



Fototropizm korzenia i pędu – doświadczenie

- [Wprowadzenie](#)
- [Przeczytaj](#)
- [Wirtualne laboratorium \(WL-S\)](#)
- [Sprawdź się](#)
- [Dla nauczyciela](#)



Fototropizm korzenia i pędu – doświadczenie

Stokrotki pospolite (*Bellis perennis*) po otwarciu kwiatów rano zwracają się w stronę słońca i zmieniają swoje ustawienie zgodnie z kierunkiem padania światła w ciągu dnia.

Źródło: Friedrich Böhringer, Wikimedia Commons, licencja: CC BY-SA 2.5.

Obserwacje nad fototropizmem koleoptyli (pochewek liściowych) traw zapoczątkował Karol Darwin. Zaproponował on w 1880 r. tezę, że najbardziej wrażliwy na światło jest wierzchołek koleoptyla, który pod wpływem bodźca świetlnego przekazuje jakiś nieznany czynnik do niżej leżących części siewki, wpływając na szybkość ich wzrostu.

Twoje cele

- Wyjaśnisz, na czym polega zjawisko fototropizmu.
- Omówisz eksperymenty przeprowadzone w celu zbadania mechanizmu fototropizmu.
- Przedstawisz teorie wyjaśniające wpływ światła na rozmieszczenie auksyn w roślinie.
- Zaplanujesz i przeprowadzisz doświadczenie wykazujące różnice fototropizmu korzenia i pędu.

Przeczytaj

Późniejsze eksperymenty badające fototropizm

Eksperyment Darwina z 1880 roku.

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

Eksperyment Boysen-Jensena z 1915 roku.

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

Eksperyment Wentta z 1928 roku.

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

Czym jest fototropizm?

Cel ruchów fototropicznych

Gdy roślina jest nierównomiernie oświetlona, wiele jej organów zaczyna się tak wyginać, żeby osiągnąć pozycję, w której oświetlenie jest równomierne.

Mechanizm ruchu fototropicznego

Fototropizm dodatni

Fototropizm ujemny

Wygięcie fototropiczne

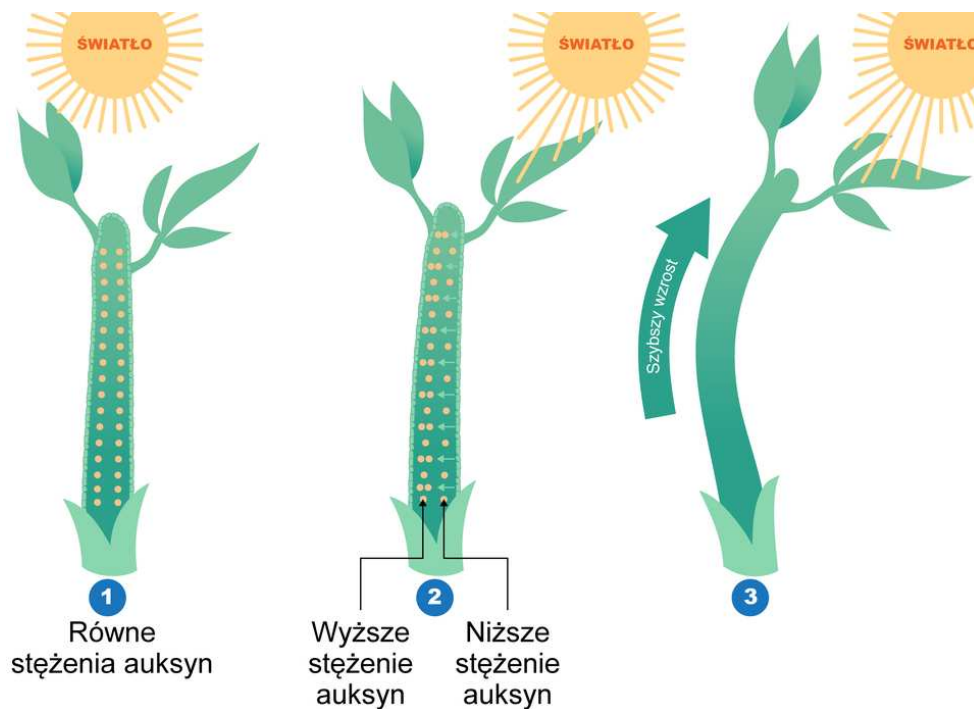
Rola auksyn w ruchach fototropicznych

Szczytowa część koleoptyla traw jest nie tylko miejscem największej wrażliwości na bodźce świetlne, lecz także ośrodkiem, którym wędruje w dół koleoptyla prąd substancji wzrostowych, przede wszystkim auksyn. Mechanizm zjawiska fototropizmu tłumaczy się nierównomiernym rozmieszczeniem auksyn w strefie wzrostu koleoptyla.

Jeżeli roślina jest oświetlona tylko z jednej strony, to po stronie przeciwnej do tej, na którą bezpośrednio pada światło, stwierdza się większe nagromadzenie auksyn. Fitohormony te stymulują wzrost wydłużeniowy komórek po stronie zacienionej, co prowadzi do wygięcia pędu w stronę bodźca świetlnego.

Kierunki wygięcia fototropicznego pędu i korzenia są przeciwne ze względu na różną wrażliwość tych organów na stężenia auksyny – to samo stężenie auksyny stymuluje wzrost komórek pędu i hamuje wzrost komórek korzenia.

Więcej na temat roli auksyn w ruchach fototropicznych przeczytasz [tutaj](#).



Mechanizm ruchu fototropicznego.

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

Słownik

auksyny

(gr. *auxánō* – „powoduję wzrost”) hormony roślinne (fitohormony) uczestniczące w regulacji wzrostu wydłużeniowego komórek i w ich różnicowaniu

fototropizm

(gr. *phōs*; *phōtós* – światło; *trópos* – zwrot, obrót) ruch wzrostowy u roślin polegający na wygięciu organu rośliny w odpowiedzi na kierunkowo działający bodziec świetlny; wygięcie w kierunku światła (fototropizm dodatni) wykazują zwykle organy pędowe roślin, a w kierunku przeciwnym do światła (fototropizm ujemny) – niektóre korzenie; fototropizm występuje również u grzybów, a także u niektórych osiadłych zwierząt, w których ciele znajdują się symbiotyczne zielone komórki glonów (zooksantelle)

hipokotyl

łodyga podliścieniowa; osiowy organ roślin nasiennych znajdujący się między korzeniem a liścieniami, którego początek istnieje w większości zarodków

koleoptyl

pochwiasto ukształtowany pierwszy liść siewki trawy, obejmujący pozostałe części młodego pędu siewki

sporangiofor

występująca u grzybów strzępka, rosnąca pionowo w górę i zakończona zarodnią

Wirtualne laboratorium (WL-S)

Polecenie 1

Korzystając ze swojej wiedzy na temat fototropizmu organów roślinnych, zaplanuj doświadczenie, które pozwoli ci rozwiązać poniższy problem badawczy – określ niezbędne materiały i napisz instrukcję. Sformułuj hipotezę do zaplanowanego doświadczenia.

Problem badawczy

Czy światło ma wpływ na kierunek wzrostu pędu i korzenia fasoli?

Laboratorium 1

Przeprowadź doświadczenie w wirtualnym laboratorium, a następnie odnotuj swoje obserwacje i wnioski.

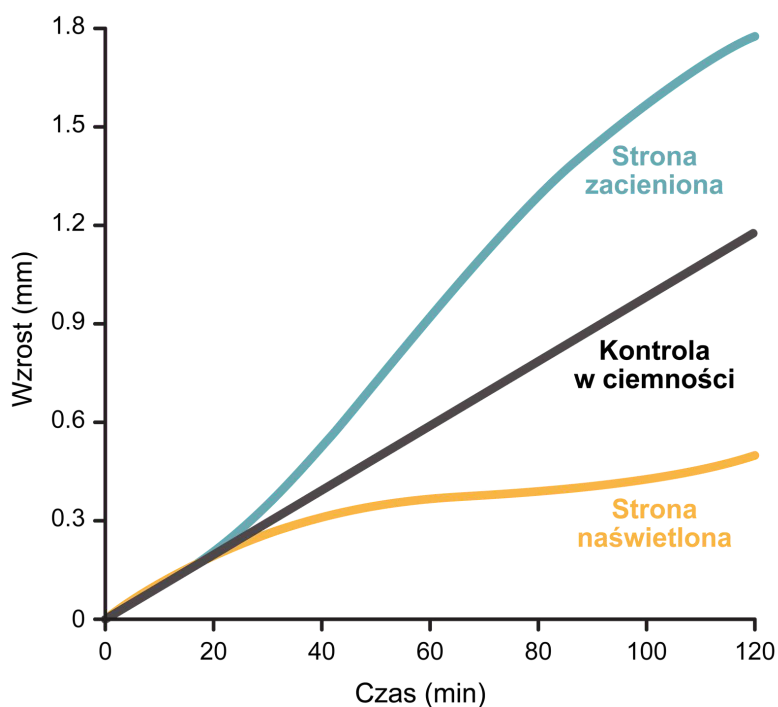
Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



Poniższy wykres przedstawia zapis wyników doświadczenia dotyczącego fototropizmu pewnego organu roślinnego. Zaznacz wszystkie organy roślinne mogące reagować na światło w ten sposób.



Korzenie kurczliwe cebuli

Korzenie asymilacyjne epifitów

Korzenie grochu jadalnego

Pęd główny rzodkiewnika pospolitego

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

Ćwiczenie 2



W 1910 r. Peter Boysen-Jensen wykonał prosty, lecz bardzo ważny eksperyment. Usunął wierzchołek koleoptyla (wierzchołek pochewki liściowej) owsa, co powodowało zahamowanie wzrostowej reakcji koleoptyla na światło. Ponowne umieszczenie wierzchołka na roślinie za pomocą żelatyny skutkowało przywróceniem prawidłowych reakcji.

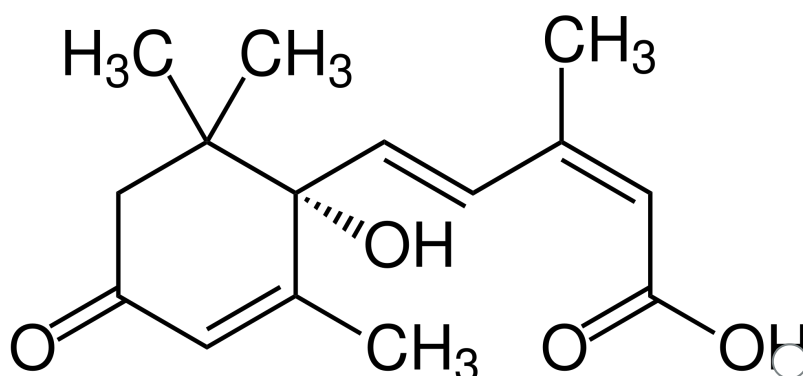
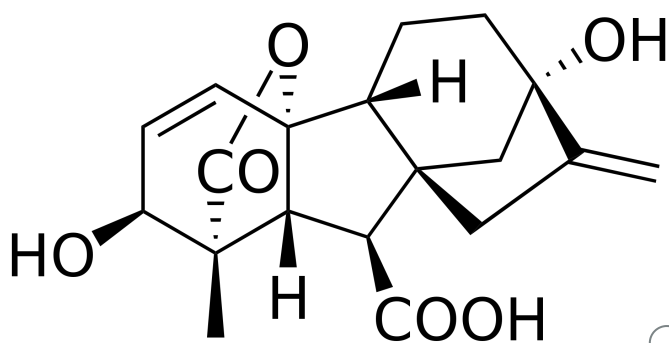
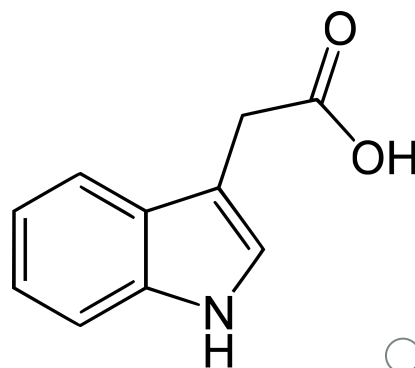
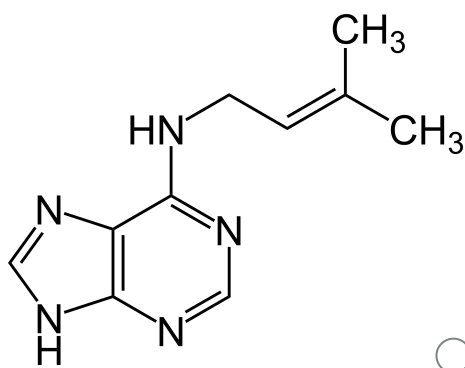
Zaznacz poprawny wniosek, jaki można wyciągnąć na podstawie wyników opisanego eksperymentu.

- W wierzchołku koleoptyla znajdują się auksyny odpowiedzialne za fototropizm koleoptyla owsa.
- Żelatyna jest substancją niezbędną do dyfuzji auksyn z odciętego wierzchołka koleoptyla do niższych jego części.
- Wierzchołek koleoptyla owsa jest niezbędny do jego prawidłowych reakcji na światło.
- W wierzchołku koleoptyla znajdują się substancje odpowiadające za fototropizm koleoptyla owsa.

Ćwiczenie 3



Na przestrzeni lat liczne eksperymenty dowiodły, że za reakcje fototropiczne odpowiedzialne są pewne substancje organiczne (nazwane później auksynami). Pierwszą zidentyfikowaną auksyną był związek chemiczny, w którym stosunek liczby atomów węgla do liczby atomów azotu wynosi 10:1. Wskaż wzór opisywanej auksyny.



Źródło: Wikimedia Commons, domena publiczna.

Ćwiczenie 4



Zaznacz w poniższym tekście właściwe określenia.

Mechanizm fototropizmu pędów i korzeni roślin nie jest do końca poznany. Pewne jest jednak to, że po stronie naświetlonej zacienionej pędu stężenie aktywnych auksyn jest większe niż po stronie przeciwnej. Możliwe, że przyczyną takiego stanu rzeczy jest powstawanie w świetle koniugatów auksyn z glukozą i innymi substancjami, co zmniejsza zwiększa aktywność tych fitohormonów. Ujemny fototropizm korzeni większości roślin wynika nie wynika z odwrotnej niż w przypadku pędu dystrybucji auksyn. Wzrost korzenia stymulowany jest przez niskie wysokie stężenie auksyn.

Ćwiczenie 5



Jak wiemy, auksyny odgrywają kluczową rolę w reakcjach fototropicznych korzenia i pędu. Transport tych fitohormonów, a w konsekwencji ich stężenie w danym miejscu w roślinie, zależy od barwników pełniących rolę fotoreceptorów, takich jak fitochromy, fototropiny i kryptochromy. Wymienione fotoreceptory różnią się absorbowaną przez siebie długością fali świetlnej. Fitochrom reaguje na światło czerwone, podczas gdy fototropiny i kryptochromy – na światło niebieskie. Fototropiny i kryptochromy wpływają też na regulację stopnia otwarcia aparatów szparkowych oraz ruchy chloroplastów w komórkach miękiszu asymilacyjnego.

Na podstawie: Chentao Lin, *Plant blue-light receptors*, *Trends in Plant Science*, 2000

Na podstawie powyższego tekstu i własnej wiedzy wybierz zdania wynikające z informacji do zadania.

- Fototropiny i kryptochromy kontrolują reakcje fotoperiodyczne, wpływając na lokalne stężenia auksyn w roślinie.
- Ruchy, na które wpływają fototropiny i kryptochromy, mają charakter wyłącznie fototropiczny.
- Stężenie kryptochromów w różnych częściach rośliny wynika z ich transportu, który jest zależny od auksyn.
- Fala świetlna o długości odpowiadającej barwie niebieskiej może aktywować trzy rodzaje receptorów

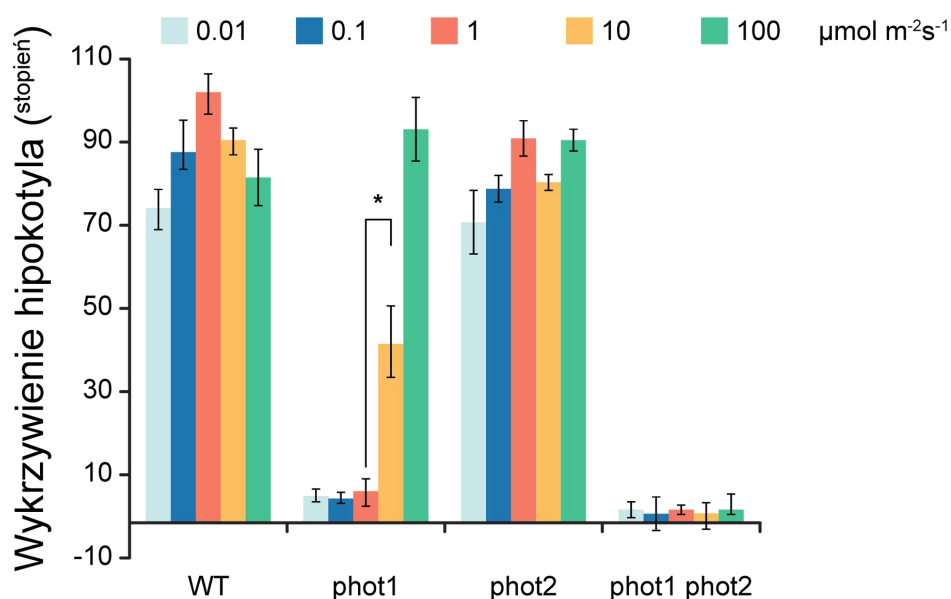
Ćwiczenie 6



Poniższy wykres przedstawia wyniki eksperymentu mającego określić wpływ fototropin na reakcję fototropiczną najniższej części łodygi (hipokotyłu) rzodkiewnika pospolitego (*Arabidopsis thaliana*). Trzydniowe siewki rzodkiewnika pospolitego etiolowano (pozostawiono przez pewien czas w ciemności), a następnie poddano 12-godzinnemu działaniu światła niebieskiego odpowiadającego gęstości przepływu fotonów fotosyntetycznych od 0,01 do 100 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Poszczególne wartości gęstości przepływu fotonów fotosyntetycznych światła niebieskiego oznaczono na wykresie różnymi kolorami.

Siewki mające geny kodujące obie badane fototropiny (fototropinę 1 i 2) oznaczono jako WT. Siewki mające delecje genów kodujących fototropiny jako phot1, phot2 lub phot1phot2 (jeśli siewka miała dwie delecje). Konsekwencją delecji genu jest brak produktu, czyli odpowiedniej fototropiny.

Na podstawie: Q. P. Zhao i wsp., *Cryptochrome-mediated hypocotyl phototropism was regulated antagonistically by gibberellic acid and sucrose in Arabidopsis*, „Journal of Integrative Plant Biology”, 2020.



Wykres ilustrujący eksperyment.

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

Na podstawie tekstu do zadania 5, powyższych informacji i własnej wiedzy oznacz poniższe zdania jako prawdziwe lub fałszywe.

Zdanie	Prawda	Fałsz
--------	--------	-------

Zdanie	Prawda	Fałsz
Brak obu fototropin znacząco wpływa na reakcje fototropiczne hipokotyłu siewki rzodkiewnika pospolitego.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Brak jednej z badanych fototropin może zwiększyć reakcję fototropiczną hipokotyłu siewek rzodkiewnika pospolitego przy najwyższym natężeniu światła niebieskiego.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Fototropiny 1 i 2 nie różnią się wpływem na fototropizm hipokotyłu siewek rzodkiewnika pospolitego.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Im większe natężenie światła niebieskiego, tym wyraźniejsze reakcje fototropiczne (niezależnie od obecności lub braku poszczególnych fototropin).	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Ćwiczenie 7



Na podstawie informacji do zadań 5, 6 i własnej wiedzy oceń, czy można określić wpływ fitochromu na fototropizm hipokotyłu siewek rzodkiewnika pospolitego, gdy porówna się rośliny typu WT z roślinami mającymi delecję genu fitochromu, jeśli reszta warunków pozostanie niezmienną.

Ćwiczenie 8



W 2015 r. przeprowadzono wariant eksperymentu Petera Boysena-Jensena. Tym razem doświadczenie dotyczyło nie koleoptyla, a korzeni zielistki Sterneberga (*Chlorophytum comosum*). Korzenie, których końcowe odcinki odcięto, nie wykazywały ujemnego fototropizmu. Jednak korzenie, do których ponownie przytwierdzono końcowe odcinki, rosły w kierunku przeciwnym do źródła światła.

Na podstawie: Chen Juan i wsp., *Negative Phototropism of Chlorophytum comosum Roots and Their Mechanisms*, Horticultural Plant Journal, 2015.

Na podstawie powyższego tekstu i własnej wiedzy oceń, czy przyczyną braku reakcji fototropicznej jest w przypadku korzeni z odciętymi końcowymi odcinkami brak fotoreceptorów czy niewystarczający poziom auksyn. Odpowiedź uzasadnij.

Dla nauczyciela

Autor: Anna Juwan

Przedmiot: biologia

Temat: Fototropizm korzenia i pędu – doświadczenie

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

Podstawa programowa:

Zakres rozszerzony

Treści nauczania – wymagania szczegółowe

IX. Różnorodność roślin.

7. Reakcja na bodźce. Uczeń:

1) przedstawia nastie i tropizmy jako reakcje roślin na bodźce (światło, temperatura, grawitacja, bodźce mechaniczne i chemiczne); planuje i przeprowadza doświadczenie wykazujące różnice fototropizmu korzenia i pędu; planuje i przeprowadza doświadczenie wykazujące różnice geotropizmu korzenia i pędu; planuje i przeprowadza obserwację termonastii wybranych roślin;

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):

- Wyjaśniesz, na czym polega zjawisko fototropizmu.
- Omówisz eksperymenty przeprowadzone w celu zbadania mechanizmu fototropizmu.
- Przedstawisz teorie wyjaśniające wpływ światła na rozmieszczenie auksyn w roślinie.
- Zaplanujesz i przeprowadzisz doświadczenie wykazujące różnice fototropizmu korzenia i pędu.

Strategie nauczania:

- konstruktywizm;
- konektywizm;

- IBSE (nauczanie przez dociekanie naukowe);
- nauczanie hybrydowe.

Metody i techniki nauczania:

- z użyciem komputera;
- rozmowa kierowana;
- mapa myśli;
- ćwiczenia interaktywne;
- obserwacja;
- eksperyment.

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”.
2. Uczniowie przypominają sobie informacje na temat ruchów roślin, zwracając uwagę na fototropizm.

Przebieg lekcji

Faza wstępna:

1. Nauczyciel wyświetla cele lekcji i określa kryteria sukcesu.
2. **Raport z przygotowań.** Nauczyciel, przy użyciu dostępnego w panelu użytkownika raportu, weryfikuje przygotowanie uczniów do lekcji: sprawdza, którzy uczestnicy zajęć zapoznali się z udostępnionym e-materiałem.
Nauczyciel poleca uczniom, aby zgłaszali swoje propozycje pytań do wspomnianego tematu. Jedna osoba może zapisywać je na tablicy. Gdy uczniowie wyczerpią swoje pomysły, a pozostały jeszcze jakieś ważne kwestie do poruszenia, nauczyciel uzupełnia informacje.

Faza realizacyjna:

1. **Praca z tekstem.** Uczniowie dzielą się na 5-osobowe grupy, losują pytania sformułowane na początku lekcji i przygotowują odpowiedzi. Zespół, który jest gotowy, zgłasza się i przedstawia rezultaty swojej pracy. Reszta klasy wraz z nauczycielem weryfikują poprawność odpowiedzi. Wszyscy uczniowie wykonują w zeszycie notatkę w postaci mapy myśli, porządkującą nowe wiadomości.
2. Nauczyciel prosi uczniów, aby w tych samych grupach, korzystając z wiedzy na temat fototropizmu organów roślinnych, zaplanowali doświadczenie, które pozwoli im rozwiązać następujący problem badawczy: „Czy światło ma wpływ na kierunek wzrostu pędu i korzenia fasoli?”. Uczniowie powinni określić materiały niezbędne do wykonania doświadczenia oraz napisać instrukcję, uwzględniającą wszystkie konieczne czynności. Powinni także sformułować hipotezę do doświadczenia. Po wykonaniu zadania nauczyciel ocenia poprawność jego wykonania i prosi uczniów o sformułowanie przewidywanych wyników.
3. **Praca z multimediami („Wirtualne laboratorium (WL-S)”)**. Nauczyciel informuje uczniów, że w wirtualnym laboratorium przeprowadzą eksperyment dotyczący występowania fototropizmu u roślin. Uczniowie, pracując w parach, przeprowadzają doświadczenie, a następnie w formularzu zapisują swoje obserwacje i wnioski. Porównują je z przewidywanymi wynikami.
4. **Utrwalanie wiedzy i umiejętności.** Nauczyciel wyświetla treść ćwiczenia nr 5 (dotyczącego transportu auksyn zależnego od fotoreceptorów, takich jak fitochromy, fototropiny i kryptochromy) z sekcji „Sprawdź się”. Uczniowie rozwiązują je wspólnie na forum klasy.
5. **Utrwalanie wiedzy i umiejętności.** Uczniowie, pracując w parach, rozwiązują kolejne ćwiczenia związane z tekstem i wykresami do ćwiczenia 5, tzn. ćwiczenia 6 i 7. Po upływie wyznaczonego czasu uczniowie uzasadniają poprawne odpowiedzi. Nauczyciel wyjaśnia ewentualne wątpliwości.

Faza podsumowująca:

1. Nauczyciel zadaje pytania w celu sprawdzenia stopnia opanowania wiedzy przez uczniów:
 - Co wykazały omówione eksperymenty badające mechanizm fototropizmu?
 - Na czym polega mechanizm ruchu fototropicznego?
 - Jaką rolę odgrywają auksyny w ruchach fototropicznych?
 - Jakie poznaliście teorie wyjaśniające wpływ światła na rozmieszczenie auksyn w roślinie?

Praca domowa:

1. Wykonaj ćwiczenia od 1 do 3 oraz ćwiczenie 8.
2. Dla chętnych: Przeprowadź w domu doświadczenie zaplanowane na lekcji. Pamiętaj o zapisaniu swoich spostrzeżeń..

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.

Wskazówki metodyczne opisujące różne zastosowania wirtualnego laboratorium:

- Wirtualne laboratorium (WL-S) można wykorzystać w fazie wstępnej zajęć, w celu wzbudzenia zaciekawienia uczniów.