

Wykrywanie sprzężenia za pomocą testowej krzyżówki dwugenowej

- [Wprowadzenie](#)
- [Przeczytaj](#)
- [Film samouczek](#)
- [Sprawdź się](#)
- [Dla nauczyciela](#)



Wykrywanie sprzężenia za pomocą testowej krzyżówki dwugenowej

Muszka owocowa (*Drosophila melanogaster*) – ze względu na łatwą hodowlę, szybki wzrost i niewielki genom – stanowi gatunek modelowy wykorzystywany w wielu eksperymentach z dziedziny genetyki, także w wykrywaniu sprzężenia genów za pomocą testowej krzyżówki dwugenowej.

Źródło: Macroscopic Solutions, Flickr, licencja: CC BY-NC 2.0.

Rozwój badań genetycznych doprowadził do poszerzenia wniosków, które przedstawił Gregor Mendel. Na przykład, wbrew twierdzeniom drugiego prawa Mendla, nie wszystkie geny dziedziczą się niezależnie od siebie – geny sprzężone ze sobą, leżące na tym samym chromosomie, dziedziczą się razem w kolejnych pokoleniach. W celu ustalenia, czy dane geny są ze sobą sprzężone, czy nie, należy wykonać krzyżówkę testową polegającą na skrzyżowaniu podwójnej heterozygoty z podwójną homozygotą recesywną.

Twoje cele

- Opiszysz, w jaki sposób przeprowadza się dwugenową krzyżówkę testową.
- Wyjaśnisz sposób interpretacji wyników dwugenowej krzyżówki testowej.
- Wykryjesz sprzężenie za pomocą testowej krzyżówki dwugenowej.

Przeczytaj

Rozmieszczenie genów na chromosomach

Thomas Morgan wykazał, że muszka owocowa ma zarówno geny, które dziedziczą się niezależnie od siebie (**niesprzężone**), jak i **geny sprzężone**, które dziedziczą się zależnie od siebie. Przyczyną sprzężenia genów jest ich występowanie na tym samym chromosomie, a przez to wspólne rozchodzenie się do gamet.

S	małe, szerokie oczy	y	żółte ciało
dp	skośne skrzydła	w	białe oczy
d	krótkie odnóża		
b	czarne ciało	v	karmazynowe oczy
j	zwężone skrzydła	m	karłowate ciało
pr	purpurowe oczy		
cn	cynobrowe oczy	B	wstęgowate oczy
vg	zredukowane i „wywinięte” skrzydła	sw	krótkie skrzydła
c	wygięte skrzydła		
bw	brązowe oczy		
sp	cętkowane ciało		

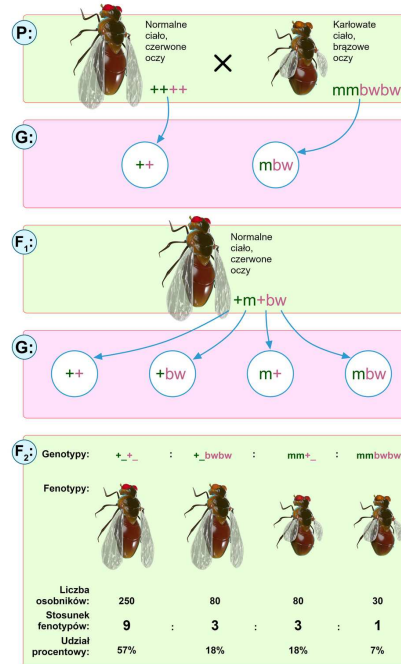
Uproszczona mapa genetyczna dwóch chromosomów muszki owocowej (*Drosophila melanogaster*).

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

Muszka owocowa ma cztery pary chromosomów. Na powyższym schemacie po lewej przedstawiony jest **chromosom 2**, a po prawej – **chromosom X**. Do par genów sprzężonych należą m.in. gen *bw*, kodujący brązowe oczy, i gen *c*, kodujący wygięte skrzydła, a także gen *y*, determinujący żółtą barwę ciała, i gen *w*, odpowiadający za wystąpienie białych oczu.

Krzyżówka testowa dla genów niesprzężonych

W pokoleniu **P** skrzyżowano samicę o normalnym ciele i czerwonych oczach (podwójna homozygota dominująca) z samcem o karłowatym ciele i brązowych oczach (podwójna homozygota recesywna). W pokoleniu **F₁** całe potomstwo było podwójnie heterozygotyczne o normalnym ciele oraz czerwonych oczach i tworzyło 4 typy gamet (G). Po skrzyżowaniu osobników z pokolenia **F₁** w pokoleniu **F₂** otrzymano cztery typy osobników o standardowym rozkładzie fenotypowym w stosunku **9 : 3 : 3 : 1**, w tym osobniki o cechach obojga rodziców (ciało karłowate i czerwone oczy oraz ciało normalne i brązowe oczy) łącznie stanowiły ok. 36% potomstwa.



m – ciało karłowate

bw – oczy brązowe

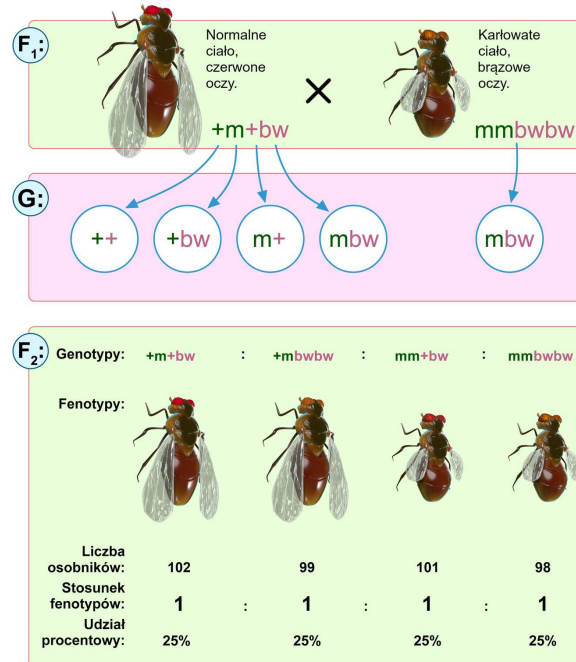
(+) – dominujący allel dziki, stosowany do oznaczenia zarówno normalnego ciała, jak i oczu czerwonych

(_) – dowolny allel danej pary

Krzyżówka testowa muszki owocowej – analizowane cechy znajdują się na różnych chromosomach. Dla uproszczenia na modelach muszki nie uwzględniono dymorfizmu płciowego osobników.

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

Aby potwierdzić, że analizowane cechy nie są sprzężone, należy wykonać **krzyżówkę testową** osobników podwójnie heterozygotycznych z podwójną homozygotą recesywną. Jeżeli w wyniku tej krzyżówki rozkład fenotypów wśród potomstwa wyniesie $1 : 1 : 1 : 1$, czyli liczba osobników o fenotypach rodzicielskich oraz nierodzicielskich będzie podobna, to analizowane geny nie są ze sobą sprzężone i dziedziczą się niezależnie od siebie, zgodnie z drugim prawem Mendla. Wynika to z faktu, że heterozygota wytworzy cztery typy gamet z takim samym prawdopodobieństwem, ponieważ analizowane geny leżą na różnych chromosomach.



m – ciało karłowate

bw – oczy brązowe

(+) – dominujący allel dziki, stosowany do oznaczenia zarówno normalnego ciała, jak i oczu czerwonych

(_) – dowolny allel danej pary

Krzyżówka testowa – cechy nie są ze sobą sprzężone. Dla uproszczenia na modelach muszki nie uwzględniono dymorfizmu płciowego osobników.

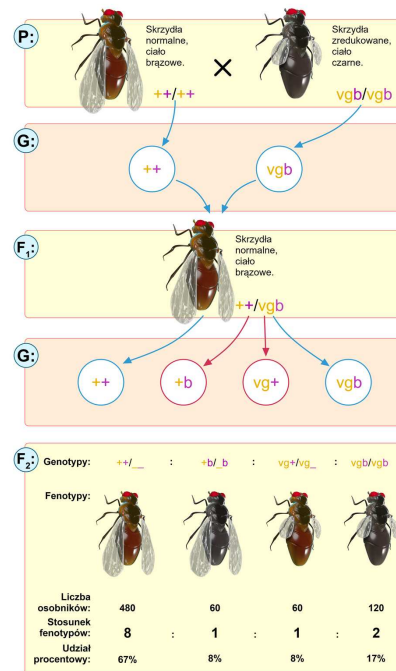
Źródło: Englishsquare.pl Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Krzyżówka testowa dla genów sprzężonych

Natomiast jeśli wśród potomstwa dwóch podwójnych heterozygot wystąpi znaczna przewaga osobników o fenotypach takich, jakie mieli rodzice, i tylko niewielka liczba osobników o fenotypie odmiennym od fenotypów rodzicielskich, to analizowane geny są ze sobą sprzężone – leżą na tym samym chromosomie i wspólnie trafiają do tych samych gamet. Obecność niewielkiej liczby osobników o cechach nierodzicielskich wynika z zajścia procesu [crossing-over](#), prowadzącego do rekombinacji genów i powstania niewielkiej liczby rekombinantów.

Dla przykładu w pokoleniu **P** skrzyżowano samicę o normalnych skrzydłach i brązowym ciele (podwójna homozygota dominująca) z samcem o zredukowanych skrzydłach i czarnym ciele (podwójna homozygota recesywna). W pokoleniu **F₁** całe potomstwo było podwójnie heterozygotyczne o normalnych skrzydłach oraz brązowym ciele i tworzyło 4 typy gamet (G): 2 typy bez zachodzenia crossing-over i 2 po crossing-over. Po skrzyżowaniu osobników z pokolenia **F₁** w pokoleniu **F₂** otrzymano 4 typy osobników

o niestandardowym rozkładzie fenotypowym w stosunku **8 : 1 : 1 : 2**, w tym rekombinanty (osobniki o skrzydłach normalnych i ciele czarnym oraz skrzydłach zredukowanych i ciele brązowym) łącznie stanowiły niewielki odsetek potomstwa.



vg – skrzydła zredukowane

b – ciało czarne

(+) – dominujący allel dziki, stosowany do oznaczenia zarówno normalnych skrzydeł, jak i brązowego ciała

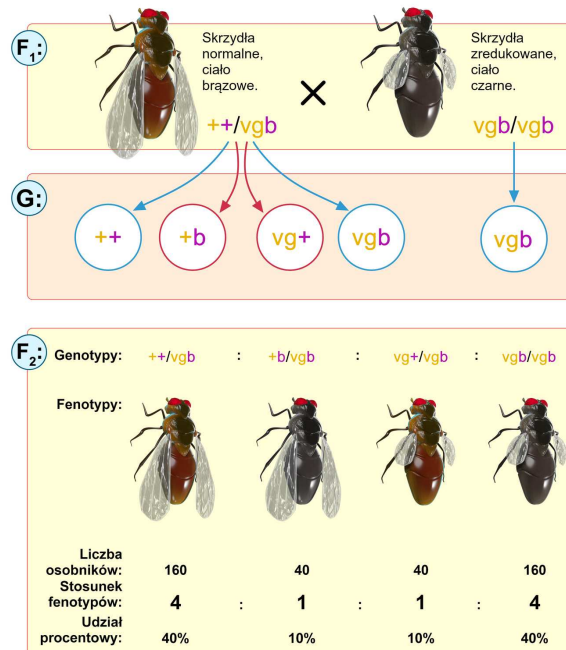
(_) – dowolny allel danej pary

Kolorem czerwonym oznaczono gamety po crossing-over.

Krzyżówka muszki owocowej – analizowane cechy znajdują się na tych samych chromosomach. Dla uproszczenia na modelach muszki nie uwzględniono dymorfizmu płciowego osobników.

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

Aby potwierdzić, że analizowane cechy są sprzężone, należy wykonać krzyżówkę testową osobników podwójnie heterozygotycznych z podwójną homozygotą recesywną. Jeżeli w wyniku tej krzyżówki rozkład fenotypów wśród potomstwa nie wyniesie 1 : 1 : 1 : 1 i wystąpi znacznie większa liczba osobników o fenotypach rodzicielskich niż zrekombinowanych, to analizowane geny są ze sobą sprzężone i dziedziczą się zależnie od siebie. Wynika to z faktu, że heterozygota wytworzy 4 typy gamet z różnym prawdopodobieństwem, ponieważ analizowane geny leżą na tych samych chromosomach.



vg – skrzydła zredukowane

b – ciało czarne

(+) – dominujący allel dziki, zastosowany do oznaczenia zarówno normalnych skrzydeł, jak i brązowego ciała

(_) – dowolny allel danej pary

Kolorem czerwonym oznaczono gamety po crossing-over.

Krzyżówka testowa muszki owocowej, w której cechy są ze sobą sprzężone. Dla uproszczenia na modelach muszki nie uwzględniono dymorfizmu płciowego osobników.

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

Słownik

allel

jedna z wersji danego genu

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 osobnika o nieznanym genotypie i dominującym fenotypie z homozygotą recesywną; wykonywana w celu oznaczenia genotypu, tzn. określenia, czy osobnik ten jest homozygotą dominującą czy heterozygotą

translokacja

mutacja prowadząca do przeniesienia fragmentu chromosomu na inny chromosom lub w inne miejsce tego samego chromosomu

Film samouczek



Wykrywanie sprzężenia za pomocą testowej krzyżówki dwugenowej



Film dostępny pod adresem </preview/resource/RTWakoMOFnU75>

Wykrywanie sprzężenia za pomocą testowej krzyżówki dwugenowej.

Źródło: Englishsquare.pl Sp. z o.o., Inga Wójtowicz, w materiale wykorzystano zadanie z arkusza maturalnego CKE z maja 2015 roku, licencja: CC BY-SA 3.0.

Nagranie filmowe pod tytułem *Wykrywanie sprzężenia za pomocą testowej krzyżówki dwugenowej*.

Polecenie 1

Wyjaśnij, jaką krzyżówkę genetyczną należy wykonać, aby sprawdzić, czy geny położone są na tym samym chromosomie.

Polecenie 2

Podaj, jaki wynik krzyżówki z poprzedniego polecenia będzie świadczył o sprzężeniu lub braku sprzężenia genów.

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



Zaznacz błędne dokończenie zdania.

Geny sprzężone...

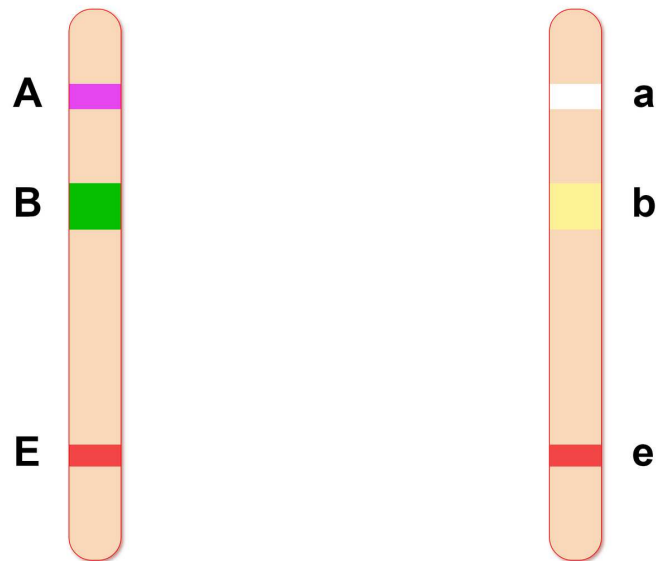
- ☐ dziedziczą się niezgodnie z drugim prawem Mendla.
- ☐ dziedziczą się niezależnie od siebie.
- ☐ leżą na tym samym chromosomie.

Ćwiczenie 2



W wyniku krzyżówki testowej podwójnej heterozygoty z podwójną homozygotą recesywną powstaną...

- ☐ 2 klasy osobników potomnych w stosunku 1 : 1, jeśli analizowane geny nie są sprzężone, lub 4 klasy, z czego 2 dużo bardziej liczne, jeśli geny są sprzężone.
- ☐ 4 klasy osobników potomnych w stosunku 1 : 1 : 1 : 1, jeśli analizowane geny nie są sprzężone, lub 4 klasy, z czego 2 dużo bardziej liczne, jeśli geny są sprzężone.
- ☐ 4 klasy osobników potomnych w stosunku 1 : 1 : 1 : 1, jeśli analizowane geny nie są sprzężone, lub 2 klasy, jeśli geny są sprzężone.
- ☐ 4 klasy osobników potomnych w stosunku 1 : 1 : 1 : 1, jeśli analizowane geny są sprzężone, lub 4 klasy, z czego 2 dużo bardziej liczne, jeśli geny nie są sprzężone.



Para chromosomów homologicznych z zaznaczonymi niektórymi genami.

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

Przeanalizuj powyższą ilustrację i wykonaj polecenia, w których puste pola należy uzupełnić cyfrą arabską: od 0 do 9.

Podaj liczbę powstałych rodzajów gamet, gdy nie doszło do zjawiska crossing-over pomiędzy przedstawionymi chromosomami:

Podaj liczbę wszystkich możliwych rodzajów gamet powstałych w przypadku, gdy w różnych miejscach doszło do zjawiska crossing-over pomiędzy przedstawionymi chromosomami:

Ćwiczenie 4



Uzupełnij poniższy tekst tak, aby przedstawiał prawdziwe informacje. W każdym zdaniu wybierz odpowiednie wyrażenie.

Aby potwierdzić, że analizowane cechy są sprzężone, należy wykonać

krzyżówkę testową ☐ rekombinację ☐ osobników będących podwójnymi heterozygotami z podwójną homozygotą ☐ recesywną ☐ dominującą ☐. Jeżeli w jej wyniku otrzymamy znacznie ☐ większą ☐ mniejszą ☐ liczbę osobników o fenotypach rodzicielskich niż nierodzicielskich, to analizowane geny są ze sobą sprzężone i dziedziczą się zależnie od siebie. Wynika to z faktu, że heterozygota wytworzy ☐ 2 ☐ 4 ☐ typy gamet z różnym prawdopodobieństwem, ponieważ analizowane geny leżą na ☐ tych samych ☐ różnych ☐ chromosomach.

Ćwiczenie 5



S	małe, szerokie oczy	y	żółte ciało
dp	skośne skrzydła	w	białe oczy
d	krótkie odnóża	v	karmazynowe oczy
b	czarne ciało	m	karłowate ciało
j	zwężone skrzydła	B	wstęgowate oczy
pr	purpurowe oczy	sw	krótkie skrzydła
cn	cynobrowe oczy		
vg	zredukowane i „wywinięte” skrzydła		
c	wygięte skrzydła		
bw	brązowe oczy		
sp	cętkowane ciało		

Uproszczona mapa genetyczna dwóch chromosomów muszki owocowej (*Drosophila melanogaster*).

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

Na podstawie schematu przedstawiającego ułożenie genów muszki owocowej na chromosomach określ, czy geny warunkujące długość odnóży oraz długość skrzydeł są ze sobą sprzężone. Odpowiedź uzasadnij.

Ćwiczenie 6



Oceń, czy podane stwierdzenia są prawdziwe czy fałszywe.

Stwierdzenie	Prawda	Fałsz
Krzyżówka testowa jest zawsze dwugenowa.	☐	☐
Krzyżówkę testową można wykonać jedynie dla organizmów zwierzęcych.	☐	☐
Krzyżówka testowa może ujawnić, czy geny leżą na tym samym chromosomie.	☐	☐

Ćwiczenie 7



Wyjaśnij, dlaczego w przypadku sprzężenia cech po skrzyżowaniu dwóch heterozygot w pokoleniu potomnym obserwowana jest niewielka liczba osobników o cechach zrekombinowanych.

Ćwiczenie 8



Wykonano krzyżówkę testową muszki owocowej (*Drosophila melanogaster*) będącej potrójną heterozygotą ABC/abc. Zakładając, że crossing-over zaszło we wszystkich możliwych miejscach, określ jak liczne będą powstałe klasy osobników potomnych.

Dla nauczyciela

Autor: Anna Juwan

Przedmiot: Biologia

Temat: Wykrywanie sprzężenia za pomocą testowej krzyżówki dwugenowej

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:

7) przedstawia dziedziczenie cech sprzężonych z płcią;

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, w jaki sposób przeprowadza się dwugenową krzyżówkę testową.
- Wyjaśnisz sposób interpretacji wyników dwugenowej krzyżówki testowej.
- Wykryjesz sprzężenie za pomocą testowej krzyżówki dwugenowej.

Strategie nauczania:

- konstruktywizm;
- konektywizm.

Metody i techniki nauczania:

- z użyciem komputera;
- ćwiczenia interaktywne;
- praca z filmem;
- gwiazda pytań.

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. **Przygotowanie do zajęć.** Nauczyciel loguje się na platformie i udostępnia uczniom e-materiał „Wykrywanie sprzężenia za pomocą testowej krzyżówki dwugenowej”. Prosi uczestników zajęć o rozwiązanie ćwiczenia nr 4 (polegającego na uzupełnieniu tekstu dotyczącego tematu lekcji) z sekcji „Sprawdź się” na podstawie treści 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. **Raport z przygotowań.** Nauczyciel za pomocą dostępnego w panelu użytkownika raportu weryfikuje przygotowanie uczniów do lekcji, m.in. sprawdza, kto wykonał zadane ćwiczenie. Może wyświetlić odpowiedzi uczniów na tablicy interaktywnej. Prosi wybranego ucznia o uzasadnienie swojego rozwiązania.

Faza realizacyjna:

1. **Praca z tekstem.** Nauczyciel wyświetla grafiki zamieszczone w sekcji „Przeczytaj”, przedstawiające krzyżówki muszki owocowej, i wspólnie z uczniami dokonuje ich analizy, na podstawie treści przeczytanych w ramach przygotowania do lekcji.
2. **Praca z multimediami („Film samouczek”).** Nauczyciel wyświetla na tablicy interaktywnej lub za pomocą rzutnika multimediu zawarte w sekcji „Film samouczek”. Uczniowie odczytują polecenie nr 1 (Wyjaśnij, jaką krzyżówkę należy wykonać, aby sprawdzić, czy geny położone są na tym samym chromosomie.) oraz nr 2 („Wskaż, jaki wynik krzyżówki z poprzedniego polecenia będzie świadczył o sprzężeniu lub braku sprzężenia genów.”) i wykonują je w parach. Następnie dzielą się swoimi odpowiedziami na forum klasy.
3. **Gwiazda pytań.** Nauczyciel dzieli uczniów na trzy grupy, a następnie rozdaje każdej z nich schemat „gwiazdy pytań” (zob. materiały pomocnicze). Uczniowie na podstawie e-materiału oraz innych źródeł mają za zadanie opracować odpowiedzi na pytania widniejące na schemacie. Następnie każdy zespół dopisuje pozostałe, własne pytania i daje je do rozwiązania innej grupie.
Wybrani przez nauczyciela uczniowie kolejno prezentują wyniki prac swojego zespołu.
4. **Utrwalenie wiedzy i umiejętności.** Uczniowie samodzielnie wykonują ćwiczenie nr 7 (w którym mają za zadanie wyjaśnić, dlaczego w przypadku sprzężenia cech po skrzyżowaniu dwóch heterozygot w pokoleniu potomnym obserwowana jest niewielka liczba osobników o cechach zrekombinowanych) z sekcji „Sprawdź się”. Następnie w 4-osobowych grupach omawiają prawidłowe rozwiązanie. Po upływie wyznaczonego czasu wskazany przez nauczyciela przedstawiciel grupy prezentuje odpowiedź wraz z jej uzasadnieniem. Klasa ustosunkowuje się do niej. Nauczyciel udziela uczniom informacji zwrotnej.

Faza podsumowująca:

1. Uczniowie wykonują ćwiczenie nr 5 (w którym mają za zadanie określić – na podstawie schematu pokazującego ułożenie genów muszki owocowej na chromosomach – czy geny warunkujące długość odnóży oraz długość skrzydeł są ze sobą sprzężone, i uzasadnić swoją odpowiedź) z sekcji „Sprawdź się”. Chętne osoby prezentują swoją odpowiedź.
2. Nauczyciel wyświetla na tablicy temat lekcji i cele zawarte w sekcji „Wprowadzenie”. W tym kontekście dokonuje podsumowania najważniejszych informacji przedstawionych na lekcji oraz wyjaśnia wątpliwości uczniów.

Praca domowa:

1. Wykonaj ćwiczenia od 1 do 3 oraz 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.

Załącznik 1. Gwiazda pytań.

Plik o rozmiarze 75.80 KB w języku polskim

Dodatkowe wskazówki metodyczne:

- Nauczyciel może wykorzystać medium w sekcji „Film samouczek” do pracy przed lekcją. Uczniowie zapoznają się z jego treścią i przygotowują do pracy na zajęciach w ten sposób, żeby móc samodzielnie rozwiązać zadania.