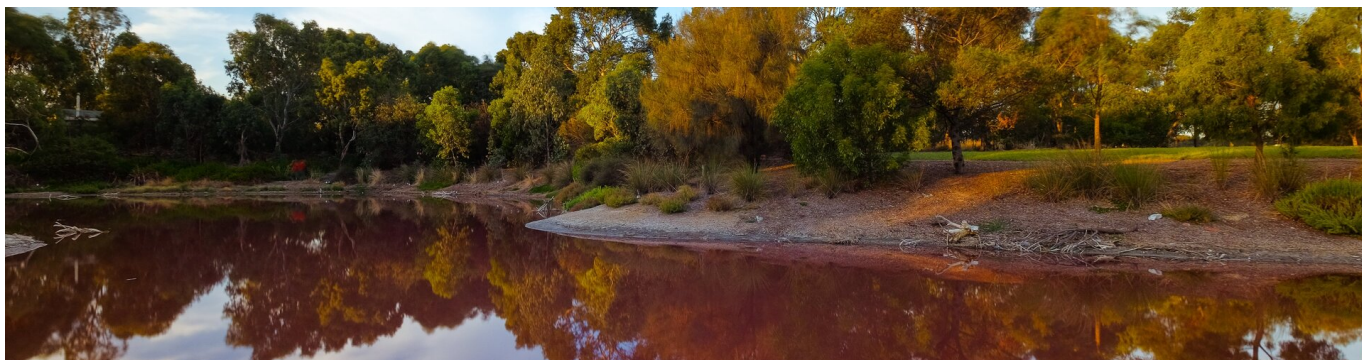




Beztlenowa fotosynteza bakteryjna

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



Beztlenowa fotosynteza bakteryjna

Różowe jezioro w parku Westgate w Australii zawdzięcza swój kolor bakteriom, które wytwarzają czerwony pigment niezbędny w procesie fotosyntezy.

Źródło: Flickr, licencja: CC BY 2.0.

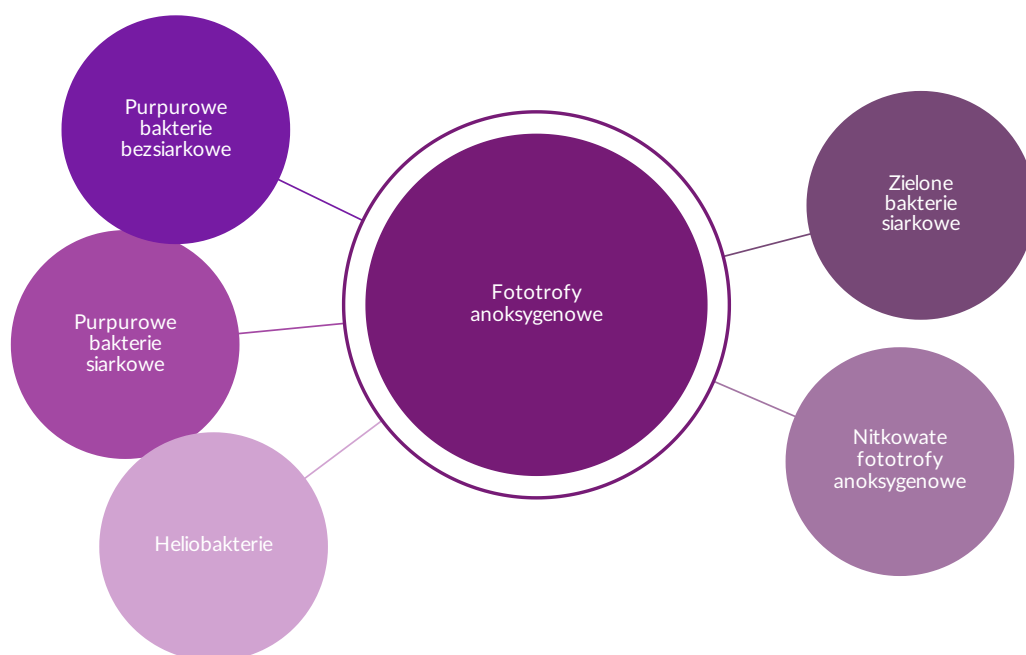
Proces fotosyntezy najczęściej polega na produkcji cukrów z substratów nieorganicznych, czyli dwutlenku węgla i wody przy udziale światła. Produktem ubocznym jest tlen uwalniany do atmosfery. Niektóre bakterie mogą prowadzić fotosyntezę beztlenową. W jej trakcie nie dochodzi do produkcji tlenu. Nazywamy je fototrofami anoksygenowymi (beztlenowymi). Donorem elektronów do redukcji dwutlenku węgla są u nich związki siarki, wodoru oraz związki organiczne zamiast wody.

Twoje cele

- Wyjaśnisz, czym jest zjawisko fotosyntezy beztlenowej.
- Określisz, jakie organizmy zaliczamy do fototrofów anoksygenowych.
- Przedstawisz przykłady bakterii prowadzących fotosyntezę beztlenową.
- Omówisz różnice między procesami fotosyntezy beztlenowej prowadzonymi przez poszczególne grupy bakterii.

Przeczytaj

Wszystkie znane [fototrofy anoksygenowe](#) należą do królestwa prokariotów. W przeciwieństwie do roślin i sinic – nie używają cząsteczki wody jako donorów elektronów wykorzystywanych w fazie ciemnej fotosyntezy. Zaliczamy do nich 5 grup bakterii:

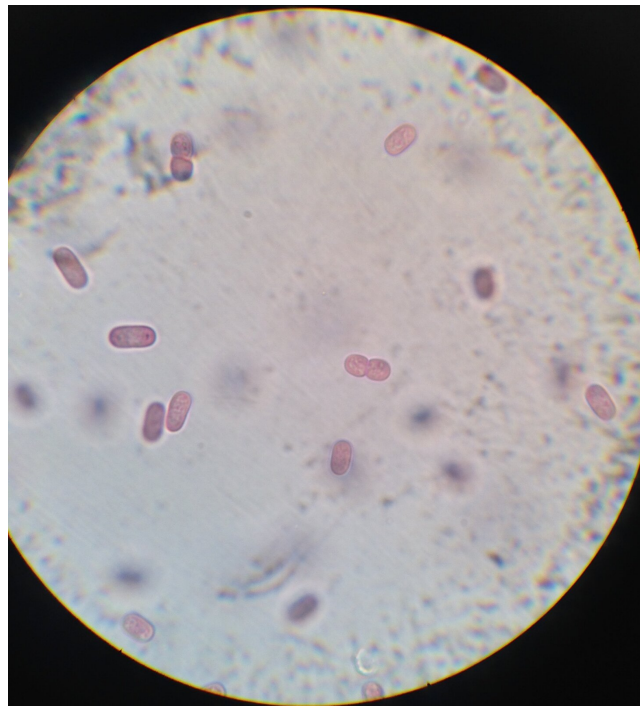


Najlepiej poznaną grupą fototrofów anoksygenowych są **bakterie purpurowe** (siarkowe i bezsiarkowe). Występuje u nich barwnik absorbujący światło, bakteriochlorofil, który pochłania światło w nieco innym zakresie długości fal niż chlorofile roślin.

Schemat budowy komórki bakterii purpurowych. Barwnik znajduje się w chromatoforach, czyli pęcherzykowatych tylakoidach, powstających jako wpuklenia błony komórkowej.

Źródło: Englishsquare.pl Sp. z o. o., tylko do użytku edukacyjnego na zpe.gov.pl.

Oprócz [bakteriochlorofilu](#), w komórkach tych bakterii znajdują się również brązowe i czerwone karotenoidy, od których pochodzi nazwa bakterii purpurowych. Są one beztlenowcami i fototrofami: oddychają bez udziału tlenu, a jako donory elektronów do redukcji CO₂ wykorzystują siarkowodór, siarkę i wodór, a nie wodę (jak rośliny i sinice). Jeżeli siarkowodoru w podłożu jest dużo, mogą utleniać go do siarki i gromadzić w komórce. Mają również zdolność wiązania azotu cząsteczkowego. Do bakterii purpurowych siarkowych zaliczamy m.in. przedstawicieli rodzajów *Thiospirillum*, *Chromatium* i *Thiocapsa*.



Bakterie *Chromatium okenii* należą do purpurowych bakterii siarkowych. Są zdolne do fotosyntezy i wykorzystują siarkowodór (H₂S) jako donor elektronów do redukcji CO₂, a zatem nie wytwarzają tlenu jako produktu ubocznego fotosyntezy. Ten typ fotosyntezy nazywany jest fotosyntezą anoksygeniczną. Komórki *Chromatium okenii* są lekko zakrzywionymi lub prostymi pałeczkami.

Obraz mikroskopowy, powiększenie 600x.

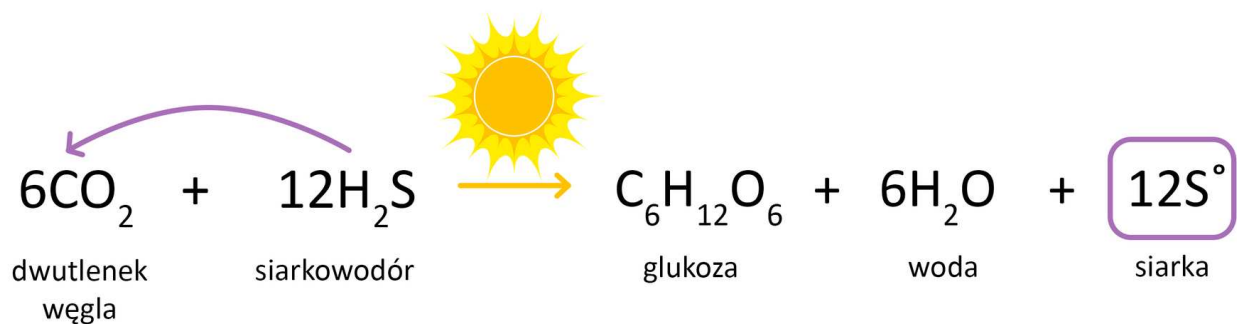
Źródło: Wikimedia Commons, licencja: CC BY-SA 4.0.

Z kolei **purpurowe bakterie bezsiarkowe** mogą odżywiać się autotroficznie w warunkach beztlenowych lub heterotroficznie w środowisku tlenowym (z małym dostępem światła lub w ciemności). Jako donory elektronów w fotosyntezie wykorzystują związki organiczne (np. jabłczan czy bursztynian). Niektóre z nich mogą również korzystać z siarkowodoru, siarki i wodoru. W momencie przeniesienia tych mikroorganizmów do środowiska tlenowego zahamowaniu ulega synteza

bakteriochlorofilu, a organizmy te przechodzą na heterotrofizm. Purpurowe bakterie bezsiarkowe mają również zdolność wiązania azotu cząsteczkowego.

Przedstawicielami tej grupy są np. bakterie *Rhodobacter* i *Rhodopseudomonas*.

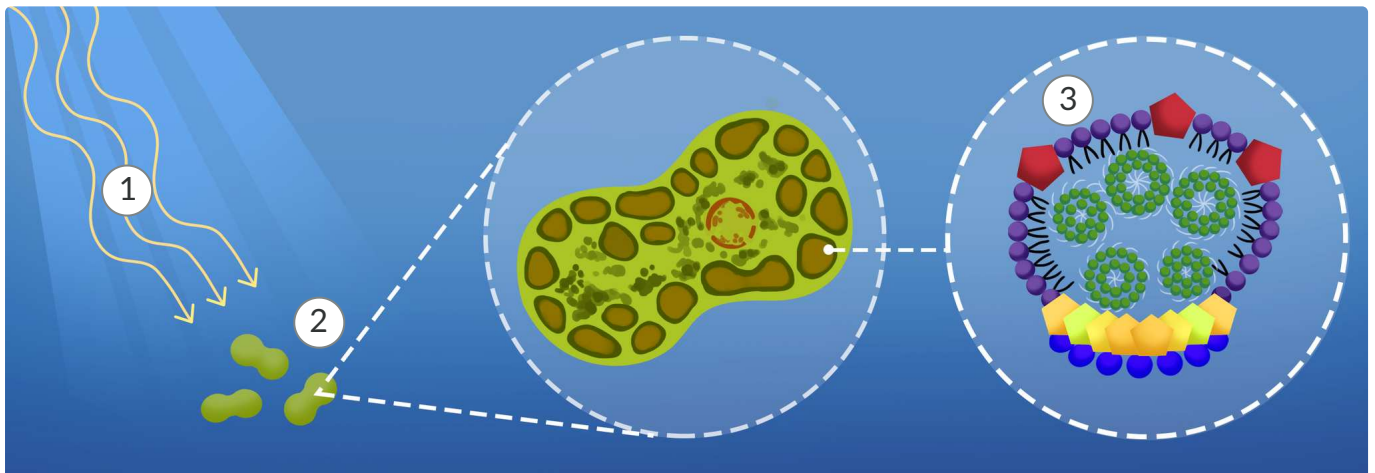
U bakterii purpurowych w trakcie fotosyntezy beztlenowej nie zachodzi fosforylacja cykliczna; występuje natomiast tzw. **odwrotny łańcuch przepływu elektronów**, wbrew gradientowi potencjału oksydoredukcyjnego. Łańcuch ten napędzany jest siłą protonomotoryczną, uzyskaną dzięki energii świetlnej. Więcej na temat fotosyntezy przeczytasz w [lekcji jej poświęconej](#).



Reakcja fotosyntezy anoksygeniczej przeprowadzanej m.in. przez bakterie purpurowe siarkowe i nitkowate fototrofy anoksygenowe.

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

W wyniku jego działania dochodzi do przeniesienia elektronów ze związków siarki lub związków organicznych (u bakterii purpurowych bezsiarkowych) na CO_2 i w rezultacie, do jego redukcji z wytworzeniem cukru prostego.



1

Energia świetlna

2

Zielone bakterie siarkowe

3

Chlorosom

Zielone bakterie siarkowe są bezwzględnymi beztlenowcami i autotrofami. Występujący u nich bakteriochlorofil zlokalizowany jest w pęcherzykowej strukturze zwanej chlorosomem. Bakterie te jako donory elektronów wykorzystują siarkowodór, siarkę, i tiosiarczany. Do przedstawicieli tej grupy zaliczamy *Chlorobium*.

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

Do grupy **nitkowatych fototrofów anoksygenowych** zaliczamy np. bakterie z rodzaju *Chloroflexus*. Te bakterie również mają [chlorosomy](#) zawierające bakteriochlorofile. Jeżeli w środowisku nie ma tlenu, organizmy te funkcjonują jako heterotrofy.

Heliobakterie to ostatnia grupa zaliczana do [fototrofów anoksygenowych](#). Żyją wyłącznie w warunkach beztlenowych. Występuje u nich bakteriochlorofil g, niespotykany u innych organizmów, znajdujący się bezpośrednio w błonie komórkowej. Jako donory elektronów wykorzystują wyłącznie związki organiczne.

Fotosynteza beztlenowa nie jest rozpowszechnionym procesem wśród bakterii. Stanowi ona przykład przystosowania do specyficznych warunków życia. U wielu z prowadzących ją prokariotów fotosynteza zachodzi tylko w warunkach beztlenowych. Niektóre z nich, w obecności tlenu lub ciemności, stają się chemoorganotrofami. Chemoorganotrofy są organizmami wykorzystującymi do syntezy związków organicznych ze związków nieorganicznych energię pochodzącą z utleniania prostych, jednowęglowych związków organicznych (np. metanu, mrówczanu) do dwutlenku węgla.

Słownik

bakteriochlorofil

barwnik fotosyntetyczny uczestniczących w zamianie energii świetlnej na energię chemiczną u bakterii. Różni się on od chlorofilu roślin budową (różnice w pierścieniu tetrapiolowym) i połączeniem z komponentem białkowym. W efekcie widmo absorpcji światła bakteriochlorofilu jest przesunięte w kierunku fal dłuższych, tj. światła czerwonego i podczerwonego. Bakteriochlorofil oznaczany jest literami od *a* do *g*

chlorosomy

pęcherzykowate struktury w komórkach bakterii zielonych i heliobakterii, zawierające barwnik fotosyntetyczny i odpowiadające za pochłanianie światła

chromatofory

pęcherzyki zawierające bakteriochlorofil, powstające jako wpuklenia błony komórkowej, występujące u bakterii purpurowych

fosforylacja

proces wytwarzania ATP z ADP przy udziale energii świetlnej; proces ten zachodzi w fazie jasnej fotosyntezy w chloroplastach

fotolitoautotrofy

organizmy produkujące związki organiczne ze związków nieorganicznych przy udziale światła

fotoorganoheterotrofy

organizmy wykorzystujące energię świetlną oraz związki organiczne jako donory elektronów i źródło węgla

fototrofy anoksygenowe

organizmy prowadzące fotosyntezę beztlenową

łańcuch przepływu elektronów

zespół związków chemicznych (przenośników elektronów) uszeregowanych według wzrastających potencjałów oksydoredukcyjnych; jeden z etapów oddychania komórkowego

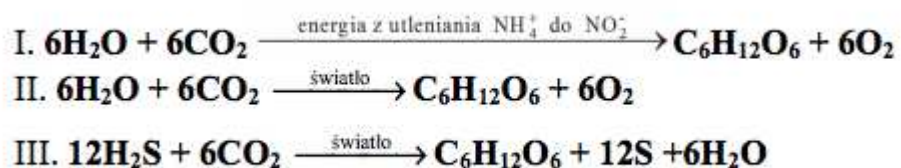
Film samouczek

Polecenie 1

Wykonaj poniższe zadania, a następnie obejrzyj film pt. „Beztlenowa fotosynteza bakteryjna” i sprawdź, czy twoje odpowiedzi są prawidłowe.

Ćwiczenie 1

Poniżej przedstawiono trzy sumaryczne reakcje opisujące asymilację dwutlenku węgla przez różne grupy organizmów autotroficznych.



Źródło: CKE, domena publiczna.

Podaj, która z poniższych reakcji jest charakterystyczna dla chemosyntezy, a która dla fotosyntezy przeprowadzanej przez niektóre bakterie siarkowe, np. purpurowe.

W każdym przypadku uzasadnij swój wybór.

Ćwiczenie 2

Siarkowe bakterie zielone to organizmy przystosowane do warunków beztlenowych (nie tolerują w ogóle obecności tlenu), panujących w osadach dennych jezior i innych środowiskach niezawierających tlenu. W ich komórkach znajduje się bakteriochlorofil, a źródłem wodoru do procesu fotosyntezy jest nie woda, ale siarkowodór.

Na podstawie: J. Kopcewicz, S. Lewak, *Fizjologia roślin*, Warszawa 2002. Źródło: CKE, domena publiczna.

Wykaż związek między źródłem wodoru wykorzystywanym w procesie fotosyntezy a przystosowaniem zielonych bakterii siarkowych do życia w środowisku, w którym one występują.

Film dostępny pod adresem <https://zpe.gov.pl/a/D263APSof>

Beztlenowa fotosynteza bakteryjna.

Źródło: Inga Wójtowicz, reż. Englishsquare.pl Sp. z o.o.

Film nawiązujący do treści materiału.

Polecenie 2

Odnosząc się do treści filmu pt. „Beztlenowa fotosynteza bakteryjna”, wyjaśnij, w jaki sposób dochodzi do asymilacji dwutlenku węgla u bakterii fotosyntetyzujących. Wskaż fazę fotosyntezy, w czasie której występuje ten proces.

Polecenie 3

Wyjaśnij różnicę pomiędzy fotosyntezą oksygeniczną a fotosyntezą anoksygeniczną.

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



Wskaż poprawne dokończenie poniższego zdania.

Zielone bakterie siarkowe są...

- ☐ względnymi tlenowcami.
- ☐ bezwzględnymi beztlenowcami.
- ☐ względnymi beztlenowcami.
- ☐ bezwzględnymi tlenowcami.

Ćwiczenie 2



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

Stwierdzenie	Prawda	Fałsz
Proces fotosyntezy polega na produkcji substratów nieorganicznych takich jak dwutlenek węgla i woda z cukrów prostych i złożonych.	☐	☐
Heliobakterie żyją wyłącznie w warunkach beztlenowych.	☐	☐
Bakterie purpurowe bezsiarkowe mogą odżywiać się zarówno autotroficznie, jak i heterotroficznie.	☐	☐
Chromatofory powstają z wpuklenia błony komórkowej.	☐	☐

Ćwiczenie 3



Porównaj fotosyntezę tlenową i fotosyntezę beztlenową – pogrupuj odpowiednio poniższe stwierdzenia.

Fotosynteza tlenowa

Ten rodzaj fotosyntezy zachodzi u większości fotoautotrofów.

Źródłem elektronów w reakcjach zależnych od światła może być np. siarkowodór.

Fotosynteza beztlenowa

Tlen wydzielający się podczas fotosyntezy pochodzi z wody.

Ten rodzaj fotosyntezy przeprowadzają bakterie purpurowe.

Produktem ubocznym nie jest tlen.

W czasie fotosyntezy wydziela się tlen.

Ćwiczenie 4



Uzupełnij tekst, wybierając odpowiednie sformułowania spośród podanych propozycji.

Najlepiej poznaną grupą fototrofów anoksygenowych są ☐
 ☐. Występują one powszechnie w ☐
w przewodzie pokarmowym zwierząt ☐. Nazwa grupy pochodzi od posiadanych
 ☐ ☐ nadających tym bakteriom
charakterystyczny kolor. Barwnikiem pochłaniającym światło u tych bakterii jest
 ☐ ☐. Pochłania on ☐ ☐
widmo światła ☐ ☐ chlorofil roślinny i jest umieszczony w
 ☐ ☐. Podczas fotosyntezy zachodzi w nich
 ☐ ☐. Proces ten
zachodzi ☐ ☐ potencjału
oksydoredukcyjnego i napędzany jest uzyskaną dzięki ☐
 ☐ siłą protonomotoryczną.

Ćwiczenie 5



Uzupełnij tabelę, tak aby otrzymać porównanie fotosyntezy u różnych grup bakterii beztlenowych.

Nazwa bakterii	Rodzaj	Warunki przebiegu fotosyntezy	Donor elektronów do redukcji węgla	Źródło węgla do syntezy cukru
	<i>Chloroflexi</i>		Związki siarkowe i związki organiczne	CO ₂ i związki organiczne
	<i>Heliobacterium</i>			Związki organiczne
Zielone bakterie siarkowe	<i>Chlorobium</i>	Jedynie beztlenowe		

CO₂ i związki organiczne

Tlenowe i beztlenowe

Nitkowate fototrofy anoksygenowe (zielone bakterie nitkowate)

Heliobakterie

Związki siarkowe

Jedynie beztlenowe

Związki organiczne

Ćwiczenie 6



W pracowni biologicznej uczniowie założyli wodną hodowlę bakterii autotroficznych. Po kilku tygodniach w górnej części słupa wody pojawiła się biaława płytka utworzona z pewnej grupy bakterii, a na powierzchni mułu, od strony oświetlonej, nalot innej grupy bakterii.

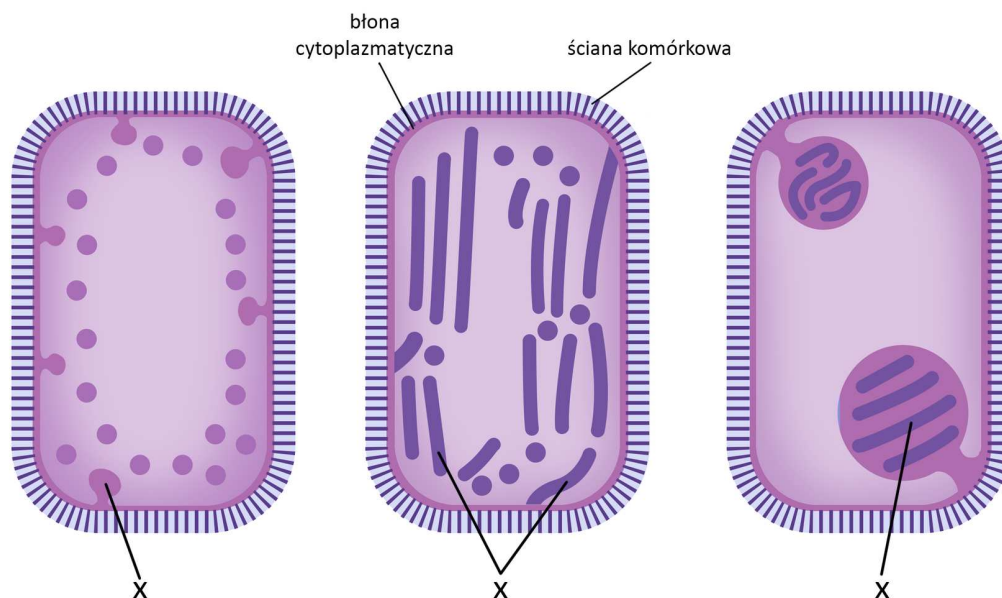
Uczniowie mieli za zadanie wykonać preparat zawierający bakterie purpurowe.

Wyjaśnij, z której warstwy powinni pobrać materiał badawczy.

Ćwiczenie 7



Na niżej zamieszczonych ilustracjach, przedstawiających budowę trzech komórek bakterii purpurowych, literą „X” oznaczono pewien element.



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

Podaj nazwę tego elementu oraz wyjaśnij, jaką pełni rolę w komórkach bakterii purpurowych.

Ćwiczenie 8



Oceń prawdziwość stwierdzenia: „Zielone bakterie siarkowe uzależnione są od obecności tlenu i związków siarki”. Swoją odpowiedź uzasadnij.

Dla nauczyciela

Scenariusz lekcji

Autor: Anna Juwan

Przedmiot: Biologia

Temat: Beztlenowa fotosynteza bakteryjna

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

Podstawa programowa:

Zakres rozszerzony

Treści nauczania – wymagania szczegółowe

VI. Bakterie i archeowce. Uczeń:

3) przedstawia czynności życiowe bakterii: odżywanie (chemoautotrofizm, fotoautotrofizm, heterotrofizm); oddychanie beztlenowe (denitryfikacja, fermentacja) i tlenowe; rozmnażanie;

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 zjawisko fotosyntezy beztlenowej.
- Określisz, jakie organizmy zaliczamy do fototrofów anoksygenowych.
- Przedstawisz przykłady bakterii prowadzących fotosyntezę beztlenową.
- Omówisz różnice między procesami fotosyntezy beztlenowej prowadzonymi przez poszczególne grupy bakterii.

Strategie nauczania:

- konstruktywizm;
- konektywizm.

Metody i techniki nauczania:

- z użyciem komputera;
- ćwiczenia interaktywne;
- film samouczek;
- dyskusja.

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.

Przebieg lekcji

Faza wstępna:

1. Prowadzący lekcję wyświetla treści z sekcji „Wprowadzenie”. Informuje uczniów o planowanym przebiegu lekcji i przedstawia kryteria sukcesu.

Faza realizacyjna:

1. **Praca z tekstem.** Uczniowie indywidualnie zapoznają się z treścią z sekcji „Przeczytaj”.
2. Nauczyciel dzieli klasę na sześć grup i informuje, że zadaniem uczniów będzie ustalenie różnic między fotosyntezą tlenową a beztlenową. Przydziela każdej grupie jedno zagadnienie do opracowania:
 - grupa I – przebieg fotosyntezy tlenowej i beztlenowej w fazie ciemnej;
 - grupa II – przebieg fotosyntezy tlenowej i beztlenowej w fazie jasnej;
 - grupa III – barwniki fotosyntetyczne u organizmów przeprowadzających fotosyntezę tlenową i beztlenową;
 - grupa IV – budowa aparatu fotosyntetycznego u organizmów przeprowadzających fotosyntezę tlenową i beztlenową.Uczniowie powinni w pierwszej kolejności skorzystać z informacji zawartych w e-materiale (również w lekcji „Fotosynteza jako reakcja anaboliczna”). Po upływie wyznaczonego czasu (6 min) liderzy grup prezentują rezultaty pracy na forum klasy. Wszyscy uczniowie komentują propozycje grup, zwracając uwagę na to, co jest nieprecyzyjne lub niezrozumiałe.
3. Uczniowie samodzielnie wykonują ćwiczenia zamieszczone w sekcji „Film samouczek”. Następnie nauczyciel wyświetla film pt. „Beztlenowa fotosynteza bakteryjna”, a uczniowie porównują udzielone przez siebie odpowiedzi z rozwiązaniami zaprezentowanymi w filmie. Nauczyciel wyjaśnia ewentualne wątpliwości uczniów.
4. Uczniowie, pracując w parach, wykonują polecenie nr 2 („Wyjaśnij różnicę pomiędzy fotosyntezą oksygeniczną a fotosyntezą anoksygeniczną”). Nauczyciel w razie potrzeby naprowadza ich na prawidłowe rozwiązanie.

5. **Utrwalenie wiedzy i umiejętności.** Uczniowie tworzą niewielkie, 3- lub 4-osobowe zespoły i wykonują ćwiczenie nr 6 (polegające na wskazaniu miejsca pobrania materiału badawczego na podstawie opisu badania; nauczyciel prosi dodatkowo o zaproponowanie problemu badawczego oraz hipotezy) z sekcji „Sprawdź się”. Następnie wskazany zespół prezentuje przygotowane odpowiedzi. Klasa ocenia ich poprawność. Nauczyciel wyjaśnia ewentualne wątpliwości.
6. Nauczyciel udostępnia uczniom za pomocą tablicy interaktywnej lub rzutnika ćwiczenie nr 8 (w którym uczniowie mają za zadanie ocenić prawdziwość stwierdzenia: „Rozmieszczenie bakterii purpurowych uzależnione jest od obecności tlenu i związków siarki”). Uczniowie pracują indywidualnie. Po zalogowaniu się na telefonie, tablecie lub komputerze przystępują do rozwiązywania zadania. Nauczyciel obserwuje postęp pracy i rezultaty. Prosi wybranego ucznia, który wskazał błędne rozwiązanie, o uzasadnienie swojej decyzji i zaprasza pozostałych uczniów do dyskusji.

Faza podsumowująca:

1. Uczniowie rozwiązują ćwiczenie nr 4 (typu „prawda/fałsz”) z sekcji „Sprawdź się”. Następnie przygotowują podobne zadanie dla osoby z pary: wymyślają trzy prawdziwe lub fałszywe zdania dotyczące tematu lekcji. Uczniowie wykonują ćwiczenie otrzymane od kolegi lub koleżanki.
2. Nauczyciel zadaje pytania w celu sprawdzenia stopnia opanowania wiedzy przez uczniów:
 - Jak byście krótko zdefiniowali fotosyntezę beztlenową?
 - Jakie organizmy zaliczamy do fototrofów anoksygenowych?
 - Jakie rodzaje bakterii prowadzą fotosyntezę beztlenową?

Praca domowa:

1. Wykonaj ćwiczenia 1, 2, 3, 5 oraz 7 z sekcji „Sprawdź się”.

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.

Dodatkowe wskazówki metodyczne:

- Multimedia zamieszczone w sekcji „Film samouczek” można wykorzystać w fazie wstępnej zajęć, w celu wzbudzenia zaciekawienia uczniów.