

Powstanie komórek jądrowych

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



Powstanie komórek jądrowych

Ślimak morski *Elysia chlorotica* przez pewien okres życia jest autotrofem. Rzadki w świecie zwierząt sposób odżywiania się jest wynikiem endosymbiozy między organizmem zwierzęcia a chloroplastami pochodzącymi od pochłoniętych ofiar – autotroficznych protistów z rodzaju *Vaucheria*. W komórkach nabłonkowych jelita funkcjonalne chloroplasty przetrzymywane są przez 9–10 miesięcy. W tym czasie ślimak nie pobiera pokarmu ze środowiska zewnętrznego.

Źródło: Smithsonian Environmental Research Center, Wikimedia Commons, licencja: CC BY 2.0.

Prawdopodobnie komórki eukariotyczne wyewoluowały z komórek prokariotycznych z linii *Archaeobacteria*. Wspólnego przodka eukariontów i archeowców upatruje się wśród przedstawicieli rodziny *Asgard*. Świadczą o tym podobieństwa m.in. w budowie i organizacji materiału genetycznego. Obie grupy organizmów mają geny o budowie nieciągłej, co oznacza, że między odcinkami kodującymi – egzonami, znajdują się odcinki niekodujące – introny. Ponadto informacja genetyczna nawinięta jest na białka histonowe, tworząc nukleosomy. Kluczowym elementem ewolucji komórki eukariotycznej było zjawisko **endosymbiozy**. Pochłonięcie prokariotycznych proteobakterii i cyjanobakterii oraz stopniowe przekształcanie endosymbiontów i ich uzależnienie od komórki gospodarza doprowadziło do powstania organelli komórkowych – mitochondriów i chloroplastów.

Twoje cele

- Omówisz teorię wyjaśniającą powstanie komórek eukariotycznych.
- Wykażesz związek między endocytarnym pobieraniem cząstek pokarmowych a wykształceniem błon wewnątrzkomórkowych.
- Przedstawisz prawdopodobny mechanizm stopniowego przekształcania pochłoniętych komórek prokariotycznych w endosymbionty, a następnie w organelle komórkowe.
- Scharakteryzujesz pierwotną i wtórną endosymbiozę w kontekście różnic w budowie chloroplastów.

- Udowodnisz, że mitochondria i chloroplasty mają endosymbiotyczne pochodzenie.

Przeczytaj

Rys historyczny

W 1883 r. niemiecki botanik Andreas Schimper zaobserwował podział chloroplastu w komórce roślinnej, który był podobny do podziału wolno żyjących cyjanobakterii (sinic). Na podstawie obserwacji Schimper wywnioskował, że rośliny zielone mogły powstać w wyniku symbiotycznego połączenia dwóch organizmów.

Do koncepcji Schimpera nawiązuje [teoria symbiogenezy](#), przedstawiona w 1905 r. przez rosyjskiego botanika Konstantina Mierieżkowskiego. Na podstawie badań porostów Mierieżkowski zakładał, że złożone komórki powstały w wyniku symbiotycznych zależności między komórkami mniej złożonymi.

W 1923 r. amerykański biolog Ivan Wallin w licznych pracach doświadczalnych wykazał, że mitochondria i bakterie mają podobną budowę chemiczną. Wallin wysunął wniosek, że mitochondria są przekształconymi komórkami bakterii, które weszły w zależność symbiotyczną z inną komórką na wczesnym etapie ewolucji.

Koncepcje symbiotycznego pochodzenia chloroplastów i mitochondriów nie były akceptowane przez środowiska naukowe. Powrócono do nich ponownie po 1959 r., w którym amerykańscy biolodzy – Ernest Gifford i Ralph Stocking – udowodnili, że chloroplasty mają własną informację genetyczną.

W 1963 r. amerykańska biolog Lynn Margulis opracowała teorię endosymbiozy, której założenia wyjaśniają pochodzenie mitochondriów i chloroplastów w komórkach eukariotycznych.

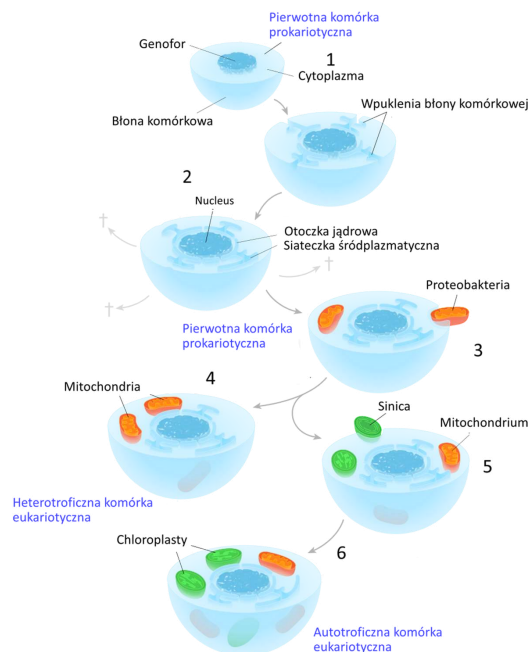
Teoria endosymbiozy

Teoria endosymbiozy wyjaśnia mechanizm powstania [komórki eukariotycznej](#) z [komórek prokariotycznych](#). Pierwotna komórka prokariotyczna z linii *Archebacteria* dała początek pierwotnej komórce eukariotycznej. Prawdopodobnie pierwotne komórki prokariotyczne odżywiały się, wydzielając na zewnątrz enzymy trawienne, a rozłożone składniki pokarmowe wchłaniały na drodze [pinocytozy](#). Część komórek zaczęła wytwarzać białka,

które na terenie cytoplazmy utworzyły cytoszkielet, umożliwiające m.in. pochłanianie większych cząstek pokarmu na drodze **fagocytozy**. Wchłanianie pokarmu wiązało się z tworzeniem wpukleń błony komórkowej, których obecność na terenie cytoplazmy doprowadziła do wykształcenia błon wewnątrzkomórkowych. Część błon dała początek organellom: siateczkom śródplazmatycznym, aparatu Golgiego, lizosomom. Pozostała część wpukleń prawdopodobnie utworzyła wokół informacji genetycznej otoczkę jądrową, w wyniku czego powstało jądro komórkowe.

Pierwsza endosymbioza nastąpiła ok. 2 miliardów lat temu. Pierwotna komórka eukariotyczna pochłonęła **heterotroficzną** komórkę prokariotyczną – proteobakterię. Na drodze endosymbiozy komórka proteobakterii uległa przekształceniu w organelę komórkową, tzw. mitochondrium. Proces ten doprowadził do powstania komórki eukariotycznej, zdolnej do wykorzystywania tlenu w procesach oddychania wewnątrzkomórkowego.

Kolejna endosymbioza zaszła prawdopodobnie ok. 1,5 miliarda lat temu. Heterotroficzna komórka eukariotyczna pochłonęła **autotroficzną** komórkę prokariotyczną – sinicę. Na drodze endosymbiozy komórka sinicy uległa przekształceniu w inną organelę komórkową, tzw. chloroplast. Proces ten doprowadził do powstania komórki eukariotycznej zdolnej do wykorzystywania promieniowania słonecznego i przeprowadzania fotosyntezy.



Powstanie autotroficznej komórki eukariotycznej.

1 – Błona komórkowa pierwotnej komórki prokariotycznej tworzy wpuklenia umożliwiające pobieranie dużych cząstek pokarmowych na drodze endocytozy.

2 – Wpuklenia błony komórkowej formują system błon wewnątrzkomórkowych i otoczkę jądrową. Powstanie pierwotnej komórki eukariotycznej.

3 – Pierwotna komórka eukariotyczna pochłania na drodze endocytozy komórkę proteobakterii zdolną do oddychania tlenowego. Wchłonięta komórka proteobakterii staje się endosymbiontem, który ulega przekształceniu w mitochondrium.

4 – Powstanie heterotroficznej komórki eukariotycznej, która dała początek komórkom: zwierząt, grzybów

i protistów.

5 – Heterotroficzna komórka eukariotyczna pochłania na drodze endocytozy komórkę sinicy zdolną do fotosyntezy. Wchłonięta komórka sinicy staje się endosymbiontem, który ulega przekształceniu w chloroplast.

6 – Powstanie autotroficznej komórki eukariotycznej, która dała początek komórkom: glaukofitów, krasnorostów i roślin.

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

Przebieg endosymbiozy

Prawdopodobnie początkowa zależność między pierwotną komórką eukariotyczną a pochłoniętymi proteobakteriami i sinicami miała charakter typu drapieżnik-ofiara. Wchłonięte na drodze fagocytozy komórki prokariotyczne ulegały trawieniu wewnątrz pęcherzyków fagocytarnych. Rozwój zależności endosymbiotycznej wymagał jednak zahamowania trawienia wewnątrzkomórkowego pochłoniętych proteobakterii i sinic oraz wykształcenia zależności metabolicznych. Prawdopodobne są dwie możliwości:

1 – **Prokarionty** wydzielają substancje uniemożliwiające łączenie się pęcherzyków fagocytarnych z lizosomami, w wyniku czego nie uległy trawieniu;

2 – Pierwotne komórki eukariotyczne odnosiły większe korzyści z zachowania pochłoniętych prokariotów niż z ich strawienia w wyniku otrzymywania substancji, które następnie wykorzystywały we własnych przemianach metabolicznych.

W konsekwencji wchłonięte komórki prokariotyczne stały się endosymbiontami komórek eukariotycznych. Proces stopniowego przekształcania się endosymbionta w organelę komórkową wymagał:

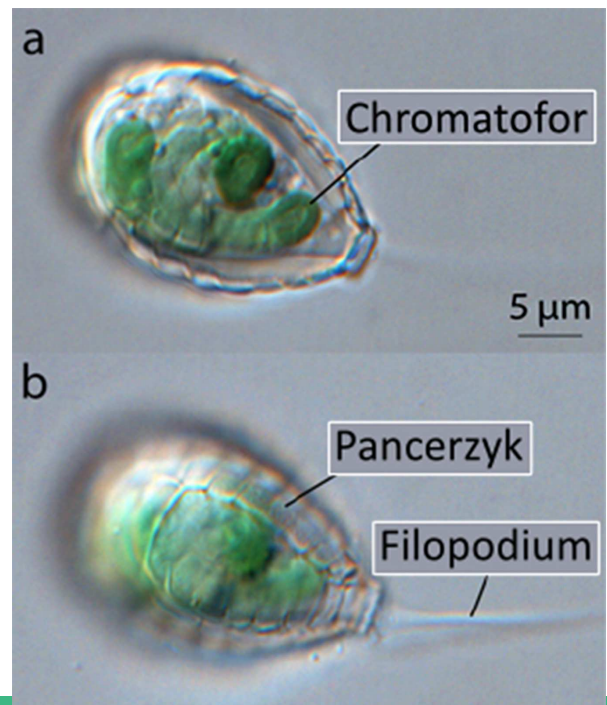
- przeniesienia części genów endosymbionta do **genomu jądrowego** pierwotnej komórki eukariotycznej, co pozwoliło na kontrolę funkcjonowania nowo powstających organelli;

- utworzenia w błonach białkowo-lipidowych systemu importującego białka kodowane przez genom jądrowy oraz wyposażenie tych białek w sekwencje kierujące, co pozwoliło na ich transport do wnętrza nowo powstających organelli.

Dotychczas uważano, że pierwotna endosymbioza sinicy była jednostkowym i niepowtarzalnym zdarzeniem, które zaistniało na wczesnych etapach ewolucji życia na Ziemi. Pogląd ten podważyło odkrycie fotosyntetyzującej ameby z gatunku *Paulinella chromatophora*, u której endosymbioza zaszła stosunkowo niedawno, ok. 140–90 mln lat temu. Wyniki prac laboratoryjnych dotyczące transferu genów i wymiany metabolitów między komórką ameby a chromatoforami świadczą o wciąż trwającym procesie endosymbiozy. Związek wykształcony między amebą a endosymbiotycznymi sinicami jest silny, o czym świadczą: niezdolność endosymbiontów do samodzielnego życia, podział

zsynchronizowany z podziałem komórki ameby oraz eksport produktów fotosyntezy do cytoplazmy komórki gospodarza.

Paulinella chromatophora to jednokomórkowa autotroficzna ameba występująca w wodach słodkich i słonawych. Wewnątrz komórki obecne są dwa chromatofory, będące endosymbiontami pochodzenia sinicowego. Budowa chromatoforów wskazuje na ich pochodzenie od sinic z rodzaju *Synechococcus*. Blisko spokrewniony z *P. chromatophora* inny gatunek ameby, *Paulinella ovalis*, jest organizmem heterotroficznym odżywiającym się sinicami z rodzaju *Synechococcus* pobieranymi na drodze fagocytozy.



Paulinella chromatophora.

Źródło: Eva C.M. Nowack, Wikimedia Commons, licencja: CC BY-SA 3.0.

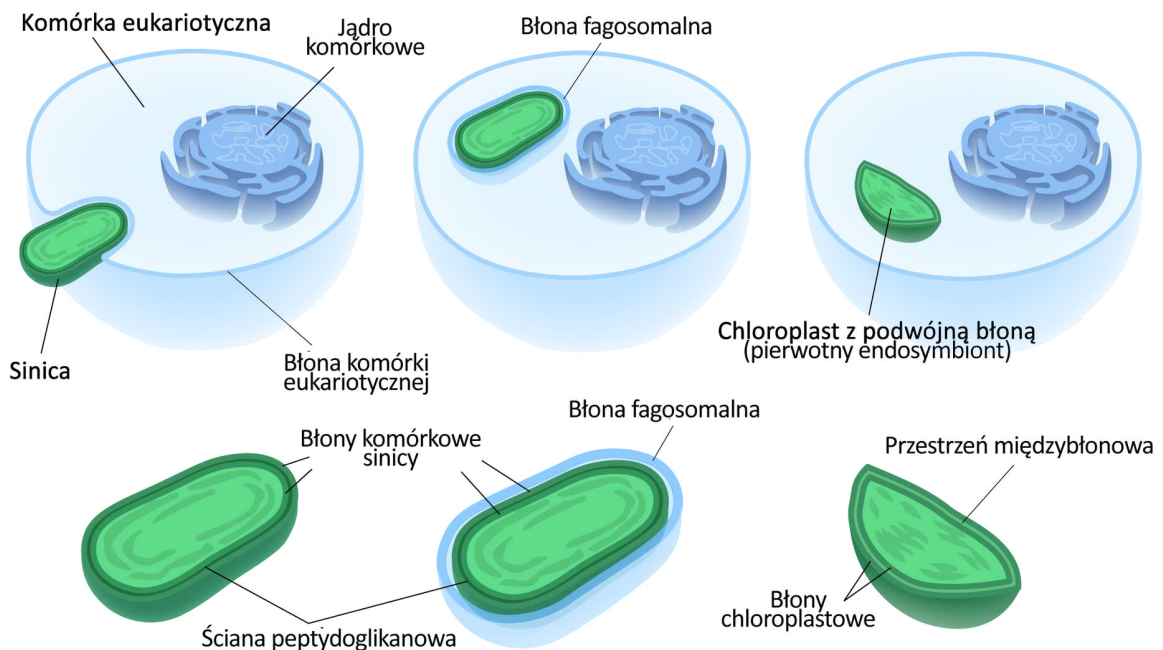
Rodzaje endosymbiozy

Ze względu na mechanizm powstania chloroplastów komórek eukariotycznych wyróżnia się endosymbiozę pierwotną i wtórną. **Endosymbioza pierwotna** była rzadkim zjawiskiem w ewolucji **eukariontów**. W jej wyniku powstały chloroplasty otoczone dwiema błonami białkowo-lipidowymi. Natomiast **endosymbioza wtórna** była w ewolucji eukariontów częstszym zjawiskiem. W jej wyniku powstały chloroplasty otoczone trzema lub czterema błonami białkowo-lipidowymi.

Endosymbioza pierwotna

Endosymbioza pierwotna to proces, w którym heterotroficzna komórka eukariotyczna pobiera autotroficzną komórkę sinicy. W komórce gospodarza wchłonięta komórka sinicy ulega przekształceniu w chloroplast, który otaczają dwie błony białkowo-lipidowe. Wewnętrzna błona chloroplastu jest pozostałością po błonie komórkowej endosymbionta. Zewnętrzna błona chloroplastu wykazuje mieszaną strukturę. Powstała

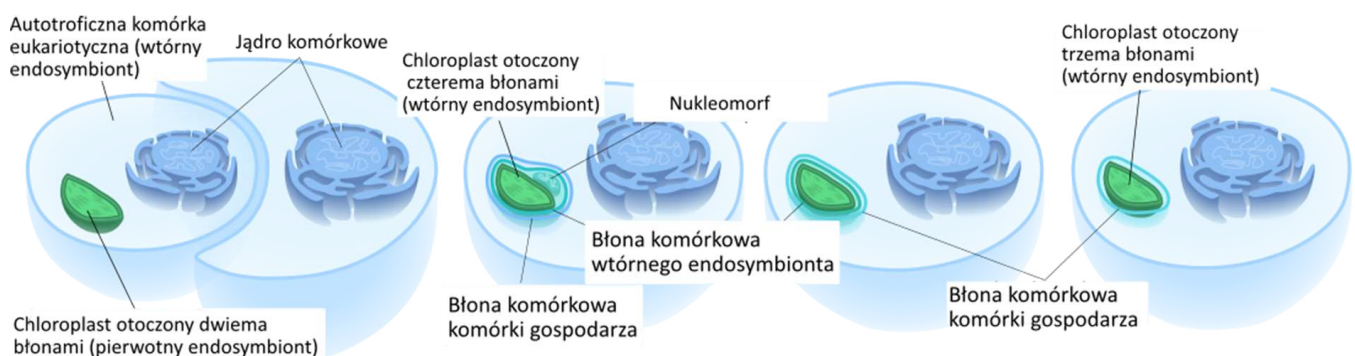
najprawdopodobniej w wyniku połączenia błony komórkowej komórki sinicy i błony komórkowej heterotroficznej komórki eukariotycznej. Chloroplast otoczony dwiema błonami to tzw. chloroplast pierwotny. W procesie endosymbiozy pierwotnej powstały chloroplasty: glaukofitów, krasnorostów i roślin zielonych.



Schemat pierwotnej endosymbiozy.

Źródło: Kelvinsong (napisy edytowano), Wikimedia Commons, licencja: CC BY-SA 3.0.

Endosymbioza wtórna



Schemat wtórnej endosymbiozy.

Źródło: Kelvinsong, Wikimedia Commons, licencja: CC BY-SA 3.0.

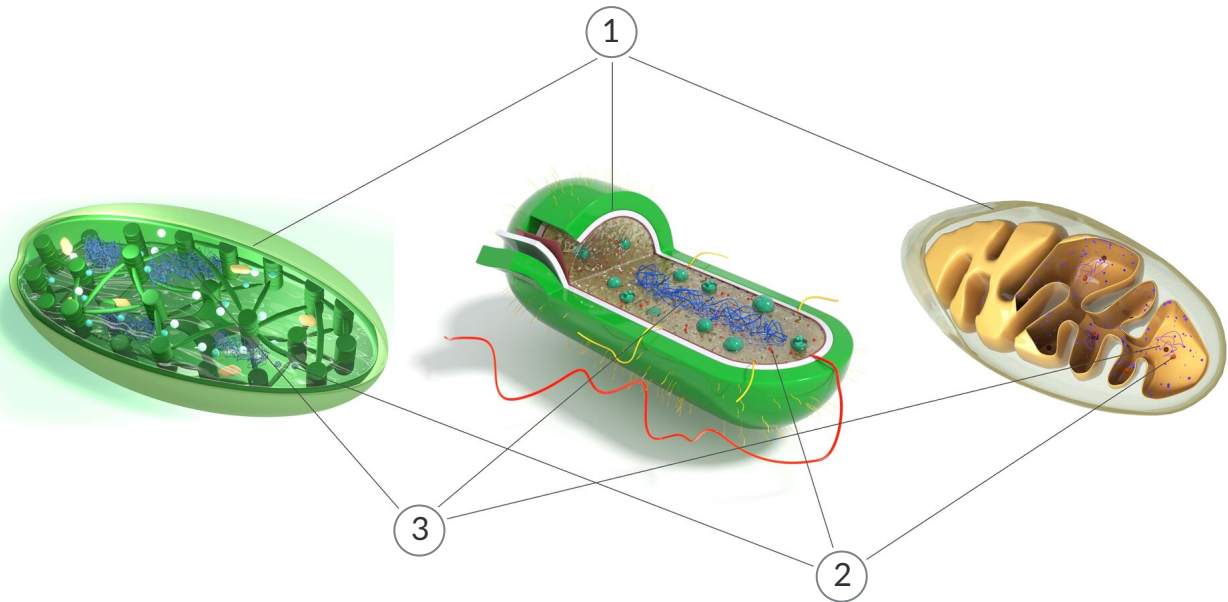
Endosymbioza wtórna to proces, w którym heterotroficzna komórka eukariotyczna pobiera autotroficzną komórkę eukariotyczną. Wchłonięta komórka eukariotyczna ulega przekształceniu w chloroplast, który otaczają trzy lub cztery błony białkowo-lipidowe. Najbardziej wewnętrzne błony pochodzą od chloroplastu pierwotnego, kolejna błona to

pozostałość po błonie komórkowej wchłoniętego endosymbionta. Najbardziej zewnętrzna błona pochodzi z błony komórkowej komórki gospodarza. Chloroplast otoczony trzema lub czterema błonami to tzw. chloroplast wtórny. W procesie endosymbiozy wtórnej powstały chloroplasty brunatnic.

Endosymbiotyczne pochodzenie mitochondriów i chloroplastów

Mitochondria i chloroplasty wykazują cechy wspólne z komórkami prokariotycznymi z linii *Eubacteria*. Obecność szeregu podobieństw strukturalnych i funkcjonalnych świadczy o ich wspólnym pochodzeniu. Dowody przemawiające za endosymbiotycznym pochodzeniem mitochondriów i chloroplastów to:

1. **Niewielkie rozmiary.** Wielkość mitochondriów i chloroplastów wynosi zazwyczaj od 2 do 9 μm i jest zbliżona do rozmiarów większości komórek prokariotycznych, których wielkość waha się od 1 do 10 μm .
2. **Podwójna błona białkowo-lipidowa.** Mitochondria i chloroplasty to organelle otoczone podwójną błoną białkowo-lipidową. Błona zewnętrzna przypomina błonę komórkową komórki eukariotycznej. Natomiast błona wewnętrzna znacznie różni się od innych błon biologicznych komórki eukariotycznej i swoją budową i właściwościami przypomina błonę komórkową komórki prokariotycznej.
3. **Materiał genetyczny.** Mitochondria i chloroplasty mają własną informację genetyczną w postaci kilku kolistych cząsteczek DNA, zawierających geny o budowie ciągłej. Podobnie występujący w komórkach prokariotycznych genoformy ma postać jednej kolistej cząsteczki DNA. Geny komórek prokariotycznych także mają budowę ciągłą, czyli zawierają wyłącznie odcinki kodujące (egzony), a brak w nich odcinków niekodujących (intronów).
4. **Budowa i wielkość rybosomów.** W matrix mitochondriów i stromie chloroplastów znajdują się rybosomy 70S, które swoją wielkością i budową przypominają rybosomy cytoplazmatyczne komórek prokariotycznych.
5. **Powstawanie.** Nowe mitochondria i chloroplasty powstają na skutek podziału już istniejących organeli. Proces ich powstawania przypomina podział prosty komórek prokariotycznych.



1

Wewnętrzna błona białkowo-lipidowa o podobnej budowie chemicznej.

2

Rybosomy 70S.

3

Kolista cząsteczka DNA nawinięta na białka niehistonowe, zawierająca geny o budowie ciągłej.

Chloroplasty i mitochondria mają cechy wspólne z komórkami prokariotycznymi.

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

Słownik

autotrofizm

inaczej samożywność; zdolność organizmu do syntezy złożonych związków organicznych z prostych związków nieorganicznych przy udziale energii świetlnej (fotosyntezy) lub energii chemicznej (chemosyntezy)

eukarionty

inaczej jądownce; organizmy wielokomórkowe, rzadziej kolonijne i jednokomórkowe zbudowane z komórek eukariotycznych (przykłady: rośliny, zwierzęta, grzyby i protista)

fagocytoza

rodzaj endocytozy; proces pobierania ze środowiska zewnętrznego pokarmu stałego w postaci dużych cząstek pokarmowych poprzez wpuklenia błony komórkowej prowadzące do powstania pęcherzyków endocytarnych, których zawartość ulega trawieniu przy użyciu enzymów lizosomalnych, a niestrawione resztki usuwane są poza obręb komórki na drodze egzocytozy

genom jądrowy

informacja genetyczna zawarta w jądrze komórkowym komórek eukariotycznych

heterotrofizm

inaczej cudzożywność; organizmy heterotroficzne odżywiają się związkami organicznymi pobranymi z zewnątrz

komórki eukariotyczne

typ komórki, której informacja genetyczna jest oddzielona od reszty cytoplazmy za pomocą otoczki jądrowej; wewnątrz komórki obecny jest system błon wewnątrzkomórkowych (siateczka śródplazmatyczna szorstka i gładka, aparaty Golgiego, lizosomy, mikrociałka), organelle półautonomiczne (mitochondria, chloroplasty) i cytoszkielet

komórki prokariotyczne

typ komórki, której informacja genetyczna nie jest oddzielona od reszty cytoplazmy żadną błoną biologiczną; wewnątrz komórki brak systemu błon wewnątrzkomórkowych i cytoszkieletu

pinocytoza

rodzaj endocytozy; proces pobierania ze środowiska zewnętrznego roztworu wodnego wraz z substancjami pokarmowymi - węglowodanami, lipidami i proteinami - poprzez wpuklenia błony komórkowej, prowadzące do powstania pęcherzyków endocytarnych, które w całości ulegają trawieniu przy użyciu enzymów lizosomalnych

prokarionty

inaczej bezjądrowce; organizmy jednokomórkowe, rzadziej kolonijne zbudowane z komórek prokariotycznych (przykłady: bakterie, sinice i archebakterie)

stromatolity

skały powstałe w wyniku działalności prokariontów

teoria symbiogenezy

teoria zakładająca powstanie bardziej złożonych komórek z komórek mniej złożonych, pomiędzy którymi wykształciły się zależności symbiotyczne



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

Powstanie komórek jądrowych.

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

Nagranie filmowe pod tytułem *Powstanie komórek jądrowych*.

Polecenie 1

Przedstaw główne założenia teorii endosymbiozy.

Polecenie 2

Podaj nazwy organizmów, które prawdopodobnie dały początek mitochondriom i chloroplastom.

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



Przyporządkuj opisy do rodzaju bakterii.

Proteobakterie

Bakterie, które prawdopodobnie uległy przekształceniu w mitochondria.

Cyjanobakterie

Bakterie, które prawdopodobnie uległy przekształceniu w chloroplasty.

Ćwiczenie 2



Zaznacz cechy budowy i organizacji materiału genetycznego wspólne dla chloroplastów, mitochondriów i komórek bakterii.

☐ Postać pojedynczego chromosomu i licznych plazmidów

☐ Brak związania z histonami

☐ Kolisty kształt

☐ Niewielki rozmiar

☐ Brak intronów

Ćwiczenie 3



Uzupełnij tekst, wybierając odpowiednie sformułowania spośród podanych propozycji.

Komórki eukariotyczne powstały około ☐ ☐ lat temu.

Pierwotna komórka prokariotyczna pobierała ze środowiska substancje pokarmowe na drodze

☐ ☐ . Powstające w czasie odżywiania wpuklenia błony komórkowej dały początek błonom ☐

☐ . Część tych błon otoczyła materiał genetyczny, tworząc

☐ ☐ , a pozostała część dała początek między

innymi ☐

☐ . Mitochondria i chloroplasty

powstały na drodze procesu ☐ ☐ , który zaszedł

między pierwotną komórką eukariotyczną a komórkami prokariotycznymi. Prawdopodobnie

☐ ☐ proteobakterie dały początek ☐

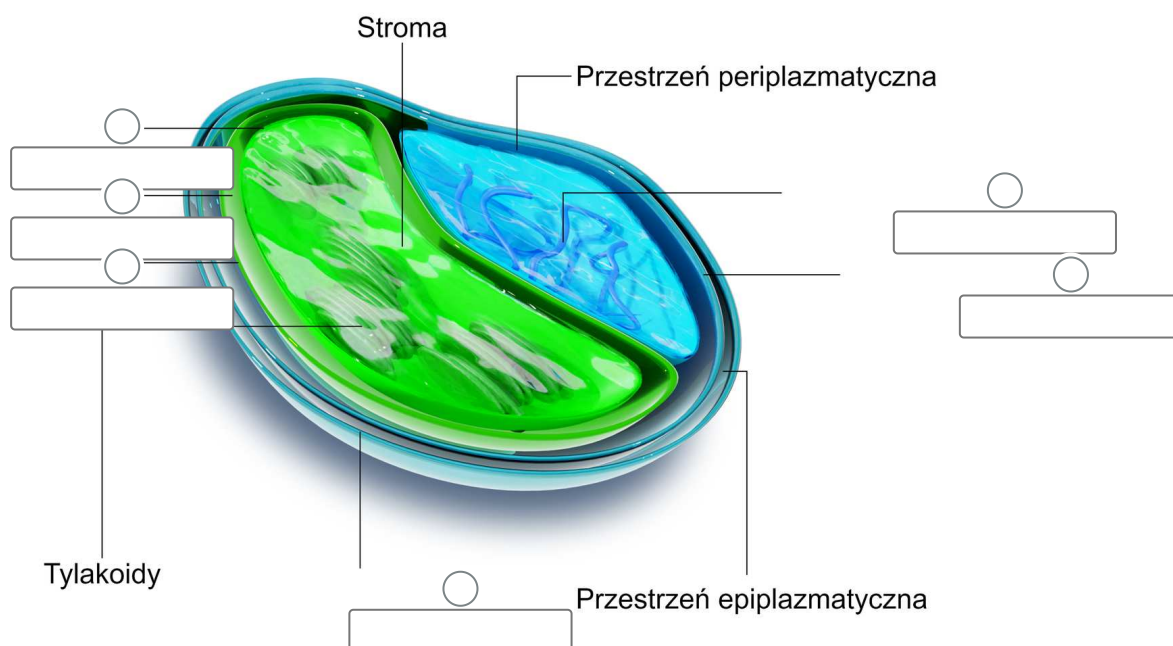
☐ , a ☐ ☐ cyjanobakterie –

☐ ☐ .

Ćwiczenie 4



Na schemacie przedstawiono budowę wtórnego endosymbionta. Podaj nazwy zaznaczonych na schemacie struktur, wybierając odpowiednie określenia spośród podanych poniżej.



Błona komórkowa komórki gospodarza

Błona komórkowa wtórnego endosymbionta

Nukleomorf

Wewnętrzna błona chloroplastu

Zewnętrzna błona chloroplastu

Przestrzeń międzybłonowa

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

Ćwiczenie 5



Uporządkuj w odpowiedniej kolejności prawdopodobne etapy powstawania komórki eukariotycznej w procesie endosymbiozy.

Powstanie mitochondriów w wyniku pochlónięcia bakterii oddychających tlenowo. ⚡

Wytworzenie systemu błon wewnętrznych poprzez wpuklenia błony komórkowej. ⚡

Powstanie chloroplastów w wyniku pochlónięcia bakterii autotroficznych. ⚡

Wyodrębnienie jądra komórkowego. ⚡

Ćwiczenie 6



Oceń, czy poniższe stwierdzenia są prawdziwe czy fałszywe.

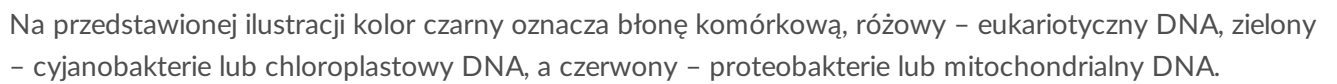
Stwierdzenie	Prawda	Fałsz
Endosymbioza cyjanobakterii umożliwiła pierwszym komórkom eukariotycznym przeprowadzanie procesu fotosyntezy.	☐	☐
Endosymbioza proteobakterii umożliwiła pierwszym komórkom eukariotycznym przeprowadzanie tlenowego oddychania komórkowego.	☐	☐
Zmniejszenie autonomii endosymbiontów wiązało się z przeniesieniem części ich materiału genetycznego do jądra komórkowego komórki gospodarza.	☐	☐

Ćwiczenie 7



Hatena arenicola to jednokomórkowy organizm zaliczany do wiciowców w obrębie królestwa protista. Bezbarwne komórki *H. arenicola* zawierają organelle komórkowe charakterystyczne dla komórek eukariotycznych i pod względem odżywiania się są heterotroficzne. Wiciowiec może wchodzić w endosymbiozę z pochlönietą komórką zielenicy z rodzaju *Nephroselmis*. Obecność endosymbionta wywołuje zmiany w budowie komórki gospodarza oraz w sposobie jego odżywiania się. Zielone komórki *H. arenicola* zwiększają rozmiary endosymbionta i jednocześnie degradują własny cytoszkielet oraz organelle takie jak: mitochondria, aparaty Golgiego, wici. Endosymbiont zmienia sposób odżywiania się wiciowca, który staje się teraz organizmem autotroficznym.

Podaj nazwę procesu, na drodze którego *Hatena arenicola* pochłania komórkę zielenicy, oraz wypisz trzy zmiany w budowie i funkcjonowaniu wiciowca związane z obecnością endosymbionta.



Wyjaśnij, w jaki sposób endocytoza komórek prokariotycznych wpłynęła na ewolucję komórki eukariotycznej.

Dla nauczyciela

Autor: Anna Juwan

Przedmiot: Biologia

Temat: Powstanie komórek jądrowych

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

Podstawa programowa:

Zakres podstawowy

Treści nauczania – wymagania szczegółowe

IX. Ewolucja. Uczeń:

14) porządkuje chronologicznie wydarzenia z historii życia na Ziemi; wykazuje, że zmiany warunków środowiskowych miały wpływ na przebieg ewolucji;

Zakres rozszerzony

Treści nauczania – wymagania szczegółowe

XVI. Ewolucja. Uczeń:

16) przedstawia hipotezy wyjaśniające najważniejsze etapy biogenezy;

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):

- Omówisz teorię wyjaśniającą powstanie komórek eukariotycznych.
- Wykażesz związek między endocytarnym pobieraniem cząstek pokarmowych a wykształceniem błon wewnątrzkomórkowych.
- Przedstawisz prawdopodobny mechanizm stopniowego przekształcania pochłoniętych komórek prokariotycznych w endosymbionty, a następnie w organelle komórkowe.
- Scharakteryzujesz pierwotną i wtórną endosymbiozę w kontekście różnic w budowie chloroplastów.

- Udowodnisz, że mitochondria i chloroplasty mają endosymbiotyczne pochodzenie.

Strategie nauczania:

- konstruktywizm;
- konektywizm.

Metody i techniki nauczania:

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

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. **Rozmowa wprowadzająca.** Nauczyciel prosi chętnych/wybranych uczniów o wyjaśnienie na podstawie przeczytanego przed lekcją tekstu, czym jest endosymbioza.

Faza realizacyjna:

1. **Praca z multimedium („Animacja”).** Uczniowie zapoznają się z medium w sekcji „Animacja”. Tworzą notatkę podsumowującą wiadomości w materiale. Następnie

indywidualnie wykonują polecenie nr 1 (w którym mają za zadanie przedstawić główne założenia teorii endosymbiozy) oraz polecenie nr 2 (w którym mają za zadanie podać nazwy organizmów, jakie prawdopodobnie dały początek mitochondriom i chloroplastom) i porównują swoją odpowiedź z osobą z pary.

2. Praca z treścią e-materiału. Uczniowie na podstawie przeczytanego tekstu oraz informacji zawartych w medium w sekcji „Animacja” układają indywidualnie pytania do treści e-materiału. 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 zwycięzców.

3. Utrwalenie wiedzy i umiejętności. Uczniowie samodzielnie wykonują ćwiczenie nr 7 (mają za zadanie podać nazwę procesu, na drodze którego *Hatena arenicola* pochłania komórkę zielenicy, oraz wypisać trzy zmiany w budowie i funkcjonowaniu wiciowca związane z obecnością endosymbionta) 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 rozwiązują ćwiczenie nr 6 (typu „prawda/fałsz”) z sekcji „Sprawdź się”. Następnie przygotowują podobne zadanie dla osoby z pary: tworzą trzy prawdziwe lub fałszywe zdania dotyczące tematu lekcji. Uczniowie wykonują ćwiczenie otrzymane od kolegi lub koleżanki.
2. Nauczyciel wyświetla temat lekcji i cele zawarte w sekcji „Wprowadzenie”, podsumowuje omawiany na lekcji materiał, wyjaśnia wątpliwości uczniów.

Praca domowa:

1. Wykonaj ćwiczenia od 1 do 5 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.

Dodatkowe wskazówki metodyczne:

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