



## Rola auksyn w ruchach tropicznych

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

### Bibliografia:

---

- Źródło: LOKALIZACJA GRADIENTU AUKSYNY ORAZ ROZMIESZCZENIE BIAŁEK PIN W PROLIFERUJĄCYM I RÓŻNICUJĄCYM SIĘ TRANSGENICZNYM KALUSIE *Arabidopsis thaliana*, Justyna Wiśniewska, Małgorzata Pietrzykowska, Bogumiła Szyndel, Andrzej Tretyn, tekst dostępny online: researchgate.net.
- Źródło: DZIEŃ I NOC W ŻYCIU ROŚLIN, Łucja Kowalewska, Agnieszka Mostowska; KOSMOS, Tom 64 2015 Numer 3 (308), s. 471–483.



## Rola auksyn w ruchach tropicznych

Pędy roślin wykazują fototropizm dodatni – wyginają się w kierunku działania bodźca świetlnego, co spowodowane jest nierównomiernym rozmieszczeniem auksyn po stronie zacienionej i oświetlonej.

Źródło: Humam, Unsplash, domena publiczna.

Tropizmy to ruchy wzrostowe organów roślinnych wywołane działaniem kierunkowych bodźców zewnętrznych, takich jak światło lub siła grawitacji. Wygięcie pędu czy korzenia w ruchach foto- i geotropicznych jest spowodowane nierównomiernym rozmieszczeniem hormonów roślinnych zwanych auksynami, co prowadzi do różnic w tempie wzrastania stron organu mających odmienną ekspozycję na dany bodziec.

### Twoje cele

- Przedstawisz funkcje auksyn pełnione w organizmach roślinnych.
- Omówisz znaczenie auksyn dla ruchów fototropicznych.
- Wyjaśnisz wpływ auksyn na reakcje geotropiczne.

## Auksyny

**Auksyny** to **hormony roślinne** (fitohormony), które należą do tak zwanych **stymulatorów**, czyli substancji pobudzających procesy wzrostu i różnicowania w tkankach roślinnych. Do stymulatorów należą nie tylko auksyny, ale i **gibereliny** oraz **cytokininy**.

Auksyny są syntetyzowane z aminokwasu o nazwie **tryptofan**. Kwas indolilo-3-octowy jest podstawową naturalną auksyną (ang. *indo-lyl-acetic acid*, **IAA**). Poza nim znane są inne auksyny indolowe (jak nityl kwasu indoliloctowego, kwas 4-chloro-3-indoliloctowy), a także auksyny nieindolowe (np. kwas fenylooctowy) występujące jednak mniej powszechnie niż IAA. Kwas 2,4-dichloro-fenoksyoctowy (2,4-D) jest syntetyczną auksyną, zdolną do stymulacji wzrostu w stężeniach 1000-krotnie mniejszych niż IAA. Najlepiej poznanymi procesami regulowanymi przez auksyny są: wzrost wydłużeniowy (elongacyjny) komórek, ukorzenianie, ruchy roślin, dojrzewanie owoców, starzenie się.

Synteza auksyn odbywa się w merystemach pędu i korzenia, ale także w owocach i młodych liściach. Auksyny są transportowane głównie przez łyko (floem), a miejscem docelowym transportu jest strefa wydłużeniowa korzeni, łodyg i liści.

### Jakie są najważniejsze funkcje auksyn?

Hormony te odpowiadają m.in. za:

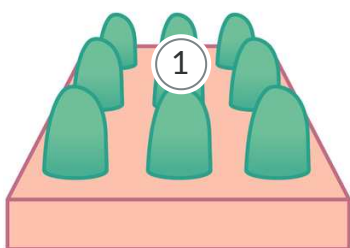
- stymulowanie wzrostu wydłużeniowego pędu – auksyny hamują rozwój pąków bocznych, dzięki czemu promowana jest **dominacja wierzchołkowa**;
- powstawanie **kalusa**, czyli tkanki przyrannej;
- pobudzanie przyrostu na grubość oraz poprzez pobudzanie podziałów komórek miazgi;
- stymulowanie ukorzeniania, a także rozwój korzeni przybyszowych;
- hamowanie wzrostu wydłużeniowego korzenia;
- hamowanie rozwoju warstwy odcinającej, dzięki czemu odpowiadają za opóźnianie opadania liści;
- warunkowanie ruchów tropicznych – fototropizmu i geotropizmu.

# Auksyny a fototropizm

W przypadku gdy ruch organu rośliny jest wywoływany przez ukierunkowany bodziec **światlny**, mamy do czynienia z **fototropizmem**. Najbardziej znanym przykładem fototropizmu jest reakcja **koleoptylu**, czyli pochwki, która osłania stożek wzrostu w siewkach traw. Koleoptyl jest charakterystycznym elementem budowy pędu traw, zdolnym do szybkiego wzrostu wydłużeniowego.

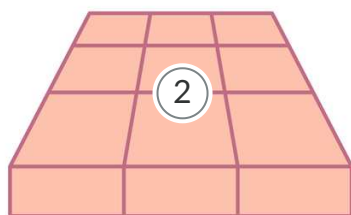
## Jaką rolę w fototropizmie odgrywają auksyny?

Zgodnie z teorią **Chołodnego-Wenta** działające kierunkowo światło powoduje **nierównomierne** rozmieszczenie auksyn – więcej tych hormonów znajduje się po zaciętej stronie rośliny. Auksyny powodują szybszy wzrost wydłużeniowy pędu po jego nieoświetlonej stronie. Strona oświetlona (zawierająca mniej auksyn) rośnie znacznie wolniej. Różnica w tempie wzrostu powoduje wyginanie pędu w kierunku działającego bodźca, czyli w stronę światła. Zjawisko to nosi nazwę **fototropizmu dodatniego**.



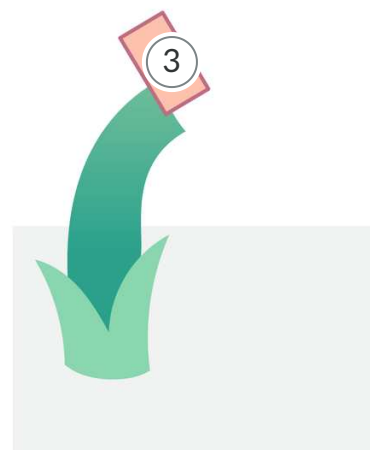
1

Wierzchołki koleoptyli umieszczono w ciemności na bloczku agarowym. Kwas indolilo-3-octowy dyfundował z koleoptyli do bloczków agarowych.



2

Usunięto wierzchołki koleoptyli, bloczek agarowy z auksyną pocięto na kostki.



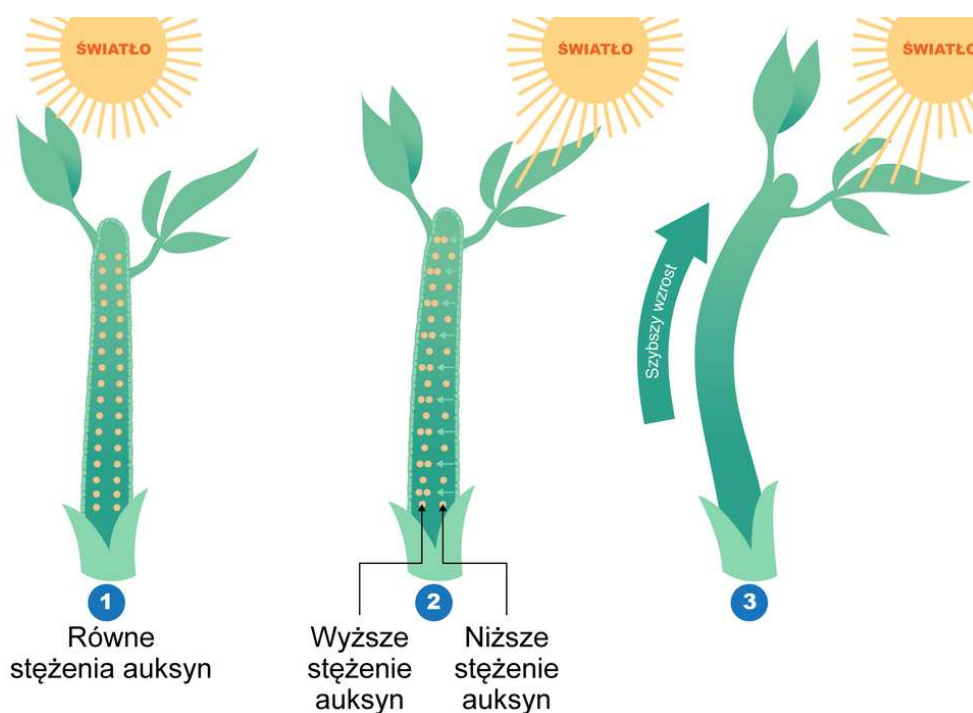
Następnie kostki agarowe umieszczono w różnych miejscach na uciętych pędach. Jeśli kostka agarowa została przyłożona tylko do jednej części uciętego pędu, auksyny były rozprawdane nierównomiernie i szybciej zaczynała rosnąć ta część pędu, do której przemieściły się auksyny z kostki agarowej. Pęd zakrzywiał się tak, jakby rósł w kierunku światła, mimo że był hodowany w ciemności.

Aby wykazać istnienie substancji wpływającej na wzrost koleoptyli, F. Went w 1928 roku przeprowadził eksperyment z użyciem odciętych koleoptyli, umieszczonych na bloczkach agarowych (pociętym na części żelowym podłożu z agaru, służącym do prowadzenia hodowli roślin w warunkach *in vitro*). Eksperyment Wenta wykazał, że w koleoptylach obecna jest substancja stymulująca wzrost pędu w stronę światła. Jej wyższe stężenie po stronie zacienionej powoduje wzrost wydłużeniowy komórek w tym rejonie, co skutkuje wygięciem koleoptyli w stronę oświetloną. Substancją dyfundującą do bloczków okazał się być kwas indolilo-3-octowy – jedna z naturalnych auksyn.

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

## Wpływ światła na rozmieszczenie auksyn

Choć istnieją różne koncepcje wyjaśniające, w jaki sposób światło wpływa na rozmieszczenie auksyn, pewne jest, że hormony te rozluźniają mikrofibryle ścian komórkowych komórek roślinnych. Sprawia to, że ciśnienie turgorowe powoduje wzrost wydłużeniowy po tej stronie pędu, po której stężenie auksyn jest większe.



Mechanizm ruchu fototropicznego.

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

Po zacięnionej stronie rośliny nagromadzenie auksyn jest większe w wyniku poprzecznego transportu tych fitohormonów. Wykazano, że wskutek jednostronnego oświetlenia pojawia się potencjał bioelektryczny między stroną oświetloną i zacięioną koleoptylu, przy czym strona naświetlona staje się elektroujemna. Istnieje zatem możliwość, że poprzeczny transport auksyn wynika z elektroforetycznego przemieszczania się ujemnie naładowanych anionów (IAA) do dodatnio naładowanej strony zacięionej. Pojawienie się ładunków może być jednak skutkiem, a nie przyczyną nierównomiernej dystrybucji IAA.

2

Powodem większego stężenia auksyn po zacięionej stronie rośliny jest także hamujący wpływ światła na system enzymatyczny uczestniczący w syntezie IAA, przez co po stronie zacięionej ilość syntetyzowanych auksyn jest większa.

3

Światło może również wpływać na przechodzenie aktywnej formy IAA w nieaktywne koniugaty (z glukozą, inozytolem, amidami) po oświetlonej stronie rośliny. Wolny IAA po stronie zacięionej indukuje wystąpienie reakcji tropicznej.

4

Inne poglądy głoszą, że przyczyną wygięcia fototropicznego jest światło zmniejszające wrażliwość tkanek na działanie auksyn po oświetlonej stronie. Zatem po stronie

zacienionej nawet małe stężenia wolnej auksyny mogą być dużo bardziej efektywne wzrostowo. Po stronie zacienionej może być także większa dostępność receptorów IAA.

Więcej na temat fototropizmu możesz przeczytać [tutaj](#).

## Auksyny a geotropizm

**Geotropizm** to ruch wzrostowy rośliny stymulowany bodźcem grawitacyjnym. Korzeń wykazuje najczęściej **geotropizm dodatni**, co znaczy, że wygina się w kierunku bodźca grawitacyjnego, z kolei pęd wykazuje **geotropizm ujemny**, co oznacza, że wygina się przeciwnie do działania grawitacji.

Miejszem percepcji bodźca grawitacyjnego w korzeniu jest czapeczka korzeniowa przylegająca do wierzchołka wzrostu. Reakcja na grawitację pojawia się natomiast w pobliżu wierzchołka w strefie wydłużania.

Percepcja bodźca geotropicznego zachodzi prawdopodobnie w wyniku działania przyspieszenia ziemskiego na pewne cięższe składniki komórkowe – **statolity**, ulegające przemieszczeniu w określonych komórkach.

Statolity, zależnie od zorientowania organu, wywierają presję na cysterny siateczki śródplazmatycznej, wyzwalając stany wzbudzenia. Uważa się, że geotropizm, np. korzenia, zachodzi pod wpływem nacisku wywieranego przez statolity (ziarna skrobi w czapeczce korzeniowej) opadające na dolne części komórek. Jeśli zredukuje się zawartość skrobi, korzenie zazwyczaj, chociaż nie zawsze, tracą zdolność do reakcji geotropicznej.

### Jaką rolę w geotropizmie odgrywają auksyny?

Wiadomo, że auksyny przemieszczają się w roślinie zgodnie z kierunkiem działania siły ciężkości, tzn. ku dołowi. Tym samym w roślinie

umieszczonej w pozycji poziomej auksyny gromadzą się wzdłuż dolnej strony łodygi i korzenia.

2

Koleoptyle i pędy ułożone w pozycji poziomej zawierają więcej auksyn po stronie dolnej. Przyczyną tego jest również poprzeczny transport auksyn oraz intensywniejsza synteza IAA po tej stronie pędu.

3

W reakcji geotropicznej pędów biorą też udział gibereliny. Stwierdzono bowiem, że po dolnej stronie poziomo ułożonego pędu gromadzi się kilkakrotnie więcej giberelin niż po stronie górnej.

Nagromadzenie auksyn i giberelin stymuluje wzrost, powodując geotropizm **ujemny** pędu.

4

Mechanizm dodatniego geotropizmu korzenia tłumaczy się wyższą niż pędu wrażliwością korzenia na auksyny – zwiększenie ich stężenie po dolnej stronie prowadzi do hamowania wzrostu i dodatniego wygięcia korzenia.

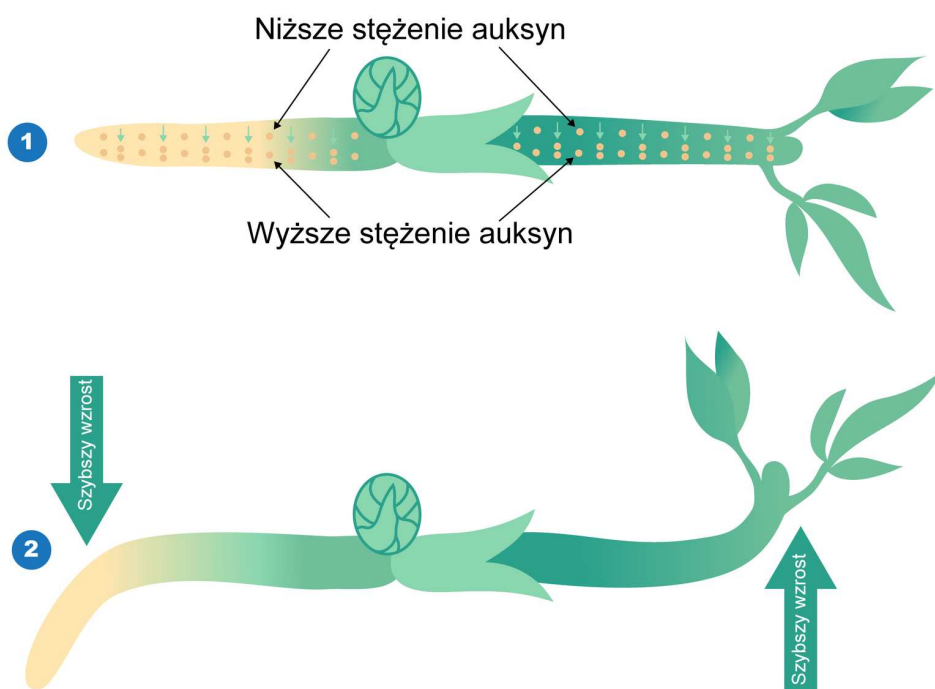
5

Jednakże w wielu korzeniach stężenie auksyn jest bardzo małe. Poza tym transport auksyn w korzeniu nie zawsze jest zgodny z przewodzeniem sygnału geotropicznego. Auksyny w korzeniu są transportowane również akropetalnie, czyli odwrotnie do kierunku

przewodzenia sygnału. Ponadto miejsce percepcji bodźca geotropicznego w korzeniu – czapeczka – nie jest głównym ośrodkiem syntezy auksyn. Dlatego są wysuwane również inne hipotezy odnośnie do mechanizmu geotropizmu korzeni.

6

Jedna z nich mówi o roli fal potencjałów czynnościowych generowanych w czapeczce korzeniowej. Inna hipoteza proponuje, że w powstawaniu wygięcia geotropicznego korzeni biorą udział inhibitory wzrostu wytworzone przez czapeczkę korzeniową i transportowane w sposób asymetryczny w górę korzenia. Inhibitorami tymi są kwas abscysynowy oraz, u niektórych roślin, ksantoksyna. Gdy korzeń jest ułożony poziomo, inhibitory przemieszczają się asymetrycznie, wywołując w strefie wzrostu zahamowanie wydłużania się komórek i wygięcie korzenia w dół.



Więcej na temat geotropizmu możesz przeczytać [tutaj](#).

## Słownik

### **auksyny**

(gr. *auxánō* – powoduję wzrost) hormony roślinne (fitohormony) uczestniczące w regulacji wzrostu wydłużeniowego komórek i w ich różnicowaniu; odgrywają decydującą rolę w mechanizmach ruchów wzrostowych

### **Chołodny Nikołaj**

ur. w 1882 r., zm. w 1953 r., botanik i mikrobiolog ukraiński; pracował na Uniwersytecie Kijowskim; początkowo badał drobnoustroje – był jednym z pionierów koncepcji, zgodnie z którą przylegają one do powierzchni; następnie zajmował się fizjologią roślin – hormonami roślinnymi i ruchami tropicznymi

### **cytokininy**

hormony roślinne (fitohormony) uczestniczące w regulacji podziałów komórkowych (cytokinezie), różnicowania i organogenezy

### **dominacja wierzchołkowa**

u roślin hamujący wpływ pąka wierzchołkowego pędu na rozwój pąków bocznych; związana jest m.in. z wysokim poziomem auksyn w pąku wierzchołkowym i niskim poziomem cytokinin w pąkach bocznych; zapobiega nadmiernemu rozgałęzianiu się pędów

### **gibereliny**

hormony roślinne (fitohormony), które wywierają różnorodny wpływ na procesy fizjologiczne i reakcje biochemiczne roślin, np. biorą udział w regulacji kiełkowania nasion, spoczynku, zakwitania, pobudzają syntezę i aktywność niektórych enzymów, np.  $\alpha$ - i  $\beta$ -amylazy; najbardziej charakterystycznym efektem jest stymulacja wydłużania międzywęzła pędu

### **kalus (tkanka przyranna)**

tkanka, która wytwarzana jest w miejscu zranienia rośliny

### **koleoptyl**

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

### **Went Frits**

ur. w 1903 r., zm. w 1990 r., biolog holenderski; pracował w Californian Institute of Technology w Pasadenie; zajmował się fizjologią i wzrostem roślin – badał hormony

roślinne i tropizmy, a później również prowadził badania nad wpływem środowiska zewnętrznego (m.in. zanieczyszczeń powietrza) na wzrost roślin

## Rola auksyn w ruchach tropicznych

Film dostępny pod adresem </preview/resource/R6kQYu04DHZGe>

Rola auksyn w ruchach tropicznych.

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

Film nawiązujący do treści materiału pod tytułem: Rola auksyn w ruchach tropicznych.

### Polecenie 1

Wyjaśnij, czym są tropizmy i podaj ich przykłady.

### Polecenie 2

Narysuj w zeszycie schemat pędu rośliny i zaznacz z lewej strony źródło światła. Następnie oznacz, w którym kierunku będzie się wyginał pęd rośliny, i wyjaśnij, czym spowodowany jest taki kierunek wygięcia.

# Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

## Ćwiczenie 1



Uzupełnij tekst, wybierając odpowiednie słowa spośród podanych niżej.

Tropizmy to ruchy roślin w odpowiedzi na  działania bodźca. Mogą być one  – w sytuacji, gdy organizm wykazuje wzrost w kierunku działającego bodźca, lub  – w kierunku przeciwnym do niego. Większość roślin wykorzystuje  (inaczej fitohormony) zwane  do inicjowania i przeprowadzania tych ruchów.

Auksyny syntetyzowane są z  w merystemach pędu i korzenia, . Transportowane są poprzez , a miejscem docelowym transportu jest . Należą one do  – pobudzają procesy wzrostu i różnicowania w tkankach roślinnych. Pierwszą odkrytą i obecnie uważaną za najważniejszą auksyną jest .

Auksyny rozluźniają  ścian komórkowych, co sprawia, że ciśnienie  powoduje wzrost elongacyjny komórek po  stronie pędu.

neutralne    tej samej    zewnętrzna tkanka wzmacniająca    dodatnie

kwas indoliloctowy    ortostatyczne    auksynami    kierunek    ujemne    tryptofanu

strefa wydłużeniowa    korzenie    tyko    rodzaj    przeciwnej    inhibitorów

owocach i młodych liściach    hormony roślinne    turgorowe    mikrofibryle

autohormonami    stymulatorów

## Ćwiczenie 2



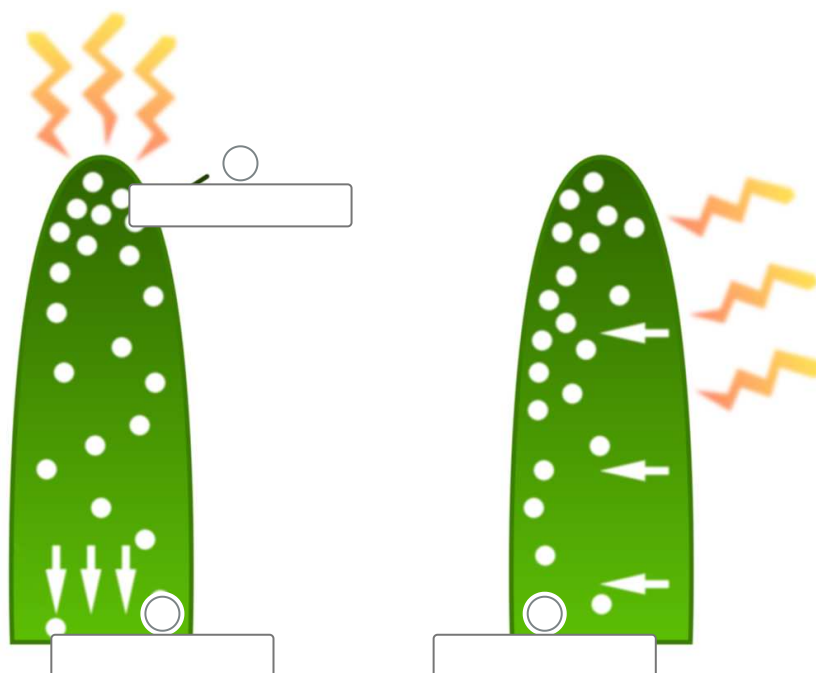
Zaznacz wszystkie funkcje, które pełnią auksyny.

- ☐ Pobudzanie wzrostu wydłużeniowego korzenia.
- ☐ Inicjowanie powstawania kalusa.
- ☐ Warunkowanie ruchów tropicznych – fototropizmu i geotropizmu.
- ☐ Promowanie wzrostu pąków bocznych i hamowanie dominacji wierzchołkowej.
- ☐ Stymulowanie wzrostu wydłużeniowego pędu.
- ☐ Hamowanie przyrostu na grubość oraz pobudzanie podziału komórek miazgi.
- ☐ Promowanie dominacji wierzchołkowej i hamowanie pąków bocznych.
- ☐ Hamowanie wzrostu wydłużeniowego korzenia.

### Ćwiczenie 3



Dopasuj opisy do ilustracji.



Odchylenie pędu w prawo

Auksyny

Wzrost pędu w górę

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

### Ćwiczenie 4



Oceń, czy podane stwierdzenia są prawdziwe czy fałszywe.

| Stwierdzenie                                                                                                        | Prawda                | Fałsz                 |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Oprócz auksyn hormonami roślinnymi są cytokininy i endorfiny.                                                       | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Gibereliny to hormony roślinne regulujące wzrost, indukujące kwitnienie oraz biorące udział w procesie kiełkowania. | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Nagromadzenie auksyn po jednej stronie organu ma taki sam wpływ na wzrost zarówno korzenia, jak i pędu rośliny.     | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |

## Ćwiczenie 5



Przyporządkuj poniższym hasłom ich definicje.

Reakcja koleoptylu

Wyginanie się różnych części roślin pod wpływem grawitacji, umożliwiające przesuwanie się ziaren skrobi statolitycznej i przenoszenie sygnałów z czapeczki korzeniowej do strefy wydłużeniowej.

Geotropizm

Wzrost organów roślinnych w kierunku źródła światła, zachodzący w wyniku poprzecznego transportu auksyn i w konsekwencji szybszego wzrostu po stronie nieoświetlonej rośliny.

Geotropizm ujemny

Wzrost pędu rośliny przeciwnie do kierunku działania siły grawitacyjnej.

Geotropizm dodatni

Wyginanie się korzenia rośliny zgodnie z kierunkiem działania siły grawitacyjnej.

Fototropizm dodatni

Przykład fototropizmu dodatniego, inaczej reakcja pochwłki, która osłania stożek wzrostu – szybki ukierunkowany wzrost wydłużeniowy pędu pod wpływem światła.

## Ćwiczenie 6



Uzupełnij tabelę, przeciągając podane poniżej ramki w odpowiednie miejsca.

| Element                      | Fototropizm | Geotropizm  |
|------------------------------|-------------|-------------|
| Bodziec                      | <div></div> | <div></div> |
| Miejsce nagromadzenia auksyn | <div></div> | <div></div> |
| Przykład                     | <div></div> | <div></div> |

W pozycji poziomej – wzdłuż dolnej strony łodygi i korzenia

Reakcja koleoptylu

Bodziec grawitacyjny

Wzrost korzenia w dół, prostopadle do powierzchni Ziemi niezależnie od położenia wyjściowego

Strona zacieniona

Kierunkowy bodziec świetlny

## Ćwiczenie 7



„Fotonastie to ruchy wywołane działaniem światła, lecz bez związku z kierunkiem jego działania. Wskutek zmiany oświetlenia następuje, np. u podbiału, mniszka czy tulipana, zamykanie się kwiatów na noc i ich otwieranie w dzień. Takie ruchy w cyklu dzieńno-nocnym są zwykle ruchami wzrostowymi, np. nierównomiernym wzrostem górnej i dolnej części płatków korony, i są regulowane przez auksyny. Ruchy fotonastyczne mogą mieć także charakter zmian turgorowych, gdy pod wpływem światła następuje zmiana turgoru w niektórych komórkach. Przykładem może być zmiana turgoru w tzw. poduszeczkach u nasady liści u mimozy i fasoli, dzięki czemu ogonek liściowy wykonuje ruchy, podnosząc i opuszczając blaszkę liściową.”

Źródło: Łucja Kowalewska, Agnieszka Mostowska, *Dzień i noc w życiu roślin*, „Kosmos” 2015, tom 64, nr 3 (308), s. 471–483.

Na podstawie przedstawionego fragmentu tekstu porównaj ze sobą fotonastię i fototropizm.



„Unikalną właściwością auksyny jest jej polarny transport, kontrolowany przez białka PIN odpowiedzialne za wypływ tego hormonu z komórki. Wykazano, iż to one odgrywają znaczącą rolę w asymetrycznym rozmieszczeniu stężenia tego fitohormonu w cieple rośliny, co ma ogromne znaczenie zarówno podczas wzrostu i rozwoju rośliny już na etapie zarodkowym, jak i podczas dalszych etapów ontogenezy. Prawidłowy przebieg rozwoju zarodkowego i tworzenia korzeni bocznych uwarunkowany jest dynamiczną zmianą lokalizacji białek PIN. Wewnątrz komórki istnieje stała pula krążących białek PIN w endosomach, które pod wpływem różnych czynników mogą się przemieszczać z błony do cytoplazmy, wpływając przez to na kierunek i wydajność transportu auksyny.”

Źródło: Justyna Wiśniewska i in., *Lokalizacja gradientu auksyny oraz rozmieszczenie białek PIN w proliferującym i różnicującym się transgenicznym kalusie Arabidopsis thaliana*, „Zeszyty problemowe postępów nauk rolniczych” 2009, nr. 534, s. 297-305.

Na podstawie przedstawionego fragmentu i własnej wiedzy oceń prawidłowość stwierdzenia:

„Głównym czynnikiem regulującym przebieg rozwoju i wzrostu rośliny jest bezwzględna ilość auksyn w całym organizmie rośliny”. Odpowiedź uzasadnij.

# Dla nauczyciela

---

**Autor:** Anna Juwan

**Przedmiot:** Biologia

**Temat:** Rola auksyn w ruchach tropicznych

**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:

2) przedstawia rolę auksyn w ruchach wzrostowych roślin; planuje i przeprowadza doświadczenie wykazujące rolę stożka wzrostu w dominacji wierzchołkowej u 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):**

- Przedstawisz funkcje auksyn pełnione w organizmach roślinnych.
- Omówisz znaczenie auksyn dla ruchów fototropicznych.
- Wyjaśnisz wpływ auksyn na reakcje geotropiczne.

**Strategie nauczania:**

- konstruktywizm;
- konektywizm.

**Metody i techniki nauczania:**

- z użyciem komputera;
- rozmowa kierowana;

- ćwiczenia interaktywne;
- obserwacja;
- analiza animacji;
- śniegowa kula.

### **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;
- okaz rośliny, u której widoczne są ruchy tropiczne.

### **Przed lekcją:**

1. Uczniowie zapoznają się z treścią w sekcji „Przeczytaj”.
2. Uczniowie kilkanaście dni wcześniej przygotowują na zajęcia roślinę uprawianą w poziomo ustawionym przezroczystym pojemniku – tak by były widoczne korzenie rosnące w dół oraz pęd rosnący do góry.

### **Przebieg lekcji**

#### **Faza wstępna:**

1. Nauczyciel wyświetla na tablicy temat lekcji oraz cele zajęć, omawiając lub ustalając razem z uczniami kryteria sukcesu.
2. Uczniowie prezentują rośliny, które mieli przygotować na zajęcia. Nauczyciel pyta ich, czym spowodowane jest wygięcie pędu i korzenia. Wybrane osoby udzielają odpowiedzi, uwzględniając rolę auksyn w zachodzącym zjawisku.

#### **Faza realizacyjna:**

1. **Praca z multimedium („Animacja”).** Uczniowie zapoznają się z animacją udostępnioną przez nauczyciela. Następnie w parach wykonują polecenie nr 1 („Wyjaśnij, co to są tropizmy i scharakteryzuj ich przykłady.”). Wybrana osoba prezentuje propozycję odpowiedzi, a pozostali uczniowie ustosunkowują się do niej. Nauczyciel w razie potrzeby uzupełnia ją.
2. **Kula śniegowa.** Nauczyciel informuje uczniów, że będą pracować metodą kuli śniegowej, poszukując w udostępnionym e-materiale odpowiedzi na następujące

pytania:

- Czym są auksyny i jaka jest ich rola w fizjologii roślin?
- Na czym polega zjawisko fototropizmu?
- Na czym polega zjawisko geotropizmu?

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.** Uczniowie rozwiązują samodzielnie ćwiczenia nr 7 (w którym na podstawie przedstawionego fragmentu tekstu mają za zadanie porównać fotonastie i fototropizm) i nr 8 (w którym na podstawie przedstawionego fragmentu i własnej wiedzy mają za zadanie ocenić prawidłowość stwierdzenia: „Głównym czynnikiem regulującym przebieg rozwoju i wzrostu rośliny jest bezwzględna ilość auksyn w całym organizmie rośliny”) z sekcji „Sprawdź się”. Po ustalonym czasie wybrani uczniowie przedstawiają odpowiedzi, a reszta klasy ustosunkowuje się do nich. Nauczyciel w razie potrzeby koryguje odpowiedzi, dopowiada istotne informacje.

### **Faza podsumowująca:**

1. Uczniowie wykonują ćwiczenie nr 1 (polegające na uzupełnieniu tekstu na temat roli auksyn w ruchach tropicznych) oraz ćwiczenie nr 5 (polegające na uzupełnieniu tabeli dotyczącej fototropizmu i geotropizmu).
2. Na koniec zajęć nauczyciel raz jeszcze wyświetla na tablicy interaktywnej lub przy użyciu rzutnika temat lekcji i cele zawarte w sekcji „Wprowadzenie”. W kontekście wyświetlonych treści prosi uczniów o rozwinięcie zdania: „Na dzisiejszej lekcji nauczyłem/nauczyłam się...”.

### **Praca domowa:**

1. Wykonaj ćwiczenia od 2 do 4 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.

- Jan Kopcewicz, Stanisław Lewak, „Fizjologia roślin”, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2013.

**Dodatkowe wskazówki metodyczne:**

- Multimedia zamieszczone w sekcji „Animacja” można wykorzystać w fazie wstępnej zajęć, w celu wzbudzenia zainteresowania uczniów.