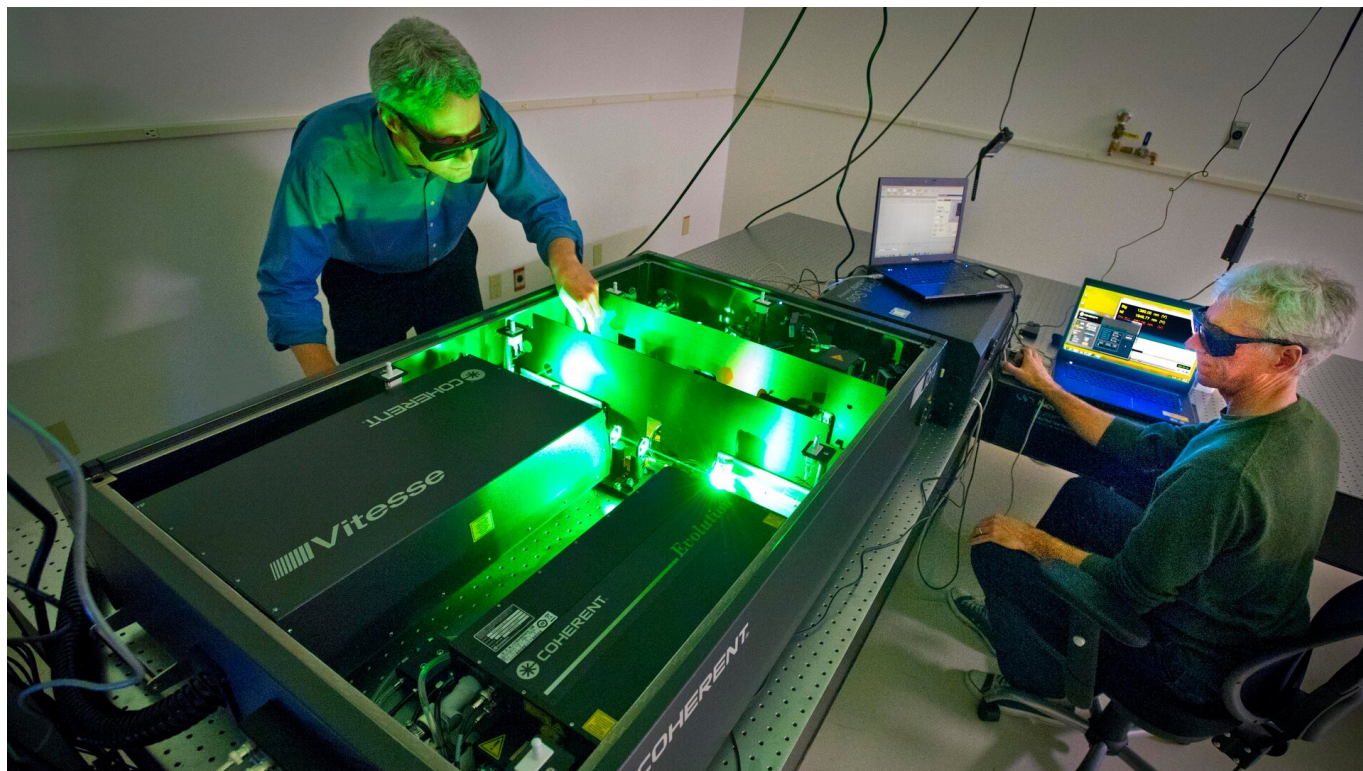




Sztuczne systemy naśladowujące fotosyntezę

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



Sztuczne systemy naśladujące fotosyntezę

Fotosynteza to jeden z najważniejszych procesów metabolicznych, w którym energia słoneczna jest przetwarzana na energię wiązań chemicznych. Sztuczne systemy naśladujące fotosyntezę mogą być używane do wytwarzania tzw. paliwa słonecznego.

Źródło: Wikimedia Commons, domena publiczna.

W 1874 roku pisarz Juliusz Verne w książce pod tytułem *Tajemnicza Wyspa* pisał: „Wierzę, że pewnego dnia woda zostanie wykorzystana jako paliwo, a wodór i tlen, z których się składa, użyte razem czy osobno, staną się niewyczerpalnym źródłem ciepła i światła o wydajności, jakiej węgiel nie jest w stanie zapewnić”. We współczesnym świecie przedstawiona fikcja literacka powoli staje się rzeczywistością. W laboratoriach naukowych na całym świecie trwają prace nad szeroko rozumianą „sztuczną fotosyntezą”. Projekty z pogranicza biologii, chemii i inżynierii pozwalają ze znaczną wydajnością naśladować naturalną fotosyntezę. Tempo prac i ich wielotorowość dają podstawy do przypuszczeń, że w niedalekiej przyszłości będziemy mieć dostęp do bezpiecznego dla środowiska, taniego i wydajnego źródła energii.

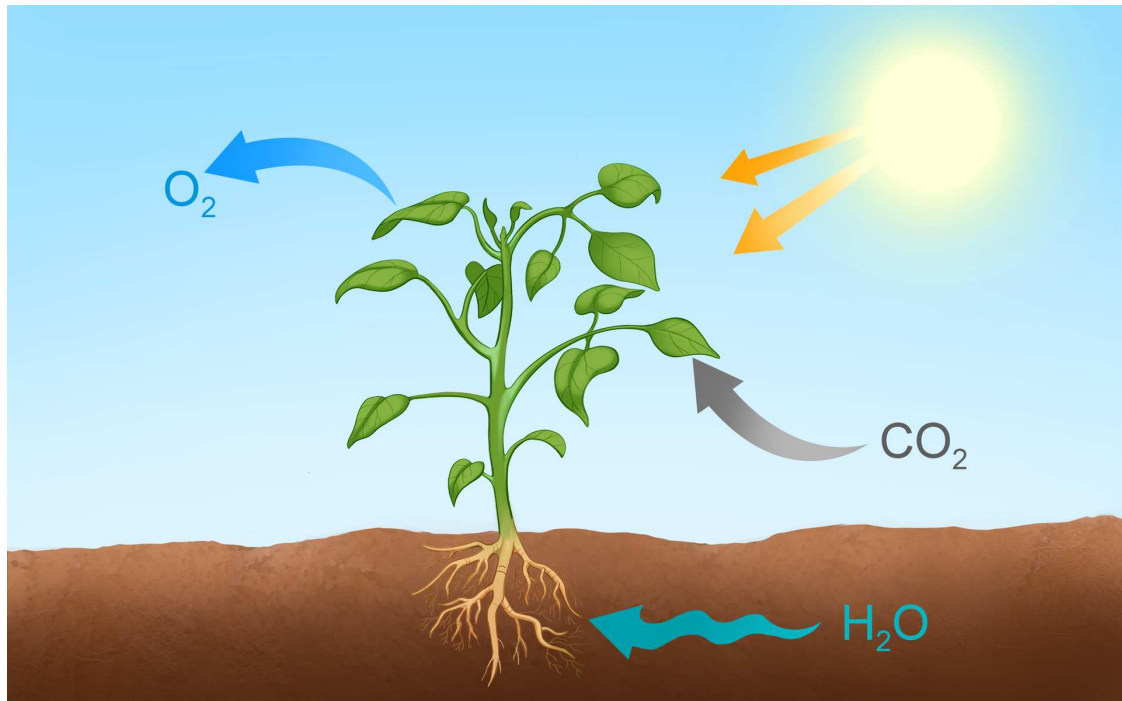
Twoje cele

- Przedstawisz ogólny przebieg i znaczenie fotosyntezy dla organizmów autotroficznych.
- Podasz nazwy prokariotycznych i eukariotycznych struktur komórkowych, w których zachodzi fotosynteza.
- Przedstawisz uproszczony przebieg fazy jasnej i ciemnej fotosyntezy.
- Wykażesz rolę głównych barwników fotosyntetycznych w pochłanianiu energii świetlnej.
- Omówisz przebieg sztucznej fotosyntezy.

- Wskażesz podobieństwa między naturalną fotosyntezą prowadzoną przez organizmy a sztuczną fotosyntezą prowadzoną przez urządzenia.
- Opiszysz kilka przykładów sztucznej fotosyntezy.
- Określisz gospodarcze znaczenie sztucznej fotosyntezy dla ochrony środowiska.

Przeczytaj

Fotosynteza to proces **metaboliczny** polegający na wytwarzaniu złożonych związków organicznych z prostych związków nieorganicznych przy udziale energii świetlnej i w obecności barwników fotosyntetycznych.



Substratami procesu fotosyntezy są dwutlenek węgla i woda; produktami węglowodany i tlen, a źródłem energii światło słoneczne. Węglowodany stanowią produkt główny, wykorzystywany w procesach oddychania wewnątrzkomórkowego lub do syntezy innych związków organicznych. Tlen jest produktem ubocznym, usuwanym do atmosfery.

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

Przebieg fotosyntezy

Fotosynteza przebiega w dwóch etapach:

Faza jasna fotosyntezy

1

Jest to faza zależna od światła, zachodząca w tylakoidach chloroplastów. Faza jasna wymaga obecności wody i dostępu do światła. Polega na transporcie elektronów wzdłuż białkowych przenośników wbudowanych w błony tylakoidów, które ostatecznie zostają wykorzystane do syntezy NADPH. Energia przemieszczających się elektronów jest wykorzystywana do wytworzenia gradientu protonowego niezbędnego do syntezy ATP. Produktami fazy jasnej są: ATP, NADPH i O_2 .

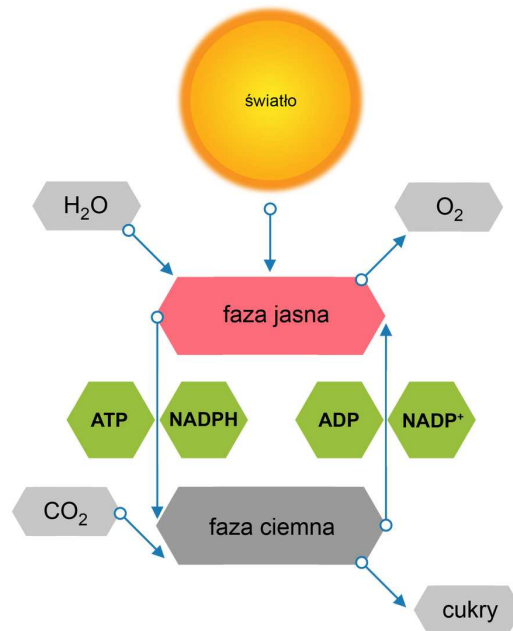
Faza jasna fotosyntezy zwana jest również fazą **przemiany energii**, ponieważ obejmuje przekształcanie energii świetlnej w energię wiązań chemicznych związków będących tzw. siłą asymilacyjną, czyli ATP i NADPH.

2

Faza ciemna fotosyntezy

Jest to faza niezależna od światła, zachodząca w stromie chloroplastów. Faza ciemna wymaga obecności dwutlenku węgla i dostępu do siły asymilacyjnej. Polega na asymilacji dwutlenku węgla i jego redukcji do związków organicznych przy udziale siły asymilacyjnej ATP i NADPH.

Faza ciemna fotosyntezy zwana jest również fazą **przemiany substancji**, ponieważ w jej przebiegu energia wiązań chemicznych ATP i NADPH jest wykorzystywana do wytworzenia związków organicznych.



Dwuetapowy przebieg procesu fotosyntezy.

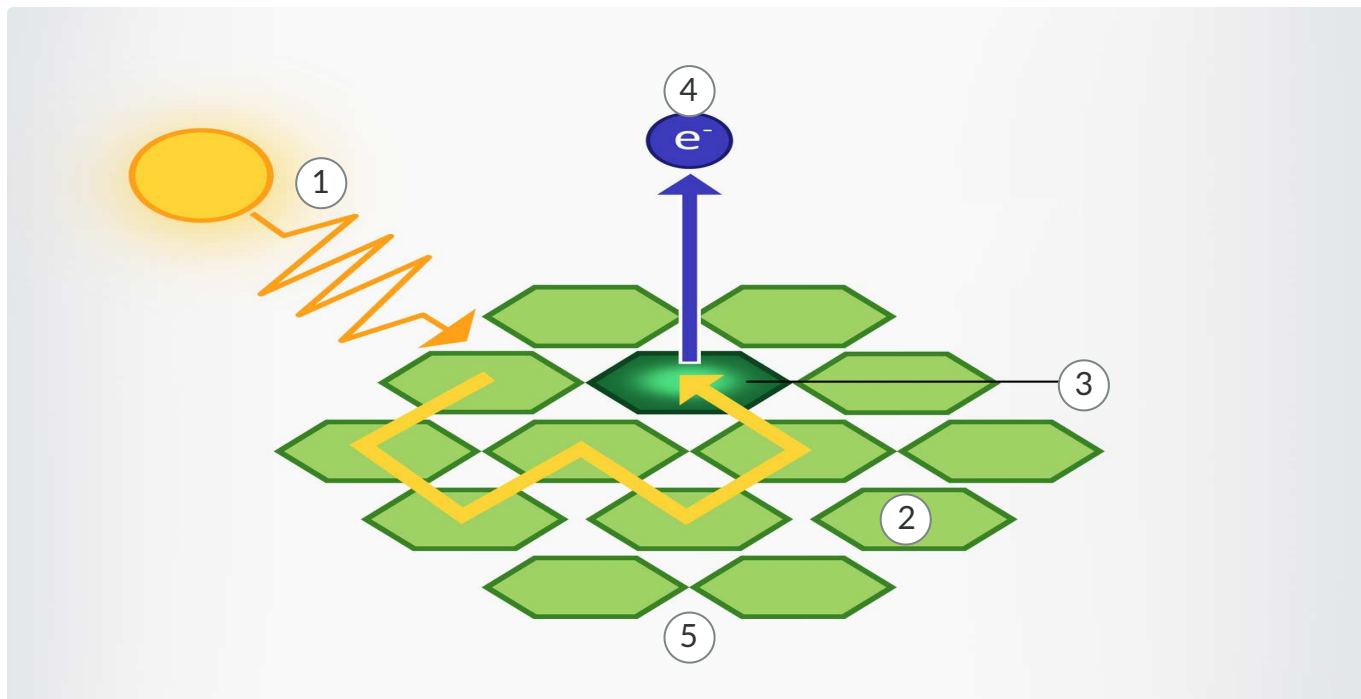
Źródło: Englishsquare.pl Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Główne barwniki fotosyntetyczne i ich organizacja

Głównymi barwnikami fotosyntetycznymi są:

- w **komórkach prokariotycznych** – bakteriochlorofil *a* (bakterie zielone i purpurowe) lub chlorofil *a* (sinice)
- w **komórkach eukariotycznych** – chlorofil *a*.

U organizmów eukariotycznych główne barwniki fotosyntetyczne razem z barwnikami dodatkowymi i białkami tworzą kompleksy, tzw. fotoukłady. Fotoukłady wbudowane są w błony tylakoidów gran i tylakoidów stromy. Pojedynczy fotoukład ma postać anteny, w centrum której znajdują się dwie cząsteczki chlorofilu *a*. Barwniki tworzące antenę absorbują kwanty światła, a następnie jego energię przekazują do centrum reakcji. W centrum fotoukładu dochodzi do wzbudzenia i wybicia elektronów, które transportowane są przez kompleksy białkowych przekaźników na odpowiednie akceptory.



1

Promieniowanie słoneczne

2

Cząsteczki barwników fotosyntetycznych

3

Centrum reakcji

4

Wybity elektron

5

Układ antenowy

Budowa fotoukładu.

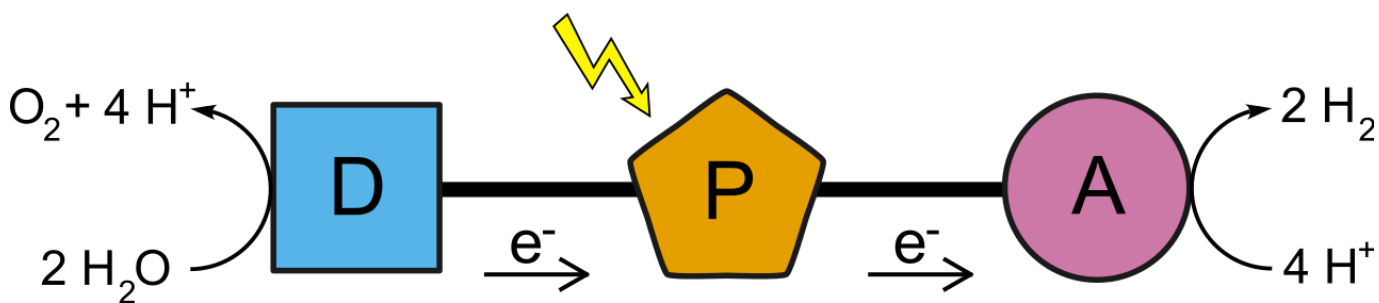
Źródło: Inga Wójtowicz, Englishsquare.pl Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Sztuczna fotosynteza

Sztuczna fotosynteza jest procesem przeprowadzanym przez urządzenia, które wykorzystują energię świetlną do przemian łatwo dostępnych i prostych związków chemicznych (wody, dwutlenku lub azotu) w celu otrzymania:

- wysokoenergetycznych związków chemicznych;
- płynnego paliwa.

Opracowanie wydajnych, tanich i bezpiecznych układów przeprowadzających sztuczną fotosyntezę wymaga użycia kompleksów chemicznych naśladujących przebieg naturalnej fotosyntezy. Sztuczny układ fotosyntetyczny składa się z co najmniej trzech komponentów tworzących tzw. triadę.



Uproszczony schemat przebiegu sztucznej fotosyntezy.

Przepływ elektronów pomiędzy miejscami D i A, gdzie D to kompleks chemiczny będący donorem elektronów i A to kompleks chemiczny będący akceptorem elektronów.

Transfer elektronów jest możliwy pod wpływem absorpcji energii świetlnej przez miejsce P.

Źródło: PatríciaR, Wikimedia Commons, licencja: CC 0 1.0.

Miejsce P zbiera światło i pełni rolę podobną do anten fotoukładów występujących w naturalnej fotosyntezie. W opracowanych sztucznych układach miejsce P tworzy kompleks chemiczny, w skład którego wchodzi metal – ruten (Ru) w formie jonu Ru^{2+} . Pod wpływem pochłoniętej energii świetlnej kompleks rutenu ulega wzbudzeniu i dochodzi do wybicia elektronów, które przekazywane są na miejsce A. Miejsce A to **katalizator**, będący **akceptorem** elektronów zdolnym do syntezy wodoru. Jednocześnie miejsce D tworzy kompleks chemiczny, w skład którego wchodzi metal – mangan (Mn) w formie jonu Mn^{2+} . Kompleks manganowy to katalizator zdolny do oddania elektronów na fotoutlenione miejsce P. Taki transfer elektronów skutkuje powstaniem kompleksu manganowego Mn^{3+} lub Mn^{4+} zdolnego do rozkładu wody według reakcji:



Przykłady sztucznej fotosyntezy

Opracowanie wydajnych i wytrzymałych układów przeprowadzających sztuczną fotosyntezę pozwoli wykorzystać światło słoneczne jako nieograniczone źródło energii. Najbardziej obiecujące rozwiązania technologiczne dotyczą pozyskiwania [paliwa słonecznego](#) i prądu elektrycznego ze sztucznych układów.

Przykłady projektów badawczych wykorzystujących sztuczną fotosyntezę:

Paliwo słoneczne

Trwają prace badawcze nad wyprodukowaniem paliwa słonecznego w postaci płynnego wodoru, metanolu lub etanolu, do produkcji których wykorzystuje się energię słoneczną. Spośród podanych przykładów wodór jest paliwem ekologicznym i bezpiecznym dla środowiska. Dzieje się tak dlatego, że powstaje on w wyniku rozkładu cząsteczek wody pod wpływem energii świetlnej, a jedynym produktem jego spalania jest woda.

Sztuczna błona komórkowa

Złoty liść

Gospodarcze znaczenie sztucznej fotosyntezy

Wykorzystanie układów przeprowadzających sztuczną fotosyntezę najprawdopodobniej umożliwi w przyszłości wydajną i bezpieczną dla środowiska produkcję prądu elektrycznego lub paliwa słonecznego. Jest nadzieja, że zmiana dotychczasowych sposobów pozyskiwania energii elektrycznej i rezygnacja ze spalania [paliw kopalnych](#) przyczyni się do redukcji ilości dwutlenku węgla w atmosferze, którego zawartość uległa znacznemu podwyższeniu po rewolucji przemysłowej.

Słownik

akceptor

cząsteczka, atom lub jon przyjmujące elektron, proton lub grupę funkcyjną od innej cząsteczki zwanej donorem

foton

najmniejsza porcja (kwant) pola elektromagnetycznego, wykazująca jednocześnie cechy cząstki i fali elektromagnetycznej

katalizator

substancja chemiczna przyspieszająca przebieg reakcji chemicznej przez obniżenie jej energii aktywacji

komórka eukariotyczna

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

komórka prokariotyczna

typ komórki, której informacja genetyczna leży bezpośrednio na terenie cytoplazmy i nie jest od niej oddzielona; komórki tego typu nie mają systemu błon wewnątrzkomórkowych i cytoszkieletu

metabolizm

całość przemian materii i energii zachodzących w żywych komórkach

paliwa kopalne

paliwa powstałe ze związków organicznych zalegających pod ziemią w warunkach beztlenowych i poddanych działaniu wysokiego ciśnienia, np. węgiel kamienny, węgiel brunatny, ropa naftowa, gaz ziemny

paliwo słoneczne

paliwo produkowane z prostych związków chemicznych przy udziale energii słonecznej; może zostać wykorzystane do transportu lub pozyskania energii elektrycznej

SZTUCZNE SYSTEMY NAŚLADUJĄCE FOTOSYNTEZĘ

Fotosynteza to jeden ze sposobów budowania biomasy i pozyskiwania energii. Zdolność jej przeprowadzania posiadły rośliny, niektóre bakterie i protisty roślinopodobne. Zachodząca przy udziale energii świetlnej fotosynteza prowadzi do przekształcenia związków nieorganicznych (dwutlenku węgla i wody) w związki organiczne, z wydzieleniem tlenu cząsteczkowego.

Do przeprowadzania fotosyntezy służą kompleksy zwane fotoukładami I i II. Pod wpływem światła o długości fali 680 nanometrów dochodzi do wybicia elektronu z centrum reakcji fotoukładu II. Wybity elektron wędruje na cząsteczkę feofityny, a następnie przekazywany jest przez szereg różnego rodzaju związków i kompleksów transportujących do fotoukładu I, gdzie zastępuje elektron wybity z jego centrum reakcji przez światło o długości fali 700 nanometrów.

Z kolei wybity z fotoukładu I elektron wędruje na cząsteczkę ferredoksyny i dzięki kolejnym przenośnikom trafia na NADP^+ . Natomiast brakujący elektron w fotoukładzie II zastępowany jest elektronem pozyskanym z cząsteczki wody w procesie jej fotolizy, którego produktem ubocznym jest tlen cząsteczkowy.

W 1912 roku włoski chemik Giacomo Ciamician, rozważając wykorzystanie ogromnych plantacji roślin jako źródeł energii, postanowił odtworzyć proces fotosyntezy w warunkach laboratoryjnych. Jego pomysł nie doczekał się jednak realizacji, a przynajmniej nie od razu. Zainteresowano się nim dopiero w latach 70. XX wieku przy okazji badań nad opracowaniem systemów, których celem miało być przekształcenie wody i dwutlenku węgla w węglowodory mogące służyć jako paliwo. Współcześnie definicja sztucznej fotosyntezy jest szersza i obejmuje każdy proces, który w warunkach laboratoryjnych odtwarza naturalne procesy fotosyntetyczne, a więc nie tylko procesy syntezy związków wysokoenergetycznych z prostych i łatwo dostępnych związków nieorganicznych, ale także procesy rozkładu wody przy udziale energii słonecznej w celu uzyskania wodoru.

Prace naukowców z lat 70. przyniosły efekty – dziś badacze dysponują ogólną zasadą budowy i funkcjonowania takich systemów. Trwają projekty badawcze, których celem jest wykorzystywanie sztucznej fotosyntezy w gospodarce człowieka. Naturalna

fotosynteza jest procesem o niewielkiej wydajności, wynoszącej od 0,1 do 8 procent. Wynika to z ewolucji roślin nastawionej na przetrwanie gatunku: produkują one tylko takie ilości związków organicznych, jakie zaspokajają ich potrzeby energetyczne związane ze wzrostem i rozwojem. Układy sztucznej fotosyntezy mają podobną wydajność, wskutek czego są nieekonomiczne.

Obecne badania koncentrują się na kilku zastosowaniach sztucznej fotosyntezy. Po pierwsze, zmierzają do opracowania metody efektywnego wytwarzania dużych ilości wodoru. W tym celu próbuje się przekształcać wolne protony w wodór cząsteczkowy. Wymaga to jednak obecności związków będących jednocześnie donorami elektronów i katalizatorami reakcji syntezy – w tym celu wykorzystywane są kompleksy metali. Drugim – bliższym naturalnej fotosyntezie – sposobem otrzymania wodoru cząsteczkowego jest rozkład wody. Proces ten w warunkach naturalnych zachodzi w fotoukładzie II rośliny, gdzie cząsteczka H_2O ulega fotolizie na tlen i jony wodorowe. Niemal cały tlen obecny w ziemskiej atmosferze to produkt uboczny fotosyntezy organizmów autotroficznych. Z kolei powstające jony wodorowe wykorzystywane są przez roślinę w kolejnych reakcjach fotosyntetycznych. W produkcji wodoru na drodze sztucznej fotosyntezy odtwarza się więc jedynie fragment naturalnych przemian fotosyntetycznych, dzięki czemu otrzymuje się H_2 jako produkt końcowy reakcji. W sztucznych układach wykorzystywane są kompleksy metali podobne do tych, które budują fotosystem II, służących jako donory i akceptory elektronów. Całości dopełnia kompleks metali, które pod wpływem światła ulegają fotoutlenieniu.

Po drugie, sztuczną fotosyntezę planuje się wykorzystać do wytwarzania ekologicznego paliwa węglowodorowego. Projektowane systemy odwzorowujące fragment cyklu Calvina i naśladujące działanie enzymu RuBisCO, syntetyzują stosunkowo duże cząsteczki węglowodorów z prostego materiału budulcowego: CO_2 . Z biologicznego punktu widzenia jest to dokładniejsze odtworzenie naturalnej fotosyntezy.

Po trzecie, sztuczna fotosynteza stanowi inspirację dla badaczy zajmujących się energetyką. Chińscy naukowcy pracują nad wykorzystaniem sztucznego odpowiednika fotoukładu I jako niewyczerpanego źródła wolnych elektronów, które kumulowałyby się w jednym z akceptorów stworzonych z nanorurek węglowych, w efekcie wytwarzając prąd elektryczny. Spośród już wdrożonych projektów opartych na sztucznej fotosyntezie wyróżnia się złoty liść, czyli półsztuczny fotoukład wytwarzający prąd elektryczny. Jego twórca Elias Greenbaum udowodnił, że fotoukład I z liści szpinaku pozostaje aktywny i spełnia swoje funkcje w odpowiednich warunkach nawet po wyizolowaniu go z rośliny. Właściwe środowisko reakcji stworzyła złota płytka, na której umieszczono kompleksy białkowe, oraz odpowiednia ilość światła, pod wpływem którego zaczęły one generować wolne elektrony dokładnie tak samo, jak dzieje się to w

chloroplastach rośliny. Różnicą był akceptor elektronów – w tym przypadku złoto, a nie NADP^+ . Inne badania, bazujące na wynikach doświadczeń Greenbauma, zaowocowały zebraniem wielu kompleksów fotoukładu I na złotych płytkach, tworząc rodzaj baterii. Projekt ten, choć ważny dla energetyki, okazał się jednak mało opłacalny i wymaga dalszego doskonalenia.

Sztuczne systemy naśladujące fotosyntezę mają wiele zalet: mogą wytwarzać potrzebne ludziom produkty, takie jak paliwo czy prąd elektryczny, wykorzystując praktycznie niewyczerpalne źródło energii – światło. Nie są one jednak pozbawione wad: obecnie ich wydajność jest bardzo niska i wiąże się z ogromnymi kosztami badań i wdrażaniem nowych technologii. Warto jednak podejmować próby przewyższania tych trudności – powodzenie badań nad sztuczną fotosyntezą mogłoby bowiem znacznie zmniejszyć problemy energetyczne współczesnego świata.

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

Polecenie 1

Wskaż trzy zastosowania sztucznej fotosyntezy.

Polecenie 2

Wyjaśnij, w jaki sposób „złoty liść” wykorzystywany jest do wytwarzania prądu elektrycznego.

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



Zaznacz prawidłowe dokończenie zdania:

Fotosynteza to proces, który polega na wytwarzaniu...

- ☐ dwutlenku węgla z glukozy.
- ☐ związków organicznych z materii nieorganicznej.
- ☐ związków nieorganicznych z materii organicznej.

Ćwiczenie 2



Przyporządkuj do podanych pojęć odpowiadające im definicje.

Faza ciemna fotosyntezy

Jest to organiczny związek chemiczny, barwnik fotosyntetyczny, który nadaje częściom roślin charakterystyczny zielony kolor.

Bakteriochlorofil

Jest to organiczny związek chemiczny, barwnik fotosyntetyczny, który jest zbliżony budową do chlorofili. Występuje u bakterii.

Chlorofil

Jest bezpośrednio zależna od światła, Umożliwia wytworzenie siły asymilacyjnej (ATP, NADPH+H⁺), wykorzystywanej w dalszych etapach fotosyntezy.

Faza jasna fotosyntezy

Asymilacja CO₂ i powstanie związków organicznych.

Ćwiczenie 3



Uzupełnij poniższą reakcję chemiczną w taki sposób, aby przedstawiała prawidłowy zapis fotosyntezy.



Ćwiczenie 4



Uzupełnij poniższe zdania w taki sposób, aby przedstawiały prawdziwe informacje na temat paliwa słonecznego.

Wodór pozyskiwany w procesie fotosyntezy jest zaliczany do tzw. paliw słonecznych. Powstaje on w wyniku rozkładu wody przy udziale . W tej postaci wodór jest paliwem , ponieważ podczas jego spalania powstaje wyłącznie .

Ćwiczenie 5



Oceń, czy poniższe stwierdzenia dotyczące naturalnej i sztucznej fotosyntezy są prawdziwe.

Stwierdzenie	Prawda	Fałsz
Sztuczna fotosynteza ma na celu m.in. zastąpienie paliw kopalnych tzw. paliwami słonecznymi.	☐	☐
Paliwa słoneczne dają szansę na zwiększenie emisji dwutlenku węgla do atmosfery.	☐	☐
Chlorofil występuje u niektórych bakterii.	☐	☐
Obie fazy fotosyntezy (jasna i ciemna) zachodzą równocześnie.	☐	☐

Ćwiczenie 6



Zaznacz prawdziwe stwierdzenia dotyczące tzw. złotego liścia.

- ☐ W tzw. złotym liściu rolę akceptora elektronów pełni złoto.
- ☐ Projekt tzw. złotego liścia okazał się mało opłacalny.
- ☐ W tzw. złotym liściu rolę akceptora elektronów pełni NADP^+ .
- ☐ Twórcą tzw. złotego liścia jest Elias Greenbaum.
- ☐ Jest to całkowicie sztuczny fotoukład wytwarzający energię elektryczną.

Ćwiczenie 7



Wykaż, że sztuczne układy naśladujące naturalną fotosyntezę mogą przyczynić się do rozwoju gospodarki ekologicznej.

Ćwiczenie 8



Udowodnij, że życie na Ziemi jest obecnie możliwe dzięki procesowi fotosyntezy.

Dla nauczyciela

Autor: Anna Juwan

Przedmiot: biologia

Temat: Sztuczne systemy naśladowujące fotosyntezę

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

Podstawa programowa:

Zakres rozszerzony

Treści nauczania – wymagania szczegółowe

III. Energia i metabolizm.

4. Fotosynteza. Uczeń:

3) analizuje na podstawie schematu przebieg fazy zależnej od światła oraz fazy niezależnej od światła; wyróżnia substraty i produkty obu faz; wykazuje rolę składników siły asymilacyjnej w fazie niezależnej od światła;

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):

- Przedstawisz ogólny przebieg i znaczenie fotosyntezy dla organizmów autotroficznych.
- Podasz nazwy prokariotycznych i eukariotycznych struktur komórkowych, w których zachodzi fotosynteza.
- Przedstawisz uproszczony przebieg fazy jasnej i ciemnej fotosyntezy.
- Wykażesz rolę głównych barwników fotosyntetycznych w pochłanianiu energii świetlnej.
- Omówisz przebieg sztucznej fotosyntezy.
- Wskażesz podobieństwa między naturalną fotosyntezą prowadzoną przez organizmy a sztuczną fotosyntezą prowadzoną przez urządzenia.
- Opisziesz kilka przykładów sztucznej fotosyntezy.
- Określisz gospodarcze znaczenie sztucznej fotosyntezy dla ochrony środowiska.

Strategie nauczania:

- konstruktywizm;
- konektywizm.

Metody i techniki nauczania:

- z użyciem komputera;
- ćwiczenia interaktywne;
- praca z audiobookiem;
- mapa myśli;
- rozmowa kierowana.

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. Uczniowie z pomocą nauczyciela formułują cele lekcji oraz określają kryteria sukcesu.
2. **Wprowadzenie do tematu.** Nauczyciel inicjuje burzę mózgów, zadając pytanie:
 - Dlaczego badaczy interesuje odtworzenie procesu fotosyntezy w warunkach laboratoryjnych i przemysłowych?Uczniowie zapisują swoje pomysły na tablicy. Nauczyciel podsumowuje burzę mózgów.

Faza realizacyjna:

1. **Praca z tekstem.** Uczniowie przystępują do cichego czytania tekstu zawartego w sekcji „Przeczytaj” i zapisują pięć najważniejszych ich zdaniem kwestii poruszanych w tekście. Następnie w parach porównują swoje wybory. Nauczyciel prosi wybrane pary o podsumowanie swojej pracy.
2. **Praca z audiobookiem pt. „Sztuczne systemy naśladowujące fotosyntezę”.** Uczniowie zapoznają się z audiobookiem udostępnionym przez nauczyciela, a następnie rozwiązują polecenia nr 1 i 2 odnoszące się do multimedium.

3. **Mapa myśli.** Nauczyciel dzieli uczniów na cztery grupy i rozdaje arkusze papieru A1 oraz flamastry. Uczniowie w grupach przygotowują plakaty w formie mapy myśli, porządkując wiadomości zawarte w e-materiale. Po upływie wyznaczonego czasu liderzy grup podchodzą do tablicy, zawieszają swój plakat i omawiają wybrane zagadnienie. Nauczyciel w razie potrzeby uzupełnia wiadomości.
4. **Utrwalenie wiedzy i umiejętności.** Uczniowie w parach wykonują ćwiczenie nr 7 (w którym mają za zadanie wykazać, że sztuczne układy naśladujące naturalną fotosyntezę mogą przyczynić się do rozwoju gospodarki ekologicznej) z sekcji „Sprawdź się”. Następnie porównują swoje odpowiedzi z najbliższymi siedzącymi sąsiadami. Nauczyciel w razie trudności naprowadza podopiecznych na właściwe rozwiązania lub wyjaśnia wątpliwości.
5. Uczniowie wykonują w parach ćwiczenie nr 8 (w którym mają za zadanie udowodnić, że życie na Ziemi jest obecnie możliwe dzięki procesowi fotosyntezy), wyświetlone przez nauczyciela na tablicy. Podczas wspólnych dyskusji rozwiązują zadanie, następnie łączą się z inną parą i kontynuują swoją dyskusję, uzasadniając swój wybór.

Faza podsumowująca:

1. Uczniowie rozwiązują ćwiczenie nr 5 (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 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 4 oraz 6 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.

Wskazówki metodyczne opisujące różne zastosowania audiobooka:

- Uczniowie mogą wykorzystać audiobook w celu przygotowania się do lekcji powtórkowej.