




Obliczanie prawdopodobieństwa dziedziczenia cech sprzężonych

- Wprowadzenie
- Przeczytaj
- Film samouczek
- Sprawdź się
- Dla nauczyciela

A microscopic image of several chromosomes, appearing as thick, purple, X-shaped structures against a blue background. The chromosomes are arranged in a somewhat circular pattern, with some in the foreground and others in the background, creating a sense of depth.

Obliczanie prawdopodobieństwa dziedziczenia cech sprzężonych

Geny sprzężone ze sobą to takie, które leżą na jednym chromosomie i dziedziczą się wspólnie. Oznacza to, że w czasie mejozy oba geny trafią do tej samej gamety.

Źródło: NIH Image Gallery, Flickr, licencja: CC BY-NC 2.0.

Obserwacje fenotypów różnych organizmów pozwoliły zauważyć, że niektóre cechy dziedziczą się niezależnie od siebie, podczas gdy inne częściej występują u potomstwa wspólnie, powielając wzór cech jednego z rodziców. W pierwszej połowie XX wieku amerykański genetyk Thomas Morgan wykazał, że sformułowane wcześniej przez Grzegorza Mendla prawo niezależnego dziedziczenia cech jest prawdziwe tylko dla tych genów, które leżą na różnych chromosomach. Geny położone na tym samym chromosomie, tzw. geny sprzężone, dziedziczą się więc niezgodnie z prawami Mendla. W tym materiale dowiesz się jak obliczyć prawdopodobieństwo wystąpienia cechy sprzężonej u potomstwa.

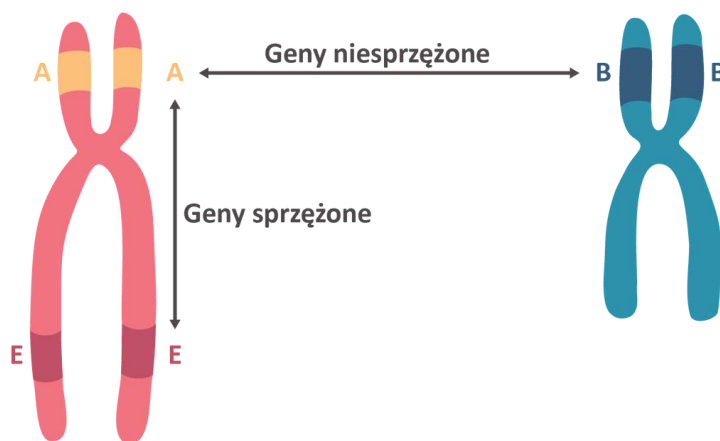
Twoje cele

- Opiszysz sposób rozchodzenia się genów sprzężonych do gamet.
- Wyjaśnisz różnice w dziedziczeniu się cech sprzężonych i niesprzężonych.
- Obliczysz prawdopodobieństwo występowania cech sprzężonych u potomstwa.

Przeczytaj

Geny sprzężone i niesprzężone

Większość chromosomów zawiera setki lub nawet tysiące genów. Geny obecne na jednym chromosomie mają skłonność do wspólnego dziedziczenia się i nazywane są genami sprzężonymi. [Geny niesprzężone](#) natomiast znajdują się na różnych chromosomach, czyli na [chromosomach niehomologicznych](#). Przez to ich dziedziczenie jest od siebie niezależne.



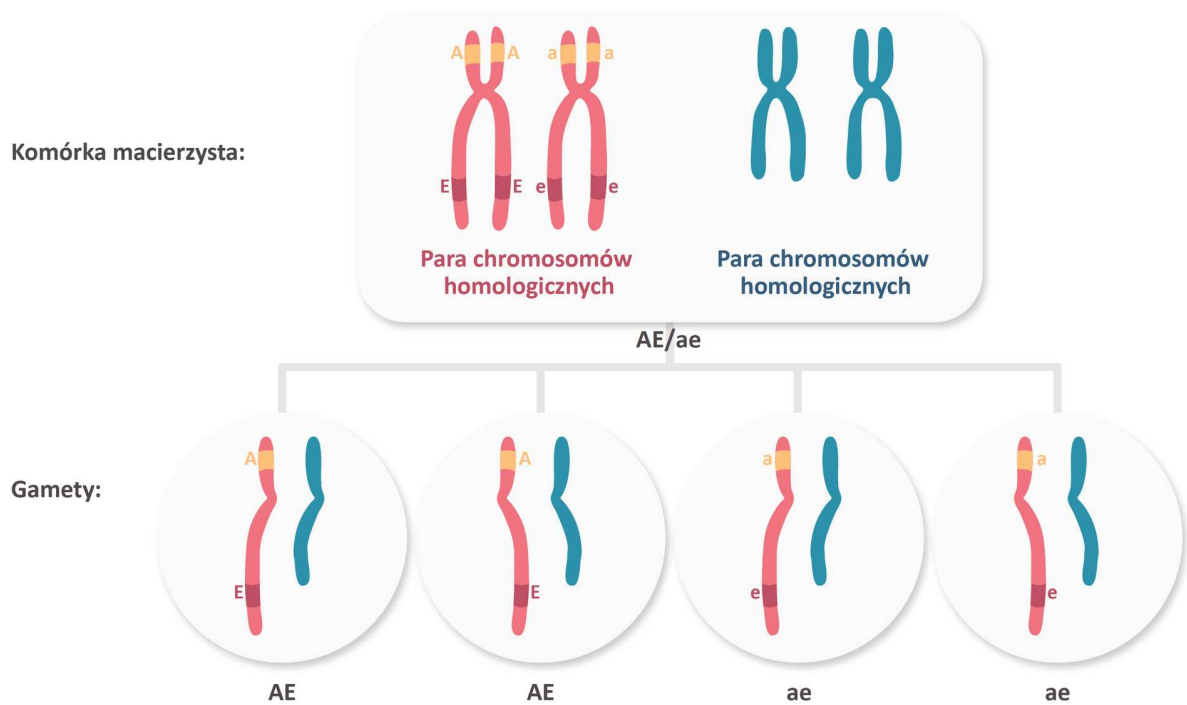
Ułożenie genów sprzężonych i niesprzężonych na chromosomach. Geny A i E leżą na tym samym chromosomie i są ze sobą sprzężone. Geny A i B oraz E i B nie są ze sobą sprzężone, gdyż leżą na chromosomach niehomologicznych.

Źródło: Englishsquare.pl Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Rozchodzenie się do gamet genów sprzężonych i niesprzężonych

[Geny sprzężone](#) znajdują się na jednym chromosomie, dlatego przechodzą do gamet razem. Wszystkie geny znajdujące się na jednym chromosomie tworzą więc grupę

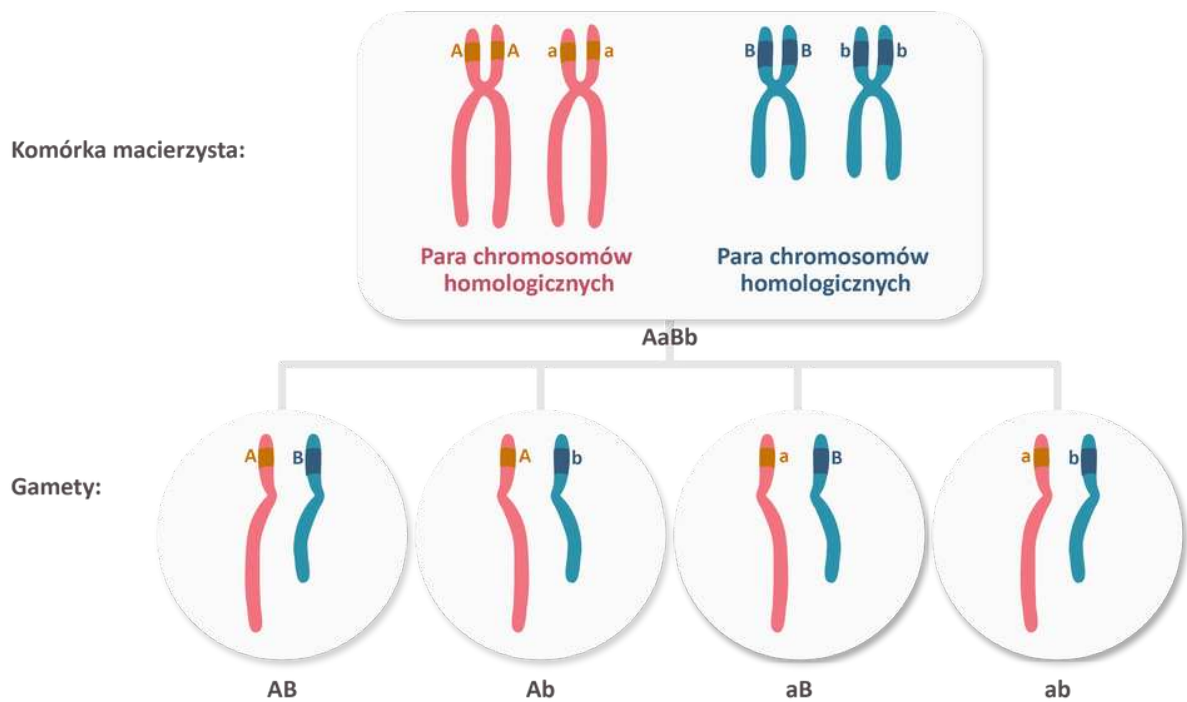
genów sprzężonych (grupa sprzężeń). Rozdzielenie takich genów może nastąpić na skutek zjawiska [crossing-over](#) albo [translokacji](#). Sprzężenie genów oznacza się zazwyczaj za pomocą kreski ułamkowej, gdzie [allele](#) zlokalizowane na jednym z [chromosomów homologicznych](#) umieszcza się nad kreską, a allele zlokalizowane na drugim chromosomie homologicznym – pod kreską. Allele znad kreski ułamkowej idą więc do jednej gamety, a allele spod kreski do drugiej.



Rozchodzenie się genów sprzężonych do gamet. Do gamet rozchodzi się po jednej chromatydzie z pary chromosomów homologicznych. Allele A i E oraz a i e dziedziczą się razem, ponieważ znajdują się na chromatydach tej samej pary chromosomów homologicznych. W ten sposób powstają dwa typy gamet pod względem rozpatrywanych genów: AE oraz ae.

Źródło: Englishsquare.pl Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Porównując, geny znajdujące się na różnych chromosomach rozchodzą się do gamet w sposób niezależny.

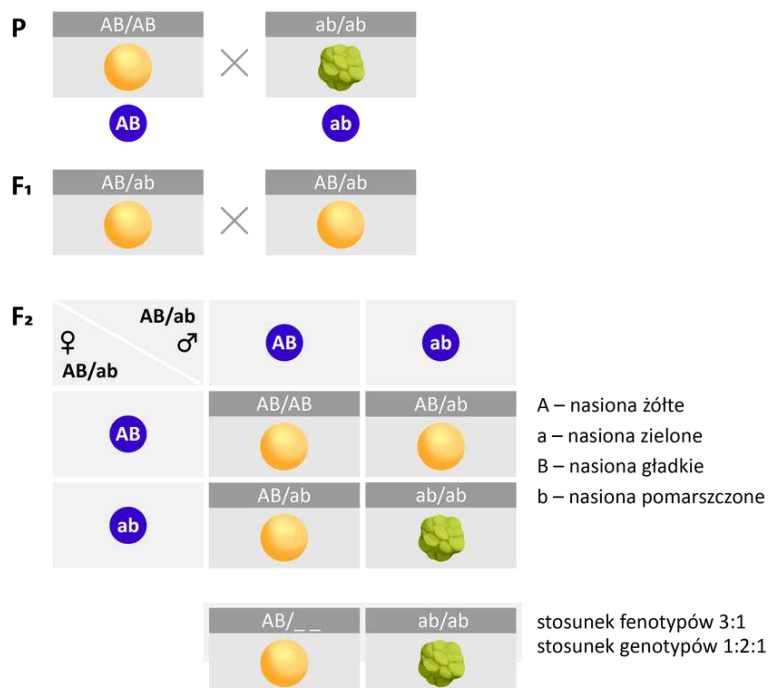


Rozchodzenie się genów niesprzężonych do gamet. Do gamet rozchodzi się po jednej chromatydzie z pary chromosomów homologicznych. Allele A i a oraz B i b dziedziczą się niezależnie, ponieważ znajdują się na chromatydach chromosomów niehomologicznych. W ten sposób powstają cztery typy gamet pod względem rozpatrywanych genów: AB, Ab, aB oraz ab.

Obliczanie prawdopodobieństwa dziedziczenia cech sprzężonych

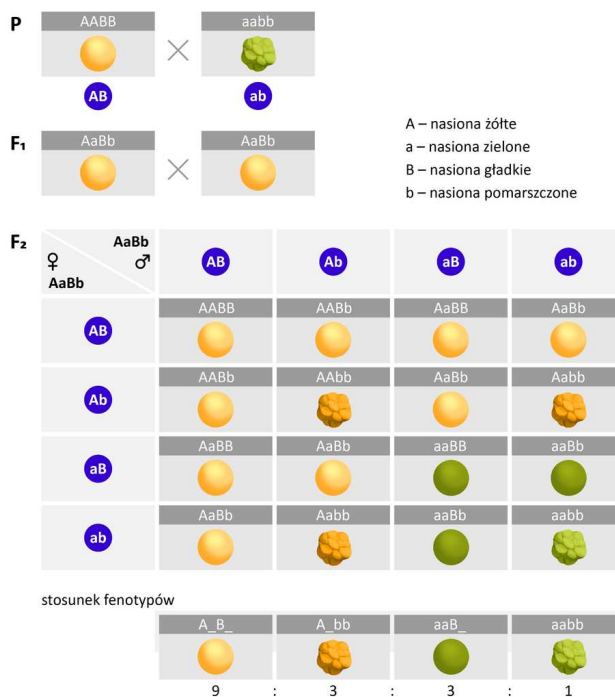
W przypadku sprzężenia cech w pokoleniu potomnym podwójnych heterozygot obserwowane są dwa rodzaje fenotypów osobników potomnych w stosunku 3:1. Natomiast gdy geny nie są ze sobą sprzężone to w pokoleniu potomnym zaobserwujemy cztery klasy fenotypów wśród osobników potomnych w standardowym stosunku 9:3:3:1.

Poniżej przedstawiono dwie krzyżówki obrazujące dziedziczenie barwy i faktury nasion grochu zwyczajnego (*Pisum sativum*). Cechy te dziedziczą się niezależnie, zgodnie z II prawem Mendla. Dla porównania, jak zmienia się stosunek fenotypów w pokoleniu F₂ przedstawiono hipotetyczną sytuację, w której cechy te są ze sobą sprzężone:



Dziedziczenie genów leżących na jednym chromosomie. Podwójne heterozygoty rodzicielskie z pokolenia F₁ wytwarzają dwa typy gamet: AB oraz ab, przez co w pokoleniu F₂ pojawiają się dwie klasy fenotypów u osobników potomnych, w stosunku 3:1. Schemat przedstawia hipotetyczną sytuację, w której geny warunkujące barwę i fakturę nasion grochu zwyczajnego są ze sobą sprzężone. W rzeczywistości geny te leżą na różnych chromosomach, więc dziedziczą się zgodnie z II prawem Mendla.

Źródło: Englishsquare.pl Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.



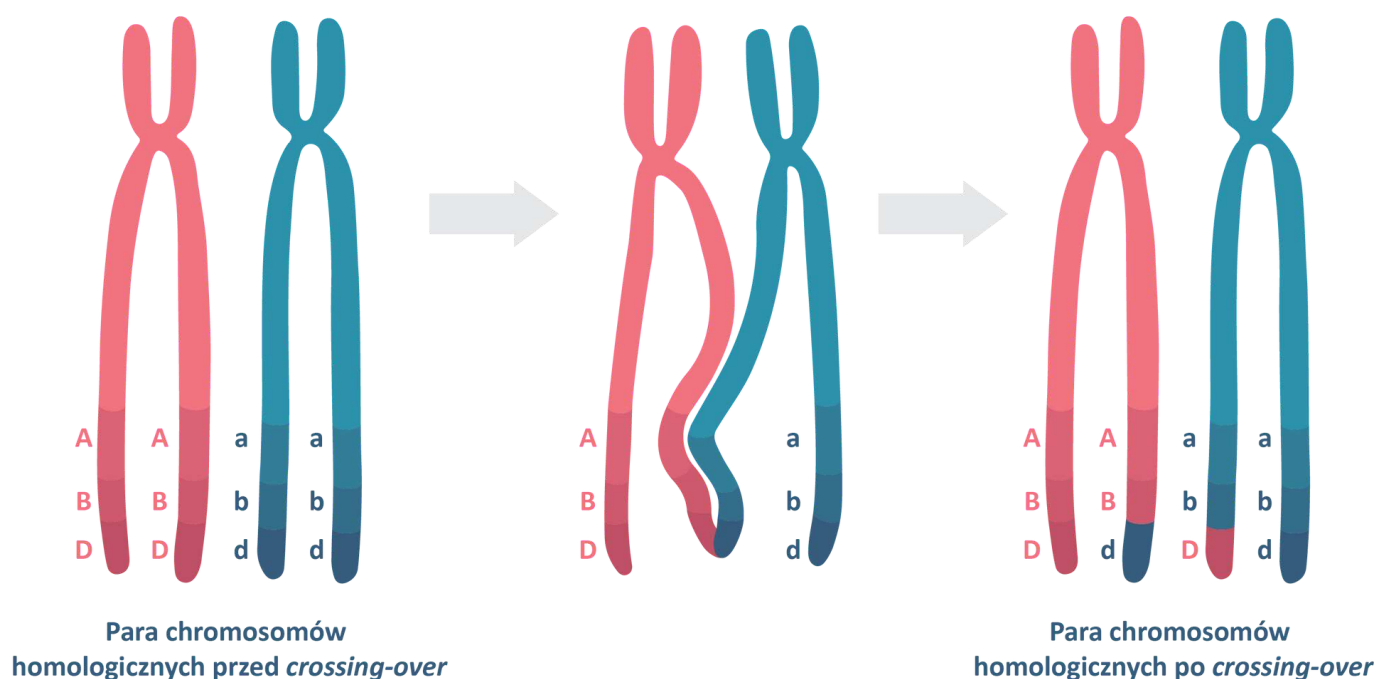
Dziedziczenie genów leżących na różnych chromosomach. Podwójne heterozygoty rodzicielskie z pokolenia F₁ wytwarzają cztery typy gamet: AB, Ab, aB oraz ab, przez co w pokoleniu F₂ pojawiają

się cztery klasy fenotypów osobników potomnych w stosunku 9:3:3:1. Jest to rzeczywisty sposób dziedziczenia genów barwy i faktury nasion grochu zwyczajnego.

Źródło: Englishsquare.pl Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Rozdzielenie genów sprzężonych wskutek crossing-over

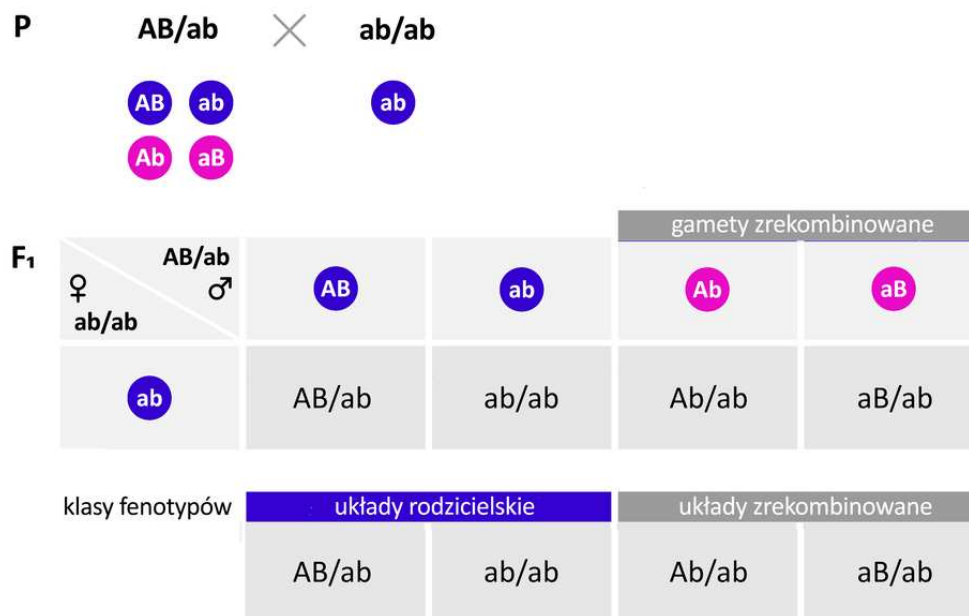
Crossing-over umożliwia wytworzenie nowych układów alleli rodzicielskich. Prowadzi ono do powstania czterech, zamiast dwóch, typów gamet: dwóch takich jak rodzicielskie i dwóch zrekombinowanych.



Rozdzielenie genów sprzężonych na skutek *crossing-over*. W wyniku *crossing-over* dochodzi do wymiany fragmentów chromatyd siostrzanych chromosomów homologicznych, a tym samym do zamiany alleli, np. D i d na chromosomach, co spowodowało utworzenie nowych układów alleli: ABd i abD.

Analizując dziedziczenie genów sprzężonych w krzyżówce podwójnej heterozygoty z podwójną homozygotą recesywną ([krzyżówka testowa](#)) zazwyczaj przyjmuje się, że powstają dwa rodzaje fenotypów o układach rodzicielskich alleli w stosunku 1:1. W rzeczywistości jednak *crossing-over* sprawia, że powstają cztery klasy fenotypów u osobników potomnych: dwie liczniejsze o układach rodzicielskich alleli oraz dwie

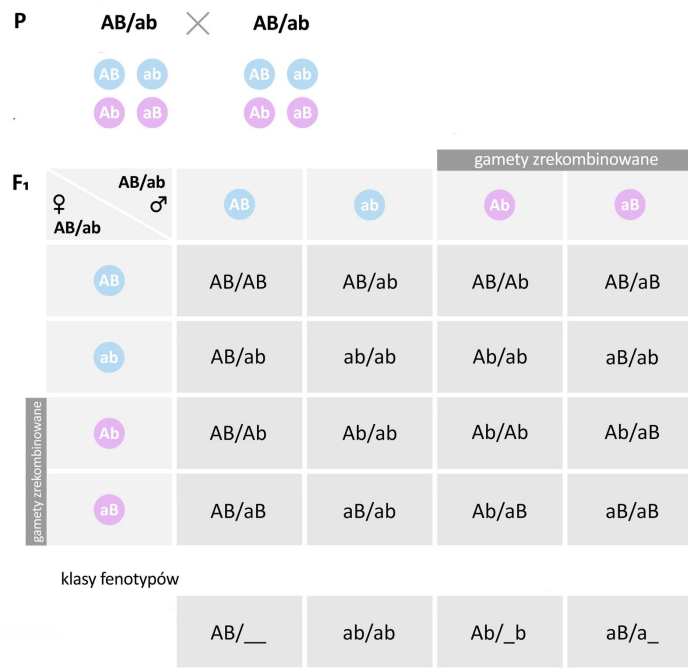
mniej liczne o zrekombinowanych układach alleli. Na podstawie liczby [rekombinantów](#) można określić częstość zachodzenia zjawiska crossing-over pomiędzy dwoma genami oraz odległość między nimi na chromosomie. Przeczytasz o tym w e-materiale: Częstość crossing-over i mapowanie genów.



Dziedziczenie genów sprzężonych w krzyżówce genetycznej podwójnej heterozygoty z podwójną homozygotą recesywną z uwzględnieniem crossing-over. Gamety zrekombinowane są produkowane w mniejszej liczbie, dlatego krzyżówka nie obrazuje stosunków fenotypowych u potomstwa.

Źródło: Englishsquare.pl Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

W wyniku krzyżowania dwóch podwójnych heterozygot powstają najczęściej dwa rodzaje fenotypów u osobników potomnych: jeden wykazujący obie cechy dominujące i jeden wykazujący obie cechy recesywne. Stosunek osobników o fenotypie dominującym do osobników o fenotypie recesywnym w takim wypadku wynosi 3:1. Jednak ze względu na możliwość zajścia crossing-over u obydwu rodziców mogą powstać dwie dodatkowe klasy fenotypów osobników (znacznie mniej liczne): o fenotypie dominującym pod względem jednej z cech i recesywnej pod względem drugiej z nich.



Dziedziczenie genów sprzężonych w krzyżówce genetycznej dwóch podwójnych heterozygot z uwzględnieniem crossing-over. Gamety zrekombinowane produkowane są w mniejszej liczbie, dlatego krzyżówka nie obrazuje stosunków fenotypowych u potomstwa.

Źródło: Englishsquare.pl Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Słownik

allel

jedna z różnych form tego samego genu, zajmujących taką samą pozycję (locus) w danym chromosomie

chromosomy homologiczne

chromosomy zawierające te same geny w tych samych loci

chromosomy niehomologiczne

chromosomy różniące się od siebie długością ramion i położeniem centromeru oraz zawierające geny warunkujące inne cechy

crossing-over

zjawisko wymiany fragmentów chromatyd chromosomów homologicznych

geny niesprężone

geny znajdujące się na różnych chromosomach niehomologicznych

geny sprzężone

geny znajdujące się na tym samym chromosomie

krzyżówka testowa

krzyżówka genetyczna osobnika o fenotypie dominującym i nieznanym genotypie z homozygotą recesywną; pozwala ustalić, czy testowany osobnik jest homozygotą dominującą czy heterozygotą

rekombinant

osobnik potomny powstały z gamet wytworzonych w procesie crossing-over

translokacja

(łac. *translocatio* – przemieszczenie) mutacja prowadząca do przeniesienia fragmentu chromosomu na inny chromosom lub rzadziej w inne miejsce tego samego chromosomu

Trwa wczytywanie danych..



Obliczanie prawdopodobieństwa dziedziczenia cech sprzężonych



Film dostępny pod adresem </preview/resource/RCaCxbS0C9jcC>

Obliczanie prawdopodobieństwa dziedziczenia cech sprzężonych.

Źródło: Inga Wójtowicz, w materiale wykorzystano zadanie z arkusza maturalnego CKE z czerwca 2018 roku, licencja: CC BY-SA 3.0.

Film prezentujący obliczanie prawdopodobieństwa dziedziczenia cech sprzężonych.

Polecenie 1

Polecenie 2

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



Ćwiczenie 2



Ćwiczenie 3



Ćwiczenie 4



Ćwiczenie 5



Ćwiczenie 6



Ćwiczenie 7



Ćwiczenie 8



Skrzyżowano dwie podwójnie heterozygotyczne muszki owocowe (genotyp DdBb) o normalnych odnóżach i brązowym ciele. W tabeli przedstawiono uzyskany rozkład fenotypów wśród muszek z pokolenia F₁.

D – normalne odnóża

d – krótkie odnóża

B – brązowe ciało

b – czarne ciało

Fenotyp potomstwa	Liczba osobników
Normalne odnóża, brązowe ciało	295
Krótkie odnóża, brązowe ciało	9
Normalne odnóża, czarne ciało	12
Krótkie odnóża, czarne ciało	98

Określ, czy analizowane cechy są ze sobą sprzężone. Odpowiedź uzasadnij.

Dla nauczyciela

Autor: Anna Juwan

Przedmiot: biologia

Temat: Obliczanie prawdopodobieństwa dziedziczenia cech sprzężonych

Grupa docelowa: uczniowie III etapu edukacyjnego – kształcenie w zakresie podstawowym i rozszerzonym

Podstawa programowa:

Zakres podstawowy

Treści nauczania – wymagania szczegółowe

VII. Genetyka klasyczna.

1. Dziedziczenie cech. Uczeń:

5) analizuje dziedziczenie cech sprzężonych;

Zakres rozszerzony

Treści nauczania – wymagania szczegółowe

XIV. Genetyka klasyczna.

1. Dziedziczenie cech. Uczeń:

6) analizuje dziedziczenie cech sprzężonych; oblicza odległość między genami; na podstawie odległości między genami określa kolejność ich ułożenia na chromosomie;

Kształtowane kompetencje kluczowe:

- kompetencje cyfrowe;
- kompetencje osobiste, społeczne i w zakresie umiejętności uczenia się;
- kompetencje matematyczne oraz kompetencje w zakresie nauk przyrodniczych, technologii i inżynierii.

Cele operacyjne (językiem ucznia):

- Opiszysz sposób rozchodzenia się genów sprzężonych do gamet.
- Wyjaśnisz różnice w dziedziczeniu się cech sprzężonych i niesprzężonych.

- Obliczysz prawdopodobieństwo występowania cech sprzężonych u potomstwa.

Strategie nauczania:

- konstruktywizm;
- konektywizm.

Metody i techniki nauczania:

- z użyciem komputera;
- ćwiczenia interaktywne;
- praca z filmem samouczkiem;
- rozmowa kierowana;
- śniegowa kula;
- gra dydaktyczna.

Formy pracy:

- praca indywidualna;
- praca w parach;
- praca w grupach;
- praca całego zespołu klasowego.

Środki dydaktyczne:

- komputery z głośnikami, słuchawkami i dostępem do internetu;
- zasoby multimedialne zawarte w e-materiale;
- tablica interaktywna/tablica, pisak/kreda;
- telefony z dostępem do internetu.

Przed lekcją:

1. Uczniowie zapoznają się z treścią w sekcji „Przeczytaj”.

Przebieg lekcji

Faza wstępna:

1. Nauczyciel wyświetla zawartość sekcji „Wprowadzenie”. Uczniowie wspólnie z nauczycielem omawiają cele lekcji i określają kryteria sukcesu.
2. **Wprowadzenie do tematu.** Nauczyciel rozpoczyna pogadankę, zadając pytanie:
 - Czym różnią się geny sprzężone od niesprzężonych?
 - Czego dotyczy II prawo Mendla?

Faza realizacyjna:

- 1. Praca z filmem samouczkiem pt. „Obliczanie prawdopodobieństwa dziedziczenia cech sprzężonych” – kula śniegowa.** Nauczyciel informuje uczniów, że będą pracować metodą kuli śniegowej, poszukując w e-materiale odpowiedzi na następujące pytania:
 - Czym różni się dziedziczenie cech sprzężonych i niesprzężonych?
 - W jaki sposób rozchodzą się geny sprzężone do gamet?Po zapoznaniu się z pytaniami uczniowie oglądają film samouczek wyświetlony przez nauczyciela.

Nauczyciel objaśnia metodę kuli śniegowej i wynikające z niej kolejne etapy pracy:

 - 1) najpierw uczniowie będą indywidualnie opracowywać odpowiedzi na zadane pytania;
 - 2) potem połączą się w pary i porównają swoje propozycje, a na osobnej kartce zapiszą wspólne odpowiedzi;
 - 3) kolejnym krokiem będzie połączenie się par w czwórki, które – jak poprzednio – skonfrontują swoje odpowiedzi;
 - 4) uczniowie utworzą 8-osobowe zespoły i znów porównają swoje propozycje;
 - 5) przedstawiciele poszczególnych zespołów 8-osobowych zaprezentują na forum klasy uzgodnione w grupie odpowiedzi.
- 2. Praca w parach z treścią e-materiału.** Uczniowie na podstawie przeczytanego tekstu oraz informacji zawartych w medium w sekcji „Film samouczek” układają pytania do quizu dla innych par. Nauczyciel wraz z uczniami określa zasady rywalizacji i punktowania dobrych odpowiedzi (np. gra na czas lub na liczbę poprawnych odpowiedzi). Przeprowadzenie gry w klasie. Nauczyciel lub wybrany uczeń dba o prawidłowy przebieg quizu zgodnie z wcześniejszymi ustaleniami. Nauczyciel ogłasza zwycięską parę.
- 3. Utrwalenie wiedzy i umiejętności.** Uczniowie w parach wykonują ćwiczenie nr 7 (w którym mają za zadanie wykonać krzyżówki dwóch podwójnie heterozygotycznych organizmów AaBb, zakładając, że cechy są i nie są ze sobą sprzężone, oraz podać stosunek fenotypowy potomstwa w obu przypadkach i wyjaśnić różnicę w liczbie klas osobników potomnych przy założeniu braku rekombinacji genetycznej) z sekcji „Sprawdź się”. Następnie porównują swoje odpowiedzi z najbliższymi siedzącymi sąsiadami. Nauczyciel w razie trudności naprowadza podopiecznych na właściwe rozwiązania lub wyjaśnia wątpliwości.

Faza podsumowująca:

1. Uczniowie wykonują ćwiczenie nr 3 (w którym mają za zadanie uzupełnić tekst dotyczący tematu lekcji) z sekcji „Sprawdź się”. Chętne osoby prezentują swoją odpowiedź.
2. Nauczyciel wyświetla treści zawarte w sekcji „Wprowadzenie” i na ich podstawie dokonuje podsumowania najważniejszych informacji przedstawionych na lekcji. Wyjaśnia także wątpliwości uczniów.

Praca domowa:

1. Wykonaj ćwiczenia 1, 2, 4, 5 i 6 z sekcji „Sprawdź się”.
2. Dla chętnych: Wykonaj ćwiczenie nr 8 z sekcji „Sprawdź się”.

Materiały pomocnicze:

- Jane B. Reece i in., „Biologia Campbella”, tłum. K. Stobrawa i in., Dom Wydawniczy REBIS, Poznań 2021.
- „Encyklopedia szkolna. Biologia”, red. Marta Stęplewska, Robert Mitoraj, Wydawnictwo Zielona Sowa, Kraków 2006.

Wskazówki metodyczne opisujące różne zastosowania filmu samouczka:

- Uczniowie mogą wykorzystać film samouczek w celu przygotowania się do lekcji powtórkowej.