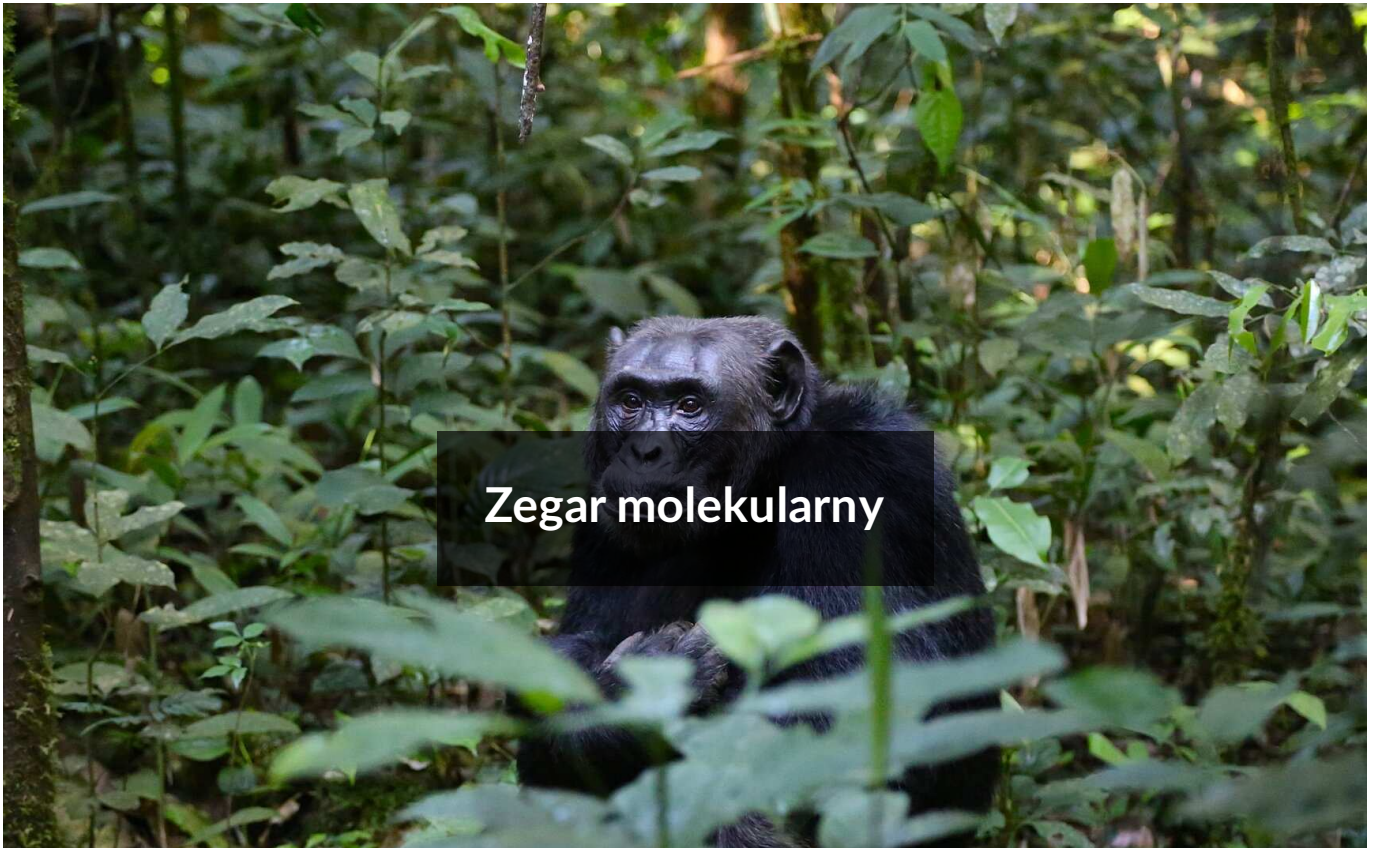


Zegar molekularny

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



Ludzie i szympansy pochodzą od wspólnego przodka; rozdział linii ewolucyjnych nastąpił ok. 9,3–6,5 mln lat temu.

Źródło: Pixabay, domena publiczna.

Śledzenie zmian organizmów na poziomie molekularnym pozwala w przybliżony sposób zrekonstruować filogenezę od początków powstania życia. Koncepcja zegara molekularnego została stworzona w 1962 roku przez Emile Zuckerkandla i Linusa Paulinga, dzięki prowadzonym przez nich badaniom dotyczącym budowy hemoglobiny w różnych liniach ewolucyjnych zwierząt. Okazało się, że wykorzystując odpowiednie algorytmy do oszacowania zmian budowy konkretnych związków na poziomie molekularnym, jesteśmy w stanie stworzyć modele ewolucji, uwzględniające chronologię odgałęzienia się konkretnych linii ewolucyjnych w historii istnienia życia! Koncepcja ta jest jednym z najistotniejszych odkryć ewolucji molekularnej.

Twoje cele

- Wyjaśnisz koncepcję zegara molekularnego.
- Przedstawisz, w jaki sposób można wyznaczyć czas występowania określonych zdarzeń ewolucyjnych z wykorzystaniem zegara molekularnego.
- Przeanalizujesz problemy związane z wykorzystaniem tej koncepcji.

- Wskażesz przykłady zastosowania zegara molekularnego.

Przeczytaj

Tempo ewolucji

Zegar molekularny to inaczej miar, służąca do określania czasu występowania konkretnych zdarzeń ewolucyjnych, np. rozdzielenia się linii ewolucyjnych dwóch gatunków organizmów. Koncepcja ta wykorzystuje osiągnięcia z dziedziny genetyki i wiedzę na temat stałego tempa ewolucji niektórych fragmentów DNA, tzw. **genów ortologicznych**. Są to geny powstałe w wyniku [specjacji](#), pochodzące od wspólnego przodka. Z reguły zachowują one swoją funkcję u obecnych organizmów (np. α -globina człowieka i myszy). Koncepcja zegara molekularnego zakłada, że liczba [substytucji](#) w takich genach jest wprost proporcjonalna do czasu, jaki upłynął od momentu rozgałęzienia się linii ewolucyjnych dwóch badanych organizmów (tzw. czas [dywergencji](#)).



Przedstawiciel rzędu wiewióreczników – tupaja jawańska (*Tupaia javanica*). Wiewióreczniki z wyglądu przypominają wiewiórki, lecz nie są z nimi blisko spokrewnione.

Źródło: WikimediaCommons, licencja: CC BY-SA 3.0.

Aby możliwe było zastosowanie zegara molekularnego, konieczna jest jego odpowiednia kalibracja i sporządzenie tzw. **chronogramów**, czyli drzew filogenetycznych, w których długość gałęzi jest skalibrowana za pomocą czasu. Wykonuje się to poprzez wykreślanie liczby konkretnych zmian ewolucyjnych, np. różnic w składzie aminokwasów w białku, w odniesieniu do dwóch konkretnych współczesnych organizmów czy znalezisk kopalnych.

Pierwsze badania z wykorzystaniem zegara molekularnego zakładały jego stałość w odniesieniu do konkretnych genów, inaczej mówiąc, uważano, że tempo ewolucji określonych genów jest niezmiennie i przebiega tak samo u różnych grup organizmów. Okazało się jednak, że założenie to było błędne, ponieważ geny ewoluują z różną dynamiką i w różnym tempie, często nawet u blisko spokrewnionych organizmów. Dynamika ta może ulegać zmianom, nawet w komórkach jednego gatunku! Są geny ewoluujące wolno, natomiast inne cechują się bardzo szybkimi zmianami. Wynika to m. in. z neutralności niektórych mutacji. O ile mutacje szkodliwe są z reguły szybko usuwane z populacji wskutek działania **doboru naturalnego**, to mutacje neutralne zazwyczaj nie wpływają na efekt przystosowawczy organizmu.

Co będzie mutacją neutralną?

Zmiana sekwencji nukleotydów, która nie będzie dawała efektu fenotypowego lub efekt ten nie będzie wpływał na zdolności przystosowawcze organizmu, określana jest jako mutacja neutralna. Dlatego też w przypadku genów ważnych z punktu widzenia przeżycia organizmu, zdecydowana większość mutacji będzie **szkodliwa** i wskutek tego szybko usuwana z populacji. Dlatego geny te są bardziej konserwatywne i ich zmiany w trakcie ewolucji zachodzą stosunkowo wolno.

Wpływ doboru naturalnego

Negatywny wpływ na koncepcję zegara molekularnego ma również **dobór naturalny**, zwłaszcza kierunkowy. Wskutek działania doboru niektóre zmiany DNA mogą być faworyzowane, ponieważ w określonych warunkach środowiska sprzyjały przeżyciu posiadających je osobników. Co więcej, kierunek doboru może ulegać wielokrotnym zmianom w trakcie ewolucji pod wpływem zmian otoczenia. Aby obejść ten problem, naukowcy starają się kalibrować zegar z wykorzystaniem kilku genów występujących u porównywanych organizmów i uśredniają otrzymywane wyniki.

Problem pojawia się też w przypadku analizy zmian organizmów, które nie są udokumentowane skamieniałościami. Większość danych kopalnych sięga do ok. 550 milionów lat wstecz. Naukowcy próbują jednak oszacować przebieg ewolucji wcześniej istniejących organizmów, opierając się na założeniu, że działanie zegara molekularnego przebiegało w niezmienny sposób, również u wcześniejszych organizmów. Należy jednak zdawać sobie sprawę, że to tylko pewne założenia, a ich weryfikacja wskutek kolejnych odkryć naukowych może dać całkiem inne wyniki.

Przykłady zastosowania zegara molekularnego

Koncepcja zegara molekularnego pozwoliła oszacować czas powstania zakażeń HIV u człowieka. Wirus ten pochodzi od wirusów atakujących szympansy i inne mały naczelne, nie wywołuje jednak u nich choroby przypominającej AIDS. Istnieje wiele odmian (szczepów) tego wirusa, które nie miały zdolności wywoływania infekcji u ludzi. U człowieka zakażenia wywoływane są głównie przez szczep HIV-1M.

Porównując materiał genetyczny obecnych szczepów groźnych dla człowieka, oraz innych istniejących w przyrodzie, i wykorzystując koncepcję zegara molekularnego (analiza zmian nukleotydów w określonych sekwencjach), naukowcom udało się ustalić, że szczep HIV-1M powstał i wywołał pierwsze infekcje ok. 1910 roku.

Przebieg historii ewolucji człowieka również został w znacznej mierze odtworzony, dzięki zegarowi molekularnemu. Porównanie budowy całych genomów oraz wzoru [metylacji wysp CpG](#) człowieka z innymi małpami naczelnymi wykazała, że nasze

pokrewieństwo z szympansem i gorylem jest znacznie bliższe, niż dotąd przypuszczano na podstawie danych paleontologicznych. Wspólny przodek szympansa i człowieka występował około 9,3–6,5 mln lat temu, natomiast goryl jest naszym dalszym kuzynem (rozdział linii ewolucyjnych nastąpił około 12,2–9,4 mln lat temu).

Prowadzi się obecnie intensywne badania, w celu określenia pochodzenia współczesnych grup ssaków naczelnych. Dzięki badaniom z zastosowaniem zegara molekularnego, udało się ustalić, że ssaki skóroskrzydłe są najbliższymi żyjącymi krewnymi naczelnymi – linie ewolucyjne tych grup rozdzieliły się ok. 80 mln lat temu. Z kolei grupa skóroskrzydłych oddzieliła się od innej grupy ssaków, wiewióreczników, ok. 88 milionów lat temu.



Wykorzystywanie zegara molekularnego

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

Słownik

dywergencja

powstawanie różnic pomiędzy blisko spokrewnionymi osobnikami (w budowie anatomicznej oraz na poziomie molekularnym); zachodzą wskutek przystosowania się osobników do życia w różnych warunkach środowiska

metylacja DNA

modyfikacja enzymatyczna polegająca na dołączeniu grupy metylowej ($-CH_3$) do adeniny lub cytozyny w łańcuchu DNA; prowadzi do wyciszenia niektórych genów

specjacja

proces biologiczny, prowadzący do powstania nowych gatunków, na skutek wytworzenia się bariery rozrodczej pomiędzy wyjściowymi populacjami (brak wymiany genów)

substytucja

typ spontanicznej mutacji genowej, polegający na zmianie składu nukleotydowego DNA, z powodu zmiany jednej pary zasad na inną

wyspy CpG

miejsca w łańcuchu DNA, w których guanina występuje bezpośrednio po cytozynie, a nukleotydy C i G nie są komplementarne (nie są połączone wiązaniem wodorowym); skrót CpG oznacza: cytozyna – wiązanie fosfodiesterowe – guanina

Ilustracja interaktywna

ta metoda pozwala oszacować kolejność i czas oddzielania się linii ewolucyjnych organizmów na podstawie liczby mutacji stwierdzonych u współczesnych form tych organizmów

do określania czasu występowania konkretnych zdarzeń ewolucyjnych, np. rozdzielenia się linii ewolucyjnych dwóch gatunków organizmów. Koncepcja ta wykorzystuje osiągnięcia z dziedziny genetyki i wiedzę na temat stałego tempa ewolucji niektórych fragmentów DNA, tzw. genów ortologicznych. Są to geny powstałe w wyniku specjacji, czyli rozdzielenia gatunków, pochodzące od wspólnego przodka

określa, że liczba mutacji w genach ortologicznych jest wprost proporcjonalna do czasu, jaki upłynął od momentu rozdzielenia się linii ewolucyjnych badanych organizmów

Sekwencja nowo powstałej linii 1

CAATCGATCG

Sekwencja nowo powstałej linii 2

CAATTTATTT

Naciśnij na numery 1-3, by dowiedzieć się, w jaki sposób doszło do rozbieżności linii ewolucyjnej

1

2

3

CAATTTATCG
wspólny przodek

CAATTGATCG
25 mln lat później

CAATCGATCG
50 mln lat później

CAATTTATCT
25 mln lat później

CAATTTATTT
50 mln lat później

1

50 milionów lat temu dwie potomne linie ewolucyjne posiadały wspólnego przodka

2

po upływie 25 milionów lat, na skutek mutacji, doszło do rozdzielenia linii ewolucyjnej na dwie linie potomne. Każda nowa linia miała pojedynczą (indywidualną) mutację

3

po upływie 50 milionów lat w liniach potomnych zaszły kolejne mutacje. Wynikiem tych zmian było dalsze różnicowanie się linii potomnych

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




Polecenie 1

Przeanalizuj grafikę interaktywną, a następnie podaj, ile mutacji w liniach ewolucyjnych wystąpiłoby po okresie 250 milionów lat.

Polecenie 2

Na podstawie grafiki interaktywnej i własnej wiedzy wyjaśnij, jakie skutki może mieć pojawienie się mutacji.

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



Przyporządkuj podanym poniżej hasłom odpowiadające im definicje.

Geny ortologiczne

Sekwencja nukleotydów, która nie będzie dawała efektu fenotypowego lub efekt ten nie będzie wpływał na zdolności przystosowawcze organizmu.

Zegar molekularny

Drzewa filogenetyczne, w których długość gałęzi jest skalibrowana za pomocą czasu.

Chronogramy

Typ spontanicznej mutacji genowej, polegający na zmianie składu nukleotydowego DNA, wskutek zmiany jednej pary zasad na inną.

Specjacja

Powstawanie różnic pomiędzy blisko spokrewnionymi osobnikami (w budowie anatomicznej oraz na poziomie molekularnym), zachodzących wskutek przystosowanie się osobników do życia w różnych warunkach środowiska.

Mutacja neutralna

Metoda szacowania chronologicznego czasu rozdzielania się poszczególnych linii ewolucyjnych.

Substytucja

Proces biologiczny, prowadzący do powstania nowych gatunków, na skutek wytworzenia się bariery rozrodczej pomiędzy wyjściowymi populacjami (brak wymiany genów).

Dywergencja

Są to geny powstałe w wyniku specjacji, pochodzące od wspólnego przodka.

Ćwiczenie 2



Spośród podanych poniżej przykładów zaznacz wszystkie dziedziny i zastosowania, w których wykorzystywana jest koncepcja zegara molekularnego.

Archeologia i pochodzenie wszystkich organizmów, z wyjątkiem człowieka

Biologia systematyczna i ewolucyjna

Epidemiologia molekularna

Tworzenie sztucznych systemów klasyfikacji organizmów

Monitorowanie tempa przyrostu masy osobników w danej populacji

Rolnictwo i agrobiologia

Monitorowanie bioróżnorodności

Ochrona środowiska

Monitorowanie tempa wymierania i powstawania gatunków

Ćwiczenie 3



Wybierz zdanie prawdziwe na temat mutacji neutralnej.

Jest to zmiana sekwencji rybosomów, która nie będzie dawała efektu fenotypowego lub efekt ten nie będzie wpływał na zdolności przystosowawcze organizmu.

Jest to zmiana sekwencji nukleotydów, która nie będzie dawała efektu fenotypowego lub efekt ten nie będzie wpływał na zdolności przystosowawcze organizmu.

Ćwiczenie 4



Zaznacz prawdziwe informacje na temat wpływu doboru naturalnego na koncepcję zegara molekularnego.

W wyniku procesu ewolucji kierunek doboru naturalnego nie ulega zmianom, jest zawsze taki sam.

Mutacje szkodliwe są szybko usuwane z populacji wskutek działania doboru naturalnego.

Dobór naturalny wpływa pozytywnie na koncepcję zegara molekularnego.

Mutacje neutralne są szybko usuwane z populacji wskutek działania doboru naturalnego.

Dobór naturalny wpływa negatywnie na koncepcję zegara molekularnego.

W wyniku procesu ewolucji kierunek doboru naturalnego może ulegać wielokrotnym zmianom, które następują pod wpływem otoczenia.

Ćwiczenie 5



Oceń i zaznacz, czy podane stwierdzenia są prawdziwe, czy fałszywe.

	Prawda	Fałsz
Koncepcja zegara molekularnego zakłada, że liczba substytucji w genach ortologicznych jest wprost proporcjonalna do czasu, jaki upłynął od momentu rozgałęzienia się linii ewolucyjnych dwóch badanych organizmów.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Aby możliwe było zastosowanie zegara molekularnego, konieczna jest jego odpowiednia kalibracja i sporządzenie tzw. chromatogramów.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Mutacje neutralne wpływają na efekt przystosowawczy organizmu.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Ćwiczenie 6



Przeciągnij poprawne odpowiedzi w miejsca w tekście.

Koncepcja zegara molekularnego pozwoliła oszacować czas powstania zakażeń HIV u człowieka. Wirus ten pochodzi od wirusów atakujących . Wirus u nich AIDS. U ludzi zakażenia wywoływane są głównie przez szczep . Naukowcy porównali materiał genetyczny obecnych szczepów groźnych dla człowieka oraz innych istniejących w przyrodzie, następnie wykorzystując koncepcję udało im się ustalić czas powstania szczepu na ok. 1910 rok.

AIDS-1M

wywołuje

nie wywołuje

ryby i ssaki wodne

HIV-1M

szympany i inne małpy naczelne

ewolucji Darwina

zegara molekularnego

Ćwiczenie 7



Aby precyzyjnie określić czas rozejścia się poszczególnych gałęzi drzewa filogenetycznego i właściwie oszacować tempo ewolucji molekularnej, konieczna jest prawidłowa kalibracja zegara. (...)

Punkt kalibracyjny to węzeł o znanym czasie dywergencji linii filogenetycznych, powiązany z konkretnym wydarzeniem z przeszłości, datowanym za pomocą niezależnych metod np. stratygraficznych czy radiometrycznych. Takim punktem może być na przykład początek izolacji linii ewolucyjnych żab zielonych (*Pelophylax*), zamieszkujących Cypr i zachodnią Anatolię, na skutek wypełnienia basenu Morza Śródziemnego przez wody oceaniczne po Kryzysie Messyńskim, ok. 5,5–5,3 miliona lat temu.

Źródło: „Zegar molekularny w teorii i praktyce: Przewodnik dla początkujących”, Weronika Wrzesińska, Tomasz Mamos, Michał Grabowski; *Kosmos*, tom 67, 2018

Na podstawie przedstawionego fragmentu określ, w jaki sposób odnalezienie skamieniałości żab zielonych na obszarach przylegających do Morza Śródziemnego może być wykorzystane w analizie ich ewolucji z użyciem zegara molekularnego. Odpowiedź uzasadnij.

Ćwiczenie 8



Ostatnie lata badań, z wykorzystaniem markerów molekularnych, zrewolucjonizowały poglądy na temat różnorodności biologicznej wielu grup organizmów. Okazało się, że wiele gatunków zwierząt i roślin definiowanych konwencjonalnie w oparciu o cechy fenotypowe, to w rzeczywistości kompleksy odrębnych linii filogenetycznych, nierozróżnialnych morfologicznie, lecz dywergentnych genetycznie i posiadających własne historie ewolucyjne. Zastosowanie zegara molekularnego ujawniło np. że w przypadku słodkowodnych skorupiaków obunogich z morfogatunku *Gammarus fossarum*, zamieszkujących Karpaty, linie te zaczęły się rozdzielać nawet 12 milionów lat temu, a większość z nich ewoluuje odrębnie już od ponad 5 milionów lat.

Źródło: „Zegar molekularny w teorii i praktyce: Przewodnik dla początkujących”, Weronika Wrzesińska, Tomasz Mamos, Michał Grabowski; Kosmos, tom 67, 2018

Na podstawie przedstawionego fragmentu oraz wiedzy własnej wyjaśnij, w jaki sposób zegar molekularny może być wykorzystany w tworzeniu naturalnych systemów klasyfikacji organizmów. Odpowiedź uzasadnij.

Dla nauczyciela

Autor: Anna Juwan

Przedmiot: Biologia

Temat: Zegar molekularny

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

Podstawa programowa:

Zakres rozszerzony

Treści nauczania – wymagania szczegółowe

XVI. Ewolucja. Uczeń:

2) przedstawia podstawowe źródła wiedzy o mechanizmach i przebiegu ewolucji;

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 koncepcję zegara molekularnego.

- Przedstawisz, w jaki sposób można wyznaczyć czas występowania określonych zdarzeń ewolucyjnych z wykorzystaniem zegara molekularnego.
- Przeanalizujesz problemy związane z wykorzystaniem tej koncepcji.
- Wskażesz przykłady zastosowania zegara molekularnego.

Strategie nauczania:

- konstruktywizm;
- konektywizm.

Metody i techniki nauczania:

- z użyciem komputera;
- ćwiczenia interaktywne;
- symulacja;
- śniegowa kula;
- gra dydaktyczna;
- analiza tekstu źródłowego.

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:
 - Na czym polega koncepcja zegara molekularnego?

Faza realizacyjna:

1. **Kula śniegowa.** Nauczyciel informuje uczniów, że będą pracować metodą kuli śniegowej, poszukując w udostępnionym e-materiale odpowiedzi na następujące pytania:
 - W jaki sposób można wyznaczyć czas występowania określonych zdarzeń ewolucyjnych z wykorzystaniem zegara molekularnego?
 - Z jakimi problemami wiąże się wykorzystanie koncepcji zegara molekularnego? Na czym one polegają?

- Jakie zastosowania ma zegar molekularny?

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 multimediami („Ilustracja interaktywna”).** Nauczyciel wyświetla grafikę interaktywną i wspólnie z uczniami dokonuje jej analizy. Prosi podopiecznych, by pracując w parach, podali, ile mutacji w liniach ewolucyjnych wystąpiłoby po okresie 250 milionów lat (polecenie nr 1), oraz wyjaśnili, jakie skutki może mieć pojawienie się mutacji (polecenie nr 2). Następnie uczniowie konsultują swoje rozwiązania z inną, najbliższą siedzącą parą.

3. **Utrwalenie wiedzy i umiejętności.** Uczniowie samodzielnie wykonują ćwiczenie nr 7 (w którym mają za zadanie – na podstawie tekstu źródłowego – określić, w jaki sposób odnalezienie skamieniałości żab zielonych na obszarach przylegających do Morza Śródziemnego może być wykorzystane w analizie ich ewolucji z użyciem zegara molekularnego) 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. 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, a nauczyciel może nagrodzić uczniów ocenami za aktywność.
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 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.

Dodatkowe wskazówki metodyczne:

- Nauczyciel może wykorzystać medium zamieszczone w sekcji „Ilustracja interaktywna” do podsumowania lekcji.