

©Carolina Biological Supply Company

Mejoza – źródło zmienności genetycznej

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



Mejoza – źródło zmienności genetycznej

Mejoza to nie tylko proces podziału komórki, podczas którego zachodzi redukcja liczby chromosomów, ale także ważny sposób powstawania nowych kombinacji genetycznych w obrębie chromosomów.

Źródło: ColiN00B, Pixabay, domena publiczna.

Podobieństwo potomstwa do rodziców od dawna nurtowało wielu ludzi. Niektórzy wierzyli, że dziecko dziedziczy cechy po jednym rodzicu. Innego zdania był m. in. Arystoteles – twierdził, że „materia rozrodcza” matki i ojca pozwala na przekazywanie potomstwu nie tylko cech gatunkowych, ale również cech indywidualnych obojga rodziców. Dopiero odkrycie chromosomów i obserwacje ich rozdziału podczas powstawania komórek rozrodczych ostatecznie wyjaśniły zagadkę dziedziczenia cech uwarunkowanych genetycznie.

Twoje cele

- Wyjaśnisz czym jest rekombinacja homologiczna.
- Opisziesz znaczenie rekombinacji materiału genetycznego zachodzącego podczas mejozy dla różnorodności potomstwa.
- Opisziesz przebieg procesu *crossing-over* i losowego rozdziału chromosomów.

Przeczytaj

[Mejoza](#) zachodzi u organizmów rozmnażających się płciowo. Organizm [diploidalny](#) ($2n$) w wyniku mejozy produkuje komórki haploidalne, które zawierają połowę wyjściowej liczby [chromosomów](#) ($1n$). U zwierząt są to komórki rozrodcze ([gamety](#)), natomiast u roślin - zarodniki. U człowieka komórki somatyczne są diploidalne i każda ma liczbę chromosomów $2n=46$ (23 pary chromosomów homologicznych). Powstające w gonadach - jądrach i jajnikach - w wyniku podziału mejotycznego gamety są natomiast haploidalne. Każda gameta zawiera pojedynczy komplet chromosomów $1n=23$. Po zapłodnieniu, czyli połączeniu się komórki jajowej i plemnika, dochodzi do powstania zygoty i odtworzenia pełnego garnituru chromosomów ($2n=46$).

Jaką korzyść podział mejotyczny przynosi organizmom rozmnażającym się płciowo? Oprócz redukcji liczby chromosomów, kluczowej dla utrzymania stałej dla gatunku liczby chromosomów po zapłodnieniu, mejoza jest źródłem [rekombinacji genetycznej](#).

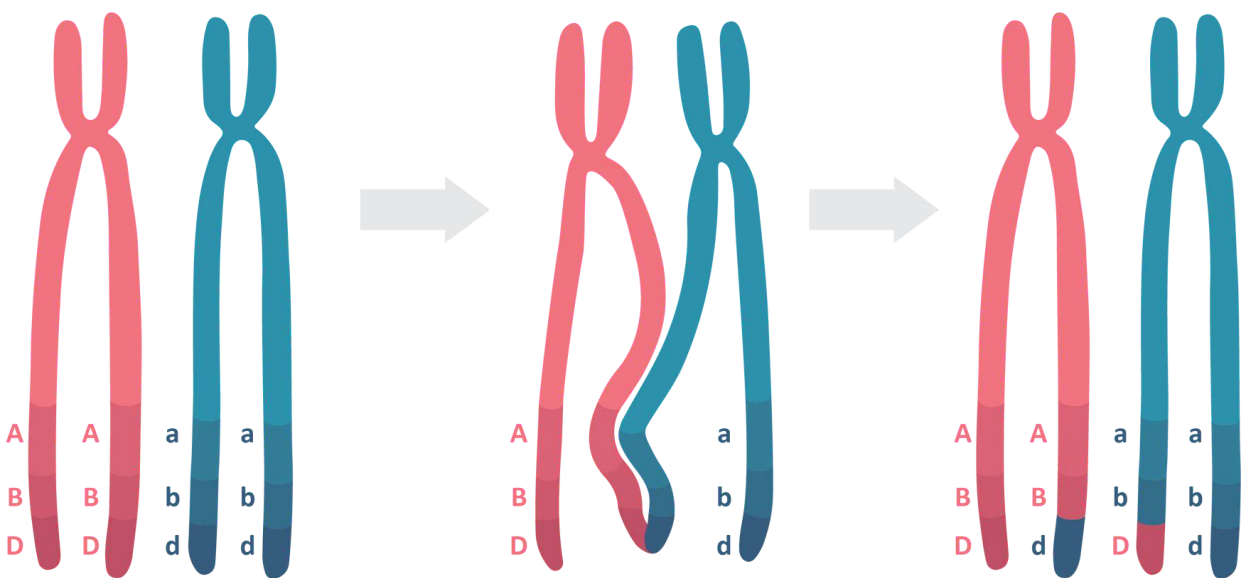
Rekombinacja genetyczna

Rekombinacją genetyczną nazywa się procesy prowadzące do powstawania nowych genotypów (nowych układów alleli genów) u organizmów potomnych - w oparciu o nowe kombinacje genów. W trakcie rozmnażania płciowego rekombinacja zachodzi poprzez losowy rozdział chromosomów do gamet i losowe łączenie się gamet, ale także przez powstawanie w chromosomach nowych kombinacji genów dzięki zjawisku [crossing-over](#). To ostatnie jest przykładem [rekombinacji homologicznej](#), czyli procesu wymiany odcinków chromosomów o sekwencjach [nukleotydów](#) podobnych do siebie (wykazujących homologię).

Dla zainteresowanych

Oprócz rekombinacji homologicznej, inaczej nazywanej ogólną, występują jeszcze dwa inne typy wymiany odcinków DNA. [Rekombinacja umiejscowiona](#) dotyczy bardzo małych fragmentów podobnych do siebie łańcuchów polinukleotydowych. Ten typ rekombinacji może zachodzić m.in. w genomach fagów.

Jeżeli natomiast wymiana fragmentu DNA zachodzi przez jego przeniesienie w inne miejsce genomu tej samej komórki, mówimy o transpozycji, czyli rekombinacji niehomologicznej. Więcej na ten temat przeczytasz w materiale: [Transpozony – ruchome elementy genetyczne](#).



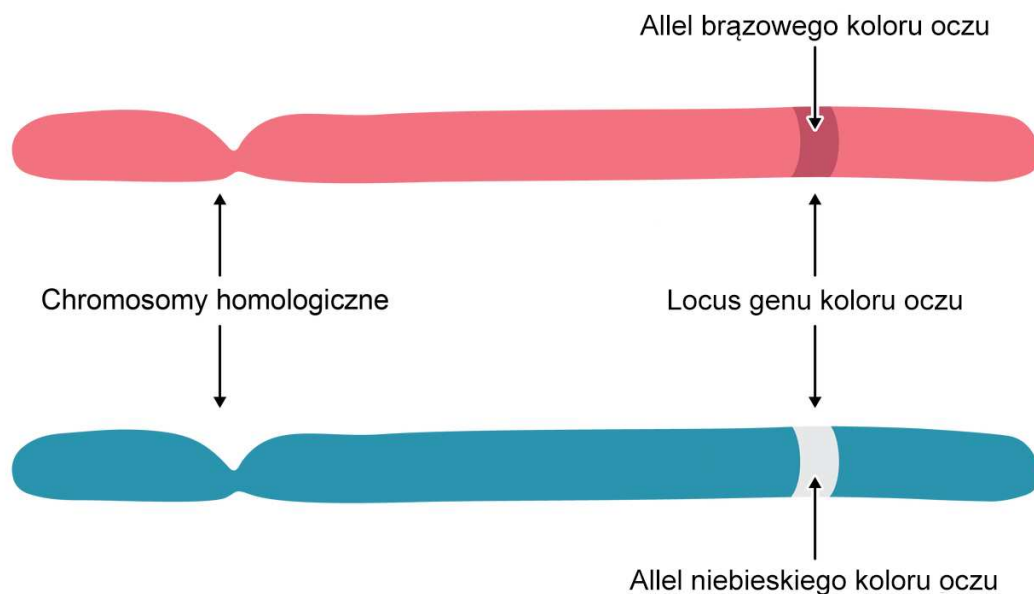
Zachodzący podczas *crossing-over* proces rekombinacji homologicznej umożliwia powstanie mozaiki genów ojcowskich i matczynych w chromosomach trafiających do gamet. Fragmenty A, B oraz C przedstawione na grafice to kolejne geny w chromosomach.

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

Jakie znaczenie biologiczne ma proces rekombinacji homologicznej zachodzący podczas mejozy? Gdyby nie dochodziło do wymiany fragmentów genomu, jego struktura w kolejnych pokoleniach ulegałaby bardzo ograniczonym zmianom (wynikającym tylko z mutacji). Stabilność genomu ma duże znaczenie dla określonych cech warunkowanych przez geny niezbędne – kluczowych do przetrwania gatunku. Natomiast dla pozostałych genów brak zmian genomu byłby korzystny jedynie w przypadku przebywania w stabilnym otoczeniu. Warunki środowiska na Ziemi są jednak zmienne, a organizmy nieustannie muszą przystosowywać się do zmian. To

właśnie dzięki procesowi rekombinacji możliwe jest powstawanie cech zapewniających przetrwanie tych zmian.

Różnorodność genetyczna zwiększa szanse, że któryś z potomków odziedziczy zestaw genów umożliwiający mu przetrwanie i dochowa się własnego potomstwa w zmiennym środowisku.



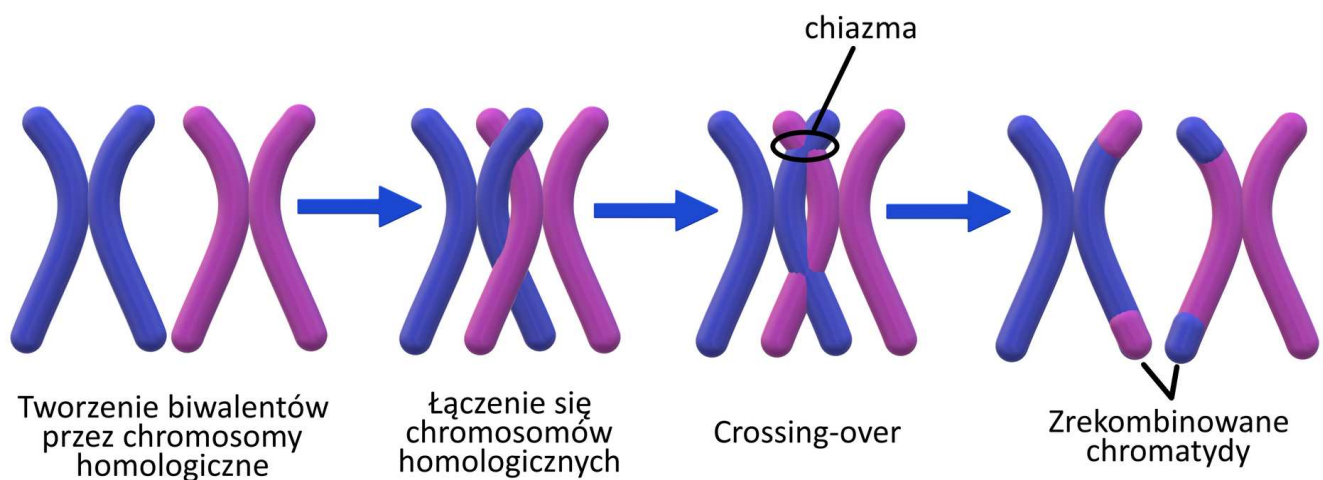
Organizmy rodzicielskie wytwarzają liczne gamety (u samców liczone w milionach) zawierające allele, czyli różne warianty genów odpowiedzialne za wytworzenie tej samej cechy. Przykładem cechy determinowanej przez allele jednego genu jest kolor tęczówki oka.

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

Crossing-over

W trakcie profazy I podziału meiotycznego dochodzi do kondensacji chromatyny w chromosomy. Następnie zachodzi [koniugacja](#), czyli parowanie się [chromosomów homologicznych](#) w [biwalenty](#) – pary chromosomów, z których jeden pochodzi od matki, a drugi od ojca. W początkowej fazie chromosomy homologiczne są ze sobą ściśle połączone za pomocą [kompleksu synaptonemalnego](#), którego zadaniem jest stabilizacja biwalentu. Więcej informacji na ten temat znajdziesz w materiale: Przebieg i znaczenie mejozy.

W [pachytenie](#) dochodzi do procesu *crossing-over*, który polega na wymianie fragmentów materiału genetycznego między chromatydami chromosomów homologicznych w bivalencji. Dzięki temu niektóre chromatydy matczyne będą zawierać odcinki DNA pochodzące z chromatyd ojcowskich i odwrotnie. W miejscach wymiany powstają [chiazmy](#), czyli krzyżowe połączenia pomiędzy chromatydami. Proces *crossing-over* kończy się w [diplotenie](#) terminalizacją chiasm, czyli ich przesunięciem w kierunku końców chromosomów. Ostatnie stadium profazy I – [diakineza](#) – kończy się wraz z zanikiem otoczki jądrowej.



Przebieg procesu *crossing-over*, od pary chromosomów homologicznych, przez ich koniugację, wytworzenie chiasm, aż do zrekombinowanych chromatyd.

Źródło: Christinelmiller, Wikimedia Commons, licencja: CC BY-SA 4.0.

Losowy rozdział chromosomów

W komórce podczas metafazy I mejozy włókna wrzeciona kariokinetycznego łączą się z chromosomami homologicznymi i ustawiają je w płaszczyźnie równikowej komórki. W trakcie anafazy I włókna wrzeciona skracają się i dochodzi do losowego rozdziału chromosomów homologicznych, które zostaną przeciągnięte w przeciwległe bieguny powstałych komórek. Tworzące się komórki potomne otrzymują po jednym chromosomie z każdej pary chromosomów homologicznych. To, w jaki sposób zostaną

przydzielone chromosomy do poszczególnych komórek, jest kwestią przypadku (zachodzi tzw. losowa segregacja).

Podczas drugiego podziału mejotycznego dochodzi do analogicznego procesu dotyczącego chromatyd siostrzanych. W pełnym procesie mejozy z jednej komórki tworzą się cztery potomne o haploidalnej liczbie chromosomów, których układ jest losowy.

Schemat przedstawia kolejne etapy podziału mejotycznego.

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

Słownik

biwalent

tetrada; para koniugujących chromosomów homologicznych w metafazie pierwszego podziału mejotycznego, utrzymywanych razem dzięki kompleksowi synaptonemalnemu, a później również chiazmom

chiazma

nazwa pochodzi od greckiej litery *chi*, która ma kształt podobny do X; krzyżowa struktura pojawiająca się w profazie pierwszego podziału mejotycznego; powstaje w wyniku pęknięcia niesiostrzanych (homologicznych) chromatyd i krzyżowego połączenia fragmentów ich cząsteczek DNA; w regionach tych dochodzi do *crossing-over*

chromosomy

najbardziej skondensowana forma organizacji materiału genetycznego – DNA wewnątrz komórki; stanowią jednostki segregacji w podziale jądra komórkowego

chromosomy homologiczne

chromosomy znajdujące się w diploidalnej komórce, z których jeden pochodzi od ojca, a drugi od matki; mają ramiona tej samej długości, takie samo położenie centromeru, a znajdujące się w tym samym *locus* geny (allele) warunkują tę samą

cechę, np. barwę oczu; podczas mejozy chromosomy homologiczne łączą się, tworząc biwalenty

crossing-over

proces zachodzący podczas profazy pierwszego mejotycznego podziału jądra komórkowego; polega na wymianie odpowiadających sobie odcinków chromatyd niesiostrzanych – należących do koniugujących (sparowanych) chromosomów homologicznych; rezultatem *crossing-over* jest przetasowanie genów pochodzenia matczynego i ojcowskiego, prowadzące do powstania nowych, przypadkowych kombinacji genów w ramach jednego chromosomu, a więc tworzących jedną grupę genów sprzężonych

diakineza

ostatni, piąty etap profazy I mejozy, zachodzący po diplotenie; następuje wówczas przesunięcie chiasm na końce biwalentów, rozmieszczonych na obwodzie jądra komórkowego, oraz maksymalna spiralizacja chromosomów; pod koniec diakinezy zanika jąderko, rozpada się otoczka jądrowa i powstaje wrzeciono podziałowe

diploidalny

zawierający podwójną liczbę chromosomów ($2n$)

diploten

czwarty etap profazy I mejozy występujący po pachytenie, a przed diakinezą; podczas tego etapu następuje oddzielanie się od siebie chromosomów homologicznych, z wyjątkiem chiasm, oraz uwolnienie chromosomów z połączeń z otoczką jądrową; jeżeli w danym biwalencie nie zaszło *crossing-over*, chromosomy rozdzielają się całkowicie

gameta

komórka płciowa służąca do rozmnażania płciowego, zawiera zredukowaną do połowy liczbę chromosomów

haploidalny

zawierający pojedynczą liczbę chromosomów ($1n$)

kompleks synaptonemalny

struktura zbudowana z białek, w czasie podziału meiotycznego łączy dwa homologiczne chromosomy tworzące biwalent

koniugacja chromosomów

zjawisko występujące w profazie I podziału meiotycznego (mejoza); polega na tym, że chromosomy homologiczne w biwalencie (tetrady) są ze sobą ściśle połączone na całej długości za pośrednictwem kompleksu synaptonemalnego; ścisły kontakt jest warunkiem niezbędnym do zajścia *crossing-over*, a więc rekombinacji między chromosomami ojcowskim i matczynym

mejoza

gr. *meiosis* – zmniejszanie, proces podziału jądra komórkowego, w wyniku którego dochodzi do redukcji liczby chromosomów

nukleotyd

podstawowy składnik budulcowy kwasów nukleinowych (DNA i RNA)

pachyten

trzecia z faz profazy I mejozy, następuje po zygotenie, a poprzedza diploten; w tej fazie kompleks synaptonemalny jest bardzo zwarty, następuje zjawisko *crossing-over* oraz dalszy proces spiralizacji skoniugowanych chromosomów homologicznych

rekombinacja genetyczna

występowanie u potomstwa innych kombinacji genów niż u pary rodzicielskiej, a w rezultacie innych zespołów cech; rekombinacja jest efektem zachodzącego podczas mejozy procesu *crossing-over*, niezależnego rozchodzenia się

chromosomów do gamet, a także, w czasie zapłodnienia, losowego łączenia się gamet

rekombinacja homologiczna

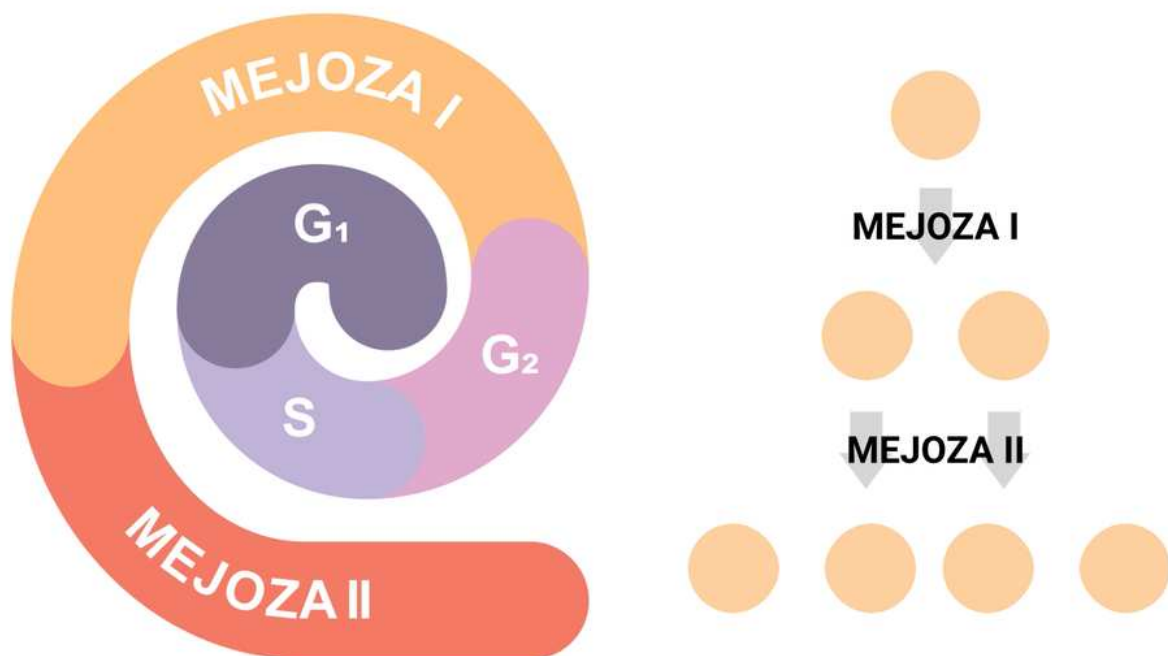
inaczej rekombinacja uprawniona; procesy prowadzące do powstania nowych genotypów poprzez wymianę homologicznych sekwencji materiału genetycznego

rekombinacja umiejscowiona

rekombinacja specyficzna dla miejsca, procesy prowadzące do powstania nowych genotypów poprzez wymianę fragmentów materiału genetycznego zawierających jedynie krótkie sekwencje homologii

Animacja

Trwa wczytywanie danych..



Film dostępny pod adresem </preview/resource/RqUz4Kiz3ocTZ>

Mejoza – źródło zmienności genetycznej.

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

Film pod tytułem "Mejoza jako źródło zmienności genetycznej".

Polecenie 1

Polecenie 2

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



Zaznacz poprawne zakończenie zdania.

O mejozie mówi się, że jest podziałem redukcyjnym, ponieważ...

- jest głównym rodzajem podziału w komórkach starzejących się.
- w jej wyniku powstają tylko dwie komórki potomne.
- powstałe w jej wyniku komórki potomne mają zredukowany do połowy materiał genetyczny.
- bierze udział w procesach redoks.

Ćwiczenie 2



Zaznacz poprawne zakończenie zdania.

Zjawisko *crossing-over* zachodzi podczas...

- profazy I.
- profazy II.
- telofazy.
- anafazy I.

Ćwiczenie 3



Zaznacz poprawne zakończenie zdania.

Chiazma to...

- sekwencja DNA na końcu chromosomu.
- połączenie dwóch chromatyd siostrzanych.
- połączenie między centromerami.
- miejsce połączenia chromosomów homologicznych podczas wymiany fragmentów chromatyd.

Ćwiczenie 4



Połącz w pary terminy oraz ich definicje.

Chromosomy homologiczne

Faza profazy I podziału meiotycznego

Allele

Różne wersje genu

Tetrada

Chromosomy o tym samym kształcie i wielkości, zawierające w tym samym locus geny (allele) warunkujące tę samą cechę

Pachyten

Kompleks czterech chromatyd pochodzących od dwóch chromosomów homologicznych

Crossing-over

Wymiana odcinków chromatyd pomiędzy chromosomami homologicznymi

Ćwiczenie 5



Określ, czy podane stwierdzenia są prawdziwe czy fałszywe.

Stwierdzenie	Prawda	Fałsz
Źródłami zmienności genetycznej są <i>crossing-over</i> i losowe rozdzielenie chromosomów podczas mejozy.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Podział mejotyczny to dwa zachodzące po sobie podziały mitotyczne.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Podczas rekombinacji zachodzi wymiana alleli.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Rekombinacja może zajść tylko w jednym miejscu na chromosomie.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Ćwiczenie 6



Uzupełnij tekst, wybierając prawidłowe sformułowania spośród podanych poniżej.

Profaza I podziału podzielona jest na kilka etapów. W zachodzi proces , którego znaczenie biologiczne wiąże się z wymieszaniem i utworzeniem ich nowych kombinacji, które znajdą się w .

diploenie

transpozycji

mejotycznego

pachytenie

mitotycznego

leptoten

cytoplazmy

gametach

komórkach

crossing-over

genów

Ćwiczenie 7



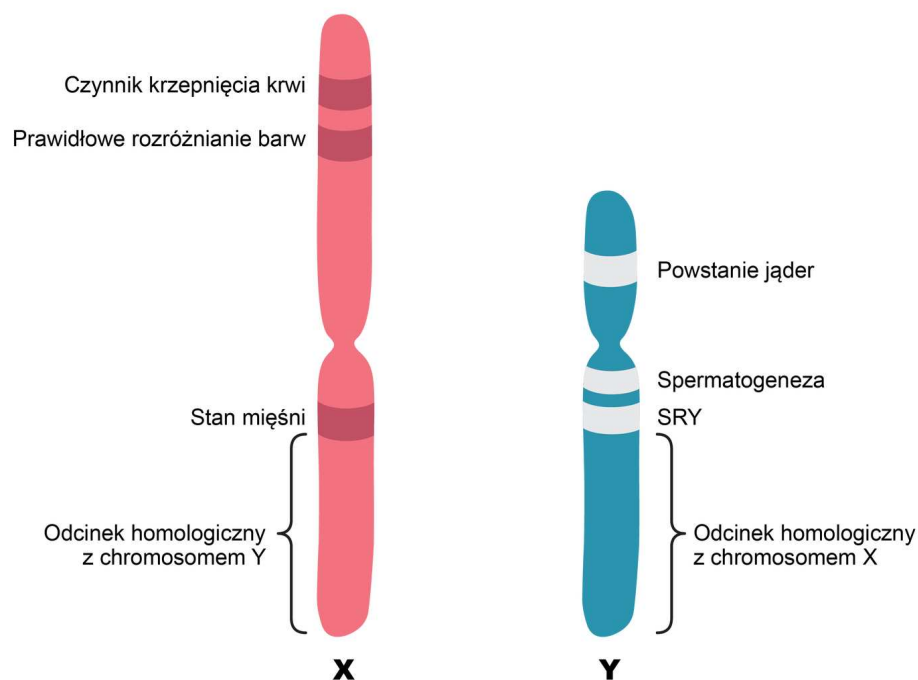
Przyjmijmy, że obserwujemy rozprzestrzenianie się zmutowanego genu, którego konsekwencją jest ujawnienie się niekorzystnych cech, mogących doprowadzić do choroby lub śmierci u dwóch grup organizmów: rozmnażających się bezpłciowo i płciowo. Czy gen warunkujący cechę letalną rozprzestrzeni się w obydwu populacjach w jednakowym zakresie?

Ćwiczenie 8



„Jednym z bardziej interesujących zjawisk w ewolucji genomów jest ewolucja chromosomów płciowych. W różnych liniach filogenetycznych pojawiają się różne sposoby na kontrolowanie płci osobników. W wielu przypadkach osobniki odrębnych płci różnią się kariotypem. U ssaków samice mają dwa identyczne chromosomy X, natomiast samce mają jeden chromosom X i jeden chromosom Y. Chromosom Y niesie relatywnie mało informacji genetycznej, przede wszystkim jest to informacja odpowiedzialna za rozwój męskich cech płciowych. Biologowie raczej zgodnie przyjmują hipotezę, że obydwa chromosomy mają to samo autosomalne pochodzenie. Nie są jednak już tak zgodni co do mechanizmów ewolucyjnych, które doprowadziły do tak dramatycznej utraty przez samce informacji z jednego chromosomu”.

Źródło: Stanisław Cebrat, Dorota Mackiewicz, Wojciech Waga, *Komputerowe modelowanie ewolucji genomów*, „Kosmos” 2009, tom 58, nr 1-2, s. 29-41.



Schemat przedstawia chromosomy płci: czerwony to chromosom X, niebieski – chromosom Y. Zaznaczono *loci* genów związanych z krzepnięciem krwi, rozróżnianiem barw i kształtowaniem się cech płciowych.

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

Wykaż, czy możliwe jest zajście *crossing-over* między chromosomami płciowymi X i Y.

Uzasadnij swoją odpowiedź.

Dla nauczyciela

Scenariusz lekcji

Autor: Anna Juwan

Przedmiot: Biologia

Temat: Mejoza – źródło zmienności genetycznej

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

Podstawa programowa:

Zakres podstawowy

Treści nauczania – wymagania szczegółowe

IV. Podziały komórkowe. Uczeń:

4) przedstawia znaczenie mitozy i mejozy w zachowaniu ciągłości życia na Ziemi;

Zakres rozszerzony

Treści nauczania – wymagania szczegółowe

IV. Podziały komórkowe. Uczeń:

8) wyjaśnia znaczenie procesu crossing-over i niezależnej segregacji chromosomów jako źródeł zmienności rekombinacyjnej i różnorodności biologicznej;

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):

- Wyjaśnisz czym jest rekombinacja homologiczna.
- Opisziesz znaczenie rekombinacji materiału genetycznego zachodzącego podczas mejozy dla różnorodności potomstwa.
- Opisziesz przebieg procesu *crossing-over* i losowego rozdziału chromosomów.

Strategie nauczania:

- konstruktywizm;
- konektywizm.

Metody i techniki nauczania:

- z użyciem komputera;
- ćwiczenia interaktywne;
- analiza animacji;
- gra dydaktyczna;
- rozmowa kierowana.

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.

Przed lekcją:

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

Przebieg lekcji

Faza wstępna:

1. Nauczyciel wyświetla cele zajęć z sekcji „Wprowadzenie”, a następnie wspólnie z uczniami ustala kryteria sukcesu.
2. **Wprowadzenie do tematu.** Nauczyciel pyta uczniów czym jest zmienność genetyczna oraz czy – ich zdaniem – jest to zjawisko pozytywne, czy negatywne. Uczniowie udzielają swobodnych odpowiedzi. Następnie nauczyciel wyświetla schemat przebiegu mejozy zawarty w sekcji „Przeczytaj”. Prosi uczniów o wyjaśnienie, dlaczego mejoza jest źródłem zmienności genetycznej, oraz wskazanie, w którym momencie przedstawionego procesu zachodzi crossing-over.

Faza realizacyjna:

1. **Praca z tekstem.** Uczniowie na podstawie treści w sekcji „Przeczytaj” zapisują na kartkach minimum pięć pytań dotyczących tematu lekcji. Przedstawiają propozycje pytań nauczycielowi, który w razie potrzeby odrzuca niektóre z nich lub proponuje

nowe (np. by się nie powtarzały). Uczniowie wybierają 25 pytań, które zostają umieszczone w urnie. Następnie dzielą się na 5 grup, losują 5 pytań z puli i przygotowują odpowiedzi. Zespół, który jest gotowy, zgłasza się i przedstawia rezultaty swojej pracy. Pozostali uczniowie wraz z nauczycielem weryfikują poprawność odpowiedzi.

2. **Praca z multimedium („Animacja”).** Nauczyciel wyświetla na tablicy interaktywnej lub za pomocą rzutnika multimedium. Uczniowie odczytują polecenie nr 1 i 2 (dotyczące różnic między mejozą pierwszą a drugą i zachodzących podczas mejozy procesów wpływających na różnorodność genetyczną i fenotypową potomstwa) i wykonują je w parach. Następnie dzielą się swoimi odpowiedziami na forum klasy.
3. **Utrwalenie wiedzy i umiejętności.** Nauczyciel dzieli klasę na 4-osobowe grupy. Uczniowie rozwiązują ćwiczenia interaktywne od 1 do 6 z sekcji „Sprawdź się”, od najłatwiejszego do najtrudniejszego. Grupa, która poprawnie rozwiąże zadania jako pierwsza, wygrywa.

Faza podsumowująca:

1. Nauczyciel zadaje pytania, nawiązując do początku lekcji: „Jakie procesy zachodzące podczas mejozy wpływają na zmienność genetyczną?”, „Jakie jest znaczenie rekombinacji jako elementu procesu rozmnażania płciowego?”. Wskazany uczeń udziela odpowiedzi, uzasadniając ją.

Praca domowa:

1. Wykonaj ćwiczenia nr 7 i 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.

Dodatkowe wskazówki metodyczne:

- Treści w sekcji „Animacja” można wykorzystać jako materiał służący powtórzeniu i utrwaleniu wiedzy uczniów.