



Kariotyp i jego analiza

- Wprowadzenie
- Przeczytaj
- Wirtualne laboratorium (WL-I)
- Grafika interaktywna
- Dla nauczyciela



Pierwsze badania nad chromosomami datuje się na rok 1842, kiedy to Karl Wilhelm von Nägeli zaobserwował te struktury w komórkach roślinnych. Suma chromosomów i ich budowa właściwe dla danego organizmu określone zostały mianem kariotypu – pojęcie to zdefiniował cytogenetyk Grigorij Lewicki w 1924 r. Na przestrzeni lat poznano budowę chromosomów, sposób ich rozdziału przy podziale komórki, a także sposób ich kondensacji. Obecnie znana jest liczba chromosomów wchodzących w skład kariotypów większości opisanych gatunków.

Czy analiza kariotypów skupia się jedynie na określeniu liczby i budowy chromosomów? Dlaczego analiza kariotypów jest wciąż często wykorzystywaną techniką i w jakim celu się ją stosuje?

Twoje cele

- Wyjaśnisz, jakie znaczenie ma analiza kariotypu danego organizmu.
- Omówisz metody analizy liczby i struktury chromosomów.
- Wykonasz doświadczenie polegające na sporządzeniu kariotypu cebuli zwyczajnej. Rozwiążesz problem naukowy i zweryfikujesz hipotezę badawczą.

Przeczytaj

Struktura chromosomów

Liczba **chromosomów** to stała i charakterystyczna cecha biologiczna każdego gatunku, a zmiany w liczbie chromosomów mogą prowadzić do zaburzeń rozwojowych. Istotne jest także utrzymanie prawidłowej budowy chromosomów, pozwalającej na skuteczne podziały komórek.

U człowieka występują 23 pary chromosomów w **komórkach diploidalnych**. Są to komórki, w których występują **pary chromosomów homologicznych** o tej samej długości i pozycji centromeru, zawierające podobną informację genetyczną.

Gen kodujący daną cechę znajduje się w konkretnym **locus** na określonym chromosomie. Chromosom homologiczny również ma gen kodujący tę cechę, zlokalizowany w równoważnym **locus**. Gdy organizm ma dwa zestawy chromosomów (czyli jest **diploidem**), liczbę tę zapisuje się jako $2n$, np. u człowieka jest to: $2n = 46$.

W organizmie ludzkim występują także komórki **haploidalne** (n), które zawierają po jednym chromosomie z każdej pary chromosomów homologicznych. Komórkami haploidalnymi są **gamety**, które powstają na drodze podziałów mejotycznych. Redukcja liczby chromosomów na etapie tworzenia się gamet pozwala na utrzymanie stałej liczby chromosomów w komórkach somatycznych organizmu potomnego.

Zapamiętaj!

U wszystkich roślin, a także u niektórych gatunków grzybów oraz alg można zaobserwować występowanie stanów diploidalnego oraz haploidalnego, wraz z tzw. **przemianą pokoleń**. U prymitywnych roślin oraz grzybów i alg dominuje pokolenie haploidalne, z kolei u roślin wyższych dominuje pokolenie diploidalne. Obserwacje garnituru chromosomów u roślin pozwalają na analizę **kariotypu**.

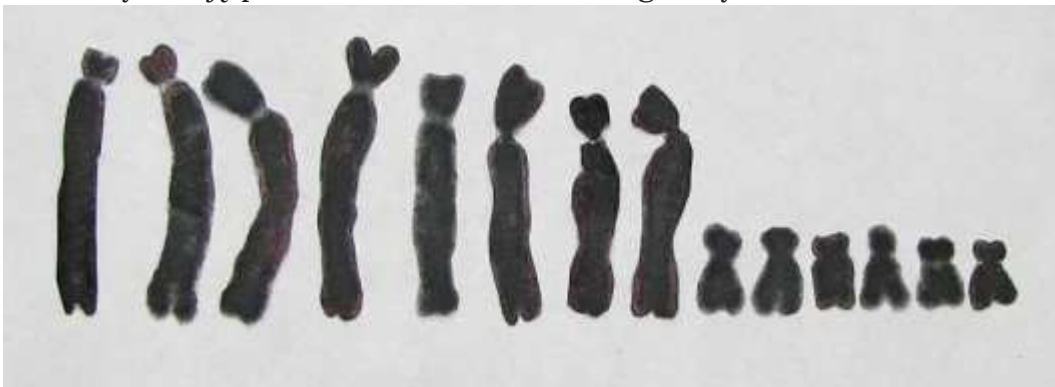
Zapamiętaj!

W 1922 r. Theophilus Painter obliczył liczbę chromosomów w komórkach ludzkich na podstawie obserwacji spermatocytów. Popełnił jednak błąd, doliczając się 24 chromosomów, co skutkowało błędnym określeniem liczby chromosomów w komórkach somatycznych ($2n = 48$).

Dopiero Joe Hin Tijo w 1955 r. skorygował liczbę chromosomów człowieka do $2n = 46$.

Chromosom mitotyczny

W trakcie mitotycznego podziału komórkowego chromatyna ulega silnej kondensacji i przybiera postać chromosomów – są one najlepiej widoczne podczas **metafazy**. Obserwacje mikroskopowe wybarwionych chromosomów pozwalają zauważyć ciemne i jasne prążki, będące wynikiem różnego stopnia upakowania chromatyny. Ciemnym prążkom odpowiada bardziej upakowana **heterochromatyna**, a jasnym – rozluźniona struktura **euchromatyny**. Układ prążków jest charakterystyczny dla danego chromosomu i pozwala na identyfikację par chromosomów homologicznych.



Karyotyp chromosomów mitotycznych metafazy aloesu zwyczajnego (*Aloe vera*): $2n = 14$.

Źródło: Sk Moquammel Haque and Biswajit Ghosh, Wikimedia Commons, licencja: CC BY 2.0.

W chromosomie mitotycznym można wyróżnić regiony, takie jak:

- ramiona, oznaczane jako p (krótkie) lub q (długie);
- centromer, dzielący chromosom na ramiona i odpowiedzialny za segregację chromosomów podczas podziału;
- telomery, będące strukturalnym zakończeniem ramion chromosomu, zapewniającym im stabilność.

Klasyczny podział chromosomów ze względu na ich budowę oraz **lokalizację centromeru** wyróżnia cztery typy:

- **chromosomy metacentryczne** – centromer umieszczony jest w połowie długości chromosomu;
u człowieka należą do nich chromosomy: 1, 3, 16, 19, 20;
- **chromosomy submetacentryczne** – centromer dzieli ramiona chromosomu na nierówne odcinki;
stanowią największą grupę ludzkich chromosomów, w tym: 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 17, 18 oraz X i Y;
- **chromosomy akrocentryczne** – centromer zlokalizowany jest w pobliżu końca chromatyd;

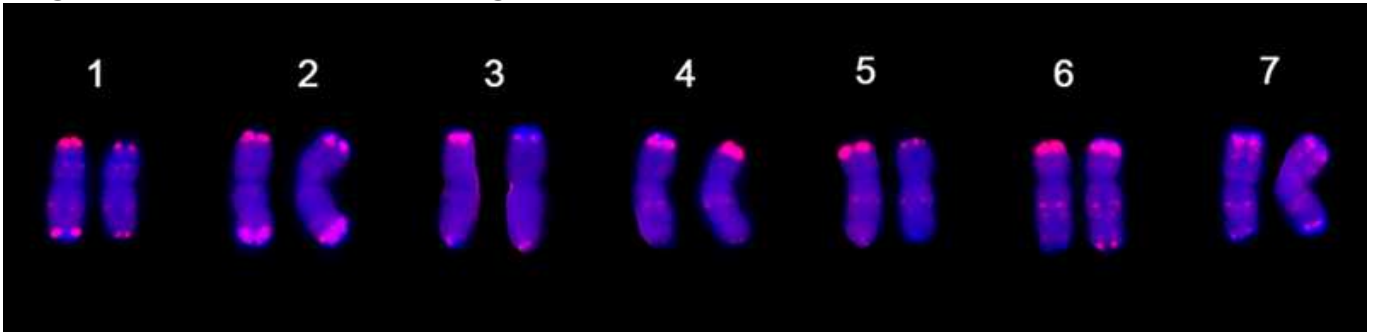
w **kariotypie** człowieka to chromosomy: 13, 14, 15, 21, 22;

- **chromosomy telocentryczne** – centromer ulokowany jest na końcu ramion chromosomu;
nie występują w prawidłowym kariotypie człowieka.

Więcej informacji o chromosomach znajdziesz w e-materiale pt. *Budowa i rodzaje chromosomów eukariotycznych*.

Kariotyp

Pełny zestaw chromosomów organizmu to kariotyp. Różnice w kariotypie zależą nie tylko od gatunku, lecz także od płci organizmu.



Kariotyp żyta zwyczajnego (*Secale cereale*): $2n = 14$, otrzymany za pomocą barwień DAPI oraz techniki FISH. Wszystkie chromosomy tego zboża są podobnej wielkości.

Źródło: Hao Li, Xiaoxue Guo, Changyou Wang, Wanquan Ji, Wikimedia Commons, licencja: CC BY 1.0.

U człowieka występują 23 pary chromosomów, z których 22 pary to tzw. **autosomy**, a para 23 – ostatnia – to chromosomy płci (allosomy, **heterosomy**), odpowiedzialne za determinację płci i cechy sprzężone z płcią. Organizmy żeńskie ssaków mają homologiczną parę chromosomów XX, a u organizmów męskich występuje para XY. Większość genów znajdujących się na chromosomie X ostatniej pary nie ma odpowiedników na niewielkim chromosomie Y.

Badanie kariotypu

Badanie kariotypu – tzw. **kariotypowanie** – pozwala na wykrycie aberracji liczbowych oraz aberracji strukturalnych.



Kariotyp zdrowego mężczyzny – 22 pary chromosomów autosomalnych oraz 2 chromosomy płciowe: X i Y. Badanie kariotypu wykonuje się na komórkach somatycznych. Stymuluje się u nich mitozę, a następnie zatrzymuje ją w stadium metafazy, ponieważ wtedy chromosomy są odpowiednio skondensowane. Następnie wybarwia się je i wykonuje zdjęcia pod mikroskopem. Dzięki temu można ułożyć chromosomy według rozmiaru i pary – uzyskując kariotyp jak na powyższym zdjęciu.

Źródło: National Human Genome Research Institute, Wikimedia Commons, domena publiczna.

- Badanie kariotypu u człowieka wykonuje się zwykle z limfocytów krwi obwodowej oraz komórek szpiku kostnego lub skóry.
- Kariotypy przygotowuje się z wyizolowanych komórek somatycznych, które następnie inkubuje się przez kilka dni z substancjami chemicznymi stymulującymi podziały mitotyczne.
- Do hodowli komórkowej dodaje się substancję **blokującą podziały w stadium metafazy**, np. **kolchicynę**.
- Komórki umieszczane są w roztworze hipotonicznym, w którym następuje osmotyczny napływ wody do ich wnętrza – w efekcie komórki pęcznieją, dzięki czemu chromosomy się rozsuwają i stają się lepiej widoczne.
- Następnie komórki się **wybarwia**, w celu uwidocznienia charakterystycznego dla każdej pary chromosomów homologicznych wzoru prążków.
- Chromosomy obserwuje się przez mikroskop, fotografuje i **zestawia parami według rozmiaru i kształtu**. Największy chromosom jest na ogół kilkukrotnie dłuższy od najmniejszego.
- Po zestawieniu chromosomów w pary układa się je w kolejności **od największych do najmniejszych** – to najczęściej spotykany układ prezentacji kariotypu.

W 1960 r. Peter Nowell i David Hungerford z Uniwersytetu Pensylwanii w Filadelfii odkryli mały chromosom w białych krwinkach pacjentów chorujących na przewlekłą białaczkę szpikową. Ten **anormalny** chromosom nazwali chromosomem Filadelfia. Rozwój technik

cytogenetycznych pozwolił amerykańskiej genetyczce Janet Rowley na identyfikację tego chromosomu jako efektu translokacji między chromosomami 9 i 22. Współcześnie badania w kierunku obecności chromosomu Filadelfia stanowią podstawę do diagnozy przewlekłej białaczki szpikowej.

Więcej informacji o aberracjach liczbowych i strukturalnych znajdziesz w e-materiałach:

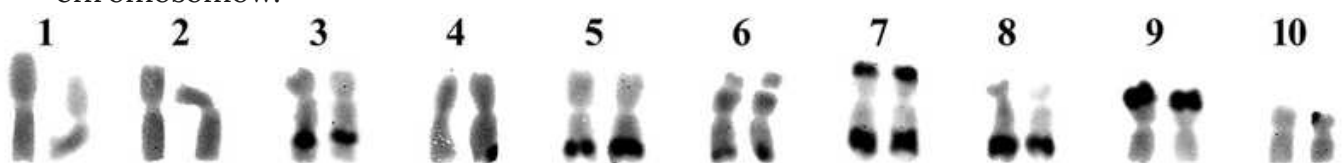
- *Mutacje chromosomowe strukturalne;*
- *Mutacje chromosomowe liczbowe.*

Techniki analizy chromosomów

Wnikliwą analizę budowy chromosomów oraz ich identyfikację umożliwiły techniki barwienia chromosomów. Jedną z podstawowych metod jest barwienie **odczynnikiem Giemsy** (Lazur B, eozyna i błękit metylenowy). W jego wyniku chromosomy uzyskują widoczne prążkowanie, odzwierciedlające regiony heterochromatyny (bogate w pary AT) i euchromatyny (zawierające więcej par GC). Graficzne przedstawienie kariotypu uwzględniające liczbę, budowę oraz prążkowanie chromosomów to **idiogram**.

Efekt działania barwnika zależy od obróbki materiału bezpośrednio przed barwieniem:

- **Prążki G** – technika bazująca na odczynniku Giemsy odpowiada za wyznaczanie prążków G i wymaga wcześniejszego trawienia materiału enzymem protelitycznym. Rejony bogate w pary AT silnie wiążą barwnik, tworząc prążki G ciemne; rejony bogate w pary GC wybarwiają się słabiej, tworząc prążki G jasne.
- **Prążki R** – przez zastosowanie denaturacji termicznej DNA w kwaśnym roztworze promowana jest denaturacja sekwencji bogatych w pary AT. Umożliwia to wybarwienie w większym stopniu sekwencji bogatych w pary GC, stąd prążki R stanowią odwrotność prążków G.
- **Prążki C** – barwienie odczynnikami Giemsy po wcześniejszej denaturacji w środowisku zasadowym pozwala na wybarwienie regionów heterochromatyny konstytutywnej, która jest nieaktywna transkrypcyjnie. W wyniku tego barwienia wyznaczona zostaje lokalizacja centromerów pochłaniających barwnik mocniej niż pozostałe części chromosomów.



Kariotyp kukurydzy zwyczajnej (*Zea mays*): $2n = 20$, wybarwiony odczynnikami Giemsy (prążki C).

Rewolucją w badaniach cytogenetycznych było zastosowanie techniki wykorzystującej zjawisko fluorescencji – fluorescencyjnej hybrydyzacji *in situ* (FISH). W analizie kariotypu metoda ta polega na użyciu sond wyznakowanych **barwnikami fluorescencyjnymi (fluorochromami)** – np. rodaminą, fluoresceiną lub kumaryną. Wyznakowane sondy łączą się z komplementarnymi sekwencjami DNA. Po wzbudzeniu fluorochromy emitują fale o danych długościach, które obserwuje się w mikroskopie fluorescencyjnym jako sygnał świetlny.

Metoda FISH wykorzystywana w cytogenetyce pozwala na wskazanie dokładnych miejsc mutacji, duplikacji regionów chromosomów oraz translokacji ich fragmentów, a tym samym na dokładne i szybkie wykrywanie chorób spowodowanych zaburzeniami w budowie chromosomów. Połączenie sond z różnymi fluorochromami umożliwia jednoczesną analizę kariotypu pod kątem wielu chorób, a także wyznakowanie całych chromosomów na różne kolory. Dzięki temu możliwa jest np. szybka analiza zjawisk związanych ze zwielokrotnieniem chromosomów w genomie lub wizualizacja procesu duplikacji całego garnituru chromosomów.



Kariotyp chromosomów mitotycznych metafazy eukaliptusa kamaldulskiego (*Eucalyptus camaldulensis*), ujawniony przez hybrydyzację fluorescencyjną *in situ* oraz barwienie DAPI.

Źródło: T. Ribeiro, R.M. Barrela, H. Bergès, C. Marques, J. Loureiro, L. Morais-Cecílio, J.A.P. Paiva, Wikimedia Commons, licencja: CC BY 1.0.

Znaczenie analizy kariotypu

Zastosowanie nowoczesnych technik analizy kariotypu pozwala na określenie zmian w budowie oraz liczbie chromosomów, a co za tym idzie – na przewidywanie wpływu tych zmian na organizm. Ma to ogromne znaczenie w przypadku człowieka, u którego zwielokrotnienie lub brak danego chromosomu skutkuje wadami rozwojowymi.

Analiza kariotypu nie ogranicza się jednak tylko do człowieka. Od lat prowadzone są obserwacje skupiające się na kariotypach roślin. Jednymi z najczęściej wykorzystywanych organizmów są bobik (*Vicia faba* var. *minorcebula*) i cebula (*Allium cepa*). Korzenie tych roślin służą jako bioindykatory w testach toksyczności i genotoksyczności próbek pobranych ze środowiska. Testy te są bardzo czułe, a przy tym stosunkowo niedrogie. Obserwacje mikroskopowe dzielących się komórek, a także analiza kariotypu, w tym liczby

i budowy chromosomów, pozwalają na ustalenie zagrożenia związanego z długotrwałym przebywaniem organizmów na danym terenie. Wyniki uzyskane tą metodą są jednak trudne do przeniesienia na ewentualny wpływ danego czynnika na organizm zwierzęcy, ze względu na odmienną budowę komórkową.

Obserwacje bioindykacyjne z wykorzystaniem analizy kariotypu pozwalają na ustalenie mechanizmu działania substancji, które uważane są za potencjalnie niebezpieczne. Ekspozycja na związek danego typu może bowiem prowadzić do zmian w budowie chromosomów, ich nieprawidłowego łączenia się lub zaburzeń w podziale komórkowym, co może skutkować zwielokrotnieniem chromosomów.

Podsumowując: analiza kariotypu stanowi cenne źródło wiedzy oraz ważne narzędzie do oceny stanu środowiska naturalnego, a także wpływu człowieka na zmiany poziomu ploidii roślin.

Słownik

anormalność

pozostawanie poza klasyfikacją normy

chromosom

(gr. *chroma* – kolor; *soma* – ciało) liniowa, pałeczkowata struktura, która zawiera materiał genetyczny danej komórki, widoczna w stadium podziałowym; znajduje się w jądrze komórkowym; w prawidłowych warunkach komórka ludzka zawiera 46 chromosomów (23 pary chromosomów)

chromosomy autosomalne

autosomy (gr. *autos* – sam; *soma* – ciało); wszystkie chromosomy wchodzące w skład kariotypu poza chromosomami płci; u organizmów diploidalnych układają się w pary chromosomów homologicznych (człowiek ma 22 pary chromosomów autosomalnych)

chromosomy heterosomalne (płciowy)

heterosomy (gr. *heteros* – drugi, inny; *soma* – ciało) chromosomy odpowiedzialne za determinację płci danego osobnika

fluorochrom

barwnik fluorescencyjny; cząsteczka zdolna do absorpcji promieniowania elektromagnetycznego o danej długości fali i emisji fali o innej długości

hipoteza

(gr. *hypóthesis* – przypuszczenie) założenie przyjęte w celu wyjaśnienia jakiegoś zjawiska, którego sprawdzenie wymaga przeprowadzenia doświadczenia lub obserwacji

idiogram

graficzne przedstawienie budowy chromosomów, uwzględniające długość ramion, położenie centromeru i ułożenia prążków; wykorzystywany w analizie porównawczej kariotypów

kariotyp

zestaw wszystkich chromosomów komórki, ułożony w pary (dla komórki diploidalnej) według ich wielkości i kształtu

kariotypowanie

badanie liczby i budowy chromosomów wykonywane w celu diagnozowania nieprawidłowości w ich obrębie

kolchicina

(łac. *colchicum* – zimowit) alkaloid występujący w nasionach zimowitu jesiennego (*Colchicum autumnale*); chemiczny czynnik mutagenny, który zaburza proces podziału komórek, zakłócając tworzenie wrzeciona kariokinetycznego

komórka diploidalna

(gr. *diplos* – podwójny) komórka zawierająca podwójny zestaw chromosomów ($2n$)

komórka haploidalna

(gr. *aplós* – pojedynczy) komórka zawierająca jeden zestaw chromosomów (n)

locus (l. mn. loci)

(łac. *locus* – umiejscowienie) określone miejsce na chromosomie, które zajmuje gen

Wirtualne laboratorium (WL-I)

Laboratorium 1

Przeprowadź doświadczenie w laboratorium. Rozwiąż problem badawczy i zweryfikuj hipotezę. W formularzu zapisz wyniki i wnioski.

Temat: Sporządzanie i analiza kariotypu cebuli zwyczajnej (*Allium cepa*)

Problem naukowy: Z ilu chromosomów i jakiego typu składa się kariotyp cebuli zwyczajnej (*Allium cepa*)?

Hipoteza: Kariotyp cebuli zwyczajnej (*Allium cepa*) złożony jest z 10 chromosomów metacentrycznych.

Sprzęt laboratoryjny:

- pipety;
- szalki Petriego;
- mikroskop.

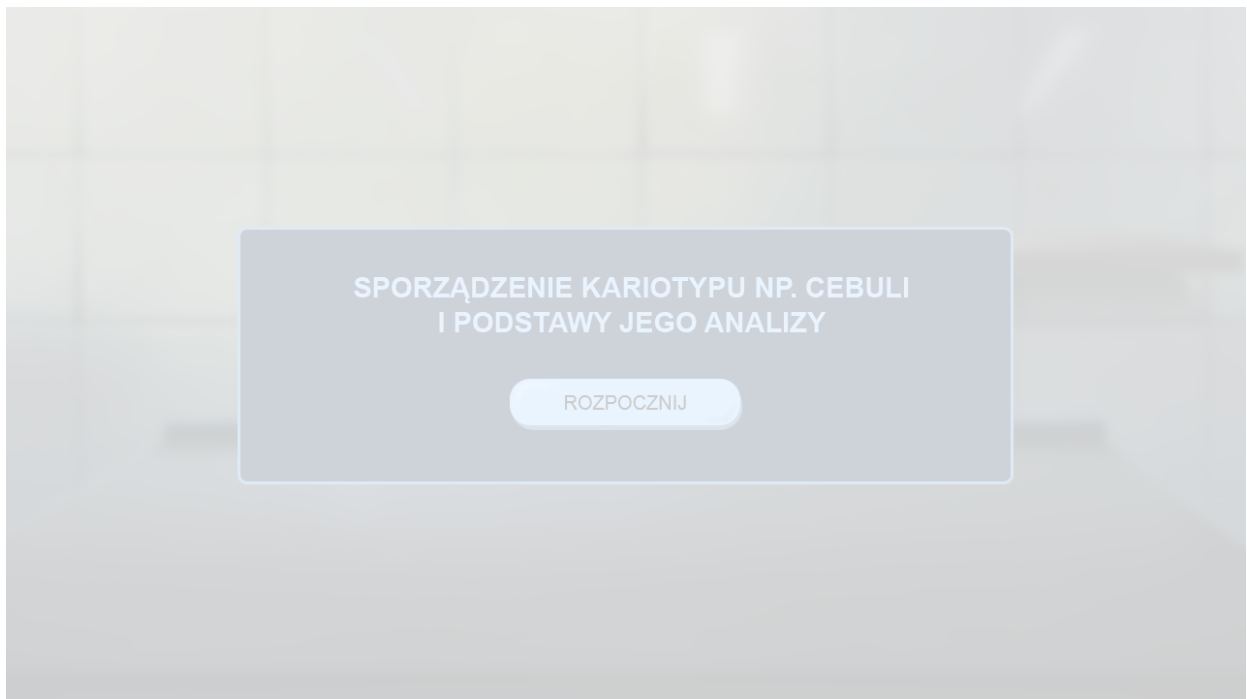
Materiały i odczynniki:

- cebula
- 1 M kwas chlorowodorowy (HCl)
- substancja stymulująca podziały komórkowe
- kolchicina
- barwnik acetokarmina

Instrukcja wykonania doświadczenia:

1. Odetnij fragment cebuli, umieść go na szalce Petriego i wytraw ściany komórkowe za pomocą 1 M HCl.
2. Przenieś komórki na nową szalkę i dodaj substancję stymulującą podziały komórkowe.

3. Przenieś komórki na nową szalkę i dodaj kolchicynę.
4. Przenieś komórki na szalkę z roztworem hipotonicznym i zalej barwnikiem.
5. Obserwuj komórki pod mikroskopem i zrób zdjęcie chromosomów.
6. Dopasuj chromosomy w pary, żeby utworzyć kariotyp.



Zasób interaktywny dostępny pod adresem <https://zpe.gov.pl/a/D1FUAWTRN>

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

Polecenie 1

Grafika interaktywna

Kariotyp zobrazowany metodą FISH.

Źródło: Andreas Bolzer, Gregor Kreth, Irina Solovej, Daniela Koehler, Kaan Saracoglu, Christine Fauth, Stefan Müller, Roland Eils, Christoph Cremer, Michael R. Speicher, Thomas Cremer, licencja: CC BY 2.5.

Polecenie 1

Polecenie 2

Dla nauczyciela

Autor: Anna Juwan

Przedmiot: Biologia

Temat: Kariotyp i jego analiza

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:

8) określa, na podstawie analizy rodowodu lub kariotypu, podłoże genetyczne chorób człowieka (mukowiscydoza, fenyloketonuria, anemia sierpowata, albinizm, płasawica Huntingtona, hemofilia, daltonizm, dystrofia mięśniowa Duchenne'a, krzywica oporna na witaminę D3; zespół Klinefeltera, zespół Turnera, zespół Downa);

Zakres rozszerzony

Treści nauczania – wymagania szczegółowe

XIV. Genetyka klasyczna.

2. Zmienność organizmów. Uczeń:

8) określa na podstawie analizy rodowodu lub kariotypu podłoże genetyczne chorób człowieka (mukowiscydoza, alkaptonuria, fenyloketonuria, anemia sierpowata, albinizm, galaktozemia, płasawica Huntingtona, hemofilia, daltonizm, dystrofia mięśniowa Duchenne'a, krzywica oporna na witaminę D3; zespół cri-du-chat i przewlekła białaczka szpikowa, zespół Klinefeltera, zespół Turnera, zespół Downa, neuropatia nerwu wzrokowego Lebera);

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, jakie znaczenie ma analiza kariotypu danego organizmu.
- Omówisz metody analizy liczby i struktury chromosomów.
- Wykonasz doświadczenie polegające na sporządzeniu kariotypu cebuli zwyczajnej. Rozwiążesz problem naukowy i zweryfikujesz hipotezę badawczą.

Strategie nauczania:

- konstruktywizm;
- konektywizm.

Metody i techniki nauczania:

- z użyciem komputera;
- ćwiczenia interaktywne;
- ćwiczenia laboratoryjne;
- mapa myśli;
- śniegowa kula;
- analiza grafiki interaktywnej;
- 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.

Przed lekcją:

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

Przebieg lekcji

Faza wstępna:

1. Nauczyciel wyświetla na tablicy temat lekcji oraz cele zajęć, omawiając lub ustalając razem z uczniami kryteria sukcesu.
2. **Wprowadzenie do tematu.** Nauczyciel prosi, by uczniowie w parach opracowali mapy myśli związane z tematem. Wybrane pary przedstawiają swoje propozycje, ochotnik zapisuje je na tablicy. Pozostali uczniowie odnoszą się do odnotowanych sugestii, uzupełniając je o swoje pomysły.

Faza realizacyjna:

1. **Kula śniegowa.** Nauczyciel informuje uczniów, że będą pracować metodą kuli śniegowej, poszukując w udostępnionym e-materiale odpowiedzi na następujące pytania:
 - Jakie znaczenie ma analiza kariotypu danego organizmu?
 - Jaka jest różnica pomiędzy komórkami diploidalnymi i haploidalnymi?
 - Jakie istnieją metody analizy liczby i struktury chromosomów? Na czym polegają?Nauczyciel objaśnia wspomnianą wyżej metodę 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 z multimedium („Wirtualne laboratorium (WL-I)”).** Uczniowie przeprowadzają doświadczenie w wirtualnym laboratorium zawartym w e-materiale. Rozwiązują problem badawczy i weryfikują hipotezę. W formularzu zapisują swoje obserwacje i wyniki.
3. **Praca z multimedium („Grafika interaktywna”).** Nauczyciel wyświetla grafikę interaktywną i wspólnie z uczniami dokonuje jej analizy. Prosi podopiecznych, by pracując w parach, odpowiedzieli na pytania dotyczące przedstawionego kariotypu (polecenie nr 1). Następnie uczniowie konsultują swoje rozwiązania z inną, najbliższą siedzącą parą.

Faza podsumowująca:

1. Praca w parach z treścią e-materiału. Uczniowie formułują własne pytania dotyczące tematu zajęć i układają quiz 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.

2. Uczniowie weryfikują i ewentualnie uzupełniają mapy myśli opracowane we wstępnej fazie lekcji.

Praca domowa:

1. Wykonaj polecenie nr 2 z sekcji „Grafika interaktywna”.

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:

- Multimedia zamieszczone w sekcji „Wirtualne laboratorium (WL-I)” można wykorzystać w fazie wstępnej zajęć, w celu wzbudzenia zaciekawienia uczniów.