукістю.

Блакитноокий правша одружився на кароокій правші. У них народилося двоє дітей - кароокий лівша і блакитноокий правша. Від другого шлюбу цього чоловіка з іншою кароокою правшею народилося 9 карооких дітей, всі правші. Які найбільш ймовірні генотипи всіх трьох батьків? Визначте ймовірність гетерозиготності другої жінки.

Короткий запис умови задачі.

Людина. Спадкування забарвлення очей і праворукості.

1. Р ♀*1* кароок. правша × ♂ блакитноок. правша.

₣1 блакитноок. правша кароок. лівша

2. Р ♀*2* кароок. правша × ♂ блакитноок. правша.

₣1 9 кароок. правша

Розв'язок.

1. З а умови А - карі, а - блакитні очі, В - праворукість - b - ліворукість. Отже, в генотипі чоловіка ААВ-, в генотипах обох жінок А-В-.

2. Поява рецесивних ознак у дітей першої жінки свідчить про її гетерозиготність за обома генами і про гетерозиготністі чоловіка по гену В, тобто генотип першої жінки АаВb, генотип чоловіка ааВb.

3. Оскільки всі дев'ять дітей другої жінки були кареглазими і праворукими, досить імовірно, що вона гомозиготна за обома генами, тобто її генотип ААВВ.

4. Визначення ймовірності гетерозиготності другої жінки: якщо вона гетерозиготна по гену А, то в шлюбі з блакитнооким чоловіком (аа) з ймовірністю 1/2 у неї повинні народжуватися блакитноокі діти. Народження дітей та розподіл генів - події незалежні, отже, ймовірність народження поспіль 9 карооких дітей в цьому шлюбі дорівнює (1/2) 9 = 0,002. Якщо жінка гетерозиготна по гену В, то в шлюбі з гетерозиготним чоловіком, 3/4 дітей повинні бути праворукими, тобто ймовірність народження поспіль дев'яти праворуких дітей - (3/4) 9 = 0,08.

Висновки: генотип чоловіка ааВb, генотип першої жінки АаВb, генотип другої жінки ААВВ; гетерозиготність другої жінки практично виключена.

Розділ 3

№ 8. При схрещуванні гарбузів з білими плодами в ₣1 отримали 67 рослин з білими, 19 з жовтими і 6 із зеленими плодами. Поясніть результати, визначте генотипи вихідних рослин. Що вийде, якщо схрестити вихідні рослини з зеленоплодним з ₣1?

Короткий запис умови задачі.

Р біл. × біл.

₣1 67 біл.

 19 жовт.

 6 зел.

 92

Розв'язок .

1. Оскільки в ₣1 розщеплення - вихідні рослини гетерозиготності.

2. Розщеплення явно не відповідає розщепленню при моногенному спадкуванні - не 1:2:1; припускаємо дігенне спадкування. Знаходимо величину одного можливого поєднання гамет в розщепленні - 92:16 = 5,75. Розщеплення в досвіді - 67:5,75 = 11,6; 19:5,75 = 3,3; 6:5,75 = 1, тобто приблизно 12:3:1. Перевірка Н0 про дігенне успадкування з розщепленням 12:3:1 по *х2* її не відкидає. Отже, забарвлення визначається взаємодією двох генів за типом домінантного епістазу: А - супресор будь-якого забарвлення, в його присутності плоди білі; а - "дозвільне" забарвлення, яке залежить від іншого гена: В - жовте забарвлення, b - зелене забарвлення. Обидва типи забарвлення виявляються тільки в присутності алеля а - ААВ-- жовта, ааbb - зелена.

Оскільки вихідні рослини мали білі плоди, в їх генотипі є аллель А, поява в потомстві жовтих плодів свідчить про наявність у вихідних рослин аллеля В, поява зелених плодів вказує на гетерозиготність вихідних рослин по обох генам, отже, генотип вихідних рослин АаВb.

3. Характер розщеплення свідчить про незалежне успадкування генів А і В.

4. Схрещування вихідних рослин АаВb з зеленоплодними - ааbb - є аналізуючим. У ₣ ан можливе утворення чотирьох генотипів з рівною ймовірністю: АаВb, Ааbb, ааВb, ааbb. Особи з генотипами АаВb і Ааbb матимуть білі плоди, розщеплення в ₣ан - 2 біл.: 1 жовтий.: 1 зел.

Висновки:

1. Забарвлення плодів у гарбуза контролюється двома генами, взаємодіючими по типу домінантного епістазу з розщепленням 12:3:1, гени успадковуються незалежно.

2. Генотип вихідних рослин АаВb.

3. При схрещуванні вихідних рослин з зеленоплодними з ₣1  відбудеться розщеплення - 2 бел,: 1 жовтий. : 1 зел.

№ 9. При схрещуванні курей з гороховидним гребенем з півнями з розовидним гребнем, в ₣1 всі курчата мали горіховидний гребінь, а в ₣2 відбулося розщеплення: 279 курчат з горіховидним, 118 з гороховидний, 103 з розовидний і 35 з простим. Як успадковується ознака? Визначте генотипи вихідних птахів і гібридів ₣1. Що вийде, якщо схрестити вихідних півнів з розовидним гребенем і курей з простим гребенем з ₣2?

Короткий запис умови задачі.

Кури. Спадкування форми гребеня.

Р ♀♀ гороховидн.гр. × ♂♂ розовидн.гр.

₣1♀♀ и♂♂горіховидн. гр.

₣2 279 горіховидн.

 118 гороховидн.

 103 розовидн.

 35 простий

 535

Розв'язок.

1. У ₣1 однаковість і новий прояв ознаки - Р очевидно гомозиготна; ознака контролюється, ймовірно, не однією парою алелів.

2. У ₣2 розщеплення по моногенному типу – 4 на фенотипічних класи. Припускаємо дігенне спадкування. Визначаємо величину одного можливого поєднання гамет в розщепленні - 535:16 = 33,4. Розщеплення в досвіді - 279:33,4 = 8,4; 118:33,4 = 3,5; 103:33,4 = 3,0; 35:33,4 = 1,0, тобто приблизно 9:3:3:1. Перевірка по *х2* гіпотези про дігенне спадкуванні з розщепленням 9:3:3:1 її не відкидає. Отже, ознака визначається комплементарною взаємодією двох генів: А-В--горіховидний, А-bb-гороховидний, ААВ-- розовидний і ааbb - простий. Характер розщеплення свідчить про незалежне успадкування генів А і В.

Генотипи Р: гороховидний ААbb, розовидний - ааВВ, генотип гібридів ₣1 - АаВb.

3. При схрещуванні ♂♂ з генотипом ааВВ (розовидний гребінь) з ♀♀ з генотипом ааbb (простий гребінь) всі особи матимуть розовидний гребінь.

Висновки:

1. Форма гребеня у курей контролюється двома незалежно успадкованими генами, взаємодіючими по типу комплементарності з розщепленням 9:3:3:1.

2. Генотип півнів ааВВ, курей - ААbb, генотип гібридів ₣1  - АаВb.

3. При схрещуванні вихідних півнів з курми з ₣2  з простим гребенем всі курчата будуть мати розовидний гребінь.

№ 10. У запашного горошку гени С і Р порізно викликають біле забарвлення квіток, пурпурне забарвлення виходить тільки при наявності в генотипі обох домінантних алелей цих генів.

Рослина запашного горошку з білими квітками, схрещена з пурпурноквітковою, дала 3/8 з пурпуровими і 5/8 з білими квітками. Як це можна пояснити? Визначте генотипи вихідних рослин.

Короткий запис умови задачі.

Запашний горошок. Спадкування забарвлення квітки.

Р біл. × пурп.

₣1  3/8 пурп. : 5/8 біл.

Розв'язок.

1. В ₣1 розщеплення, отже, хоча б один з батьків гетерозигота.

2. За умовою ознака контролюється двома генами, взаємодіючими комплементарно, розщеплення в досвіді 3/8: 5/8, отже, можна припустити, що один з батьків утворює 4 типи гамет, тобто є дігетерозіготою СсРр (пурп.), а інший - два типи гамет, тобто гетерозиготен по одному з генів. Його можливий генотип або Ссрр, або ссРр:

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Гамети | СР | Ср | сР | ср |
| Ср | ССРр | ССрр | СсРр | Ссрр |
| ср | СсРр | Ссрр | ссРр | ссрр |

Всі нащадки С-Р-- пурп. (3/8), всі інші - біл. (5/8).

Висновок: генотипи вихідних рослин: пурпурний СсРр, білий Ссрр або ссРр.

№ 11. Схрещуються дві рослини запашного горошку - з білими пазушними і білими верхівковими квітками. У ₣1 всі рослини з пурпуровими квітками пазушними, в ₣2 розщеплення: 415 рослин з пурпуровими квітками пазушними, 140 з пурпуровими верхівковими, 350 з білими пазушними і 95 з білими верхівковими. Як успадковуються ознаки? Визначте генотипи вихідних рослин і гібридів ₣1.

Короткий запис умови задачі.

Запашний горошок. Спадкування забарвлення і розташування квіток.

Р біл. паз. × біл. верх.

₣1 пурп. паз.

₣2  415 пурп. паз.

 140 пурп. верх.

 350 біл. паз.

 95 біл. верх.

 1000

Розв'язок.

I. Аналіз спадкування за кожної ознаки.

Забарвлення квіток

1. У ₣1 одноманістність, мабуть, вихідні рослини або однакові за генотипом, або гомозиготи.

2. У ₣2 розщеплення: пурп. біл.

 415 350

 140 95

 555 445

Розщеплення не по моногенному типу (не 3:1). Припускаємо дігенне спадкування. Знаходимо величину одного можливого поєднання гамет в розщепленні - 1000; 16 = 62,5. Визначаємо розщеплення в досвіді: 555:62,5 = 8,9; 445:62,5-7,1, тобто приблизно 9:7 Перевірка Н0 по *х2* її не відкидає. Отже, ознака контролюється двома генами, взаємодіючими по типу комплементарності: пурпурне забарвлення - результат взаємодії домінантних алелей двох генів - А і В, кожен з яких окремо ні в домінантному, ні в рецесивному стані не дає забарвлення.

3. Генотипи вихідних рослин: ААbb і aaВВ, так як. обидві рослини мають білі квіти, а в ₣1 квітки пурпурні, генотип гібридів АаBb. Однак, з досвіду не можна точно визначити, який із батьків має генотип ААbb, а який ааВВ.

Розташування квіток на стеблі

1. У ₣1 однаковість, отже, вихідні рослини гомозиготних.

2. У ₣2 розщеплення: пазушн. верх.

 415 140

350 95

765 235

Оскільки розщеплення на два фенотипічних класи з переважанням пазушного розташування над верхівковим, припускаємо моногенне спадкування. Знаходимо величину одного можливого поєднання гамет в розщепленні: 1000:4 = 250. Розщеплення в досвіді - 765:250 = 3,1; 235:250 = 0,9, тобто приблизно 3:1. Перевірка гіпотези про моногенне розщеплення у відношенні 3:1 по *х2* її не відкидає.

Вводимо позначення алелів: С - пазушні., С - верх. Генотипи вихідних рослин СС - пазушні., Сс - верх., гібриди - Сс.

II. Аналіз розщеплення за двома ознаками.

Н0: ознаки успадковуються незалежно, отже, з теорії ймовірності має бути наступне розщеплення: (3 паз.: 1 верх.) × (9 пурп.: 7 бел) = 27 пурп, паз.: 21 біл. паз.: 9 пурп. верх,: 7 біл. верх. Знаходимо величину одного можливого сполучення ¬ ня гамет в розщепленні - 1000:64 = 15,6. Розщеплення в досвіді - 415:15,6 = 26,6; 140:15,6 = 8,9; 350:15,6 = 22,4; 95:15,6 = 6,1, тобто приблизно 27:9:21:7. Перевірка гіпотези по *x2* її не відкидає.

Висновки:

1. Забарвлення квіток контролюється двома незалежно успадкованими генами, взаємодіючими по типу комплементарності з розщепленням 9 пурп.: 7 бел.

2. Розташування квіток на стеблі контролюється одним геном з домінуванням пазушного розташування над верхівковим.

3. Ознаки успадковуються незалежно, гени не зчеплені.

4. Генотипи вихідних рослин: біл. пазушні. ААbbСС або ааВВСС, біл. .верх. - АаВВсс або ААbbсc, генотип гібридів ₣1 - АаВbСc.

Розділ 4

№ 12. Дві червоноокі довгокрилі особини дрозофіли при схрещуванні між собою дали наступне потомство:

самки: 154 червонооких довгокрилих, 48 червонооких з зародковими крилами;

самці: 98 червонооких довгокрилих, 25 червонооких з зародковими крилами, 95 білооких довгокрилих і 32 білооких з зародковими крилами. Як успадковуються ознаки? Визначте генотипи батьків і нащадків.

Короткий запис умови задачі.

Дрозофіла. Спадкування забарвлення очей і форми крил.

Р ♀ червоноок. × ♂ червоноок.

 довгокр. довгокр.

₣1 самки самці

154 червоноок. 98 червоноок.

 довгокр. довгокр.

 48 червоноок. 25 червоноок.

 зачат.кр. зачатокр.

\_\_\_\_

202 95 білоок.

 довгокр.

 32 білоок. зачат.кр.

 \_\_\_\_

 250

Розв'язок .

I. Аналіз спадкування за кожною ознакою.Забарвлення очей

1. Оскільки в ₣1 розщеплення спостерігається тільки у самців, припускаємо зчеплення ознаки зі статтю. Розщеплення у самців:

червоноок. білоок.

 98 95

 25 32

 123 127

Розщеплення 1:1, відхилення дуже мало, так що немає необхідності перевіряти значимість відхилення по *х2*2. Розщеплення 1:1 свідчить про моногенне успадкування ознаки і про гетерозиготність вихідної самки. Оскільки ознака зчеплена зі статтю, домінування можна встановити по гетерозиготним самкам, отже, домінує червоне забарвлення над білим. Вводимо алелі: А - черв., А - біл. , генотип самки $\frac{A}{\overbar{a}}$, , генотип самця $\frac{A}{⦢}$.

Довжина крил

1. В розщепленні у самок і в самців:

самці довгокр. зачат.кр.

 98 25

 95 32

 193 57

самки 154 48

Σ *по* ♂ и ♀ 347 105

Розщеплення свідчить про гетерозиготність вихідних мух, про не зчеплення ознаки зі статтю. Оскільки спостерігається розщеплення на два класи з переважанням ознаки довгих крил, припускаємо моногенне спадкування. Визначаємо величину одного поєднання гамет в розщепленні: 452:4 = 113, визначаємо розщеплення в досвіді: 347:113 = 3,1; 105:113 = 0,9, тобто приблизно 3:1. Перевірка гіпотези про моногенне спадкування з розщепленням 3:1 по *х2* її не відкидає. Вводимо позначення алелей: В - довгокрилий., B - зачат.кр.,

Генотипи самки і самця за цією ознакою Bb.

II. Аналіз розщеплення за двома ознаками:

Н0: Ознаки успадковуються незалежно, тому що одна з них зчеплена зі статтю, а інша успадковується за аутосомним типом. Очікуване розщеплення:

по самцям:(1 червоноок.: 1 білоок.) × (3 довгокр.: 1 зачат.кр.) =
3 червоноок. довгокр.: 3 білоок. довгокр.: 1 червоноок.зачат.кр.: 1 білоок.зачат.кр.

У самок розщеплення відбувається тільки за аутосомним геном, який контролює довжину крил, у співвідношенні 3 довгокрилий.: 1 зачатий.

Перевірка розщеплень по *х2* не відкидає гіпотези.

Висновки:

1. Забарвлення очей контролюється одним геном, локалізованим в X-хромосомі, червоне забарвлення домінує над білим.

2. Довжина крил контролюється одним геном, локалізованим в аутосомі, довгі крила домінують над зародковими.

3. Ознаки успадковуються незалежно.

4. Генотипи вихідних мух: самка $\frac{A}{\overbar{a}} \frac{B}{\overbar{b}}$, самець $\frac{A}{⦢}$ $\frac{B}{\overbar{b}}$.

№ 13. Нижче наведені результати двох реципрокних схрещувань на дрозофілі

I дослідження

Пряме Зворотнє

Р ♀ яскраво-червоні × ♂ дикого Р ♀ дикого × ♂ яскраво-червоні очі типу типу очі

(з лінії №1) (з лінії № 1)

₣1 ♀ и ♂ дикого типу ₣1 ♀ и ♂ дикого типу

II дослідження

Пряме Зворотнє

Р ♀ яскраво-червоні × ♂ дикого Р ♀ дикого × ♂ яскраво-червоні очі типу типу очі

(з лінії №2) (з лінії №2)

₣1 ♀ дикого типу ₣1 ♀ и ♂ дикого типа

 ♂ яскраво-червоні очі.

Який характер успадкування в цих схрещуваннях? Чи можна на підставі цих даних визначити число генів, які контролюють забарвлення очей у дрозофіли?

Розв'язок .

1. У першому дослідженні реципрокні схрещування показали однакові результати - можна сказати, що ознака не зчеплена зі статтю.

2. У другому схрещуванні результати реципрокних схрещувань різні - в одному напрямку схрещування проявилося спадкуванням крісс-крос, отже, ознака зчеплена зі статтю.

3. Точно визначити число генів, які контролюють забарвлення очей, не можна, тому що відсутні дані про розщеплення. Однак, можна сказати, що забарвлення очей у дрозофіли контролюється не менше, ніж двома генами, один з яких локалізований на в аутосомі, а інший - в Х-хромосомі.

№ 14. Дівчина, що має нормальний зір, батько якої був дальтоніком, виходить заміж за чоловіка з нормальним зором, батько якого також був дальтоніком. Який зір може бути у дітей від цього шлюбу?

Короткий запис умови задачі.

дальтонік

дальтонік

норм. зір

норм. зір

?

Розв'язок .

Відомо, що дальтонізм - рецесивна ознака, зчеплена зі статтю, контрольована одним геном. Введемо позначення алелей: D - норм.зір., d - дальтонізм.

Ознака, зчеплена зі статтю, обов'язково проявляється у чоловіків, тому що вони гемізиготні за цією ознакою. Отже, можна записати генотипи всіх чоловіків: батьки-дальтоніки мають генотип $\frac{d}{⦢}$, чоловік з нормальним зором $\frac{D}{⦢}$. Жінка має нормальний зір, отже, в її генотипі є аллель D. Оскільки одну Х-хромосому жінка завжди отримує від батька, вона гетерозиготна, її генотип $\frac{D}{\overbar{d}}$, і вона є носієм дальтонізму. Обоє батьків можуть утворити два типи гамет:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| ♂ ♀ | D | d |
| D | $$\frac{D}{\overbar{D}}$$ | $$\frac{D}{\overbar{d}}$$ |
| $$⦢$$ | $$\frac{D}{⦢}$$ | $$\frac{d}{⦢}$$ |

Отже, від цього шлюбу можуть народитися дівчатка з нормальним зором, причому половина з них - носії дальтонізму; серед хлопчиків половина виявиться дальтоніками.

Розділ 5

№ 15. Особина, гомозиготна по генам А і В схрещена з особиною аb. Гібридів ₣1 від цього схрещування зворотно схрестили з подвійним рецесивом. Від цього схрещування отримано наступне потомство: 902 АВ, 98 Ab, 102 аВ та 898 аb. Поясніть отримані результати

Короткий запис умови задачі.

Р ААВВ × ааbb

₣1 АаВb × ааbb.

₣ан 902 АВ

498 Аb

102 аB

898 аb

2000

 Розв'язок .

 Потомство від аналізуючого схрещування дігетерозіготи дало в розщепленні чотири фенотипічних класи. Якби гени А і В успадковувалися незалежно, то слід було очікувати розщеплення у відношенні 1:1:1:1. Переважання форм з фенотипом батьків свідчить про зчеплене спадкування. Нащадки рекомбінантного типу Аb і aB могли виникнути в результаті кросинговеру між генами А і В у гетерозиготи.

Визначаємо відсоток кросинговера: $\frac{\left(102+98\right)×100\%}{2000}=10\%$

 Висновок: гени А і В локалізовані в одній хромосомі на відстані 10% кросинговеру.

 № 16. Проведіть генетичний аналіз результатів аналізуючого схрещування трігетерозіготи АаВbCс:

АВС 126

АВс 10

АbС 64

Аbс 62

аВС 68

аВс 70

аbС 14

аbс 133

 578

Розв'язок .

1. Визначення характеру успадкування генів.

Розщеплення по генам А і В: АВ Аb аB ab

126 64 68 133

10 62 70 14

136 126 138 147

Розщеплення близько до розщеплення 1:1:1:1, можна припустити, що гени успадковуються незалежно. Перевірка по *х2* не відкидає даного припущення.

Розщеплення по генам В і С: ВС Вc bC bс

126 10 64 133

68 70 14 62

194 80 78 195

Оскільки розщеплення не відповідає розщепленню при незалежному успадкуванні (не 1:1:1:1), можна стверджувати, що гени зчеплені, некроссовери ВС і bс, отже, гени входили в схрещування в стані "тяжіння" і фенотипи кросоверів Вc і bс.

Відсоток кроcинговеру $\frac{\left(80+78\right)×100\%}{578}=26,6\%$

Розщеплення по генам А і С: АС Ас аС аc

126 62 14 133

64 10 68 70

190 72 82 203

Аналогічно попередньому, можна сказати, що гени А і С зчеплені, некроссовери АС і ас, гени входили в схрещування в фазі "притяжіння" і фенотипи кросоверів Ас і АС.

Відсоток кросинговеру $\frac{\left(72+82\right)×100\%}{578}=27,3\%$

Оскільки ген А зчеплений з геном С і ген В зчеплений з С, гени А і В також зчеплені, гени входили в схрещування в фазі "притягання", фенотип кросоверів Аb і аВ.

Відсоток кроcинговеру $\frac{\left(126+138\right)×100\%}{578}=45,7\%$

2. Визначення порядку розташування генів в хромосомі.

Оскільки найбільший відсоток кросинговеру між генами А і В, можна сказати, що гени А і В лежать на кінцях досліджуваної області хромосоми, а ген С - посередині, трохи ближче до В.

A 27,3 С 26,6 B

Очевидно, що в даному випадку не можна дотримуватися закону адитивності внаслідок того, що відстань між генами А і В дуже велике. Крім того, при визначенні відсотка кроссинговеру між цими генами не були враховані подвійні кросовери. Фенотип подвійних кросоверів AcB і aCb

А

С

В

х

х

a

c

b

 подвійних кросоверів, % $\frac{\left(10+14\right)×100\%}{578}=4,1\%$

Відстань між генами А і В з урахуванням подвійних кросоверів : 45,7% + 2 × 4,1% = 53,9%

№ 17. Гомозиготну сланку рослину гороху з забарвленими квітками схрестили з гомозиготною кущистою рослиною з білими квітками. У ₣2 від цього схрещування отримали наступне розщеплення:

128 сланких з забарвленими квітами,

20 сланких з білими квітами,

22 кущистих з забарвленими квітами,

30 кущистих з білими квітами

Поясніть отримані результати, визначте генотипи вихідних рослин, генотип і фенотип гібридів ₣1.

Короткий запис умови задачі.

Горох. Спадкування форми стебла і забарвлення квіток.

P сланк. × кущист.

забарв. кв. біл. кв.

₣1 ?

₣2 138 сланк. з забарв.кв.

20 сланк. з біл. кв.

22 кущист. з забарв. кв.

30 кущист. з біл. кв.

200

Розв'язок .

I. Аналіз спадкування за кожною ознакою.

Форма стеблини

В ₣2 розщеплення сланк. кущист.

 128 22

 20 30

 148 52

Розщеплення на два фенотипічних класи з переважанням сланкої форми стебла дозволяє припустити моногене розщеплення. Визначаємо величину одного можливого поєднання гамет в розщепленні - 200:4 = 50, розщеплення в досвіді: 148:50 = 2,9; 52:50 = 1,0, тобто приблизно 3:1. Перевірка Н­­0 по *x2* в моногеному розщепленні щодо 3:1 її не відкидає. Вводимо позначення алелів: А - сланкі. ст., а - кущисті, ст.

Забарвлення квіток

Розщеплення у ₣2: забарв. біл.

128 20

22 30

150 50

Розщеплення в дослідженні точно відповідає розщепленню при моногенному спадкуванні. Вводимо позначення алелей: В - забарвл.кв., B - біл.кв.

Висновок: ознака контролюється одним геном, сланка форма стебла домінує над кущистою. Генотипи вихідних рослин за цією ознакою:

ВВ и bb, генотип гібридів ₣1 Вb.

II. Аналіз успадкування двох ознак.

Оскільки в ₣2 відбулося розщеплення, не властиве розщепленню при незалежному успадкуванні (не 9:3:3:1), очевидно, що ознаки успадковуються зчеплено і поява чотирьох фенотипічних класів свідчить про минулий кросинговер. Гени входили в схрещування в фазі "притяжіння", генотипи вихідних рослин $\frac{AB}{\overbar{AB}} $ і $\frac{ab}{\overbar{ab}}$, рослини ₣1 мають генотип $\frac{AB}{\overbar{ab}}$ , вони мають сланкі стебла та забарвлені квітки.

У дігетерозиготних рослин можуть утворитися чотири типи гамет в різних співвідношеннях (некросоверних більше):

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Гамети |  | Некросоверні | Кросоверні |
|  |  | AB | аb | Аb | аВ |
| Некросоверні | АВ | $$\frac{AB}{\overbar{AB}}$$ | $$\frac{ab}{\overbar{AB}}$$ | $$\frac{Ab}{\overbar{AB}}$$ | $$\frac{aB}{\overbar{AB}}$$ |
| ab | $$\frac{AB}{\overbar{ab}}$$ | $$\frac{ab}{\overbar{ab}}$$ | $$\frac{Ab}{\overbar{ab}}$$ | $$\frac{aB}{\overbar{ab}}$$ |
|  |
| Кросоверні | Аb | $$\frac{AB}{\overbar{Ab}}$$ | $$\frac{ab}{\overbar{Ab}}$$ | $$\frac{Ab}{\overbar{Ab}}$$ | $$\frac{aB}{\overbar{Ab}}$$ |
|  | aВ | $$\frac{AB}{\overbar{aB}}$$ | $$\frac{ab}{\overbar{aB}}$$ | $$\frac{Ab}{\overbar{aB}}$$ | $$\frac{aB}{\overbar{aB}}$$ |

Очевидно, що визначити відсоток кроссинговеру по кроссоверним класам Аb і аВ в даному випадку не можна, тому що частина кросоверів фенотипно не проявиться, внаслідок домінування (див. ґратку Пеннета). Для визначення відсотка кроссинговера в даному випадку знаходимо частку подвійних рецесивів в розщепленні, які в цьому випадку є некроссоверами 30:200 = 0,15. Визначаємо частку гамет некроссоверного типу аb, вона дорівнює $\sqrt{0,15}$ = 0,39(39%). Оскільки частоти некроссоверних гамет різного типу однакові, частота гамет АВ також 39%. Частка кроссоверних гамет дорівнює 100% - 2 × 39% = 22%, що відповідає частоті кросинговера між генами А і В.

Висновки:

1. Ознака форми стебла у гороху успадковується моногенно з домінуванням сланкої форми стебла над кущистою.

2. Забарвлення квіток успадковується моногенно з домінуванням забарвленої над незабарвленою.

3. Ознаки успадковуються зчеплено, гени локалізовані в одній хромосомі на відстані 22% кросинговеру.

Розділ 6

№19. У популяції 10% особин має групу крові М. Припускаючи панміксію і відсутність відбору, визначте, який відсоток особин у цій популяції має групи крові N і MN.

Розв'язок.

Частота людей з групою крові М є частота гомозигот ММ. Вона дорівнює р2 = 0,10 (10%). Звідси р, тобто частота гена М в популяції, дорівнює $\sqrt{p^{2}}$ = $\sqrt{0,1}$ = 0,32= 0,32. Тоді, за законом Харді - Вайнберга, частота гена N в цій популяції дорівнює 1 - 0,32 = 0,68, значить частота генотипу NM за формулою дорівнює 2pq = 2×0,32×0,68 = 0,435 (43,5%), частота генотипу NN q2 =0,462(46,2%).

Розділ 7

№20. Яке співвідношення фенотипів і генотипів ви очікуєте отримати від схрещування двох тетраплоїдів з генотипом Аааа, якщо має місце повне домінування і випадкове хромосомні розщеплення?

Розв'язок.

При випадковому хромосомному розщепленні тетраплоїди з генотипом Аааа можуть дати три типи гамет в співвідношенні: 1АА: 1аа: 4АА. Отже, в потомстві від схрещування таких особин повинно відбутися наступне розщеплення:

 гамети

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| гамети | ♂ ♀ | АА | 4Аа | аа |
| АА | АААА | 4АААа | ААаа |
| 4Аа | 4АААа | 16ААаа | 4Аааа |
| аа | ААаа | 4Аааа | Аааа |

Співвідношення фенотипів в розщепленні за умови повного домінування: 35А: 1а; співвідношення генотипів: 1АААА: 8АААа: 18AAaa: 8Аааа: Iaaaa.

№21. Які фенотипи і в якому співвідношенні можуть виникнути в реципрокних схрещуваннях трисоміків з генотипами Ааа і АAa умови повного домінування; слід пам'ятати, що у батьківських рослин життєздатні лише гаплоїдні гамети.

Розв'язок.

Пряме схрещування ♀ Ааа × ♂ААа.

Материнська рослина може утворити чотири, а батьківська два типи гамет в співвідношенні:

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| ♂ ♀ | 2Аа | 2а | А | аа |
| 2А | 4ААа | 4Аа | 2АА | 2Ааа |
| А | 2Ааа | 2аа | Aа | ааа |

Співвідношення фенотипів у потомстві: 17А: 1а.

Зворотнє схрещування: ♀ ААа × ♂ Ааа.

Материнська рослина може утворити чотири, а батьківська два типи гамет в співвідношенні:

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| ♂ ♀ | 2Аа | 2А | АА | а |
| 2аа | 4Аааа | 4Ааа | 2ААаа | 2ааа |
| А | 2ААа | 2АА | AAA | Аа |

Співвідношення фенотипів у потомстві: 8А:1а.

Додаток

Таблиця I

Значення *x2* при різних ступенях свободи (по Фішеру)

|  |  |
| --- | --- |
| Числоступенівсвободи | Вірогідність (Р) |
| 0,99 | 0,98 | 0,95 | 0,90 | 0,80 | 0,70 | 0,50 | 0,30 | 0,20 | 0,10 | 0,05 | 0,02 | 0,01 |
| 1 | 0,0002 | 0,0006 | 0,004 | 0,016 | 0,064 | 0,148 | 0,455 | 1,074 | 1,642 | 2,706 | 3,841 | 5,412 | 6,635 |
| 2 | 0,0201 | 0,0404 | 0,103 | 0,211 | 0,446 | 0,713 | 1,386 | 2,408 | 3,219 | 4,605 | 5,991 | 7,824 | 9,210 |
| 3 | 0,115 | 0,185 | 0,352 | 0,584 | 1,005 | 1,424 | 2,366 | 3,665 | 4,642 | 6,251 | 7,815 | 9,837 | 11,341 |
| 4 | 0,297 | 0,429 | 0,711 | 1,064 | 1,649 | 2,195 | 3,357 | 4,878 | 5,989 | 7,779 | 9,488 | 11,668 | 13,277 |
| 5 | 0,554 | 0,752 | 1,145 | 1,610 | 2,343 | 3,000 | 4,351 | 6,064 | 7,289 | 9,236 | 11,070 | 13,388 | 15,086 |
| 6 | 0,872 | 1,134 | 1,635 | 2,204 | 3,070 | 3,826 | 5,348 | 7,231 | 8,558 | 10,654 | 12,592 | 15,033 | 16,812 |
| 7 | 1,239 | 1,564 | 2,167 | 2,833 | 3,822 | 4,671 | 6,346 | 8,383 | 9,803 | 12,017 | 14,067 | 16,622 | 18,475 |

Додаток

Таблиця П

Деякі типи розщеплень при моногенному і дігенном 1) успадкування ознаки

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Тип розщеплення | ₣2 | ₣ан |
| Моногенне (відмінність по одній парі алелей) | 3 А : 1 а- повне домінування1 АА : 2 Аа : 1 аа-не повне домінування, кодомінування | 1А :1 а- при всіх типах алельних взаємодій |
| Дігенне(різниця по двох парах алелей) | I. Комплементарна взаємодія9 АВ : 3 Аb : 3 аВ : 1 аb9 АВ : 6(Аb + аВ) : 1 аb9 АВ : 3 Аb : 4(аВ + аb )9 АВ : 7 (Аb + аВ + аb )II. Епістаз13 (АВ + Аb + аb ) : 3 аВ12 (АВ + Аb ) : 3 аB : 1аbIII. Полімерія15(а1А2 + А1а2) : 1а1а2 | 1 АВ : 1 Аb : 1 аВ : 1 аb1 АВ :2(Аb + аВ) : 1 аb1 АВ : 1 Аb : 2 (аВ + аb )1 АВ :3(Аb + аВ + аb )3(АВ +Аb + ab ) : 1 аВ2(АВ +Аb) : I аB : I аb3(А1А2+ А1а2 + а1 А2) : 1 а1 а2 |

1) Розглянуто випадки незалежного успадкування двох генів.