



Mutacje – kryteria podziału i rodzaje

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



Różnorodność gatunkowa wśród chrząszczy (*Coleoptera*). Mutacje genetyczne są jedną z przyczyn zmienności u wszystkich organizmów.

Źródło: University of Texas, Flickr, domena publiczna.

Dziecko zostaje poczęte, kiedy komórka jajowa matki połączy się z plemnikiem ojca. Zapłodnienie prowadzi do powstania zygoty zawierającej 46 chromosomów – połowa z nich pochodzi od matki, a druga połowa od ojca. Chromosomy zawierają liniowo ułożone odcinki zwane genami, które ulegają transkrypcji. Informacja zawarta w genach determinuje powstanie określonego białka lub RNA, a co za tym idzie – warunkuje cechy budowy organizmu, np. kolor oczu, strukturę włosów, wzrost, ale także wszystkie drobniejsze szczegóły ludzkiej fizjonomii, jak np. dołeczki w policzkach. Oprócz tego w genach zapisane są informacje dotyczące funkcjonowania całego organizmu: syntezy odpowiednich białek, podziałów komórkowych, wzrostu i rozwoju każdej komórki czy predyspozycji do rozwoju chorób. Zdarza się jednak, że informacja genetyczna zostaje zmieniona, co niesie ze sobą różne skutki dla organizmu. Trwałe zmiany w informacji genetycznej danego organizmu, polegające na zmianie ilości lub struktury materiału genetycznego, nazywa się **mutacjami**.

- Wymienisz kryteria podziału mutacji.
- Odróżnisz mutacje somatyczne i generatywne, samoistne i indukowane, genowe i chromosomowe.
- Scharakteryzujesz poszczególne rodzaje mutacji z uwzględnieniem kryterium podziału.
- Opiszysz skutki mutacji, odnosząc się do zdolności adaptacyjnych organizmu.

Przeczytaj

Mutacja to nagła, losowa, skokowa i trwała zmiana w informacji genetycznej organizmu. Mutacje można klasyfikować według różnych kryteriów. Najczęściej wyróżnia się klasyfikację mutacji ze względu na: rodzaj komórek, w których zachodzą zmiany, przyczynę, skutek i poziom organizacji informacji genetycznej, w której zaszła zmiana.



Terminu „mutacja” użył po raz pierwszy w 1909 r. holenderski botanik i genetyk **Hugo de Vries**, który badał zmienność skokową u wiesiołka Lamarcka (*Oenothera lamarckiana*). Naukowiec zaobserwował nagłe zmiany fenotypu wśród kolejnych pokoleń tej rośliny. Pomimo iż większość potomstwa niczym nie różniła się od swoich rodziców, to u niewielkiego odsetka pojawiły się zmiany w morfologii liścia oraz w rozmiarze całej rośliny. De Vries nazwał je mutacjami i przypisał im podstawową funkcję w zmienności dziedzicznej organizmów. Obecnie jednak wiemy, że zaobserwowane przez niego różnice w wyglądzie wiesiołka nie były mutacjami, lecz wynikiem procesu crossing-over.

Źródło: Therese Schwarze, *Hugo de Vries*, olej na płótnie, 1918, Universiteitsmuseum Amsterdam, domena publiczna.

Podział mutacji.

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

Mutacje somatyczne i mutacje generatywne

Mutacje mogą zachodzić zarówno w komórkach somatycznych, jak i w komórkach rozrodczych. Ze względu na rodzaj komórek, w których zachodzą zmiany, mutacje dzieli się na [somatyczne](#) i [generatywne](#).

Mutacje somatyczne zachodzą w materiale genetycznym komórek somatycznych, czyli takich, które budują ciało (np. komórki kości, płuc, jelit). Organizm człowieka składa się z 10^{14} komórek powstających na skutek podziałów mitotycznych zygoty. Podczas wzrostu organizmu zachodzą mutacje somatyczne, które mogą być wywołane przez błędy w czasie replikacji DNA oraz mutagennym wpływem różnych czynników środowiskowymi.

Zmiany informacji genetycznej w komórkach budujących ciało są przekazywane wyłącznie komórkom potomnym powstałym ze zmutowanej komórki na drodze mitozy. Nie są one przekazywane potomstwu poczętemu poprzez rozmnażanie płciowe. Zatem są to zmiany niedziedziczne. Większość mutacji somatycznych nie niesie ze sobą negatywnych konsekwencji dla funkcjonowania organizmu. Wyjątkiem są zmiany zaburzające przebieg cyklu życiowego komórki. Wówczas mogą one doprowadzić do rozwoju nowotworu.

Mutacje generatywne zachodzą w materiale genetycznym komórek generatywnych, czyli takich, które służą do rozmnażania płciowego. Organizm, w komórkach którego doszło do mutacji, nie ponosi skutków jej obecności. Natomiast zmiany informacji genetycznej w komórkach macierzystych gamet oraz w samych gametach mogą zostać przekazane potomstwu. Zatem są to zmiany dziedziczne.

Mutacje spontaniczne i mutacje indukowane

Ze względu na przyczynę zachodzenia zmian mutacje dzieli się na [spontaniczne](#) i [indukowane](#).

Mutacje spontaniczne to zmiany w informacji genetycznej zachodzące samorzutnie, bez wyraźnego wpływu czynników środowiskowych. Zmiany te następują w czasie replikacji DNA i polegają np. na błędnym wstawieniu nukleotydu. Proces replikacji przeprowadza kompleks białek enzymatycznych tworzących tzw. aparat replikacyjny. W jego skład wchodzi **polimeraza DNA** – enzym, który ma zdolność do rozpoznania zmiany, usunięcia błędnie wstawionego nukleotydu i poprawnego dołączenia nowego. Większość zmian jest naprawiana przez polimerazę DNA. Jednak niewielka ich część pozostaje w obrębie DNA, niosąc ze sobą różnorodne skutki dla organizmu. Zatem zachodzenie mutacji spontanicznych wynika ze złożoności przebiegu procesu biologicznego.

Mutacje indukowane to zmiany w informacji genetycznej zachodzące pod wpływem działania [mutagenów](#). Czynniki mutagenne oddziałujące na komórkę mogą doprowadzić m.in. do rozerwania cząsteczki DNA, powstania nowych wiązań utrudniających odczyt informacji genetycznej lub modyfikacji zasad azotowych. Do czynników uszkadzających i zmieniających informację genetyczną zalicza się:

- czynniki fizyczne: promieniowanie jonizujące, promieniowanie ultrafioletowe, temperatura;
- czynniki chemiczne: kwas azotowy (III), nadtlenek wodoru, amoniak, analogi zasad azotowych, kolchicina;
- czynniki biologiczne: wirus opryszczki, wirus brodawczaka ludzkiego, wirus zapalenia wątroby typu B i C.

Źródło: Hannah Davis, Flickr, licencja: CC BY-SA 2.0.

Mutacje korzystne, neutralne i niekorzystne

Ze względu na konsekwencje, jakie dla organizmu niosą zachodzące zmiany, mutacje dzielimy na **korzystne**, **neutralne** i **niekorzystne**.

Mutacje korzystne związane są z pojawieniem się nowych, korzystnych cech organizmu. Dzięki nim organizm lepiej przystosowuje się do zmieniających się warunków środowiska. Wzrost możliwości adaptacyjnych zwiększa szansę organizmu na przeżycie i wydanie na świat potomstwa. Nowe pokolenie, dziedzicząc korzystne zmiany informacji genetycznej, może ewoluować.

Mutacje neutralne są dla organizmu zmianami obojętnymi. Oznacza to, że pomimo zmian w informacji genetycznej organizm nie ponosi skutków ich obecności. Brak efektu fenotypowego wynika najczęściej z tego, że mutacje te zachodzą w obrębie niekodujących części DNA. W zmieniających się warunkach środowiska początkowo neutralna dla organizmu mutacja może okazać się korzystna, jeśli zwiększa możliwości adaptacyjne, lub niekorzystna, jeśli możliwości te są zmniejszone.

Mutacje niekorzystne są dla organizmu zmianami negatywnymi. Gdy obecność mutacji skutkuje śmiercią organizmu, wówczas jest to tzw. **mutacja letalna**. W przypadku, gdy obecność mutacji zmniejsza możliwości adaptacyjne, ogranicza zdolności rozrodcze, objawia się rozwojem choroby lub powoduje przedwczesną śmierć, wówczas jest to tzw. **mutacja subletalna**.

Mutacje genowe i mutacje chromosomowe

Ze względu na poziom organizacji informacji genetycznej, w której zachodzą zmiany, mutacje dzieli się na **genowe** i **chromosomowe**. Pierwsze skutkują zmianami w pojedynczych genach, drugie natomiast obejmują większą ilość materiału genetycznego – powodują zmiany w strukturze lub liczbie chromosomów.

Mutacje genowe

Mutacje genowe (mutacje punktowe) dotyczą zmian w obrębie genów na poziomie sekwencji nukleotydowej łańcucha DNA. W zależności od charakteru zmiany wyróżnia się trzy podstawowe rodzaje mutacji genowych:

1. **substytucja** – mutacja prowadząca do zamiany jednej pary nukleotydów na inną; podstawienie może dotyczyć:
 - tranzycji – zamianie ulega puryna na purynę lub pirymidyna na pirymidynę;
 - transwersji – zamianie ulega puryna na pirymidynę lub pirymidyna na purynę;
2. **delecja** – mutacja polegająca na utracie jednej lub kilku par nukleotydów;
3. **insercja** – mutacja polegająca na dodaniu jednej lub kilku par nukleotydów.

Zazwyczaj mutacje genowe powstają w czasie replikacji DNA. Pojawiające się zmiany w informacji genetycznej są wynikiem stopnia złożoności procesu powielania, jak i efektem oddziaływania czynników mutagennych.

Rodzaje mutacji genowych.

Źródło: Hullo97, Wikimedia Commons, licencja: CC BY-SA 4.0.

Mutacje chromosomowe

Mutacje chromosomowe (aberracje chromosomowe) dotyczą zmian w budowie chromosomu (tzw. mutacje chromosomowe strukturalne) lub w liczbie chromosomów (tzw. mutacje chromosomowe liczbowe).

Mutacje chromosomowe strukturalne dzieli się na cztery rodzaje:

- delecja (**deficjencja**) – zmiana polegająca na utracie fragmentu chromosomu;

- [duplikacja](#) – zmiana polegająca na podwojeniu fragmentu chromosomu;
- [inwersja](#) – zmiana polegająca na odwróceniu fragmentu chromosomu o 180 stopni;
- [translokacja](#) – zmiana polegająca na przemieszczeniu fragmentu chromosomu na inny chromosom niehomologiczny. Szczególnym rodzajem translokacji jest translokacja wzajemna, polegająca na wymianie fragmentów między dwoma chromosomami niehomologicznymi.

Mutacje chromosomowe strukturalne.

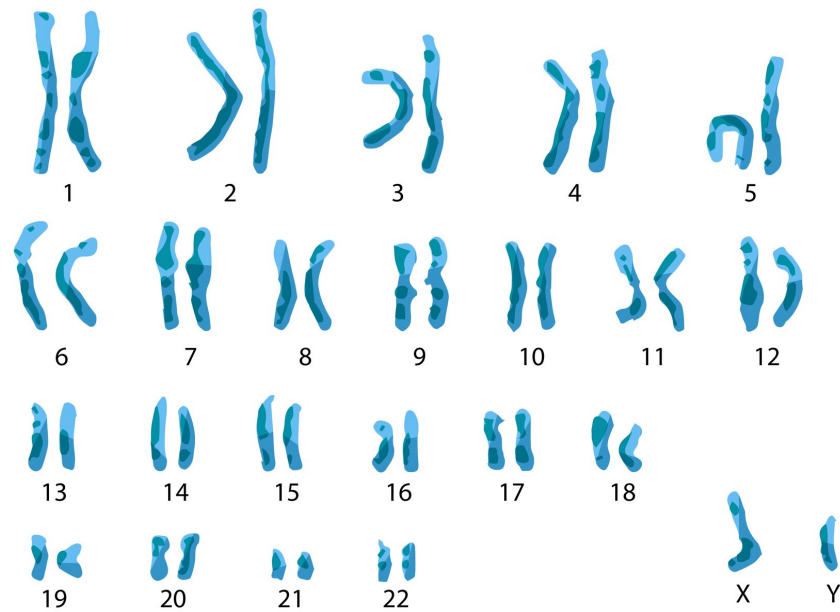
Źródło: Małgorzata Wysocka, licencja: CC BY-SA 3.0.

Mutacje chromosomowe liczbowe dzieli się na dwa rodzaje:

1. [aneuploidia](#) – zmiana liczby chromosomów w obrębie jednej pary; w zależności od charakteru mutacji wyróżnia się następujące typy zmian:
 - monosomia ($2n - 1$) – mutacja polegająca na braku jednego chromosomu z danej pary;
 - trisomia ($2n + 1$) – mutacja polegająca na obecności jednego dodatkowego chromosomu w danej parze;
 - nullisomia ($2n - 2$) – mutacja polegająca na braku dwóch chromosomów danej pary;
 - tetrasomia ($2n + 2$) – mutacja polegająca na obecności dwóch chromosomów tworzących dodatkową parę;
2. [euploidia](#) – zmiana liczby zestawów chromosomów (np. n – monoploidia, $3n$ – triploidia, $4n$ – tetraploidia, $5n$ – pentaploidia itd.); jeśli zwielokrotnione genomy są genetycznie jednakowe, mówimy o [autopoliploidii](#), a w przypadku gdy są różne – o [allopoliploidii](#).

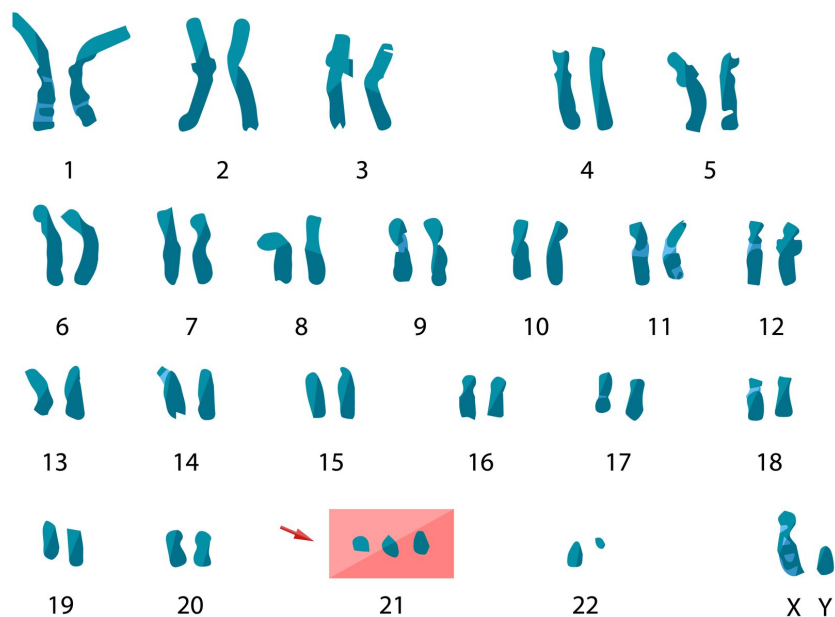
Zazwyczaj mutacje chromosomowe powstają w czasie podziału mitotycznego i mejotycznego. Pojawiające się zmiany w informacji genetycznej są wynikiem braku

rozdziłu chromosomów, nierównomiernego rozdzielenia chromosomów lub wielokrotnej replikacji DNA niezakończonym podziałem komórki.



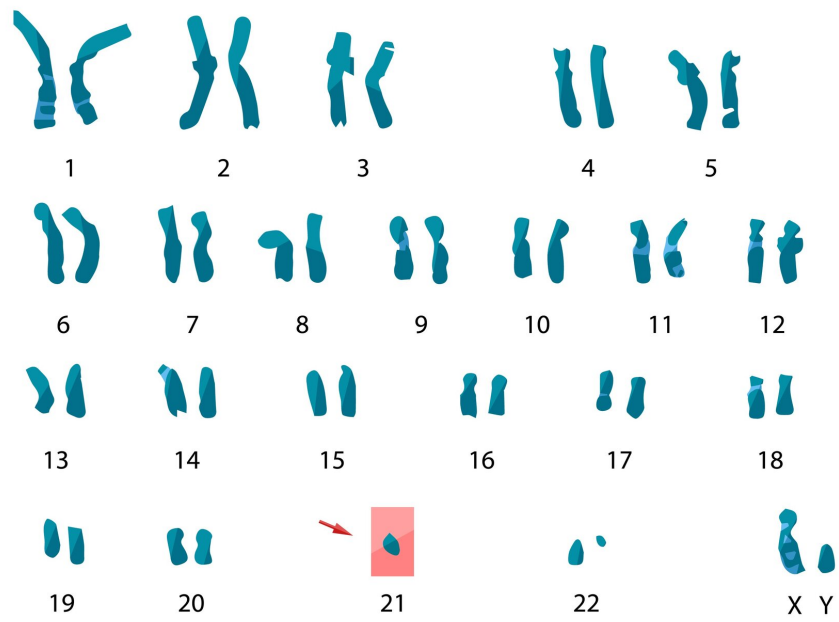
Prawidłowy karyotyp mężczyzny – 44 chromosomy autosomalne (22 pary) i 2 chromosomy płci (X i Y).

Źródło: Małgorzata Wysocka, licencja: CC BY-SA 3.0.



Trisomia chromosomu 21.

Źródło: Małgorzata Wysocka, licencja: CC BY-SA 3.0.



Monosomia chromosomu 21.

Źródło: Małgorzata Wysocka, licencja: CC BY-SA 3.0.

- Mutacje
 - Genowe
 - Substytucja
 - Tranzycja
 - Transwersja
 - Delecja
 - Insercja
 - Chromosomowe
 - Strukturalne
 - Duplikacja
 - Inwersja
 - Deficjencja
 - Translokacja
 - Liczbowe
 - Aneuploidia
 - Euploidia
 - Autopoliploidia
 - Allopoliploidia

Podział mutacji ze względu na poziom organizacji informacji genetycznej, w obrębie której zachodzą zmiany.

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

Słownik

allopoliploidia

mutacja chromosomowa liczbowa polegająca na zwielokrotnieniu liczby chromosomów u mieszańca powstałego przez skrzyżowanie dwóch różnych

gatunków; w wyniku tego powstaje allopoliploid mający dwa lub więcej zestawów genetycznie różnych chromosomów

aneuploidia

mutacja chromosomowa liczbowa polegająca na zmianie liczby chromosomów w obrębie jednej pary chromosomów homologicznych

autopoliiploidia

mutacja chromosomowa liczbowa polegająca na zwielokrotnieniu liczby chromosomów w obrębie jednego gatunku; w wyniku tego powstaje autopoliiploid mający dwa lub więcej zestawów jednakowych chromosomów

deficjencja

mutacja chromosomowa strukturalna polegająca na utracie fragmentu chromosomu

delecja

mutacja genowa polegająca na usunięciu z sekwencji DNA jednej lub kilku par nukleotydów

duplikacja

mutacja chromosomowa strukturalna polegająca na podwojeniu fragmentu chromosomu

euploidia

mutacja chromosomowa liczbowa polegająca na zmianie liczby zestawów chromosomów

insercja

mutacja genowa polegająca na dodaniu do sekwencji DNA jednej lub kilku par nukleotydów

inwersja

mutacja chromosomowa strukturalna polegająca na odwróceniu fragmentu chromosomu o 180°

kariotyp

kompletny zestaw chromosomów komórki somatycznej organizmu; analiza kariotypu dostarcza informacji o kształcie, wielkości i liczbie chromosomów, pozwalając określić rodzaj mutacji chromosomowej

mutacja generatywna

mutacja zachodząca w informacji genetycznej komórek rozrodczych; zmiana dziedziczna

mutacja indukowana

mutacja pojawiająca się w wyniku działania mutagenu

mutacja somatyczna

(gr. *soma* - ciało); mutacja zachodząca w informacji genetycznej komórek budujących ciało; zmiana niedziedziczna

mutacja spontaniczna

mutacja pojawiająca się nagle, bez wyraźnego wpływu czynników mutagennych

mutagen

fizyczny, chemiczny lub biologiczny czynnik powodujący pojawienie się mutacji indukowanej

substytucja

mutacja genowa polegająca na zamianie jednej pary nukleotydów na inną

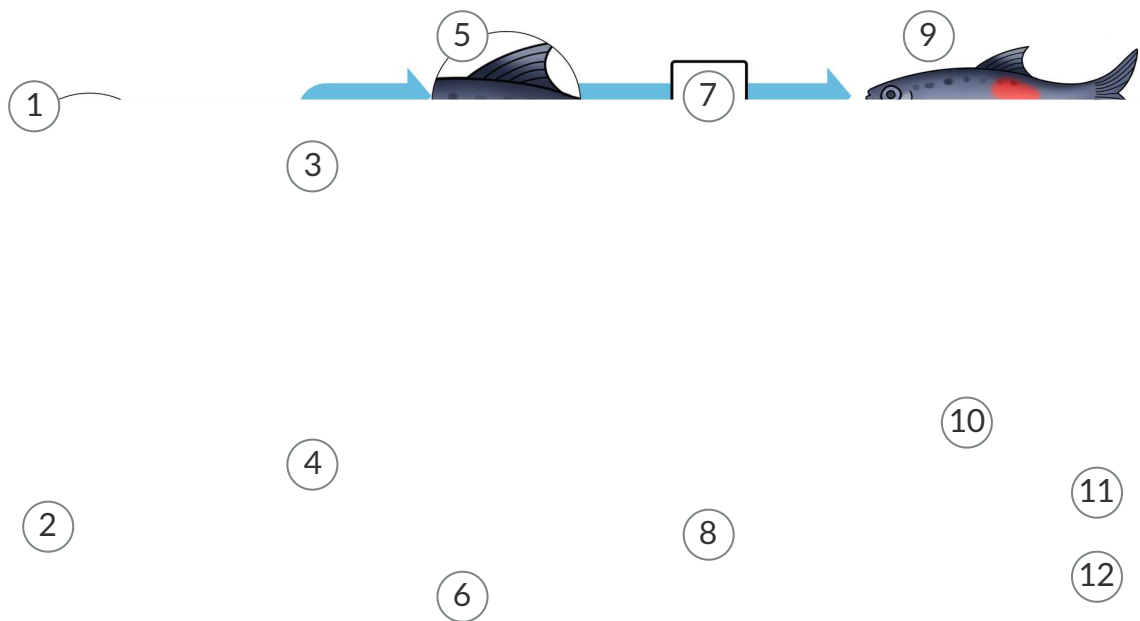
translokacja

mutacja chromosomowa strukturalna polegająca na przemieszczeniu fragmentu chromosomu na inny chromosom niehomologiczny

Grafika interaktywna

Polecenie 1

Przeanalizuj grafikę interaktywną i rozwiąż polecenie.



1

Komórki somatyczne

2

Komórki generatywne w jajnikach/jądrach

3

Mutacja somatyczna

Mutacje somatyczne nie są dziedziczne. Zmiany te pojawiają się na pewnym etapie życia organizmu i są obecne jedynie w niektórych komórkach ciała.

4

Mutacja generatywna

Mutacje generatywne są dziedziczne. Zmiany te pojawiają się w komórkach macierzystych gamet oraz w gametach. Potomstwo powstające w wyniku połączenia się wadliwych gamet zawiera zmutowane geny we wszystkich komórkach organizmu.

5

Komórka somatyczna z mutacją

6

Komórka generatywna z mutacją

7

Podziały mitotyczne

8

Rozmnażanie płciowe

9

Grupa komórek somatycznych zawierających mutację

10

Mutacje generatywne są przekazywane mniej więcej połowie osobników potomnych.

11

Wszystkie komórki tego organizmu zawierają mutację.

12

Żadna z komórek tego organizmu nie zawiera mutacji.

Źródło: Englishsquare.pl Sp. z o.o., Na podstawie: Pierce Benjamin, *Genetics: A Conceptual Approach*, New York 2005, licencja: CC BY-SA 3.0.

Określ negatywne skutki mutacji somatycznej zachodzącej w komórkach w pełni rozwiniętego organizmu.




Polecenie 2

Wykaż, że mutacje generatywne mają znaczenie ewolucyjne. W odpowiedzi uwzględnij charakter mutacji.

Polecenie 3

Wyjaśnij, w jakim przypadku mutacja somatyczna jest przekazywana potomstwu. W odpowiedzi uwzględnij sposób rozmnażania.

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



Połącz w pary pojęcia z odpowiednim wzorem.

$2n + 1$, $2n + 2$, $4n$, $2n$, $1n$, $2n - 2$

Trisomia	
Haploidia	
Tetrasomia	
Nullisomia	
Tetraploidia	
Diploidia	

Ćwiczenie 2



Ćwiczenie 3



Wskaż, które zdania są fałszywe, a które prawdziwe.

	Prawda	Fałsz
Mutacje somatyczne to nagłe, losowe zmiany zachodzące w genach, często nieszkodliwe dla organizmu.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Mutacje somatyczne nie są przekazywane potomstwu.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Mutacje generatywne mogą zachodzić m.in. w komórce jajowej.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Mutacje generatywne są dziedziczone tylko przez osobniki płci męskiej.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Ćwiczenie 4



Zaznacz typy aneuploidii.

- Monosomia
- Mutacja punktowa
- Trisomia
- Euploidia
- Allopoliploidia
- $2n + 4$
- $2n - 2$

Ćwiczenie 5



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

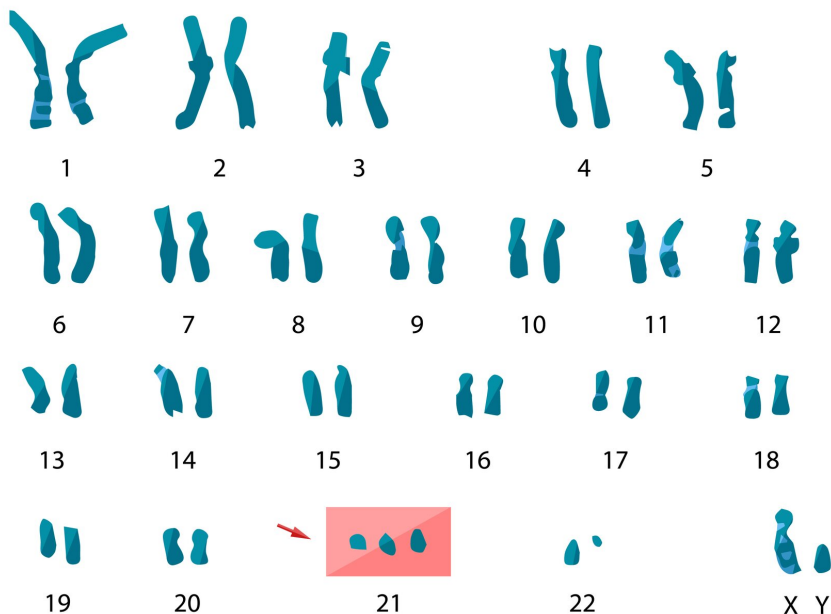
Ćwiczenie 6



Ćwiczenie 7



Poniższy schemat przedstawia kariotyp osoby z zespołem Downa. Przeanalizuj podane informacje, a następnie wykonaj polecenie.



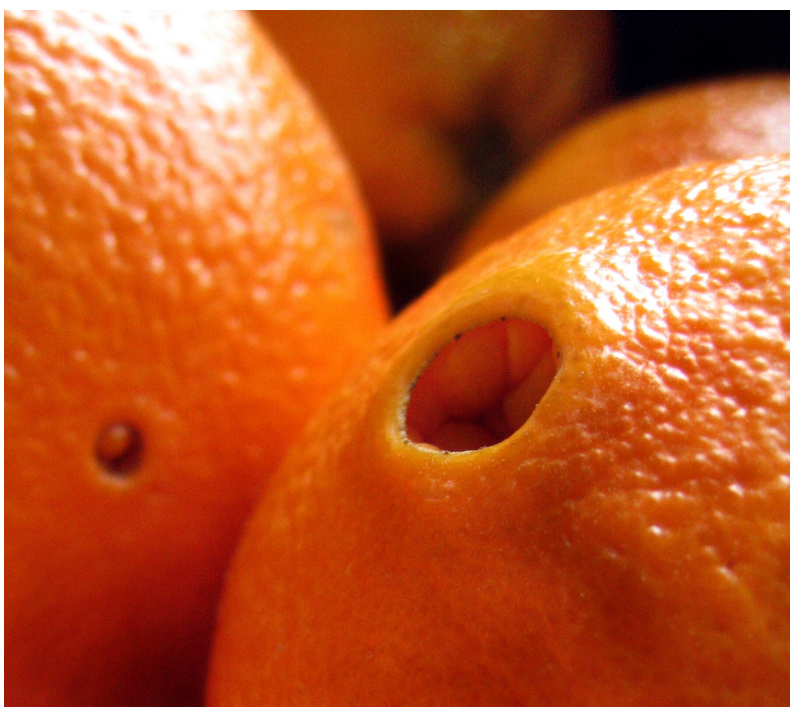
Źródło: Englishsquare Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Określ rodzaj zmian widocznych w kariotypie osoby z zespołem Downa oraz podaj nazwę mutacji powodującej rozwój tej choroby.

Ćwiczenie 8



Tak zwane pomarańcze pępkowe (ang. *navel oranges*) powstały między 1810 a 1820 r. na skutek pojedynczej mutacji. Swoją nazwę zawdzięczają charakterystycznemu zagłębieniu, które przypomina swoim kształtem ludzki pępek. Struktura ta rozwija się na szczycie owocu i jest pozostałością po drugim, niedorozwiniętym owocu. Ta odmiana pomarańczy jest bardzo popularna ze względu na wiele pożądanych przez konsumentów cech. Zalicza się do nich: brak pestek, znaczną słodycz i grubszą skórkę ułatwiającą obieranie.



Źródło: Torbak Hopper, Flickr, licencja: CC BY 2.0.

Na podstawie: Citrus Experiment Station, *Sweet Oranges and Their Hybrids. Citrus Variety Collection*, College of Natural and Agricultural Sciences, University of California (Riverside), online.

Wyjaśnij, dlaczego wszystkie drzewa pomarańczy pępkowych są genetycznym klonem osobnika macierzystego, u którego pojawiła się mutacja. W odpowiedzi uwzględnij skutek mutacji związany z rozmnażaniem.

Dla nauczyciela

Scenariusz lekcji

Autor: Zuzanna Szewczyk

Przedmiot: biologia

Temat: Mutacje – kryteria podziału i rodzaje

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

Podstawa programowa:

Zakres podstawowy

Treści nauczania – wymagania szczegółowe

VII. Genetyka klasyczna.

2. Zmienność organizmów. Uczeń:

6) rozróżnia rodzaje mutacji genowych oraz określa ich skutki;

7) rozróżnia rodzaje aberracji chromosomowych (strukturalnych i liczbowych) oraz określa ich skutki;

Zakres rozszerzony

Treści nauczania – wymagania szczegółowe

XIV. Genetyka klasyczna.

2. Zmienność organizmów. Uczeń:

6) przedstawia rodzaje mutacji genowych oraz określa ich skutki;

7) przedstawia rodzaje aberracji chromosomowych (strukturalnych i liczbowych) oraz określa ich skutki;

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:

Uczeń:

- wymienia kryteria podziału mutacji;
- odróżnia mutacje somatyczne i generatywne, samoistne i indukowane, genowe i chromosomowe;
- charakteryzuje poszczególne rodzaje mutacji z uwzględnieniem kryterium podziału;
- opisuje skutki mutacji, odnosząc się do zdolności adaptacyjnych organizmu.

Strategie nauczania:

- konstruktywizm;
- konektywizm.

Metody i techniki nauczania:

- z użyciem komputera;
- ćwiczenia interaktywne;
- analiza grafiki interaktywnej.

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;
- arkusze papieru A1, flamastry.

Przebieg zajęć

Faza wstępna

1. Nauczyciel wprowadza uczniów w temat lekcji, nawiązując do zagadnień opisanych w tekście otwierającym e-materiał.
2. Uczniowie interpretują ilustrację z okładki, wskazując na jej powiązania z tematem.
3. Nauczyciel przedstawia cele lekcji i określa kryteria sukcesu.

Faza realizacyjna

1. Uczniowie zapoznają się z tekstem w sekcji „Przeczytaj” e-materiału.
 2. Nauczyciel dzieli uczniów na sześć grup. Zadaniem każdego zespołu jest przygotowanie krótkiej prezentacji w postaci mapy myśli na przydzielony temat:
- Grupa I – Mutacje somatyczne

- Grupa II – Mutacje generatywne
- Grupa III – Mutacje spontaniczne
- Grupa IV – Mutacje indukowane
- Grupa V – Mutacje genowe
- Grupa VI – Mutacje chromosomowe

Podczas opracowywania mapy myśli uczniowie wykorzystują e-materiał oraz zasoby internetowe.

3. Grupy prezentują wyniki swojej pracy. Nauczyciel ocenia poprawność każdej prezentacji, wskazuje błędy, uzupełnia brakujące informacje. Nauczyciel wspólnie z uczniami omawia podział mutacji ze względu na ich skutek dla organizmu.
4. Uczniowie zapoznają się z grafiką interaktywną. Następnie, pracując w parach, wykonują polecenia 1 i 2. Nauczyciel monitoruje pracę uczniów, w razie potrzeby naprowadza ich na prawidłowe rozwiązanie.
5. Każdy z uczniów rozwiązuje samodzielnie ćwiczenie nr 7 i ćwiczenie nr 8. Po ustalonym czasie wybrani uczniowie przedstawiają odpowiedzi, a reszta klasy wspólnie ustosunkowuje się do nich. Nauczyciel w razie potrzeby koryguje odpowiedzi, dopowiada istotne informacje, udziela uczniom informacji zwrotnej.

Faza podsumowująca

1. Uczniowie rozwiązują ćwiczenie interaktywne nr 3. Następnie przygotowują podobne zadanie (typu „prawda/fałsz”) dla osoby z pary. Uczniowie wykonują ćwiczenie otrzymane od kolegi lub koleżanki.
2. Nauczyciel ocenia pracę uczniów na lekcji pod kątem zaangażowania w dyskusję, jakości opracowanych materiałów i współpracy w grupie.

Praca domowa

Wykonaj ćwiczenia interaktywne nr 1 i 2 oraz 4 i 5.

Materiały pomocnicze

- Neil A. Campbell i in., *Biologia Campbella*, tłum. K. Stobrawa i in., Rebis, Poznań 2019.
- *Encyklopedia szkolna. Biologia*, red. Marta Stęplewska, Robert Mitoraj, Wydawnictwo Zielona Sowa, Kraków 2006.

Wskazówki metodyczne opisujące różne zastosowania grafiki interaktywnej

Grafikę interaktywną można także wykorzystać na lekcji *Zmienność organizmów*.