

Ćwiczenie 02

Dziedziczenie cech uwarunkowanych jednogenowo. Analiza rozszczepień. Dziedziczenie grup krwi. Projektowanie doświadczeń, χ^2

Kornelia Polok

1. Dziedziczenie cech uwarunkowanych jednogenowo. Analiza rozszczepień.

1.1. Definicje



1.1.1. Podstawowe terminy

- **Fenotyp:** zestaw ujawnionych cech danego osobnika.
- **Genotyp:** zestaw genów danego osobnika.
- **Locus:** miejsce genu w chromosomie.
- **Allel:** alternatywna forma genów; u osobników diploidalnych zawsze występują dwa allele w locus; w populacji alleli może być wiele.
- **Homozygota:** osobnik mający dwa takie same allele w locus.
- **Heterozygota:** osobnik mający dwa różne allele w locus.
- **Dominacja:** w heterozygocie ujawnia się fenotypowo tylko jeden z alleli; allel ujawniający się w heterozygocie to allel dominujący, allel nieprzejawiający się fenotypowo w heterozygocie to allel recesywny, jego efekt można obserwować tylko u homozygot.
- **Linia czysta:** populacja składająca się z homozygot względem danej cechy, ang. pure line, true breeds. U roślin linie homozygotyczne względem wielu cech otrzymuje się między innymi w wyniku hodowli wsobnej, krzyżowania oddalonego oraz androgenezy.

1.1.2. Pokolenia

- **P:** pokolenie rodzicielskie, ang. parental generation, łac. parentes.
- **F₁:** pierwsze pokolenie mieszańców, ang. first filial generation, łac. Filus; powstaje w wyniku krzyżowania linii czystych. F₁ jest fenotypowo jednorodne i składa się z heterozygot.
- **F₂:** drugie pokolenie mieszańców, ang. secondo filial generation; powstaje w wyniku samozapłodnienia lub zapłodnienia krzyżowego osobników F₁.

1.1.3. I Prawo Mendla

I prawo Mendla mówi, że allele jednego genu wykluczają się wzajemnie w gametach.

Oznacza to, że u osobników diploidalnych do gamet przechodzi tylko jeden allel. A więc jeżeli osobnik ma genotyp Aa to do gamet przechodzą:

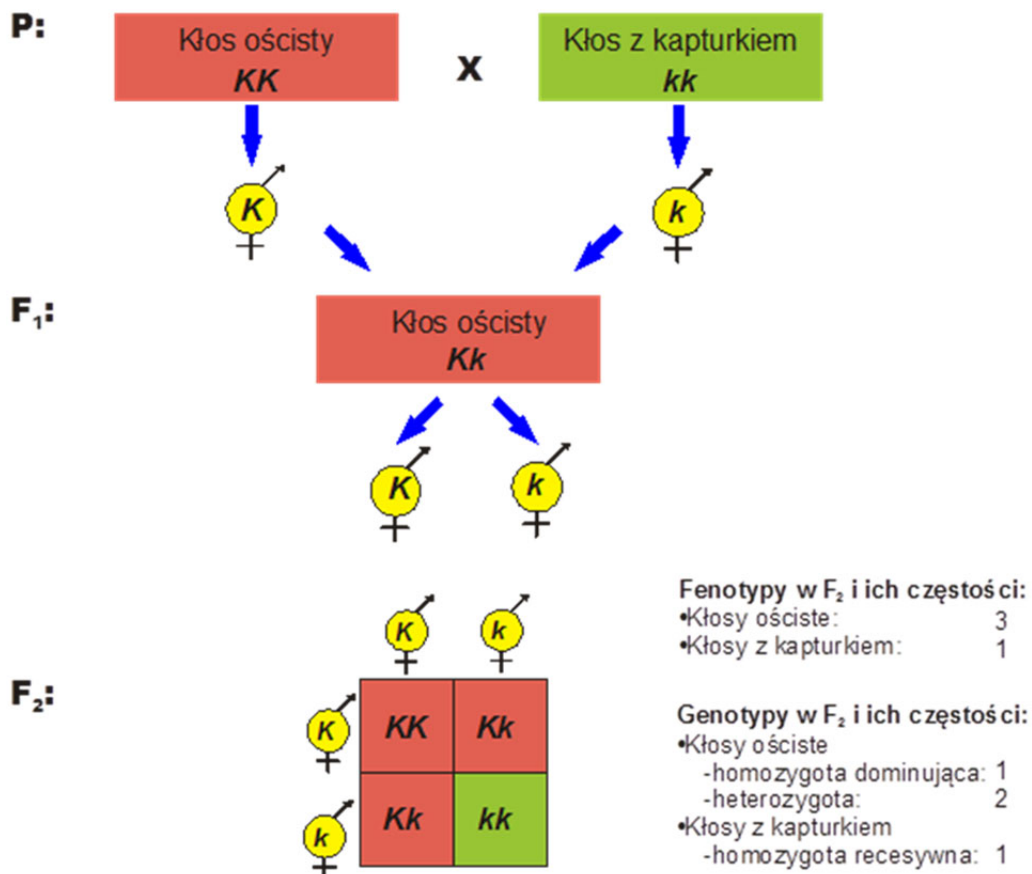
- A do jednej gamety,
- a do drugiej gamety.
- Heterozygota Aa wytwarza dwa typy gamet, przy czym każda występują z taką samą częstością wynoszącą 50% dla każdej gamety.

1.2. Przykłady

Przykład 1.2.1.

Podaj rozszczepienie, jakie wystąpi w pokoleniach F₁ i F₂ uzyskanych ze skrzyżowania linii czystych jęczmienia o kłosie ościstym z jęczmieniem o kłosie kapturkowym, jeżeli ościstość kłosa jest uwarunkowana allelem dominującym, K, a kapturek allelem recesywnym, k.

- Linia czysta o kłosie kapturkowym (cecha recesywna) musi być homozygotą recesywną. Jej genotyp to kk.
- Osobnik o cesze dominującej, ościsty może być heterozygotą o genotypie Kk lub homozygotą dominującą o genotypie KK. Ponieważ jest to linia czysta, a więc homozygotyczna, to jej genotyp jest KK.
- W pokoleniu F₁ nie obserwowano rozszczepienia. U wszystkich roślin wystąpiły kłosa ościste i były one heterozygotami. W pokoleniu F₂ wystąpiło rozszczepienie na rośliny o kłosach ościstych (cecha dominująca) i kłosach przekształconych w kapturek w stosunku 3:1. Wśród roślin z kłosami ościstymi wystąpiły homozygoty dominujące i heterozygoty w stosunku 2:1. Rośliny z kłosem przekształconym w kapturek były homozygotami recesywnymi.



1.3. Zadania



- 1.3.1. W pokoleniu F₂ 75% stanowią rośliny o kwiatach barwnych i 25% rośliny o kwiatach białych. Jeżeli spośród roślin o kwiatach barwnych wybrać losowo jedną i samozapylić, to jakie jest prawdopodobieństwo, że w jej potomstwie będzie się obserwowało segregację. (2 punkty)
- 1.3.2. Barwa oczu u ludzi zależy od jednego genu. Dominujący allel B jest odpowiedzialny za barwę ciemną, a recesywny allel b za barwę jasną. Jakie jest prawdopodobieństwo urodzenia jasnookiego dziecka w małżeństwie kobiety o oczach ciemnych z mężczyzną o oczach jasnych, jeżeli matka kobiety miała oczy jasne? (2 punkty)
- 1.3.3. Czy jest prawdziwe twierdzenie: jeżeli w małżeństwie heterozygotycznych ciemnookich rodziców urodziło się troje dzieci ciemnookich, to czwarte dziecko będzie miało oczy jasne? Uzasadnij odpowiedź. (2 punkty)
- 1.3.4. Fenylketonuria jest metaboliczną chorobą człowieka wywołaną allelem recesywnym. Jeżeli heterozygotyczna kobieta będzie miała pięcioro dzieci z heterozygotycznym mężczyzną to:

- A. Jaka jest szansa, że wszystkie dzieci będą zdrowe?
- B. Jaka jest szansa, że czwórka dzieci będzie zdrowa a jedno będzie chore?
- (2 punkty)

Czas wykonania: 15 minut

2. Dziedziczenie grup krwi u człowieka

2.1. 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 podłącza się do prądu o określonym napięciu. W powstałym 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.
- **Allele wielokrotne:** w populacji występuje 3 lub więcej alleli danego genu. Pomędzy allelami wielokrotnymi występują stosunki dominacji i recesywności, kodominacji. Allele wielokrotne mogą tworzyć szereg alleli wielokrotnych na podstawie kolejności dominowania.
- **Polimorfizm:** w populacji występuje 2 lub więcej alleli danego genu. Allele wielokrotne są przejawem polimorfizmu.

2.2. Przykłady

Przykład 2.2.1.

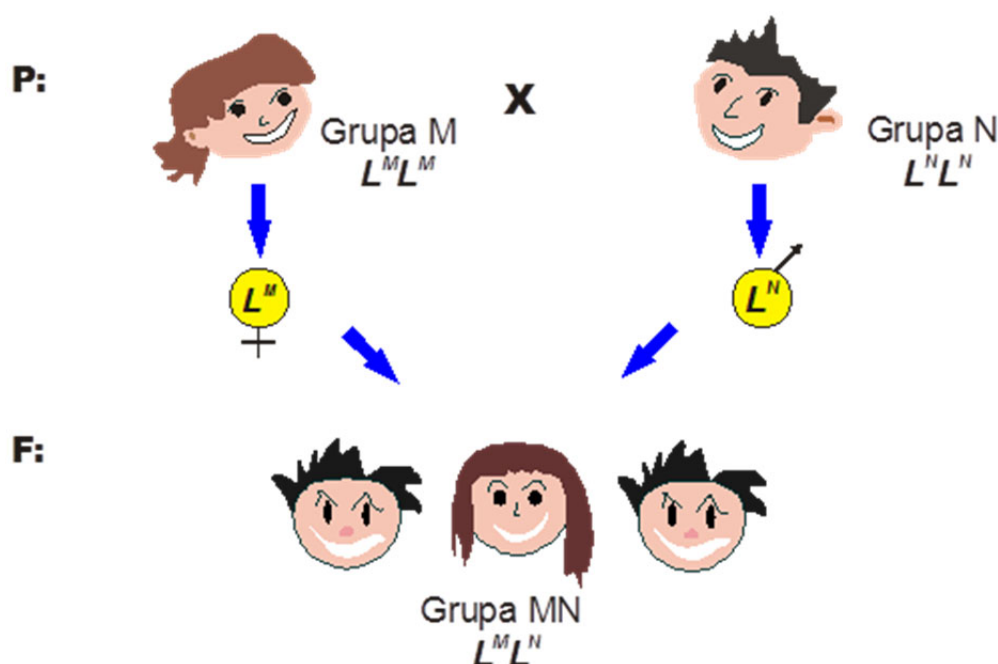
U człowieka zdolność do wytwarzania antygenów krwinkowych M i N jest warunkowana przez gen L z dwoma allelami. Jeden z alleli genu L warunkuje produkcję antygeny typu M, a drugi jest odpowiedzialny za wytworzenie antygeny typu N. W małżeństwie kobiety z grupą krwi M oraz mężczyzny z grupą krwi N urodziło 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 allele 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).



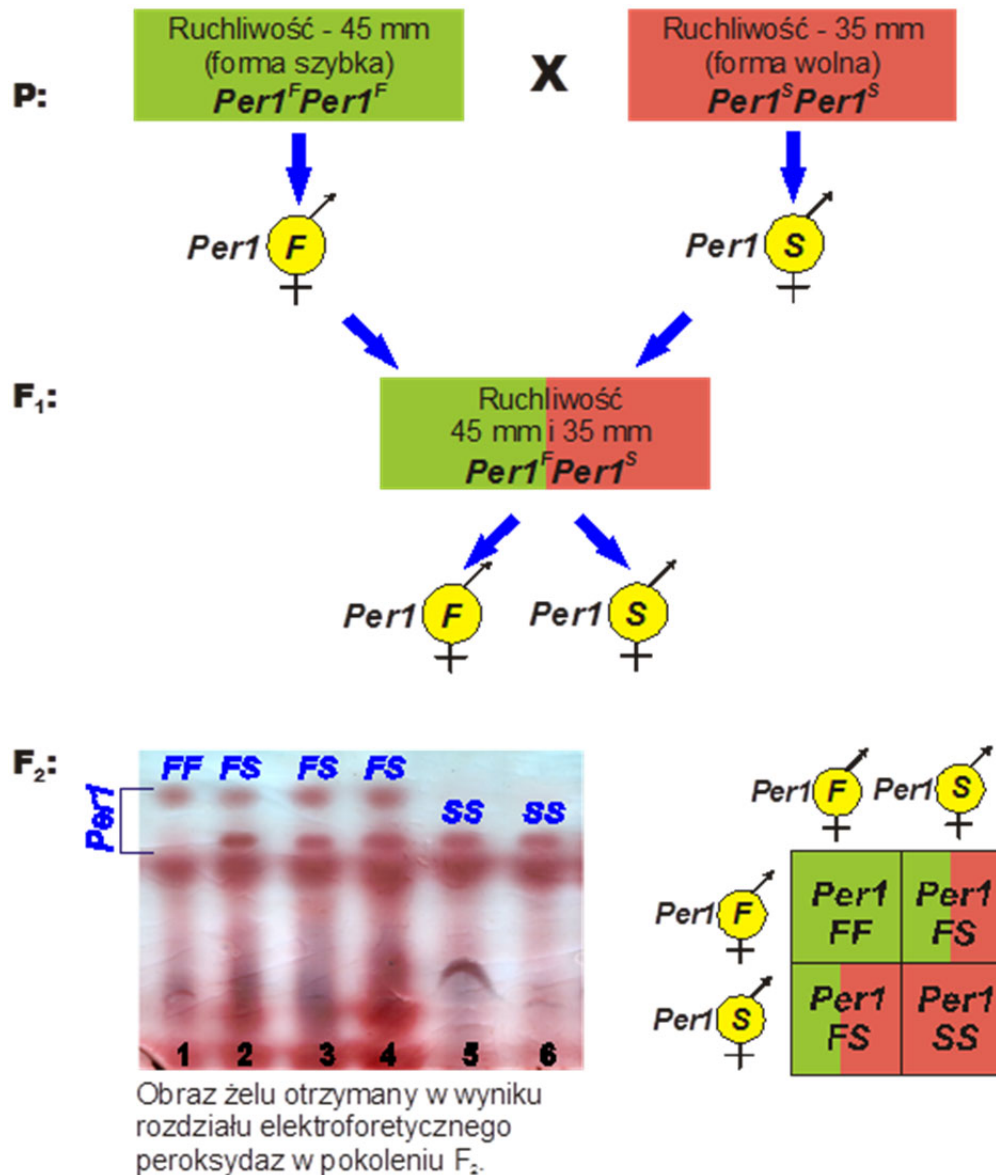
Przykład 2.2.2.

Izoenzymy są to 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, agarozą, poliakrylamid). Następnie żel podłącza się do prądu o określonym napięciu. W powstałym 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.

Gen *Per1* u *Lolium perenne* jest odpowiedzialny za wytwarzanie peroksydazy. W locus tym występuje allel *Per1^F* kodujący enzym (allozyme) 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 jednoprzędkowych oraz fenotypy dwuprzędkowe (patrz rysunek: obraz rozdziału elektroforetycznego w pokoleniu F_2).

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



- Allel ***Per1^F*** jest odpowiedzialny za wytworzenie cząsteczki enzymu o ruchliwości 45 mm. Homozygoty pod względem allele ***Per1^F*** wytwarzają jedynie formy peroksydazy o ruchliwości 45 mm, co jest widoczne na żelu jako jeden, szybko migrujący prążek, tzn. widoczny jako prążek położony dalej od początku żelu (ścieżka na żelu nr 1).
- Podobnie, homozygoty względem allele ***Per1^S*** wytwarzają jedynie cząsteczki peroksydazy o ruchliwości 35 mm, co jest widoczne na żelu jako wolno migrujący prążek, tzn. widoczny jako prążek położony bliżej od początku żelu (ścieżki nr 5 i 6 na żelu).
- W wyniku skrzyżowania dwóch homozygot rodzicielskich o genotypach ***Per1^FPer1^F*** i ***Per1^SPer1^S*** otrzymujemy heterozygotyczne pokolenie F_1 o genotypie ***Per1^FPer1^S***. U

heterozygot allel **Per1^F** jest odpowiedzialny za wytwarzanie szybko migrujących cząsteczek peroksydazy (45 mm), zaś allel **Per1^S** warunkuje wytwarzanie cząsteczek wolno migrujących (35 mm). Heterozygoty będą wytwarzały dwa typy cząsteczek peroksydazy, które będą widoczne na żelu jako dwa prążki (ścieżki nr 2-4 na żelu). Fenotypy dwuprążkowe w F₂ pochodzą od heterozygot F₂ i podobnie jak dwuprążkowe fenotypy F₁ są efektem zjawiska kodominacji.

- Obserwowane w pokoleniu F₂ fenotypy jednoprążkowe odpowiadają genotypom **Per1^FPer1^F** oraz **Per1^SPer1^S**, a fenotypy dwuprążkowe, genotypowi **Per1^FPer1^S**.
- Stosunki rozszczepień w F₂ będą zgodne z częstościami genotypów zakładanych przez Pierwsze Prawo Mendla i będą wynosiły 1:2:1, z podziałem na rośliny **Per1^FPer1^F** (jeden prążek o ruchliwości 45 mm), **Per1^FPer1^S** (dwa prążki o ruchliwości 45 mm i 35 mm) i **Per1^SPer1^S** (jeden prążek o ruchliwości 35 mm).

2.3. Zadania



2.3.1. Grupy krwi ABO u człowieka uwarunkowane są serią alleli wielokrotnych, które warunkują wytwarzanie antygenów krwinkowych. Potomstwo homozygot o grupie krwi A z osobami o grupie krwi 0 zawsze ma grupę krwi A. Podobnie, potomstwo homozygot o grupie B z osobami o grupie 0 zawsze ma grupę B. Potomstwo homozygot, z których jedna ma grupę krwi A a druga B zawsze ma grupę krwi AB.

A. Ustal dziedziczenie grup krwi u człowieka. (2 punkty)

B. Dobierz tak genotypy rodziców dwójki dzieci, aby każda osoba w czteroosobowej rodzinie mogła potencjalnie mieć inną grupę krwi. Podaj dwie możliwości. (2 punkty)

2.3.2. 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? (2 punkty)

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

Czas wykonania: 15 minut

3. Projektowanie doświadczeń. Wykorzystanie testu χ^2 do sprawdzania zgodności otrzymanych rozszczepień z rozkładem teoretycznym

3.1. Zastosowanie testu



- Test χ^2 (χ^2) jest prostą metodą pozwalającą na sprawdzenie czy hipoteza dotycząca dziedziczenia cechy jest zgodna z danymi eksperymentalnymi. Test χ^2 pozwala porównać dane eksperymentalne z przewidywanymi wartościami i ocenić czy odchylenia od wartości przewidywanych są istotne statystycznie.
- Przyjmuje się, że 5% odchylenia od przewidywanych wartości są wynikiem czynników losowych i tym samym nie są istotne statystycznie. Dlatego wartości testu χ^2 przyjmuje się dla poziomu 0.05.
- Aby ocenić czy dany poziom zmian jest istotny należy obliczyć wartość χ^2 dla danych doświadczalnych przy określonej hipotezie genetycznej. Obliczoną wartość należy porównać z wartością χ^2 dla prawdopodobieństwa $P = 0.05$ przy określonej liczbie stopni swobody, v . W uproszczeniu, stopnie swobody to liczba zdarzeń niezależnych we wzorze. W przypadku χ^2 liczba zdarzeń niezależnych, a więc stopni swobody jest równa liczbie przewidywanych klas fenotypowych pomniejszona o 1.
- Wzór na test χ^2

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}, \text{ gdzie:}$$

- O_i to liczebność obserwowana;
- E_i to liczebność przewidywana.
- $E_i = p \times n$ (p : prawdopodobieństwo wystąpienia danej klasy, n : liczebność całej próby).

3.2. Ćwiczenia

3.2.1. Na podstawie tabeli przedstawiającej liczebności klas fenotypowych otrzymanych w doświadczeniu nad grochem przez Mendla (wykład 3), oblicz wartości testu χ^2 dla badanych przez niego cech i zakładanego przez niego sposobu dziedziczenia 3:1.

Liczba stopni swobody dla rozkładu teoretycznego 3: 1 wynosi 1.

Wartość testu χ^2 dla $P = 0.05$ i $v = 1$ wynosi 3.841

Klasa fenotypowa	Prawdopodobieństwo	Liczebność obserwowana	Liczebność oczekiwana	Chi ²
Czerwone kwiaty	0.75	310	300	0,33
Białe	0.25	90	100	1,0
Suma		400	400	1,33

Otrzymana wartość testu χ^2 (1,33) jest mniejsza od wartości dla $P = 0.05$, a więc możemy przyjąć, że barwa kwiatu dziedziczy się zgodnie z I prawem Mendla.

Odpowiedzi

1. Dziedziczenie cech uwarunkowanych jednogenowo

1.3. Zadania

1.3.1. W pokoleniu F_2 75% stanowią rośliny o kwiatach barwnych i 25% rośliny o kwiatach białych. Jeżeli spośród roślin o kwiatach barwnych wybrać losowo jedną i samozapylić, to jakie jest prawdopodobieństwo, że w jej potomstwie będzie się obserwowało segregację.

- Wśród roślin barwnych $\frac{2}{3}$ stanowią heterozygoty a $\frac{1}{3}$ homozygoty.
- Rozszczenie zaobserwujemy tylko wśród heterozygot zatem prawdopodobieństwo, że roślina barwna będzie segregowała wynosi $\frac{2}{3}$ czyli **66,7%**.

1.3.2. Barwa oczu u ludzi zależy od jednego genu. Dominujący allel B jest odpowiedzialny za barwę ciemną, a recesywny allel b za barwę jasną. Jakie jest prawdopodobieństwo urodzenia jasnookiego dziecka w małżeństwie kobiety o oczach ciemnych z mężczyzną o oczach jasnych, jeżeli matka kobiety miała oczy jasne?

- Dziecko jasnookie ma genotyp: **bb**.
- Kobieta ma oczy ciemne czyli Bb lub BB. Ponieważ matka miała oczy jasne, kobieta musi być heterozygotą o genotypie **Bb**.
- Mężczyzna ma jasne oczy zatem genotyp **bb**.
- Jest to krzyżowanie **Bb x bb**.
- Prawdopodobieństwo pojawienia się homozygoty bb w tej krzyżówce wynosi $\frac{1}{2} =$ **50%**.

1.3.3. Czy jest prawdziwe twierdzenie: jeżeli w małżeństwie heterozygotycznych ciemnokich rodziców urodziło się troje dzieci ciemnokich, to czwarte dziecko będzie miało oczy jasne? Uzasadnij odpowiedź.

- Nie jest prawdziwe ponieważ urodzenie każdego dziecka jest zdarzeniem niezależnym.
- Za każdym razem prawdopodobieństwo urodzenia dziecka jasnookiego wynosi $\frac{1}{4}$ czyli 25%.
- Czwarte dziecko może mieć oczy jasne z prawdopodobieństwem 25%.
- Możemy obliczyć prawdopodobieństwo, że trójka dzieci będzie miała oczy ciemne a jedno jasne. Wykorzystujemy prawdopodobieństwo zdarzeń niezależnych. Jest to iloczyn poszczególnych prawdopodobieństw. Prawdopodobieństwo dziecka o oczach ciemnych w potomstwie dwóch heterozygot wynosi $\frac{3}{4}$ a o oczach jasnych $\frac{1}{4}$. Zatem trójka dzieci o oczach ciemnych i jedno o jasnych pojawi się z prawdopodobieństwem: $\frac{3}{4} \times \frac{3}{4} \times \frac{3}{4} \times \frac{1}{4} = \frac{27}{256}$

1.4.4. Fenyloketonuria jest metaboliczną chorobą człowieka wywołaną allelem recesywnym. Jeżeli heterozygotyczna kobieta będzie miała pięcioro dzieci z heterozygotycznym mężczyzną to:

A. Jaka jest szansa, że wszystkie dzieci będą zdrowe?

- Jest to krzyżowanie dwóch heterozygot, $Aa \times Aa$. Choroba uwarunkowana jest genem recesywnym, zatem chore są jedynie homozygoty aa . Prawdopodobieństwo ich wystąpienia wynosi $\frac{1}{4}$.
- Homozygoty dominujące oraz heterozygoty są zdrowe. Prawdopodobieństwo homozygoty dominującej to $\frac{1}{4}$, heterozygot $\frac{1}{2}$. Zatem łącznie $\frac{3}{4}$.
- Prawdopodobieństwo, że 5 dzieci będzie zdrowych wynosi $(\frac{3}{4})^5 = \frac{243}{1024}$

B. Jaka jest szansa, że czwórka dzieci będzie zdrowa a jedno będzie chore?

- Jest to iloczyn prawdopodobieństw urodzenia się czterech zdrowych dzieci i jednego chorego: $(\frac{3}{4})^4 \times \frac{1}{4} = \frac{81}{256} \times \frac{1}{4} = \frac{81}{1024}$

2. Dziedziczenie grup krwi

2.3. Zadania

2.3.1. Grupy krwi ABO u człowieka uwarunkowane są serią alleli recesywnych, które warunkują wytwarzanie antygenów krwinkowych. Potomstwo homozygot o grupie krwi A z osobami o grupie krwi 0 zawsze ma grupę krwi A. Podobnie, potomstwo homozygot o grupie B z osobami o grupie 0 zawsze ma grupę B. Potomstwo homozygot, z których jedna ma grupę krwi A a druga B zawsze ma grupę krwi AB.

A. Ustal dziedziczenie grup krwi u człowieka

- Homozygoty o grupie krwi A mają genotyp $I^A I^A$, a o grupie 0, ii . Wytwarzają one jeden typ gamet, odpowiednio I^A oraz i . Z ich połączenia otrzymujemy heterozygotę $I^A i$, która ma grupę krwi A. W heterozygocie przejawia się allel dominujący. W tym przypadku jest to allel I^A . Zatem allel i jest recesywny.
- Podobnie jak w przypadku grupy A, allel I^B warunkujący grupę krwi B jest dominujący.
- Homozygoty o grupie A mają genotyp $I^A I^A$, a o grupie B $I^B I^B$. Każda z nich wytwarza jeden typ gamet, odpowiednio, I^A i I^B . W wyniku ich połączenia otrzymujemy genotyp $I^A I^B$. Osoby o takim genotypie mają grupę AB, zatem oba allele przejawiają się w heterozygocie. Jest to kodominacja.

B. Dobierz tak genotypy rodziców dwójki dzieci, aby każda osoba w czteroosobowej rodzinie mogła potencjalnie mieć inną grupę krwi. Podaj dwie możliwości.

- Rodzice: grupa **AB** ($I^A I^B$) oraz **0** (ii) wówczas dzieci mają grupę **A** ($I^A i$) i **B** ($I^B i$).
- Rodzice **A** ($I^A i$) i **B** ($I^B i$), wówczas dzieci mogą mieć **AB** ($I^A I^B$) i **0** (ii).

2.3.2. 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? (2 punkty)

- 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.**

2.3.3. 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%).