

## Barwniki fotosyntetyczne i ich funkcje

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



## Barwniki fotosyntetyczne i ich funkcje

Zielona barwa liści wynika z zawartości chlorofilu – głównego barwnika fotosyntetycznego. W plastydach roślin występują także barwniki dodatkowe, których obecność ujawnia się jesienią.

Źródło: Tbk1101, Wikimedia Commons, domena publiczna.

Fotosynteza to proces metaboliczny zachodzący u organizmów autotroficznych, podczas którego z prostych związków nieorganicznych syntetyzowane są związki organiczne. Jego przebieg warunkowany jest obecnością barwników fotosyntetycznych, zdolnych do pochłaniania światła widzialnego o określonej długości fal.

Najważniejszymi barwnikami są: **chlorofil**, występujący u sinic, protistów roślinopodobnych i roślin, oraz **bakteriochlorofil**, obecny u bakterii zielonych i purpurowych. Barwniki te najintensywniej absorbują światło niebieskie i czerwone. Pomocniczą funkcję w procesie fotosyntezy pełnią **karotenoidy** i **fikobiliny**, które pochłaniają światło o innych długościach fal.

### Twoje cele

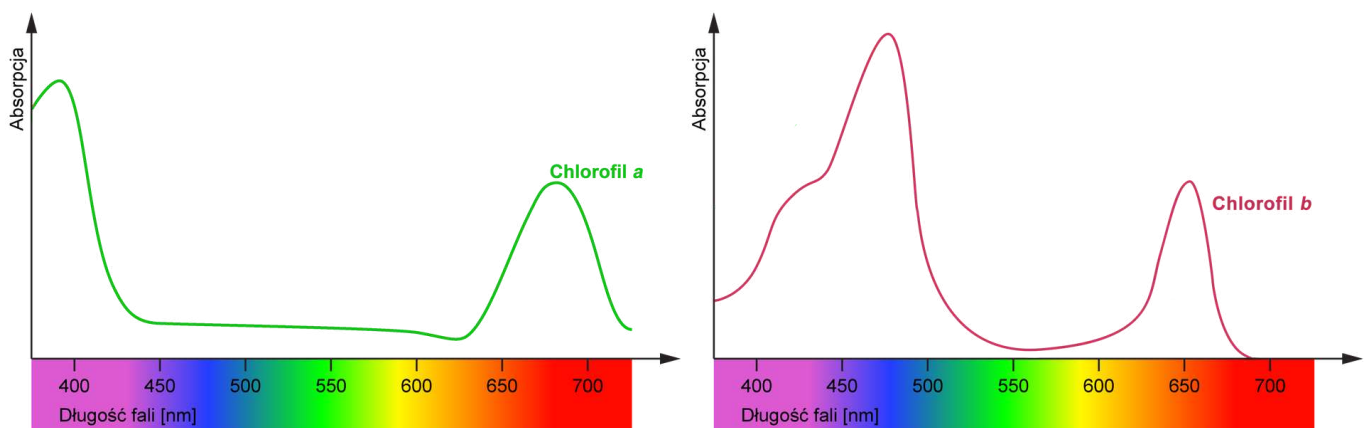
- Wskażesz rodzaje barwników fotosyntetycznych.
- Omówisz budowę bakteriochlorofilu, chlorofilu, karotenoidów i fikobilin.
- Określisz funkcje głównych oraz dodatkowych barwników fotosyntetycznych.
- Przedstawisz lokalizację barwników fotosyntetycznych w strukturach komórkowych organizmów prokariotycznych i eukariotycznych.

# Przeczytaj

Barwniki fotosyntetyczne to organiczne związki chemiczne uczestniczące w procesie [fotosyntezy](#). Odpowiedzialne są za pochłanianie (inaczej: absorpcję) promieniowania elektromagnetycznego w zakresie światła widzialnego i uwalnianie elektronów. Dzieli się je na: chlorofile i bakteriochlorofile, karotenoidy i fikobiliny. Różnią się one budową, zakresem absorbowanego światła widzialnego oraz pełnionymi funkcjami.

## Chlorofile

Chlorofile to **zielone barwniki** pochłaniające światło widzialne w zakresie fal niebieskich i czerwonych. Światło w zakresie fal zielonych ulega jedynie odbiciu od cząsteczek barwnika – właśnie to sprawia, że rośliny są zielone.



Widmo absorpcyjne chlorofilu.

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

Chlorofile nie są jednorodną grupą barwników fotosyntetycznych – wyróżnia się kilka ich rodzajów: *a*, *b*, *c*, *d* oraz barwniki pokrewne, takie jak bakteriochlorofile: *a*, *b*, *c*, *d*, *e* i *g*. [Głównymi barwnikami fotosyntetycznymi](#) są chlorofil *a* oraz bakteriochlorofil *a*.

Pozostałe rodzaje chlorofili i bakteriochlorofili są barwnikami dodatkowymi i pełnią funkcje pomocnicze w fotosyntezie.

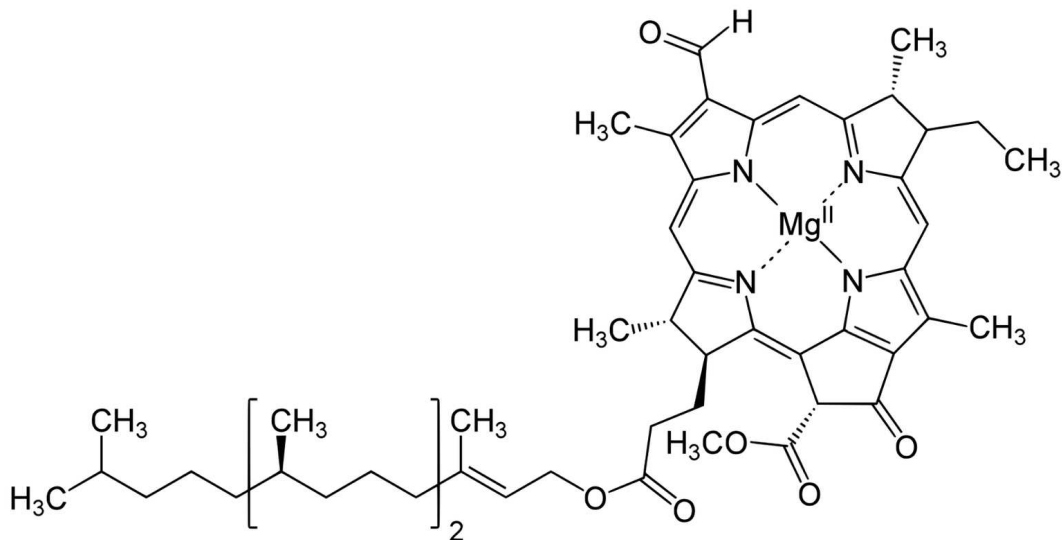
**Chlorofil a** występuje w komórkach sinic, protistów roślinopodobnych i roślin.

Budowa cząsteczki chlorofilu.

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

## Bakteriochlorofle

**Bakteriochlorofil a** występuje w komórkach bakterii zielonych i purpurowych. Jego budowa przypomina strukturę chlorofilu. Różnice dotyczą niewielkich modyfikacji w układzie porfirynowym i rodzaju alkoholu, którym może być fitol lub geranylogeraniol.



Budowa cząsteczki bakteriochlorofilu a.

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



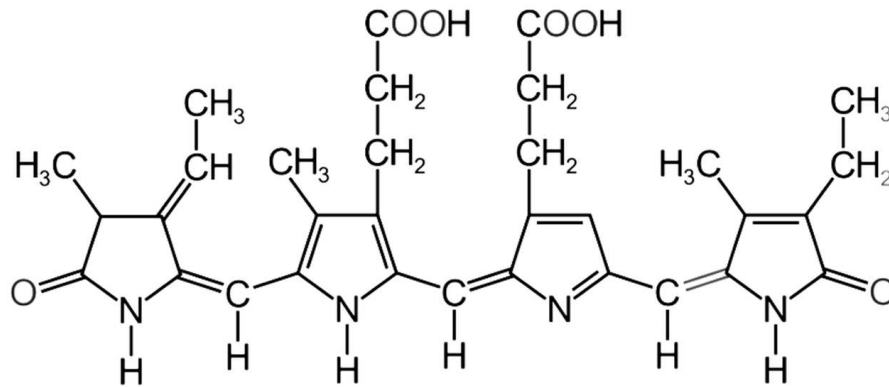


Beta-karoten nadaje barwę korzeniom marchwi. Związek ten jest prowitaminą, z której organizm człowieka (w komórkach nabłonka jelita cienkiego) syntetyzuje witaminę A, niezbędną w procesie widzenia.

Źródło: Larsinio, Wikimedia Commons, domena publiczna.

## Fikobiliny

Fikobiliny to **niebieskie i czerwone barwniki** rozpuszczalne w wodzie, występujące u sinic i krasnorostów. Ich struktura przypomina budowę bilirubiny – barwnika występującego w żółci (substancji produkowanej i wydzielanej przez wątrobę). W cząsteczce fikobiliny obecny jest łańcuch zbudowany z czterech pierścieni pirolowych.



Budowa cząsteczki fikocyjanobiliny.

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

Fikobiliny są dodatkowymi barwnikami fotosyntetycznymi, które absorbują światło widzialne w zakresie fal zielonych, żółtych, pomarańczowych i czerwonych. Barwniki te łączą się z białkami, tworząc kompleksy: niebieski – **fikocyjaninę** i czerwony – **fikoerytrynę**.

## Główne i dodatkowe barwniki fotosyntetyczne

Cząsteczki chlorofilu *a* i bakteriochlorofilu *a*, czyli głównych barwników fotosyntetycznych, są zdolne do uwalniania elektronów pod wpływem absorbowanego światła. Chlorofile *b*, *c* oraz *d*, karotenoidy i fikobiliny pełnią funkcję barwników pomocniczych, które tworząc tzw. [układ antenowy](#) wychwytyują energię świetlną i przekazują ją do centrów reakcji fotosystemów, tworzonych przez cząsteczki chlorofilu *a*. Barwniki dodatkowe absorbują światło widzialne o innej długości fali niż główne barwniki fotosyntetyczne, dzięki czemu organizmy fotoautotroficzne mogą wykorzystywać do fotosyntezy szersze spektrum światła widzialnego. Ponadto karotenoidy spełniają funkcje ochronne, przeciwdziałając [fotooksydacji](#) całego aparatu fotosyntetycznego.

## Lokalizacja barwników fotosyntetycznych

W [komórkach prokariotycznych](#) barwniki fotosyntetyczne zlokalizowane są: w chlorosomach – u bakterii zielonych, chromatoforach – u bakterii purpurowych lub tylakoidach – u sinic.

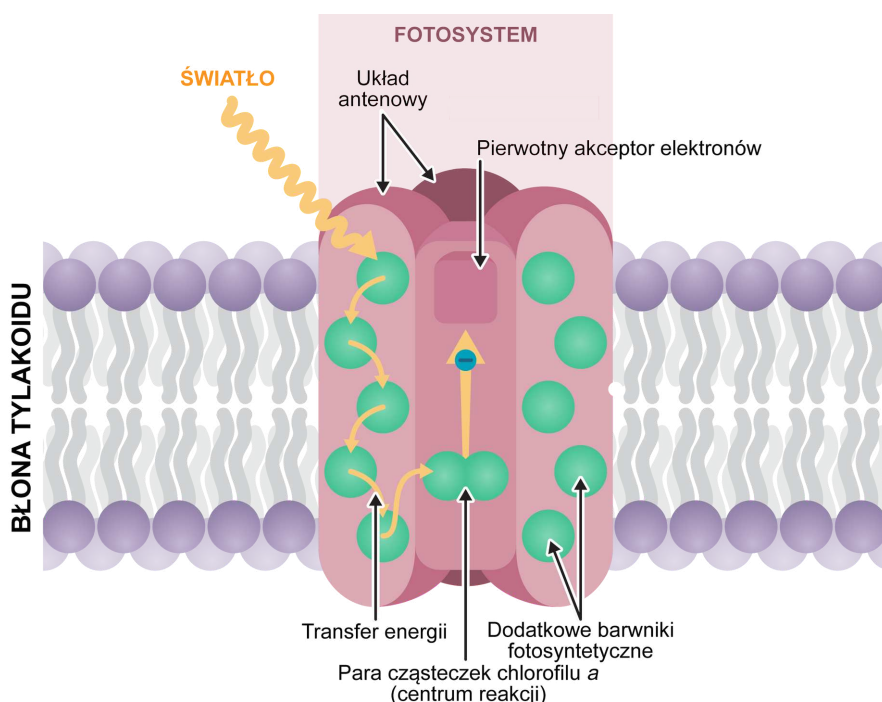
**Chlorosomy** są pęcherzykowatymi strukturami połączonymi z błoną komórkową. Pełnią funkcję anten wychwytyjących światło i przekazujących jego energię na bakteriochlorofil *a*, będący centrum reakcji wbudowanym w błonę komórkową. Podobną strukturę mają **chromatofory**.

Z kolei **tylakoidy** są wydłużonymi i spłaszczonymi błoniastymi strukturami, w które wbudowane są fikobilisomy – kompleksy składające się z barwników (fikobilin) i białek. Pełnią one funkcję anteny absorbującej światło i przekazującej jego energię do centrum aktywnego w fotosystemie PSII, w którym znajdują się cząsteczki chlorofilu *a*.

Model struktury fikobilisomu.

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

W [komórkach eukariotycznych](#) fotosynteza zachodzi w **chloroplastach**. W błony tylakoidów gran wbudowane są fotosystemy PS I i PS II oraz system białkowych przenośników elektronów i protonów.



## Słownik

### **dodatkowy barwnik fotosyntetyczny**

barwnik fotosyntetyczny wchodzący w skład układu antenowego fotosystemu, którego cząsteczki pochłaniają fotony, a energię wzbudzenia przekazują do centrum reakcji

### **fotooksydacja**

proces przeniesienia elektronu lub energii z cząsteczki barwnika absorbującego promieniowanie świetlne na inną cząsteczkę chemiczną; jest mechanizmem powstawania w organizmach żywych reaktywnych form tlenu, będących przyczyną stresu oksydacyjnego i uszkodzenia związków chemicznych obecnych w komórkach

### **fotosynteza**

(gr. *fos* – światło; *synthesis* – łączenie) proces metaboliczny zachodzący u organizmów samożywnych, polegający na wytwarzaniu złożonych związków organicznych z prostych związków nieorganicznych przy udziale energii świetlnej i w obecności barwników fotosyntetycznych

### **główny barwnik fotosyntetyczny**

barwnik fotosyntetyczny znajdujący się w centrum reakcji fotosystemu, którego cząsteczki pod wpływem energii pochłoniętych fotonów ulegają wzbudzeniu i uwalniają elektrony

### **izopren**

$C_5H_8$ ; organiczny związek chemiczny zaliczany do węglowodorów nienasyconych

### **komórka eukariotyczna**

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

### **komórka prokariotyczna**

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

### **polimer**

związek chemiczny o dużej masie cząsteczkowej zbudowany ze stale powtarzającego się elementu – monomeru

### **światło widzialne**

część promieniowania elektromagnetycznego z zakresu 380–750 nm, na który wrażliwe są komórki światłoczułe siatkówki ludzkiego oka

### **układ antenowy**

kompleks białek i barwników fotosyntetycznych, który absorbuje kwanty światła i przekazuje ich energię do centrów reakcji fotosystemów

# Grafika interaktywna

---

Widma absorpcyjne barwników.

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

Źródło: David Richfield, Wikimedia Commons, domena publiczna.

**Polecenie 1**

**Polecenie 2**

**Polecenie 3**

**Polecenie 4**

Określ, który element budowy cząsteczkowej jest wspólny dla zaprezentowanych barwników fotosyntetycznych.

# Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

## Ćwiczenie 1



Przyporządkuj pojęcia do ich definicji.

Karoteny

Pomarańczowe barwniki odpowiedzialne m.in. za ochronę innych barwników fotosyntetycznych.

Chlorofile

Barwniki fotosyntetyczne występujące u sinic i krasnorostów o czerwonej lub niebieskiej barwie.

Fikobiliny

Żółte barwniki odpowiedzialne m.in. za absorpcję energii świetlnej i przekazywanie wzbudzenia do centrum reakcji.

Ksantofile

Barwniki fotosyntetyczne występujące u sinic, protistów roślinopodobnych i roślin.

## Ćwiczenie 2



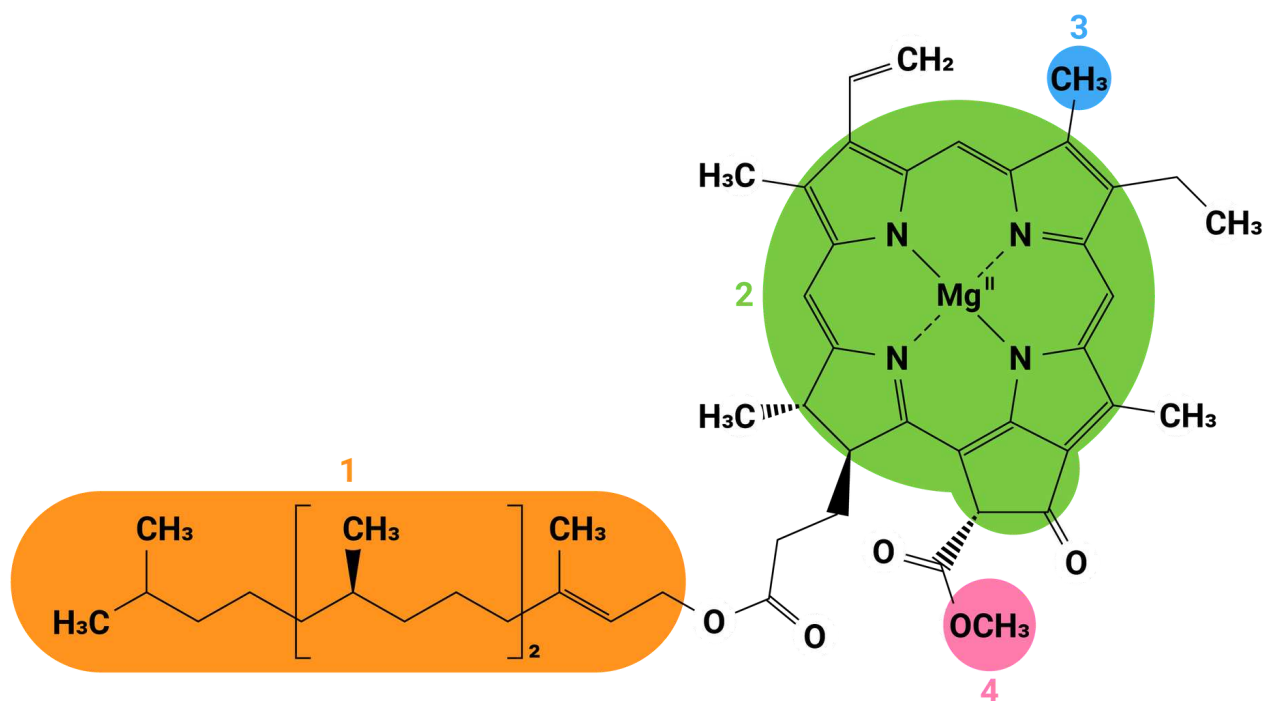
Oceń, czy stwierdzenia dotyczące barwników fotosyntetycznych są prawdziwe czy fałszywe.

Stwierdzenie	Prawda	Fałsz
Chlorofil <i>a</i> absorbuje wyłącznie światło czerwone, a chlorofil <i>b</i> – niebieskie.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Karotenoidy są barwnikami absorbującymi podobny zakres długości fali świetlnej co chlorofile.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Symbol P680 oznacza cząsteczkę chlorofilu <i>a</i> o maksimum absorpcji światła przy długości fali 680 nm.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Chlorofil <i>a</i> występuje w komórkach sinic, protistów roślinopodobnych i roślin.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

### Ćwiczenie 3



Przyporządkuj nazwę do odpowiedniego oznaczenia liczbowego.



1

Fitol

2

Układ porfirynowy

Wybierz oznaczenie liczbowe fragmentu cząsteczki odpowiedzialnego za stabilizację chlorofilu *a* w błonie tylakoidów gran.

4

3

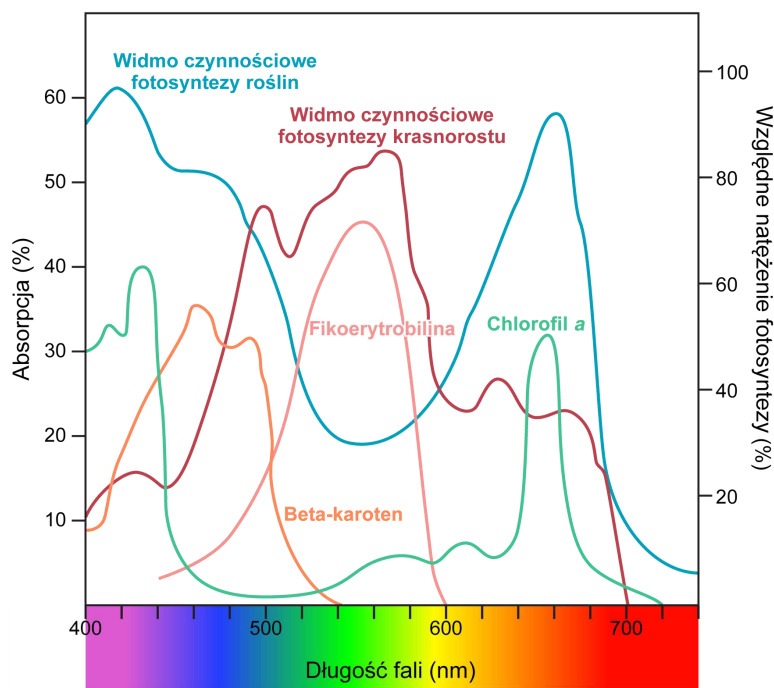
1

2

## Ćwiczenie 4



Poniższy wykres przedstawia widma absorpcyjne chlorofilu *a* (krzywa zielona), beta-karotenu (krzywa pomarańczowa) i fikoerytroliny (krzywa różowa) oraz widma czynnościowe fotosyntezy roślin (krzywa niebieska) i krasnorostu (krzywa bordowa).



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

Zaznacz poprawne wnioski z analizy wykresu.

- Światło czerwone jest niezbędne do przeprowadzenia wydajnej fotosyntezy przez krasnorosty.
- Widmo czynnościowe fotosyntezy roślin jest szersze niż widmo absorpcyjne chlorofilu *a* ze względu na obecność barwników pomocniczych w chloroplastach roślinnych.
- Zawartość fikoerytroliny w chloroplastach roślin i krasnorostów poszerza zakres długości fal świetlnych, z których mogą one korzystać w fazie jasnej fotosyntezy.
- Rośliny przeprowadzają fotosyntezę, wykorzystując szerszy zakres długości fal świetlnych niż krasnorosty.

## Ćwiczenie 5



Chlorofil *a*, podobnie jak inne chlorofile, wykazuje fluorescencję, czyli emituje światło po naświetleniu światłem UV. W normalnych warunkach ok. 80% promieniowania świetlnego zostaje wykorzystane na reakcje fazy jasnej fotosyntezy. Spośród pozostałych 20% od 2% do 5% emitowane jest w postaci czerwonej fluorescencji chlorofilu, reszta – w postaci energii cieplnej.

Dzięki technologii satelitarnej możliwe jest mierzenie poziomu eutrofizacji wód oceanicznych na drodze pomiaru fluorescencji chlorofilu *a* w wierzchnich warstwach oceanów. Wysoki poziom fluorescencji świadczy o dużej ilości fitoplanktonu emitującego część światła, która nie została zaabsorbowana przez barwniki fotosyntetyczne. Eutrofizacja polega na użyźnieniu wód związkami azotu i fosforu, co powoduje początkowo korzystny wzrost biomasy organizmów wodnych. Nadmierna eutrofizacja skutkuje jednak zakwitami fitoplanktonu, czego skutkiem jest zmniejszenie przezroczystości wody i poziomu jej natlenowania. Nadmierna eutrofizacja może doprowadzić do śmierci wielu organizmów żyjących w danym zbiorniku wodnym.

Na podstawie: Magdalena D. Cetner i in., *Zastosowanie pomiarów fluorescencji chlorofilu w badaniach środowiskowych*, „Kosmos. Problemy nauk biologicznych” 2016, t. 65, nr 2, s. 197–205.

Na podstawie powyższego tekstu i własnej wiedzy uzupełnij zdania w taki sposób, aby przedstawiały prawdziwe informacje na temat fluorescencji chlorofilu. W każdym zdaniu wybierz poprawne wyrażenie.

Im wydajniej zachodzi proces fotosyntezy, tym  większa   mniejsza  jest intensywność fluorescencji chlorofilu *a*. Wysoki poziom fluorescencji chlorofilu *a* w wodach oceanicznych jest zjawiskiem  pozytywnym   negatywnym . Chlorofil odbija światło o długości fali w okolicach  550 nm   650 nm . Natomiast dzięki fluorescencji emituje światło o długości fali ok.  550 nm   650 nm .

## Ćwiczenie 6



W roku 2010 odkryto nowy rodzaj chlorofilu – chlorofil *f*. Barwnik ten absorbuje światło o długości fali 760 nm, czyli o 20 nm dłuższej niż wcześniej odkryty chlorofil *d*. Oznacza to, że chlorofil *f* może absorbować światło podczerwone (zakres długości fali światła widzialnego to 380–750 nm). Przed tym odkryciem przypuszczano, że światło o tak małej energii fotonu jak światło podczerwone nie może doprowadzić do wzbudzenia elektronu. Chlorofil *f* odkryto po raz pierwszy u sinic żyjących w stromatolitach u wybrzeży Australii.

Dokładna rola chlorofilu *f* w przebiegu reakcji fotosyntetycznych nie jest znana. Wiadomo jednak, że zastępuje on pewną ilość cząsteczek chlorofilu *a* w układzie antenowym fotosystemu I. Działania nowoczesnej biotechnologii zmierzają do wprowadzenia genu kodującego chlorofil *f* do genomu roślin uprawnych.

Na podstawie: Martijn Tros i in., *Harvesting far-red light: Functional integration of chlorophyll f into Photosystem I complexes of Synechococcus sp. PCC 7002*, „Biochimica et Biophysica Acta – Bioenergetics” 2020; 1861(8), s. 148206.

Na podstawie powyższego tekstu i własnej wiedzy zaznacz zdanie poprawnie opisujące chlorofil *f*.

- Chlorofil *f* występuje u wszystkich organizmów fotoautotroficznych.
- Chlorofil *f* absorbuje wyłącznie fale z zakresu podczerwieni.
- Chlorofil *f* jest zdolny do absorbowania światła o długości o 10 nm większej niż górna granica zakresu długości fali światła widzialnego.
- Światło absorbowane przez chlorofil *f* ma dużą energię, dzięki czemu obecność tego barwnika w fotosystemach sinic usprawnia proces fotosyntezy.

## Ćwiczenie 7



Udowodnij, że planowane modyfikacje genetyczne roślin uprawnych, opisane w tekście do ćwiczenia nr 6, mogą przyczynić się do zwiększenia plonów. Odpowiedź uzasadnij.

## Ćwiczenie 8



Poniższa tabela przedstawia zawartość wybranych makroelementów w różnych częściach buraka pastewnego (*Beta vulgaris* subsp. *vulgaris*) dla gleby o pH 5,6–6,5.

Zawartość wybranych makroelementów [g/kg suchej masy]								
Korzenie			Ogonki liściowe			Błaszki liściowe		
P	Ca	Mg	P	Ca	Mg	P	Ca	Mg
0,190	0,160	0,121	0,304	0,844	0,276	0,357	1,378	0,424

Na podstawie: Antoni Rogóż, Monika Tabak, *Contents of selected macroelements in soils, potatoes and fodder beets at variable soil reaction*, „Soil Science Annual” 2018, Vol. 66(1), s. 3-9.

Wyjaśnij różnice w zawartości jednego z badanych makroelementów w poszczególnych częściach buraka pastewnego. W odpowiedzi odnieś się do procesu fotosyntezy.

# Dla nauczyciela

---

**Autor:** Anna Juwan

**Przedmiot:** Biologia

**Temat:** Barwniki fotosyntetyczne i ich funkcje

**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:

2) przedstawia rolę barwników i fotosystemów w procesie fotosyntezy;

**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):**

- Wskażesz rodzaje barwników fotosyntetycznych.
- Omówisz budowę bakteriochlorofilu, chlorofilu, karotenoidów i fikobilin.
- Określisz funkcje głównych oraz dodatkowych barwników fotosyntetycznych.
- Przedstawisz lokalizację barwników fotosyntetycznych w strukturach komórkowych organizmów prokariotycznych i eukariotycznych.

**Strategie nauczania:**

- konstruktywizm;
- konektywizm.

**Metody i techniki nauczania:**

- z użyciem komputera;
- rozmowa kierowana;

- ćwiczenia interaktywne;
- analiza grafiki interaktywnej;
- gra dydaktyczna;
- metoda kuli śniegowej.

### 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 treściami 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. **Wprowadzenie do tematu.** Nauczyciel prowadzi pogadankę, zadając pytania:
  - Który barwnik odgrywa kluczową rolę w przemianie energii świetlnej na energię chemiczną? Dlaczego?
  - Czy wiecie, dlaczego chlorofil jest zielony?
  - Czy wiecie, dlaczego jesienią liście stają się pomarańczowe?
  - Czy chlorofil ma zastosowanie w życiu codziennym?
 Chętni uczniowie wypowiadają się. Jeśli odpowiedzi nie są wyczerpujące, nauczyciel prosi uczniów, by wyszukali odpowiednie informacje podczas lekcji.

#### Faza realizacyjna:

1. Uczniowie w parach rysują schemat ilustrujący udział chlorofilu i karotenoidów w procesie fotosyntezy, porządkujący informacje z sekcji „Przeczytaj”. Chętne zespoły prezentują efekt swojej pracy.
2. **Praca z multimedium („Grafika interaktywna”).** Nauczyciel wyświetla grafikę interaktywną i wspólnie z uczniami dokonuje jej analizy. Następnie uczniowie wykonują polecenia od 1 do 4 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 zaprezentują na forum klasy uzgodnione w grupie odpowiedzi.

**3. Utrwalenie wiedzy i umiejętności.** Nauczyciel dzieli klasę na 4-osobowe grupy.

Uczniowie rozwiązują ćwiczenia interaktywne od 3 do 6 z sekcji „Sprawdź się”, od najłatwiejszego do najtrudniejszego. Grupa, która poprawnie rozwiąże zadania jako pierwsza, wygrywa.

**Faza podsumowująca:**

1. Uczniowie rozwiązują ćwiczenie nr 2 (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. Jeśli odpowiedzi uczniów na pytania zadane przez nauczyciela w fazie wstępnej nie były wyczerpujące, uzupełniają je.

**Praca domowa:**

1. Wykonaj ćwiczenia nr 7 i 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 „Grafika interaktywna” można wykorzystać na lekcji jako podsumowanie i utrwalenie wiedzy uczniów.