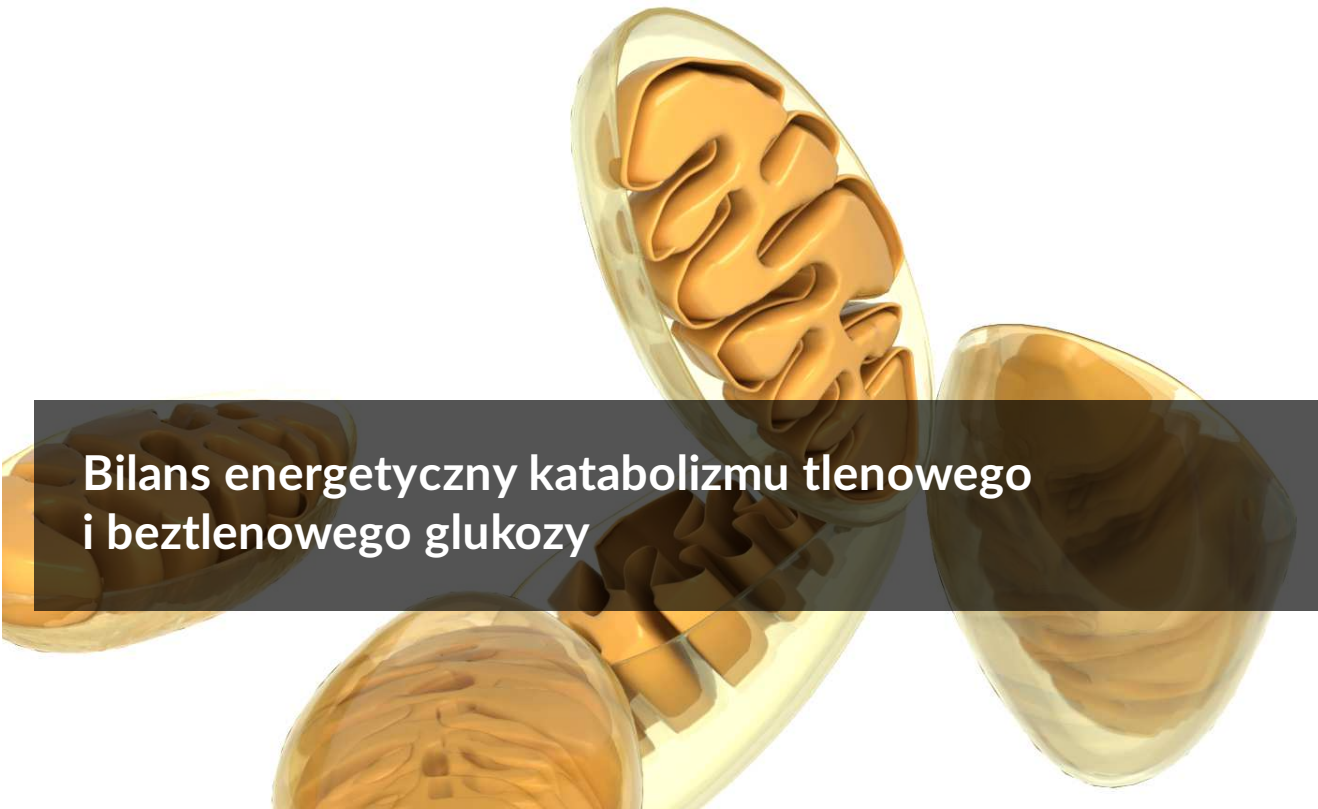




Bilans energetyczny katabolizmu tlenowego i beztlenowego glukozy

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



Bilans energetyczny katabolizmu tlenowego i beztlenowego glukozy

Macierz mitochondrialna, inaczej matriks, to przestrzeń wewnątrz mitochondrium ograniczona błoną wewnętrzną. Matriks wypełnia wodny roztwór, w którym zawieszono są białka, w tym enzymy odpowiedzialne za przeprowadzanie cyklu Krebsa.

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

Katabolizm cukrów umożliwia organizmom pozyskanie energii wykorzystywanej następnie do innych procesów metabolicznych w komórce. Energia ta jest gromadzona w wiązaniach wysokoenergetycznych ATP i może być z nich uwalniana w miejscu zapotrzebowania. Nie można jednak magazynować energii w takiej formie na dłużej. Okres półtrwania ATP wynosi około trzydziestu sekund. Dlatego kluczowe znaczenie dla życia komórki ma nieustanne wytwarzanie ATP w tlenowych i beztlenowych przemianach glukozy.

Twoje cele

- Porównasz drogi przemiany pirogronianu w fermentacji alkoholowej, mleczanowej i w oddychaniu tlenowym.
- Wyjaśnisz, skąd biorą się różnice ilości energii pozyskanej w oddychaniu tlenowym i beztlenowym.

Przeczytaj

Fermentacja jest sposobem pozyskiwania energii bez udziału tlenu. Obecnie rozróżnia się fermentację od oddychania beztlenowego ze względu na rodzaj związku, który jest ostatecznym akceptorem elektronów. W przypadku fermentacji jest to związek organiczny, natomiast w oddychaniu beztlenowym – związek nieorganiczny. Oddychanie beztlenowe, podobnie jak tlenowe wykorzystuje łańcuch oddechowy do wytworzenia gradientu elektrochemicznego, który następnie napędza syntezę cząsteczek [ATP](#).

Znaczenie glikolizy w pozyskiwaniu energii

Mimo że fermentacja i [oddychanie tlenowe](#) to alternatywne szlaki umożliwiające pozyskanie energii z cukrów, [glikoliza](#) jest pierwszym etapem obu. Glukoza jest wtedy utleniana do pirogronianu. W obu szlakach utleniaczem jest NAD^+ , a podczas przemian produktów pośrednich glikolizy generuje się zysk energetyczny w postaci dwóch cząsteczek ATP netto.

Adenozyno-5'-trifosforan, inaczej ATP, to cząsteczka niezwykle ważna dla funkcjonowania każdej komórki. Stanowi nośnik energii chemicznej, używanej w metabolizmie komórki.

Źródło: Wikimedia Commons, domena publiczna.

Różnice w ilości ATP powstałego podczas przemian beztlenowych i tlenowych

Fermentacja i oddychanie tlenowe różnią się sposobem dalszego przetwarzania pirogronianu. Podczas tego drugiego szlaku można pozyskać więcej energii z glukozy

niż dwie cząsteczki ATP netto, które uzyskiwane są drogą fermentacji.

Dzieje się tak, gdyż powstały w wyniku glikolizy pirogronian wnika do mitochondrium, gdzie ulega kolejnym przemianom (reakcja pomostowa, cykl Krebsa) aż do całkowitego utlenienia do CO_2 i H_2O . Dzięki temu energia jest dalej pozyskiwana i magazynowana w uniwersalnych przenośnikach protonów i elektronów oraz ATP, który w cyklu Krebsa powstaje na drodze fosforylacji substratowej. Energia związana w cząsteczkach $\text{NADH}+\text{H}^+$ i FADH_2 , powstałych w reakcji pomostowej oraz w cyklu Krebsa, jest przekazywana na łańcuch transportu elektronów ([łańcuch oddechowy](#)), który napędza [fosforylację oksydacyjną](#). W efekcie powstaną kolejne cząsteczki ATP – 1,5 cząsteczki ATP z każdego FADH_2 oraz 2,5 cząsteczki ATP z $\text{NADH}+\text{H}^+$. Zysk energetyczny z utlenienia jednej cząsteczki glukozy jest więc kilkunastokrotnie większy niż z fermentacji i może wynosić około 32. cząsteczek ATP netto.

Zachodzące w komórce beztlenowy katabolizm glukozy (fermentacja mlekowa, fermentacja alkoholowa – w cytoplazmie) oraz katabolizm tlenowy glukozy (glikoliza – w cytoplazmie, a następnie reakcja pomostowa, cykl Krebsa i łańcuch oddechowy – w mitochondrium).

Źródło: Inga Wójtowicz, licencja: CC BY-SA 3.0.

Drogi odzyskiwania NAD^+ do przemian katabolicznych glukozy

Aby [glikoliza](#) mogła zachodzić w sposób ciągły, komórka musi mieć dostęp do glukozy oraz NAD^+ . $\text{NADH}+\text{H}^+$, który jest produktem glikolizy, musi być z powrotem utleniany do NAD^+ w celu podtrzymania reakcji glikolitycznych. Podczas fermentacji jest to możliwe dzięki redukcji pirogronianu do kwasu mlekowego ([fermentacja mlekowa](#)) lub aldehydu octowego do etanolu ([fermentacja alkoholowa](#)), gdzie reduktorem jest $\text{NADH}+\text{H}^+$, ulegający tym samym utlenieniu do NAD^+ . W oddychaniu tlenowym do regeneracji NAD^+ dochodzi podczas transportu elektronów na łańcuchu oddechowym zlokalizowanym na wewnętrznej błonie mitochondrium.

Bilans energetyczny katabolizmu tlenowego i beztlenowego cząsteczki glukozy

Cecha	Oddychanie tlenowe	Fermentacja
Typ fosforylacji	substratowa , oksydacyjna	substratowa
Warunki	tlenowe	beztlenowe
Umiejscowienie	cytoplazma i mitochondrium	cytoplazma
Etapy	glikoliza, reakcja pomostowa, cykl Krebsa, łańcuch oddechowy	glikoliza, redukcja pirogronianu lub aldehydu octowego
Produkty	CO ₂ , H ₂ O	kwas mlekowy, etanol, CO ₂
Zysk energetyczny netto	ok. 32 ATP	2 ATP

Słownik

ATP (adenozyno-5'-trifosforan)

organiczny związek chemiczny, nośnik energii zgromadzonej w wiązaniach wysokoenergetycznych, a używanej w metabolizmie komórki

fermentacja alkoholowa

beztlenowy, enzymatyczny rozkład cukrów na etanol i dwutlenek węgla

fermentacja mlekowa

beztlenowy proces rozkładu cukrów prostych na kwas mlekowy

fosforylacja oksydacyjna

zachodzi w wewnętrznej błonie mitochondrialnej u wszystkich organizmów tlenowych oraz w wewnątrzkomórkowych wpukleniach błony komórkowej u bakterii; polega na wytwarzaniu ATP przy wykorzystaniu energii uwalnianej w łańcuchu oddechowym

fosforylacja substratowa

zachodzi w cytozolu komórki w początkowych etapach oddychania komórkowego oraz podczas fermentacji; polega na przyłączeniu do ADP reszty fosforanowej, która została przeniesiona z cząsteczki substratu organicznego; podczas tego procesu wykorzystywana jest energia uwolniona na skutek zerwania wysokoenergetycznego wiązania, które łączy resztę fosforanową z substratem

glikoliza

proces przemiany glukozy w dwie cząsteczki pirogronianu; dostarcza energii w postaci dwóch cząsteczek kwasu adenozynotrifosforowego (ATP) oraz substancji wyjściowych do dalszych przemian metabolicznych (cyklu Krebsa i fosforylacji oksydacyjnej)

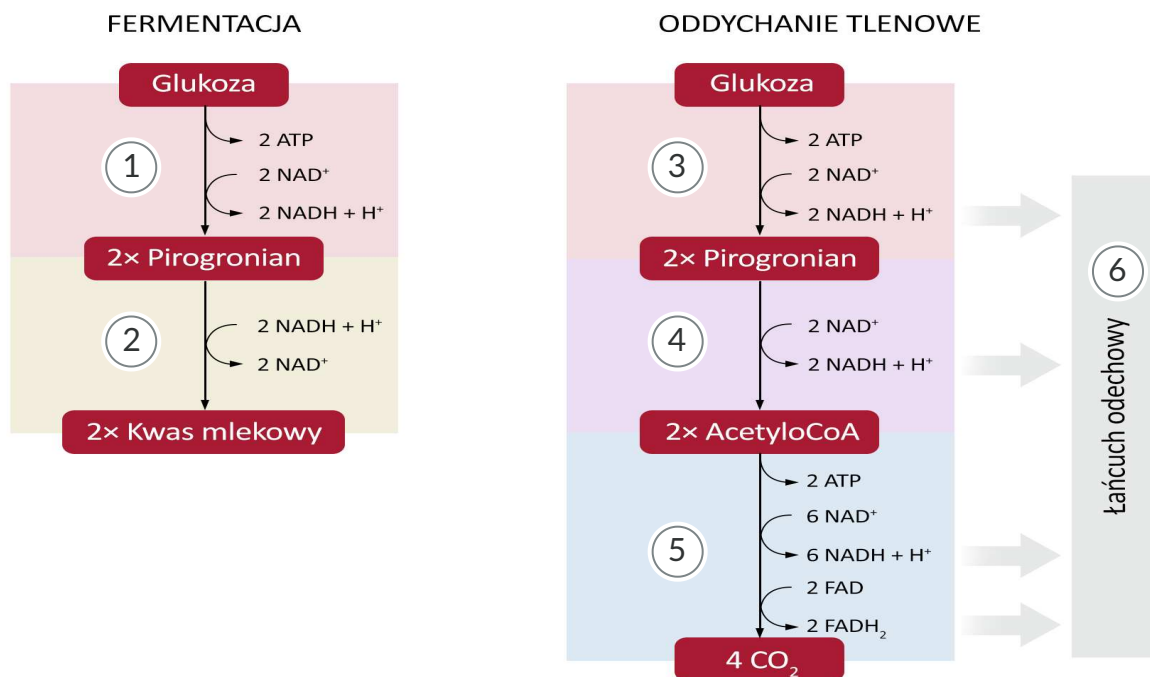
łańcuch oddechowy

łańcuch transportu elektronów, końcowy szlak utleniania cząsteczek różnych substratów energetycznych zlokalizowany w błonie wewnętrznej mitochondrium; jego substratami są bogate energetycznie (zawierające pary elektronów o wysokim potencjale przenoszenia) zredukowane nukleotydy: NADH i FADH_2 pochodzące z cyklu kwasu cytrynowego, glikolizy i β -oksydacji; energia swobodna uwalniana podczas przenoszenia elektronów na tlen cząsteczkowy jest wykorzystywana do syntezy ATP (fosforylacja oksydacyjna); utlenianie sprzężone jest z fosforylacją dzięki gradientowi protonowemu wytworzonemu w poprzek błony mitochondrialnej

oddychanie tlenowe

enzymatyczny proces kataboliczny, polegający na utlenianiu związków organicznych do dwutlenku węgla i wody w obecności tlenu

Grafika interaktywna



1

Glikoliza

2

Redukcja pirogronianu

3

Glikoliza

4

Reakcja pomostowa

5

Cykl Krebsa

6

NADH+H⁺ oraz FADH₂ powstałe w pierwszych trzech etapach oddychania komórkowego są utleniane na łańcuchu oddechowym, w wyniku czego z utleniania każdej cząsteczki NADH+H⁺ powstaje kolejne 2,5 cząsteczki ATP, a z każdej cząsteczki FADH₂ powstaje 1,5 cząsteczki ATP.

Uproszczony przebieg fermentacji i oddychania tlenowego.

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

Polecenie 1

Korzystając z ilustracji interaktywnej przedstaw bilans energetyczny fermentacji i oddychania tlenowego.

Polecenie 2

Wyjaśnij, skąd się biorą różnice w ilości energii pozyskanej wskutek oddychania tlenowego i fermentacji.

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



Ćwiczenie 2



Ćwiczenie 3



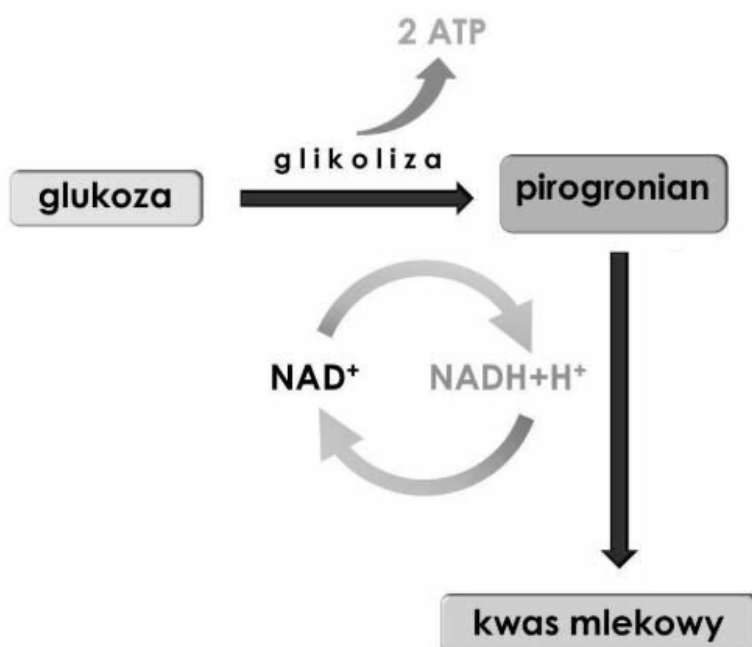
Ćwiczenie 4



Ćwiczenie 5



Ćwiczenie 6



Schemat przebiegu fermentacji.

Źródło: Inga Wójtowicz, licencja: CC BY-SA 3.0.

Ćwiczenie 7





Dla nauczyciela

Autor: Anna Juwan

Przedmiot: Biologia

Temat: Bilans energetyczny katabolizmu tlenowego i beztlenowego glukozy

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

Podstawa programowa:

Zakres podstawowy

Treści nauczania – wymagania szczegółowe

III. Energia i metabolizm.

3. Oddychanie komórkowe. Uczeń:

3) porównuje na podstawie analizy schematu, drogi przemiany pirogronianu jako produktu glikolizy w fermentacji mleczanowej i w oddychaniu tlenowym;

4) wyjaśnia, dlaczego utlenianie substratu energetycznego w warunkach tlenowych dostarcza więcej energii niż w warunkach beztlenowych;

Zakres rozszerzony

Treści nauczania – wymagania szczegółowe

III. Energia i metabolizm.

5. Pozyskiwanie energii użytecznej biologicznie. Uczeń:

2) analizuje na podstawie schematu przebieg glikolizy, reakcji pomostowej i cyklu Krebsa, wyróżnia substraty i produkty tych procesów;

5) porównuje drogi przemiany pirogronianu w fermentacji alkoholowej, mleczanowej i w oddychaniu tlenowym;

6) wyjaśnia, dlaczego utlenianie substratu energetycznego w warunkach tlenowych dostarcza więcej energii niż w warunkach beztlenowych;

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):

- Porównasz drogi przemiany pirogronianu w fermentacji alkoholowej, mleczanowej i w oddychaniu tlenowym.

- Wyjaśnisz, skąd biorą się różnice ilości energii pozyskanej w oddychaniu tlenowym i beztlenowym.

Strategie nauczania:

- konstruktywizm;
- konektywizm.

Metody i techniki nauczania:

- z użyciem komputera;
- ćwiczenia interaktywne;
- praca z filmem;
- śniegowa kula;
- 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;
- telefony z dostępem do internetu.

Przed lekcją:

1. **Przygotowanie do zajęć.** Nauczyciel loguje się na platformie i udostępnia uczniom e-materiał „Bilans energetyczny katabolizmu tlenowego i beztlenowego glukozy”. Prosi uczestników zajęć o rozwiązanie ćwiczenia nr 2 (polegającego na przyporządkowaniu etapów oddychania komórkowego do miejsca ich przebiegu w komórce) z sekcji „Sprawdź się” na podstawie treści w sekcji „Przeczytaj”.

Przebieg lekcji

Faza wstępna:

1. Nauczyciel wyświetla i odczytuje temat lekcji oraz zawarte w sekcji „Wprowadzenie” cele zajęć. Prosi uczniów lub wybraną osobę o sformułowanie kryteriów sukcesu.
2. **Raport z przygotowań.** Nauczyciel, za pomocą dostępnego w panelu użytkownika raportu, sprawdza, którzy uczniowie zapoznali się z udostępnionym e-materiałem

i wykonali zadane ćwiczenie. Jeśli odpowiedzi uczniów bardzo się różnią lub ćwiczenie okazało się trudne, nauczyciel omawia je na forum.

Faza realizacyjna:

1. **Praca z multimediami („Grafika interaktywna”).** Uczniowie zapoznają się z filmem udostępnionym przez nauczyciela. Wymagają najważniejszych informacji.
2. **Kula śniegowa.** Uczniowie rozwiązują polecenia do filmu (dotyczące różnic w ilości pozyskanej energii wskutek oddychania tlenowego i beztlenowego oraz rodzajów związków, które mogą być ostatecznymi akceptorami elektronów w przypadku oddychania tlenowego i oddychania beztlenowego), pracując metodą kuli śniegowej. 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 prezentują na forum klasy uzgodnione w grupie odpowiedzi.
3. **Utrwalenie wiedzy i umiejętności.** Uczniowie samodzielnie wykonują ćwiczenie nr 7 (w którym mają za zadanie wyjaśnić – na podstawie schematu – znaczenie przemian pirogronianu podczas fermentacji mlekowej) 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.
4. Uczniowie w 4-osobowych grupach wykonują ćwiczenie nr 8 (w którym mają za zadanie wyjaśnić, dlaczego oddychanie tlenowe jest korzystniejsze z punktu widzenia energetycznego komórki, uwzględniając w odpowiedzi liczbę wyprodukowanych cząsteczek ATP w wyniku rozkładu jednej cząsteczki glukozy), a po upływie wyznaczonego czasu dzielą się swoimi odpowiedziami na forum klasy.

Faza podsumowująca:

1. Nauczyciel dzieli klasę na trzy grupy. Każdy zespół wyłania swojego lidera i wspólnie układa 10 pytań związanych z tematem lekcji. Pytania powinny być tak ułożone, żeby przeciwnicy mogli na nie odpowiedzieć jednym wyrazem. Nauczyciel inicjuje grę, zadając wszystkim grupom własne pytanie. Grupa, której lider zgłosi się pierwszy i odpowie poprawnie, rozpoczyna rywalizację. Nauczyciel nadaje kolejne numery pozostałym grupom, a następnie zapisuje je na tablicy. Lider grupy nr 1 zadaje pytanie wybranemu członkowi drużyny nr 2. Jeśli osoba ta

poprawnie odpowie na pytanie, jej zespół zdobywa punkt, a ona sama zadaje pytanie wskazanemu przez nią członkowi grupy nr 3. Jeśli jednak członek grupy nr 2 nie będzie potrafił udzielić poprawnej odpowiedzi, lider grupy nr 1 sam odpowiada na zadane przez siebie pytanie, a jego drużyna otrzymuje punkt. Następnie zadaje pytanie członkowi grupy nr 3 itd. Gra kończy się po zadaniu 10 pytań, a wygrywa grupa, która uzyska najwięcej punktów.

2. Nauczyciel wyświetla na tablicy temat lekcji i cele zawarte w sekcji „Wprowadzenie”. W tym kontekście dokonuje podsumowania najważniejszych informacji przedstawionych na lekcji oraz wyjaśnia wątpliwości uczniów.

Praca domowa:

1. Wykonaj ćwiczenia od 3 do 6 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:

- Uczniowie mogą wykorzystać multimedium z sekcji „Grafika interaktywna” w celu przygotowania się do lekcji powtórkowej.