


Ćwiczenie 02b

Kodominacja, allele wielokrotne Współdziałanie genów

Kornelia Polok

1. Kodominacja

1.1. Definicje

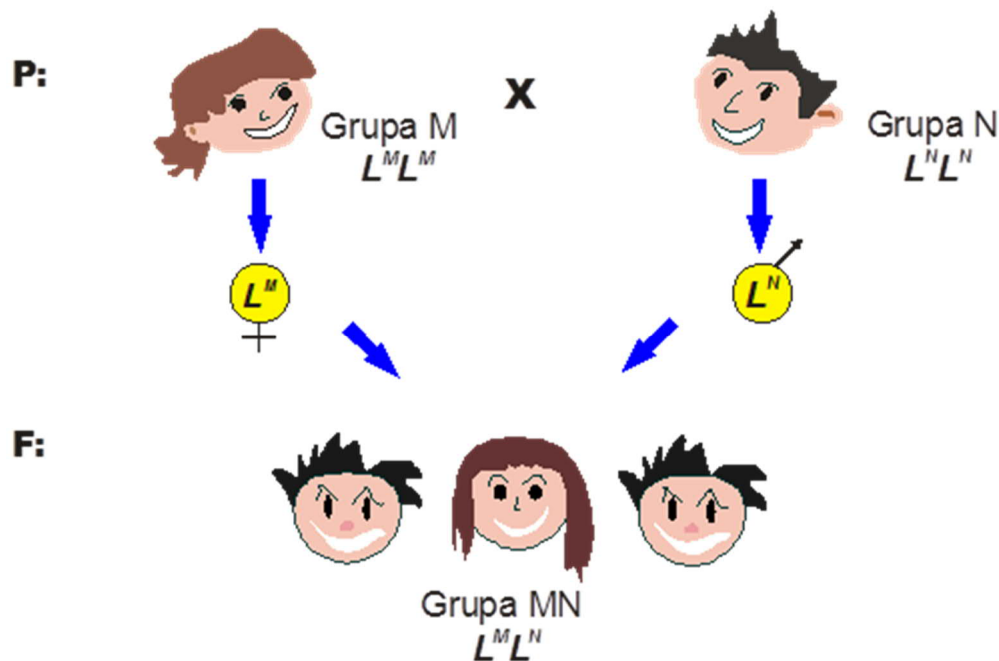
-  ● **Kodominacja:** w heterozygotcie ujawniają się fenotypy determinowane przez oba allele danego genu. Każdy z alleli ulega ekspresji. Kodominujące są allele warunkujące grupy krwi A i B u człowieka. Kodominacja najczęściej dotyczy cech biochemicznych, izoenzymów, cech molekularnych.
- **Izoenzymy:** formy danego enzymu pełniące taką samą funkcję, ale różniące się niektórymi właściwościami fizycznymi, w tym ruchliwością w polu elektrycznym. Izoenzymy o różnej ruchliwości często uwarunkowane są różnymi allelami jednego genu. Różnice w ruchliwości można wykryć przy pomocy elektroforezy enzymów. Metoda ta polega na nałożeniu ekstraktu białkowego na stały nośnik (skrobia, agaroz, poliakrylamid). Następnie żel umieszcza się w polu elektrycznym o określonym napięciu i natężeniu. W polu elektrycznym enzymy migrują, przy czym kierunek i szybkość migracji zależą od znaku i wielkości ładunku elektrycznego. Po odłączeniu napięcia, enzymy zostają unieruchomione w określonym miejscu nośnika i można je ujawnić za pomocą specyficznej reakcji histochemicznej. W efekcie otrzymuje się obraz barwnych prążków w określonej odległości od miejsca naniesienia ekstraktu.

1.2. Przykłady

Przykład 1.2.1.

U człowieka zdolność do wytwarzania antygenów krwinkowych M i N jest warunkowana przez gen L z dwoma allelami. Jeden z alleli genu L warunkuje produkcję antygeny typu M, a drugi jest odpowiedzialny za wytworzenie antygeny typu N. W małżeństwie kobiety z grupą krwi M oraz mężczyzny z grupą krwi N urodziło się troje dzieci. W krwi wszystkich dzieci stwierdzono występowanie zarówno antygeny M jak i N, a ich grupę krwi oznaczono jako MN. Wyjaśnij genetyczne uwarunkowania produkcji antygenów M i N oraz podaj genotypy rodziców i dzieci.

Rozwiązanie



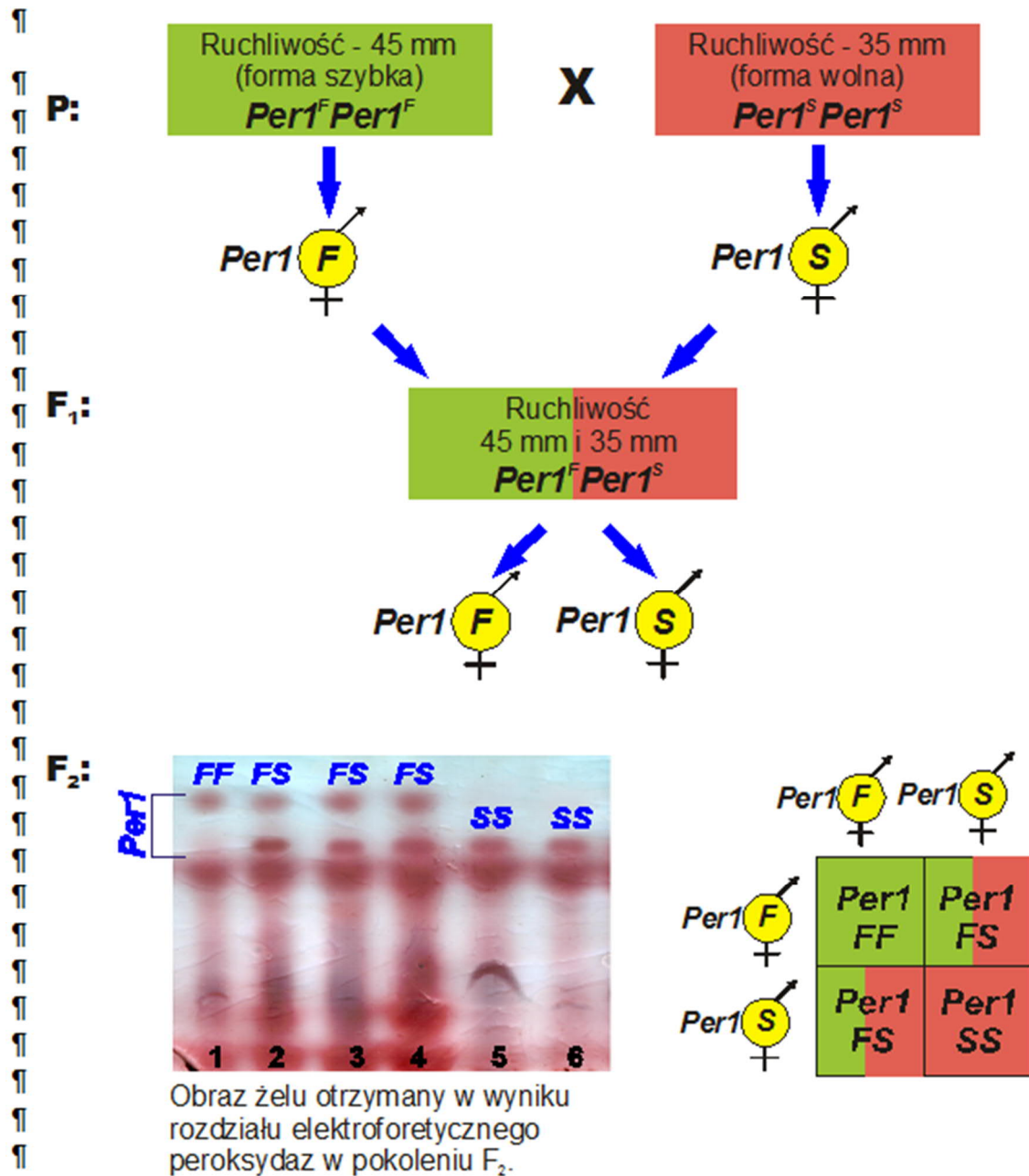
- Dzieci otrzymały po jednym allelu od każdego z rodziców. Matka przekazała allel L^M odpowiedzialny za produkcję antygeny M. Ojciec przekazał allel L^N odpowiedzialny za produkcję antygeny N.
- Wszystkie dzieci są heterozygotami o genotypie $L^M L^N$. U dzieci produkowany jest zarówno antygen M jak i N, co prowadzi do powstania grupy MN. Oba allele dają efekt fenotypowy „niezależnie od siebie”. Oba allele przejawiają się w heterozygotcie. Żaden z nich nie jest dominujący.
- Ten typ działania alleli jednego genu nosi nazwę kodominacji. Od niepełnej dominacji różni się tym, iż w przypadku kodominacji widoczne są efekty działania obu alleli, natomiast niepełna dominacja charakteryzuje się fenotypem pośrednim, który powstaje na skutek osłabienia efektu genotypowego allela dominującego.

W przypadku kodominacji, żaden z alleli nie jest dominujący, ani nawet częściowo dominujący. Dlatego nie zapisuje się ich dużymi i małymi literami. Zapisuje się je jako indeksy górne przy literze symbolizującej gen. Kodominacja najczęściej występuje na poziomie molekularnym. Obserwuje się ją między innymi w odniesieniu do grup krwi AB, izoenzymów, niektórych markerów DNA (SSR, RFLP).

Przykład 1.2.2.

Gen *Per1* u *Lolium perenne* jest odpowiedzialny za wytwarzanie peroksydazy. W locus tym występuje allel *Per1^F* kodujący enzym (allozym) o ruchliwości 45 mm oraz allel *Per1^S* kodujący enzym migrujący wolniej, o ruchliwości 35 mm. Po skrzyżowaniu rośliny homozygotycznej z szybko migrującą peroksydazą (45 mm) z rośliną homozygotyczną, u której wystąpił wariant wolnomigrujący (35 mm) w F_2 pojawiły się dwa rodzaje fenotypów jednoprzętkowych oraz fenotypy dwuprzętkowe (patrz rysunek: obraz rozdziału elektroforetycznego w pokoleniu F_2).

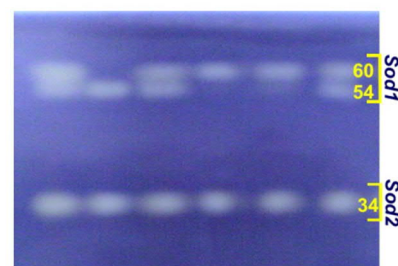
- A. Wyjaśnij skąd wzięły się fenotypy dwuprzętkowe?
- B. Jakie były genotypy roślin obserwowanych w F_2 oraz jaki był genotyp i fenotyp pokolenia F_1 ?
- C. W jakich proporcjach wystąpiły poszczególne fenotypy w pokoleniu F_2 ?



1.3. Zadania



1.3.1. Na rysunku przedstawiono obraz rozdziału elektroforetycznego dysmutazy ponadtlenkowej (SOD) w pokoleniu F_2 pewnego gatunku. Ujawniono dwa geny, **Sod1** i **Sod2** kodujące formy tego enzymu. W pokoleniu F_2 zaobserwowano występowanie fenotypów jedno- i dwuprzążkowych pod względem genu **Sod1**. Wyjaśnij skąd wzięły się fenotypy dwuprzążkowe w F_2 , podaj genotypy dla wzorów roślin F_2 widocznych na rysunku. Ustal genotypy rodziców i pokolenia F_1 .



1.3.2. Kamelia to krzew o lśniących, ciemnozielonych liściach i okazałych kwiatach, niegdyś będących wyznacznikiem dobrego stylu. Roślina pochodzi z wschodniej i południowo-wschodniej Azji, a w Europie znana między innymi za sprawą powieści A. Dumas „Dama kameliowa”. Czerwono-biały kolor kwiata (część płatków jest czerwona, a część biała) tej rośliny jest wynikiem kodominacji. Pewien ogrodnik skrzyżował rośliny o czerwono-białych kwiatach w celu wyhodowania stabilnych, czyli, nierozszczepiających się w potomstwie, form białych. Czy postąpił słusznie? Czy w wyniku tego krzyżowania można również uzyskać formy stabilne czerwone? (1 punkt)

Czas wykonania 10 min.

2. Allele wielokrotne

2.1. Definicje



- **Allele wielokrotne:** w populacji występuje 3 lub więcej alleli danego genu. Pomiedzy allelami wielokrotnymi występują stosunki dominacji i recesywności, kodominacji. Allele wielokrotne mogą tworzyć szereg alleli wielokrotnych na podstawie kolejności dominowania. Allele wielokrotne są przejawem polimorfizmu. U człowieka przykładem alleli wielokrotnych jest układ grup krwi A, B, 0. W genie kodującym antygeny krwinkowe występują trzy allele: I^A , I^B , i .
- **Polimorfizm:** w populacji występuje 2 lub więcej alleli danego genu. Allele wielokrotne są przejawem polimorfizmu.

2.2. Przykłady

Przykład 2.2.1.

Na podstawie uzyskanych wyników krzyżówek ustal kolejność dominowania alleli warunkujących kolor kwiatu u wyślinu:

- czerwony x brązowy = czerwony
- żółty x kremowy = żółty
- brązowy x pomarańczowy = brązowy
- zielony x biały = biały
- pomarańczowy x żółty = pomarańczowy
- kremowy x biały = kremowy.



Rozwiązanie

- Nie podano czy krzyżowane formy są liniami czystymi czy nie, ale w żadnej krzyżówce nie uzyskano rozszczepienia należy przyjąć, że są to linie czyste.
- Ze wszystkich kombinacji tylko barwa czerwona i zielona nie powtarzają się w innych krzyżówkach. Zielona z białym daje biały zatem zielona jest recesywna. Natomiast czerwona z brązowym daje czerwony zatem czerwony jest dominujący względem wszystkich pozostałych.
- Analizujemy kolejno krzyżówki. Przykładowo brązowy z pomarańczowym daje brązowym, zatem brązowy jest dominujący.
- Ostatecznie otrzymujemy kolejność dominowania: czerwony, brązowy, pomarańczowy, żółty, kremowy, biały, zielony.

2.3. Zadania



2.3.1. Pewna kobieta o grupie krwi AB urodziła dziecko o grupie krwi A. Który z wymienionych mężczyzn był ojcem dziecka:

- A. o grupie krwi A,
- B. o grupie B? **(1 punkt)**

2.3.2. Jeżeli każdy z rodziców ma grupę krwi AB, to jakich genotypów i z jakim prawdopodobieństwem możemy spodziewać się wśród ich dzieci? **(1 punkt)**

2.3.3. U kotów barwa sierści zależy od szeregu alleli wielokrotnych składającego się z genów: C - futerko ciemne, c^r - srebrzyste, c^s - syjamskie. Srebrzysta kotka dała miot złożony z kociąt srebrzystych, ciemnych i syjamskich. Jaki był genotyp i fenotyp ojca tych kociąt? **(2 punkty)**

Czas wykonania: 15 minut

3. Współdziałanie genów

3.1. Definicje



Wiele genów może wpływać na jedną cechę. Wówczas obserwujemy odstępstwa od klasycznych stosunków rozszczeień. Stosunek rozszczeień fenotypów w F_2 wynoszący 9:3:3:1 jest charakterystyczny dla niezależnego dziedziczenia dwóch genów i obserwujemy go w F_2 , gdy krzyżowane osobniki różniły się dwoma cechami. Jeżeli rozszczenie fenotypowe 9:3:3:1 lub jego modyfikacje występują w pokoleniu F_2 uzyskanym w wyniku krzyżowania form różniących się jedną cechą, świadczy to o współdziałaniu genów. W przypadku współdziałania genów modyfikacje stosunków rozszczeień fenotypowych w F_2 mogą być następujące:

- **9:7** – komplementacja, do powstania cechy niezbędne są allele dominujące z obydwu loci;
- **9:6:1** – addytywne współdziałanie genów dominujących, efekty genów sumują się, przy czym w locus jest dominacja
- **9:3:4** – recesywna epistaza, epistaza polega na hamowaniu efektów działania jednego genu przez drugi gen, epistaza recesywna efekt hamujący mają allele recesywne;
- **12:3:1** oraz **13:3** – epistaza genów dominujących, efekt hamujący mają allele dominujące.
- Współdziałanie genów może także polegać na sumowaniu lub mnożeniu się efektów alleli dominujących we wszystkich loci. Mówimy wówczas o współdziałaniu addytywnym (geny kumulatywne) lub multiplikatywnym, które są charakterystyczne dla genów warunkujących cechy ilościowe. Współdziałania te mogą być dalej komplikowane poprzez kombinacje działania addytywnego, multiplikatywnego i dominacji.

3.2. Przykłady

Przykład 3.2.1.

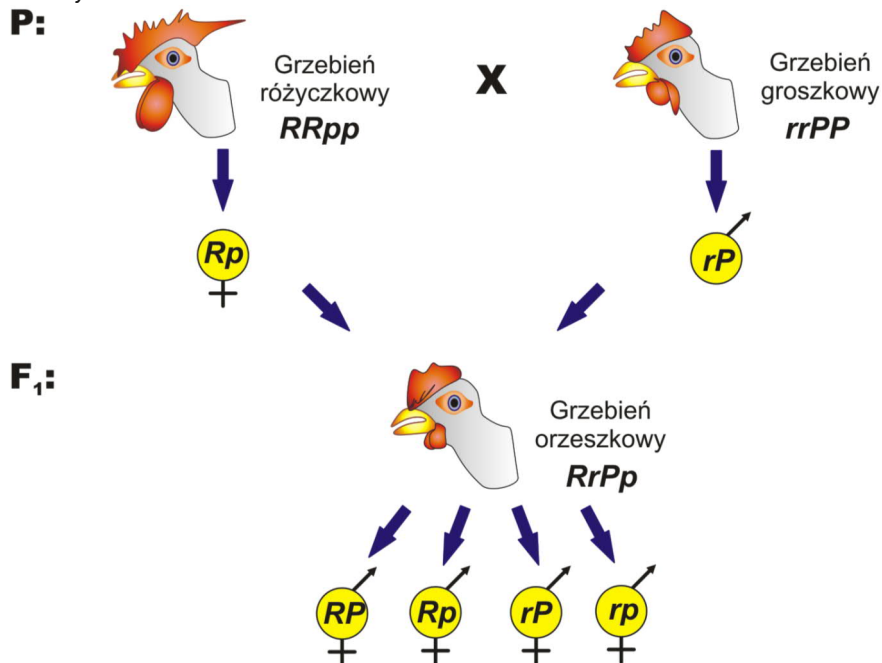
Skrzyżowano kurę o grzebieniu różyczkowym z kurą o grzebieniu groszkowym. W F_1 otrzymano kury o grzebieniu orzeszkowym, a w F_2 otrzymano 271 kur o grzebieniu orzeszkowym, 89 kur o grzebieniu różyczkowym, 92 kury o grzebieniu groszkowym i 30 kur grzebieniu pojedynczym. Jak dziedziczy się kształt grzebienia u kur? Podaj genotypy rodziców.

Rozwiązanie

- Krzyżowane kury różniły się jedną cechą – kształtem grzebienia. Należałoby więc przypuszczać, że cecha ta zależy od jednego genu i dziedziczy się zgodnie z pierwszym prawem Mendla. Przy takim założeniu w F_1 powinniśmy uzyskać formy o kształcie grzebienia któregoś z rodziców lub pośrednim. Tymczasem uzyskujemy nową cechę – grzebień orzeszkowy.

Pojawienie się nowej cechy w pokoleniach F_1 lub/i F_2 otrzymanych ze skrzyżowania homozygot (linii czystych) różniących się jedną cechą może świadczyć, iż analizowana cecha jest uwarunkowana więcej niż jednym genem.

- Jeżeli kształt grzebienia dziedziczyłby się zgodnie z pierwszym prawem Mendla to w pokoleniu F_2 powinniśmy otrzymać dwie (lub 3) klasy fenotypowe w stosunku 3:1 (lub 1:2:1). Tymczasem otrzymane wartości odpowiadają w przybliżeniu stosunkowi 9:3:3:1, charakterystycznemu dla dwóch genów, które dziedziczą się niezależnie.
- Załóżmy, że kształt grzebienia jest uwarunkowany dwoma genami R, r oraz P, p . Jednolite pokolenie F_1 otrzymuje się tylko w wyniku krzyżowania dwóch homozygot pod względem obu genów. F_1 jest heterozygotą o genotypie $RrPp$. Wiadomo też, że ma ono grzebień orzeszkowy.



- Na podstawie pokolenia F_1 można stwierdzić, że grzebień orzeszkowy powstaje, gdy obecny jest przynajmniej jeden allel dominujący w każdym *locus*. Żaden z rodziców nie miał grzebienia orzeszkowego, a więc żaden nie mógł posiadać jednocześnie allela dominującego R i P . Jeden z rodziców, o grzebieniu różyczkowym miał genotyp $RRpp$, a drugi o grzebieniu groszkowym $rrPP$.
- W pokoleniu F_2 otrzymujemy osobniki o fenotypie F_1 – z grzebieniami orzeszkowymi, o fenotypach rodzicielskich – z grzebieniami różyczkowymi i groszkowymi oraz pojawiają się osobniki o nowym fenotypie – z grzebieniami pojedynczymi. Proporcje poszczególnych klas genotypowych wynoszą 9:3:3:1.

Jeżeli w wyniku krzyżowania homozygot (linii czystych) różniących się jedną cechą otrzymujemy w pokoleniu F_2 stosunek rozszczepień 9:3:3:1, charakterystyczny dla niezależnego dziedziczenia dwóch genów, to świadczy, że cecha uwarunkowana jest współdziałaniem dwóch genów

F₂:	RRPP 	RRPp 	RrPP 	RrPp 	
+					
+	RRPp 	RRpp 	RrPp 	Rrpp 	
+	RrPP 	RrPp 	rrPP 	rrPp 	
+	RrPp 	Rrpp 	rrPp 	rrpp 	

Fenotypy w F₂:

- grzebień orzeszkowe: 9
- Grzebień różyczkowe: 3
- Grzebień groszkowe: 3
- Grzebień pojedyncze: 1

Przykład 3.2.2.

Po skrzyżowaniu dwóch karłowatych odmian ogórka otrzymano w F₁ rośliny wysokie. Po samozapyleniu, w F₂ otrzymano 97 roślin wysokich oraz 79 roślin o wzroście karłowatym. Podaj genotypy i fenotypy rodziców oraz F₁. Jak dziedziczy się wzrost u ogórka?

Rozwiązanie

- Pokolenie F₁ jest jednolite, co świadczy, że krzyżowano linie czyste (homozygotyczne).
- Pokolenie rodzicielskie miało wzrost karłowaty, natomiast w pokoleniu F₁ pojawił się całkowicie nowy fenotyp – wzrost wysoki. Pojawienie się nowego fenotypu świadczy, że na wzrost u ogórka wpływają co najmniej dwa współdziałające geny.
- Aby ustalić, w jaki sposób geny współdziałają ze sobą w warunkowaniu wzrostu należy ustalić stosunek rozszczepień w pokoleniu F₂. W omawianym przypadku rośliny wysokie i karłowate wystąpiły w proporcjach 9:7.
- Otrzymane rozszczepienie fenotypów 9:7 możemy porównać z proporcjami fenotypów w pokoleniu F₂ wynoszącymi 9:3:3:1 i które wystąpiłyby w przypadku niezależnego dziedziczenia dwóch genów zgodnie z drugim prawem Mendla. Załóżmy, że wzrost jest uwarunkowany genami A i B. Możemy więc przyjąć, że:
 - ▶ osobniki o wzroście wysokim, stanowiące 9/16 pokolenia F₂ mają genotyp **A–B–**, oznacza to, że wzrost wysoki występuje tylko w obecności alleli dominujących w każdym z dwóch loci.

- ▶ osobniki karłowe, stanowiące 7/16 potomstwa mają genotypy **A–bb**, **aaB–** oraz **aabb**; w uproszczeniu można przyjąć, że powstają one z połączenia 3 klas fenotypowych obserwowanych przy niezależnym dziedziczeniu i stanowiących odpowiednio 3/16, 3/16 i 1/16 pokolenia F₂.
- ▶ Karłowi rodzice musieli mieć genotypy **AAbb** i **aaBB**, natomiast wysokie F₁ **AaBb**. Współdziałanie obserwowane u ogórka to przykład komplementacji.

Komplementacja to takie współdziałanie genów, w którym do powstania danego fenotypu niezbędne są allele dominujące we wszystkich współdziałających loci. Brak allele dominującego w którymkolwiek locus powoduje ujawnienie się zmienionego- zmutowanego fenotypu. Test komplementacji pozwala sprawdzić czy mutacje są alleliczne, to znaczy czy zaszły w tym samym genie (locus), czy też są niealleliczne i zaszły w różnych genach (loci). Jeżeli w wyniku krzyżowania dwóch mutantów otrzymujemy w F₁ formę zmutowaną to mutacje są alleliczne. Jeżeli w wyniku krzyżowania dwóch mutantów w F₁ otrzymujemy formę niezmutowaną to mutacje są niealleliczne.

3.3 Zadania



- 3.3.1. Czy dwa mutanty petunii o kwiatach białych są alleliczne czy niealleliczne jeżeli po ich skrzyżowaniu w F₁ uzyskano rośliny o kwiatach białych? **(1 punkt)**
- 3.3.2. U szynszyli popielata barwa sierści jest zdeterminowana przez allele dominujący **A**, allele recesywny tego genu, **a** warunkuje barwę brązową. Na ubarwienie wpływa także gen epistatyczny **B**, którego obecność warunkuje barwę białą. Podaj genotypy szynszyli białych, które skrzyżowane ze sobą dały potomstwo o barwie popielatej, brązowej i białej w stosunku 1:1:6. **(2 punkty)**
- 3.3.3. Skrzyżowano dwie czerwone cebule. W potomstwie otrzymano 146 cebuli czerwonych, 47 cebuli żółte oraz 63 cebule białe. Proszę ustalić sposób dziedziczenia barwy cebuli oraz podać genotypy krzyżowanych roślin. **(2 punkty)**

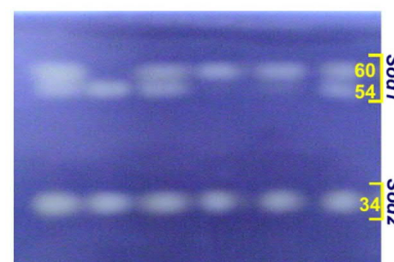
Czas wykonania: 15 minut

Odpowiedzi

1. Kodominacja

1.3. Zadania

1.3.1. Na rysunku przedstawiono obraz rozdziału elektroforetycznego dysmutazy ponadtlenkowej (SOD) w pokoleniu F_2 pewnego gatunku. Ujawniono dwa geny, **Sod1** i **Sod2** kodujące formy tego enzymu. W pokoleniu F_2 zaobserwowano występowanie fenotypów jedno- i dwuprzążkowych pod względem genu **Sod1**. Wyjaśnij skąd wzięły się fenotypy dwuprzążkowe w F_2 , podaj genotypy dla wzorów roślin F_2 widocznych na rysunku. Ustal genotypy rodziców i pokolenia F_1 .



- W locus *Sod1* występują dwa allele różniące się ruchliwością (allel S o ruchliwości 54 mm i allel F o ruchliwości 60 mm). Izoenzymy dziedziczą się kodominująco, co oznacza, że u heterozygot ujawnią się oba allele.
- Rodzice: homozygoty: SS x FF, pokolenie F_1 : heterozygota, FS,
- Genotypy F_2 : SF, S, SF, F, F, SF

1.3.2. Kamelia to krzew o lśniących, ciemnozielonych liściach i okazałych kwiatach, niegdyś będących wyznacznikiem dobrego stylu. Roślina pochodzi z wschodniej i południowo-wschodniej Azji, a w Europie znana między innymi za sprawą powieści A. Dumas „Dama kameliowa”. Czerwono-biały kolor kwiata (część płatków jest czerwona, a część biała) tej rośliny jest wynikiem kodominacji. Pewien ogrodnik skrzyżował rośliny o czerwono-białych kwiatach w celu wyhodowania stabilnych, czyli, nierozszczepiających się w potomstwie, form białych. Czy postąpił słusznie? Czy w wyniku tego krzyżowania można również uzyskać formy stabilne czerwone? (1 punkt)

- Tak, rośliny o kwiatach czerwono-białych są heterozygotami. Po ich skrzyżowaniu, 1/4 potomstwa będzie homozygotami zawierającymi dwa allele warunkujące barwę białą. W podobny sposób można otrzymać homozygoty z względem allele barwy czerwonej.

2. Allele wielokrotne

2.3. Zadania

2.3.1. Pewna kobieta o grupie krwi AB urodziła dziecko o grupie krwi A. Który z wymienionych mężczyzn był ojcem dziecka:

- A. o grupie krwi A,
- B. o grupie B?

- Kobieta ma grupę AB zatem musi mieć genotyp $I^A I^B$.
- Dziecko ma grupę A zatem może mieć genotyp: $I^A I^A$ lub $I^A i$. Od matki dziecko mogło otrzymać tylko I^A , zatem dziecko o grupie krwi A mogło otrzymać od ojca I^A w przypadku genotypu $I^A I^A$ lub i w przypadku genotypu $I^A i$.
- Mężczyzna o grupie krwi A miał genotyp $I^A I^A$ lub $I^A i$. Zatem mógł być ojcem dziecka w przypadku obu genotypów.
- Mężczyzna o grupie krwi B mógł mieć genotyp $I^B I^B$ lub $I^B i$. Mężczyzna o genotypie $I^B I^B$ wytwarza tylko gamety I^B zatem nie może być ojcem dziecka. Mężczyzna o genotypie $I^B i$ wytwarza gamety I^B oraz i . Gameta i po połączeniu z gametą matki I^A da genotyp $I^A i$ i grupę krwi A, zatem w tym przypadku mężczyzna może być ojcem dziecka.
- Ponieważ nie ma podanego genotypu mężczyzny o grupie B, nie można wykluczyć jego ojcostwa. Tym samym obaj mężczyźni mogą być ojcem dziecka.

2.3.2. Jeżeli każdy z rodziców ma grupę krwi AB, to jakich genotypów i z jakim prawdopodobieństwem możemy spodziewać się wśród ich dzieci? (2 punkty)

- Rodzice o grupie krwi AB mają genotyp $I^A I^B$. Wytwarzają gamety I^A i I^B . W wyniku połączenia tych gamet od matki i ojca otrzymujemy:
 - ▶ Dziecko o grupie A, $I^A I^A$ z częstością $\frac{1}{4}$ (25%);
 - ▶ Dziecko o grupie krwi B, $I^B I^B$ z częstością $\frac{1}{4}$ (25%);
 - ▶ Dziecko o grupie krwi AB, $I^A I^B$ z częstością $\frac{1}{2}$ (50%).

2.3.3. U kotów barwa sierści zależy od szeregu alleli wielokrotnych składającego się z genów: C - futerko ciemne, c^r - srebrzyste, c^s - syjamskie. Srebrzysta kotka dała miot złożony z kociąt srebrzystych, ciemnych i syjamskich. Jaki był genotyp i fenotyp ojca tych kociąt? (2 punkty)

- Srebrzysta kotka mogła mieć genotyp $c^r c^r$ lub $c^r c^s$.
- W potomstwie wystąpiły kocięta srebrzyste, ciemne i syjamskie. Futerko ciemne jest cechą dominującą warunkowaną allelem C. Kotka tego allela nie miała, zatem musiał on pochodzić od kocura. Musiał on być kotem o ciemnym futerku.
- Koty ciemne mogą mieć genotyp CC, Cc^r lub Cc^s . Kocur nie mógł mieć genotypu CC, gdyż wówczas wszystkie kocięta miałyby ciemne futerko.
- W miocie wystąpiły syjamskie kocięta. Alel c^s jest recesywny, zatem kocięta syjamskie muszą być $c^s c^s$. Jeden allel c^s pochodził od kotki, drugi od kocura. Czyli kocur miał genotyp Cc^s .

Współdziałanie genów

3.3. Zadania

3.3.1. Czy dwa mutanty petunii o kwiatach białych są alleliczne czy niealleliczne jeżeli po ich skrzyżowaniu w F_1 uzyskano rośliny o kwiatach białych? (1 punkt)

- Mutanty są liniami czystymi. Po ich skrzyżowaniu uzyskano formy białe, a więc o takiej samej barwie kwiatów jak rodzice. **Świadczy to, że mutanty są alleliczne.**
- Gdyby mutanty były niealleliczne, czyli mutacje zaszły w różnych genach (np. mutant pierwszy to aaBB, mutant drugi to AAbb), wówczas w F_1 nastąpiłaby komplementacja i barwa zostałaby odtworzona. Kwiaty byłyby barwne.

3.3.2. U szynszyli popielata barwa sierści jest zdeterminowana przez allel dominujący **A**, allel recesywny tego genu, **a** warunkuje barwę brązową. Na ubarwienie wpływa także gen epistatyczny **B**, którego obecność warunkuje barwę białą. Podaj genotypy szynszyli białych, które skrzyżowane ze sobą dały potomstwo o barwie popielatej, brązowej i białej w stosunku 1:1:6. (2 punkty)

- Barwa sierści uwarunkowana jest współdziałaniem genów typu epistazy, przy czym epistatyczny jest allel dominujący, zatem do zahamowania działania locus A, wystarczy tylko jeden allel B, wpływ hamujący ma homozygota BB i heterozygota Bb.
- Krzyżowano szynszyle białe, a więc wszystkie miały przynajmniej jeden allel B.
- W potomstwie uzyskano rozszczepienie na barwne (popielate + brązowe) i białe w stosunku 1+1 do 6, czyli 2:6 co daje 3:1, charakterystyczne do krzyżowania heterozygot. Z tego wynika, że krzyżowano dwie heterozygoty w locus B, czyli Bb x Bb.
- Rozszczepienia na popielate i brązowe wynosi 1:1, co odpowiada krzyżowaniu heterozygoty z homozygotą recesywną w locus A, zatem krzyżowano Aa x aa.
- Ostatecznie genotypy białych szynszyli to **AaBb x aaBb**.

3.3.3. Skrzyżowano dwie czerwone cebule. W potomstwie otrzymano 146 cebuli czerwonych, 47 cebuli żółte oraz 63 cebule białe. Proszę ustalić sposób dziedziczenia barwy cebuli oraz podać genotypy krzyżowanych roślin. (2 punkty)

- W potomstwie otrzymano rozszczepienie zatem krzyżowane rośliny nie były liniami czystymi.
- W potomstwie pojawiły się trzy barwy cebuli: czerwone, żółte i białe. Barwy te nie mogą być wynikiem kodominacji lub niepełnej dominacji, gdyż wówczas rozszczepienie w przybliżeniu wynosiłoby



1:2:1. Otrzymane liczebności nie odpowiadają temu rozkładowi. Zatem barwa cebuli musi być uwarunkowana więcej niż jednym genem.

- Otrzymany w potomstwie rozkład odpowiada stosunkowi 9:3:4, który jest modyfikacją stosunku 9:3:3:1. Oznacza to, że mamy do czynienia ze współdziałaniem dwóch genów, np A i B.
- **Czerwone cebule** (146) to osobniki, które mają allele dominujące w obu loci, A-B-. Stanowią one 9/16 zgodnie z II prawem Mendla.
- **Osobniki żółte są homozygotami recesywnymi** w jednym z locus, np: A-bb. Oznacza to, że allel B warunkuje barwę czerwoną i jest dominujący w stosunku do allela b odpowiadającego za barwę żółtą. Stanowią one 3/16 zgodnie z II prawem Mendla.
- Osobniki białe są homozygotami recesywnymi w locus A i odpowiadają dwom klasom:
 - ▶ aaB-,
 - ▶ aabb
- Klasy te stanowią 3/16 oraz 1/16 zgodnie z rozkładem wynikającym z II prawa Mendla. Łącznie te klasy dają 4/16.
- Ostatecznie barwa dziedziczy się następująco:
 - ▶ obecność barwy jest uwarunkowana dwoma współdziałającymi genami, A i B,
 - ▶ allel dominujący A jest niezbędny do wytworzenia barwy, homozygoty recesywne aa są zawsze białe, allel a w stanie homozygotycznym hamuje działanie genu B.
 - ▶ w obecności allela A, przejawia się barwa uwarunkowana genem B, allel dominujący B warunkuje barwę czerwoną, a allel recesywny b – barwę żółtą.
- Krzyżowane rośliny były heterozygotami AaBb, gdyż w potomstwie wystąpiło rozszczepienie 9:3:4, które jest modyfikacją rozszczepienia 9:3:3:1 charakterystycznego dla krzyżowania dwóch heterozygot pod względem dwóch genów.

Zjawisko, gdy jeden z genów hamuje działanie innego genu nosi nazwę epistazy. Jeżeli epistatyczne działanie wykazuje allel recesywny, mówimy o epistazie recesywnej.