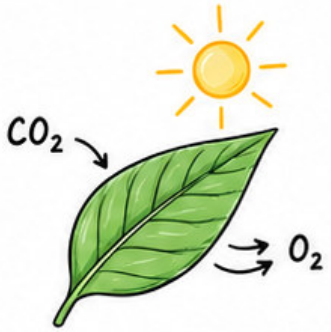
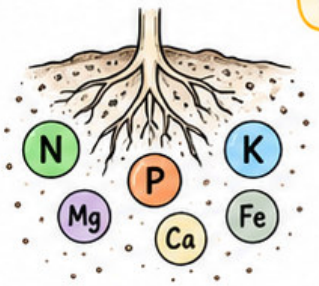
Agro Map Myśli

Ponad 100 czytelnych map myśli z agrobiologii i ochrony roślin



Fizjologia roślin

- fotosynteza
- oddychanie
- wzrost i rozwój
- regulacja hormonalna



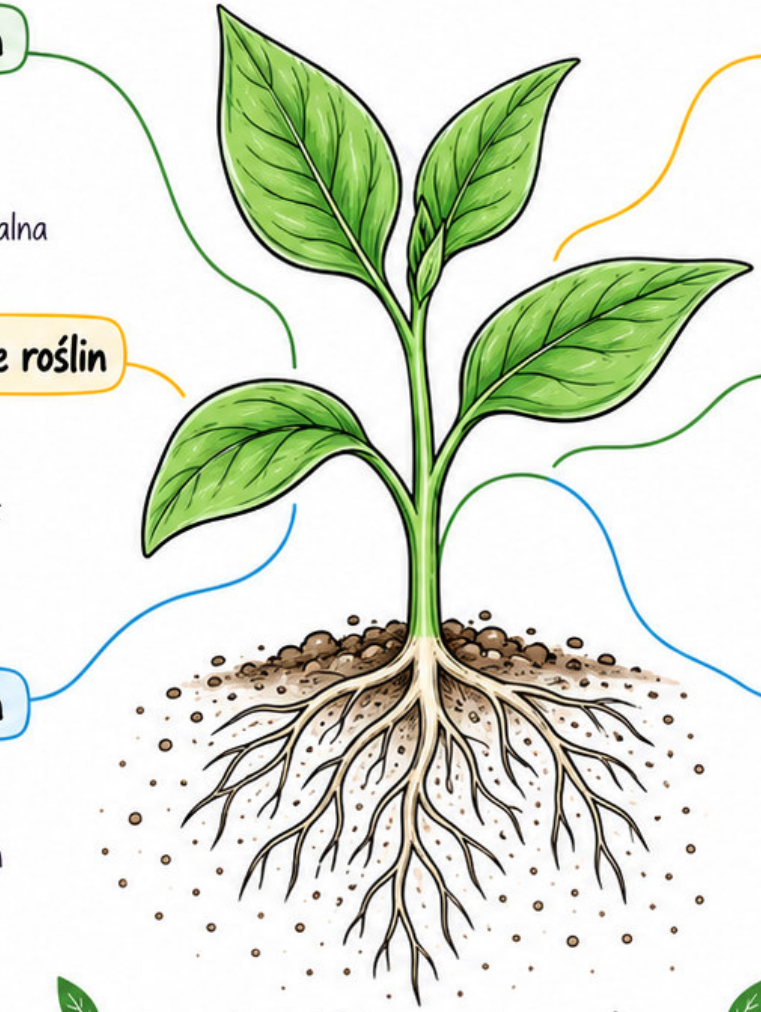
Odżywianie mineralne roślin

- makroelementy
- mikroelementy
- pobieranie i transport
- objawy niedoborów



Fizjologia nasion

- budowa nasiona
- kiełkowanie
- spoczynek nasion
- wigor i jakość



Stres roślinny

- stresy abiotyczne
- reakcje obronne
- adaptacja
- odporność i tolerancja



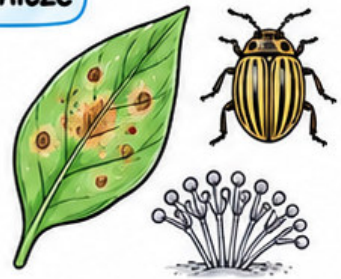
Działanie herbicydów

- mechanizmy działania
- selektywność
- czynniki skuteczności
- odporność chwastów



Choroby i szkodniki rolnicze

- patogeny roślin
- objawy i diagnostyka
- cykle rozwojowe
- strategie ochrony



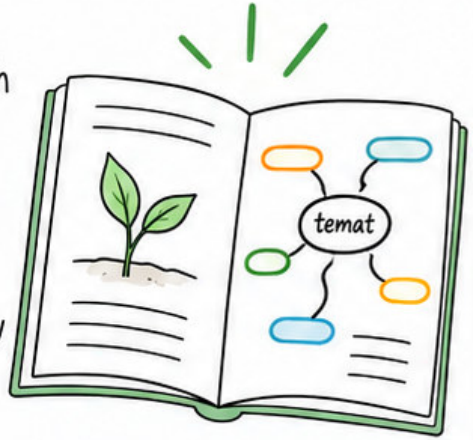
Wiedza, która wspiera plony

Co znajdziesz w środku

Ten materiał

W zeszycie znajdziesz ponad 100 czytelnych map myśli, które w prosty sposób uporządkowują zagadnienia z rolnictwa.

Pomagają łączyć wiedzę teoretyczną z praktyką, ułatwiając zrozumienie procesów zachodzących w roślinach i w uprawie.



Zakres

- fizjologia roślin
- odżywianie mineralne
- fizjologia nasion
- stres roślinny
- działanie herbicydów
- choroby i szkodniki rolnicze



Korzyści

- szybsza nauka
- łatwiejsze zapamiętywanie zależności
- porządkowanie wiedzy
- praktyczne spojrzenie na obserwację roślin i upraw.



prościej

szybciej

skuteczniej

Dla kogo?



uczniowie



studenci



doradcy



i praktycy rolnictwa

Spis treści

Moduł 01 Fizjologia roślin



- woda
- fotosynteza
- hormony
- wzrost i rozwój

str. 04–22

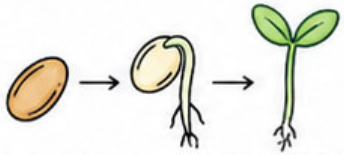
Moduł 02 Odżywianie mineralne roślin



- makro- i mikroskładniki
- pobieranie i transport
- funkcje w roślinie
- niedobory i nadmiary

str. 23–41

Moduł 03 Fizjologia nasion



- kiełkowanie
- spoczynek nasion
- wigor i jakość
- siew i wschody

str. 42–60

Moduł 04 Stres roślinny



- stres abiotyczny
- susza i upał
- zasolenie i niskie temperatury
- mechanizmy odporności

str. 61–79

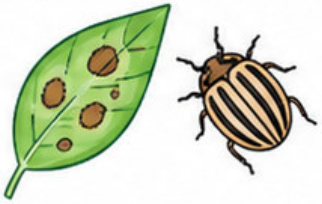
Moduł 05 Działanie herbicydów



- mechanizmy działania
- selektywność
- czynniki skuteczności
- odporność chwastów

str. 80–98

Moduł 06 Choroby i szkodniki rolnicze



- patogeny roślin
- szkodniki
- objawy i rozpoznawanie
- metody ograniczania

str. 99–117

Podsumowanie



- najważniejsze wnioski
- powtórka kluczowych zagadnień

str. 118–119

Jak korzystać z map myśli

Węzeł centralny

- główne pojęcie
- najważniejszy temat strony
- krótki i zwięzły zapis

Umieść w centrum to, czego dotyczy mapa.

Gałęzie główne

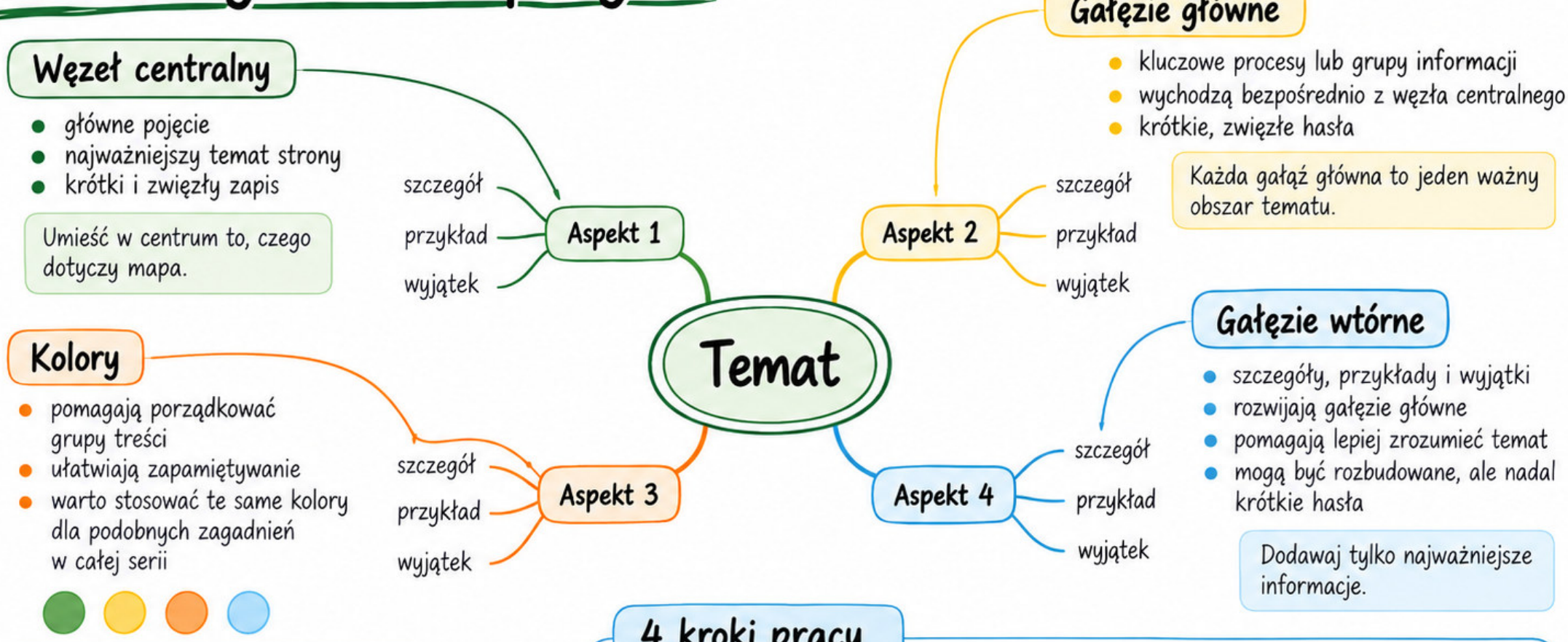
- kluczowe procesy lub grupy informacji
- wychodzą bezpośrednio z węzła centralnego
- krótkie, zwięzłe hasła

Każda gałąź główna to jeden ważny obszar tematu.

Gałęzie wtórne

- szczegóły, przykłady i wyjątki
- rozwijają gałęzie główne
- pomagają lepiej zrozumieć temat
- mogą być rozbudowane, ale nadal krótkie hasła

Dodawaj tylko najważniejsze informacje.



Kolory

- pomagają porządkować grupy treści
- ułatwiają zapamiętywanie
- warto stosować te same kolory dla podobnych zagadnień w całej serii

Używaj spójnej palety kolorów: zielony, żółty, pomarańczowy, niebieski.

4 kroki pracy

1. **Zacznij od centrum.**
   Przeczytaj główne pojęcie i zastanów się, o czym jest mapa.
2. **Śledź gałęzie główne.**
   Zobacz, jakie są kluczowe procesy lub grupy informacji.
3. **Powtarzaj zależności na głos.**
   Mów własnymi słowami – to pomaga zapamiętać.
4. **Łącz mapę z praktyczną obserwacją roślin.**
   Zastanów się, jak tę wiedzę możesz zastosować w polu lub diagnostyce.

Prostsza nauka – lepsze efekty w praktyce!

Ramka praktyczna

- pokazuje, jak wykorzystać wiedzę z mapy w polu lub diagnostyce
- zawiera proste wskazówki do obserwacji
- łączy teorię z praktyką rolniczą

Zawsze szukaj ramki praktycznej – to wiedza do zastosowania w terenie.

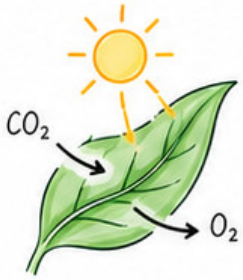
Moduł 01 — Fizjologia roślin

Podstawowe procesy decydujące o funkcjonowaniu, wzroście i adaptacji roślin



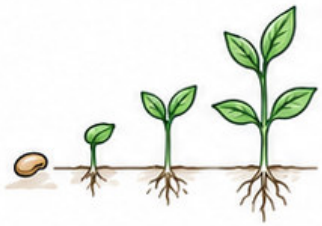
Woda w roślinie

- pobieranie wody
- transport wody
- transpiracja
- gospodarka wodna
- znaczenie dla wzrostu i przeżycia



Fotosynteza

- przebieg procesu
- czynniki wpływające
- produkty fotosyntezy
- znaczenie dla plonowania
- adaptacje do warunków środowiska



Wzrost i rozwój

- podziały i wydłużanie komórek
- różnicowanie tkanek i organów
- fazy rozwojowe
- czynniki wewnętrzne i zewnętrzne
- znaczenie dla plonu



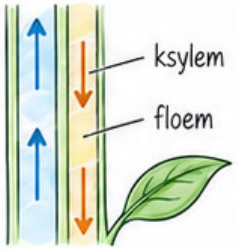
Tropizmy

- fototropizm
- geotropizm
- tigmotropizm
- hydrotropizm
- znaczenie w adaptacji do środowiska



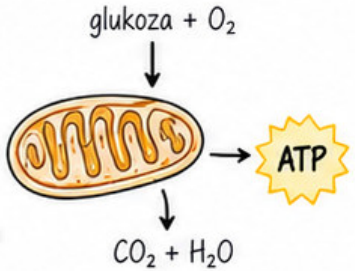
Transport

- transport wody i soli mineralnych
- transport asymilatów
- mechanizmy transportu
- kierunki i regulacja
- znaczenie dla funkcjonowania rośliny



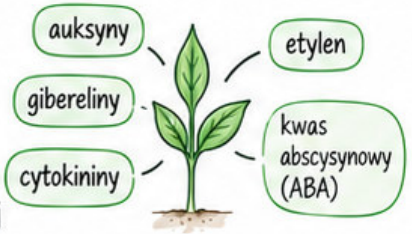
Oddychanie

- przebieg procesu
- bilans energetyczny
- czynniki wpływające
- rola w metabolizmie
- znaczenie w warunkach stresu



Hormony

- główne grupy hormonów
- funkcje i mechanizm działania
- współdziałanie hormonów
- rola w rozwoju i adaptacji
- zastosowanie w praktyce rolniczej



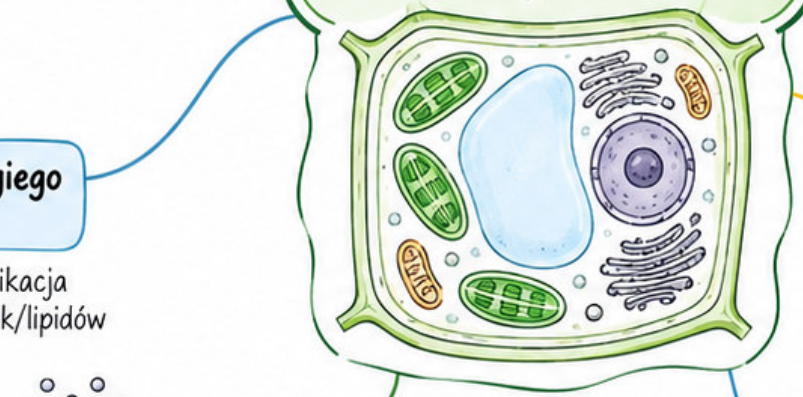
Sygnały stresowe

- stresy abiotyczne (susza, zasolenie, temperatura, światło)
- sygnały komórkowe
- odpowiedzi fizjologiczne
- mechanizmy tolerancji
- znaczenie dla stabilności plonowania



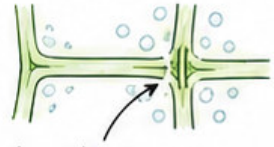
Komórka roślinna i organella

Komórka roślinna i organella



Cechy komórki roślinnej

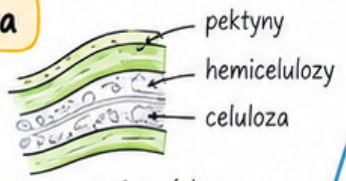
- ściana komórkowa
- duża wakuola
- plastydy
- plazmodesmy



plazmodesmy – połączenia między komórkami

Ściana komórkowa

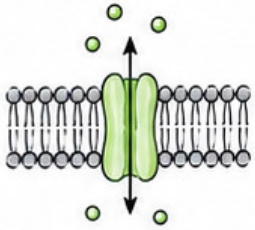
- celuloza
- hemicelulozy
- pektyny
- wsparcie mechaniczne
- komunikacja



warstwy ściany komórkowej

Błona komórkowa

- selektywna przepuszczalność
- transport
- receptory
- homeostaza



transport substancji przez błonę

Cytoplazma i cytoszkielet

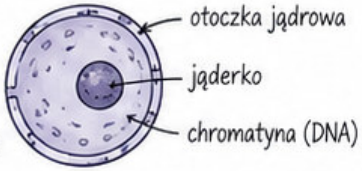
- ruch organelli
- organizacja wnętrza komórki



ruch organelli wzdłuż cytoszkieletu

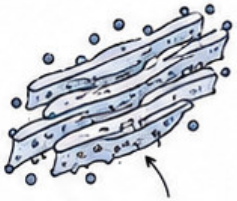
Jądro

- DNA
- transkrypcja
- kontrola ekspresji genów



ER, aparat Golgiego i rybosomy

- synteza, modyfikacja i transport białek/lipidów



szorstka siateczka śródplazmatyczna (RER) – synteza białek



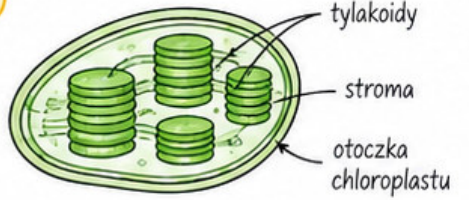
aparat Golgiego – modyfikacja i transport



rybosomy – synteza białek

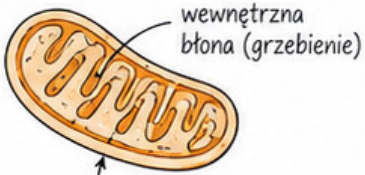
Chloroplasty

- fotosynteza
- tylakoidy
- chlorofil
- skrobia



Mitochondria

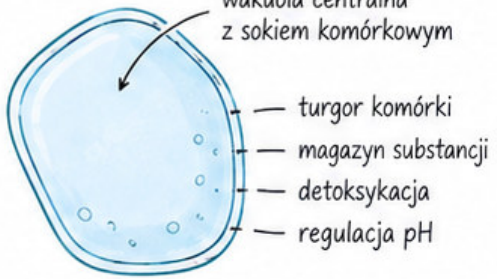
- oddychanie komórkowe
- ATP



miejsce syntezy ATP

Wakuola

- turgor
- magazyn
- detoksykacja
- pH soku komórkowego

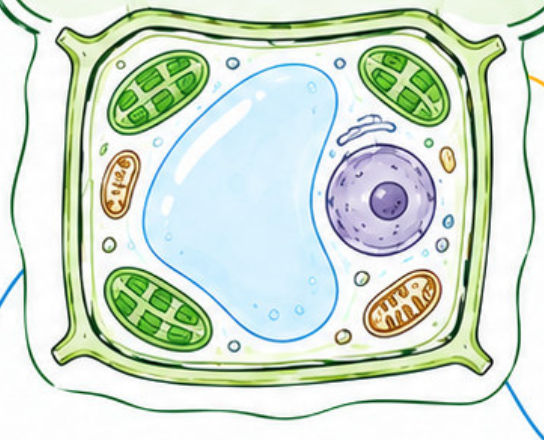


W praktyce

- Sprawne chloroplasty wspierają wzrost i plon.
- Duża wakuola pomaga utrzymać turgor komórek.

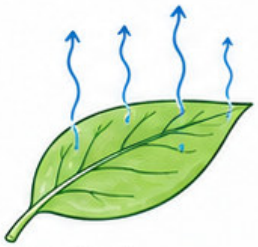
Woda w roślinie i potencjał wodny

Woda w roślinie i potencjał wodny



Znaczenie wody

- rozpuszczalnik
- transport
- turgor
- chłodzenie
- reagent fotosyntezy



transpiracja – chłodzenie rośliny przez parowanie wody

Potencjał wodny (Ψ_w)

- kierunek ruchu wody
- miara energii wody



woda przemieszcza się z wyższego Ψ_w do niższego Ψ_w

Składowe Ψ_w

$$\Psi_w = \Psi_s + \Psi_p + \Psi_g$$

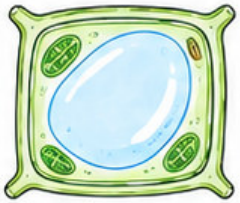
Ψ_s – potencjał osmotyczny

Ψ_p – potencjał ciśnieniowy (turgorowy)

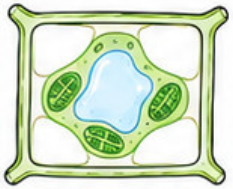
Ψ_g – potencjał grawitacyjny

Turgor i plazmoliza

- turgor – jędrność komórki
- plazmoliza – utrata wody (odstawanie protoplastu od ściany komórkowej)



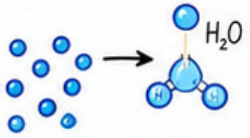
komórka turgorowa (jędrna)



komórka w plazmolizie (utrata wody)

Ψ_s

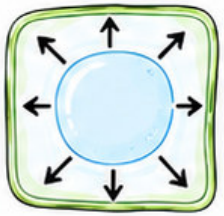
- potencjał osmotyczny
- bardziej ujemny przy wyższym stężeniu substancji



wyższe stężenie substancji → bardziej ujemny Ψ_s

Ψ_p

- ciśnienie turgorowe lub napięcie



turgor wywiera nacisk na ścianę komórkową

Czynniki

- zasolenie
- susza
- temperatura
- wilgotność gleby



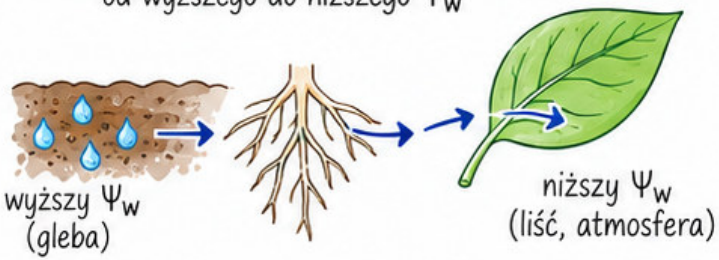
susza, zasolenie i wysoka temperatura obniżają Ψ_w gleby

W praktyce

- Spadek Ψ_w gleby utrudnia pobieranie wody.
- Turgor wpływa na wzrost i jędrność tkanek.

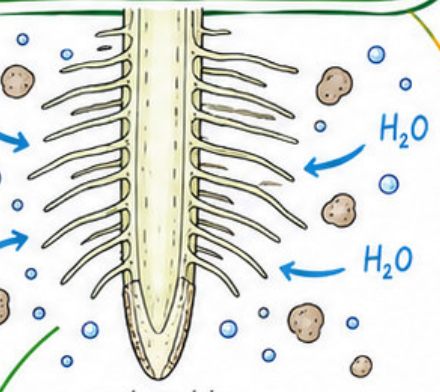
Gradient

- woda przemieszcza się od wyższego do niższego Ψ_w



Pobieranie wody przez korzeń

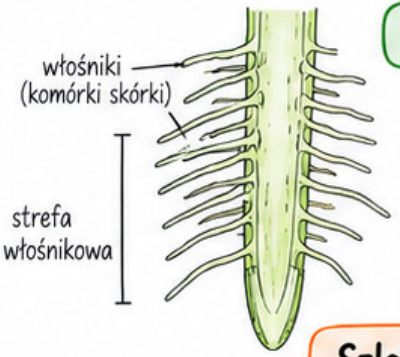
Pobieranie wody przez korzeń



woda z gleby pobierana przez włośniki

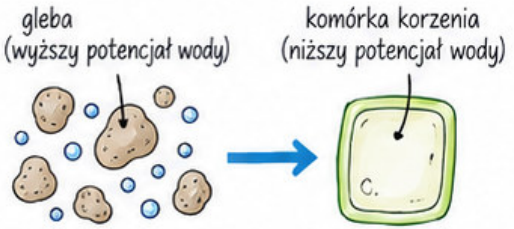
Strefa włośnikowa

- największa powierzchnia chłonna



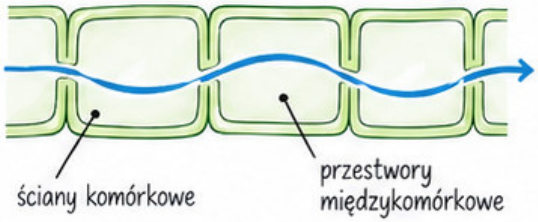
Gradient potencjału

- ruch wody z gleby do korzenia



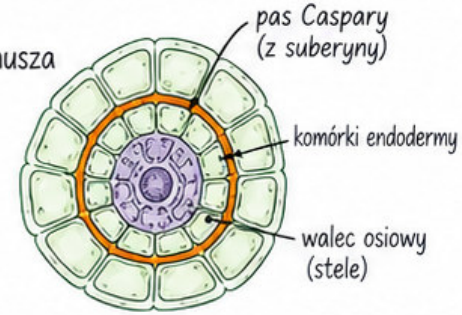
Szlak apoplastyczny

- przez ściany komórkowe i przestwory



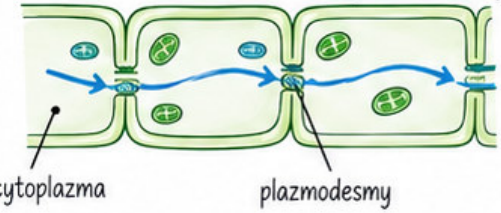
Endoderma

- pas Caspary wymusza selekcję



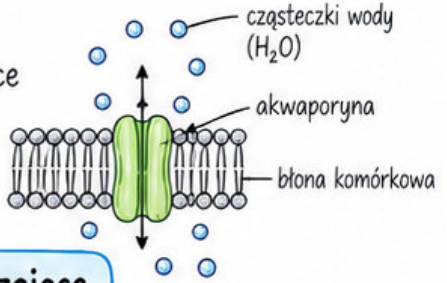
Szlak symplastyczny

- przez cytoplazmę i plazmodesmy



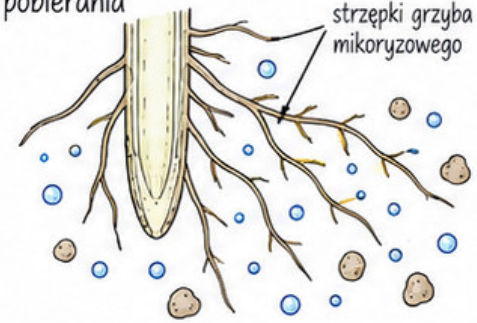
Akwaporyny

- białka ułatwiające przepływ wody



Mykoryza

- zwiększa efektywność pobierania



Czynniki ograniczające

- susza
- niska temperatura
- zaskorupienie
- zasolenie



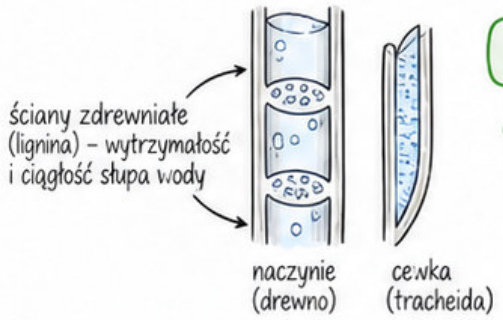
W praktyce

- Uszkodzenie włośników ogranicza pobieranie wody.
- Silny system korzeniowy zwiększa tolerancję suszy.

Transport w ksylemie

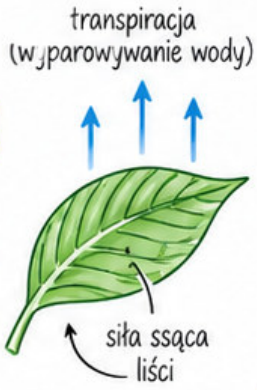
Ksylem

- naczynia i cewki przewodzą wodę



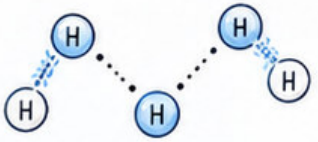
Siła ssąca liści

- napędzana transpiracją
- tworzy ujemne ciśnienie (napięcie) w ksylemie



Kohezja

- cząsteczki wody trzymają się razem
- dzięki wiązaniom wodorowym



wiązania wodorowe między cząsteczkami wody

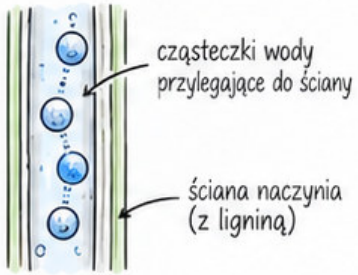
Kawitacja i embolia

- przerwanie ciągłości słupa wody
- powstanie pęcherzyków powietrza blokujących przepływ



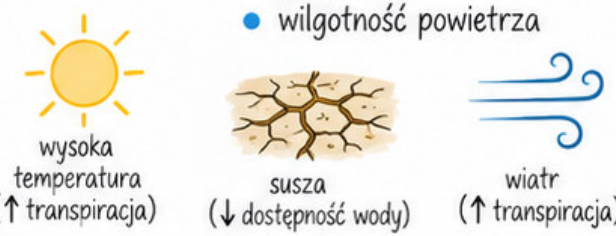
Adhezja

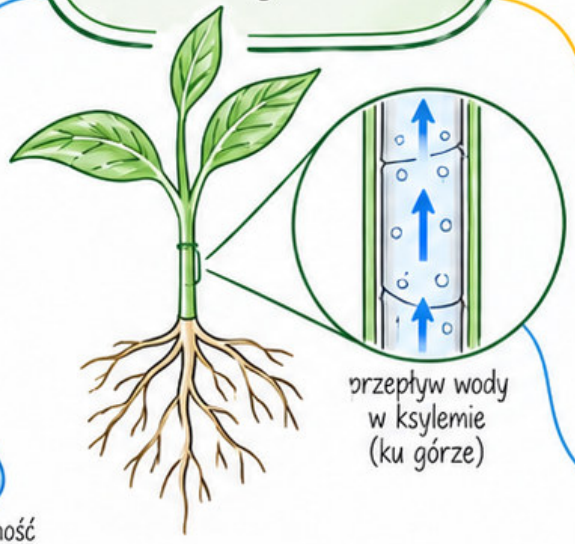
- woda przylega do ścian naczyń
- dzięki oddziaływaniom z celulozą i ligniną



Czynniki środowiskowe

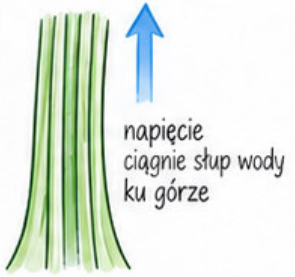
- susza
- upał
- wiatr
- wilgotność powietrza





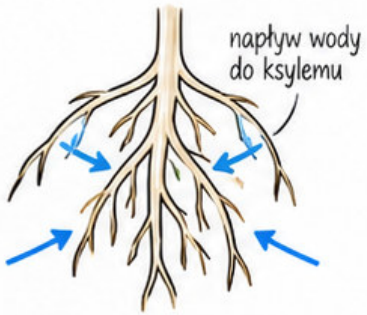
Teoria kohezji-napięcia

- główny mechanizm transportu ku górze
- transpiracja w liściach tworzy napięcie, które ciągnie słup wody



Parcie korzeniowe

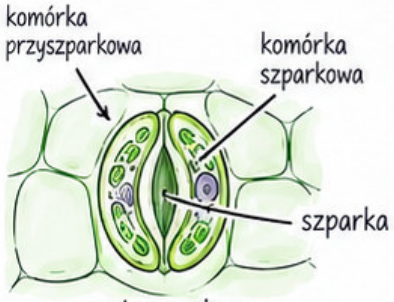
- wspomaga transport zwłaszcza nocą
- wynika z aktywnego pobierania jonów i napływu wody



W praktyce

- Ciągłość słupa wody warunkuje chłodzenie i wzrost.
- Silna susza zwiększa ryzyko kawitacji.

Fizjologia aparatu szparkowego



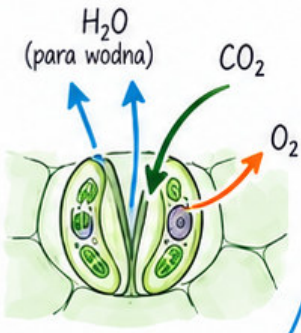
aparat szparkowy (z widoku z góry)

Budowa

- komórki szparkowe
- szparka
- komórki przyszparkowe

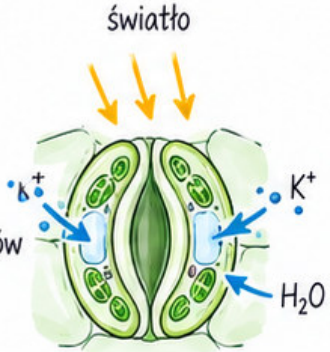
Funkcje

- wymiana gazowa
- pobieranie CO_2
- utrata pary wodnej
- chłodzenie liścia

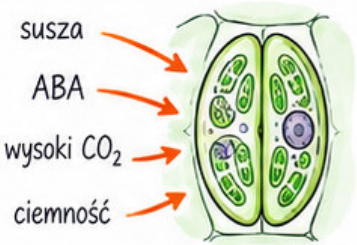


Otwieranie

- światło
- napływ K^+
- wzrost stężenia osmolitów
- napływ wody
- wzrost turgoru



szparka otwarta

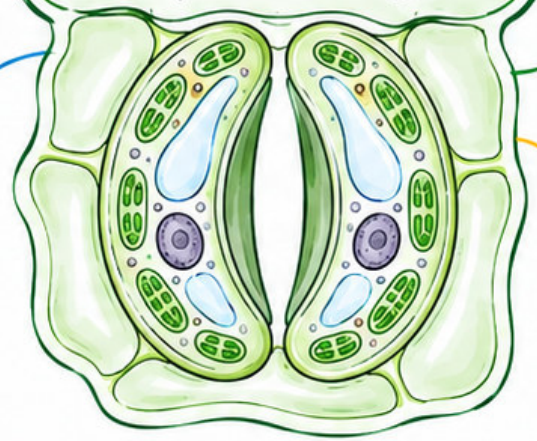


szparka zamknięta

Zamykanie

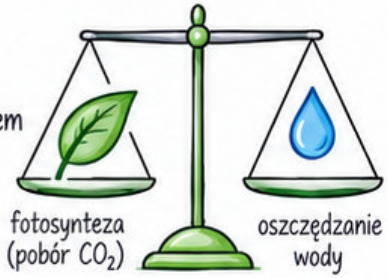
- ABA
- susza
- ciemność
- wysoki CO_2
- spadek turgoru

Fizjologia aparatu szparkowego



Bilans wodny

- kompromis między fotosyntezą a oszczędzaniem wody



Regulacja

- rytm dobowy
- wilgotność powietrza
- temperatura
- wiatr


dzień (szparki otwarte)


noc (szparki zamknięte)


wilgotność powietrza


temperatura


wiatr

Efektywność wykorzystania wody

- znaczenie dla plonu
- i stresu



większa efektywność wykorzystania wody (WUE)

- wyższy plon
- większa tolerancja na suszę

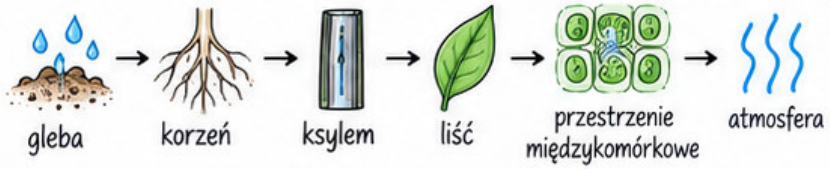
W praktyce

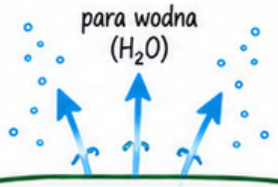
- ABA sprzyja zamykaniu szparek podczas suszy.
- Otwarte szparki zwiększają fotosyntezę, ale też transpirację.

Transpiracja i bilans wodny

Transpiracja to utrata wody w postaci pary wodnej z części nadziemnych rośliny, przede wszystkim przez aparaty szparkowe.

Skąd pochodzi woda?





TRANSPIRACJA

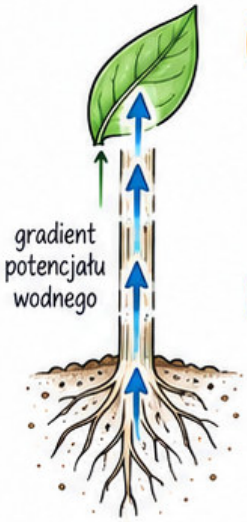
Transpiracja szparkowa

Największa część kontrolowanej utraty wody zachodzi przez aparaty szparkowe.



Siła napędzająca transport

Parowanie wody z liścia pomaga utrzymywać gradient potencjału wodnego i transport wody w ksylemie.



Chłodzenie rośliny

Parowanie pochłania energię → może obniżać temperaturę powierzchni liścia.



Czynniki zwiększające transpirację

- silne promieniowanie
- wyższa temperatura
- niska wilgotność powietrza
- ruch powietrza
- duże otwarcie aparatów szparkowych



Czynniki ograniczające transpirację

- zamknięcie aparatów szparkowych
- wysoka wilgotność
- deficyt wody
- słabe promieniowanie
- zmniejszona powierzchnia liści



WYSOKI POPYT ATMOSFERY NA WODĘ

szybsza utrata wody
↓
większe zapotrzebowanie na transport z korzenia
↓
ryzyko deficytu wodnego, gdy pobieranie nie nadąża

Temperatura, wilgotność, wiatr

- temperatura ↑
- wilgotność ↓
- wiatr ↑

→ transpiracja zwykle ↑

W praktyce

Rośliny mogą mieć dostęp do wody w glebie, ale w gorący, suchy i wietrzny dzień tempo utraty wody przez liście może chwilowo przewyższać tempo jej dostarczania przez korzenie.

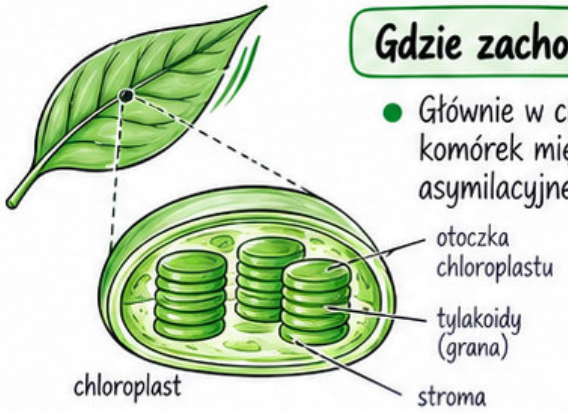
Nie myl

- **Transpiracja** = utrata wody przez roślinę.
- **Ewapotranspiracja** = parowanie z powierzchni gleby + transpiracja roślin.

Fotosynteza — mapa ogólna

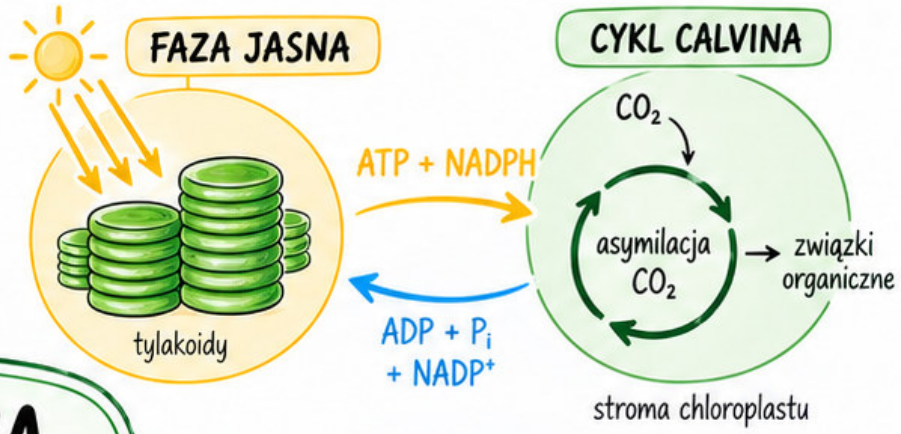
Gdzie zachodzi?

- Głównie w chloroplastach komórek miękiszu asymilacyjnego liści.



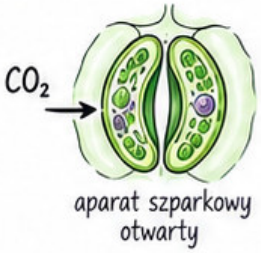
Faza jasna

- tylakoidy
- energia światła
- transport elektronów
- ATP + NADPH



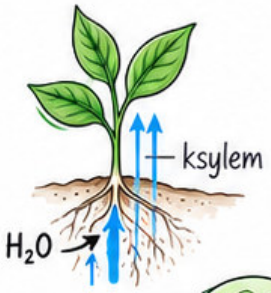
CO_2

- Wchodzi do liścia przede wszystkim przez aparaty szparkowe.



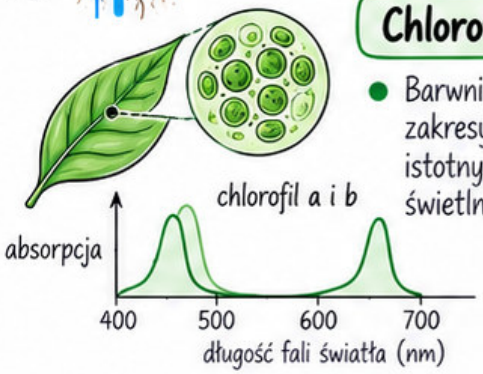
Woda

- Dostarczana z korzeni przez ksylem; uczestniczy m.in. w reakcjach fazy jasnej.



Chlorofil

- Barwnik absorbujący określone zakresy promieniowania, szczególnie istotny dla wychwytywania energii świetlnej.



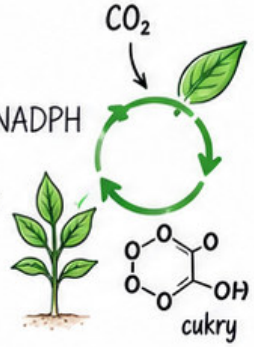
FOTOSYNTEZA

$$\text{światło} + H_2O + CO_2 \rightarrow \text{związki organiczne} + O_2$$

Schemat jest uproszczonym bilansem procesu — kolejne strony pokażą jego mechanizm.

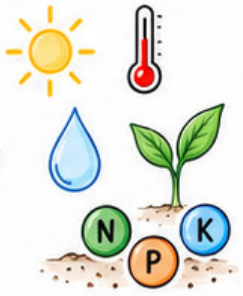
Cykl Calvina

- stroma chloroplastu
- wykorzystanie ATP i NADPH
- asymilacja CO_2
- powstawanie związków węglowych



Co ogranicza fotosyntezę?

- światło
- CO_2
- temperatura
- dostępność wody
- stan odżywienia
- kondycja liścia



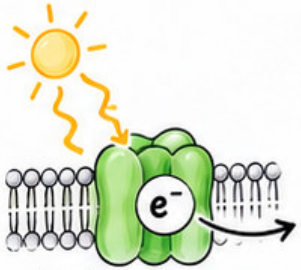
Najważniejsza zależność

- zamknięcie aparatów szparkowych
- mniej CO_2 w liściu
- ograniczenie asymilacji węgla
- możliwy spadek intensywności fotosyntezy.



mniej CO_2 w liściu → ograniczenie asymilacji węgla → spadek fotosyntezy

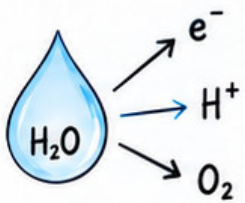
Faza jasna fotosyntezy



światło wzbudza chlorofil w PSII

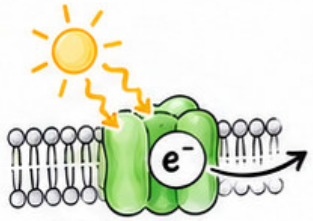
Fotosystem II

- Światło
- wzbudzenie chlorofilu
- przekazanie elektronów do łańcucha transportowego.



Fotoliza wody

- $H_2O \rightarrow$ elektrony + protony + O_2.
- Tlen uwalniany podczas fotosyntezy pochodzi z wody.



światło wzbudza chlorofil w PSI

Fotosystem I

- Ponowne wzbudzenie elektronów energią światła.

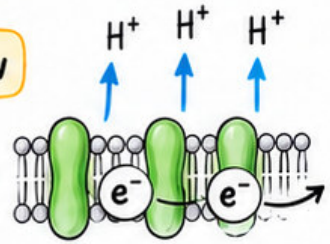
FAZA JASNA

Błony tylakoidów chloroplastu



Łańcuch transportu elektronów

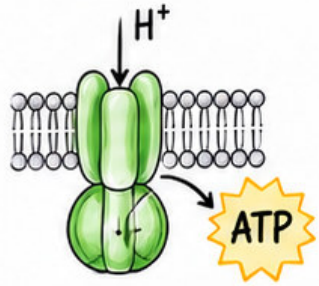
- Przepływ elektronów umożliwia tworzenie gradientu protonowego po obu stronach błony tylakoidu.



tworzenie gradientu protonowego

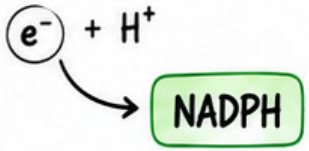
ATP-syntaza

- gradient H^+
- przepływ protonów przez ATP-syntazę
- synteza ATP.



NADPH

- Elektrony są ostatecznie wykorzystywane do powstania zredukowanego nośnika energii: NADPH.



Schemat przebiegu fazy jasnej:



ŚWIATŁO → PSII → transport e^- → PSI → NADPH

H_2O → H^+ → gradient protonowy → ATP



Wynik fazy jasnej:

- ATP — energia chemiczna.
- NADPH — siła redukcyjna.
- O_2 — produkt uboczny uwalniany do środowiska.



Po co?

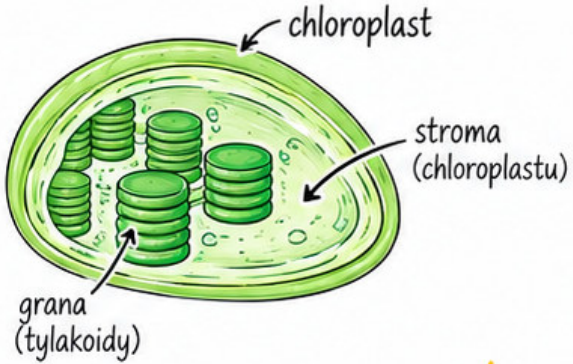
- ATP i NADPH zostaną wykorzystane w cyklu Calvina do asymilacji CO_2.

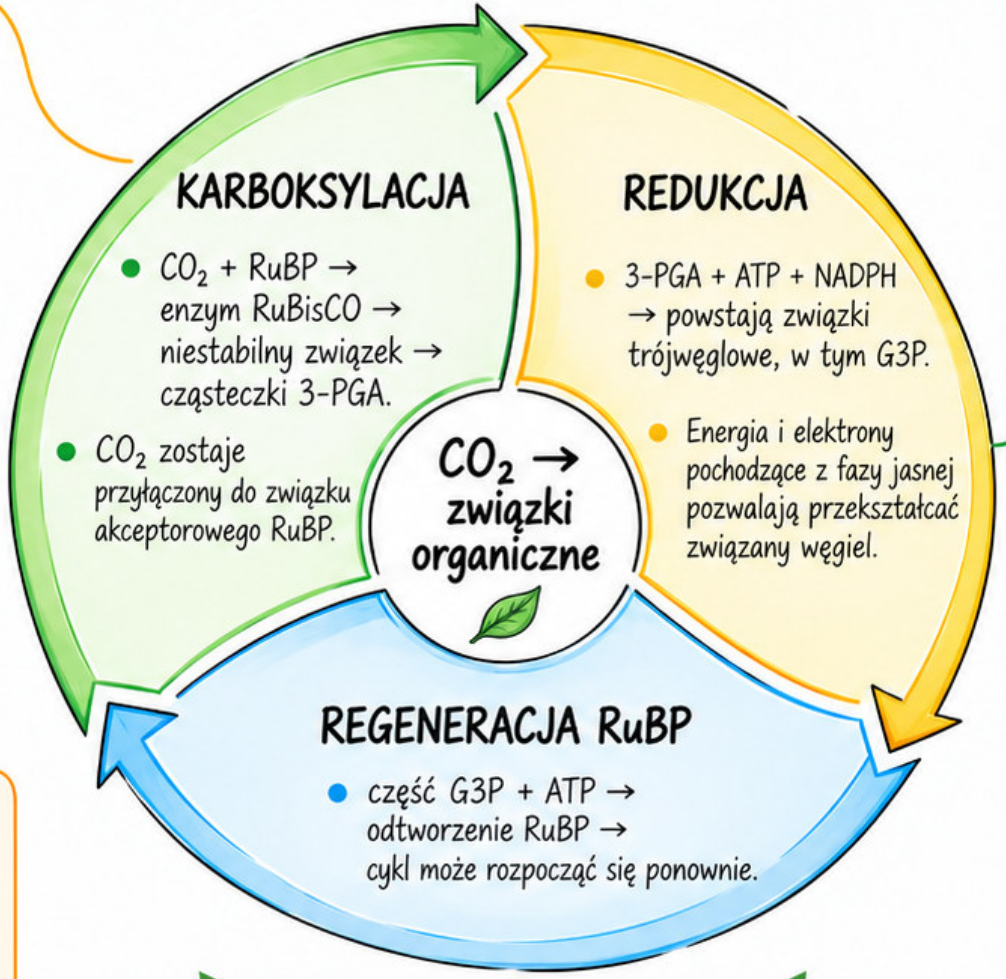
Cykl Calvina

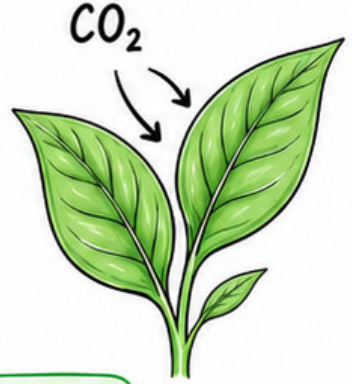
Synteza związków organicznych z CO_2 w chloroplastach

Faza jasna dostarcza:
- ATP + NADPH

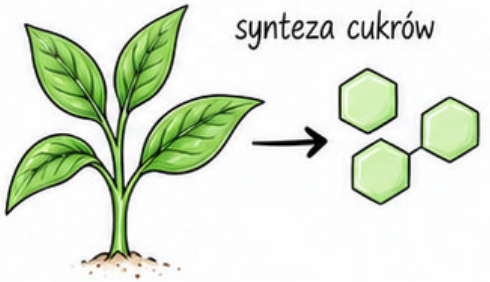
Cykl Calvina wykorzystuje:
- ATP + NADPH + CO_2







G3P
- Część związków trójwęglowych opuszcza cykl i może być wykorzystana w dalszym metabolizmie, m.in. do syntezy cukrów.



Uwaga
- Cykl Calvina nie wymaga bezpośrednio fotonów, ale zależy od produktów fazy jasnej. Dlatego nie należy rozumieć określenia „faza ciemna" jako procesu zachodzącego wyłącznie nocą.

Stroma chloroplastu

Rośliny C3, C4 i CAM

C3 • C4 • CAM

C3

Pierwszy trwały produkt asymilacji:
- związek 3-węglowy.

Pierwszy enzym wiążący CO_2:
- RuBisCO.

Cechy:
- najprostsza organizacja szlaku
- większe ryzyko fotorespiracji w warunkach wysokiej temperatury i niskiego CO_2.

Przykłady:
- pszenica
- jęczmień
- soja
- ziemniak
- rzepak



C4

Pierwsze wiązanie CO_2:
- PEP-karboksylaza.

Separacja:
- przestrzenna.

Mechanizm:
- CO_2 jest wstępnie wiązany w komórkach mezofilu, a następnie transportowany do komórek pochwy okołowiązkowej.

Efekt:
- wyższe stężenie CO_2 w pobliżu RuBisCO → ograniczenie fotorespiracji.

Przykłady:
- kukurydza
- sorgo



CAM

Pierwsze wiązanie CO_2:
- głównie nocą.

Separacja:
- czasowa.

Noc:
- aparaty szparkowe otwarte → pobranie CO_2 → magazynowanie w postaci kwasów organicznych.

Dzień:
- aparaty szparkowe bardziej zamknięte → uwalnianie CO_2 wewnątrz liścia.

Korzyść:
- bardzo oszczędna gospodarka wodna.

Przykłady:
- ananas
- agawa
- liczne sukulenty



Porównanie dolne:

Cecha	C3	C4	CAM
Separacja procesu	brak	przestrzenna	czasowa
Fotorespiracja	większa	ograniczona	silnie ograniczona
Oszczędność wody	umiarkowana	wysoka	bardzo wysoka

Warto zapamiętać

Nie przedstawiać C4 lub CAM jako "zawsze lepszych". Każda strategia ma koszty energetyczne i przewagi zależne od środowiska.

Fotorespiracja

wysoka temperatura
niskie stężenie CO_2 w liściu

→ CO_2 O_2 większe znaczenie reakcji RuBisCO z O_2

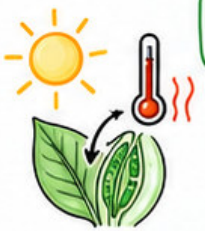
→ powstanie związku wymagającego odzyskiwania węgla

→ ATP zużycie energii

→ CO_2 część wcześniej związanego CO_2 zostaje utracona.

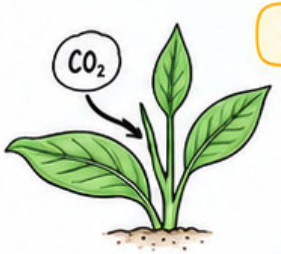
FOTORESPIRACJA

Kiedy rośnie znaczenie fotorespiracji?



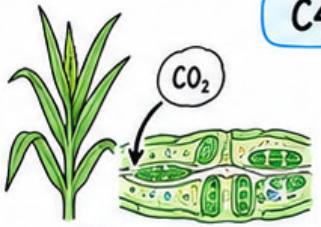
- wysoka temperatura
- zamknięte aparaty szparkowe
- ograniczony dopływ CO_2

C3

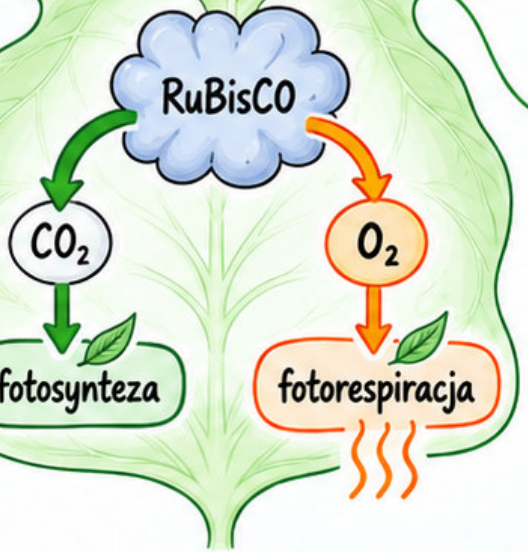


- Fotorespiracja może być istotnym ograniczeniem wydajności fotosyntezy.

C4



- Mechanizm koncentracji CO_2 wokół RuBisCO silnie ogranicza fotorespirację.



Dlaczego jest kosztowna?

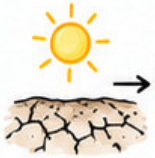


- Zużywa energię i zmniejsza efektywność netto asymilacji węgla.



mniej biomasy

Powiązanie z suszą



susza → ABA →  zamknięcie aparatów szparkowych → CO_2 mniej CO_2 w liściu →  większe ryzyko wzrostu fotorespiracji.

! Nie myl

- **Oddychanie komórkowe** → pozyskiwanie energii chemicznej z substratów organicznych.
- **Fotorespiracja** → szlak związany z aktywnością oksygenazową RuBisCO.

Znaczenie praktyczne

- W warunkach jednoczesnego upału i niedoboru wody rośliny C3 mogą doświadczać szczególnie niekorzystnej kombinacji: zamkniętych aparatów szparkowych i zwiększonego znaczenia fotorespiracji.

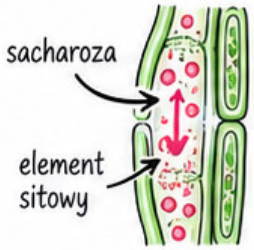
Transport asymilatów floemem

Floem transportuje przede wszystkim związki organiczne, szczególnie sacharozę, z miejsc ich produkcji lub mobilizacji do miejsc zużycia albo magazynowania.



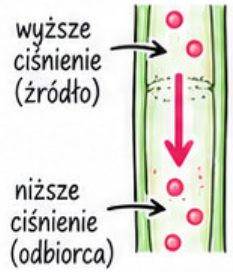
Źródło

- dojrzały fotosyntetyzujący liść
- organ uwalniający zapasy.



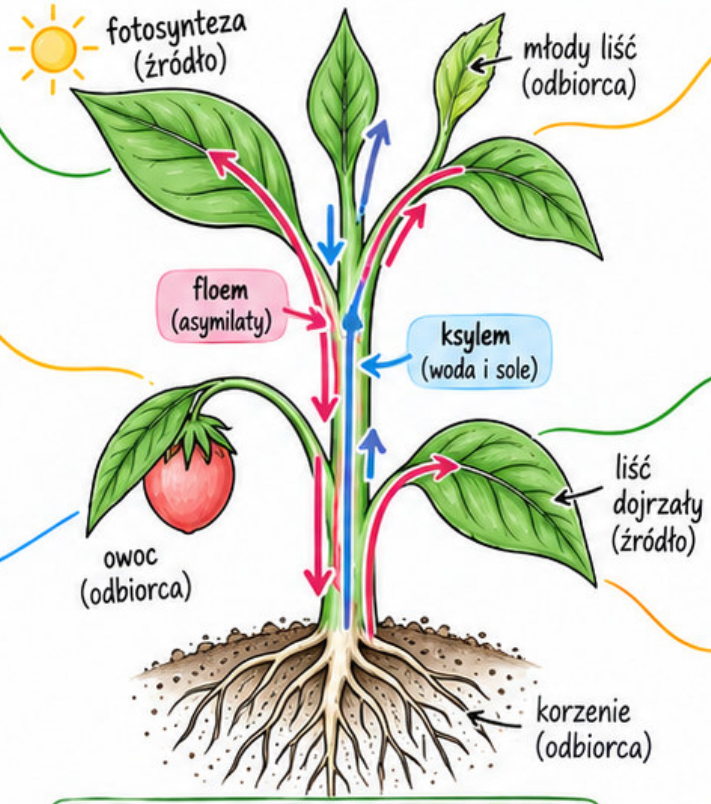
Załadunek floemu

- Sacharoza jest transportowana do elementów sitowych i komórek towarzyszących.



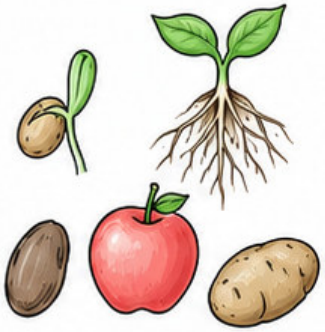
Przepływ masowy

- Różnice ciśnienia pomiędzy źródłem a odbiorcą pomagają napędzać transport.



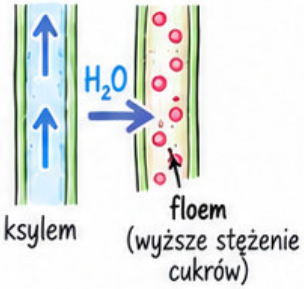
Odbiorca

- młode liście
- stożki wzrostu
- korzenie
- rozwijające się nasiona
- owoce
- organy spichrzowe.



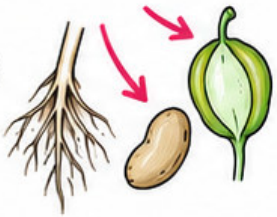
Napływ wody

- Wzrost stężenia substancji osmotycznie czynnych sprzyja napływowi wody z ksylemu.

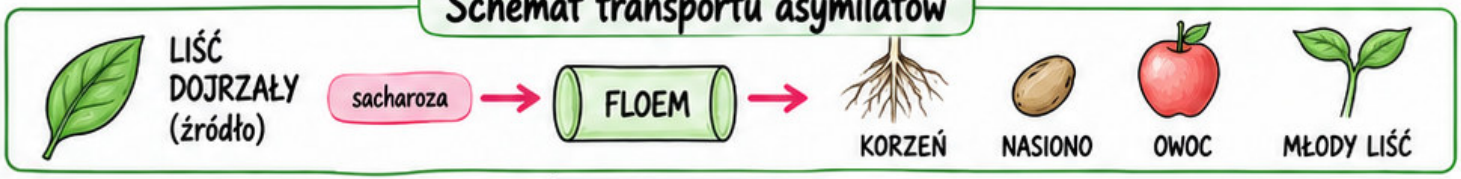


Rozładunek

- Cukry są odbierane przez tkanki zużywające je do wzrostu, oddychania lub magazynowania.



Schemat transportu asymilatów



Organ może zmienić swoją rolę podczas rozwoju.



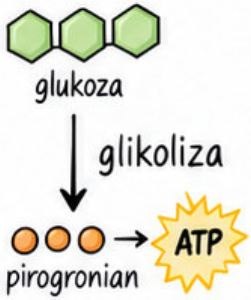
Ksylem vs floem

Ksylem	→ główne transport wody i składników mineralnych.
Floem	→ transport asymilatów pomiędzy źródłami a odbiorcami.

Oddychanie komórkowe

ODDYCHANIE KOMÓRKOWE

cukier + O_2 → CO_2 + H_2O + ATP

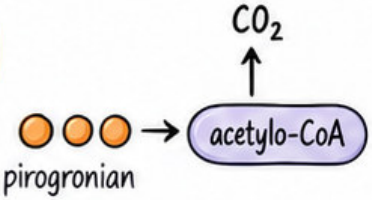


Glikoliza

- Lokalizacja: cytoplazma.
- Glukoza → pirogronian + niewielka ilość ATP + zredukowane nośniki elektronów.

Utlenianie pirogronianu

- Pirogronian → acetylo-CoA
- → wejście do cyklu kwasu cytrynowego.



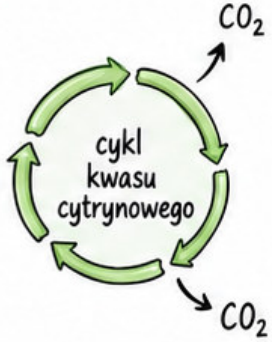
Po co roślinie ATP?

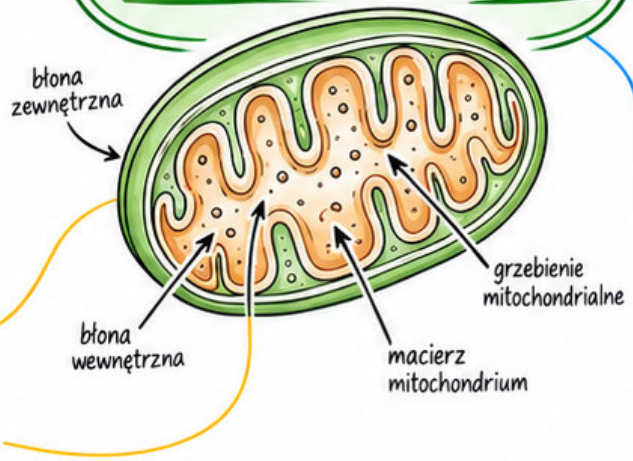
- wzrost
- aktywny transport jonów
- synteza związków
- podziały komórkowe
- reakcje obronne
- utrzymanie metabolizmu



Cykl kwasu cytrynowego

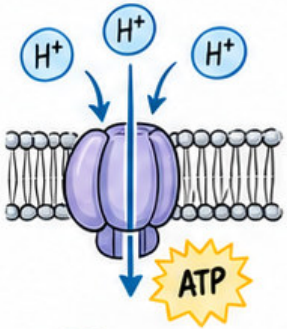
- Lokalizacja: mitochondrium.
- Powstają:
  - CO_2
  - zredukowane nośniki elektronów
  - niewielka ilość energii bezpośredniej.





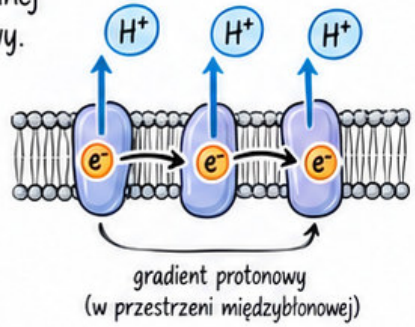
ATP-syntaza

- gradient H^+ → ATP-syntaza → duża część ATP.



Łańcuch transportu elektronów

- Elektrony z nośników → transport w błonie mitochondrialnej → gradient protonowy.



Ważne

- Rośliny fotosyntetyzują i oddychają.
- Oddychanie komórkowe zachodzi zarówno w dzień, jak i w nocy.

W praktyce



- Niedotlenienie korzeni podczas zalania ogranicza sprawność oddychania tlenowego, co może prowadzić do deficytu energetycznego komórek korzenia.

Wzrost i rozwój roślin

WZROST I ROZWÓJ

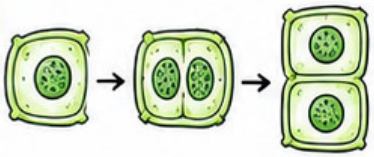
Wzrost



Nieodwracalne zwiększenie rozmiarów lub masy organu bądź całej rośliny.

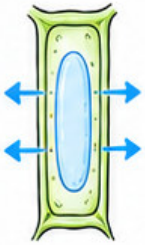
Podziały komórkowe

Mitoza → zwiększanie liczby komórek.



Wydłużanie komórek

Pobieranie wody + rozluźnianie ściany komórkowej + wzrost objętości komórki.



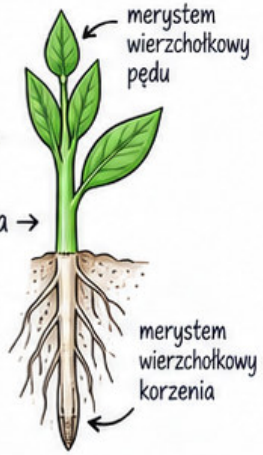
Różnicowanie

Komórki uzyskują wyspecjalizowaną budowę i funkcję.

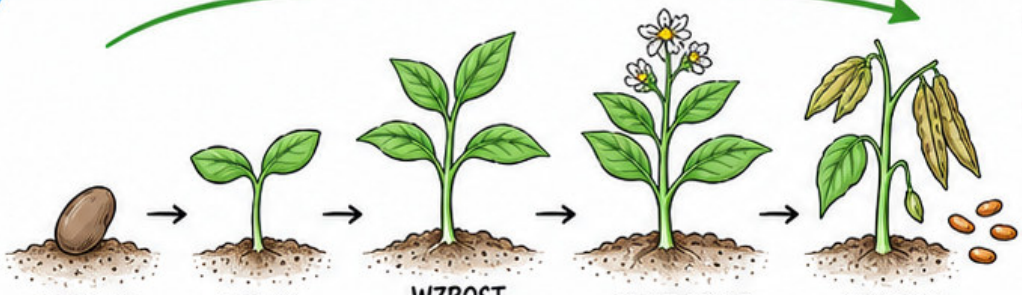


Merystemy

- Merystem wierzchołkowy pędu → wzrost części nadziemnej.
- Merystem wierzchołkowy korzenia → wzrost systemu korzeniowego.
- Merystemy boczne → przyrost wtórny u wielu roślin.



rozwój



wzrost + różnicowanie

Rozwój

Zmiany jakościowe zachodzące w cyklu życia: kiełkowanie → faza wegetatywna → kwitnienie → rozwój nasion → starzenie.



Co reguluje rozwój?

- genotyp
- hormony
- światło
- temperatura
- woda
- składniki mineralne
- sygnały stresowe



Nie myl

- Wzrost = więcej / większe.
- Rozwój = zmiana programu funkcjonalnego i faz życia.

W praktyce

- Roślina może nadal zwiększać biomasę, ale nie przechodzić prawidłowo do kolejnej fazy rozwojowej, jeśli nie zostaną spełnione określone warunki środowiskowe.

Auksyny

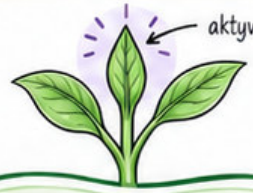
Auksyny to grupa regulatorów wzrostu uczestniczących m.in. w wydłużaniu komórek, dominacji wierzchołkowej, tworzeniu korzeni oraz reakcjach tropicznych.



Gdzie powstają?

- Duża aktywność syntezy występuje m.in. w młodych, aktywnie rosnących tkankach.

Wierzchołek → dominacja



Dominacja wierzchołkowa

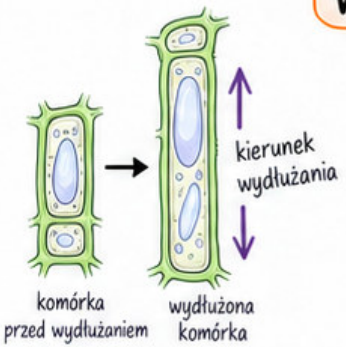
- aktywny wierzchołek pędu → sygnały hormonalne → ograniczenie wzrostu części pąków bocznych.
- Po usunięciu wierzchołka: zmienia się równowaga hormonalna → pąki boczne mogą rozpocząć silniejszy wzrost.





Wydłużanie komórek

- auksyna
- ↓
- aktywacja procesów prowadzących do zakwaszenia ściany komórkowej
- ↓
- zwiększenie jej podatności na rozciąganie
- ↓
- wydłużanie komórki przy odpowiednim turgorze.

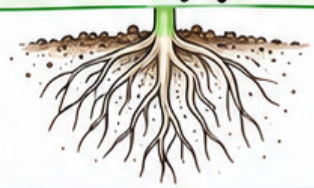


AUKSYNY

Łodyga → wydłużanie



Korzenie → inicjacja korzeni



Korzenie

- Odpowiednie stężenia auksyn → inicjacja korzeni bocznych i przybyszowych.
- Zbyt wysokie stężenie może hamować wzrost.

Fototropizm

- nierównomierna dystrybucja auksyny
- różnice w wydłużaniu komórek
- wygięcie organu względem kierunku światła.



Geotropizm / grawitropizm



- Zmiana rozmieszczenia auksyn uczestniczy w kierunkowej odpowiedzi pędów i korzeni na grawitację.

Zastosowania praktyczne

- ukorzenianie sadzonek
- regulacja wzrostu
- mechanizmy wykorzystywane przez część syntetycznych regulatorów i herbicydów auksynowych



Kluczowa zasada

Ten sam hormon ≠ ten sam efekt w każdej tkance.

Odpowiedź zależy od:
stężenia + tkanki + fazy rozwoju + interakcji z innymi hormonami.

Przykład z praktyki



Preparaty wspomagające ukorzenianie wykorzystują związki o działaniu auksynowym, ponieważ odpowiednio dobrany sygnał hormonalny może stymulować inicjację korzeni przybyszowych.

Gibereliny i cytokininy

dwa hormony – wiele możliwości rozwoju roślin

GIBERELINY

Wzrost w górę
nowe możliwości

Wydłużanie pędu

Gibereliny mogą pobudzać wzrost międzywęźli i wydłużanie części nadziemnych.

Kiełkowanie

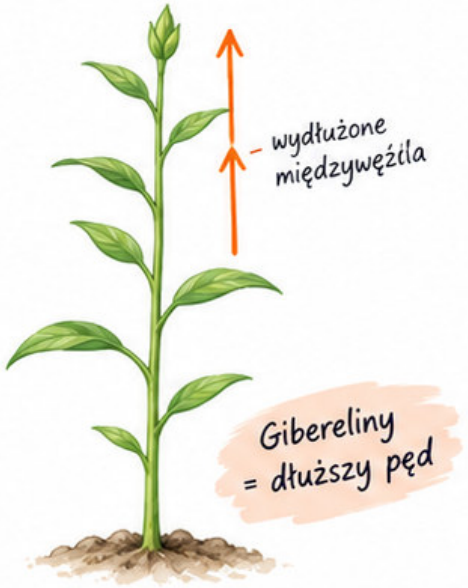
Po rozpoczęciu kiełkowania sygnał giberelinowy może aktywować procesy prowadzące do mobilizacji substancji zapasowych.

Przełamywanie spoczynku

W wielu gatunkach wzrost aktywności giberelin sprzyja przejściu ze stanu spoczynku do aktywnego wzrostu.

Rozwój reprodukcyjny

W zależności od gatunku gibereliny uczestniczą w regulacji kwitnienia, zawiązywania i wzrostu owoców.



GIBERELINY + CYTOKININY

CYTOKININY

Więcej pędów
więcej możliwości

Podziały komórkowe

Cytokininy uczestniczą w regulacji cyklu komórkowego i proliferacji komórek.

Rozwój pędów

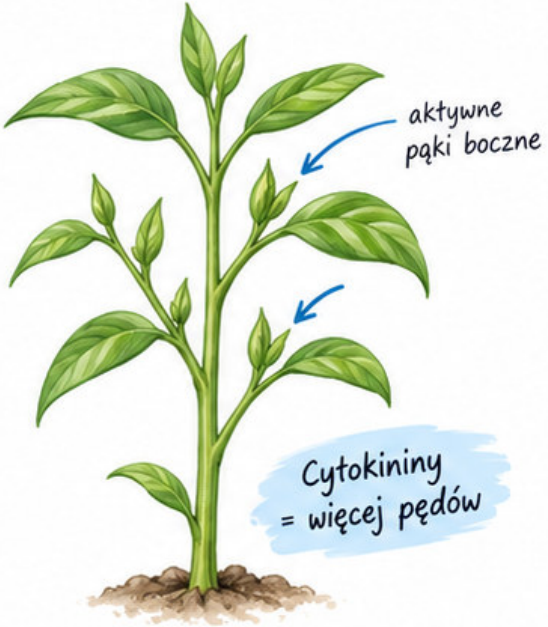
Wysoka aktywność cytokinin w odpowiednim kontekście hormonalnym może sprzyjać tworzeniu pędów i aktywności pąków bocznych.

Starzenie liści

Cytokininy mogą opóźniać część procesów związanych ze starzeniem tkanek.

Relacja źródło–odbiorca

Wpływają na mobilizację składników i metabolizm rozwijających się organów.



Najważniejsza interakcja

AUKSYNA ↔ **CYTOKININA**

Równowaga pomiędzy tymi hormonami pomaga regulować:

- korzeń
- pęd
- aktywność merystemów
- różnicowanie tkanek.

W uprawie in vitro (kultura tkankowa)



większy udział sygnału auksynowego → tendencja do tworzenia korzeni



większy udział sygnału cytokininowego → tendencja do tworzenia pędów

Dokładna odpowiedź zależy od gatunku, tkanki i stężenia regulatorów.

Giberelina vs cytokinina

Giberelina	Cytokinina
→ wydłużanie i kiełkowanie	→ podziały i rozwój pędów

Różne funkcje – wspólny efekt: rozwój roślin

ABA, etylen i sygnały stresowe

hormony pomagające roślinom reagować na zmienne warunki

ABA – KWAS ABSCYSYNOWY

sygnał stresu (zwłaszcza suszy)

Deficyt wody

Susza → wzrost sygnału ABA → reakcja komórek szparkowych → ograniczenie otwarcia szparek → zmniejszenie utraty wody.

Spoczynek nasion

ABA pomaga utrzymywać nasiona w stanie spoczynku i przeciwdziała zbyt wczesnemu kiełkowaniu.

Ekspresja genów stresowych

ABA może uruchamiać szlaki prowadzące do produkcji białek i metabolitów pomagających przetrwać stres.

ABA + ETYLEN

ETYLEN

gazowy sygnał, reaguje na wiele bodźców

Gazowy hormon

Etylen jest lotnym regulatorem wzrostu i może przemieszczać się w przestrzeniach międzykomórkowych.

Dojrzewanie owoców

W wielu owocach klimakterycznych wzrost produkcji etylenu przyspiesza dojrzewanie.

Starzenie i opadanie organów

Uczestniczy w regulacji starzenia, abscyzji liści, kwiatów i owoców.

Reakcja na stres

Etylen może uczestniczyć w odpowiedzi na zalanie, uszkodzenia mechaniczne, patogeny i inne stresy.

Porównanie funkcji

ABA
Oszczędzaj wodę i ogranicz aktywność

versus

ETYLEN
Przebuduj wzrost i reaguj na zmianę warunków

To uproszczone hasła dydaktyczne. Oba hormony uczestniczą w wielu szlakach i silnie oddziałują z innymi regulatorami.

Crosstalk

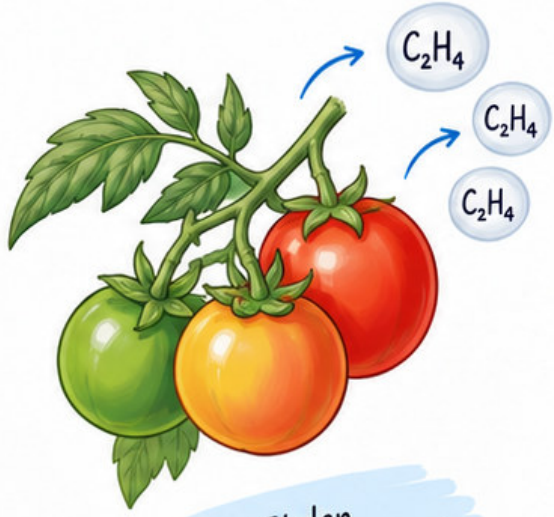
ABA i etylen często na siebie wpływają – mogą wzmacniać lub osłabiać swoje działanie w zależności od gatunku, tkanki i warunków stresu.

sygnał ABA powoduje zamykanie szparek



szparka częściowo zamknięta

Susza = mniej utraty wody



Etylen = dojrzewanie owoców

Przykłady z życia roślin

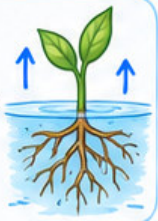
Przy suszy

Sygnał ABA pomaga zmniejszyć utratę wody przez aparaty szparkowe.



Przy zalaniu

Niektóre rośliny zwiększają sygnalizację etylenową, co może zmieniać architekturę pędu lub korzenia i uruchamiać reakcje adaptacyjne.



Fotoperiodyzm, tropizmy i ruchy roślin

rośliny czują, reagują, rosną w odpowiedzi na bodźce

ROŚLINA ODCZYTUJE ŚRODOWISKO

Fotoperiodyzm

Reakcja rozwojowa związana z długością dnia i nocy.

Może regulować m.in. przejście do kwitnienia.

- rośliny dnia krótkiego
- rośliny dnia długiego
- rośliny neutralne względem długości dnia.

Dla wielu gatunków kluczowe znaczenie ma długość nieprzerwanej nocy.



np. chryzantema – roślina dnia krótkiego



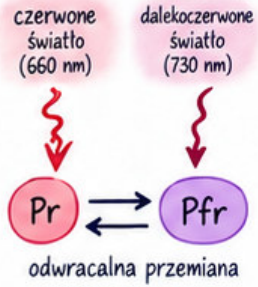
np. pszenica – roślina dnia długiego

Fitochrom

System receptorowy reagujący na czerwone i dalekoczerwone światło.

Funkcje:

- kiełkowanie
- fotomorfogeneza
- reakcja na zacienienie
- regulacja części procesów fotoperiodycznych.



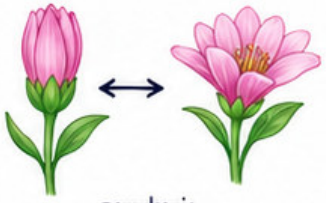
odwracalna przemiana

Nastie

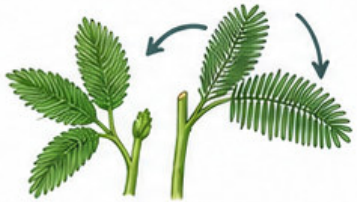
Ruch niezależny od kierunku działania bodźca.

Przykłady:

- otwieranie i zamykanie kwiatów
- ruchy liści
- reakcje na dotyk.



zamykanie i otwieranie kwiatów



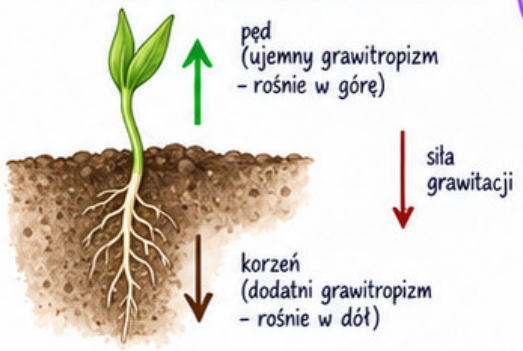
ruchy liści (np. mimoza wstydliwa)

Grawitropizm

Grawitacja wpływa na kierunek wzrostu.

Korzeń: zwykle dodatni grawitropizm.

Pęd: zwykle ujemny grawitropizm.



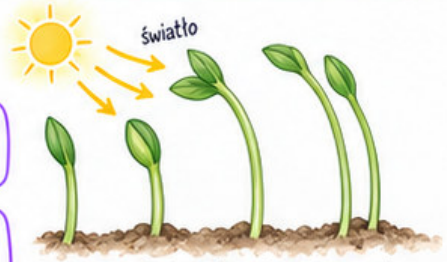
Fototropizm

światło z jednej strony → nierównomierny sygnał hormonalny → różnice we wzroście komórek → wygięcie pędu w kierunku światła.

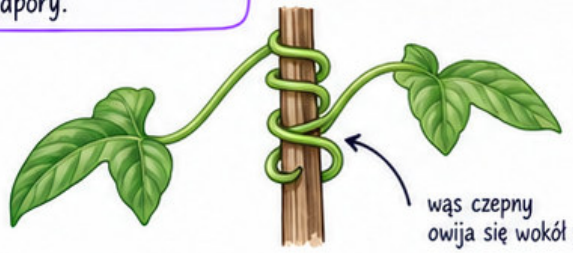
Tigmotropizm

Kontakt mechaniczny → kierunkowa reakcja wzrostowa.

Przykład:
owijanie się wąsów czepnych wokół podpory.



wygięcie pędu w kierunku światła



Tropizm vs nastia

TROPIZM	NASTIA
= kierunek reakcji zależy od kierunku bodźca.	= reakcja zachodzi bez takiej bezpośredniej zależności kierunkowej.

Połącz wiedzę z modułu:

światło → receptory (np. fitochrom) → hormony (np. auksyny) → wzrost różnicowy → zmiana architektury rośliny

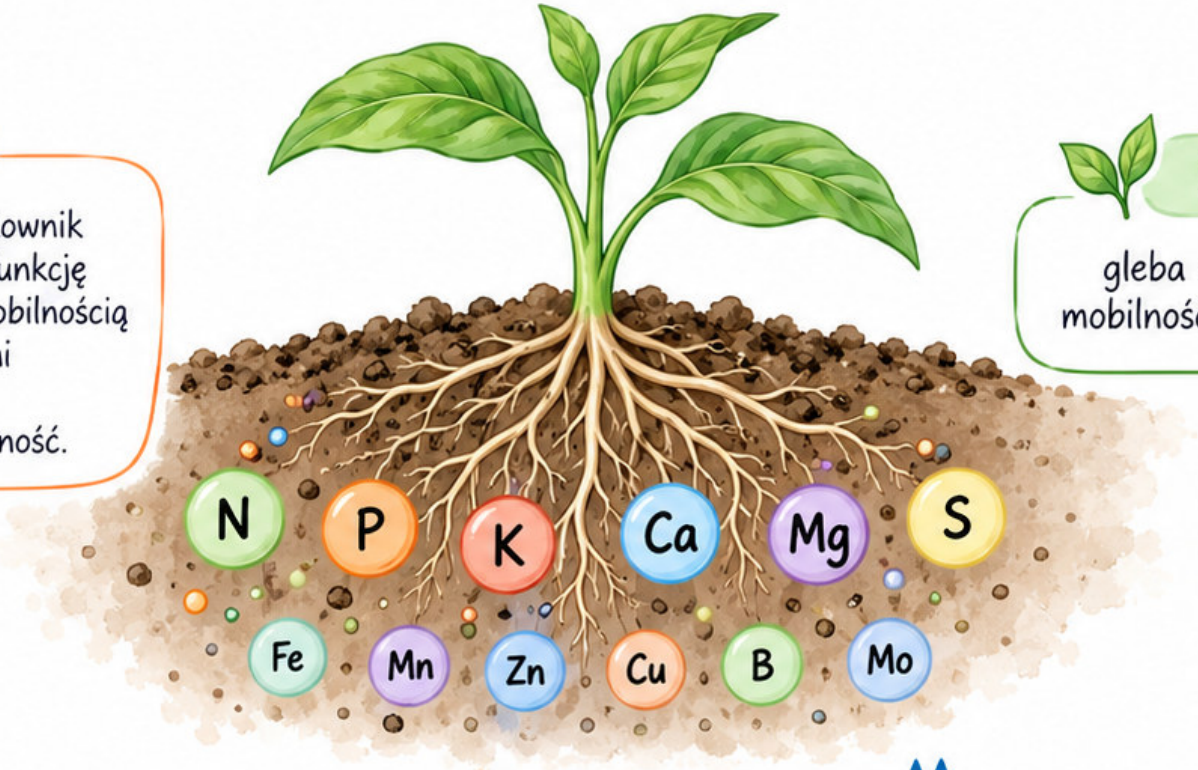
Moduł 02

Odżywianie mineralne roślin

Jak roślina pobiera składniki mineralne, wykorzystuje je w metabolizmie i pokazuje ich niedobór lub nadmiar.

Cel modułu

Po zakończeniu modułu użytkownik powinien potrafić powiązać funkcję danego pierwiastka z jego mobilnością w roślinie, typowymi objawami niedoboru oraz warunkami wpływającymi na jego dostępność.



Słowa kluczowe

gleba • korzeń • jony • pH • mobilność • niedobór • antagonizm



Pierwiastki niezbędne

podstawa życia i rozwoju roślin

SKŁADNIKI MINERALNE

Co to znaczy „niezbędny”?

Pierwiastek uznaje się za niezbędny, gdy bez niego roślina nie może prawidłowo zakończyć cyklu życiowego, jego funkcji nie może całkowicie zastąpić inny pierwiastek i uczestniczy bezpośrednio w metabolizmie lub budowie rośliny.

Nie myl!

Makroelement nie oznacza ważniejszy. Oznacza pierwiastek potrzebny w większej ilości.

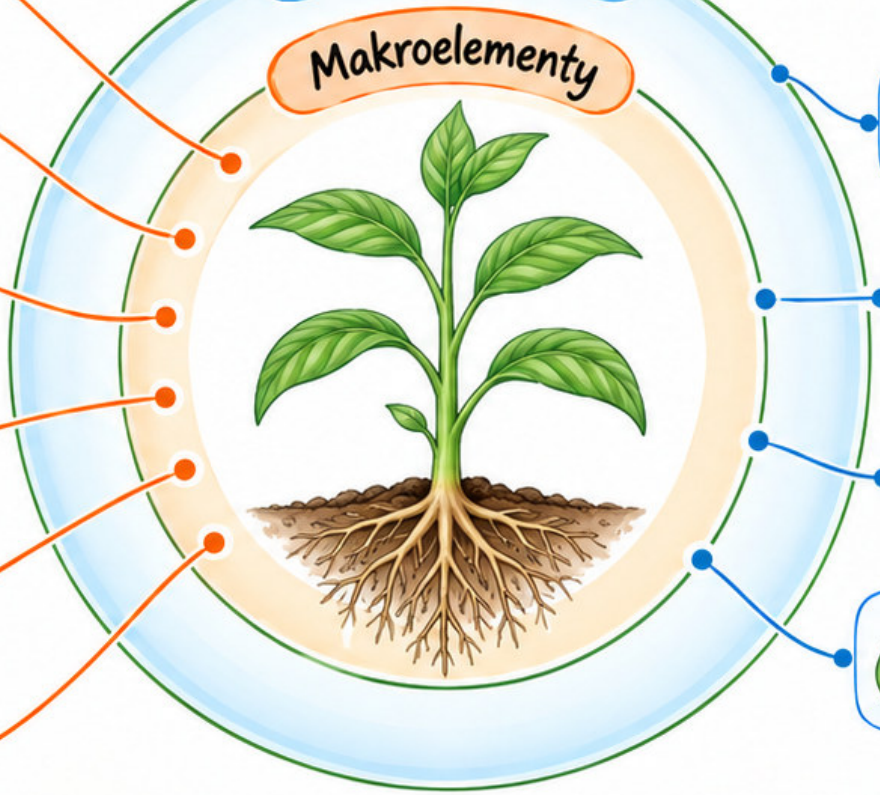
Zasada optimum

niedobór → optimum → nadmiar → toksyczność lub zaburzenia równowagi.



Mikroelementy

Makroelementy



N – azot
- białka
- chlorofil
- kwasy nukleinowe

P – fosfor
- ATP
- kwasy nukleinowe
- błony

K – potas
- gospodarka wodna
- aktywacja enzymów
- aparaty szparkowe

Ca – wapń
- ściany komórkowe
- błony
- sygnalizacja

Mg – magnez
- chlorofil
- aktywacja enzymów

S – siarka
- aminokwasy siarkowe
- białka

Fe – żelazo
- transport elektronów
- enzymy redoks

Mn – mangan
- fotosynteza
- aktywacja enzymów

Zn – cynk
- enzymy
- regulacja wzrostu

Cu – miedź
- reakcje redoks
- lignifikacja

B – bor
- ściana komórkowa
- wzrost merystemów

Mo – molibden
- metabolizm azotu

Cl – chlor
- równowaga jonowa
- fotosynteza

Ni – nikiel
- m.in. funkcjonowanie ureazy

Pobieranie i transport jonów

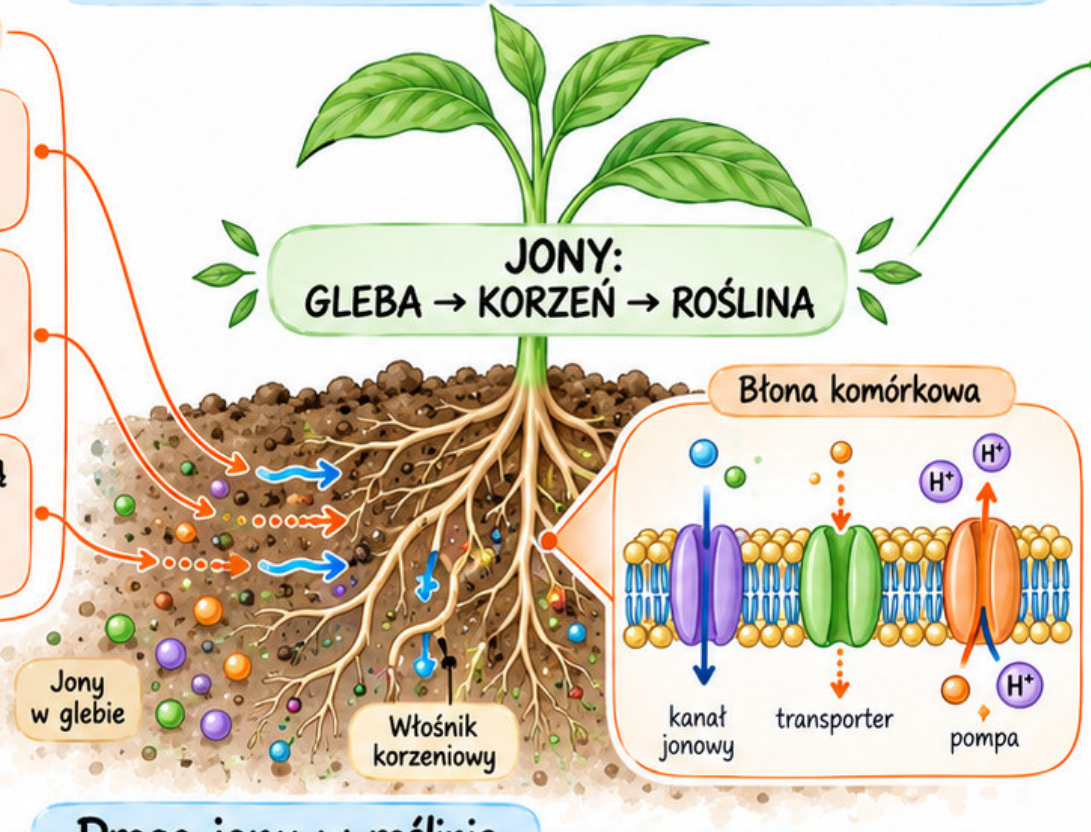
Od gleby, przez korzeń, aż do liści – jak jony przemieszczają się w roślinie.

Dopływ do korzenia

Przepływ masowy
Składnik przemieszcza się wraz z wodą ku korzeniowi.

Dyfuzja
Składnik przemieszcza się z miejsca o wyższym stężeniu do miejsca o niższym stężeniu.

Kontakt korzenia z glebą
Wzrost korzenia zwiększa dostęp do nowych obszarów gleby.



Błona komórkowa

Nie wszystkie jony mogą swobodnie przechodzić przez błonę. Transport wykorzystuje:
- kanały jonowe
- transportery
- pompy.

H⁺ Pompa protonowa

H^+-ATPaza → ATP → wypompowanie H^+ na zewnątrz komórki → powstanie gradientu elektrochemicznego.

Ten gradient może napędzać wtórny transport różnych jonów.

ATP Transport aktywny

Pozwala pobierać składniki także wbrew gradientowi stężeń, ale wymaga energii bezpośrednio lub pośrednio.

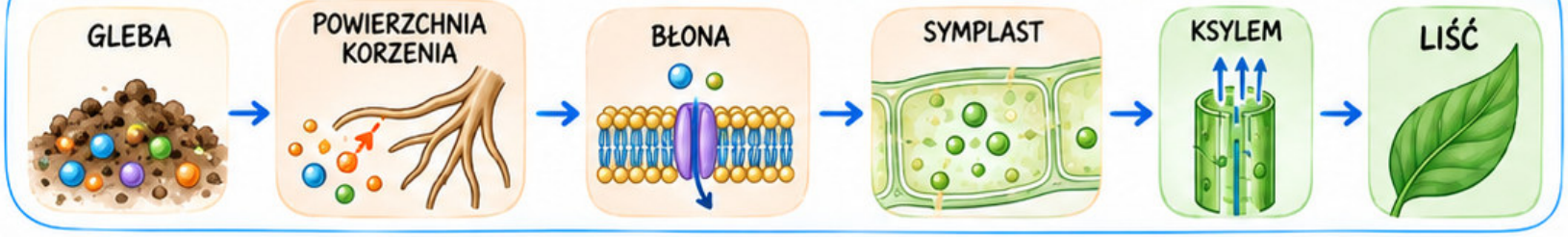
Ksylem

Po przejściu do walca osiowego część składników trafia do ksylemu i wraz z prądem transpiracyjnym może przemieszczać się do części nadziemnych.

Mikoryza

Grzyby mikoryzowe mogą zwiększać efektywną powierzchnię eksplorowaną przez system korzeniowy i wspierać pobieranie niektórych składników, szczególnie słabiej przemieszczających się w glebie.

Droga jonu w roślinie



Trzy sposoby przemieszczania się jonów do korzenia

- Przepływ masowy (wraz z wodą)
- Dyfuzja (ze stężenia wyższego do niższego)
- Transport przez błonę (kanały / transportery / pompy)

Przykład: fosfor (P)

Fosfor może być obecny w glebie, ale jego dostępność dla rośliny może pozostawać niska, jeśli jest słabo mobilny lub związany w trudno dostępnych formach.

pH, kompleks sorpcyjny i dostępność składników

pH

pH wpływa na:
- rozpuszczalność związków
- formę chemiczną składników
- aktywność mikroorganizmów
- toksyczność części jonów.

Gleby silnie kwaśne

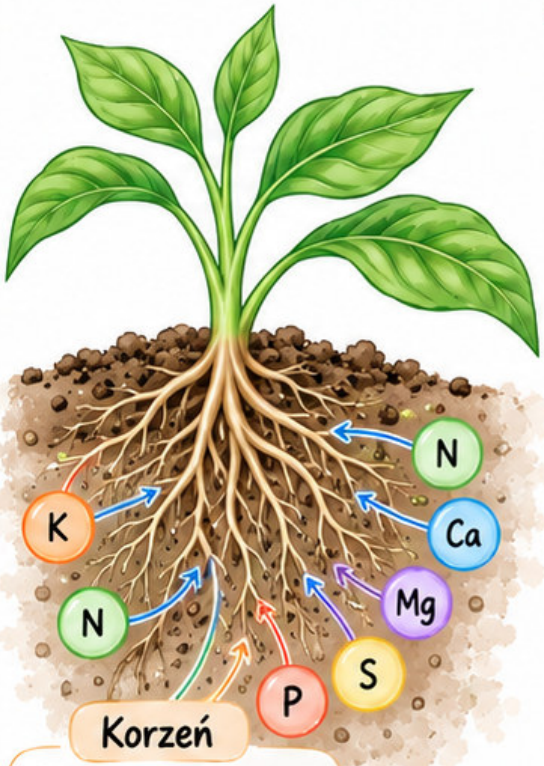
Możliwe problemy:
- ograniczona dostępność części składników
- zwiększona rozpuszczalność Al i Mn
- słabszy rozwój systemu korzeniowego w niekorzystnych warunkach.

Gleby zasadowe

Może spadać dostępność części mikroelementów, zwłaszcza:
• Fe • Mn • Zn • Cu
oraz może zmieniać się dostępność fosforu.

Kompleks sorpcyjny

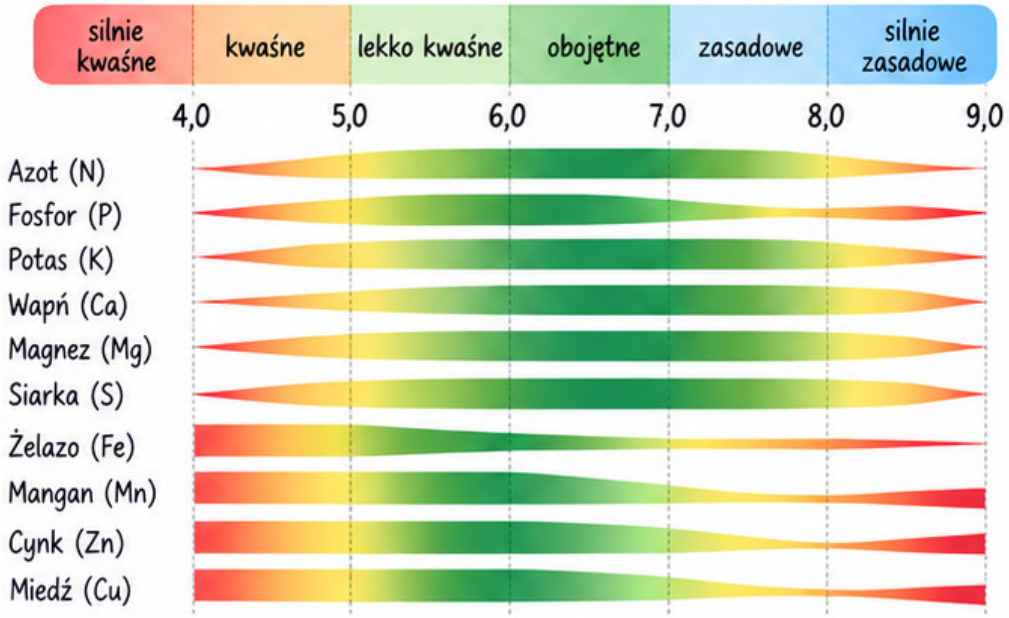
Cząstki ilaste i materia organiczna mają ładunki umożliwiające wiązanie kationów.
Przykłady:
• K^+ • Ca^{2+} • Mg^{2+} • NH_4^+.

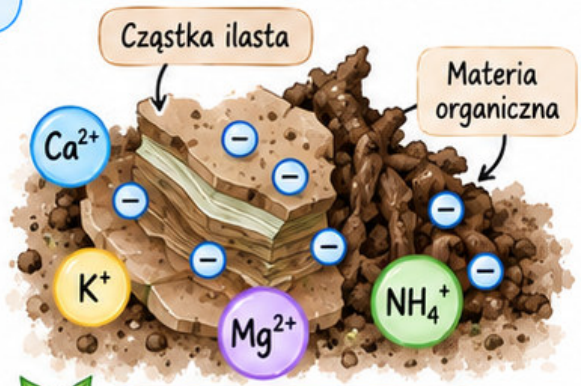


Korzeń

Pobiera składniki z roztworu glebowego.

pH GLEBY A DOSTĘPNOŚĆ SKŁADNIKÓW





Wymiana kationowa

Korzeń wydziela H^+ lub zmienia środowisko ryzosfery → kationy mogą zostać uwolnione do roztworu glebowego → stają się dostępne do pobrania.

Materia organiczna

Może:
- zwiększać pojemność sorpcyjną
- poprawiać strukturę
- wpływać na retencję wody
- wiązać lub uwalniać składniki.

Optymalne pH zależy od gatunku, rodzaju gleby i technologii uprawy. Schemat ma charakter dydaktyczny, nie recepturowy.

Żelazo może być obecne w glebie, ale przy wysokim pH jego dostępność dla rośliny może być ograniczona, prowadząc do objawów niedoboru.

Azot

Niezbędny składnik życia roślin – warunkuje wzrost, plonowanie i tworzenie związków organicznych.

AZOT – N

N

Główne funkcje

Azot jest składnikiem:

- aminokwasów
- białek
- kwasów nukleinowych
- chlorofilu
- wielu koenzymów.

Formy pobierane przez korzeń

- NO_3^- – azotan
- NH_4^+ – jon amonowy

Ich udział zależy m.in. od gleby, nawożenia, temperatury i aktywności mikrobiologicznej.

Mobilność w roślinie

Azot jest względnie mobiliny. Przy niedoborze może być przemieszczany ze starszych organów do młodszych.

Objawy często zaczynają się na starszych liściach.



Roślina z prawidłowym zaopatrzeniem w azot



Roślina z objawami niedoboru azotu

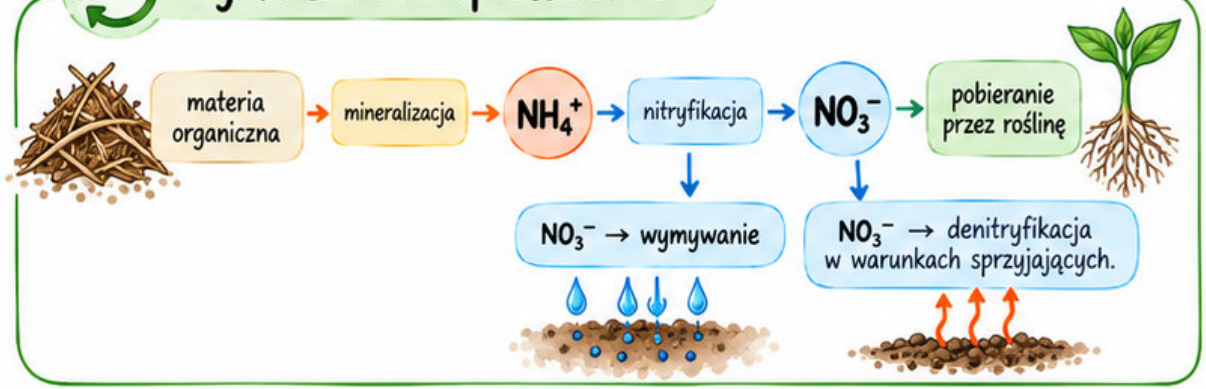
Niedobór

jasnozielone zabarwienie
→ chloroza starszych liści
→ ograniczony wzrost
→ mniejsza powierzchnia asymilacyjna.

Nadmiar

- nadmierny wzrost wegetatywny
- miękkie tkanki
- opóźnione dojrzewanie
- większa podatność na wyleganie w części upraw.

Cykl azotu w uproszczeniu



Nie diagnozuj po jednym objawie

Żółknięcie starszych liści może mieć wiele przyczyn. Zawsze sprawdź:

- układ objawów
- historię nawożenia
- wilgotność
- system korzeniowy
- pH
- inne czynniki stresowe.

Przykład z pola

Równomierne żółknięcie najstarszych liści przy jednoczesnym spowolnieniu wzrostu może sugerować niedobór azotu, ale wymaga potwierdzenia w kontekście całej uprawy.

Fosfor

Niezbędny do transferu energii, budowy komórek i prawidłowego wzrostu roślin.

FOSFOR — P —

Funkcje

Fosfor wchodzi w skład:

- ATP i ADP
- kwasów nukleinowych
- fosfolipidów
- związków fosforylowanych.

TRANSFER ENERGII

Pobieranie

Roślina pobiera fosfor głównie jako aniony fosforanowe obecne w roztworze glebowym.

Mała mobilność w glebie

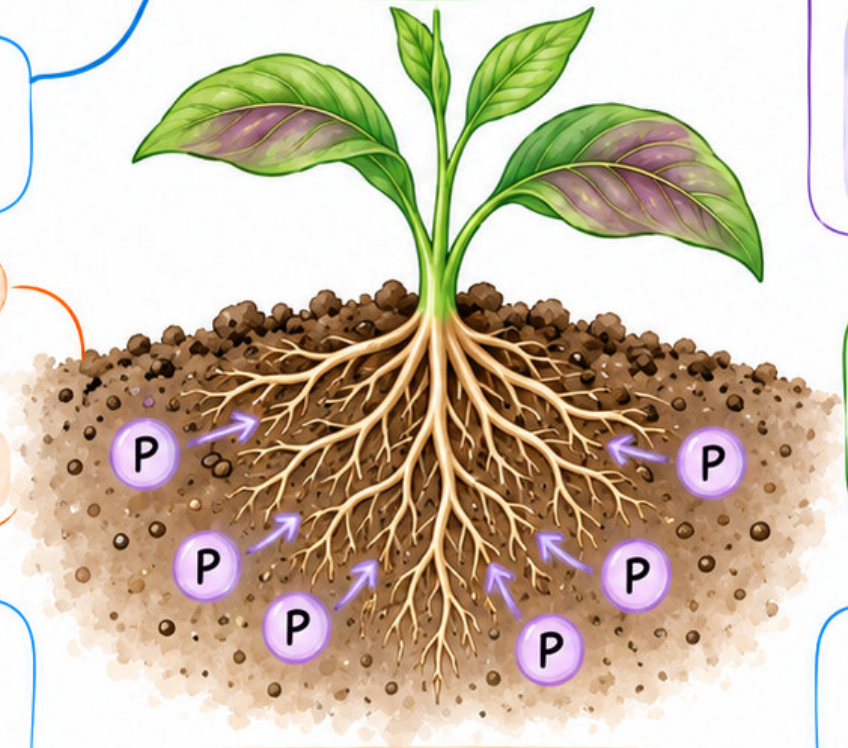
Fosfor przemieszcza się na niewielkie odległości głównie przez dyfuzję.

Rozbudowany aktywny system korzeniowy ma szczególne znaczenie.

pH i uwstecznianie

W silnie kwaśnej glebie fosfor może być silnie wiązany m.in. przez związki Fe i Al. W glebach o wysokim pH może tworzyć trudno rozpuszczalne związki z Ca.

Duża ilość P w glebie nie zawsze oznacza wysoką dostępność.



Dyfuzja fosforanów w glebie



Niedobór

- spowolniony wzrost
- słabszy rozwój systemu korzeniowego
- ciemnozielone zabarwienie
- purpurowe lub czerwono-fioletowe przebarwienia u niektórych gatunków.

Fioletowe przebarwienia nie są objawem wyłącznie niedoboru fosforu.

Młode rośliny kukurydzy podczas chłodnej wiosny mogą wykazywać purpurowe zabarwienie związane z ograniczonym pobieraniem lub metabolizmem fosforu, ale objaw należy interpretować wraz z temperaturą i stanem korzeni.

Mobilność w roślinie

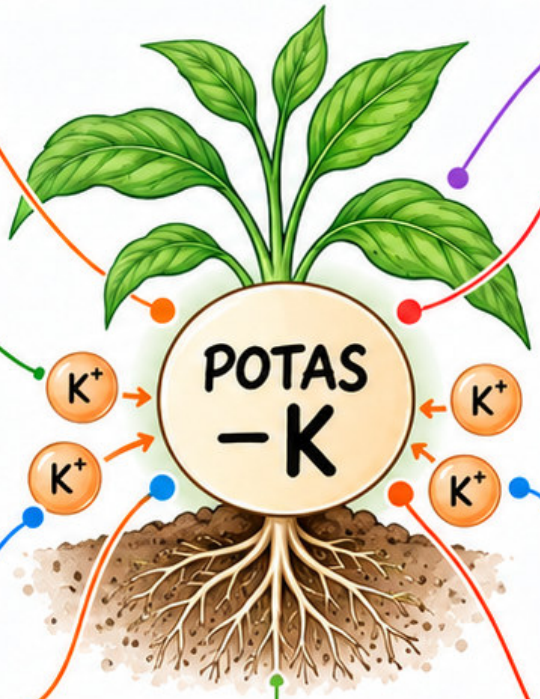
Fosfor jest względnie mobilny.
Przy niedoborze objawy często pojawiają się najpierw na starszych organach.

Niska temperatura

Chłodna gleba → wolniejsza aktywność korzeni → ograniczone pobieranie P → przejściowe objawy nawet przy odpowiedniej zasobności gleby.

Potas

Reguluje gospodarkę wodną, aktywuje enzymy i wspiera transport asymilatów w roślinie.



Forma w roślinie

Potas występuje przede wszystkim jako jon: K^+. Nie jest wbudowany w struktury organiczne tak jak azot czy fosfor, ale pełni kluczowe funkcje regulacyjne.

Aparaty szparkowe

Zmiany stężenia K^+ w komórkach szparkowych → zmiana potencjału osmotycznego → ruch wody → zmiana turgoru → otwieranie lub zamykanie szparki.



Gospodarka wodna

Odpowiednie odżywienie K wspiera:

- utrzymanie turgoru
- kontrolę transpiracji
- reakcję na okresowe niedobory wody.



Enzymy

K^+ aktywuje wiele enzymów uczestniczących w metabolizmie.

Mobilność

Potas jest mobilny w roślinie. Niedobór często rozpoczyna się na starszych liściach.

Typowe objawy niedoboru

- chloroza brzeżna → nekroza brzegów starszych liści
- osłabienie wzrostu
- gorsza regulacja gospodarki wodnej.

środek blaszki względnie zielony → brzegi żółkną → następnie brunatnieją i nekrotyzują.



K w stresie suszy

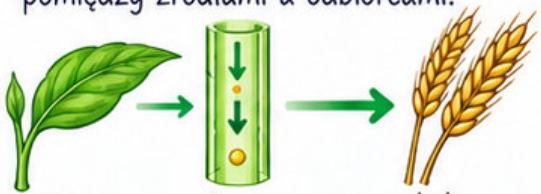
dobry status K → sprawniejsza regulacja aparatów szparkowych → lepsza kontrola strat wody.

Nie przedstawiać tego jako ochrony absolutnej przed suszą.



Transport asymilatów

Potas wspiera funkcjonowanie floemu i transport produktów fotosyntezy pomiędzy źródłami a odbiorcami.



Antagonizmy

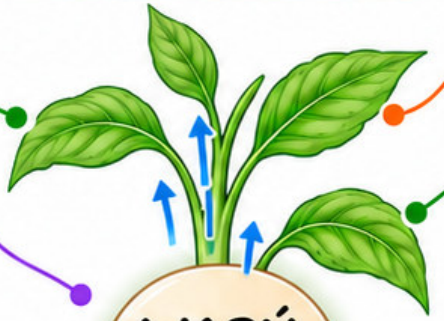
Bardzo wysokie stężenie K w środowisku korzeniowym może ograniczać pobieranie części innych kationów, szczególnie: Mg^{2+} i Ca^{2+}.

Nawożenie to równowaga, nie maksymalizacja pojedynczego składniika.

Objawy przypominające niedobór magnezu mogą pojawić się nie tylko przy małej zasobności Mg, ale również przy zaburzonej proporcji pomiędzy K i Mg.

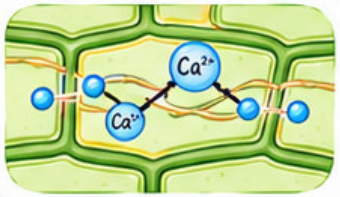
Wapń

Budulcowy składnik tkanek oraz ważny element stabilności błon komórkowych i sygnalizacji komórkowej.



Ściana komórkowa

Ca^{2+} pomaga stabilizować pektyny w ścianie komórkowej.



Efekty:
- większa integralność tkanek
- prawidłowa budowa młodych organów

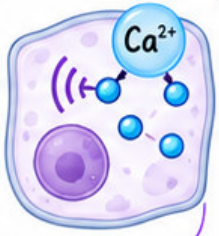
Błony komórkowe

Wapń pomaga utrzymywać:
- stabiiność błon
- selektywność transportu
- prawidłowe funkcjonowanie komórek.



Sygnał Ca^{2+}

Zmiana stężenia Ca^{2+} w cytoplazmie może działać jak sygnał wewnątrzkomórkowy.



Może uczestniczyć w odpowiedzi na:
- suszę
- zasolenie
- patogeny
- uszkodzenia mechaniczne
- hormony

Merystemy i młode tkanki

Wapń jest szczególnie ważny dla intensywnie dzielących się i rozwijających się komórek. Przy niedoborze najbardziej cierpią młode części rośliny.



Mobilność w roślinie

Wapń jest słabo mobilny we floemie. Jego transport do części nadziemnych silnie zależy od przepływu wody w ksylemie.

Objawy niedoboru pojawiają się przede wszystkim na:
- młodych liściach
- stożkach wzrostu
- młodych owocach



Transport wody w ksylemie warunkuje dostarczanie Ca^{2+} do liści i owoców.

Typowe objawy niedoboru

- zamieranie stożków wzrostu
- deformacja młodych liści
- nekrozy młodych tkanek
- słaby rozwój korzeni

W niektórych uprawach:
- sucha zgnilizna wierzchołkowa owoców
- tipburn
- lokalne zaburzenia tkanek



Ca w glebie ≠ Ca skutecznie dostarczony do organu



- dostępność wody
- transpiracja
- transport ksylemem
- konkurencja jonowa
- tempo wzrostu organu

Te czynniki decydują, ile wapnia faktycznie dociera do liści, owoców i innych organów.

Przykład praktyczny



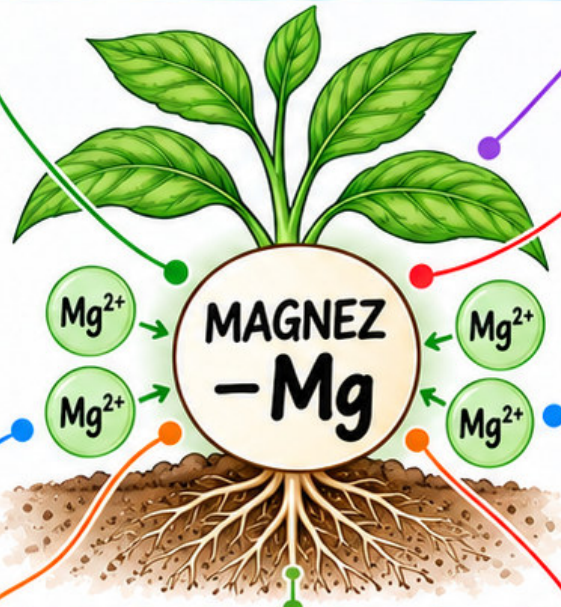
Owoc może wykazywać lokalny niedobór wapnia mimo odpowiedniej zawartości Ca w glebie, jeśli transport pierwiastka do szybko rosnącej tkanki jest niewystarczający.

Nie diagnozuj wyłącznie po analizie gleby

W przypadku wapnia szczególnie ważne jest rozróżnienie pomiędzy zasobnością gleby a rzeczywistym transportem do organu.

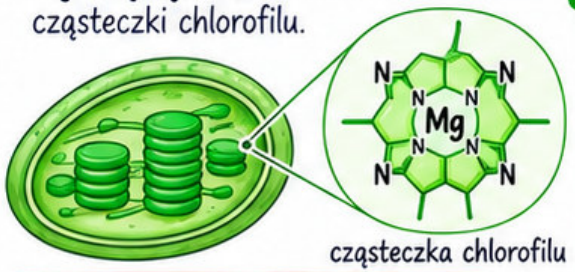
Magnez

Wspiera fotosyntezę, aktywność enzymów i wykorzystanie energii w roślinie.



Chlorofil

Mg znajduje się w centrum cząsteczki chlorofilu.



Bez odpowiedniej ilości Mg ograniczona może być sprawność aparatu fotosyntetycznego.

Mobilność

Mg jest stosunkowo mobilny w roślinie. Przy niedoborze może być przemieszczany ze starszych liści do młodszych.

Niedobór

Typowy wzór:

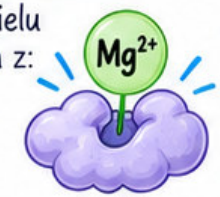
- starszy liść → chloroza między nerwami
- nerwy pozostają dłużej zielone
- przy silnym niedoborze mogą pojawić się nekrozy.



Aktywacja enzymów

Mg^{2+} uczestniczy w aktywacji wielu enzymów, szczególnie związanych z:

- fotosyntezą
- oddychaniem
- syntezą białek
- gospodarką fosforanową.



Antagonizm z K

Wysokie stężenie K^+ w strefie korzeniowej może ograniczać pobieranie Mg^{2+}. Podobne relacje mogą występować między Mg^{2+}, Ca^{2+} i innymi kationami.

$K^+ \dashv Mg^{2+}$

$Ca^{2+} \leftrightarrow Mg^{2+}$

ATP

W komórce ATP często funkcjonuje w kompleksie z Mg^{2+}.



Magnez jest silnie powiązany z wykorzystaniem energii metabolicznej.

STARSZE LIŚCIE + CHLOROZA MIĘDZYNACZYNIOWA

↓

sprawdź Mg

↓

ale również:
pH • korzenie • K • inne przyczyny chlorozy



Mg – starszy liść



Fe – młody liść

Nie myl – Mg vs Fe

Mg: objawy częściej na starszych liściach.

Fe: objawy częściej na młodych liściach.

To wynika z różnic w mobilności pierwiastków w roślinie.

Przykład praktyczny

Silne nawożenie potasem może w pewnych warunkach zwiększyć ryzyko funkcjonalnego niedoboru magnezu, nawet jeśli gleba zawiera jego umiarkowaną ilość.

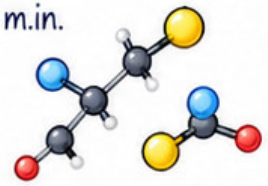
Siarka

Niezbędny składnik białek, enzymów i wielu związków metabolicznych w roślinie.

Aminokwasy siarkowe

Siarka wchodzi w skład m.in. cysteiny i metioniny.

Uczestniczy w budowie białek i enzymów.



cysteina metionina

Mostki disiarczkowe

Grupy siarkowe mogą tworzyć wiązania stabilizujące przestrzenną strukturę białek.



Koenzymy i metabolity

Siarka występuje również w wielu ważnych związkach biologicznych uczestniczących w metabolizmie.



np. koenzym A, biotyna, glutation

Porównanie: niedobór N vs S

NIEDOBÓR N



częściej zaczyna się na starszych liściach.

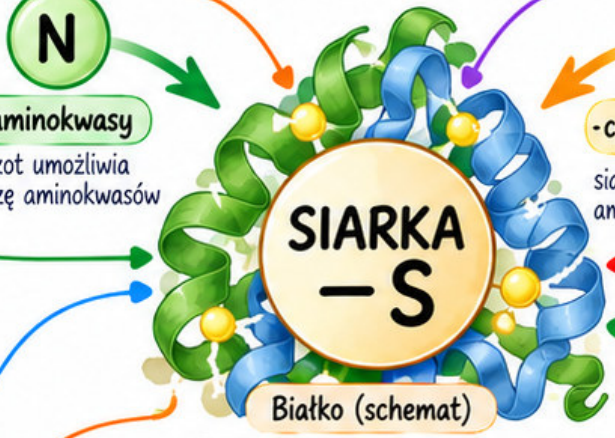
Żółknięcie starszych liści

NIEDOBÓR S



częściej widoczny na młodszych liściach.

Żółknięcie młodszych liści



Białko (schemat)

Siarka nadaje białkom odpowiednią strukturę i funkcje.

N

- aminokwasy

azot umożliwia syntezę aminokwasów

S

- cysteina + metionina

siarka wchodzi w skład aminokwasów siarkowych

Powiązanie z azotem

N + S

Synteza białek wymaga jednocześnie odpowiedniej dostępności N + S.
Jeżeli brakuje jednego z tych pierwiastków, wykorzystanie drugiego może być ograniczone.

Mobilność

Siarka jest mniej mobilna niż azot.
Objawy niedoboru często pojawiają się najpierw na młodszych liściach.

Niedobór

- jasnozielone lub żółtawe młode liście
- ogólne zahamowanie wzrostu
- cienkie pędy
- słabsze wykorzystanie azotu



Źródła w glebie



materia organiczna → mineralizacja → siarczany (SO_4^{2-}) → pobieranie przez korzeń

Roślina pobiera siarkę głównie jako SO_4^{2-}.

Kluczowa zasada

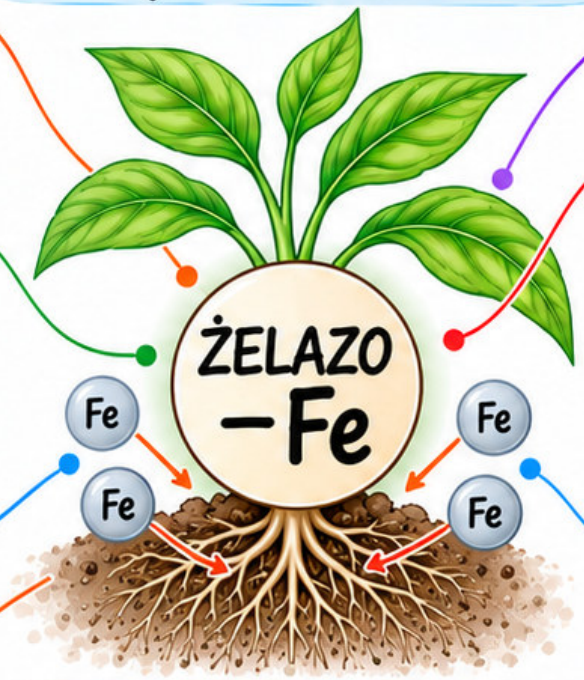
N i S współpracują w budowie białek.
Niedobór siarki może ograniczać efektywne wykorzystanie azotu.

Przykład praktyczny

Jeżeli roślina jest blada mimo prawidłowego nawożenia azotem, warto sprawdzić nie tylko N, ale również S, szczególnie gdy objawy są wyraźniejsze na młodszych liściach.

Żelazo

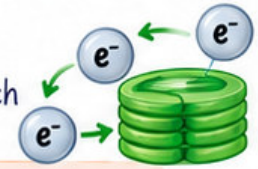
Rośliny potrzebują niewielkich ilości żelaza, ale jego rola w fotosyntezie i reakcjach redoks jest fundamentalna.



Transport elektronów

Fe uczestniczy w działaniu:

- cytochromów
- białek żelazowo-siarkowych
- wielu enzymów redoks.



Znaczenie:
fotosynteza i oddychanie komórkowe.

Chlorofil

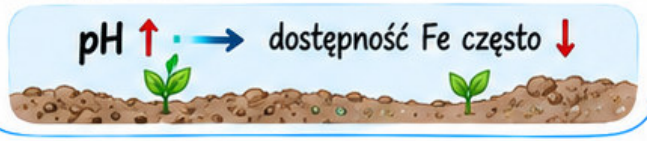
Żelazo nie znajduje się w centrum cząsteczki chlorofilu, ale jest potrzebne do prawidłowego funkcjonowania procesów związanych z jego syntezą i aparatem fotosyntetycznym.



Nie pisać: Fe jest składnikiem chlorofilu.

pH

Wysokie pH gleby → ograniczona rozpuszczalność Fe → niższa dostępność dla korzeni.



Warunki korzeniowe

Dostępność Fe może być ograniczona przez:

- wysokie pH
- nadmiar wodorowęglanów
- niekorzystne warunki korzeniowe
- zaburzenia pobierania.



Fe w glebie ≠ Fe dostępne dla rośliny



Żelazo w glebie (często trudno rozpuszczalne)

Żelazo dostępne dla rośliny (forma rozpuszczalna)

Na glebie wapiennej młode liście mogą silnie żółknąć mimo obecności żelaza w glebie, ponieważ problemem jest jego dostępność chemiczna, a nie całkowity brak pierwiastka.

Mobilność

Fe ma bardzo ograniczoną mobilność w roślinie.
Niedobór pojawia się przede wszystkim na młodych liściach.

Typowy objaw

- chloroza międzynerwowa młodych liści.

Początkowo:

- nerwy pozostają zielone
- przestrzeń między nerwami jaśnieje.

Przy silnym niedoborze cały młody liść może stać się prawie żółty lub blady.



Porównanie objawów

Fe	• młode liście • chloroza międzynerwowa
Mg	• starsze liście • chloroza międzynerwowa



Diagnoza

Przed korektą sprawdź:

- pH
- system korzeniowy
- wilgotność
- analizę gleby lub podłoża
- rozkład objawów.



Mangan

Enzymy

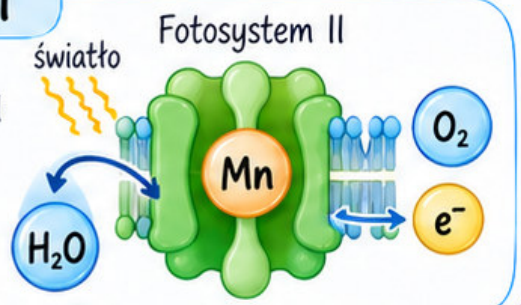
Mn^{2+} aktywuje liczne enzymy związane z:

- metabolizmem węgla
- metabolizmem azotu
- reakcjami antyoksydacyjnymi.

Fotosystem II

Mn jest częścią kompleksu odpowiedzialnego za rozkład wody podczas fazy jasnej fotosyntezy.

uczestniczy w uwalnianiu elektronów z H_2O.



Mobilność

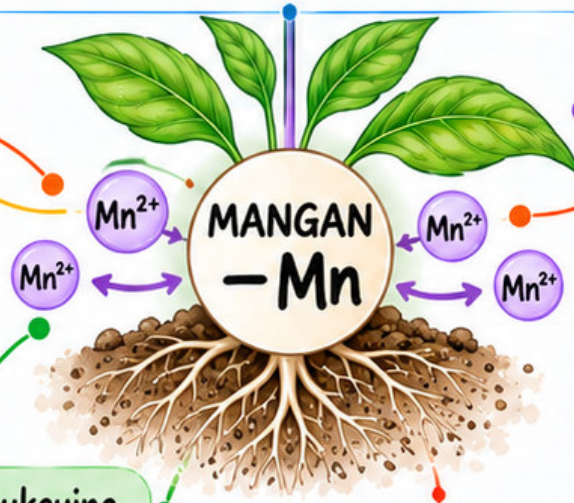
Mangan ma ograniczoną mobilność w roślinie. Objawy niedoboru często pojawiają się na młodszych lub średnio młodych liściach.

Niedobór

- chloroza międzynerwowa
- drobne nekrotyczne punkty
- spadek sprawności fotosyntezy

Układ objawów zależy od gatunku.





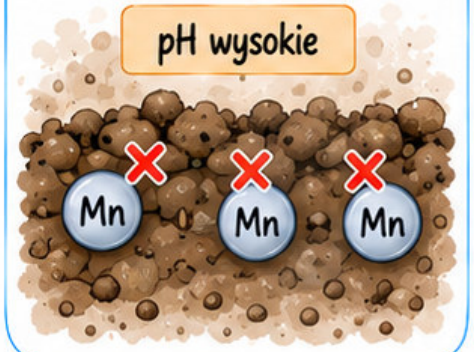
Toksyczność

- brunatne plamy
- zahamowanie wzrostu
- zaburzenia metabolizmu innych pierwiastków.



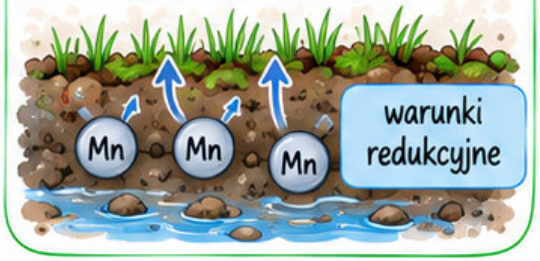
pH

Przy wysokim pH dostępność Mn często maleje.



Warunki redukcyjne

W bardzo wilgotnych lub słabo natlenionych glebach może zwiększać się udział bardziej rozpuszczalnych form Mn. W niektórych warunkach rośnie ryzyko nadmiernego pobrania i toksyczności.



Porównanie warunków glebowych

pH wysokie	→ ryzyko niedostępności Mn
warunki kwaśne / redukcyjne	→ możliwość zwiększonej dostępności

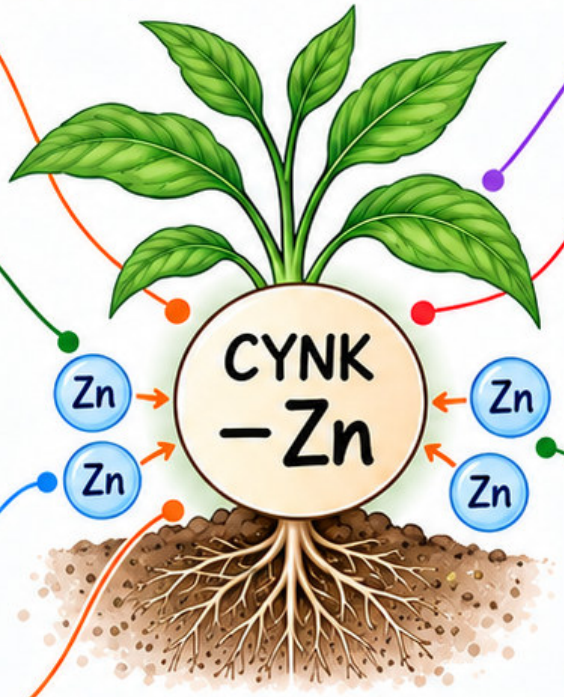
Przykład praktyczny

Dwie gleby o podobnej całkowitej zawartości Mn mogą dawać zupełnie inne odżywienie roślin, jeśli różnią się pH i warunkami tlenowymi.



Cynk

Cynk uczestniczy w funkcjonowaniu enzymów, regulacji wzrostu i metabolizmie roślin.



Enzymy

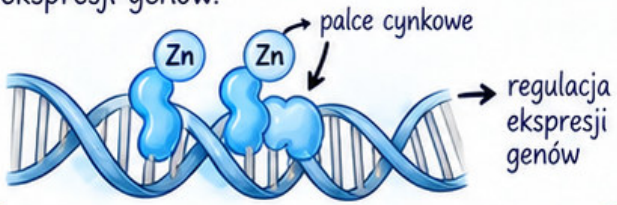
Zn uczestniczy w funkcjonowaniu wielu enzymów. Może pełnić rolę:

- katalityczną
- strukturalną
- regulacyjną



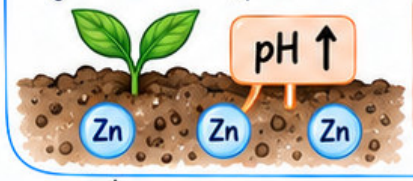
Ekspresja genów

Cynk występuje w strukturach białkowych typu „palce cynkowe", które uczestniczą m.in. w regulacji ekspresji genów.



pH

Wzrost pH gleby często ogranicza dostępność Zn.

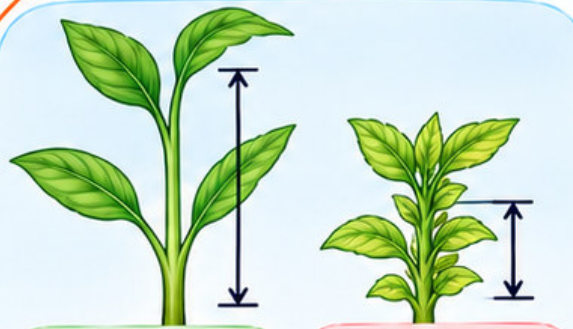


Przy wysokim pH cynk silniej wiąże się w formy trudno dostępne dla roślin.

Fosfor a Zn

Bardzo wysoki poziom fosforu może w pewnych warunkach pogłębiać problemy z odżywieniem cynkiem.

Nie przedstawiać relacji P–Zn jako prostego równania więcej P = zawsze mniej Zn.



Mobilność

Mobilność Zn w roślinie jest ograniczona. Objawy mogą pojawiać się na młodszych tkankach.

Niedobór

- skrócone międzywęźla
- małe liście
- chloroza międzynerwowa
- rozetowatość
- zaburzenia wzrostu młodych organów

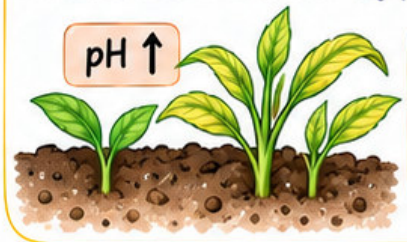


Rozpoznaj wzór

skrócone międzywęźla + małe młode liście + chloroza → sprawdź Zn oraz warunki jego dostępności.

Przykład praktyczny

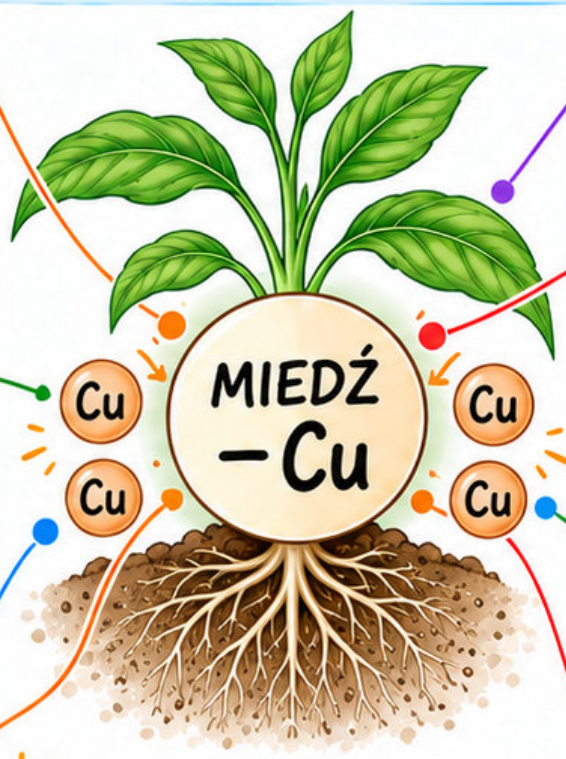
Na glebach o wysokim pH roślina może wykazywać objawy niedoboru cynku mimo obecności Zn w całkowitej puli gleby.



Wysokie pH nie zawsze oznacza brak Zn w glebie, ale może ograniczać jego dostępność dla roślin.

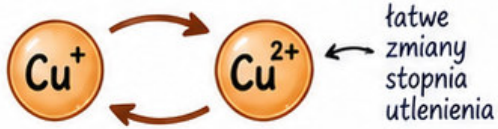
Miedź

Niezbędna w reakcjach redoks, fotosyntezie, lignifikacji i odporności tkanek.



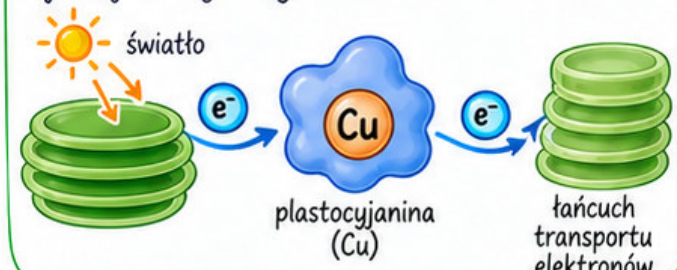
Reakcje redoks

Cu może przechodzić pomiędzy różnymi stopniami utlenienia. Dzięki temu uczestniczy w działaniu wielu białek przenoszących elektrony.



Plastocyjanina

Białko zawierające Cu uczestniczy w transporcie elektronów w fazie jasnej fotosyntezy.



Enzymy oksydacyjne

Miedź jest kofaktorem enzymów związanych m.in. z:

- reakcjami redoks
- metabolizmem fenoli
- ochroną antyoksydacyjną



Lignifikacja

Cu uczestniczy pośrednio w procesach prowadzących do prawidłowego tworzenia ligniny.

Znaczenie: sztywność i wytrzymałość tkanek przewodzących.



Mobilność

Miedź ma ograniczoną mobilność. Objawy niedoboru mogą pojawiać się na młodych organach.

Niedobór

- więdnięcie młodych części
- skręcanie lub deformacja liści
- zamieranie końcówek
- osłabienie pędów
- zaburzenia kwitnienia lub reprodukcji



Mikroelement ≠ mało ważny

mikroelement = potrzebny w małej ilości

Dla Cu różnica między poziomem wystarczającym a nadmiernym może być stosunkowo niewielka.

Przykład praktyczny

Objawy w części nadziemnej mogą wynikać z uszkodzeń korzeni przez nadmiar Cu, dlatego interpretacja musi uwzględniać również strefę korzeniową.

Analizuj całą roślinę, nie tylko liście!

Nadmiar

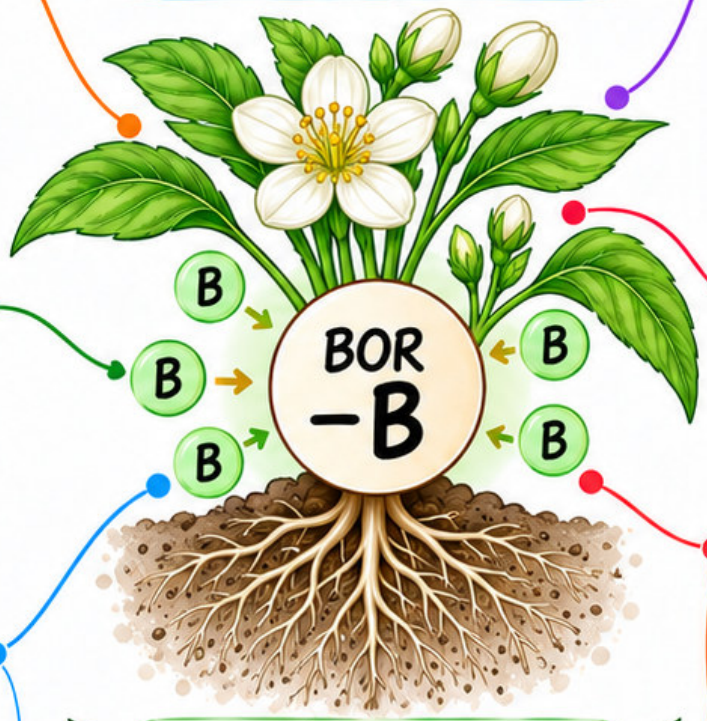
Cu jest niezbędna w małych ilościach, ale nadmiar może być toksyczny.
Efekty nadmiaru:

- uszkodzenia korzeni
- stres oksydacyjny
- ograniczenie wzrostu



Bor

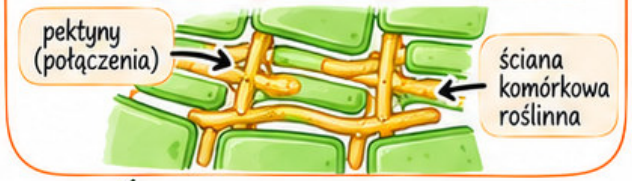
Wpływa na budowę ściany komórkowej, wzrost tkanek, rozwój generatywny i transport cukrów.



Ściana komórkowa

Bor uczestniczy w tworzeniu połączeń pomiędzy składnikami pektynowymi ściany komórkowej.

Efekt: prawidłowa organizacja i wytrzymałość młodych tkanek.



Merystemy

Szybko rosnące tkanki wymagają stałego dopływu B. Przy niedoborze mogą ulec uszkodzeniu:

- stożki wzrostu
- młode liście
- młode korzenie



Transport cukrów

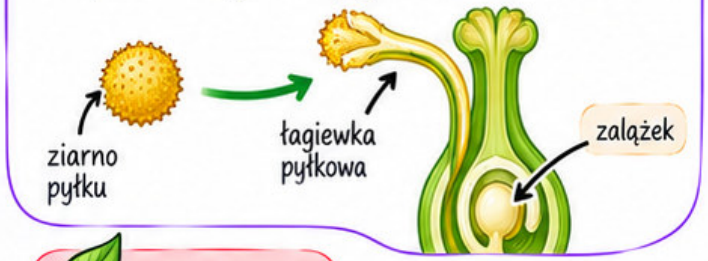
Bor może wpływać na transport i wykorzystanie węglowodanów w tkankach.



Kwitnienie i zapłodnienie

Bor jest ważny dla:

- kiełkowania pyłku
- wzrostu łagiewki pyłkowej
- prawidłowego zawiązywania nasion i owoców.



Mobilność

Mobilność B zależy od gatunku. W wielu roślinach jest ograniczona, dlatego niedobór pojawia się w młodych tkankach.

Niedobór

- zamieranie stożka wzrostu
- kruche i zdeformowane młode liście
- pękanie tkanek
- słaby rozwój korzeni
- zaburzenia kwitnienia i zawiązywania.



NIEDOBÓR vs NADMIAR

NIEDOBÓR B

→ problem głównie młodych tkanek.



NADMIAR B

→ często uszkodzenia starszych liści i brzegów blaszki.



Nadmiar

Zakres pomiędzy optymalnym i toksycznym poziomem może być stosunkowo wąski.

Toksyczność: często zaczyna się od chlorozy lub nekroz brzegów starszych liści.



Przykład praktyczny

Roślina może wyglądać względnie dobrze wegetatywnie, ale wykazywać problemy z kwitnieniem lub zawiązywaniem, jeśli dostępność boru jest niewystarczająca w krytycznym momencie rozwoju.



Molibden, chlor i nikiel

Mo • Cl • Ni

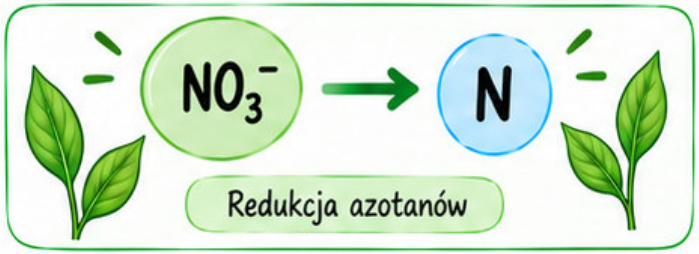
MOLIBDEN – Mo

Główna funkcja:
uczestniczy w enzymach metabolizmu azotu.

Szczególnie ważny dla:
reduktazy azotanowej oraz procesów związanych z biologicznym wiązaniem azotu.

Niedobór może prowadzić do:
- nagromadzenia azotanów
- objawów przypominających niedobór N
- zahamowania wzrostu.

Dostępność:
w odróżnieniu od wielu mikroelementów dostępność Mo często maleje przy bardzo niskim pH.



CHLOR – Cl

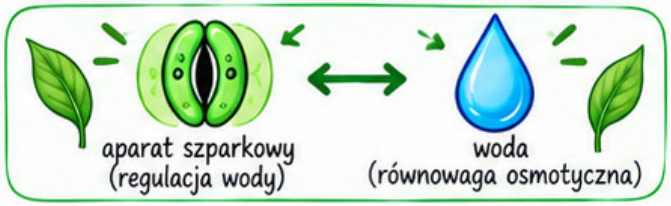
Forma pobierana:
Cl^-

Funkcje:
- równowaga osmotyczna
- regulacja aparatów szparkowych
- fotosystem II
- równowaga jonowa

Niedobór:
rzadki w warunkach polowych.

Możliwe objawy:
- więdnięcie
- chloroza
- zahamowanie wzrostu.

Ważne:
Nadmiar Cl może być problemem u gatunków wrażliwych na zasolenie lub chlorki.



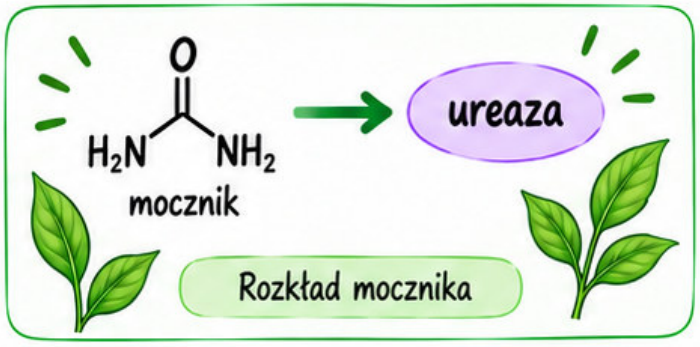
NIKIEL – Ni

Kluczowa funkcja:
jest składnikiem enzymu ureaza.

Ureaza rozkłada mocznik w metabolizmie rośliny.

Przy niedoborze:
może dochodzić do zaburzeń metabolizmu mocznika i akumulacji niepożądanych związków azotowych.

Zapotrzebowanie:
bardzo małe, ale niezerowe.



MAŁA ILOŚĆ ≠ MAŁE ZNACZENIE

Mo, Cl i Ni są potrzebne w ilościach znacznie mniejszych niż N lub K, ale bez nich konkretne procesy enzymatyczne nie działają prawidłowo.

Przykład praktyczny:
Jeżeli roślina wykazuje symptomy przypominające niedobór azotu mimo odpowiedniej podaży N, warto rozważyć także elementy metabolizmu azotu, w tym dostępność Mo.

Diagnoza niedoborów

JAK DIAGNOZOWAĆ NIEDOBÓR?

OBJAW

↓

STARY CZY MŁODY LIŚĆ?

↓

JAKI WZÓR?

↓

GDZIE WYSTĘPUJE?

↓

JAK WYGLĄDA KORZEŃ?

↓

JAKIE JEST pH / WODA / TEMPERATURA?

↓

ANALIZA + POTWIERDZENIE

KROK 1 Gdzie zaczynają się objawy?

STARSZE LIŚCIE
Najpierw rozważ pierwiastki względnie mobilne, np.:
N • P • K • Mg

MŁODSZE LIŚCIE
Rozważ pierwiastki słabo mobilne lub niemobilne, np.:
Ca • B • Fe • część mikroelementów

To filtr diagnostyczny, nie ostateczne rozpoznanie.

KROK 2 Jaki jest wzór objawu?

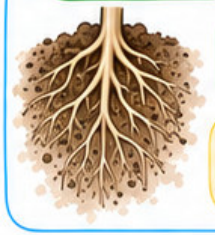
- Cały liść żółknie → chloroza ogólna
- Tkanka między nerwami żółknie → chloroza międzynerwowa
- Brzegi żółkną lub zamierają → objaw brzeżny
- Stożek wzrostu deformuje się lub zamiera → problem młodych tkanek
- Pojawiają się punkty nekrotyczne → sprawdź również mikroelementy i toksyczność.

KROK 3 Sprawdź rozkład w polu

- Objaw równomierny na dużym obszarze → możliwy problem żywieniowy lub środowiskowy.
- Objaw plamowy → sprawdź glebę, wodę, choroby, szkodniki, herbicydy i lokalne warunki.
- Objaw zgodny z przejazdem maszyny → rozważ błąd aplikacji lub uszkodzenie chemiczne.

Najpierw wzór. Potem przyczyna. Na końcu korekta.

KROK 4 Sprawdź korzenie



- kolor • zapach • rozgałęzienie • obecność zgnilizn
- uszkodzenia • zagęszczenie gleby • natlenienie

Zdrowie części nadziemnej zaczyna się od funkcjonującego systemu korzeniowego.

KROK 5 Sprawdź środowisko

pH

- pH • wilgotność • temperatura gleby
- zasolenie • struktura gleby
- zalanie • susza

Te czynniki mogą powodować niedobór funkcjonalny, nawet jeśli składnik znajduje się w glebie.

KROK 6 Potwierdź

- analiza gleby • analiza materiału roślinnego
- historia nawożenia • obserwacja systemu korzeniowego • porównanie zdrowych i chorych stref.

5 częstych błędów

1. Diagnoza wyłącznie ze zdjęcia jednego liścia.
2. Zakładanie, że każdy żółty liść oznacza brak azotu.
3. Ignorowanie pH i warunków korzeniowych.
4. Pomijanie antagonizmów między składnikami.
5. Leczenie objawu bez ustalenia przyczyny.

Przykłady

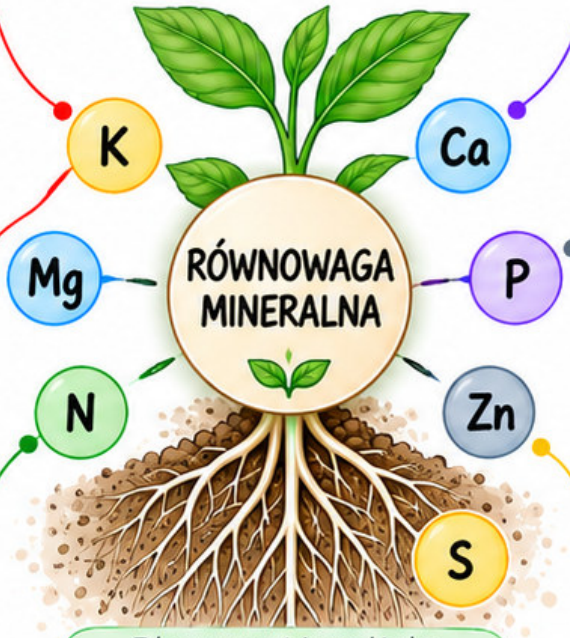
- Starsze liście + równomierne żółknięcie → sprawdź m.in. N
- Starsze liście + chloroza międzynerwowa → sprawdź m.in. Mg
- Młode liście + chloroza międzynerwowa → sprawdź m.in. Fe
- Młode tkanki + deformacja / zamieranie → sprawdź m.in. Ca i B

Każdy przykład ma charakter orientacyjny. Ostateczna diagnoza wymaga uwzględnienia całego kontekstu.

Synergie i antagonizmy składników

SKŁADNIKI DZIAŁAJĄ W SYSTEMIE

Mineralne odżywianie roślin zależy od wzajemnych oddziaływań składników, a nie tylko od ilości pojedynczego pierwiastka.



Zdrowy wzrost i wysoki plon to efekt odpowiedniej równowagi składników w całym systemie gleba – korzeń – roślina.

Antagonizm K ↔ Mg

Wysoka dostępność K^+ → silna konkurencja pomiędzy kationami → możliwe ograniczenie pobierania Mg^{2+}.

Konsekwencja: roślina może wykazywać objawy niedoboru Mg mimo obecności magnezu w glebie.

K^+ ⇌ Mg^{2+} — konkurencja o pobranie

Antagonizm K ↔ Ca

Bardzo wysoka koncentracja K^+ może również ograniczać pobieranie Ca^{2+}.

Znaczenie: szczególnie istotne w intensywnie rosnących tkankach i organach o wysokim zapotrzebowaniu na Ca.

K^+ ⇌ Ca^{2+} — konkurencja o pobranie

Relacja Ca ↔ Mg

Oba pierwiastki są kationami dwuwartościowymi. Duży nadmiar jednego → może wpływać na pobieranie drugiego.

Wniosek: ważna jest proporcja, nie tylko bezwzględna zawartość.

Ca^{2+} ⟷ Mg^{2+} — wzajemny wpływ

N + S

Azot i siarka współpracują w syntezie białek.

N bez wystarczającej ilości S → ograniczona możliwość wykorzystania części pobranego azotu.

N ⟷ S — wspólna synteza białek

N + K

Azot wspiera tworzenie biomasy. Potas wspiera regulację gospodarki wodnej, aktywność enzymów oraz transport asymilatów.

Odpowiednia równowaga N:K → bardziej harmonijny wzrost.

N ⟷ K — lepszy wzrost i plon

P ↔ Zn

Bardzo wysoka dostępność P może w określonych warunkach pogłębiać problemy z odżywieniem Zn.

Ważne: nie przedstawiać tej relacji jako automatycznej. Wpływ zależy od gleby, gatunku, pH i poziomu obu składników.

P ⟷ Zn — możliwa antagonistyczna relacja

pH jako regulator całego układu

Zmiana pH może jednocześnie zwiększać dostępność jednych pierwiastków i ograniczać dostępność innych.

pH

niższe pH — większa dostępność niektórych składników

wyższe pH — mniejsza dostępność innych składników

Najważniejsza zasada

NIEDOBÓR JEDNEGO SKŁADNIKA NIE ZAWSZE OZNACZA, ŻE JEST GO ZA MAŁO W GLEBIE.

Problem może wynikać z:

- antagonizmu
- pH
- uszkodzeń korzeni
- niewłaściwej wilgotności
- zasolenia
- niekorzystnych proporcji jonów.

Przykład praktyczny

Jeżeli po intensywnym nawożeniu potasem pojawia się chloroza międzynerwowa starszych liści, warto sprawdzić nie tylko zawartość Mg w glebie, ale również proporcję K:Mg i możliwość ograniczenia pobierania magnezu.

Moduł 02 02

Analiza gleby, liści i strategia nawożenia

OD DANYCH DO DECYZJI

Łącz wyniki analiz, objawy roślin i historię pola przed zaplanowaniem nawożenia.

Analiza gleby

- pH i zasobność
- materia organiczna
- kompleks sorpcyjny
- potencjalna dostępność

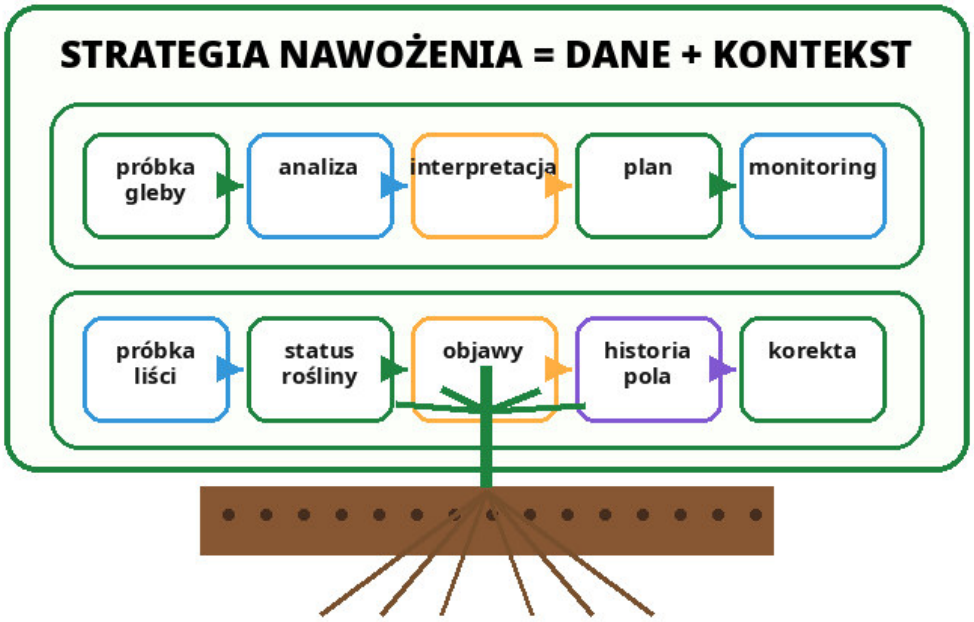
Analiza liści

- co roślina pobrała
- faza rozwojowa
- miejsce pobrania próbki
- porównanie z normami

Historia pola

- poprzednia uprawa
- nawożenie i wapnowanie
- susza, zalanie, mróz
- herbicydy i resztki

STRATEGIA NAWOŻENIA = DANE + KONTEKST



Praktyczny przykład

Przy chlorozie międzynerwowej starszych liści sprawdź Mg w glebie, pH, wilgotność, proporcję K:Mg oraz stan korzeni.

pH jako filtr

- zmienia dostępność wielu jonów
- może nasilać niedobory
- interpretuj w kontekście gleby

Korzeń i woda

- zasobność ≠ pobranie
- uszkodzony korzeń ogranicza odżywienie
- susza i zalanie zmieniają transport

Nie myl

- objaw ≠ gotowa recepta
- gleba ≠ tkanka liścia
- jedna liczba ≠ pełna decyzja



Małe nasiona – wielki potencjał!

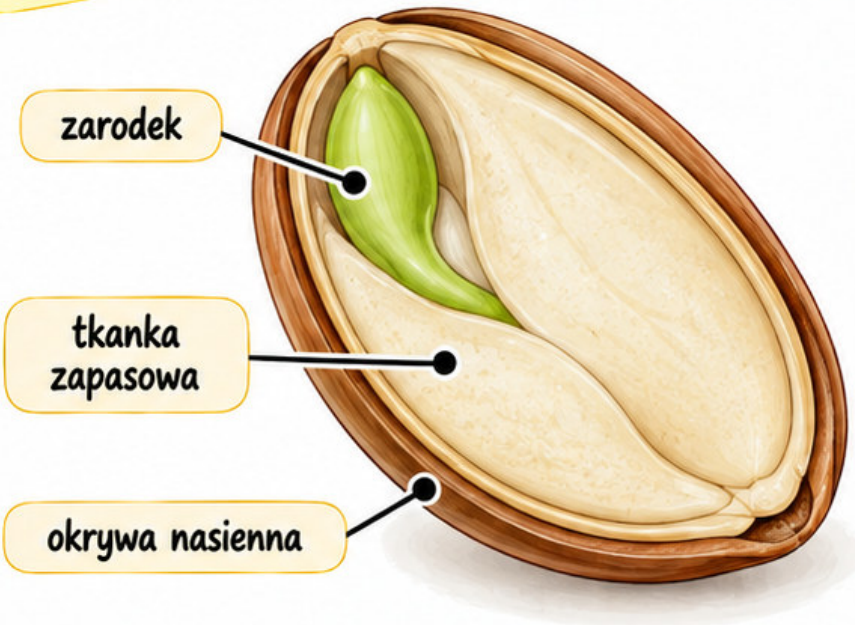
03

Fizjologia nasion

Od dojrzewania i spoczynku do kiełkowania, wigoru, przechowywania i prawidłowych wschodów.



Od nasiona do rośliny – wszystko się zaczyna tutaj!



Cel modułu:

Po zakończeniu modułu użytkownik powinien rozumieć, co dzieje się z nasionem przed, podczas i po kiełkowaniu oraz potrafić połączyć jakość nasion z warunkami środowiskowymi i późniejszym establishmentem rośliny.

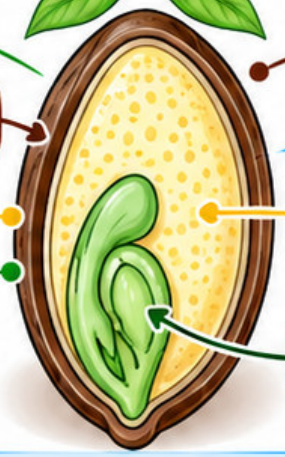
Słowa kluczowe:

zarodek • zapasy • spoczynek • ABA • GA • imbibicja • kiełkowanie • wigor



Budowa nasiona i substancje zapasowe

NASIONO — BUDOWA I FUNKCJA



Zarodek

Młody organizm roślinny znajdujący się wewnątrz nasiona. Może zawierać:

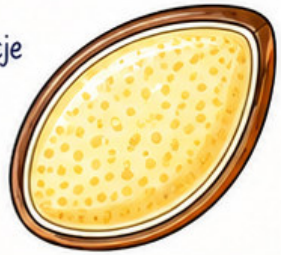
- korzeń zarodkowy
- część pędową
- liścienie.



Bielmo

Tkanka magazynująca substancje zapasowe u wielu gatunków. Może zawierać:

- skrobię
- białka
- lipidy.



Liścienie

W zależności od gatunku mogą:

- magazynować substancje zapasowe
- lub pobierać je z bielma i przekazywać zarodkowi.



Każda część nasiona pełni określoną rolę w ochronie zarodka, magazynowaniu substancji zapasowych i rozpoczęciu wzrostu siewki.

Okrywa nasienna

Pełni funkcję ochronną. Może chronić przed:

- uszkodzeniem mechanicznym
- nadmierną utratą wody
- częścią patogenów
- zbyt szybkim rozpoczęciem kiełkowania.



Główne materiały zapasowe

WĘGLOWODANY



przede wszystkim energia i materiał węglowy.

BIAŁKA



aminokwasy i azot do budowy nowych struktur.

LIPIDY



bardzo skoncentrowane źródło energii i węgla.

Różnice między gatunkami

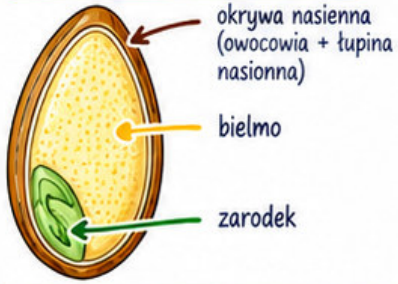
Nie każde nasiono magazynuje zapasy w tym samym miejscu. Przykład ogólny:

- zboża → duże znaczenie bielma.
- Wiele roślin dwuliściennych → znaczna część zapasów może znajdować się w liścieniach.

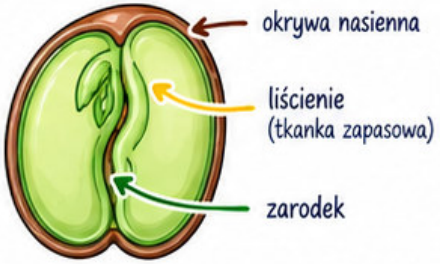


Porównanie wizualne

NASIONO ZBOŻA



NASIONO ROŚLINY DWULIŚCIENNEJ



Po co zapasy?



Młoda siewka na początku nie ma jeszcze w pełni rozwiniętego aparatu fotosyntetycznego. Dlatego korzysta z energii i materiału zgromadzonego w nasieniu.

Ważne w praktyce

Duże zapasy ≠ automatycznie lepsza jakość nasiona.

O powodzeniu kiełkowania decydują również:

- żywotność
- wigor
- dojrzałość
- zdrowotność
- warunki środowiskowe.



Rozwój i dojrzewanie nasion

POWSTAWANIE DOJRZAŁEGO NASIONA

Od zapłodnienia do nasiona zdolnego do przetrwania między pokoleniami.

Etap 1 Zapłodnienie

Po połączeniu gamet powstaje zygota.

↓

rozpoczyna się rozwój zarodka.

Etap 2 Embriogeneza

Zarodek tworzy podstawowe struktury przyszłej rośliny. Powstają m.in.:

- oś zarodkowa
- korzeń zarodkowy
- liścienie.

Etap 3 Gromadzenie zapasów

Do rozwijającego się nasiona transportowane są asymilaty. Powstają zapasy:

- skrobi
- białek
- lipidów.

Etap 4 Dojrzałość fizjologiczna

Nasiono osiąga maksymalną lub zbliżoną do maksymalnej masę suchej.
Zdolność do kiełkowania i jakość fizjologiczna zależą jednak od gatunku i przebiegu dojrzewania.

Etap 5 Wysychanie dojrzewające

U wielu gatunków nasiona stopniowo tracą wodę. Metabolizm silnie zwalnia.

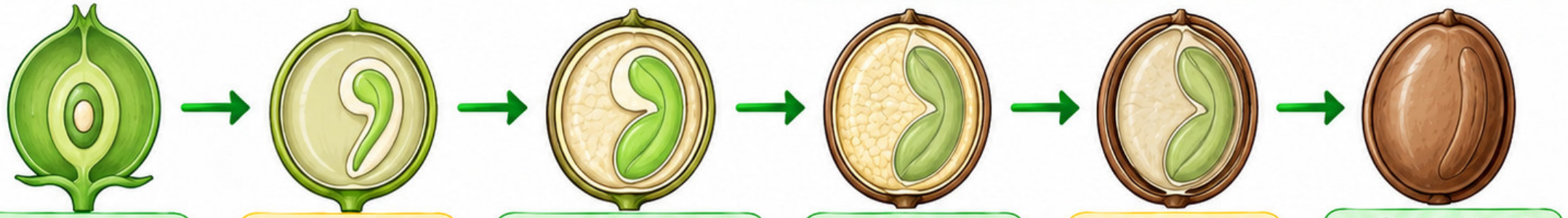
Etap 6 Stan spoczynku lub gotowości do kiełkowania

Po dojrzeniu nasiono może:

- kiełkować po uzyskaniu właściwych warunków

lub

- pozostawać w stanie spoczynku.



ZAPŁODNIENIE
Zygota w zalążku (wewnątrz zalążni)

ZARODEK
Rozwijający się zarodek

GROMADZENIE ZAPASÓW
Wzrost zarodka i odkładanie substancji zapasowych

DOJRZAŁOŚĆ
Nasiono osiąga pełną masę suchą

WYSYCHANIE
Spadek zawartości wody, przejście w stan spoczynku

NASIONO GOTOWE DO PRZETRWANIA
Dojrzałe, suche nasiono zdolne do przetrwania między pokoleniami

Regulatory hormonalne

ABA → sprzyja dojrzewaniu, tolerancji na wysychanie i utrzymaniu spoczynku.

GA → później odgrywa ważną rolę w przejściu do kiełkowania.

Ważne rozróżnienie

Dojrzałość fizjologiczna nie zawsze oznacza dokładnie ten sam moment co dojrzałość zbiorcza.
Moment zbioru zależy również od:

- wilgotności
- mechanizacji
- ryzyka osypywania
- jakości końcowej
- przeznaczenia materiału.



Przykład praktyczny

Zbyt wczesny zbiór nasion może oznaczać niedokończone dojrzewanie, wysoką wilgotność oraz słabszą trwałość przechowalniczą.



Moduł 03 03

Tolerancja na wysychanie

NASIONO CHRONI KOMÓRKI

Jak dojrzewające nasiona przygotowują komórki do utraty wody i bezpiecznego przechowywania.

Ryzyko wysychania

- błony mogą pękać
- białka tracą kształt
- enzymy słabną
- ROS może rosnąć

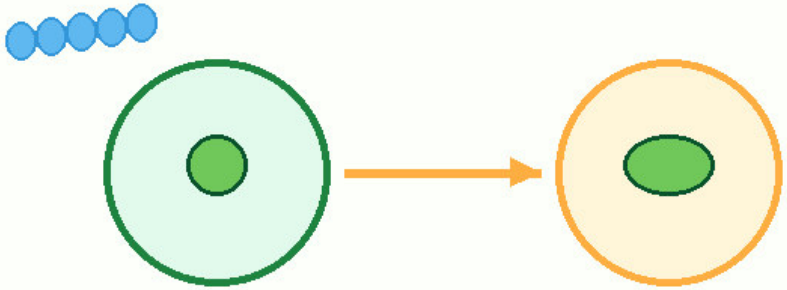
Cukry ochronne

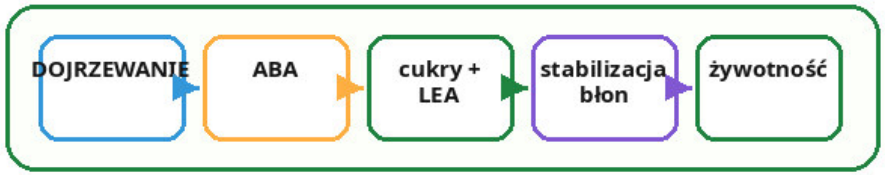
- sacharoza stabilizuje struktury
- ogranicza ruch cząsteczek
- pomaga błonom wrócić po nawodnieniu

Rehydratacja

- po imbibicji błony się naprawiają
- metabolizm musi ruszyć szybko
- uszkodzenia ujawniają się w kiełkowaniu

UWODNIONA KOMÓRKA KONTROLOWANE





Białka LEA

- chronią struktury komórki
- wiążą wodę resztkową
- pomagają przetrwać odwodnienie

Stan szklisty

- mała ruchliwość cząsteczek
- wolniejsza degradacja
- lepsza stabilność w przechowywaniu

Nie każde nasiono

- ortodoksyjne dobrze znoszą suszenie
- recalcitrant są wrażliwe
- zbiór zbyt wcześnie obniża jakość

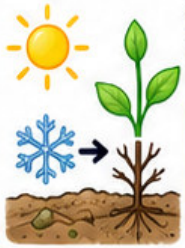
Spoczynek nasion

Spoczynek to stan, w którym żywe nasiono nie kiełkuje mimo warunków, które normalnie umożliwiałyby kiełkowanie.



SPOCZYNEK NASION

Po co spoczynek?



Chroni roślinę przed rozpoczęciem wzrostu w niekorzystnym momencie.

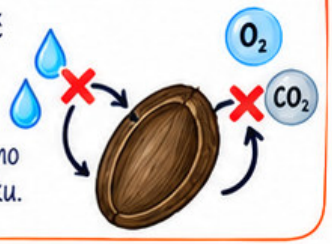
Korzyść ekologiczna: kiełkowanie zostaje przesunięte do bardziej odpowiedniego sezonu lub sytuacji środowiskowej.

Spoczynek fizyczny

Okrywa nasienna może być nieprzepuszczalna dla:

- wody lub gazów.

Nasiono pozostaje suche mimo obecności wody w środowisku.



Spoczynek fizjologiczny

Wynika z procesów zachodzących wewnątrz zarodka.
Często związany z równowagą:

ABA ⟷ GA



Spoczynek kombinowany

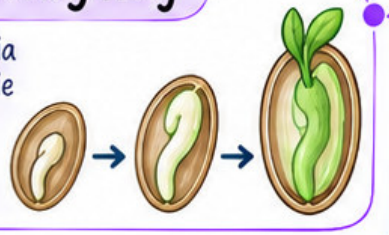
Może łączyć więcej niż jeden mechanizm.

Przykład: ograniczenie przez okrywę + blokada fizjologiczna zarodka.



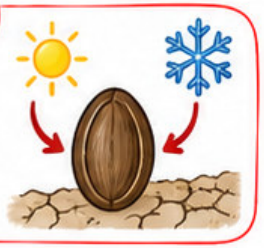
Spoczynek morfologiczny

Zarodek w momencie rozsiewania może być jeszcze niedostatecznie rozwinięty.
Przed kiełkowaniem potrzebuje dalszego wzrostu.



Spoczynek wtórny

Nasiono, które wcześniej mogło kiełkować, może ponownie wejść w stan spoczynku po wystawieniu na niekorzystne warunki.



NASIONO NIE KIEŁKUJE

pytanie:
Czy warunki są odpowiednie?

NIE



ograniczenie środowiskowe.

TAK



możliwy spoczynek.

Kluczowe rozróżnienie

SPOCZYNEK
nasiono nie kiełkuje mimo odpowiednich warunków.

BRAK KIEŁKOWANIA Z POWODU ŚRODOWISKA
nasiono mogłoby kiełkować, ale brakuje np. wody, odpowiedniej temperatury lub tlenu.

Przykład praktyczny



Nasiona chwastów mogą pozostawać w banku nasion glebowych przez wiele sezonów i kiełkować dopiero po pojawieniu się odpowiednich sygnałów środowiskowych.

Regulacja hormonalna ABA–GA

Jeden z najważniejszych przełączników regulujących spoczynek i kiełkowanie nasion.

ABA – sygnał utrzymania spoczynku

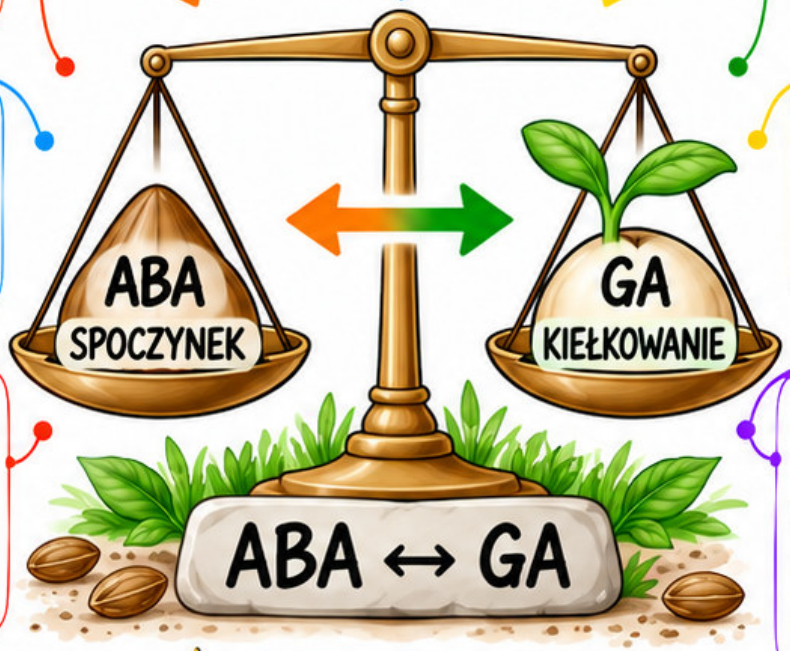
Wysoka aktywność ABA sprzyja:

- dojrzewaniu nasiona
- tolerancji na wysychanie
- hamowaniu przedwczesnego kiełkowania
- utrzymaniu spoczynku.



Czynniki środowiskowe wpływające na równowagę ABA–GA:

temperatura | woda | światło



GA – sygnał rozpoczęcia wzrostu

Wzrost aktywności giberelin może sprzyjać:

- przełamaniu spoczynku
- wzrostowi zarodka
- mobilizacji substancji zapasowych
- kiełkowaniu.



Woda

Imbibicja → reaktywacja metabolizmu → zmiany hormonalne → możliwość rozpoczęcia kiełkowania.



Światło

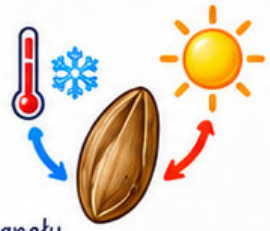
U części gatunków światło poprzez fitochrom może wpływać na równowagę hormonalną i kiełkowanie.



Temperatura

Odpowiednia temperatura może wpływać na:

- syntezę ABA i GA
- ich rozkład
- wrażliwość nasiona na oba sygnały.



Mobilizacja zapasów

GA może stymulować syntezę enzymów rozkładających materiały zapasowe.

Przykład dydaktyczny:
w ziarniakach zbóż GA może stymulować warstwę aleuronową do produkcji enzymów hydrolitycznych.



Centralny przełącznik

ABA DOMINUJE → SPOCZYNEK.
GA DOMINUJE → KIEŁKOWANIE.

Ważne: nie chodzi wyłącznie o absolutne stężenie jednego hormonu. Kluczowa jest również:

- wrażliwość tkanek
- metabolizm hormonów
- sygnały środowiskowe
- ekspresja genów.

Przykład praktyczny

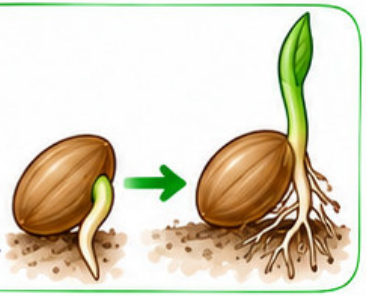
Warunki chłodnego, wilgotnego okresu mogą u niektórych gatunków zmieniać równowagę ABA–GA i przyczyniać się do przełamania spoczynku.



Wzrost zarodka

Po osłabieniu sygnału hamującego i zwiększeniu aktywności GA:

- zarodek rozpoczyna intensywniejszy wzrost
- korzeń zarodkowy może przebić okrywę.



Etapy kiełkowania

Kiełkowanie to uporządkowany proces fizjologiczny, a nie pojedynczy moment.

KIEŁKOWANIE — OD WODY DO KORZENIA



FAZA I — Szybkie pobieranie wody

Suche nasiono styka się z wodą.
Woda szybko przenika do tkanek.

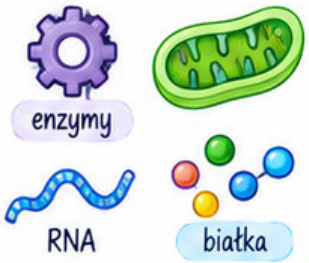
Efekty:
- pęcznienie
- uwodnienie struktur
- wzrost objętości nasiona.



FAZA II — Aktywacja metabolizmu

Tempo pobierania wody stabilizuje się.
W komórkach zachodzą intensywne zmiany:

- naprawa błon
- aktywacja enzymów
- oddychanie
- synteza RNA i białek
- mobilizacja zapasów.

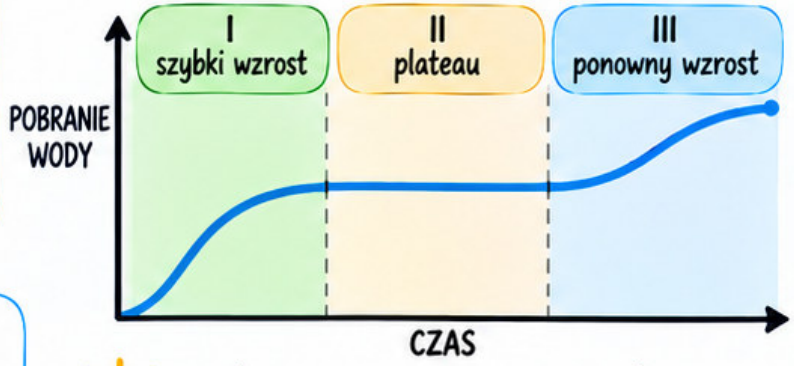


FAZA III — Wzrost zarodka

Ponowne zwiększenie pobierania wody.
Komórki zarodka:

- dzielą się
- wydłużają
- zwiększają aktywność metaboliczną.





Moment przełomowy

PRZEBICIE OKRYWY PRZEZ KORZEŃ ZARODKOWY.

To jeden z najczęściej stosowanych morfologicznych wskaźników zakończenia procesu kiełkowania sensu stricto.



Następnie

Po pojawieniu się korzenia zarodkowego rozpoczyna się intensywny rozwój siewki.

- rozwój korzenia
- wydłużanie części pędowej
- tworzenie aparatu fotosyntetycznego.



Kiełkowanie wymaga

- **WODY** — do uwodnienia tkanek.
- **ODPOWIEDNIEJ TEMPERATURY** — do sprawnego metabolizmu.
- O_2 **TLENU** — do oddychania tlenowego.
- U części gatunków również: odpowiedniego sygnału świetlnego.

Przykład praktyczny

Nasiono może pobrać wodę, ale nie przejść skutecznie przez kolejne etapy, jeśli temperatura jest skrajnie niekorzystna lub dostęp tlenu jest bardzo ograniczony.



Imbibicja

Pierwsza faza pobierania wody przez suche nasiono. Ma znaczenie fizyczne i fizjologiczne – umożliwia reaktywację metabolizmu.

Definicja

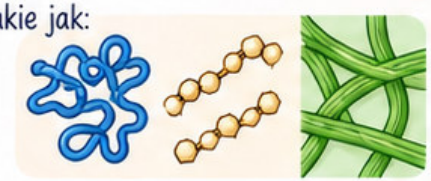
Imbibicja to szybkie pobieranie wody przez suche materiały biologiczne zawierające hydrofilowe makrocząsteczki. W nasieniu jest pierwszym etapem prowadzącym do reaktywacji metabolizmu.

Co przyciąga wodę?

Składniki komórkowe takie jak:

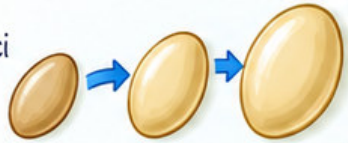
- białka
- polisacharydy
- ściany komórkowe

wiążą wodę.



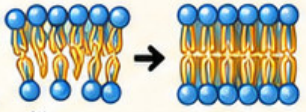
Pęcznienie

Napływ wody → wzrost objętości tkanek → wzrost nacisku na okrywę nasienną.



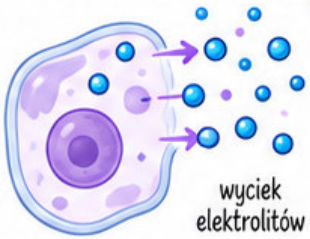
Reorganizacja błon

W suchym nasieniu błony nie funkcjonują tak jak w komórce uwodnionej. Po napływie wody muszą odzyskać prawidłową organizację.



Wyciek substancji

Podczas pierwszej fazy nawodnienia część substancji może wydostawać się z komórek. Duży wyciek elektrolitów może wskazywać na uszkodzenie lub słabszą integralność błon. To zjawisko jest wykorzystywane w niektórych testach wigoru nasion.





IMBIBICJA – PIERWSZY KONTAKT Z WODĄ





NASIONO SUCHE

↓

H_2O

↓

PĘCZNIENIE

↓

NAPRAWA BŁON

↓

AKTYWACJA ENZYMÓW

↓

ODDYCHANIE ↑

H_2O

O_2

Oddychanie

Po uwodnieniu:

- enzymy odzyskują aktywność
- mitochondria zwiększają aktywność
- rośnie zapotrzebowanie na tlen.



Temperatura

Szybkość imbibicji i sprawność naprawy komórek zależą od temperatury.



Uszkodzenie imbibicyjne

U niektórych nasion szybkie nawodnienie bardzo suchych tkanek w niekorzystnych warunkach może prowadzić do uszkodzeń błon. Nie przedstawiać jako zjawiska występującego jednakowo u wszystkich gatunków.



Imbibicja ≠ kiełkowanie

Nasiono może pobrać wodę i napęcznieć, ale nadal nie wykiełkować. Dlatego: imbibicja jest konieczna, ale sama nie wystarczą do ukończenia kiełkowania.



Przykład praktyczny

Martwe nasiono również może w pewnym stopniu pobierać wodę i pęcznieć. Samo zwiększenie objętości nie jest więc dowodem żywotności.



Wskazówka diagnostyczna

Duży wyciek elektrolitów po imbibicji
→ możliwe uszkodzenie błon
→ możliwie niższy wigor.



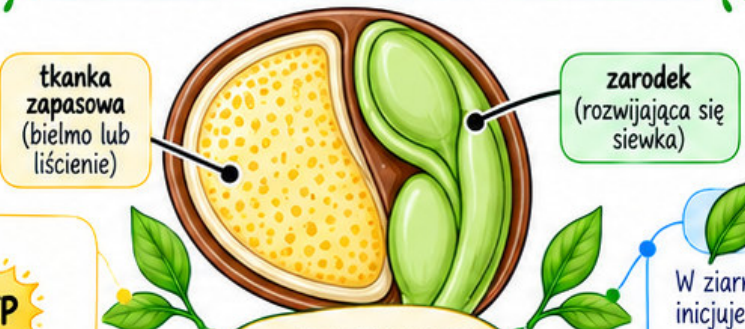
Mobilizacja substancji zapasowych

Podczas kiełkowania nasiono uruchamia swoje zapasy, które dostarczają energii i materiału do budowy nowej rośliny.

Dlaczego zapasy są potrzebne?

Młoda siewka na początku nie ma jeszcze rozwiniętego aparatu fotosyntetycznego, dlatego korzysta z substancji zapasowych zgromadzonych w nasieniu.





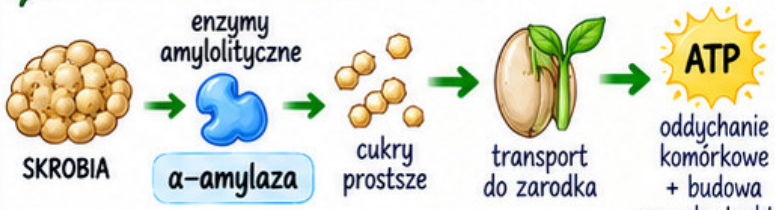
Z czego powstaje siewka?

Z substancji zapasowych powstają:

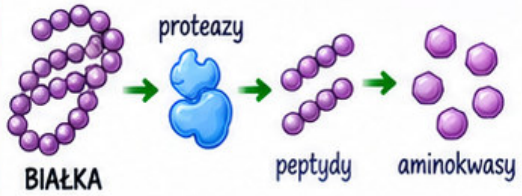
- energia do oddychania i wzrostu
- nowe komórki i tkanki
- enzymy i białka
- elementy błon i struktur komórkowych.



Skrobia – źródło cukrów



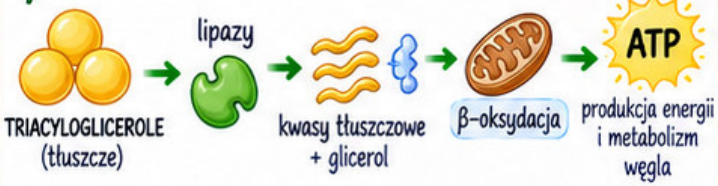
Białka zapasowe – źródło aminokwasów



Aminokwasy wykorzystywane są do:

- syntezy nowych białek
- budowy enzymów
- tworzenia struktur komórkowych
- częściowo do metabolizmu energetycznego.

Lipidy – skarbnica energii



Szczególnie ważne w nasionach oleistych (np. rzepak, słonecznik, soja).



Gibereliny i mobilizacja zapasów

W ziarnakach zbóż mobilizację zapasów inicjuje sygnał hormonalny – gibereliny (GA) produkowane przez zarodek.

W zbożach gibereliny uruchamiają enzymy hydrolityczne w warstwie aleuronowej.



Energia z oddychania

Produkty rozkładu substancji zapasowych są utleniane w procesie oddychania komórkowego, co prowadzi do powstania ATP. Energia ta jest wykorzystywana do:

- podziałów komórkowych
- wydłużania komórek
- aktywnego transportu substancji
- syntezy nowych struktur.



Najważniejsza zmiana

Przed kiełkowaniem:	Po rozpoczęciu kiełkowania:
MAGAZYNOWANIE	MOBILIZACJA + TRANSPORT + WYKORZYSTANIE
substancje zapasowe zgromadzone w nasieniu.	rozpad zapasów i ich wykorzystanie do wzrostu siewki.



Przykład praktyczny

Uszkodzenie enzymów lub błon podczas przechowywania nasion może utrudniać mobilizację zapasów.



- denaturacja enzymów (np. przez zbyt wysoką temperaturę)
- uszkodzenie błon komórkowych
- starzenie się nasion

⚠ W efekcie zapasy są trudniej dostępne, co prowadzi do słabszego kiełkowania i wolniejszego wzrostu siewek.

Temperatura, tlen i światło

Trzy kluczowe czynniki środowiska decydujące o powodzeniu kiełkowania i wczesnego wzrostu siewki.



TEMPERATURA

Temperatura wpływa na szybkość wszystkich procesów metabolicznych w nasionie:

- aktywność enzymów
- płynność błon komórkowych
- intensywność oddychania
- mobilizację substancji zapasowych
- wzrost zarodka.



Temperatura minimalna
najniższa, przy której kiełkowanie jeszcze zachodzi (bardzo wolno).

Temperatura optymalna
najwyższa szybkość i najwyższy odsetek kiełkowania.

Temperatura maksymalna
najwyższa, przy której kiełkowanie jeszcze zachodzi (powyżej – zahamowanie).

Wpływ temperatury na kiełkowanie:



Nie istnieje jedno optimum dla wszystkich

Optymalne warunki kiełkowania zależą od:

- gatunku
- odmiany
- stanu fizjologicznego nasion
- wcześniejszych warunków przechowywania (napromieniowanie, wilgotność, temperatura).



O_2 TLEN

Kiełkujące nasiona potrzebują tlenu (O_2) do efektywnej produkcji ATP w procesie oddychania komórkowego.

Brak tlenu → mniej efektywne pozyskiwanie energii (ATP) → wolniejszy wzrost → możliwość uszkodzenia lub obumarcia siewki

Kiedy brakuje tlenu?

- zalanie (nadmiar wody w glebie)
- zaskorupienie gleby (utrudniona wymiana gazowa)
- silne zagęszczenie gleby
- zbyt głęboki siew
- słaba struktura gleby (mało porów powietrznych).



ŚWIATŁO

U różnych gatunków nasion światło pełni różne funkcje w regulacji kiełkowania.

Światłolubne w kiełkowaniu
- wymagają światła do kiełkowania
- np. sałata, tytoń, wiele chwastów

Ciemniolubne
- kiełkują lepiej w ciemności
- np. zboża, groch, kukurydza

Obojętne
- światło nie ma większego znaczenia
- np. pomidor, ogórek, rzepek

Fitochrom – odbiór sygnału świetlnego

czerwone światło (~660 nm) ⇄ daleka czerwień (~730 nm)

→ zmiana aktywności fitochromu → wpływ na sygnały hormonalne i kiełkowanie.



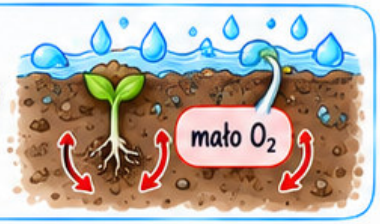
WODA uruchamia proces.
Ale dalsze kiełkowanie zależy od:

TEMPERATURY + TLENU + odpowiedniego SYGNAŁU ŚWIETLNEGO

u części gatunków.

Przykład praktyczny

Bardzo mokra i silnie zagęszczona gleba może dostarczyć wystarczająco dużo wody do napęcznienia nasion, ale jednocześnie zawiera zbyt mało tlenu, co prowadzi do wolnego wzrostu lub obumarcia siewek.



Właściwa temperatura, dostęp do tlenu i odpowiedni sygnał świetlny tworzą razem korzystne środowisko kiełkowania i dobry start rośliny.

Wigor nasion

Wigor to zdolność partii nasion do szybkiego, równomiernego i efektywnego kiełkowania oraz rozwoju siewek, szczególnie w mniej korzystnych warunkach.

WIGOR ≠ TYLKO KIEŁKOWANIE

Ta sama zdolność kiełkowania – różny efekt w polu!

Szybkość kiełkowania

Nasiona o wysokim wigorze kiełkują szybciej, dzięki czemu szybciej rozpoczynają wzrost i mniej są narażone na czynniki stresowe.



Równomierność

Wysoki wigor zapewnia wyrównane i jednoczesne wschody, co ułatwia dalszą uprawę i ogranicza konkurencję między roślinami.



Tolerancja stresu

Nasiona o wysokim wigorze lepiej znoszą niekorzystne warunki, takie jak niska temperatura, susza, zasolenie czy fitotoksyczność gleby.



Integralność błon

Nasiona o wysokim wigorze mają nienaruszone błony komórkowe, co ogranicza wyciek substancji z komórek i pozwala lepiej utrzymać równowagę wodną oraz szybciej wznowić metabolizm.



Sprawność metaboliczna

Nasiona o wysokim wigorze mają aktywne enzymy, sprawne oddychanie komórkowe i szybciej uruchamiają procesy niezbędne do kiełkowania i wzrostu siewki.



PARTIA A

95% kiełkowania

wysoki wigor

↓

szybkie, równomierne wschody

PARTIA B

95% kiełkowania

niski wigor

↓

wolniejsze i bardziej nierówne wschody w stresie

Starzenie

Wraz z czasem wigor nasion maleje. Dochodzi do uszkodzeń błon, spadku aktywności enzymów i większej wrażliwości na stresy, co wydłuża kiełkowanie i obniża jakość siewek.



Testy związane z wigorem

- test przewodnictwa elektrycznego,
- test przyspieszonego starzenia,
- pomiar szybkości kiełkowania,
- ocena wzrostu siewek.

Nie wszystkie testy są odpowiednie dla każdego gatunku!

Przykład praktyczny

Dwie partie nasion o identycznej, deklarowanej zdolności kiełkowania mogą dać różne wschody w polu, np. w zimnej glebie.

WYSOKI WIGOR (95% kiełkowania)



Szybkie i równomierne wschody, silne siewki.

NISKI WIGOR (95% kiełkowania)



Opóźnione i nierówne wschody w warunkach stresu (np. niska temperatura).

W zimnej glebie liczy się wigor!

Kluczowa zasada

ZDOLNOŚĆ KIEŁKOWANIA

Mówi, jaki odsetek nasion może wykiełkować w optymalnych warunkach („czy").

WIGOR

Mówi, jak szybko, równomiernie i skutecznie nasiona kiełkują i rozwijają siewki, także w trudniejszych warunkach („jak").

Żywotność i testy



To samo nasiono może być żywe, spoczywać lub kiełkować z różną szybkością!

Różne testy nasion dają różne informacje. Razem pozwalają ocenić jakość, potencjał i przydatność partii do siewu w różnych warunkach.



Testy pomagają wybrać lepsze nasiona i ograniczyć ryzyko nieudanych wschodów.

CZY NASIONO JEST ŻYWE?

ŻYWOTNOŚĆ

Czy tkanki żyją?

Nasiono żywe ma żywe tkanki i potencjał wzrostu, ale może być w stanie spoczynku i nie kiełkować od razu.

ZDOLNOŚĆ KIEŁKOWANIA

Ile prawidłowych siewek powstaje w warunkach testowych?

Określa procent nasion, które dają prawidłowe siewki w kontrolowanych, sprzyjających warunkach.

WIGOR

Jak sprawnie partia radzi sobie również w mniej sprzyjających warunkach?

Oznacza ogólną siłę i szybkość wschodów oraz zdolność do równomiernego wzrostu w różnych, także stresowych warunkach.

Żywotność

Nasiono uznaje się za żywe, jeśli jego tkanki (zarodek, bielmo, okrywa) są żywe i zachowują potencjał wzrostu. Żywe nasiona mogą jednak być w stanie spoczynku i nie kiełkować nawet w sprzyjających warunkach.



Test tetrazolinowy

Żywe tkanki redukują bezbarwny chlorek tetrazolium (TTC) do czerwonego barwnika. Intensywność zabarwienia pozwala ocenić, które części zarodka są żywe (np. korzonek, liścienie).



Test przewodnictwa elektrycznego

Uszkodzone błony komórkowe przepuszczają elektrolity do wody. Im większe uszkodzenia, tym wyższe przewodnictwo roztworu, co świadczy o niższym wigorze i gorszej jakości nasion.



Przykład praktyczny

Wysoka żywotność w teście tetrazolinowym nie zawsze oznacza natychmiastowe kiełkowanie. Nasiona mogą być żywe, ale nadal spoczywać (np. z powodu niedojrzałości, twardej okrywy lub naturalnego spoczynku gatunkowego). Dlatego wynik TTC trzeba interpretować razem z testem kiełkowania.



Dlaczego jeden test nie wystarcza?

Każdy test mierzy inny aspekt jakości nasion. Najlepszą ocenę daje połączenie wyników:

- ✓ testu kiełkowania (zdolność kiełkowania)
- ✓ testów wigoru (np. starzenie, przewodnictwo)
- ✓ oceny żywotności (np. TTC)
- ✓ wiedzy o historii przechowywania
- ✓ oceny zdrowotności.

Różne informacje układają się w pełny obraz jakości partii nasion!

Test kiełkowania

Nasiona umieszcza się w kontrolowanych, sprzyjających warunkach (odpowiednia temperatura, wilgotność, światło/ciemność). Oceniamy:

- procent prawidłowych siewek
- siewki nieprawidłowe (z deformacjami)
- nasiona martwe
- a w zależności od metody także nasiona twarde (nienapęczniałe) i świeże (niedojrzałe).



Test przyspieszonego starzenia

Nasiona poddaje się działaniu wysokiej wilgotności i podwyższonej temperatury przez określony czas, a następnie wykonuje test kiełkowania. Partie o niższym wigorze szybciej tracą zdolność kiełkowania.



Ocena siewek

Podczas testu kiełkowania analizuje się cechy powstałych siewek:

- długość korzenia
- długość części nadziemnej
- świeżą lub suchą masę
- równomierność wzrostu
- deformacje i uszkodzenia.



Przełamywanie spoczynku

NAJPIERW ZIDENTYFIKUJ TYP SPOCZYNKU.
Dopiero potem dobierz metodę.



JAK „ODBLOKOWAĆ" NASIONO?

Stratyfikacja chłodna

Długie działanie niskiej temperatury (wilgotne podłoże, 0–5°C).

- umożliwia zakończenie dojrzewania zarodka
- obniża poziom inhibitorów
- często dotyczy nasion drzew, krzewów i roślin strefy umiarkowanej.



Stratyfikacja ciepła

Działanie podwyższonej temperatury (wilgotne warunki, np. 20–30°C).

- przyspiesza dojrzewanie zarodka
- pomaga rozłożyć inhibitory
- często wymagana przed stratyfikacją chłodną (stratyfikacja dwuetapowa).



Skaryfikacja mechaniczna

Mechaniczne uszkodzenie twardej okrywy nasiennej.

- tarcie, nacinanie, szlifowanie,
- umożliwia wnikanie wody i gazów do nasiona
- skuteczna u gatunków o bardzo twardej okrywie.



Przykład praktyczny

Nasiona bobu mają twardą okrywę, która utrudnia wnikanie wody. Długie moczenie w wodzie może nie wystarczyć do przełamania spoczynku. Konieczne jest usunięcie części okrywy (np. nacięcie lub delikatne zeszlifowanie), aby woda mogła wniknąć do wnętrza nasiona.



Skaryfikacja termiczna

Krótkie działanie wysokiej temperatury.

- zalanie gorącą wodą (np. 80–100°C, na krótki czas)
- nagłe zmiany temperatury (np. wrzątek → zimna woda)
- powoduje pęknięcia w okrywie nasiennej.



Światło

Światło (zwłaszcza czerwone) może znosić spoczynek u wielu małych nasion.

- działa przez fitochromy
- stymuluje syntezę GA
- dotyczy głównie nasion kiełkujących na powierzchni.



Gibereliny (GA)

Egzogenne gibereliny (np. GA_3).

- omijają blokady fizjologiczne
- stymulują wzrost zarodka
- zwiększają aktywność enzymów (degradacja rezerw, osłabienie okrywy)
- stosowane szczególnie u nasion głęboko spoczywających.



DLACZEGO NASIONO NIE KIEŁKUJE?

TWARDA OKRYWA?	BLOKADA FIZJOLOGICZNA?	NIEDOJRZAŁY ZARODEK?	WYMAGANIE ŚWIATŁA?
Zastosuj skaryfikację (mechaniczną lub termiczną).	Zastosuj czas / temperaturę lub GA (zależnie od gatunku).	Zapewnij odpowiednie warunki do dalszego rozwoju (np. stratyfikację).	Zapewnij odpowiedni sygnał świetlny (np. światło czerwone lub ciemność).

Błąd

Zbyt agresywne metody (np. zbyt długie gotowanie, zbyt wysokie temperatury, nadmierne uszkodzenia mechaniczne) mogą uszkodzić zarodek i znacząco obniżyć żywotność nasion.



Zawsze dobieraj metodę i jej intensywność do gatunku oraz rodzaju spoczynku.

Starzenie i deterioracja nasion

NASIONA TEŻ SIĘ STARZEJĄ

Utrata jakości nasion zachodzi stopniowo – to proces, a nie nagłe zjawisko.

Starzenie jest nieodwracalne

Po osiągnięciu dojrzałości fizjologicznej można przez pewien czas utrzymać jakość nasion, np. dzięki odpowiednim warunkom przechowywania.
Proces starzenia jednak postępuje i nie da się go zatrzymać na zawsze.



Pierwszy sygnał: spadek wigoru

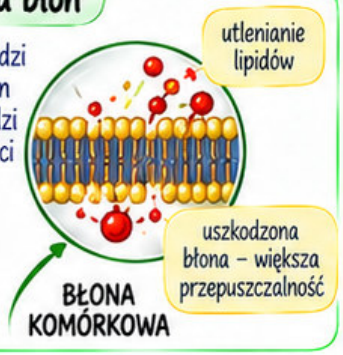
Początkowo obniża się wigor, a dopiero później wyraźnie spada zdolność kiełkowania:

- wolniejsze kiełkowanie
- bardziej nierównomierne wschody
- większa wrażliwość na stres (np. niska temperatura, susza)
- dopiero w późniejszym etapie widoczny spadek procentu kiełkowania.



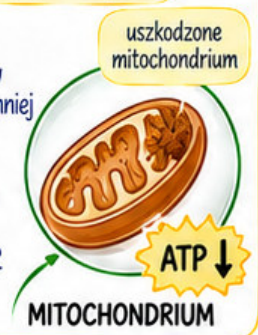
Uszkodzenia błon

Podczas starzenia zachodzi peroksydacja lipidów błon komórkowych, co prowadzi do utraty ich integralności i większego wypływu elektrolitów podczas nawadniania.



Mitochondria

Uszkodzenia mitochondriów prowadzą do mniej efektywnego oddychania komórkowego i obniżonej produkcji ATP.



ROS (reaktywne formy tlenu)

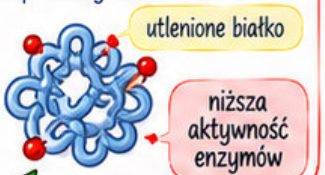
Reaktywne formy tlenu (ROS) powstające podczas starzenia mogą uszkadzać:

- lipidy
- białka
- DNA
- błony komórkowe.



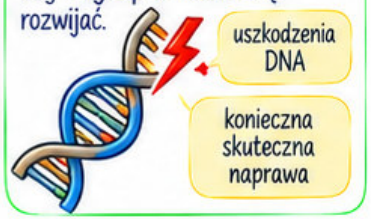
Enzymy i białka

Zachodzi utlenianie białek, co prowadzi do utraty aktywności enzymów i osłabienia systemów naprawczych komórki.

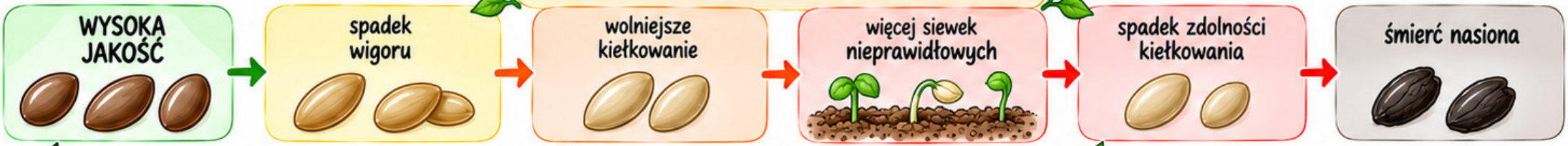


DNA i naprawa

Z czasem mogą gromadzić się uszkodzenia w materiale genetycznym. Po uwodnieniu nasiono potrzebuje sprawnych mechanizmów naprawczych, aby mogło prawidłowo się rozwijać.



STOPNIOWY SPADEK JAKOŚCI NASION



Czynniki przyspieszające deterioracje



Wigor spada pierwszy

Nasiono może nadal wykiełkować w warunkach laboratoryjnych, ale mieć już gorsze wschody polowe. Spadek wigoru wpływa na szybkość, równomierność i zdolność do wzrostu w trudnych warunkach.



Przykład praktyczny

Stary, kilkunastoletni materiał nasienny może dawać zadowalające wyniki kiełkowania w optymalnych warunkach laboratoryjnych, akee duże gorszkść w chłodnej lub suchej glebie.



Przechowywanie nasion

Odpowiednie warunki przechowywania spowalniają procesy starzenia nasion i pozwalają zachować wysoką jakość siewną na dłużej.



Wilgotność nasion

Im więcej wody w nasionach, tym:

- szybszy metabolizm (oddychanie),
- większe ryzyko rozwoju mikroorganizmów,
- szybsze pogarszanie jakości i utrata zdolności kiełkowania.

Suche nasiona żyją dłużej!



Temperatura

Wyższa temperatura przyspiesza reakcje metaboliczne i procesy starzenia nasion.

Dla wielu nasion orthodox:
chłodno + sucho = wolniejsze pogarszanie jakości.



Obniżenie temperatury o 10°C może nawet dwukrotnie wydłużyć okres przechowywania (u wielu gatunków).

Uszkodzenia mechaniczne

Pęknięta okrywa nasienna, uszkodzony zarodek lub obtarczenia zwiększają podatność nasion na utratę jakości, infekcje i uszkodzenia podczas pobierania wody (imbibicje).



Starannie zbieraj, czyść i transportuj nasiona!

Czas

Nasiona nie zachowują jakości w nieskończoność. Bezpieczny okres przechowywania zależy od gatunku oraz początkowej jakości nasion (np. poziomu uszkodzeń, wilgotności).



Im lepsza jakość początkowa, tym dłużej nasiona zachowują trwałość.

Najgroźniejsza kombinacja

CIEPŁO + WILGOĆ → oddychanie ↑ → mikroorganizmy ↑ → deterioracja ↑ → deterioracja ↑ → trwałość ↓

Ciepło i wilgoć to idealne warunki dla szybkiego starzenia nasion!

Warunki długiej trwałości nasion

NISKA WILGOTNOŚĆ NASION + ODPOWIEDNIO NISKA TEMPERATURA + BRAK USZKODZEŃ + KONTROLA SZKODNIKÓW I PATOGENÓW

DŁUGA TRWAŁOŚĆ

Wilgotność względna powietrza

Nasiona wymieniają wodę z otoczeniem. W warunkach wysokiej wilgotności względnej powietrza mogą pochłaniać wodę, co zwiększa ich wilgotność i przyspiesza starzenie.



Utrzymuj suche powietrze w magazynie!

Tlen

Tlen (O_2) jest potrzebny żywym nasionom do oddychania, ale jednocześnie uczestniczy w procesach utleniania, które prowadzą do starzenia. Przechowywanie w atmosferze o obniżonej zawartości tlenu (np. hermetycznie) może skutecznie spowalniać starzenie, ale to rozwiązanie specjalistyczne, a nie uniwersalna zalecenie dla gospodarstw.



Kontrolowana atmosfera to metoda dla specjalistycznych magazynów.

Szkodniki i patogeny magazynowe

W magazynie należy regularnie monitorować:

- obecność owadów magazynowych (np. spichrzel, mklik, trojszyk),
- rozwój grzybów (pleśni),
- miejsca podwyższonej wilgotności,
- wzrost temperatury masy nasion (wyspy ciepła).



Regularnie kontroluj stan nasion i warunki w magazynie!

Przykład praktyczny

Nasiona zbóż zebrane przy zbyt wysokiej wilgotności (np. 18–20%) i zmagazynowane bez właściwego suszenia:

- intensywnie oddychają,
- często ulegają porażeniu przez pleśnie,
- nagrzewają się w pryzmie,
- szybko tracą zdolność kiełkowania.



Zawsze dosuszaj nasiona do bezpiecznej wilgotności!

Takie nasiona mogą już po kilku miesiącach mieć znacznie obniżoną wartość siewną!

Priming nasion

Priming poprawia przygotowanie nasion do kiełkowania, dzięki czemu szybciej i bardziej równomiernie kontynuują proces po wysiewie, szczególnie w trudniejszych warunkach.

PRIMING — KONTROLOWANE „URUCHOMIENIE" NASIONA

Czym jest priming?

Priming to kontrolowane uwodnienie nasiona do takiego poziomu, w którym uruchamiają się procesy metaboliczne, ale korzeń zarodkowy nie przebija jeszcze okrywy nasiennej.
Po zakończeniu zabiegu nasiona są zwykle ponownie suszone przed siewem.



To „kontrolowany start", a nie pełne kiełkowanie.

Metody primingu

Hydropriming

Kontrolowane uwodnienie czystą wodą przez określony czas i w odpowiedniej temperaturze.



Osmopriming

Użycie roztworów o obniżonym potencjale wodnym (np. PEG, sole), które ograniczają pobieranie wody i pozwalają lepiej kontrolować proces.



Inne metody

- halopriming (np. roztwory soli)
- matriconditioning (na wilgotnym podłożu, np. wermikulit, torf)
- solid matrix priming (powłoki i nośniki stałe)
- biopriming (z wykorzystaniem pożytecznych mikroorganizmów).

1 NASIONO SUCHE



Stan wyjściowy.

2 Kontrolowane H_2O



Precyzyjne uwodnienie (czas, temperatura, stężenie).

3 AKTYWACJA METABOLIZMU



Uruchamiają się procesy życiowe, ale korzeń jeszcze nie wychodzi.

4 PONOWNE SUSZENIE



Nasiona zwykle osusza się do stanu zbliżonego do wyjściowego.

5 SIEW



SZYBSZY START

Co uruchamia się podczas primingu?

- Naprawa i stabilizacja błon komórkowych (uszkodzonych podczas przechowywania).
- Aktywacja enzymów odpowiedzialnych za kiełkowanie (np. rozkładających substancje zapasowe).
- Częściowa naprawa uszkodzeń DNA.
- Przygotowanie mitochondriów do intensywniejszej pracy (produkcji ATP).
- Reorganizacja metabolizmu i lepsza koordynacja procesów niezbędnych do wzrostu siewki.

Potencjalny efekt

Szybszy i bardziej wyrównany start siewek!



- Szybsze wznowienie procesów po ponownym uwodnieniu na polu.
- Krótszy czas do pojawienia się korzenia zarodkowego.
- Bardziej równomierne i jednoczesne kiełkowanie.

Możliwe korzyści



- Lepsza i bardziej wyrównana wschodowość.
- Szybszy start roślin i większa siła siewek.
- Większa tolerancja na stresy abiotyczne (np. niska temperatura, okresowa susza, zasolenie).
- Lepsze wykorzystanie zasobów gleby.
- Często wyższy i bardziej stabilny plon.

Priming ≠ moczenie

Zwykłe, niekontrolowane moczenie nasion to nie priming!



- Brak kontroli czasu, temperatury i warunków wodnych.
- Ryzyko niedoboru tlenu (hipoksja) i uszkodzenia nasion.
- Może dojść do rozpoczęcia pełnego kiełkowania i uszkodzenia korzenia zarodkowego przy dalszym suszeniu.

Za długie moczenie może zaszkodzić nasionom!

Przykład praktyczny

W uprawach takich jak kukurydza, warzywa czy rzepak dobry priming może poprawić synchronizację kiełkowania, co jest szczególnie ważne, gdy szybki i wyrównany start roślin ma kluczowe znaczenie dla plonu.



Równy start = lepsza konkurencja roślin i wyższy plon.

Ryzyka i ograniczenia

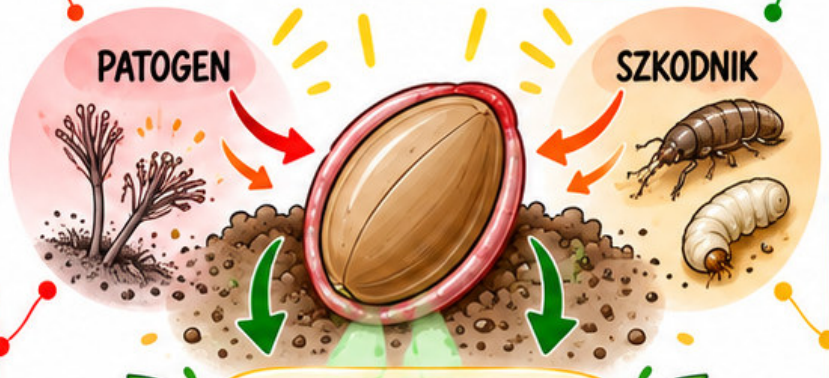


- Nieprawidłowe warunki (zbyt wysoka temperatura, zbyt długi czas, brak tlenu) mogą uszkodzić nasiona.
- Nie wszystkie gatunki jednakowo dobrze reagują na priming.
- Wymaga odpowiedniego sprzętu i kontroli parametrów.
- Może skrócić okres przechowywania nasion.
- Efekty zależą od jakości nasion wyjściowych.

Priming daje korzyści, gdy jest dobrze zaplanowany i dostosowany do gatunku.

Zaprawianie nasion

Zaprawianie to technologia polegająca na naniesieniu na powierzchnię nasion środków ochronnych lub wspomagających przed siewem.
Nie jest to to samo co priming!



OCHRONA NASIONA I MŁODEJ SIEWKI

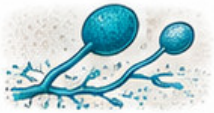


Po co zaprawiać?

Zaprawianie pomaga chronić nasiona i młode siewki przed:



patogenami przenoszonymi z nasion (np. grzyby, patogeny grzybopodobne)



patogenami glebowymi, obecnymi w glebie



wybranymi szkodnikami atakującymi nasiona i młode siewki we wczesnym okresie rozwoju.

Zaprawy fungicydowe

Mogą ograniczać infekcje powodowane przez określone patogeny grzybowe i grzybopodobne.



Zakres działania zależy od substancji czynnej i zapisów na etykiecie.

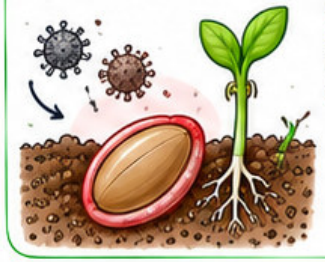
Zaprawy owadobójcze

W niektórych systemach uprawy stosowane przeciwko wybranym szkodnikom atakującym nasiona i młode siewki.



Zakres działania zależy od substancji czynnej i zapisów na etykiecie.

Przykład praktyczny



Zaprawa może chronić nasiona przed patogenem glebowym we wczesnym okresie rozwoju, ale nie zastępuje:

- zmianowania,
- wysokiej jakości materiału siewnego,
- odpowiednich warunków siewu i uprawy.

Priming a zaprawianie – różne cele

PRIMING	ZAPRAWIANIE
przygotowanie fizjologiczne nasiona	naniesienie środka ochronnego lub wspomagającego na nasiono
poprawa i wyrównanie kiełkowania, szybszy start siewki w sprzyjających warunkach.	ochrona nasiona i młodej siewki przed patogenami i/lub szkodnikami oraz dodatkowe wsparcie.

≠

Bezpieczeństwo przede wszystkim!

W przypadku chemicznych środków ochrony roślin:

zawsze kierować się aktualną etykietą, dopuszczeniem, zalecaną dawką i obowiązującymi przepisami.

Zaprawy biologiczne

Zawierają korzystne mikroorganizmy (np. bakterie, grzyby antagonistyczne) lub produkty pochodzenia biologicznego, które mogą wspierać ochronę nasiona lub zasiedlanie strefy korzeniowej.

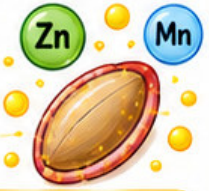


Efekt działania zależy od szczepu, warunków środowiska i zapisów na etykiecie.

Dodatki odżywcze i biostymulacyjne

Do zapraw mogą być dodawane m.in.:

- mikroelementy (np. cynk, mangan),
- substancje wspomagające rozwój siewki,
- polimery poprawiające równomierność pokrycia nasion.



Wspierają dobry start siewki, szczególnie w trudniejszych warunkach.

Jakość pokrycia

Zaprawa powinna być równomiernie rozprowadzona na powierzchni nasion, dobrze związana i dostosowana technologicznie do danego gatunku.

- równomierne pokrycie
- dobre związanie z powierzchnią nasiona
- odpowiednia jakość technologiczna (np. brak pylenia, uszkodzeń).



Fitotoksyczność

Niewłaściwy produkt, dawka lub mieszanie preparatów mogą powodować:

- opóźnione kiełkowanie,
- uszkodzenia młodych siewek,
- obniżenie wigoru.



Wschody polowe i establishment

OD NASIONA DO WYRÓWNANEGO ŁANU

Wiele czynników.
Jeden wspólny cel – silny, równomierny łan!

Wschody polowe

Wschody polowe to pojawianie się siewek nad powierzchnią gleby.



Establishment

Establishment to skuteczne ustanowienie zdrowej i prawidłowo rozmieszczonej populacji młodych roślin.



Jakość nasion

- żywotność
- zdolność kiełkowania
- wigor
- zdrowotność
- uszkodzenia mechaniczne



Nawet nasiona dobrej jakości nie wschodzą, jeśli inne warunki są niekorzystne!

Temperatura gleby

Zbyt niska temperatura spowalnia metabolizm nasion i wydłuża czas wschodów, zwiększając narażenie na patogeny.

Zbyt wysoka temperatura także może ograniczać kiełkowanie (np. przesuszenie gleby, uszkodzenia nasion).

Wilgotność gleby



Zbyt mało wody utrudnia pobieranie wody przez nasiono (imbibicję).



Zbyt dużo wody powoduje niedobór tlenu (hipoksję) i zaburza oddychanie.

Głębokość siewu



Zbyt płytki siew – nasiona mogą przesychać i nie pobrać wody.



Zbyt głęboki siew – dłuższa drogą do powierzchni, większe zużycie substancji zapasowych, ryzyko niedoboru tlenu.

Kontakt nasiono-gleba



Dobry kontakt z glebą umożliwia równomierne pobieranie wody.

Zbyt mocne zagęszczenie gleby ogranicza wymianę gazową i rozwój korzeni.

DOBRE WSCHODY =

JAKOŚĆ NASION × WODA × TEMPERATURA × TLEN × GŁĘBOKOŚĆ SIEWU × STAN GLEBY

Słabość jednego czynnika może ograniczyć cały efekt!

Zaskorupienie

Twarda skorupa gleby jest mechaniczną barierą dla kiełkujących siewek, utrudnia lub uniemożliwia wschody.



Patogeny i szkodniki

Wydłużony czas wschodów i warunki stresowe zwiększają narażenie na choroby i szkodniki.



Równomierność

Liczy się nie tylko liczba roślin, ale także jednoczesny termin wschodów i równomierne rozmieszczenie na polu.



Etapy od nasiona do młodej rośliny

NASIONO	KORZEŃ	SIEWKA POD GLEBĄ	WSCHÓD	MŁODA ROŚLINA
				
ryzyko: niska żywotność, uszkodzenia	ryzyko: niekorzystna wilgotność, niska temperatura	ryzyko: niedobór tlenu, zbyt głęboki siew, patogeny	ryzyko: zaskorupienie, uszkodzenia mechaniczne, szkodniki	ryzyko: choroby, susza, konkurencja, uszkodzenia herbicydami

Brakuje roślin. Co sprawdzić?

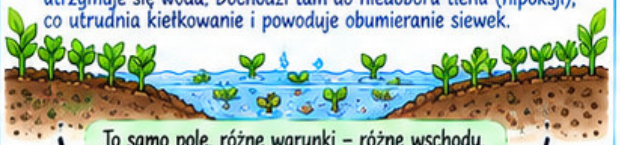
1	Czy nasiono jest w glebie?	Jeśli nie – problem z siewem, ptaki, erozja, inne straty.
2	Nasiono suche?	Problem z dostępem do wody.
3	Nasiono napęczniałe, ale bez korzenia?	Sprawdź tempęczniatę, tlen, żywotność, spoczynek.
4	Korzeń jest, ale siewka obumarła?	Sprawdź patogeny, zalanie, uszkodzenia chemiczne, szkodniki.
5	Siewka rośnie pod powierzchnią, ale nie wychodzi?	Sprawdź głębokość siewu i zaskorupienie.

Głębokość siewu – uproszczony przekrój gleby



Przykład z praktyki

W zagłębieniu pola wschody są słabsze, ponieważ po opadach utrzymuje się woda. Dochodzi tam do niedoboru tlenu (hipoksji), co utrudnia kiełkowanie i powoduje obumieranie siewek.



To samo pole, różne warunki – różne wschody.

lepsze wschody na wyniesieniu | zastoisko wody → słabe wschody | lepsze wschody na wyniesieniu

Podsumowanie

Dobre nasiono jest początkiem, nie gwarancją.
Końcowy wynik tworzy interakcja:

NASIONO × GLEBA × POGODA × TECHNIKA SIEWU

Tylko połączenie wszystkich elementów zapewnia udane wschody i silny, wyrównany łan.



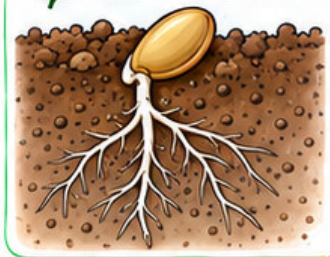
Fizjologia siewki

SIEWKA — PRZEJŚCIE DO SAMODZIELNEGO WZROSTU

Od wykorzystania zapasów nasiona do samodzielnego pozyskiwania wody, składników mineralnych i energii świetlnej.



Korzeń zarodkowy



- zakotwicza siewkę w glebie, zapewnia stabilność
- pobiera wodę niezbędną do wzrostu
- pobiera składniki mineralne z roztworu glebowego
- inicjuje rozwój systemu korzeniowego (korzenie boczne)

Rozwój części nadziemnej



- wydłużanie hipokotyla i/lub epikotyla
- wynurzenie siewki ponad powierzchnię gleby
- rozwój liścieni, a następnie liści właściwych
- przystosowanie do warunków na powierzchni (światło, powietrze, zmienna temperatura, transpiracja)

Liścienie

pod ziemią (np. groch, fasola) | nad ziemią (np. słonecznik, rzepak)



Funkcje liścieni:

- magazynowa – gromadzenie substancji zapasowych
- odżywcza – dostarczanie składników do wzrostu siewki
- fotosyntetyczna – u gatunków o liścieniach nadziemnych

Przejście heterotroficzne → autotroficzne



ZAPASY NASIONA

- skrobia, białka, tłuszcze
- energia i składniki odżywcze dla siewki
- wykorzystywane do czasu rozwoju liści właściwych

FOTOSYNTEZA

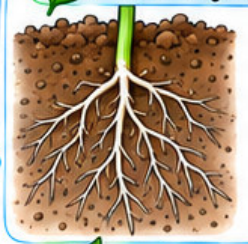
- samodzielna produkcja związków organicznych
- wykorzystanie energii światła
- wymaga liści z chlorofilem i odpowiedniej powierzchni asymilacyjnej

Pierwsze liście właściwe



- pojawiają się po liścieniach
- prowadzą intensywną fotosyntezę
- zwiększają powierzchnię asymilacyjną
- umożliwiają szybki wzrost i dalszy rozwój rośliny
- ich liczba i tempo rozwoju zależą od gatunku i warunków środowiska

Rozwój systemu korzeniowego



- z korzenia zarodkowego wyrastają korzenie boczne
- system korzeniowy zagłębia się i rozrasta
- zwiększa się zdolność pobierania wody i składników mineralnych
- lepiej zabezpiecza roślinę przed stresem (np. suszą) i wspiera silniejszy wzrost

Najbardziej wrażliwy okres

Młode siewki są bardzo wrażliwe na niekorzystne warunki środowiska. Czynniki ryzyka:



Etapy rozwoju – od nasiona do samodzielnej rośliny



Kluczowy moment

Okres od wynurzenia siewki do wytworzenia wystarczającej powierzchni liściowej jest kluczowy. W tym czasie roślina przechodzi z odżywiania heterotroficznego na autotroficzne. Dobre warunki w tym okresie decydują o dalszym wzroście i plonie.

Przykład z praktyki



Uszkodzenie liścieni (np. przez szkodniki, grad lub herbicydy) albo zniszczenie młodych liści właściwych przed wytworzeniem wystarczającej powierzchni asymilacyjnej może silnie zahamować wzrost siewki, a nawet doprowadzić do jej zamierania.

Dlatego tak ważna jest ochrona siewek w początkowym okresie rozwoju.

04

Stres roślinny

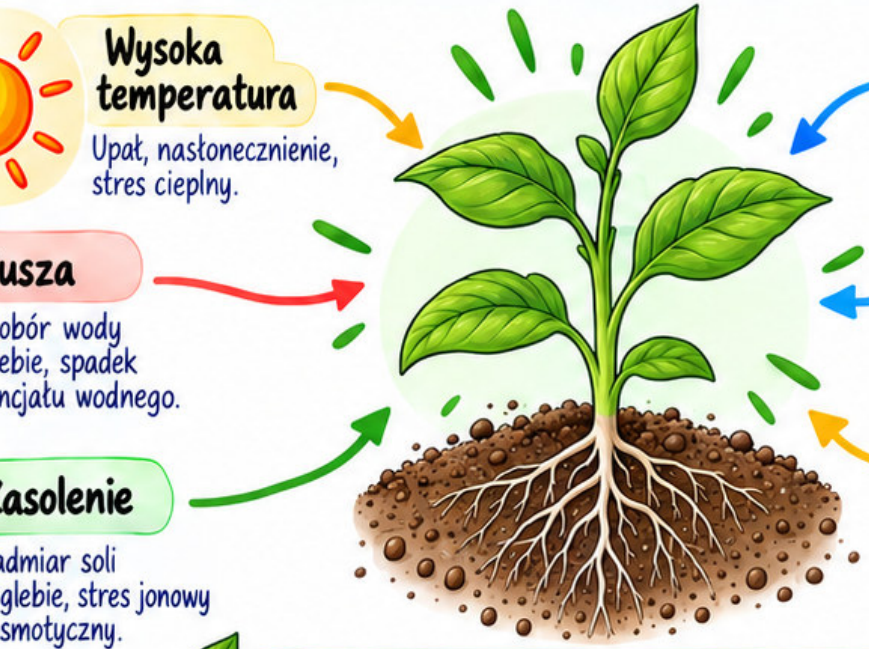
Jak roślina rozpoznaje zagrożenie, ogranicza straty, broni komórki i zmienia wzrost, aby przetrwać.

Cel modułu

Zrozumienie głównych stresów abiotycznych i biotycznych, ich wpływu na fizjologię roślin oraz podstawowych mechanizmów aklimatyzacji i obrony.

Najważniejsze pojęcia

ROS • antyoksydanty • susza
zalanie • zasolenie • temperatura
ABA • korzeń • aklimatyzacja



Wysoka temperatura

Upał, nasłonecznienie, stres cieplny.

Chłód

Niskie temperatury, przymrozki.

Susza

Niedobór wody w glebie, spadek potencjału wodnego.

Zalanie

Nadmiar wody w glebie, niedobór tlenu (warunki beztlenowe).

Zasolenie

Nadmiar soli w glebie, stres jonowy i osmotyczny.

Stres biotyczny

Patogeny (grzyby, bakterie, wirusy), szkodniki, roślinożercy.

Od zagrożenia do odpowiedzi

STRESOR → **PERCEPCJA** → **SYGNAŁ** → **ODPOWIEDŹ KOMÓRKOWA** → **AKLIMATYZACJA LUB USZKODZENIE**

- **STRESOR** — Czynnik środowiskowy (abiotyczny lub biotyczny).
- **PERCEPCJA** — Rozpoznanie sygnału przez czujniki rośliny.
- **SYGNAŁ** — Przekazywanie informacji w komórce i między tkankami (np. ABA, Ca^{2+}, ROS).
- **ODPOWIEDŹ KOMÓRKOWA** — Zmiany w ekspresji genów, metabolizmie i funkcjonowaniu komórek.
- **AKLIMATYZACJA LUB USZKODZENIE** — Dostosowanie do warunków lub wystąpienie strat i uszkodzeń.

Stres nie jest pojedynczą reakcją – to cały łańcuch zmian od sygnału środowiskowego do odpowiedzi całej rośliny.

Czym jest stres roślinny

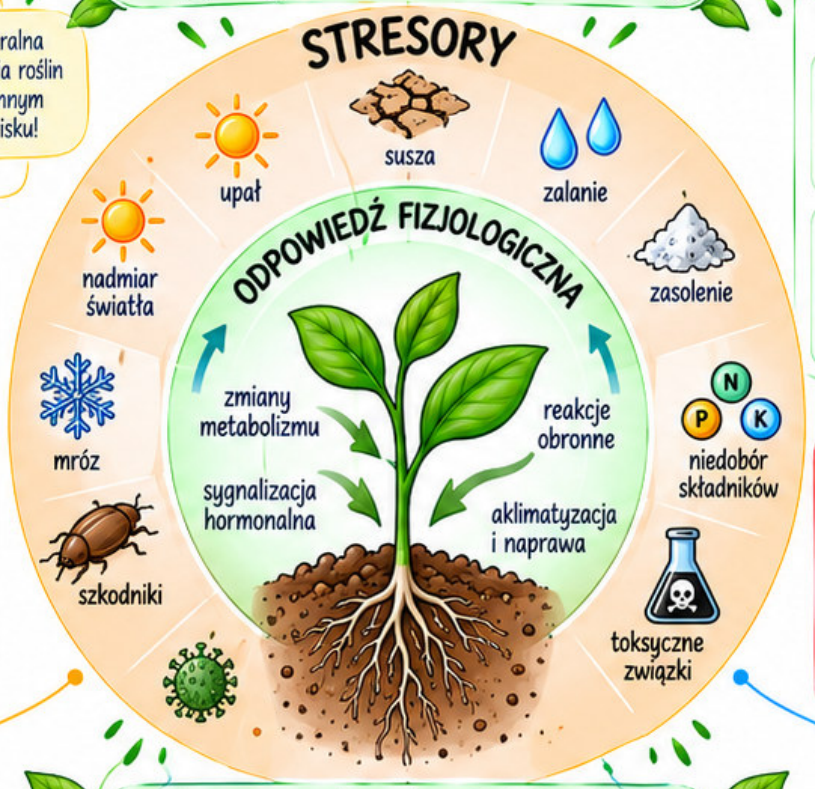
Czym jest stres roślinny?

Stres roślinny to stan, w którym czynnik środowiskowy lub biologiczny ogranicza prawidłowe funkcjonowanie rośliny i wymusza uruchomienie reakcji obronnych lub adaptacyjnych.



To naturalna część życia roślin w zmiennym środowisku!

STRESORY



Stres biotyczny

Wywołany przez organizmy żywe.



Organizmy żywe nie tylko atakują, ale także konkurują o wodę, światło i składniki pokarmowe!

Stres abiotyczny

Wywołany przez czynniki nieożywione środowiska.



Eustres i dystres

Eustres

Umiarkowany stres, który stymuluje rozwój, wzmacnia odporność i przygotowuje roślinę na trudniejsze warunki.



Trochę stresu może być korzystne!

Dystres

Zbyt silny lub długotrwały stres, który prowadzi do zaburzeń wzrostu, uszkodzeń i spadku plonu.



Natężenie stresu

Skutki stresu zależą od wielu czynników:

- siła czynnika (jak bardzo jest silny)
- czas działania (krótki czy długotrwały)
- faza rozwojowa rośliny (np. kiełkowanie, kwitnienie)
- gatunek i odmiana (różna wrażliwość)
- wcześniejsza aklimatyzacja (czy roślina była wcześniej narażona na podobny stres)

Od stresora do odpowiedzi rośliny

STRESOR	PERCEPCJA	SYGNALIZACJA	REAKCJA	AKLIMATYZACJA lub USZKODZENIE
pojawienie się czynnika stresowego	rozpoznanie sygnału w komórkach	przekazanie informacji (np. hormony, wtórne komunikaty)	uruchomienie mechanizmów obronnych i adaptacyjnych	powrót do równowagi lub trwałe uszkodzenia, jeśli stres jest zbyt silny lub długotrwały

Koszt odpowiedzi na stres

Uruchomienie reakcji obronnych wymaga energii i zasobów. Roślina często przenosi zasoby ze wzrostu i rozwoju na obronę i przetrwanie.



Silna obrona często oznacza wolniejszy wzrost i niższy plon.

Stres ostry i chroniczny

Stres ostry

Krótki, nagły i silny. Powoduje szybkie zmiany w roślinie.



np. nagły przymrozek, ulewne zalanie

Stres chroniczny

Długotrwały, umiarkowany. Działa powoli, ale może prowadzić do poważnych skutków.



np. długotrwała susza, przewlekły niedobór składników

Nie każdy stres oznacza śmierć!

Roślina może przeżyć stres, jeśli uruchomi odpowiednie mechanizmy. W odpowiedzi na stres może:

- [x] spowolnić wzrost,
- [x] zmienić metabolizm,
- [x] zamknąć aparaty szparkowe,
- [x] zmienić architekturę korzeni,
- [x] aktywować mechanizmy naprawcze.



Stres uczy rośliny przetrwać i lepiej radzić sobie w przyszłości!

Przykład praktyczny – susza

Umiarkowana susza (eustres)



- zamknięcie aparatów szparkowych
- spowolnienie wzrostu
- większa efektywność wykorzystania wody
- wzrost zawartości związków osmotycznych (np. proliny)

Roślina przetrwa i może być bardziej odporna w przyszłości.

Silna i długotrwała susza (dystres)



- utrata turgoru
- uszkodzenia fotosyntezy
- zamieranie korzeni
- zahamowanie wzrostu i plonu
- możliwe trwałe uszkodzenia i obumarcie

Ryzyko znaczącego spadku plonu lub śmierci rośliny.

ROS i stres oksydacyjny

ROS = Reactive Oxygen Species

- $O_2^{\bullet -}$ — anionorodnik ponadtlenkowy
- H_2O_2 — nadtlenek wodoru
- $^{\bullet}OH$ — rodnik hydroksylowy
- $^1O_2$ — tlen singletowy

Reaktywne formy tlenu (ROS) to reaktywne cząsteczki zawierające tlen.

ROS – REAKTYWNE FORMY TLENU



Skąd powstają?

Chloroplasty



- transport elektronów w fotosyntezie, zwłaszcza przy nadmiarze światła i ograniczeniu CO_2

Mitochondria



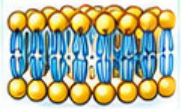
- łańcuch oddechowy w oddychaniu komórkowym, szczególnie przy wysokim zapotrzebowaniu na energię

Peroksysomy



- reakcje oksydacyjne, np. rozkład kwasów tłuszczowych (fotorespiracja)

Błony komórkowe



- aktywność oksydaz błonowych (np. NADPH oksydazy) w odpowiedzi na bodźce zewnętrzne

Normalny metabolizm

ROS powstają stale jako naturalny produkt przemian metabolicznych.

- niskie, kontrolowane stężenie
- pełnią funkcje sygnałowe
- są szybko usuwane przez system antyoksydacyjny



Pod wpływem stresu

Różne czynniki stresowe zwiększają produkcję ROS w komórkach roślin.



Stres prowadzi do zaburzeń w transporcie elektronów, co sprzyja powstawaniu ROS.

ROS nie są wyłącznie „złe".

Pełnią ważne funkcje sygnałowe, ale w nadmiarze prowadzą do uszkodzeń.

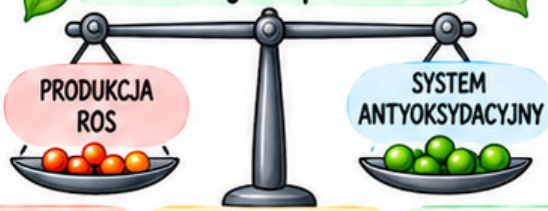
Mało / kontrolowanie → SYGNAŁ

- uczestniczą w sygnalizacji
- regulują ekspresję genów
- biorą udział w odpowiedzi na stres
- kontrolują rozwój i odporność

Za dużo / zbyt długo → USZKODZENIE

- uszkadzają lipidy, białka i DNA
- zaburzają procesy metaboliczne
- prowadzą do starzenia się komórek i tkanek
- mogą powodować śmierć komórki (programowana śmierć komórki)

Równowaga to podstawa!



Przewaga ROS	Równowaga	Przewaga systemu antyoksydacyjnego
→ stres oksydacyjny (uszkodzenia)	→ homeostaza (prawidłowe funkcjonowanie)	→ niskie stężenie ROS

Przykład z praktyki

Silne światło i ograniczone CO_2

Gdy natężenie światła jest wysokie, a dostępność CO_2 ograniczona (np. w czasie suszy), chloroplasty nie mogą efektywnie wykorzystać energii świetlnej. Nadmiar energii prowadzi do powstawania ROS (zwłaszcza $^1O_2$ i $O_2^{\bullet -}$) w chloroplastach.



Dlatego stres świetlny często towarzyszy suszy i innym stresom.

Stres oksydacyjny

Produkcja ROS → zdolność systemu antyoksydacyjnego

Stres oksydacyjny to stan, w którym ilość powstających ROS przewyższa możliwości ich usuwania przez system antyoksydacyjny. Prowadzi to do uszkodzeń komórek, tkanek i zaburzeń wzrostu roślin.

Uszkodzenia komórkowe

Uszkodzenia lipidów



- peroksydacja lipidów błonowych
- utrata integralności błon
- zwiększona przepuszczalność
- zaburzenia transportu substancji

Uszkodzenia białek



- utlenianie aminokwasów (np. cysteiny, metioniny)
- zmiana struktury przestrzennej
- utrata aktywności enzymów
- zaburzenia procesów metabolicznych

DNA



- utlenianie zasad azotowych (np. 8-oksoguanina)
- pęknięcia nici DNA
- mutacje
- zaburzenia replikacji i ekspresji genów

System antyoksydacyjny

Rośliny posiadają enzymatyczne i nieenzymatyczne mechanizmy usuwania ROS, m.in.:

- enzymy: SOD (dysmutaza ponadtlenkowa), katalaza, peroksydazy, reduktaza askorbinianowa
- nieenzymatyczne: askorbinian (wit. C), glutation, karotenoidy, flawonoidy, tokoferole (wit. E)
- ich działanie pozwala utrzymać niskie, nieszkodliwe stężenie ROS.



System antyoksydacyjny

Rośliny stale wytwarzają reaktywne formy tlenu (ROS) w wyniku procesów metabolicznych oraz w odpowiedzi na stres. System antyoksydacyjny neutralizuje ich nadmiar, jednocześnie pozwalając utrzymać poziom sygnałowy niezbędny do prawidłowej komunikacji komórkowej.

SOD – Dysmutaza ponadtlenkowa

Katalizuje dysmutację anionorodnika ponadtlenkowego do nadtlenku wodoru.



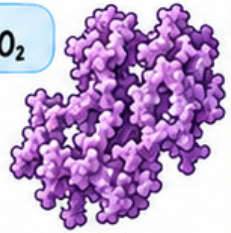
$$2\ O_2^{\bullet-} + 2\ H^+ \xrightarrow{SOD} H_2O_2 + O_2$$

- Szybko usuwa $O_2^{\bullet-}$, powstający m.in. w chloroplastach, mitochondriach i peroksysomach.
- Występuje w różnych izoformach (Cu/Zn-SOD, Mn-SOD, Fe-SOD) w różnych przedziałach komórki.

Katalaza – CAT

Rozkłada nadtlenek wodoru do wody i tlenu.

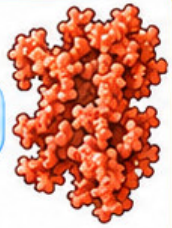
$$2\ H_2O_2 \xrightarrow{CAT} 2\ H_2O + O_2$$



- Działa głównie w peroksysomach.
- Bardzo szybka reakcja, szczególnie przy wysokim stężeniu H_2O_2.
- Chroni komórkę przed toksycznym działaniem nadtlenku wodoru.

Peroksydaza askorbinianowa – APX

Redukuje nadtlenek wodoru do wody, wykorzystując askorbinian jako donor elektronów.



$$H_2O_2 + AsA \xrightarrow{APX} 2\ H_2O + DHA$$

- Występuje w chloroplastach, cytoplazmie, mitochondriach i apoplaście.
- Kluczowy element cyklu askorbinianowo-glutationowego (AsA–GSH).
- Szczególnie ważna w chloroplastach, gdzie chroni aparat fotosyntetyczny.

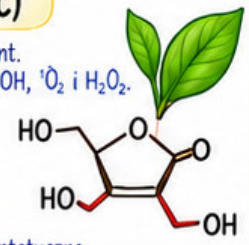


ANTYOKSYDANTY – KONTROLA ROS

Cel: utrzymać odpowiednie stężenie sygnałowe i ograniczyć nadmiar, a nie usunąć wszystkie ROS!

Askorbinian (Witamina C)

Silny, rozpuszczalny w wodzie antyoksydant. Bezpośrednio neutralizuje ROS, m.in. $O_2^{\bullet-}$, $^{\bullet}OH$, $^1O_2$ i H_2O_2.



- Oddaje elektrony, ulegając utlenieniu do dehydroaskorbinianu (DHA).
- Regenerowany z DHA w cyklu askorbinianowo-glutationowym.
- Chroni białka, lipidy i pigmenty fotosyntetyczne.

Glutation – GSH

Trójpeptyd (γ-glutamylocysteinylglycyna), ważny antyoksydant komórkowy.



- Bezpośrednio neutralizuje ROS i utrzymuje stan redoks komórki.
- Uczestniczy w regeneracji askorbinianu (enzym GR — reduktaza glutationowa).
- Występuje w formie zredukowanej (GSH) i utlenionej (GSSG).

GSH ↕ GSSG

Karotenoidy

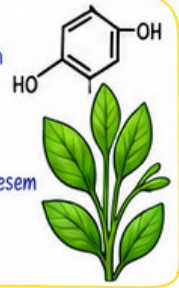
Neutralizują tlen singletowy ($^1O_2$) i wygaszają nadmiar energii w fotosystemach.



- Występują w chloroplastach (karoteny, ksantofile).
- Chronią chlorofil, białka fotosyntetyczne i błony tylakoidów.
- Uczestniczą w fotoprotekcji (np. cykl ksantofilowy).

Związki fenolowe

Szeroka grupa metabolitów wtórnych o właściwościach antyoksydacyjnych.



- Zmiatają wolne rodniki i chelatują jony metali ograniczając reakcje rodnikowe.
- Wzmacniają ściany komórkowe i chronią przed stresem biotycznym i abiotycznym.
- Występują m.in. flawonoidy, kwasy fenolowe i ligniny.

Stres a aktywność enzymów antyoksydacyjnych

Przykład: susza

W warunkach niedoboru wody wzrasta produkcja ROS. Roślina odpowiada zwiększeniem aktywności enzymów antyoksydacyjnych (SOD, CAT, APX) oraz wzrostem zawartości askorbinianu, glutationu i związków fenolowych. Dzięki temu ogranicza uszkodzenia komórek i utrzymuje funkcje fizjologiczne.



Jak działa system antyoksydacyjny?

STRES
(np. susza, wysoka temperatura, silne światło, patogeny, metale ciężkie)

↓

ROS ↑
($O_2^{\bullet-}$, H_2O_2, $^{\bullet}OH$, $^1O_2$)

↓

SOD / CAT / APX / GSH / askorbinian

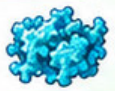
↓

ROS pod kontrolą
→ mniej uszkodzeń, sprawna fizjologia

Dwa filary ochrony

ENZYMATYCZNE

- SOD
- CAT
- APX



NIEENZYMATYCZNE

- askorbinian
- glutation
- karotenoidy
- część fenoli

Wspólnym działaniem utrzymują równowagę redoks, chronią struktury komórkowe i umożliwiają prawidłowe funkcjonowanie rośliny w zmiennych warunkach środowiska.

Susza

Niedobór wody w glebie wywołuje szereg reakcji fizjologicznych, morfologicznych i biochemicznych w roślinie, których celem jest ograniczenie strat wody i przetrwanie.



STRES SUSZY

GLEBA SUCHA
↓
POTENCJAŁ WODNY ↓
↓
ABA ↑
↓
SZPARKI ↓
↓
TRANSPIRACJA ↓
↓
CO_2 ↓ → FOTOSYNTEZA ↓

Deficyt wody w glebie

Spadek wilgotności gleby powoduje, że potencjał wodny gleby staje się bardziej ujemny, co utrudnia pobieranie wody przez korzeń.



Spadek wilgotności gleby
↓
Bardziej ujemny potencjał wodny gleby
↓
Trudniejsze pobieranie wody przez korzeń

Korzenie

W warunkach suszy rośliny często zmieniają architekturę systemu korzeniowego – zwiększają względny wzrost korzeni, sięgają głębiej w glebę i rozrastają się bardziej na boki.

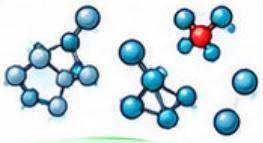


Dłuższe i gęstsze korzenie zwiększają szansę na pobór wody z głębszych warstw gleby.

Osmoregulacja

Rośliny gromadzą związki osmotycznie czynne, aby utrzymać potencjał wodny komórek i turgor. Należą do nich m.in.:

- prolina
- cukry rozpuszczalne (np. sacharoza, rafinoza)
- jony (np. K^+, Na^+, Cl^-)
- inne kompatybilne osmolity.



Osmoregulacja pomaga zatrzymać wodę w komórkach i chroni struktury komórkowe.

Przykład z praktyki

Wzrost młodych liści może wyraźnie spowolnić, zanim pojawią się widoczne objawy więdnięcia starszych liści.



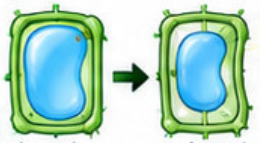
Roślina najpierw ogranicza wzrost, aby przetrwać.

Strategia przetrwania

- ☑ ograniczyć powierzchnię liści (np. zwijanie, redukcja liczby liści)
- ☑ ograniczyć wzrost (priorytet na przeżycie, nie na biomasę)
- ☑ pogłębić korzenie (lepszy dostęp do wody)
- ☑ zwiększyć kontrolę aparatów szparkowych
- ☑ zwiększyć ochronę antyoksydacyjną

Spadek turgoru

Mniej wody w komórkach oznacza spadek turgoru, co prowadzi do wolniejszego wydłużania komórek. Wzrost rośliny może zostać zahamowany jeszcze przed silnym więdnięciem liści.

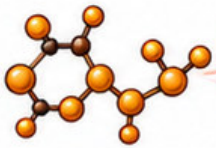


komórka turgorowa — komórka o obniżonym turgorze

Mniejszy turgor to wolniejszy wzrost komórek.

ABA

W warunkach deficytu wody wzrasta stężenie kwasu abscysynowego (ABA) w liściach i korzeniach. ABA jest sygnałem stresu suszy i wpływa m.in. na komórki szparkowe, wywołując ich zamykanie.



ABA koordynuje odpowiedź rośliny na niedobór wody.

Aparaty szparkowe

ABA powoduje zamykanie aparatów szparkowych, co ogranicza utratę wody poprzez transpirację.



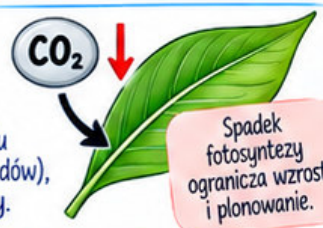
szparka otwarta → szparka zamknięta

⊕ ogranicza utratę wody

⊖ zmniejsza napływ CO_2

Fotosynteza

Zamknięcie aparatów szparkowych ogranicza dopływ CO_2 do liści. Dodatkowo, w warunkach silnej suszy może dochodzić do uszkodzeń aparatu fotosyntetycznego (np. fotosystemów, błon tylakoidów), co prowadzi do spadku intensywności fotosyntezy.



Spadek fotosyntezy ogranicza wzrost i plonowanie.

ROS

W warunkach silnej suszy dochodzi do wzrostu poziomu reaktywnych form tlenu (ROS), które mogą uszkadzać białka, lipidy, DNA i błony komórkowe. Roślina musi aktywować system antyoksydacyjny (np. enzymy: katalaza, dysmutaza ponadtlenkowa, peroksydazy oraz związki nieenzymatyczne), aby ograniczyć skutki stresu oksydacyjnego.



Więcej ROS to większe ryzyko uszkodzeń komórek.

Zalanie i hipoksja

Zalanie gleby to przede wszystkim problem z tlenem dla korzeni roślin.

Woda wypełnia pory gleby

Normalnie

Pory gleby wypełnione są wodą i powietrzem.



Po zalaniu

Nadmiar wody wypiera powietrze z porów gleby.



ZA DUŻO WODY = ZA MAŁO TLENU

ZALEWANIE

O_2 W GLEBIE ↓

ODDYCHANIE ↓

ATP ↓

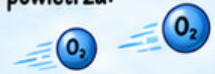
POBIERANIE JONÓW ↓ + WZROST KORZENI ↓

Dyfuzja tlenu spada



Cząsteczki tlenu (O_2) poruszają się znacznie wolniej w wodzie niż w powietrzu.

W powietrzu:



~10 000× szybciej

W wodzie:



bardzo wolno

Hipoksja

Bardzo niskie stężenie tlenu w glebie (zwykle < 2–5%). Oddychanie tlenowe jest silnie ograniczone.



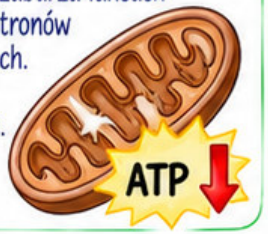
Anoksja

Prawie całkowity brak tlenu w glebie (zwykle < 0,5%). Oddychanie tlenowe praktycznie ustaje.



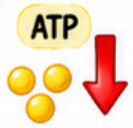
Oddychanie tlenowe spada

Niedobór tlenu zaburza łańcuch transportu elektronów w mitochondriach. Produkcja ATP znacznie maleje.



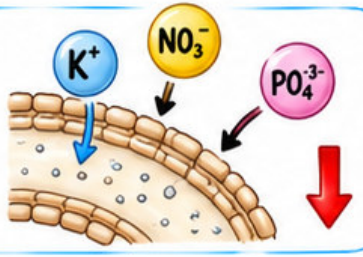
Fermentacja

W warunkach braku tlenu roślina uruchamia fermentację. Umożliwia ona częściową regenerację kofaktorów (np. NAD^+), ale dostarcza znacznie mniej ATP niż oddychanie tlenowe.



Transport jonów

Mniej ATP oznacza mniej aktywnego transportu jonów przez błony korzeni. Pobieranie składników pokarmowych (zarówno makro-, jak i mikroskładników) znacznie się ogranicza.



Korzenie



- Zamieranie części korzeni (zwłaszcza drobnych).
- Zahamowanie wzrostu systemu korzeniowego.
- Większa podatność na patogeny glebowe (np. grzyby, lęgniowce).

Adaptacje

Niektóre rośliny potrafią częściowo dostosować się do zalania, np.:

- tworzą aerenchymę (przestrzenie powietrzne w korzeniach i łodygach),
- wytwarzają korzenie przybyszowe, które rosną bliżej powierzchni gleby.



Przykład z praktyki

Po kilku dniach stojącej wody na polu rośliny mogą żółknąć (chloroza) i więdnąć, mimo że gleba jest bardzo wilgotna. To efekt niedoboru tlenu – uszkodzone korzenie słabo pobierają wodę i składniki pokarmowe.



Paradoks!

GLEBA JEST PEŁNA WODY, A ROŚLINA MOŻE WIĘDNĄĆ.

Zasolenie

STRES SOLNY =
STRES OSMOTYCZNY + TOKSYCZNOŚĆ JONOWA

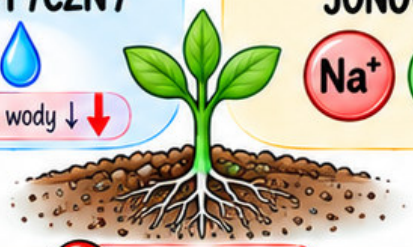
Wysokie stężenie soli w glebie utrudnia pobieranie wody oraz powoduje zaburzenia jonowe i toksyczne działanie jonów.

1. STRES OSMOTYCZNY

pobieranie wody ↓

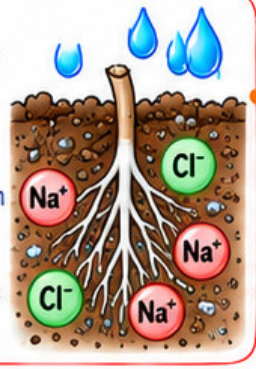
2. TOKSYCZNOŚĆ JONOWA

Na⁺ Cl⁻ ↑



Stres osmotyczny

- Wysokie stężenie soli w roztworze glebowym obniża potencjał wody (bardziej ujemny potencjał osmotyczny).
- ↓
- Różnica potencjałów między glebą a korzeniem jest mniejsza.
- ↓
- Pobieranie wody przez roślinę jest utrudnione (↓ napływ wody do korzeni).



Efekt podobny do suszy

Woda może być obecna w glebie, jednak roślina nie pobiera jej efektywnie, ponieważ potencjał wody w roztworze glebowym jest zbyt niski (bardziej ujemny).

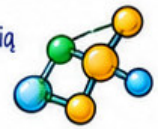


Gleba niesolona (woda dostępna)

Gleba zasolona (woda obecna, ale trudniej dostępna)

Osmoprotektanty

Rośliny gromadzą związki kompatybilne osmotycznie, które pomagają utrzymać nawodnienie komórek i chronią struktury komórkowe.

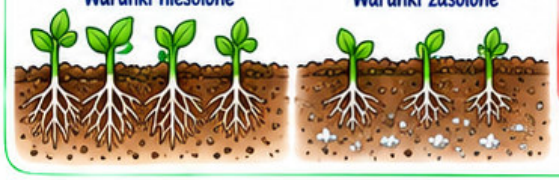


- prolina
- cukry rozpuszczalne (np. sacharoza)
- betainy (np. glicyna betaina)
- inne związki (np. poliole, aminokwasy)

Osmoprotektanty nie są toksyczne i nie zakłócają metabolizmu.

Przykład praktyczny

U młodych siewek w warunkach zasolenia pobieranie wody jest wolniejsze, co prowadzi do wolniejszego wzrostu korzeni.



Siewki w zasoleniu często mają krótsze korzenie i wolniej rozwijają system korzeniowy.

Nie myl:

SUSZA



mało dostępnej wody w glebie

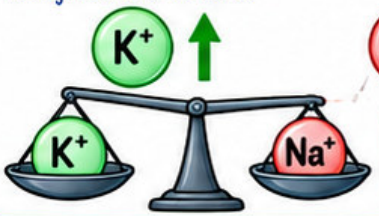
ZASOLENIE



woda może być obecna, ale jej potencjał utrudnia pobieranie + dochodzi problem jonowy

K⁺ vs Na⁺ – ważna równowaga

Utrzymanie wysokiego stężenia K⁺ i niskiego Na⁺ w cytoplazmie jest kluczowe dla prawidłowego funkcjonowania komórki.



Wysoki stosunek K⁺/Na⁺ sprzyja tolerancji na zasolenie.

Toksyczność jonowa – Na⁺

- Na⁺ zaburza aktywność wielu enzymów i procesy metaboliczne.
- Wypiera K⁺ z miejsc wiązania (konkurencja o transportery i miejsca aktywne).
- Zakłóca homeostazę jonową i może prowadzić do deficytu K⁺ oraz innych składników mineralnych.



Na⁺ może hamować działanie enzymów.

Toksyczność jonowa – Cl⁻

- Cl⁻ w wysokich stężeniach jest toksyczny dla wielu gatunków roślin (szczególnie wrażliwych).
- Może zaburzać fotosyntezę, gospodarkę wodną oraz równowagę jonową.
- Gromadzi się w liściach, powodując chlorozy i nekrozy.

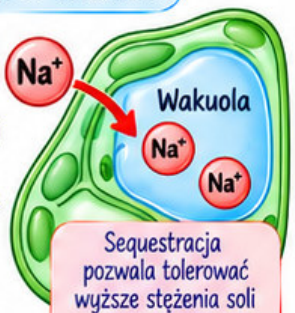


Nadmiar Cl⁻ może powodować nekrozy brzegów liści.

Sequestracja – izolacja w wakuoli

Rośliny ograniczają toksyczne działanie Na⁺ poprzez transport jonów do wakuoli.

- Na⁺ jest aktywnie pompowany do wakuoli (np. przez transportery typu NHX).
- Zmniejsza to stężenie Na⁺ w cytoplazmie i chroni procesy metaboliczne.



Sequestracja pozwala tolerować wyższe stężenia soli w komórce.

Objawy zasolenia

- spowolniony wzrost roślin
- więdnięcie (mimo obecności wody w glebie)
- chlorozy liści
- nekrozy brzegów liści (szczególnie u gatunków wrażliwych)
- słabe kiełkowanie nasion
- ograniczony rozwój systemu korzeniowego



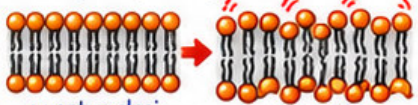
Wysoka temperatura

Wysoka temperatura przyspiesza procesy życiowe roślin, ale po przekroczeniu optimum staje się czynnikiem stresowym, który zaburza wiele procesów i ogranicza plonowanie.



Błony

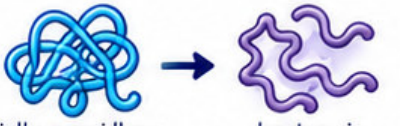
Wyższa temperatura zwiększa płynność błon komórkowych, co prowadzi do utraty ich organizacji i integralności.



Skutki:
- większa przepuszczalność
- utrata selektywności
- wyciek jonów i związków z komórek

Białka

Wysoka temperatura może powodować zmianę przestrzennej struktury białek (denaturację) i utratę ich aktywności.



Skutki:
- utrata funkcji enzymów
- zaburzenie procesów metabolicznych
- większa podatność na proteolizę

Oddychanie

Wysoka temperatura zwiększa tempo oddychania, co oznacza większe zużycie zgromadzonych cukrów i ogranicza dostępne zasoby na wzrost i plonowanie.



Skutki:
- koszty oddychania rosną
- bilans węgla się pogarsza
- mniej asymilatów na wzrost, rozwój i plon

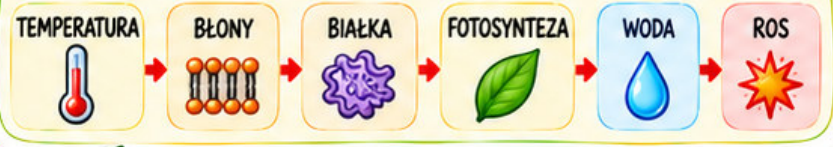
Rozwój reprodukcyjny

Wysoka temperatura negatywnie wpływa na procesy związane z kwitnieniem, zapylaniem i zapłodnieniem, co prowadzi do mniejszego zawiązywania nasion lub owoców.



Skutki:
- słabsze zapylenie
- problemy z zapłodnieniem
- mniejsze zawiązywanie nasion lub owoców
- obniżenie plonu

Kolejność głównych efektów wysokiej temperatury



Woda

Wysoka temperatura zwiększa parowanie wody z liści i gleby, co prowadzi do spadku turgoru. Rośliny zamykają aparaty szparkowe, aby ograniczyć utratę wody.



Skutki:
- parowanie ↑
- zapotrzebowanie na wodę ↑
- turgor komórek ↓
- zamykanie aparatów szparkowych
- ograniczenie wymiany gazowej

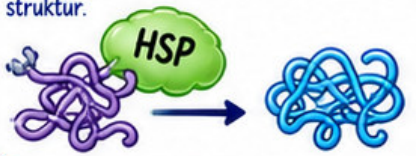
Obrona – jak rośliny radzą sobie ze stresem cieplnym?

- ☑ produkują białka szoku cieplnego (HSP),
- ☑ zwiększają ochronę antyoksydacyjną (np. enzymy, związki fenolowe),
- ☑ zmieniają skład lipidów błon (większy udział nienasyconych kwasów tłuszczowych),
- ☑ ograniczają wzrost i rozwój,
- ☑ zwiększają transpirację, jeśli woda jest dostępna.



HSP – białka szoku cieplnego

Heat Shock Proteins (HSP) to białka opiekuńcze (chaperony molekularne), które pomagają w prawidłowym fałdowaniu białek, zapobiegają ich agregacji i wspierają naprawę uszkodzonych struktur.



Działanie HSP:
- stabilizują białka
- zapobiegają ich agregacji
- wspierają refałdowanie
- pomagają usuwać uszkodzone białka

Fotosynteza

Wysoka temperatura zaburza stabilność fotosystemów i aktywność enzymów (np. Rubisco), co prowadzi do spadku asymilacji CO_2.



Skutki:
- uszkodzenia fotosystemów
- spadek aktywności enzymów
- mniejsze pobieranie CO_2
- ograniczona produkcja cukrów

ROS – reaktywne formy tlenu

Wysoka temperatura zwiększa produkcję reaktywnych form tlenu (ROS), które uszkadzają błony, białka, kwasy nukleinowe i chloroplasty.



Skutki:
- stres oksydacyjny
- uszkodzenia komórek
- zaburzenie procesów metabolicznych
- przyspieszone starzenie się tkanek

Przykład z praktyki

Rośliny lepiej znoszą wysoką temperaturę, gdy mają zapewnioną odpowiednią ilość wody. Jednoczesne występowanie wysokiej temperatury i suszy znacznie nasila negatywne skutki stresu cieplnego.



Wysoka temperatura
+ dobra dostępność wody
= lepsza tolerancja



Wysoka temperatura
+ susza
= silne uszkodzenia

Chłód i mróz

Niska temperatura to ważny czynnik stresowy, który może ograniczać wzrost, rozwój i plonowanie roślin. Skutki zależą od temperatury, gatunku, fazy rozwojowej i czasu działania.

Chłód

Temperatura niska, ale powyżej zamarzania (zwykle 0–10°C).



- Spowolnienie aktywności enzymów.
- Zmniejszenie płynności błon.
- Ograniczenie transportu substancji.
- Spadek intensywności fotosyntezy.

Chłód zwykle nie powoduje tworzenia lodu w tkankach, ale zaburza procesy życiowe rośliny.

Gatunki wrażliwe

Rośliny ciepłolubne (np. kukurydza, pomidor, ogórek, soja) mogą być uszkadzane już przy temperaturach powyżej 0°C.

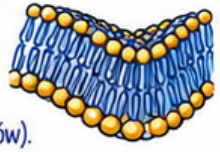


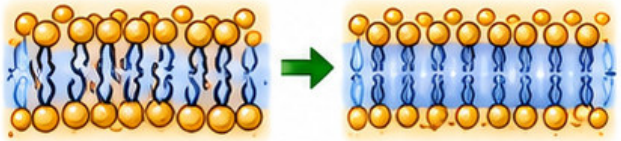
Objawy: zahamowanie wzrostu, chlorozy, nekrozy, zniekształcenia liści.

Różne gatunki mają różną wrażliwość na niską temperaturę.

Błony komórkowe

Niska temperatura zmniejsza płynność błon komórkowych, co utrudnia prawidłowe funkcjonowanie komórek (transport, sygnalizację, aktywność enzymów).





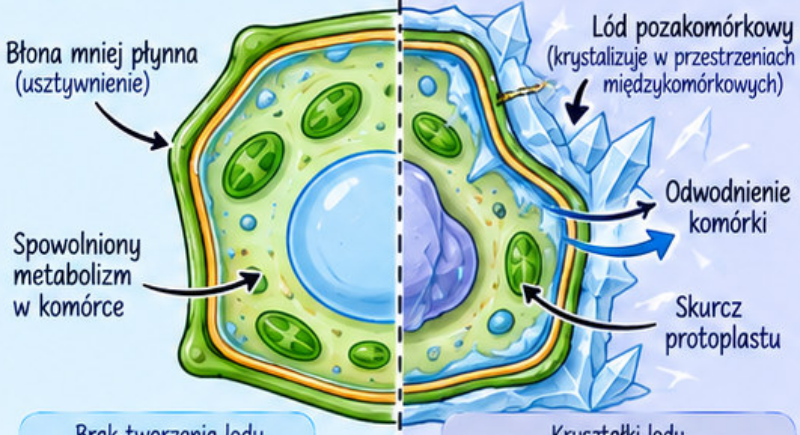
W wyższej temperaturze błona bardziej płynna.

W niskiej temperaturze błona mniej płynna, bardziej sztywna.

W procesie aklimatyzacji rośliny zwiększają udział nienasyconych kwasów tłuszczowych w błonach, co pomaga utrzymać ich płynność.

CHŁÓD

MRÓZ



Brak tworzenia lodu w komórkach.

Kryształki lodu w przestrzeniach międzykomórkowych.

Porównanie skutków

CHŁÓD	MRÓZ
metabolizm wolniejszy	dodatkowo tworzenie lodu
błony mniej płynne	odwodnienie komórek
fotosynteza ↓	ryzyko mechanicznego uszkodzenia tkanek

Aklimatyzacja do chłodu

Rośliny mogą zwiększać swoją odporność na niskie temperatury poprzez:

- zmiany ekspresji genów,
- syntezę białek ochronnych (np. białka ANTIFREEZE),
- gromadzenie cukrów (np. sacharozy, rafinozy),
- przebudowę błon komórkowych (zwiększenie udziału nienasyconych kwasów tłuszczowych).

Aklimatyzacja zachodzi stopniowo, zwykle pod wpływem stopniowego spadku temperatury.

Deaklimatyzacja

Wzrost temperatury (ocieplenie) może prowadzić do zmniejszenia wcześniej nabytego poziomu tolerancji na mróz.

Po okresie ciepłej pogody rośliny znów stają się bardziej wrażliwe na niskie temperatury.

Mróz

Temperatura poniżej 0°C.



- Prowadzi do tworzenia kryształów lodu w tkankach roślin.
- Powoduje silniejsze i często nieodwracalne uszkodzenia niż chłód.

Im niższa temperatura i dłuższy czas działania, tym większe ryzyko uszkodzeń.

Lód pozakomórkowy

Kryształy lodu tworzą się najpierw w przestrzeniach międzykomórkowych. Woda jest wyciągana z komórki do miejsc, gdzie tworzy się lód, co prowadzi do odwodnienia komórek.



Odwodnienie powoduje spadek turgoru, obkurczanie się protoplastu i zaburzenia metabolizmu.

Lód wewnątrzkomórkowy

Tworzenie lodu wewnątrz komórki jest bardzo niebezpieczne. Kryształy lodu uszkadzają mechanicznie struktury komórkowe, powodują przerwanie błon i najczęściej prowadzą do śmierci komórki.



Rośliny dążą do unikania tworzenia lodu wewnątrzkomórkowego.

Dlaczego cukry pomagają?

- Stabilizują błony komórkowe.
- Działają osmotycznie – obniżają temperaturę zamarzania wody w komórkach.
- Chronią białka i inne struktury komórkowe przed uszkodzeniami.



Cukry (np. sacharoza, rafinoza) pełnią funkcję naturalnych substancji ochronnych.

Przykład praktyczny

Roślina poddana stopniowemu ochładzaniu (hartowaniu) lepiej znosi późniejszy mróz niż roślina nagle narażona na niską temperaturę.



Hartowana – przeżywa

Nagły mróz – uszkodzenia

Stres żywieniowy

Stres żywieniowy obejmuje nie tylko niedobór składników, ale także ich nadmiar, antagonizmy, niską dostępność oraz zaburzenia równowagi jonowej.



STRES ŻYWIENIOWY
= ZA MAŁO, ZA DUŻO LUB NIE W TEJ PROPORCJI

NIEDOBÓR | NADMIAR | NIEDOSTĘPNOŚĆ | ZŁA PROPORCJA

METABOLIZM ↓ → WZROST ↓ → ODPORNOŚĆ ↓

Niedobór rzeczywisty

Zbyt mała ilość dostępnej formy składnika w glebie lub podłożu. Pobieranie nie pokrywa potrzeb rośliny, przez co procesy zależne od danego składnika są ograniczone.



Skutki:
- ograniczenie syntezy białek i enzymów
- zahamowanie wzrostu
- pogorszenie fotosyntezy
- charakterystyczne objawy na liściach

Niedobór funkcjonalny

Składnik może być obecny w glebie, ale jego pobieranie jest nieefektywne.



Przyczyny:
- niekorzystne pH gleby
- susza
- zalanie (nadmiar wody)
- niska temperatura w strefie korzeni
- uszkodzony system korzeniowy
- antagonizm jonowy

Efekt jest podobny jak przy niedoborze rzeczywistym – roślina nie otrzymuje składnika.

Nadmiar

Zbyt wysokie stężenie składnika może być toksyczne dla rośliny, zaburzać równowagę osmotyczną, konkurować z innymi jonami i zmieniać pH ryzosfery.



Skutki:
- toksyczność (uszkodzenia tkanek)
- zaburzenia gospodarki wodnej
- konkurencja z innymi jonami
- zmiana pH gleby w strefie korzeni
- ograniczenie pobierania innych składników

Analizuj system, nie pojedynczy liść.



Pełny obraz i właściwa diagnoza.

Objaw nie mówi jeszcze o przyczynie

Żółty liść może świadczyć o:



- niedoborze składnika
- uszkodzeniu korzeni
- chorobie
- zalaniu (nadmiarze wody)
- fitotoksyczności (np. po środkach ochrony)
- naturalnym starzeniu się liści

Dlatego zawsze szukaj prawdziwej przyczyny, a nie lecz tylko objaw.

Przykład z praktyki

Objawy niedoboru fosforu (P) mogą pojawić się w chłodnej glebie, mimo że zawartość P w glebie jest wystarczająca. Niska temperatura ogranicza aktywność korzeni i mobilność składników, co zmniejsza pobieranie fosforu.

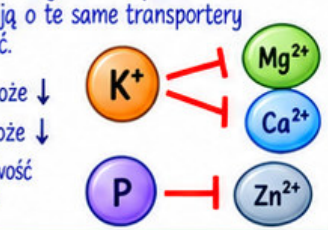


Zimna gleba = słabsza praca korzeni = objawy niedoboru P.

Antagonizmy

Nadmiar jednego składnika może ograniczać pobieranie innego, ponieważ jony konkurują o te same transportery lub wpływają na ich dostępność.

- K^+ ↑ → pobieranie Mg^{2+} może ↓
- K^+ ↑ → pobieranie Ca^{2+} może ↓
- bardzo wysoki P → możliwość pogorszenia odżywienia Zn



Fotosynteza

Niedobory N, Mg, Fe, Mn i innych składników związanych z aparatem fotosyntetycznym mogą prowadzić do mniejszej zawartości chlorofilu, zaburzenia transportu elektronów i ograniczenia asymilacji CO_2.



Skutki:
- spadek zawartości chlorofilu
- mniejsza wydajność fotosyntezy
- ograniczenie asymilacji CO_2
- słabszy wzrost i plonowanie

Wzrost

Brak składników potrzebnych do syntezy białek, ATP, budowy ścian komórkowych i podziałów komórkowych ogranicza tworzenie nowej biomasy.



Skutki:
- wolniejszy wzrost
- mniejsza liczba liści i pędów
- cieńsze łodygi
- mniejsza masa korzeni i części nadziemnych

ROS

Zaburzona gospodarka składnikami pokarmowymi może prowadzić do nierównowagi metabolicznej, zwiększonej produkcji reaktywnych form tlenu (ROS) i stresu oksydacyjnego.



Skutki:
- uszkodzenia komórek
- peroksydacja lipidów
- zaburzenia metabolizmu
- przyspieszone starzenie się tkanek

Korzeń jako centrum problemu

Uszkodzone korzenie pobierają mniej wody i jonów, co może powodować objawy podobne do klasycznych niedoborów. Dlatego zawsze oceniaj cały system: glebę + korzeń + roślinę.



Oceń łącznie:
- ☑ glebę (zasobność, pH, wilgotność)
- ☑ korzeń (zdrowie, rozwój)
- ☑ roślinę (objawy, faza rozwojowa)

Stres świetlny

Światło jest źródłem energii dla fotosyntezy, ale zarówno jego niedobór, jak i nadmiar mogą ograniczać efektywność roślin.

Niedobór światła

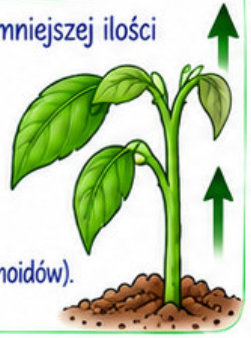
Mniejsza ilość promieniowania świetlnego to mniej energii do fotosyntezy.

światło ↓ → ATP i NADPH ↓ → asymilacja CO_2 ↓ → mniej asymilatów

Reakcja na zacienienie

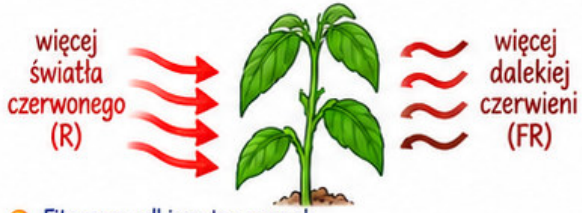
Roślina może dostosować się do mniejszej ilości światła poprzez:

- wydłużanie pędów,
- zwiększenie powierzchni liści,
- zmianę kąta ustawienia liści,
- modyfikację składu barwników (np. więcej chlorofilu i mniej karotenoidów).

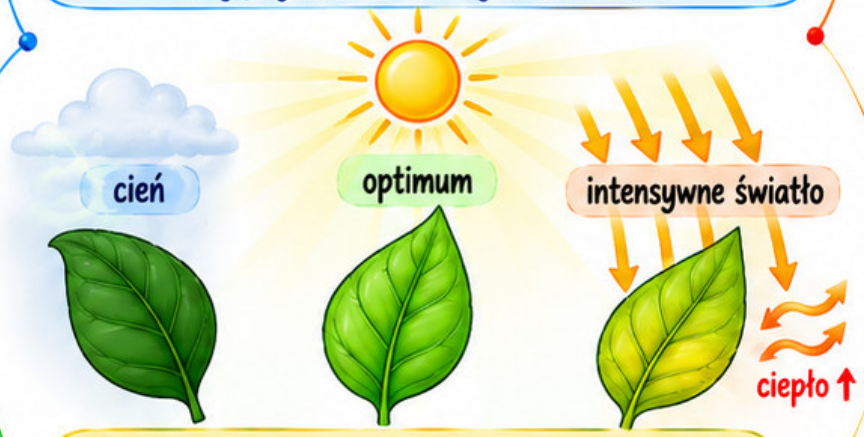


Unikanie cienia

Obniżony stosunek czerwonego do dalekiej czerwieni (R:FR) sygnalizuje obecność konkurujących roślin.



- Fitocrom odbiera ten sygnał.
- Uruchamiany jest program wzrostu.
- Dochodzi do wydłużania pedów i ogonków liściowych w kierunku światła.



ŚWIATŁO – ZA MAŁO VS ZA DUŻO

Rola światła w fotosyntezie

Światło jest źródłem energii, która napędza fazę jasną fotosyntezy (produkcję ATP i NADPH), umożliwiając asymilację CO_2 w fazie ciemnej.

ZA MAŁO	OPTYMALNIE	ZA DUŻO
fotosynteza ograniczona przez brak energii	energia efektywnie wykorzystywana	konieczność fotoprotekcji
	wysoka asymilacja CO_2	ryzyko ROS i fotoinhibicji

Fotoprotekcja

Roślina może bezpiecznie rozproszyć nadmiar energii świetlnej w postaci ciepła.

ciepło ↑

NPQ — nie-fotochemiczne wygaszanie energii

- ochrona fotosystemów,
- rozpraszanie nadmiaru energii jako ciepło,
- szybka, odwracalna odpowiedź.

Cykl ksantofilowy

Karotenoidy (np. luteina, zeaksantyna, wiolaksantyna) biorą udział w rozpraszaniu nadmiaru energii świetlnej i pomagają chronić fotosystemy.

wiolaksantyna → luteina → zeaksantyna → wiolaksantyna

Cykl ksantofilowy umożliwia efektywne wygaszanie nadmiaru energii.

Nadmiar światła

Gdy ilość zaabsorbowanej energii świetlnej przewyższa możliwości jej wykorzystania w fotosyntezie, w chloroplastach gromadzi się nadmiar energii.



Fotoinhibicja

Nadmierne światło, szczególnie w połączeniu z innym stresem, może prowadzić do spadku efektywności fotosystemu II (PSII) oraz uszkodzeń aparatu fotosyntetycznego.



ROS

Nadmiar energii świetlnej zwiększa ryzyko powstawania reaktywnych form tlenu (ROS) w chloroplastach.



Dużo światła + mało CO_2

susza → zamknięcie szparek → CO_2 ↓ → wykorzystanie energii ↓ → nadmiar energii świetlnej

Przykład z praktyki

Chłodny, słoneczny dzień może być stresujący dla roślin, ponieważ reakcje metaboliczne zachodzą wolniej, a chloroplasty nadal absorbują dużo energii świetlnej.



Metale ciężkie i toksyczność

Nadmiar metali ciężkich i metaloidów zaburza funkcjonowanie roślin, wpływając na korzenie, enzymy, błony komórkowe i metabolizm. Skutki zależą od rodzaju pierwiastka, jego stężenia, formy chemicznej i warunków środowiska (np. pH).

Nie wszystkie metale są szkodliwe

Nie wszystkie metale są dla roślin szkodliwe. Niektóre są pierwiastkami niezbędnymi, ale w nadmiarze również stają się toksyczne.

Niezbędne (w małych ilościach):

Fe Zn Cu Mn

- pełnią ważne funkcje w enzymach i metabolizmie
- w nadmiarze mogą być toksyczne

Niewymagane przez większość roślin uprawnych: Cd Pb

- nie pełnią znanych funkcji biologicznych
- mogą być szkodliwe już w bardzo niskich stężeniach

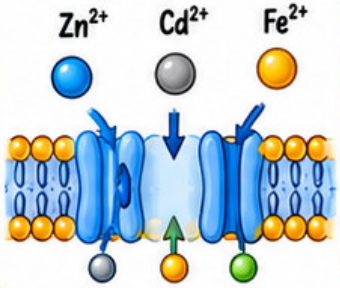
Korzeń jako pierwsza bariera

- Jony metali mogą wiązać się w ścianach komórkowych korzenia (np. z pektynami).
- Korzeń ogranicza transport do części nadziemnych.
- Część jonów może być aktywnie transportowana do wakuoli komórek korzenia.



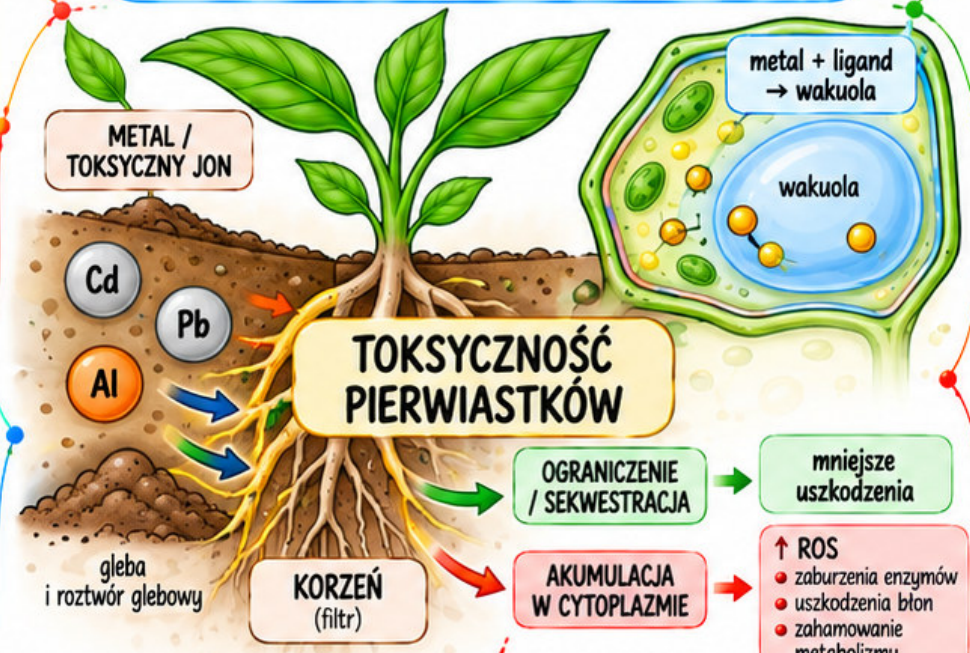
Konkurencja z pierwiastkami niezbędnymi

Toksyczne jony mogą korzystać z tych samych transporterów co pierwiastki odżywcze, przez co zaburzają pobieranie i gospodarkę mineralną roślin.



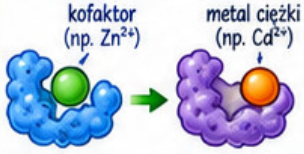
Skutki:

- mniejsza dostępność pierwiastków niezbędnych
- zaburzenia proporcji składników mineralnych
- objawy niedoborów mimo ich obecności w glebie



Enzymy

Nadmiar metali może wiązać się z białkami i enzymami, wypierając właściwe kofaktory i zmieniając ich aktywność.



Skutki:

- spadek aktywności enzymów
- blokowanie ważnych szlaków metabolicznych
- zaburzenia wzrostu i rozwoju

System korzeniowy

Toksyczne metale często powodują:

- skrócenie korzeni
- mniej rozgałęzień bocznych
- brunatnienie korzeni
- uszkodzenia merystemów wierzchołkowych



Skutki:

- słabsze pobieranie wody i składników pokarmowych
- ograniczenie wzrostu rośliny
- większa wrażliwość na suszę i inne stresy

ROS – stres oksydacyjny

Częstą konsekwencją działania metali jest zwiększona produkcja reaktywnych form tlenu (ROS).



- peroksydacja lipidów
- uszkodzenia błon komórkowych
- stres oksydacyjny
- zaburzenia metabolizmu

pH ma znaczenie

pH gleby silnie wpływa na rozpuszczalność metali, a tym samym na ich dostępność dla roślin. Toksyczność zależy nie tylko od całkowitej zawartości w glebie, ale także od jej odczynu.

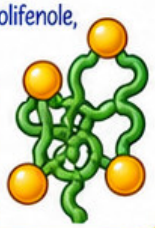


Detoksykacja

Rośliny wytwarzają związki wiążące metale, które zmniejszają ich toksyczność.

- **fitochelatyny** – peptydy bogate w cysteinę
- **metalotioneiny** – małe białka wiążące metale
- **inne ligandy** – np. kwasy organiczne, polifenole, aminokwasy

Powstałe kompleksy mogą być transportowane do wakuoli, gdzie są izolowane od wrażliwych procesów komórkowych.



Unikanie transportu

- Wiele roślin ogranicza przemieszczanie toksycznych jonów z korzenia do części nadziemnych (blokada w endodermie, sekwestracja w korzeniu).
- Niektóre gatunki (tzw. hiperakumulatory) mogą jednak gromadzić bardzo duże stężenia metali w liściach, nie wykazując silnych objawów toksyczności.



Ograniczenie transportu to ważna strategia ochronna.

Fotosynteza

Metale ciężkie mogą powodować:

- spadek zawartości chlorofilu
- zahamowanie transportu elektronów
- uszkodzenia chloroplastów
- ograniczenie intensywności fotosyntezy



Skutki:

- mniejsza produkcja asymilatów
- słabszy wzrost i plonowanie
- objawy chloroz i nekroz liści

Przykład z praktyki

Na glebach bardzo kwaśnych dostępność glinu (Al) w formach toksycznych może gwałtownie wzrosnąć, co prowadzi do hamowania wydłużania korzeni.



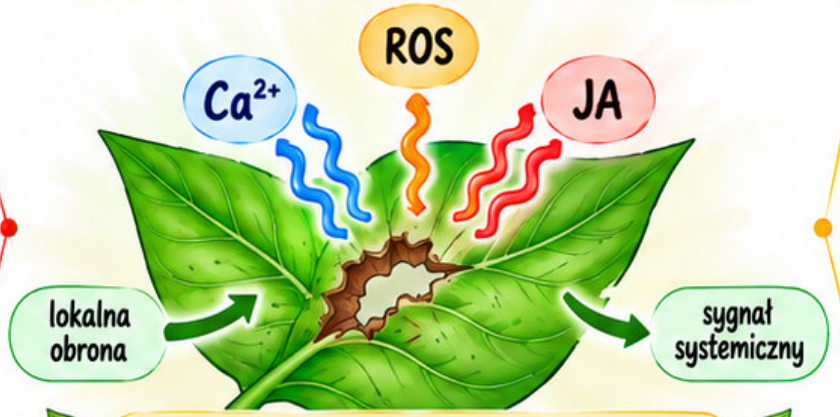
Skutki:

- krótsze korzenie
- zahamowanie wzrostu
- uszkodzenia merystemów wierzchołkowych

Uszkodzenia mechaniczne

Uszkodzenia mechaniczne to nie tylko fizyczne przerwanie tkanek, ale także silny sygnał, który uruchamia kaskadę reakcji obronnych i zmiany metaboliczne w roślinie.

Źródła uszkodzeń:
grad • wiatr • maszyny • zgryzanie • owady • pękanie tkanek • zabiegi agrotechniczne



RANA = SYGNAŁ DO OBRONY

Kolejność głównych wydarzeń po uszkodzeniu

USZKODZENIE
(przerwanie tkanek)
↓
Ca^{2+} + ROS + JA
(sygnały w komórkach)
↓
GENY OBRONNE
(ekspresja genów)
↓
BARIERA + METABOLITY OBRONNE
(fizyczne i chemiczne mechanizmy ochrony)

1. Przerwanie tkanek

Uszkodzenie mechaniczne powoduje zniszczenie błon komórkowych, ścian komórkowych, naczyń oraz skórki i kutykuli.



Skutki:
- natychmiastowa utrata wody (większa transpiracja)
- odsłonięcie wewnętrznych tkanek na działanie czynników zewnętrznych
- przerwanie ciągłości bariery ochronnej rośliny.

2. Utrata elektrolitów

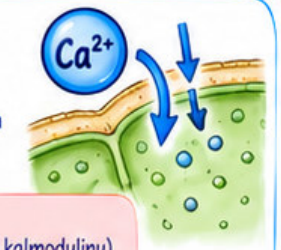
Uszkodzone komórki uwalniają jony (np. K^+, Cl^-), metabolity (cukry, aminokwasy) oraz fragmenty ściany komórkowej do przestrzeni zewnątrzkomórkowej.



Skutki:
- wzrost stężenia jonów i metabolitów w miejscu rany
- niektóre z nich działają jako cząsteczki alarmowe (DAMPs – wzorce molekularne uszkodzenia)
- aktywacja receptorów i szlaków sygnałowych.

3. Ca^{2+}

Uszkodzenie tkanek powoduje szybki wzrost stężenia Ca^{2+} w cytoplazmie komórek. Ca^{2+} jest jednym z pierwszych sygnałów, który inicjuje dalsze reakcje obronne w roślinie.



Skutki:
- aktywacja białek czujnikowych (np. kalmoduliny)
- uruchomienie szlaków sygnałowych (MAPK)
- zmiany w ekspresji genów obronnych.

4. ROS – reaktywne formy tlenu

W miejscu uszkodzenia szybko rośnie poziom reaktywnych form tlenu (ROS), takich jak nadtlenek wodoru (H_2O_2) czy anionorodnik ponadtlenkowy ($O_2^{\cdot-}$).



Skutki:
- ROS działają jako cząsteczki sygnałowe
- wzmacniają odpowiedź obronną
- nadmierne ROS mogą prowadzić do uszkodzeń – dlatego muszą być później kontrolowane przez systemy antyoksydacyjne.

5. Jasmoniany

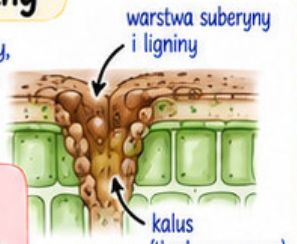
Uszkodzenia mechaniczne, szczególnie powodowane przez roślinożerców, prowadzą do wzrostu poziomu JA – kwasu jasmonowego i jasmonianów, które regulują ekspresję genów obronnych.



Skutki:
- uruchomienie genów odpowiedzialnych za obronę
- zwiększona produkcja metabolitów obronnych (np. inhibitorów proteaz, związków fenolowych)
- przygotowanie tkanek na dalsze uszkodzenia.

6. Zamknięcie rany

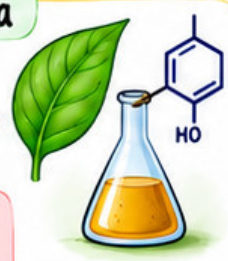
Roślina może tworzyć warstwy suberyny, ligniny, kalus oraz inne struktury, które ograniczają utratę wody i utrudniają wnikanie patogenów.



Skutki:
- ograniczenie utraty wody
- uszczelnienie uszkodzonych tkanek
- utrudnienie wnikania patogenów.

7. Obrona chemiczna

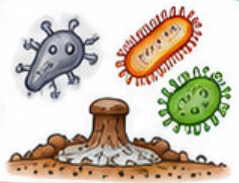
Uszkodzenia mechaniczne stymulują zwiększoną produkcję związków obronnych, np. związków fenolowych, inhibitorów proteaz, alkaloidów, terpenów i innych metabolitów wtórnych.



Skutki:
- związki te zniechęcają roślinożerców
- ograniczają rozwój patogenów
- wzmacniają odporność całej rośliny.

8. Ryzyko infekcji

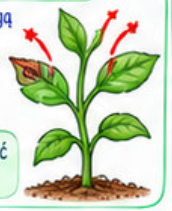
Rany są naturalnymi wrotami zakażeń dla grzybów, bakterii i innych patogenów. Szybkie zamknięcie rany i aktywacja obrony chemicznej zmniejszają ryzyko infekcji.



Skutki:
- większe ryzyko infekcji po uszkodzeniu
- szybka reakcja obronna ogranicza rozwój patogenów
- połączenie barier fizycznych i chemicznych skutecznie chroni roślinę.

Odpowiedź lokalna i systemiczna

Sygnały powstałe w uszkodzonym liściu mogą przemieszczać się do innych części rośliny (np. przez floem), dzięki czemu nienaruszone tkanki wcześniej wchodzą w stan gotowości obronnej (priming).



Uszkodzenie jednego liścia może zwiększyć odporność całej rośliny.

Przykład z praktyki



Gąsienica, żerując na liściu, nie tylko usuwa tkankę roślinną, ale także wywołuje wzrost poziomu jasmonianów. W efekcie w pozostałych tkankach liścia i innych liściach roślina zwiększa produkcję związków obronnych (np. inhibitorów proteaz i związków fenolowych), co utrudnia dalsze żerowanie.

Żerowanie owadów to nie tylko strata tkanki, ale także silny sygnał do obrony.

Sygnalizacja stresu biotycznego

Rośliny nie są bezbronne. Rozpoznają oznaki obecności patogenów i uruchamiają złożone mechanizmy obronne. Od pierwszych barier, przez sygnalizację, aż po silne reakcje odpornościowe.



Pierwsza bariera

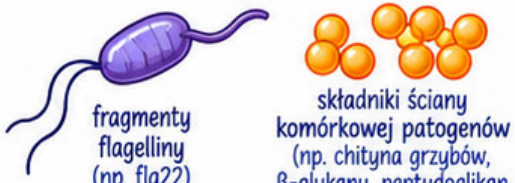
Roślina posiada wbudowane, stałe mechanizmy ochronne, które utrudniają wnikanie patogenów.



- kutykula (woskowa warstwa ochronna)
- ściana komórkowa (mocna struktura mechaniczna)
- zamknięte aparaty szparkowe (ograniczają wnikanie)
- istniejące związki obronne (np. fitoaleksyny, związki fenolowe)

Rozpoznanie wzorców

Roślina wykrywa charakterystyczne struktury drobnoustrojów (tzw. wzorce molekularne, PAMPs) za pomocą receptorów na powierzchni komórek (PRR).



- fragmenty flagelliny (np. flg22)
- składniki ściany komórkowej patogenów (np. chityna grzybów, β-glukany, peptydoglikan bakterii)

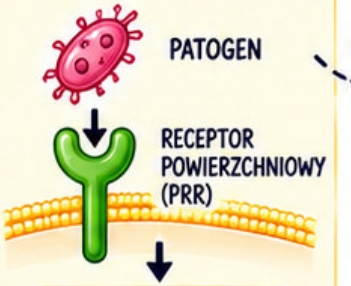
PTI = Pattern-Triggered Immunity

Po rozpoznaniu wzorców patogenu roślina uruchamia wczesne mechanizmy obronne:

- wzrost stężenia Ca^{2+} w komórce,
- szybka produkcja reaktywnych form tlenu (ROS),
- aktywacja kinaz (kaskady sygnałowe),
- zmiany ekspresji genów obronnych,
- wzmocnienie ściany komórkowej (np. odkładanie kalusu, ligniny).

sygnały wewnątrz komórki uruchamiają odpowiedź obronną

POZIOM 1 — PTI

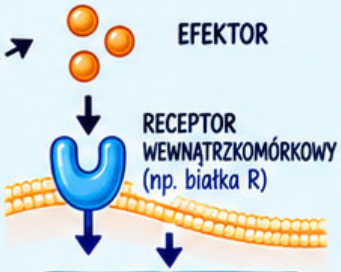


patogen może dostarczyć efektory

jeśli patogen unika PTI

roślina może wykryć efektor i uruchomić ETI

POZIOM 2 — ETI



Odporność nie jest jednym przełącznikiem

Roślina integruje wiele informacji, m.in.:

- ☑ rodzaj patogenu (biotrof, nekrotrof),
- ☑ miejsce infekcji i typ tkanki,
- ☑ sygnały hormonalne (SA, JA, etylen),
- ☑ poziom ROS i Ca^{2+},
- ☑ stan odżywienia rośliny,
- ☑ warunki środowiska (temperatura, susza itp.).

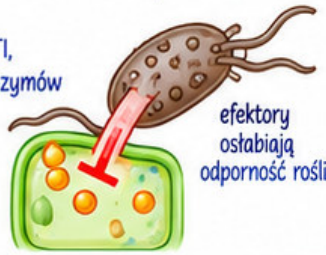


Odpowiedź obronna jest dostosowana do konkretnej sytuacji.

Efektory patogenu

Niektóre patogeny wytwarzają wyspecjalizowane białka – **efektory**, które są wprowadzane do komórek rośliny. Ich zadaniem jest osłabienie odporności rośliny, np. poprzez:

- hamowanie sygnalizacji PTI,
- blokowanie aktywności enzymów obronnych,
- zmiana ekspresji genów rośliny,
- ułatwianie kolonizacji tkanek.



efektory osłabiają odporność rośliny

Receptory wewnątrzkomórkowe

Roślina może posiadać białka odporności (R), które rozpoznają obecność efektorów patogenu lub ich działanie w komórce roślinnej.

- receptory najczęściej znajdują się wewnątrz komórki (w cytoplazmie lub jądrze),
- mogą wykrywać bezpośrednio efektor lub pośrednio skutki jego działania (np. zmiany w białkach gospodarza).



ETI = Effector-Triggered Immunity

Rozpoznanie efektora przez receptor wewnątrzkomórkowy uruchamia silną odpowiedź obronną, która może obejmować:

- szybką i intensywną produkcję ROS,
- silną ekspresję genów obronnych,
- wzmocnienie ściany komórkowej,
- HR — reakcję nadwrażliwości (lokalną, kontrolowaną śmierć komórek wokół miejsca infekcji).



HR — lokalna śmierć komórek ogranicza rozprzestrzenianie się patogenu

Kwas salicylowy — SA

SA często odgrywa kluczową rolę w odpowiedzi na patogeny biotroficzne (np. mączniaki, niektóre bakterie) oraz w odporności systemicznej (nabytej, SAR).



SA = odporność na biotrofów i SAR

JA + etylen

Jasmoniany (JA) i etylen często uczestniczą w odpowiedzi na patogeny nekrotroficzne, uszkodzenia mechaniczne oraz roślinożerców (np. owady).



JA + etylen = odporność na nekrotrofy, uszkodzenia i roślinożerców

Przykład z praktyki



Jeśli patogen blokuje część podstawowej odporności (PTI) za pomocą efektorów, to roślina wyposażona w odpowiedni receptor odporności może wykryć ten efektor i uruchomić silniejszą odpowiedź (ETI), często z reakcją nadwrażliwości, co skutecznie ogranicza rozwój patogenu.

Regulacja osmotyczna

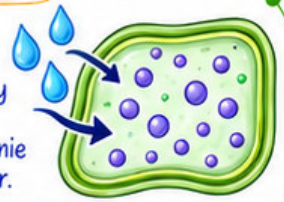
Podczas suszy lub zasolenia potencjał wodny środowiska spada (staje się bardziej ujemny).
Aby nadal pobierać lub zatrzymywać wodę, komórka może obniżyć własny potencjał osmotyczny, zwiększając stężenie substancji osmotycznie czynnych (osmolity).

JAK KOMÓRKA UTRZYMUJE WODĘ?



Osmoregulacja

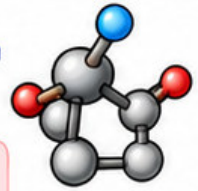
Zwiększenie stężenia substancji osmotycznie czynnych w komórce sprawia, że jej potencjał osmotyczny (Ψ_s) staje się bardziej ujemny, co ułatwia pobieranie i zatrzymywanie wody oraz pomaga utrzymać turgor.



Skutki:
- większa zdolność do utrzymania wody
- lepsza tolerancja na suszę i zasolenie
- utrzymanie procesów życiowych

Prolina

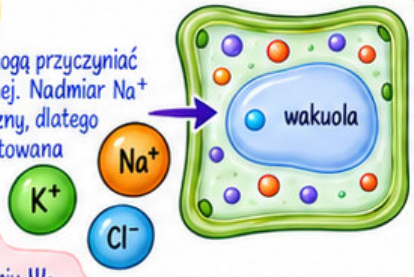
Prolina może gromadzić się w komórkach roślin w odpowiedzi na stres osmotyczny (suszę, zasolenie).



Funkcje:
- osmoregulacja (obniża Ψ_s)
- stabilizacja białek i błon komórkowych
- udział w kontroli stresu oksydacyjnego (ROS)

Jony

Jony (np. K^+, Cl^-, Na^+) mogą przyczyniać się do regulacji osmotycznej. Nadmiar Na^+ w cytoplazmie jest toksyczny, dlatego część jonów jest transportowana do wakuoli.



Skutki:
- udział jonów w obniżaniu Ψ_s
- sekwestracja Na^+ do wakuoli zmniejsza toksyczność
- utrzymanie równowagi jonowej i wodnej

Koszt energetyczny

Synteza osmolitów i ich transport do komórek oraz wakuoli wymagają energii (ATP), węgla (produktów fotosyntezy) oraz aktywnego transportu.

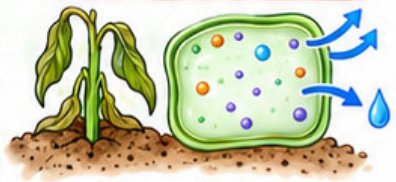


Skutki:
- wymaga nakładów energetycznych i węgla
- może ograniczać wzrost w długim stresie
- jest efektywna, gdy zapewnia przetrwanie rośliny

Przykład z praktyki

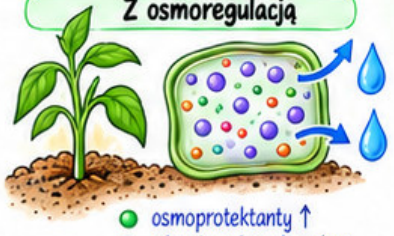
Dwie rośliny tego samego gatunku, rosnące w tych samych warunkach niedoboru wody, mogą różnić się zdolnością do utrzymania turgoru, jeśli jedna z nich skuteczniej gromadzi osmoprotektanty.

Bez osmoregulacji



- woda opuszcza komórkę
- turgor spada
- roślina więdnie

Z osmoregulacją



- osmoprotektanty ↑
- więcej wody w komórce
- turgor utrzymany
- lepsza kondycja rośliny

Cukry rozpuszczalne

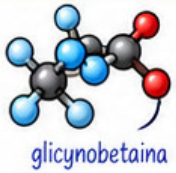
Sacharoza, glukoza, fruktoza i inne cukry mogą gromadzić się w komórkach w odpowiedzi na stres wodny.



Funkcje:
- obniżanie potencjału osmotycznego
- stabilizacja struktur komórkowych (białek i błon)
- źródło energii po ustąpieniu stresu

Betainy i inne osmoprotektanty

Niektóre gatunki roślin gromadzą glicynobetainę i inne kompatybilne osmoprotektanty (np. poliole, trehalozę).



Funkcje:
- obniżanie potencjału osmotycznego
- ochrona białek, enzymów i błon
- stabilizacja struktur komórkowych w warunkach stresu

Turgor

Skuteczna osmoregulacja pomaga utrzymać objętość komórek, co warunkuje wzrost, funkcjonowanie aparatów szparkowych i aktywność metaboliczną rośliny.



Znaczenie:
- utrzymanie wzrostu i rozwoju
- sprawne działanie aparatów szparkowych
- ciągłość procesów metabolicznych

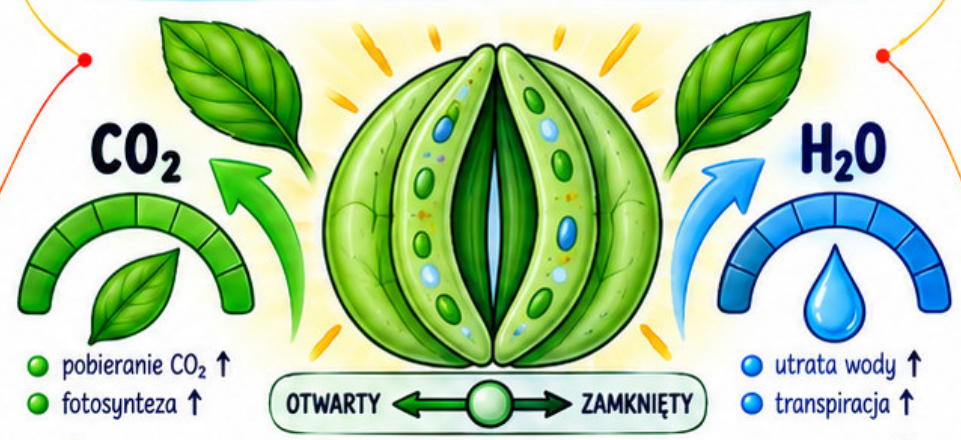
Nie myl

Osmoregulacja = aktywne dostosowanie składu osmotycznego komórki (reakcja adaptacyjna).

To nie to samo, co proste odwodnienie komórki, które prowadzi do utraty turgoru i zaburzeń funkcjonowania.

Reakcja aparatów szparkowych na stres

Aparaty szparkowe dynamicznie reagują na zmiany warunków środowiska, aby utrzymać równowagę między pobieraniem CO_2 a stratą wody oraz zapewnić przetrwanie i prawidłowy rozwój roślin.



Funkcja podstawowa

Aparaty szparkowe regulują wymianę gazową i gospodarkę wodną rośliny, kontrolując kompromis między pobieraniem CO_2 a utratą wody.



- CO_2 umożliwia fotosyntezę i budowę asymilatów.
- Utrata wody (transpiracja) chłodzi roślinę i umożliwia transport składników.

Susza

Niedobór wody prowadzi do wzrostu stężenia ABA (kwasu abscysynowego), który uruchamia sygnalizację w komórkach szparkowych.



- ABA ↑ w liściach
- odpływ anionów (np. Cl^-) i K^+ z komórek szparkowych
- woda opuszcza komórki szparkowe
- spadek turgoru
- szparka się zamyka

Zamknięcie szparek ogranicza utratę wody.

Zasolenie

Wysokie stężenie soli w glebie powoduje stres osmotyczny, który uruchamia mechanizmy podobne do suszy.



- wzrost stężenia ABA
- ograniczenie otwierania szparek
- zmniejszona przewodność szparkowa (g_s)

Roślina ogranicza utratę wody, ale zmniejsza pobieranie CO_2.

Wilgotność powietrza

Niska wilgotność powietrza zwiększa gradient ciśnienia pary wodnej między liściem a atmosferą, co przyspiesza utratę wody.



- większa transpiracja
- roślina może zmniejszyć przewodność szparkową
- ograniczenie straty wody

Przy niskiej wilgotności roślina częściej zamyka szparki.

Kompromis – dwa skrajne stany

SZPARKA OTWARTA



- CO_2 ↑ (większy dopływ)
- fotosynteza ↑
- utrata H_2O ↑
- ryzyko odwodnienia ↑

SZPARKA ZAMKNIĘTA



- utrata H_2O ograniczona
- CO_2 ↓ (mniejszy dopływ)
- fotosynteza może ↓
- ochrona przed stresem wodnym i patogenami

CO_2

Wyższe stężenie CO_2 wewnątrz liścia może sprzyjać częściowemu zamykaniu szparek.



- roślina ogranicza dopływ CO_2, gdy jego stężenie jest wysokie
- zmniejsza to utratę wody

Wysokie CO_2 często powoduje częściowe zamknięcie szparek.

Wysoka temperatura

Wysoka temperatura może mieć różne skutki w zależności od dostępności wody.



Gdy woda jest dostępna:

- ☑ większe otwarcie szparek
- ☑ zwiększona transpiracja
- ☑ chłodzenie liści (parowanie wody)

Gdy brakuje wody:

- transpiracja jest ograniczona
- szparki pozostają zamknięte
- temperatura liści może wzrastać



Transpiracja pomaga chłodzić roślinę, ale tylko gdy dostępna jest woda.

Nie istnieje idealne ustawienie

Optymalne otwarcie szparek zależy od wielu czynników:



Światło

Światło, zwłaszcza niebieskie, sprzyja otwieraniu szparek.

- niebieskie światło aktywuje fotoreceptory w komórkach szparkowych
- wzrasta napływ jonów K^+
- zwiększa się turgor komórek
- szparki się otwierają



Światło umożliwia fotosyntezę, dlatego sprzyja otwarciu szparek.

Patogeny

Rośliny mogą zamykać szparki w ramach odporności wrodzonej. Niektóre patogeny próbują manipulować tym mechanizmem, aby ułatwić sobie wnikanie do liści.



- sygnały obronne (np. kwas salicylowy) mogą prowadzić do zamknięcia szparek
- niektóre patogeny wydzielają czynniki, które utrzymują szparki otwarte

Zamykanie szparek ogranicza wnikanie patogenów.

Przykład z praktyki – susza



W czasie suszy zamknięcie szparek skutecznie ogranicza utratę wody, co zwiększa szanse przetrwania rośliny.

- mniejsza utrata wody = większa tolerancja suszy
- koszt: mniej CO_2 → niższa fotosynteza → mniejsza produkcja asymilatów

To kompromis:

- ☑ ochrona przed odwodnieniem
- ☑ ale mniejszy wzrost i plon.

Architektura korzeni w stresie

Korzenie to dynamiczne organy, które zmieniają swoją architekturę w odpowiedzi na dastępność wody, składników mineralnych, tlenu oraz przeszkody w glebie.



KORZEŃ ZMIENIA STRATEGIĘ

Plastyczność korzeni

Architektura korzeni nie jest stała – roślina może zmieniać ją w zależności od warunków.



- długość korzenia głównego
- liczba korzeni bocznych
- kąt wzrostu korzeni
- liczba włośników korzeniowych

Lokalne zasoby

Korzenie mogą silniej się rozgałęziać w strefach bogatych w składniki pokarmowe (np. azot, fosfor) lub wodę.



Skutki:

- lokalne zagęszczenie korzeni
- lepsze pobieranie zasobów
- większa efektywność wykorzystania składników

Fosfor

Fosfor jest słabo mobilny w glebie, dlatego korzystne są cechy:

- większy kontakt z górnymi warstwami gleby
- intensywny rozwój korzeni bocznych
- współpraca z grzybami mikoryzowymi

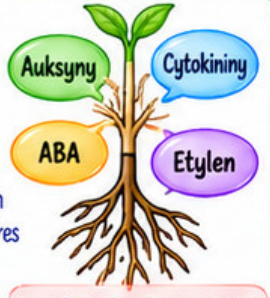


mikoryza zwiększa powierzchnię chłonną

Hormony

Architektura korzeni jest regulowana przez hormony, których poziom zmienia się pod wpływem sygnałów środowiskowych.

- auksyny – stymulują wzrost i tworzenie korzeni bocznych
- cytokininy – hamują rozwój korzeni bocznych
- ABA (kwas abscysynowy) – odpowiedź na stres wodny, promuje wzrost w głąb
- etylen – może hamować wydłużanie korzeni (np. przy zagęszczeniu, zalaniu)

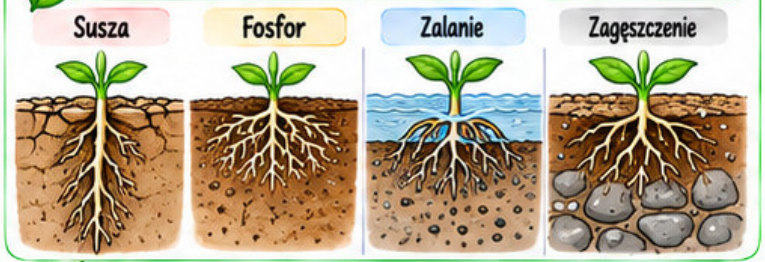


Sygnały środowiskowe zmieniają równowagę hormonów.

KORZEŃ PYTA: GDZIE SĄ ZASOBY?

WODA GŁĘBIEJ	P LOKALNIE	BRAK O_2	ZAGĘSZCZENIE
wzrost w dół	silne rozgałęzianie	przebudowa i korzenie przybyszowe	ograniczone wnikanie

Przykłady architektury korzeni w różnych warunkach



Przykład z praktyki

Roślina może mieć dużą masę korzeni, ale jeśli większość korzeni znajduje się w przesuszonej górnej warstwie gleby, pobieranie wody pozostaje ograniczone.



Dużo korzeni w suchej warstwie ≠ wysokie pobieranie wody.

Susza

W warunkach niedoboru wody roślina może inwestować więcej w wzrost korzenia głównego i eksplorację głębszych warstw gleby.

- głębszy system korzeniowy
- mniej, ale dłuższe korzenie boczne
- nie wszystkie gatunki reagują tak samo

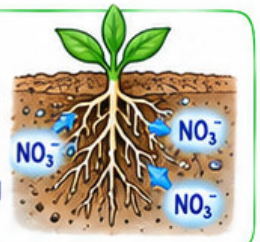


Poszukiwanie wody w głębszych warstwach gleby.

Azot

Azotany są bardziej mobilne w glebie, dlatego roślina może kierować wzrost korzeni w stronę stref o wyższej dostępności azotu.

- kierunkowy wzrost korzeni
- większa liczba korzeni bocznych w strefie N
- lepsze wykorzystanie dostępnego azotu



Zalanie

Niedobór tlenu w glebie może hamować wzrost niektórych korzeni. Część gatunków odpowiada:

- tworzeniem korzeni przybyszowych
- rozwojem przestworów powietrznych (aerenchymy)
- płytszym systemem korzeniowym



Korzenie przybyszowe ułatwiają pobieranie tlenu.

Zagęszczenie gleby

Wysoka odporność mechaniczna gleby hamuje wydłużanie korzeni, może powodować ich pogrubienie i ogranicza wnikanie w głąb profilu.

- wolniejszy wzrost korzeni
- grubsze korzenie
- ograniczone penetrowanie głębszych warstw



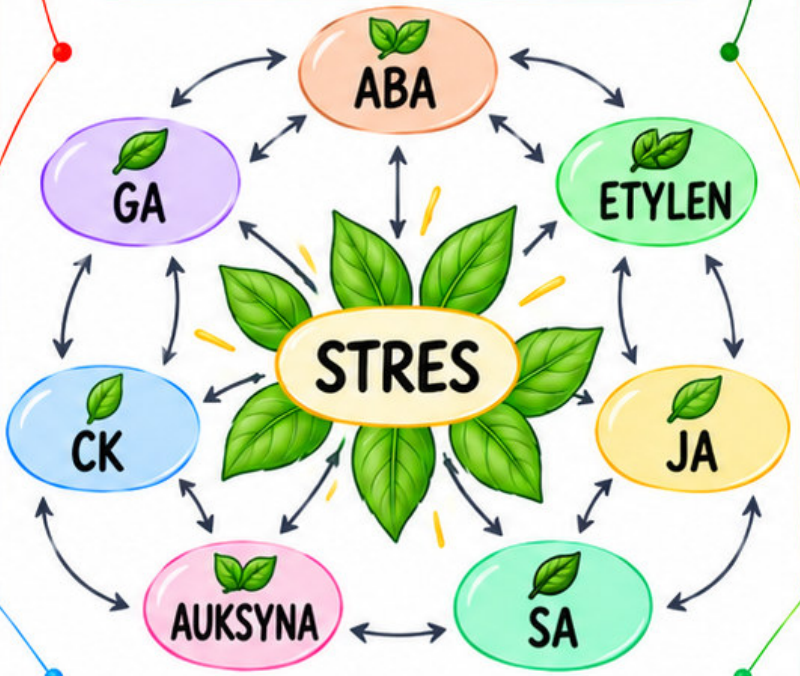
Korzenie napotykają opór mechaniczny.

Większy korzeń nie zawsze = lepszy

- Liczy się lokalizacja korzeni.
- Ważna jest ich aktywność fizjologiczna.
- Istotne jest zdrowie i żywotność korzeni.
- Kluczowy jest kontakt z zasobami.
- Należy uwzględnić koszt energetyczny budowy i utrzymania korzeni.

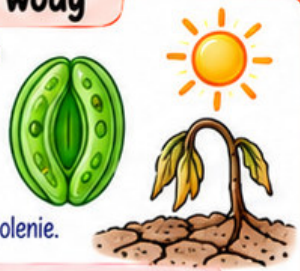
Hormony stresu

Roślina nie pyta „który hormon działa?”,
lecz **integruje wiele sygnałów jednocześnie.**



ABA – deficyt wody

- Zamykanie aparatów szparkowych (zmniejszenie utraty wody).
- Indukcja spoczynku nasion.
- Regulacja genów związanych ze stresem.
- Udział w odpowiedzi na suszę i zasolenie.



ABA pomaga przetrwać niekorzystne warunki, ograniczając utratę wody i wzrost.

GIBERELINY (GA)

- W warunkach stresu silniejsza sygnalizacja związana z GA może być hamowana.
- Ograniczenie wydłużania pędów.
- Zmniejszenie kosztu energetycznego wzrostu.



Hamowanie sygnalizacji GA w stresie pomaga oszczędzać zasoby rośliny.

CYTOKININY (CK)

- Wpływ na podziały komórkowe.
- Opóźnianie starzenia (senescencji).
- Regulacja relacji źródło–ujście (source–sink).
- Udział w przebudowie wzrostu podczas stresu.



CK pomagają utrzymać aktywność komórek i równowagę wzrostu, także w stresie.

Cross-talk

Cross-talk hormonalny oznacza, że szlaki hormonalne mogą wzajemnie wzmacniać, osłabiać lub modyfikować swoje działanie.



ETYLEN – przebudowa wzrostu

- Ważny w zalewaniu (niedobór tlenu),
- uszkodzeniach mechanicznych,
- starzeniu, infekcjach i dojrzewaniu owoców.
- Może zmieniać wydłużanie pędów, indukować korzenie przybyszowe i przyspieszać zrzucanie organów.



Etylen pomaga roślinie dostosować wzrost i przeżyć trudne warunki.

JASMONIANY (JA) – uszkodzenie i roślinożercy

- Silnie związane z uszkodzeniami mechanicznymi.
- Ważne w odpowiedzi na atak owadów (roślinożerców).
- Uczestniczą w odpowiedzi na niektóre patogeny nekrotroficzne.



JA uruchamiają mechanizmy obrony i mogą ograniczać wzrost, by skierować zasoby na obronę.

KWAS SALICYLOWY (SA)

- Szczególnie ważny w obronie przed niektórymi patogenami (np. biotroficznymi).
- Uczestniczy w odpowiedziach ogólnoustrojowych (np. nabyta odporność systemiczna).



SA pomaga uruchomić lokalną i ogólnoustrojową odporność rośliny.

HORMONY = SIEĆ, NIE POJEDYNCZY SYGNAŁ

Efekt odpowiedzi rośliny na stres zależy od interakcji między hormonami, ich stężenia, czasu działania i wrażliwości tkanek.

Przykłady z życia rośliny

1. Susza

- ABA ↑ → zamykanie aparatów szparkowych → ograniczenie wzrostu.
- Zmiany w auksynie mogą prowadzić do przebudowy systemu korzeniowego.



2. Atak roślinożercy

- JA ↑ → obrona chemiczna (np. związki odstraszające).
- Wzrost może być ograniczony, aby skierować zasoby na obronę.



3. Patogen

- SA i JA mogą działać różnie w zależności od trybu życia patogenu (np. biotroficzny vs nekrotroficzny).
- Nie zawsze działają antagonistycznie – ich rola zależy od kontekstu infekcji.



Aklimatyzacja, priming i odporność

Wcześniejszy, łagodny stres może zmienić sposób, w jaki roślina reaguje na kolejne stresy. Roślina potrafi „pamiętać" stres, dzięki czemu jej odpowiedź może być szybsza i skuteczniejsza.



ROŚLINA MOŻE „PAMIĘTAĆ" STRES

PIERWSZY ŁAGODNY STRES
↓
SYGNAŁ + PRZEBUDOWA
↓
PRIMING / GOTOWOŚĆ
↓
DRUGI STRES
↓
SZYBSZA / SILNIEJSZA ODPOWIEDŹ

Aklimatyzacja

Odwracalna zmiana procesów fizjologicznych, która pozwala roślinie lepiej funkcjonować w nowych warunkach środowiska.



Przykłady:
- hartowanie na chłód (zwiększenie mrozoodporności)
- adaptacja do silniejszego światła (więcej pigmentów)
- odpowiedź na stopniowy deficyt wody (oszczędzanie wody, zmiany w transpiracji)

Aklimatyzacja zwiększa tolerancję na stres, ale zwykle nie daje pełnej odporności.

Pierwszy stres

Łagodny bodziec uruchamia sygnalizację w komórce, zmienia ekspresję genów, aktywuje enzymy obronne i może prowadzić do przebudowy metabolizmu.



Przykłady:
- umiarkowany chłód
- niewielki niedobór wody
- słone zasolenie
- podwyższone światło UV
- łagodna infekcja patogenu

Pierwszy stres jest na tyle łagodny, że nie powoduje poważnych uszkodzeń, ale stanowi sygnał ostrzegawczy.

Priming

Po pierwszym bodźcu roślina może wejść w stan podwyższonej gotowości. Mechanizmy obronne nie muszą działać stale na wysokim poziomie, ale podczas kolejnego stresu reakcja może być szybsza i silniejsza.

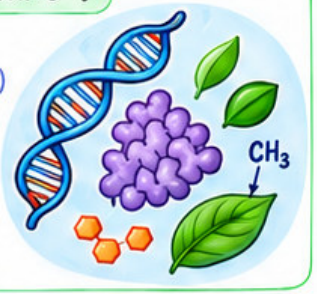


Efekty primingu:
- szybsza aktywacja obrony
- silniejsza odpowiedź
- mniejsze uszkodzenia
- bardziej efektywne wykorzystanie zasobów

Priming pozwala zapłacić mniejszy koszt energetyczny niż stała, pełna aktywacja wszystkich mechanizmów obronnych.

Co może być „zapamiętane"?

- zmiana ekspresji genów
- określone poziomy białek (np. enzymów obronnych)
- stan chromatyny (np. modyfikacje histonów)
- metabolity (np. cukry, związki fenolowe)
- aktywność układów antyoksydacyjnych
- gotowość szlaków hormonalnych (np. ABA, JA, SA)



Koszt primingu

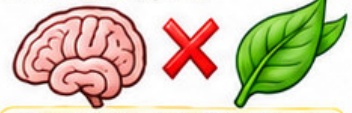
Podwyższona gotowość może wiązać się z kosztem.
- mniejszy wzrost i plon
- większe zużycie energii
- przesunięcie zasobów z rozwoju na obronę
- możliwe kompromisy między odpornością a wydajnością



Obrona wymaga zasobów.

Pamięć nie oznacza mózgu

Rośliny nie mają mózgu ani świadomości. „Pamięć stresu" oznacza trwałe zmiany molekularne i fizjologiczne, które wpływają na późniejszą odpowiedź rośliny, a nie świadome zapamiętywanie.



To biologiczna „pamięć" komórkowa, nie psychologiczna pamięć.

Stres homologiczny

Pierwszy i drugi stres są podobne. Np. łagodny chłód → silniejszy chłód.



Wcześniejszy chłód może zwiększyć mrozoodporność.

Cross-tolerance

Jeden rodzaj pierwszego stresu może zwiększać tolerancję na inny stres.



Cross-tolerance może występować, ale nie jest regułą. Zależy od gatunku, warunków i siły bodźca.

Przykład z praktyki

Roślina stopniowo hartowana na chłód może przebudować błony komórkowe (więcej nienasyconych kwasów tłuszczowych) i zgromadzić związki ochronne (np. cukry, białka antyzamarzaniowe), zanim nadejdą silniejsze mrozy.



Stopniowe hartowanie na chłód → Lepsza tolerancja na silniejszy mróz

Mega-blok podsumowujący moduł 04



1. PERCEPCJA
2. Ca^{2+} / ROS / HORMONY
3. GENY I ENZYMY
4. ZMIANA FIZJOLOGII
5. AKLIMATYZACJA LUB USZKODZENIE

SUSZA • SÓL • TEMPERATURA • ZALANIE • ŚWIATŁO • PATOGEN
Wszystkie te stresy częściowo korzystają ze wspólnych sieci sygnalizacyjnych.

PERCEPCJA → SYGNAŁ → OBRONA → AKLIMATYZACJA

Główna myśl na zakończenie:

Odporność rośliny nie polega na braku reakcji na stres. Polega na zdolności do szybkiego wykrycia zmiany, ograniczenia uszkodzeń i przywrócenia równowagi.

Moduł 05

Działanie herbicydów

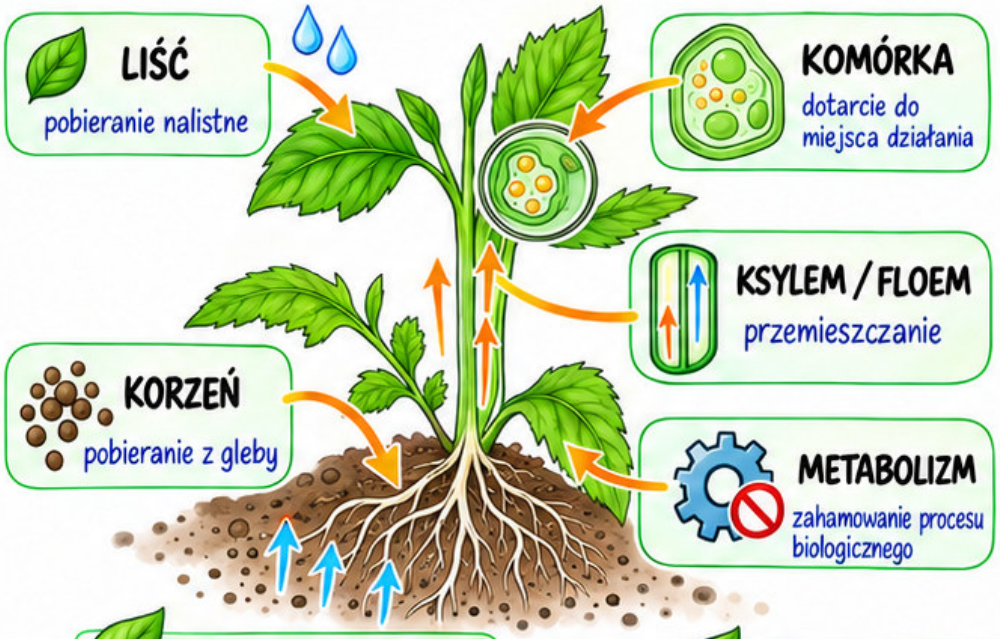
Jak substancja czynna dociera do miejsca działania, zaburza określony proces metaboliczny i dlaczego chwasty mogą stać się odporne.

Cel modułu

Po zakończeniu modułu użytkownik powinien rozumieć różnicę pomiędzy miejscem działania, mechanizmem działania, selektywnością i odpornością oraz potrafić logicznie połączyć objaw fitotoksyczności z procesem fizjologicznym zaburzonym przez daną grupę herbicydów.

Słowa-klucze na subcapie

- selektywność
- pobieranie
- translokacja
- miejsce działania
- enzym
- fotosynteza
- odporność
- fitotoksyczność



Mini-schemat modułu

APLIKACJA
↓
POBRANIE
↓
TRANSPORT
↓
MIEJSCE DZIAŁANIA
↓
ZABURZENIE METABOLIZMU
↓
OBJAWY
↓
ZAHAMOWANIE WZROSTU / OBUMIERANIE

Ważne rozróżnienie

MIEJSCE DZIAŁANIA = konkretny enzym, białko lub proces będący bezpośrednim celem substancji czynnej.

MECHANIZM DZIAŁANIA = ciąg zmian metabolicznych prowadzący od oddziaływania z celem do objawów i efektu biologicznego.

Kierunek wizualny

Białe tło.

Dominują: ciemna zieleń • jasna zieleń • delikatny pomarańcz • błękit.

Czerwony stosować wyłącznie przy blokadzie procesu lub uszkodzeniu.

Nie tworzyć grafiki przypominającej reklamę preparatu.

Nota edukacyjna

Informacje w tym module mają charakter edukacyjny. W praktycznym stosowaniu herbicydów należy zawsze przestrzegać aktualnej etykiety produktu, zakresu rejestracji i obowiązujących przepisów.

Moduł 06

Podstawy selektywności i terminu zabiegu

Wyjaśnić podstawowe mechanizmy selektywności oraz pokazać, dlaczego faza rozwojowa chwastu i rośliny uprawnej wpływa na efekt biologiczny zabiegu.

Faza rozwojowa ma znaczenie

młody → rozwinięty



Wraz z rozwojem chwastu i rośliny uprawnej zmienia się ich wrażliwość na herbicyd.

Selektywność fizjologiczna

Roślina uprawna może szybciej:

- rozkładać substancję czynną
- przekształcać ją do mniej toksycznej formy
- izolować metabolity.

Chwast robi to wolniej.

Efekt: ta sama substancja może działać silniej na jeden gatunek niż na drugi.

Różnice w miejscu działania

W pewnych przypadkach naturalne różnice strukturalne lub biochemiczne mogą zmieniać wrażliwość celu molekularnego.

Faza uprawy

Wrażliwość rośliny uprawnej również się zmienia.
Znaczenie mają:

- tempo wzrostu
- rozwój kutykuli
- aktywność enzymów detoksykacyjnych
- warunki środowiskowe.



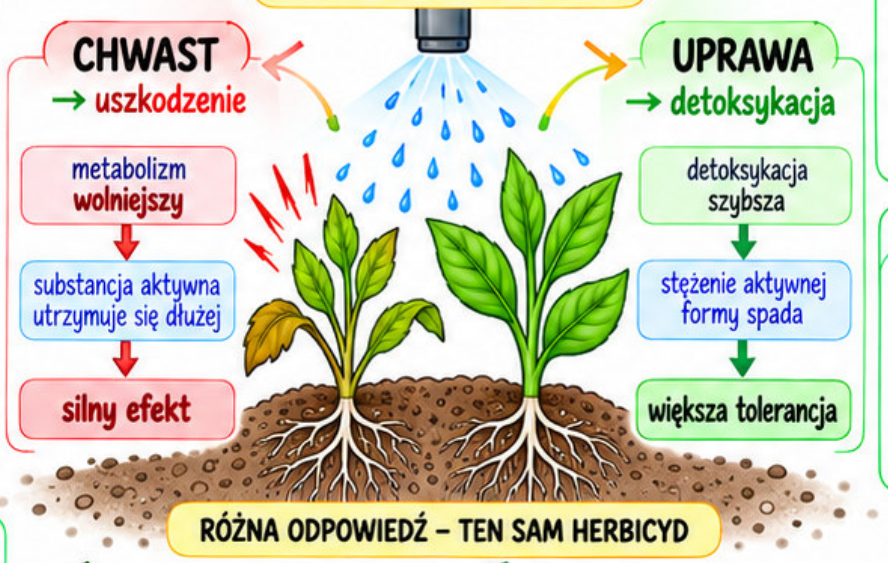
Nie myl

TOLERANCJA NATURALNA
gatunek od początku jest mniej wrażliwy.

ODPORNOŚĆ NABYTA W POPULACJI
wcześniej wrażliwa populacja ewoluuje pod wpływem selekcji.



TEN SAM HERBICYD



Termin = fizjologia



Skuteczność zależy nie tylko od kalendarza.
Kluczowe są:

- faza rozwojowa
- tempo wzrostu
- warunki pobierania
- wrażliwość gatunku.

Praktyczny przykład

Dwa chwasty tego samego gatunku mogą reagować odmiennie, jeżeli jeden znajduje się w bardzo młodej fazie intensywnego wzrostu, a drugi jest już silnie rozwinięty.

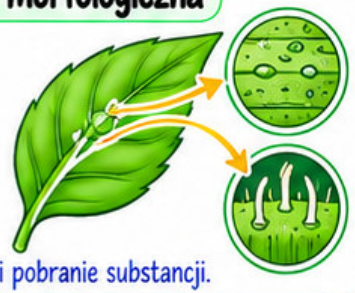


Selektywność morfologiczna

Znaczenie mogą mieć:

- kąt ustawienia liścia
- kutykula
- owłosienie
- powierzchnia liścia
- pozycja stożka wzrostu.

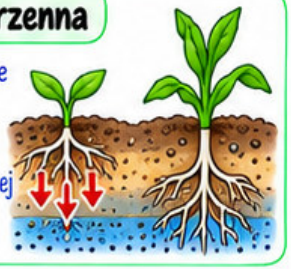
Wpływa to na zatrzymanie i pobranie substancji.



Selektywność przestrzenna

Umiejscowienie substancji w glebie może powodować, że:

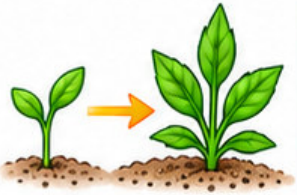
- chwast pobiera ją intensywnie,
- a korzenie lub nasiona rośliny uprawnej znajdują się w innej strefie.



Faza chwastu

Młode chwasty często:

- intensywnie rosną
- mają mniej rozwinięte bariery
- dysponują mniejszymi rezerwami.



Wraz z rozwojem tolerancja części gatunków może się zwiększać.

Selektywność nie oznacza całkowitego braku stresu

Roślina uprawna może przejściowo wykazywać:

- chlorozy
- zahamowanie wzrostu
- przebarwienia.

Jeżeli metabolizuje herbicyd odpowiednio szybko, może później wznowić prawidłowy wzrost.



Moduł 05 **05**

Pobieranie i przemieszczanie herbicydów

OD KROPLI DO MIEJSCA DZIAŁANIA

Substancja musi zostać zatrzymana, pobrana, zachować aktywność i dotrzeć do celu.

Retencja kropli

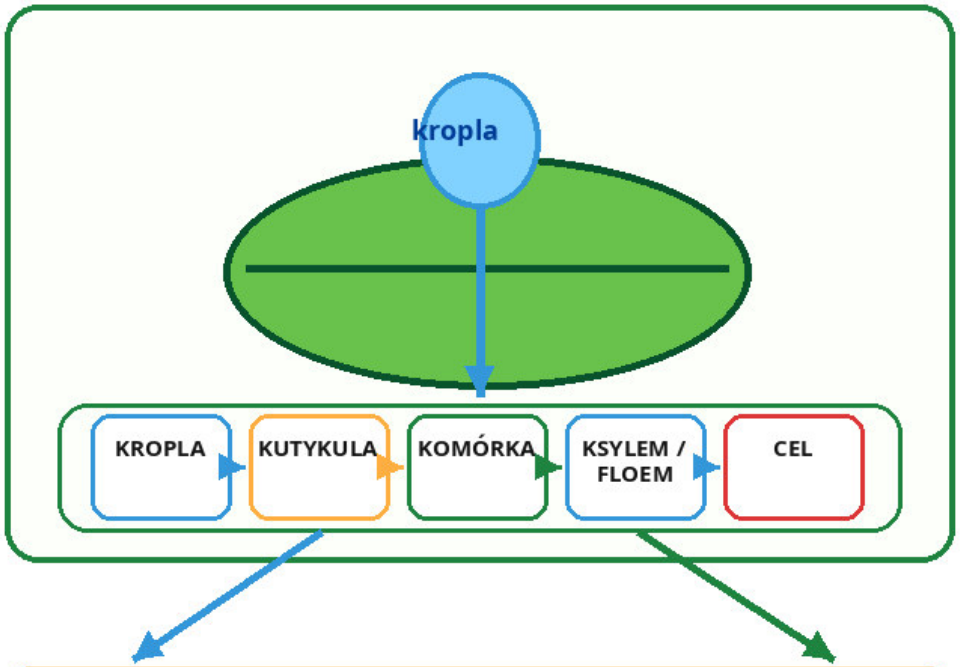
- zatrzymanie na liściu
- równomierne pokrycie
- woski i powierzchnia liścia

Kutykula

- bariera ochronna
- grubość i woski
- wiek i uwodnienie liścia

Korzeń

- pobieranie z roztworu glebowego
- wilgotność i sorpcja
- aktywność korzeni



APLIKACJA → ZATRZYMANIE → POBRANIE →

Chwast silnie zestresowany suszą może pobierać i transportować część herbicydów inaczej niż chwast intensywnie rosnący.

Kontaktowy

- działa głównie lokalnie
- ważne pokrycie tkanek
- efekt w miejscu dotarcia

Systemiczny

- może przemieszczać się
- dociera do młodych tkanek
- ważna aktywność rośliny

Co ogranicza?

- sucha kutykula
- stres chwastu
- słaba translokacja
- szybka degradacja

Moduł 06

Formulacje, adiuwanty i warunki środowiskowe

Wyjaśnić, dlaczego biologiczne działanie środka zależy nie tylko od samej substancji czynnej, ale również od formulacji, właściwości cieczy użytkowej i warunków podczas oraz po aplikacji.

Formulacja

Substancja czynna jest przygotowana w określonej postaci użytkowej.
Formulacja może wpływać na:

- stabilność
- rozpuszczanie
- zwilżanie
- rozpraszanie
- retencję kropli.



Środki powierzchniowo czynne

Mogą zmniejszać napięcie powierzchniowe cieczy.

Efekt:
kropla łatwiej rozlewa się po powierzchni liścia.



Adiuwanty

W zależności od typu mogą wpływać na:

- zwilżanie
- retencję
- przenikanie przez kutykulę
- właściwości wody
- ograniczenie części strat aplikacyjnych.



Ważne:
Nie każdy adiuwant jest odpowiedni dla każdego produktu. Stosowanie zawsze zgodnie z etykietą i zaleceniami.



SKUTECZNOŚĆ =

SUBSTANCJA + FORMULACJA + ROŚLINA + ŚRODOWISKO

EFEKT BIOLOGICZNY =

SUBSTANCJA CZYNNA × FORMULACJA × POBRANIE × WARUNKI × STAN ROŚLINY

Temperatura

Wpływa na:

- właściwości kutykuli
- metabolizm chwastu
- szybkość pobierania
- tempo wzrostu.

Skrajna temperatura może również zwiększać ryzyko uszkodzenia uprawy.

Wilgotność powietrza

Wyższa wilgotność może utrzymywać kroplę dłużej w stanie ciekłym i zwiększać uwodnienie kutykuli.

Bardzo suche powietrze → szybsze wysychanie kropli.

Deszcz

Opad krótko po aplikacji może zmyć część substancji zanim zostanie wystarczająco pobrana.

Znaczenie zależy od:

- formulacji
- substancji
- czasu od zabiegu.

Wiatr

Wpływa przede wszystkim na:

- znoszenie kropli
- nierównomierność pokrycia
- ryzyko kontaktu z roślinami niebędącymi celem.

Stres chwastu

Chwast intensywnie rosnący może inaczej pobierać i transportować herbicyd niż roślina silnie zestresowana.

Dwie skrajności

- bardzo suche warunki → szybkie wysychanie + mniej aktywna roślina.
- bardzo mokre warunki po aplikacji → możliwe zmywanie części produktów.

Praktyczny przykład

Ten sam produkt zastosowany na intensywnie rosnący chwast przy sprzyjającej wilgotności może zachować się inaczej niż podczas silnej suszy, gdy powierzchnia liścia i metabolizm rośliny są zmienione.

Ważna informacja

Ta strona nie powinna zawierać uniwersalnych receptur mieszanin ani dawek.
Przy praktycznym stosowaniu: zawsze kierować się etykietą konkretnego produktu.

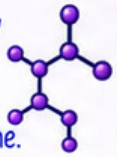
Miejsca działania herbicydów – mapa ogólna

Dać użytkownikowi nadrzędną mapę najważniejszych miejsc działania przed przejściem do kolejnych grup.

1. ALS / AHAS

Proces: synteza aminokwasów rozgałęzionych.

Skutek: wzrost i podziały komórkowe zostają zahamowane.

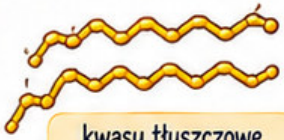


- leucyna
- izoleucyna
- walina

2. ACCase

Proces: synteza kwasów tłuszczowych.

Szczególnie ważne w zwalczaniu wybranych chwastów jednoliściennych.

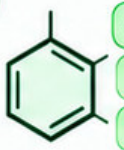


kwasy tłuszczowe

3. EPSPS

Proces: szlak szikimowy.

Wpływ na syntezę aminokwasów aromatycznych.



- fenyloalanina
- tyrozyna
- tryptofan

4. Syntetaza glutaminowa

Proces: metabolizm azotu i amoniaku.

Zahamowanie prowadzi do szybkiej destabilizacji metabolizmu.

NH_3 → glutamina

5. Fotosystem II

Proces: transport elektronów w fotosyntezie.

Blokada → energia świetlna nie jest prawidłowo wykorzystywana → ROS ↑.



6. Fotosystem I

Proces: przekazywanie elektronów.

Niektóre herbicydy przechwytują elektrony → bardzo szybka produkcja ROS.



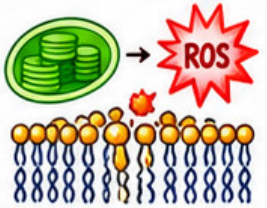
KOMÓRKA CHWASTU



7. PPO

Proces: biosynteza chlorofilu i hemu.

Zahamowanie → akumulacja fotoreaktywnych związków → peroksydacja błon.



8. HPPD

Proces: powstawanie prekursorów plastochinonu i ochrona barwników.

Skutek: brak ochronnych karotenoidów → bielenie nowych tkanek.



9. Syntetyczne auksyny

Proces: deregulacja sygnalizacji auksynowej.

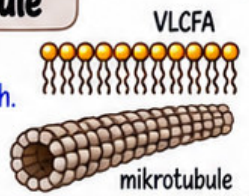
Skutek: niekontrolowany wzrost i zaburzenie rozwoju.



10. VLCFA / mikrotubule

VLCFA: synteza bardzo długołańcuchowych kwasów tłuszczowych.

Mikrotubule: podziały komórkowe i organizacja cytoszkieletu.



Klasyfikacja według objawów

ZAHAMOWANIE WZROSTU	ALS • ACCase • VLCFA • mikrotubule
USZKODZENIE FOTOSYNTEZY / BŁON	PSII • PSI • PPO
BIELENIE	HPPD i część inhibitorów biosyntezy karotenoidów.
DEFORMACJE WZROSTU	syntetyczne auksyny.

Po co znać miejsce działania?



Pomaga:

- rozumieć objawy
- różnicować fitotoksyczność
- planować rotację mechanizmów działania
- analizować ryzyko odporności.

Ważne



Nie wszystkie substancje w jednej grupie zachowują się identycznie pod względem:

- pobierania
- translokacji
- selektywności
- tempa objawów.

Moduł 05 05

Inhibitory ALS

ALS — BLOKADA AMINOKWASÓW ROZGAŁĘZIONYCH

Zahamowanie syntezy Val, Leu i Ile szybko zatrzymuje wzrost merystemów.

Cel molekularny

- ALS / AHAS
- enzym syntezy aminokwasów rozgałęzionych

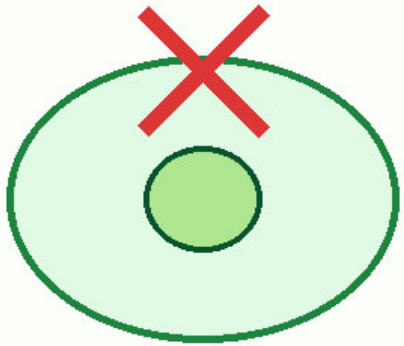
Normalna funkcja

- walina
- leucyna
- izoleucyna
- białka dla wzrostu

Po blokadzie

- aminokwasy □
- synteza białek □
- podziały komórek □

ALS □ □ aminokwasy □ □ białka □ □ merystem



BLOKADA

prekursor → ALS / AHAS → Val + Leu + Ile → białka → wzrost STOP

Wskazówka

Roślina może być jeszcze zielona, ale nowy wzrost już

Nie myl

ALS to mechanizm metaboliczny, nie

Merystemy

- stożki wzrostu
- młode liście
- korzenie aktywne

Objawy

- zahamowanie wzrostu
- chloroza
- purpurowienie
- późniejsze nekrozy

Odporność

- mutacja celu
- więcej białka celu
- metabolizm herbicydu

Moduł 05 05

Inhibitory ACCase

ACCase — TŁUSZCZE POTRZEBNE DO NOWEGO WZROSTU

Synteza kwasów tłuszczowych jest niezbędna dla błon i młodych komórek.

Cel molekularny

- ACCase
- karboksylaza acetylo-CoA
- początek syntezy lipidów

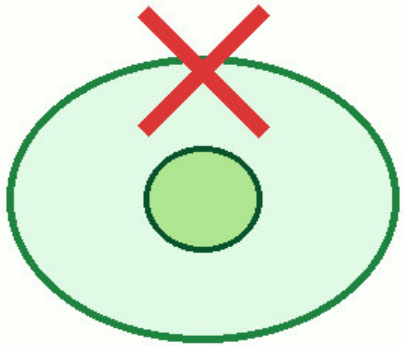
Dlaczego lipidy?

- błony komórkowe
- nowe organella
- wzrost merystemów

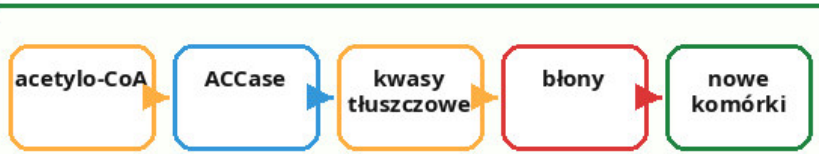
Trawy

- ważne w kontroli wielu chwastów jednoliściennych
- różnice selektywności

ACCase □ □ kwasy tłuszczowe □ □ błony □ □



BLOKADA



ACCase vs ALS

ALS blokuje aminokwasy; ACCase blokuje syntezę

Przykład

Najmłodszy liść trawy łatwo się oddziela - sprawdź

Po blokadzie

- lipidy □
- błony □
- podziały i wzrost □

Objawy

- żółknięcie młodych liści
- brunatnienie nasady
- merystem STOP

Odporność

- zmiana genu ACCase
- detoksykacja
- mniej substancji przy celu

Moduł 05 05

Inhibitory EPSPS

EPSPS — SZLAK SZIKIMOWY

Blokada EPSPS ogranicza aminokwasy aromatyczne i metabolity wtórne.

Cel molekularny

- EPSPS
- enzym szlaku szikimowego

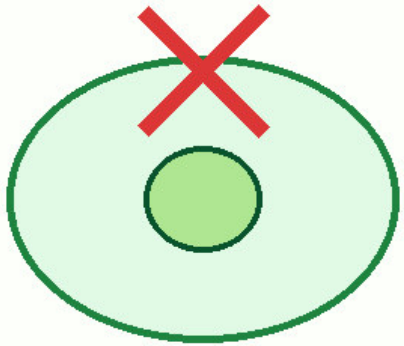
Szlak szikimowy

- fenyloalanina
- tyrozyna
- tryptofan
- związki wtórne

Po blokadzie

- szlak przerwany
- metabolizm traci produkty
- wzrost stopniowo spada

EPSPS □ □ Phe/Tyr/Trp □ □ metabolity □ □ wzrost □



BLOKADA



Nie myl

EPSPS zwykle nie daje natychmiastowego

Przykład

Stopniowe żółknięcie całej rośliny wskazuje na

Systemiczność

- ruch floemem
- merystemy
- korzenie i organy podziemne

Objawy

- zahamowanie wzrostu
- żółknięcie
- więdnięcie
- nekroza później

Odporność

- zmiana celu
- kopie genu
- ograniczony transport
- sekwestracja

Moduł 05 05

Inhibitory syntetazy glutaminowej

AZOT BEZ KONTROLI = AMONIAK I ROS

Blokada GS zaburza asymilację amoniaku, fotosyntezę i równowagę redoks.

Cel molekularny

- GS = syntetaza glutaminowa
- kluczowa w asymilacji amoniaku

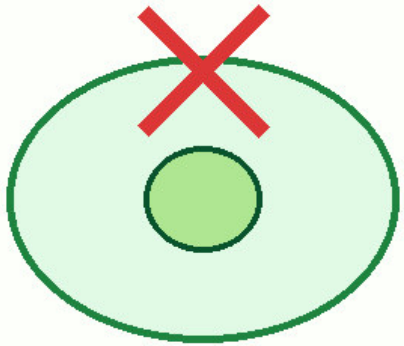
Normalnie

- NH_4^+ + glutaminian
- ATP
- glutamina

Po blokadzie

- NH_4^+ gromadzi się
- metabolizm azotu zaburzony
- fotorespiracja problem

GS □ □ NH_4^+ □ □ fotosynteza □ □ ROS □ □ błony



BLOKADA



Znaczenie światła

Intensywne światło może przyspieszać uszkodzenia

GS vs PSI/PPO

Wspólny efekt: ROS. Inny punkt startu: metabolizm

Fotosynteza

- chloroplasty pracują gorzej
- CO_2 asymilacja □
- energia zaburzona

ROS i błony

- ROS □
- peroksydacja lipidów
- szybka nekroza

Objawy

- chloroza
- więdnięcie
- nekrozy
- zasychanie tkanek

Moduł 05 05

Inhibitory fotosystemu II

PSII — ZATRZYMANY PRZEPŁYW ELEKTRONÓW

Blokada PSII powoduje nadmiar energii, ROS i uszkodzenie błon.

Fotosystem II

- pierwszy kompleks fazy jasnej
- rozpoczyna transport elektronów

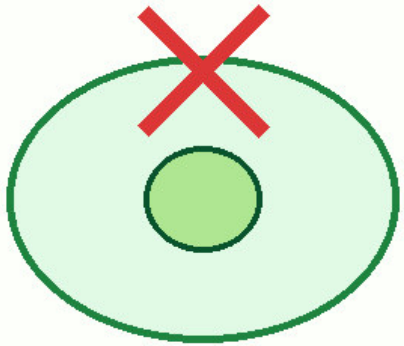
Punkt blokady

- zaburzony transfer do plastochinonu
- transport elektronów STOP

Nadmiar energii

- chlorofil nadal pochłania światło
- energia nie jest bezpiecznie zużyta

PSII □ □ elektrony STOP □ energia nadmiarowa □



BLOKADA

światło → PSII → PQ → elektrony STOP → ROS + nekroza

PSII vs PSI

PSII blokuje przepływ; PSI przechwytuje elektrony i

Przykład

W intensywnym świetle objawy mogą narastać

ROS

- reaktywne formy tlenu
- peroksydacja lipidów
- uszkodzenie błon

Objawy

- chloroza
- żółknięcie
- nekroza
- silniej w świetle

Mobilność

- część substancji idzie ksylemem
- nie generalizuj całej grupy

Moduł 05

Herbicydy oddziałujące na fotosystem I

Wyjaśnić, dlaczego zaburzenie przepływu elektronów po stronie fotosystemu I może prowadzić do bardzo szybkiego stresu oksydacyjnego i zniszczenia błon komórkowych.

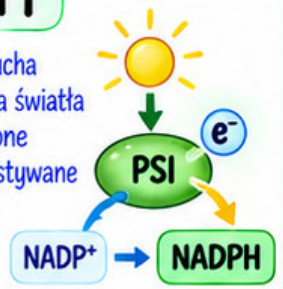
1. Punkt wyjścia

W normalnej fotosyntezie elektrony przepływają w uporządkowany sposób od fotosystemu II, przez łańcuch transportu elektronów, do fotosystemu I, a następnie redukują $NADP^+$ do NADPH.

→ To prawidłowy kierunek przepływu elektronów w chloroplaście.

2. Fotosystem I

PSI przyjmuje elektrony z łańcucha transportu elektronów, a energia światła ponownie je wzbudza. Wzbudzone elektrony są następnie wykorzystywane do redukcji $NADP^+$ do NADPH.



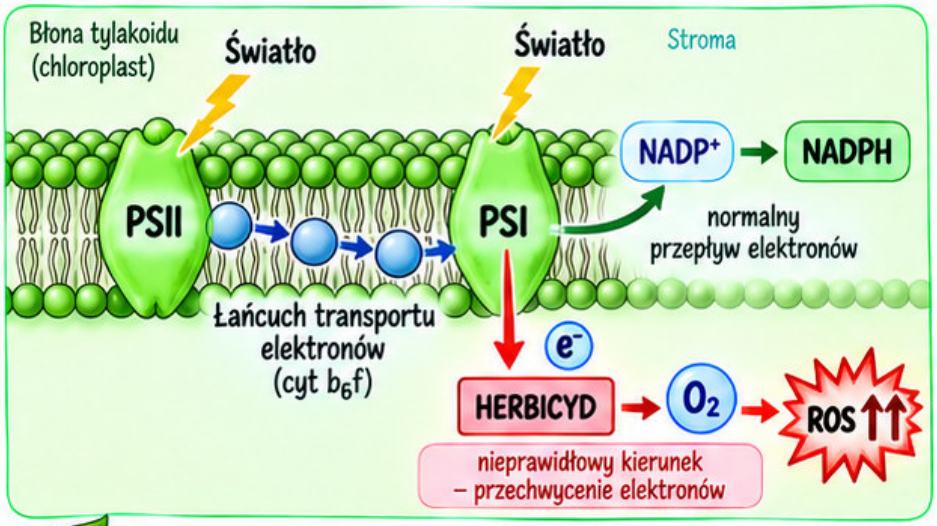
10. PSI vs PSII

Inhibitory PSII
- blokują prawidłowy przepływ elektronów
- prowadzą do powstawania ROS (głównie po stronie PSII)
- działają pośrednio

Herbicydy PSII
- przechwytują elektrony po stronie PSI
- szybko przekazują je do tlenu
- powodują bardzo szybkie powstawanie ROS

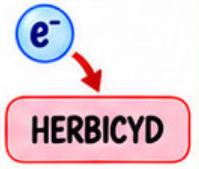
Oba mechanizmy mogą prowadzić do stresu oksydacyjnego, ale w różny sposób.

PSI — SZYBKA PRODUKCJA ROS



3. Przechwycenie elektronów

Niektóre herbicydy przyjmują elektrony po stronie PSI zamiast $NADP^+$. Tworzą one zredukowaną formę herbicydu, która jest niestabilna i łatwo przekazuje elektron dalej.



4. Reakcja z tlenem

Zredukowany herbicyd przekazuje elektron do tlenu cząsteczkowego (O_2), co prowadzi do powstawania reaktywnych form tlenu (ROS).



9. Znaczenie światła

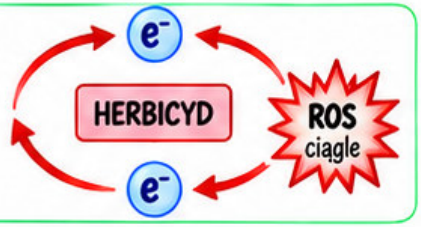
Reakcje zależne od światła dostarczają elektrony do PSI, dlatego im wyższa intensywność światła i aktywność fotosyntezy, tym szybciej zachodzą reakcje oksydacyjne i nasilają się objawy.



Silne światło = szybsze ROS.

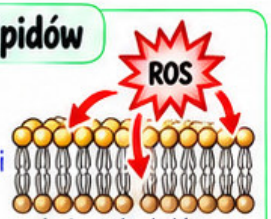
5. Cykl redoks

Herbicyd może wielokrotnie przyjmować i oddawać elektrony, dlatego w obecności światła i tlenu dochodzi do ciągłej generacji ROS.



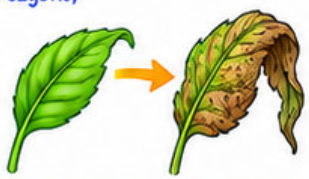
6. Peroksydacja lipidów

Reaktywne formy tlenu atakują nienasycone kwasy tłuszczowe w błonach komórkowych, co prowadzi do peroksydacji lipidów i utraty integralności błon.



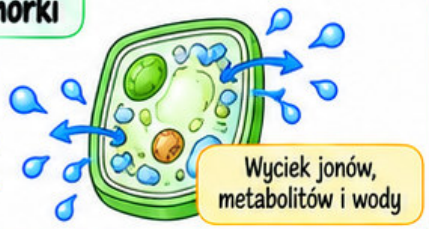
8. Tempo objawów

Objawy pojawiają się bardzo szybko, już w ciągu godzin:
- więdnięcie
- wodniste przebarwienia
- brunatnienie tkanek
- szybkie nekrozy.



7. Utrata zawartości komórki

Uszkodzone błony tracą zdolność do kontroli przenikania jonów i wody. Dochodzi do wycieku składników komórkowych, zaburzeń gospodarki wodnej i szybkiej śmierci komórki.



11. Praktyczny przykład

Tkanki roślin wystawione na działanie herbicydów oddziałujących na PSI mogą nekrotyzować bardzo szybko, zwłaszcza przy silnym nasłonecznieniu.



Moduł 05

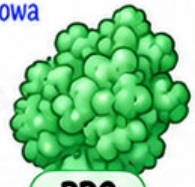
Inhibitory PPO

Pokazać, w jaki sposób zahamowanie enzymu związanego z biosyntezą chlorofilu i hemu prowadzi do nagromadzenia związków wywołujących silne uszkodzenia oksydacyjne pod wpływem światła.

1. Cel molekularny

PPO = oksydaza protoporfirynogenowa (protoporfirynogen oksydaza).

Enzym biorący udział w biosyntezie związków tetrapirolowych, prowadzących do powstania chlorofilu i hemu.

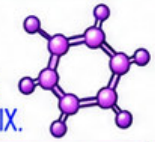


2. Normalny szlak

Prekursory tetrapirolowe przechodzą przez enzym PPO, prowadząc do kolejnych produktów i ostatecznie do chlorofilu i hemu.

3. Po zahamowaniu PPO

Zablokowanie enzymu powoduje nagromadzenie prekursorów tetrapirolowych, z których część przekształca się w protoporfirynę IX.



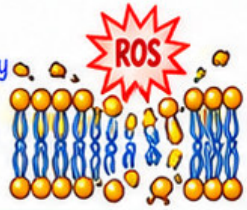
4. Światło

Protoporfiryna IX jest wysoce fotoreaktywna i w obecności światła przenosi energię na tlen, prowadząc do powstawania reaktywnych form tlenu (ROS).

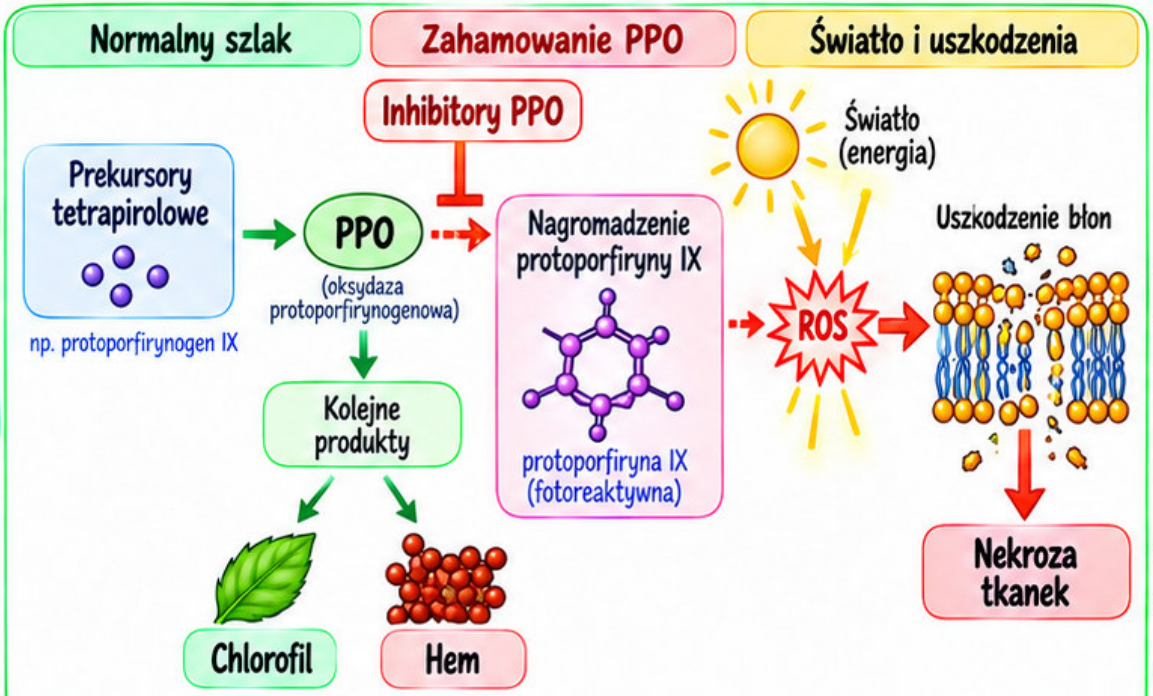


5. Błony

ROS atakują lipidy błonowe, błony chloroplastów i inne struktury komórkowe, prowadząc do utraty integralności błon.



PPO — FOTOREAKTYWNE ZWIĄZKI I USZKODZENIE BŁON



6. Objawy

- szybkie plamy nekrotyczne,
- brązowienie tkanek,
- spalone fragmenty blaszki,
- wysychanie tkanek.



7. Działanie kontaktowe

Najsilniejszy efekt obserwuje się w dobrze pokrytych fragmentach roślin.



Skuteczność zależy od dokładnego pokrycia powierzchni rośliny.

8. Aktywność świetlna

Widoczne objawy często rozwijają się bardzo szybko po ekspozycji na światło (nawet w ciągu kilku godzin).



9. Selektywność

Tolerancja roślin uprawnych może wynikać z:

- szybszej detoksykacji protoporfiryny IX,
- ograniczonego pobierania substancji,
- różnic w wrażliwości tkanek.



10. Wskazówka diagnostyczna

Inhibitory PPO często powodują szybkie, wyraźnie odgraniczone uszkodzenia tkanek, a nie powolne hamowanie wzrostu całej rośliny.



11. Praktyczny przykład

Jeśli szybko po zabiegu pojawiają się brązowe lub nekrotyczne plamy na bezpośrednio pokrytych fragmentach liści, warto rozważyć mechanizm szybkiego uszkodzenia błon (PPO).



Moduł 05

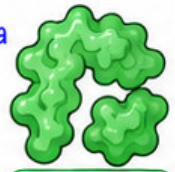
Inhibitory HPPD

Pokazać, jak zablokowanie enzymu HPPD prowadzi do spadku poziomu plastochinonu i karotenoidów, braku ochrony chlorofilu oraz charakterystycznego bielenia młodych tkanek rośliny.

Cel molekularny

HPPD = 4-hydroksyfenylopirogronianowa dioksygenaza.

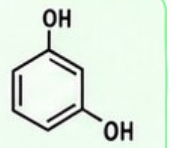
Enzym biorący udział w szlaku biosyntezy związków, które prowadzą do powstania plastochinonu, a następnie karotenoidów.



HPPD

Normalna funkcja

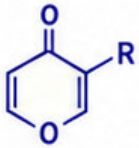
HPPD katalizuje przemiany prowadzące do powstania homogentyzynianu, który jest prekursorem m.in. plastochinonu.



homogentyzynian

Plastochinon

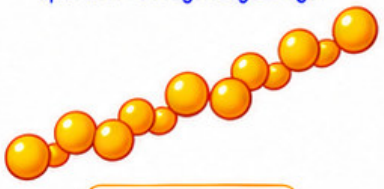
Plastochinon jest ważny w procesach niezbędnych do prawidłowej biosyntezy karotenoidów.



plastochinon

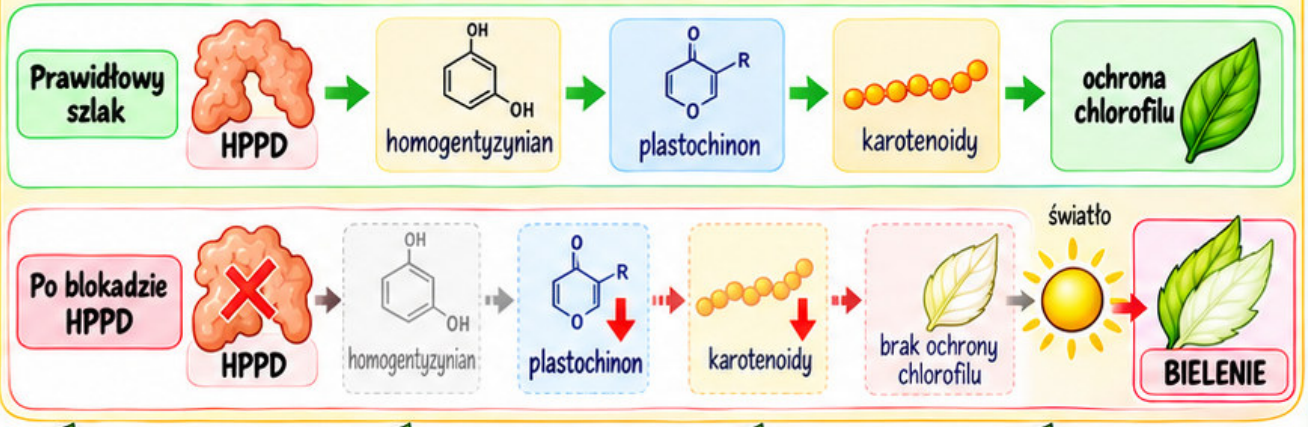
Karotenoidy

- Pochłaniają część energii świetlnej.
- Chronią chlorofil przed reakcjami fotooksydacyjnymi.
- Wspierają fotoprotekcję aparatu fotosyntetycznego.



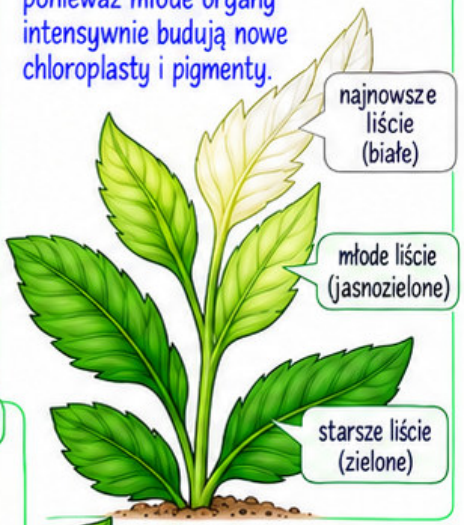
karotenoidy

HPPD – DLACZEGO ROŚLINA BIELEJE?



Bielenie tkanki

Kluczowym objawem jest bielenie najmłodszych tkanek, ponieważ młode organy intensywnie budują nowe chloroplasty i pigmenty.



Chlorofil bez ochrony

W warunkach światła chlorofil pozostaje niechroniony i jest narażony na reakcje fotooksydacyjne, co prowadzi do jego degradacji.



degradacja chlorofilu

Późniejsze uszkodzenia

W dalszym czasie mogą pojawić się:

- chlorozy
- nekrozy
- hamowanie wzrostu.



Selektywność

Selektywność może wynikać z szybszego metabolizmu herbicydu w roślinie uprawnej. W niektórych technologiach stosowanie safenerów wspiera selektywność, jednak nie jest to regułą dla wszystkich upraw i substancji.



Nie myl bielenia z chlorozą



Chloroza

to utrata zielonej barwy.

Bielenie

to znacznie silniejszy brak pigmentacji (np. prawie białe tkanki).

Praktyczny przykład

Jeżeli najmłodsze przyrosty są prawie białe, a starsze tkanki przez jakiś czas pozostają bardziej zielone, świadczy to o kluczowej roli mechanizmu ochrony przez karotenoidy i jest ważną wskazówką diagnostyczną działania inhibitorów HPPD.



Moduł 05

Inhibitory syntezy karotenoidów

Wybielenie roślin może powstawać także w wyniku bezpośredniego zahamowania biosyntezy karotenoidów w miejscach innych niż HPPD.

Po co karotenoidy?

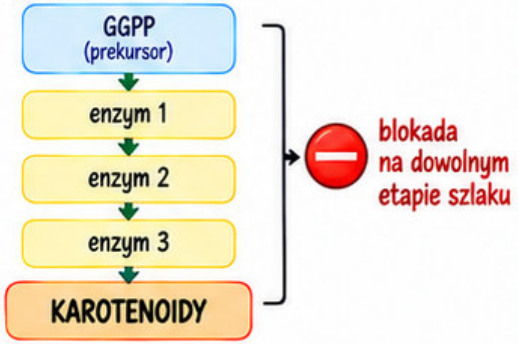
- pełnią funkcję fotoprotekcyjną (chronią aparat fotosyntetyczny),
- działają jako przeciwutleniacze (wychwytują rodniki),
- wspomagają pochłanianie światła (w rozszerzeniu zakresu absorpcji).



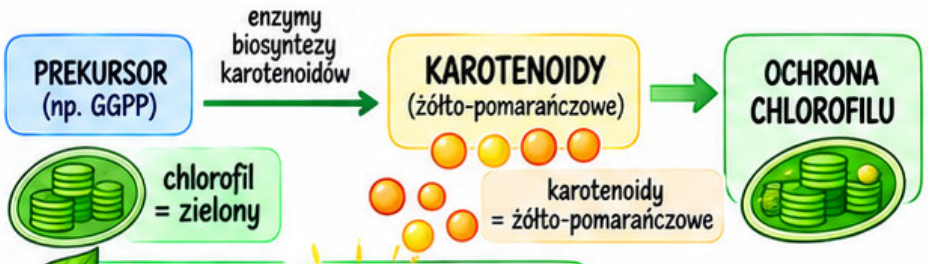
Karotenoidy to naturalna tarcza roślin przed uszkodzeniami wywołanymi przez światło.

Biosynteza karotenoidów

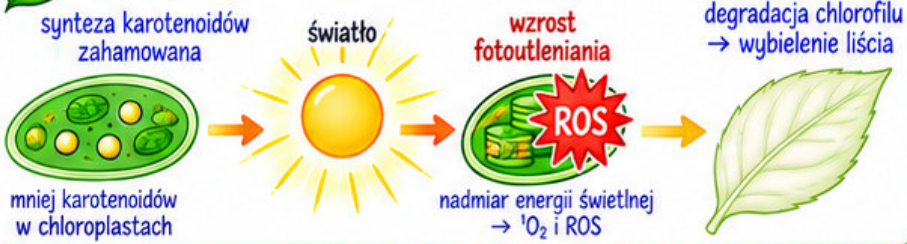
Karotenoidy powstają w wieloetapowym szlaku enzymatycznym, który może zostać zablokowany na określonym etapie przez herbicyd.



KAROTENOIDY – TARCZA PRZED FOTOUTLENIANIEM

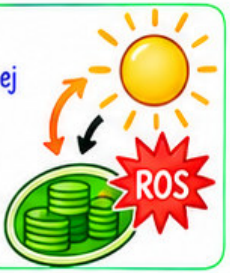


Co się dzieje po zablokowaniu?



Ochrona chlorofilu

Bez karotenoidów nadmiar energii świetlnej trudniej jest bezpiecznie rozproszyć. Rośnie ryzyko powstawania tlenu singletowego ($^1O_2$) i reaktywnych form tlenu (ROS), które prowadzą do degradacji chlorofilu i uszkodzeń komórek.



Blokada szlaku

- zahamowanie syntezy karotenoidów,
- brak żółto-pomarańczowych pigmentów w chloroplastach,
- młode chloroplasty tracą prawidłową ochronę,
- większa wrażliwość na światło.



Światło

- chlorofil pochłania energię świetlną,
- bez karotenoidów rośnie ryzyko fotoutleniania,
- powstają reaktywne formy tlenu (ROS),
- dochodzi do uszkodzeń błon i aparatów fotosyntetycznych.



Blok diagnostyczny

Biała tkanka nie jest tym samym co niedobór azotu! Niedobór N zwykle powoduje żółknięcie liści, szczególnie na starszych liściach.



Praktyczny przykład

Jeśli po zabiegu chemicznym młode liście stają się białe, rozważ, czy przyczyną jest:

- bezpośrednie zahamowanie biosyntezy karotenoidów,
- działanie HPPD (pośrednie),
- czy niedobory składników pokarmowych.

Objaw główny

Wybielenie liści i tkanek, szczególnie w młodych, intensywnie rosnących częściach roślin.



od zielonego → przez jasny → do białego

Późniejsza nekroza

Silne uszkodzenia fotosyntezy mogą prowadzić do:

- zahamowania wzrostu,
- powstawania nekroz,
- zamierania roślin.



Nekroza pojawia się zwykle po okresie wybielenia, przy długotrwałym stresie świetlnym.

HPPD vs bezpośredni inhibitor karotenoidów

Obie grupy mogą powodować wybielenie, ale różnią się miejscem blokady.

Cecha	HPPD	Bezpośredni inhibitor karotenoidów
Miejsce działania	wcześniejszy etap (szlak tyrozyny)	enzymy syntezy karotenoidów
Sposób działania	pośredni (spadek prekursorów)	bezpośredni (zahamowanie powstawania pigmentów)
Efekt końcowy	mniej karotenoidów → wybielenie	brak karotenoidów → wybielenie

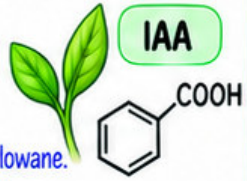
Moduł 05

Syntetyczne auksyny

Syntetyczne auksyny nie przyspieszają po prostu wzrostu, lecz rozregulowują cały system hormonalny rośliny, wywołując niekontrolowane zmiany rozwojowe.

1. Naturalna auksyna

- Precyzyjny sygnał rozwojowy.
- Występuje w ściśle określonych miejscach rośliny.
- Jej działanie jest przestrzennie uporządkowane i czasowo kontrolowane.
- Odpowiada za prawidłowy wzrost, różniciowanie tkanek i reakcje na bodźce środowiskowe.



2. Syntetyczna auksyna

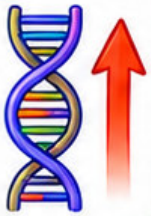
- Naśladuje naturalny sygnał auksynowy.
- Może być bardziej trwała w roślinie i trudniej podlegać metabolizmowi.
- Często występuje w niewłaściwym miejscu i czasie.
- Może działać silniej i dłużej niż IAA.



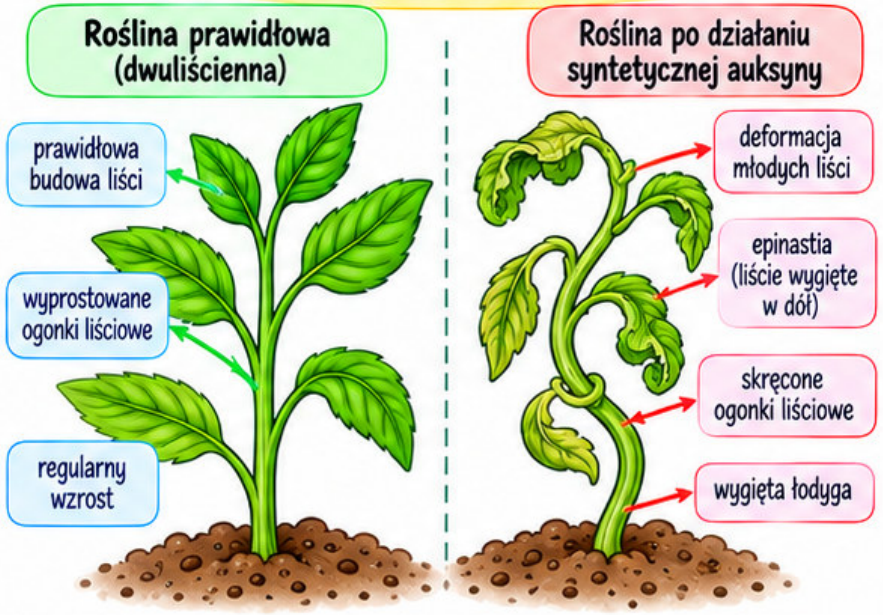
2,4-D
MCPA
dikamba
fluroksypyr

3. Nadmierna aktywacja

- Silny i długotrwały sygnał auksynowy rozregulowuje ekspresję genów.
- Prowadzi do niekontrolowanych podziałów i wydłużania komórek.
- Zaburza równowagę hormonalną oraz koordynację procesów rozwojowych.

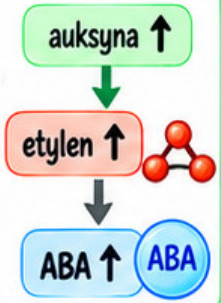


ZA DUŻO SYGNAŁU AUKSYNOWEGO = CHAOS WZROSTU



4. Etylen i ABA

- Nadmierny sygnał auksynowy może zwiększać syntezę i wrażliwość na etylen oraz nasilać zmiany związane z ABA.
- Prowadzi to do zaburzeń wzrostu, równowagi wodnej i funkcjonowania tkanek przewodzących.
- Może nasilać reakcje stresowe i przyspieszać starzenie tkanek.



5. Typowe deformacje

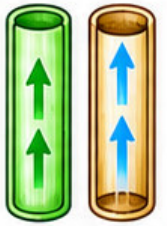
- Skręcanie ogonków liściowych.
- Epinastia (liście wygięte w dół).
- Wygięcie i skręcanie łodyg.
- Deformacja młodych liści (zwijanie, nieregularny kształt).
- Nierównomierny wzrost poszczególnych organów.



Charakterystyczne dla działania syntetycznych auksyn.

6. Tkanki przewodzące

- Silne zaburzenia rozwojowe mogą obejmować floem i ksylem.
- Pochodzi do zaburzeń transportu asymilatów i wody.
- Może to prowadzić do więdnięcia, chloroz i zamierania rośliny.



7. Wzrost niekontrolowany

- Początkowo może występować pozorne przyspieszenie wydłużania pędów lub nietypowe wygięcia.
- Z czasem zaburzenia metabolizmu i transportu prowadzą do destabilizacji całej rośliny.



Pozorny wzrost → późniejsze osłabienie i zamieranie.

8. Wrażliwość roślin

- Wiele chwastów dwuliściennych jest szczególnie wrażliwych na syntetyczne auksyny.
- Rośliny jednoliścienne mogą wykazywać inną tolerancję w zależności od substancji, gatunku i fazy rozwojowej.



dwuliścienne – większa wrażliwość

jednoliścienne – zróżnicowana tolerancja

9. Kluczowy paradoks

- Niektóre komórki nadmiernie rosną, a cała roślina zamiera.
- Problemem nie jest brak wzrostu, lecz utrata jego kontroli i prawidłowej koordynacji w czasie i przestrzeni.



Nadmierny wzrost części rośliny ≠ zdrowsza roślina.

10. Praktyczny przykład

- Skręcone ogonki liściowe i epinastia młodych liści najczęściej wskazują na zaburzenia hormonalne, a nie na typowe uszkodzenia kontaktowe błon komórkowych.



To efekt rozregulowania sygnału auksynowego.

Moduł 05

Inhibitory VLCFA

Bardzo długołańcuchowe kwasy tłuszczowe (VLCFA) są niezbędne do budowy nowych komórek, szczególnie w młodych tkankach. Dlatego inhibitory VLCFA najsilniej działają podczas kiełkowania i wschodów chwastów.

1. Definicja

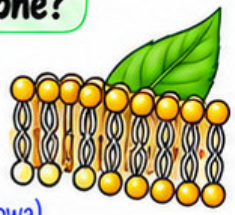
VLCFA = Very Long Chain Fatty Acids, czyli bardzo długołańcuchowe kwasy tłuszczowe.

To kwasy tłuszczowe zawierające zwykle ≥ 20 atomów węgla (np. C20–C34).



2. Gdzie są potrzebne?

- w lipidach błon komórkowych
- w woskach kutykularnych
- w sfingolipidach
- w rozwijających się strukturach komórkowych (np. ściana komórkowa)



3. Młode tkanki

Podczas kiełkowania i wschodów chwastów komórki intensywnie się dzielą, wydłużają i budują nowe błony. Potrzebują do tego VLCFA.



4. Blokada elongacji

Herbicydy z tej grupy blokują enzymy odpowiedzialne za wydłużanie łańcuchów kwasów tłuszczowych (elongazy, np. KCS).



5. Błony i wzrost

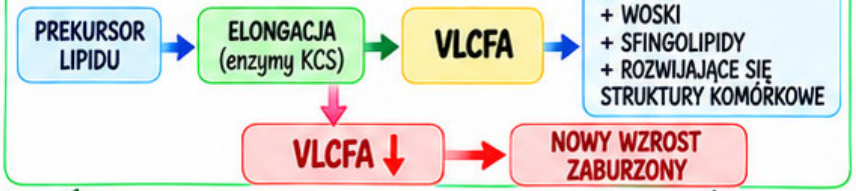
Brak odpowiednich lipidów zaburza budowę nowych błon i organizację komórek, co prowadzi do zahamowania wzrostu i deformacji młodych tkanek.



VLCFA — NOWA KOMÓRKA NIE MOŻE SIĘ PRAWIDŁOWO ZBUDOWAĆ



Szlak syntezy i efekt blokady



6. Objawy u traw

- zahamowanie wydłużania pędu
- zgrubienia u podstawy
- nieprawidłowe rozwijanie liści (liście krótkie, zdeformowane)
- problemy z przebiciem gleby



7. Objawy u dwuliściemych

- zahamowany wzrost korzeni
- skrócone hipokotyle
- zdeformowane, zgrubiałe młode organy
- liścienie i pierwsze liście często zniekształcone



8. Działanie w glebie

Większość inhibitorów VLCFA działa przed wschodami lub bardzo wcześnie po wschodach. Chwast pobiera herbicyd podczas przemieszczania się przez aktywną warstwę gleby.



9. Warunki glebowe

- wilgotność gleby
- równomierne rozmieszczenie herbicydu
- sorpcja na cząstkach gleby
- głębokość kiełkowania

Te czynniki wpływają na dostępność herbicydu i skuteczność działania.



10. Dlaczego młoda siewka?

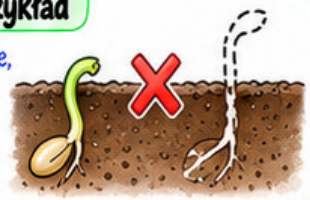


Starsza roślina ma już wiele zbudowanych struktur (błony, woski). Kiełkujący chwast musi zbudować prawie wszystko od początku, dlatego jest znacznie bardziej wrażliwy na inhibitory VLCFA.



11. Praktyczny przykład

Chwast może wykiełkować w glebie, ale nie jest w stanie prawidłowo rozwinąć pędu i przebić się na powierzchnię, przez co zamiera w glebie.



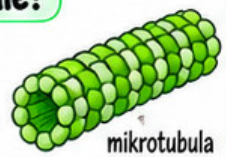
Moduł 05

Inhibitory mikrotubul

Poznać rolę mikrotubul w podziałach komórkowych i organizacji wzrostu rośliny oraz zrozumieć, dlaczego ich zaburzenie powoduje charakterystyczne objawy u młodych korzeni i siewek.

1. Czym są mikrotubule?

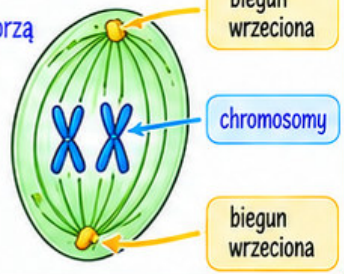
- Elementy cytoszkieletu zbudowane z tubuliny.
- Uczestniczą w podziałach komórkowych (mitozie).
- Biorą udział w transporcie wewnątrzkomórkowym.
- Współtworzą organizację ściany komórkowej i kształt komórki.



mikrotubula (z tubuliny)

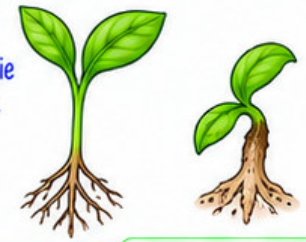
2. Wrzeciono podziałowe

Podczas mitozy mikrotubule tworzą wrzeciono podziałowe, które umożliwia prawidłowe rozdzielenie chromosomów do przeciwległych biegunów komórki.



6. Pęd

- Słabe wschody i zahamowanie wzrostu części nadziemnych.
- Deformacje młodych tkanek (ograniczone wydłużanie).
- Nieprawidłowy rozwój liści i innych organów.

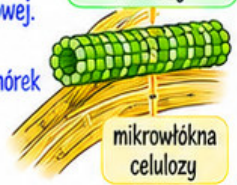


prawidłowa siewka

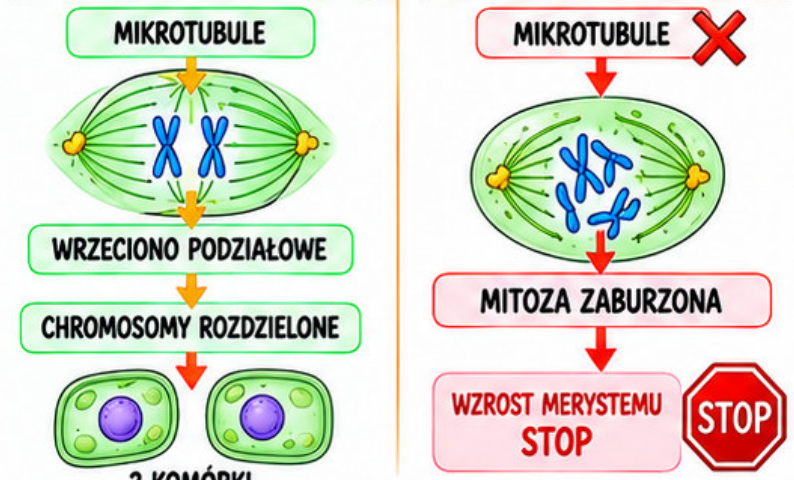
siewka po działaniu inhibitorów mikrotubul

7. Orientacja celulozy

- Mikrotubule kierują odkładaniem mikrowłókien celulozy w ścianie komórkowej.
- Ich zaburzenie powoduje chaotyczne odkładanie celulozy, co zmienia kształt komórek i kierunek wzrostu tkanek.



PRAWIDŁOWA MITOZA vs. PO BLOKADZIE MIKROTUBUL



8. Działanie przedwschodowe

- Wiele inhibitorów mikrotubul jest szczególnie skutecznych w okresie kiełkowania chwastów i bardzo wczesnego rozwoju siewek.
- Działają zanim roślina wytworzy silny system korzeniowy i część nadziemną.



kiełkowanie i bardzo wczesny rozwój – faza największej wrażliwości

9. Mikrotubule vs. VLCFA

Mikrotubule	VLCFA
dotyczą podziałów komórkowych i organizacji komórki	dotyczą syntezy bardzo długołańcuchowych kwasów tłuszczowych
blokują tworzenie wrzeciona podziałowego	wpływają na lipidy, nowe struktury i błony
efekt: zatrzymanie podziałów, zaburzenia wzrostu	efekt: uszkodzenie tkanek młodych siewek

Obie grupy powodują charakterystyczne objawy u młodych roślin, ale działają na inne procesy.

3. Po blokadzie

- Gdy mikrotubule nie działają, chromosomy nie mogą być prawidłowo rozdzielone.
- Podziały komórkowe są zaburzone lub zatrzymane.
- Komórki stają się większe, nieregularne i często wielojądrowe.



zaburzony podział

4. Merystemy

Najbardziej wrażliwe są tkanki o intensywnych podziałach komórkowych:

- wierzchołki korzeni,
- młode organy (pędy, liście),
- kiełkujące chwasty.



5. Korzeń

- Korzenie są krótkie i zgrubiałe.
- Tworzą mniej lub brak prawidłowych korzeni bocznych.
- Wierzchołek korzenia jest zniekształcony.



korzeń prawidłowy

krótki zgrobiony i zgrubiały

10. Praktyczny przykład

Siewka chwastu z krótkim, zgrubiałym korzeniem i uszkodzonym merystemem wierzchołkowym może wskazywać na działanie inhibitorów mikrotubul (zaburzenie cytoszkieletu).



Moduł 05

Odporność chwastów na herbicydy

Celem modułu jest zrozumienie, w jaki sposób populacja chwastów staje się odporna na herbicydy oraz jak odróżnić odporność od błędów w stosowaniu herbicydów lub naturalnej tolerancji.

1. Definicja

Odporność chwastów na herbicydy to dziedziczna zdolność części populacji do przeżycia dawki herbicydu, która wcześniej skutecznie zwalczała dany gatunek.



2. Zmienność populacji

W każdej populacji istnieje naturalna zmienność genetyczna. Pojedyncze osobniki mogą od początku posiadać cechy umożliwiające przeżycie działania herbicydu.

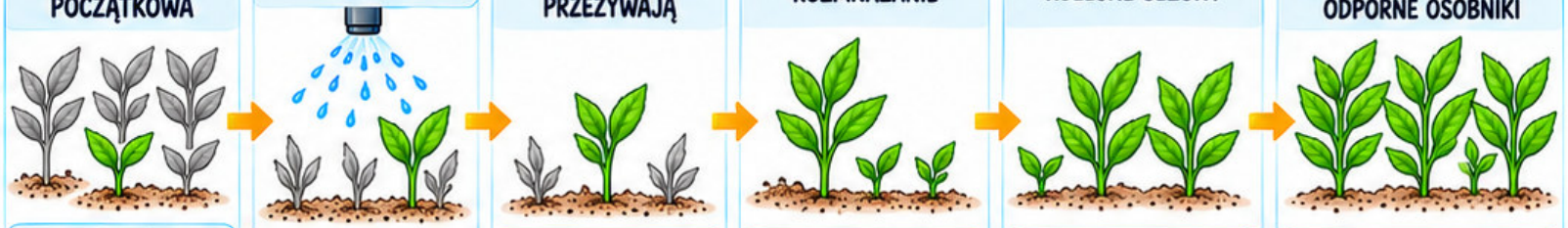


3. Presja selekcyjna

Powtarzane stosowanie herbicydów o tym samym mechanizmie działania usuwa osobniki wrażliwe, a przeżywające osobniki odporne pozostają w populacji i przekazują swoje cechy potomstwu.



ODPORNOŚĆ = EWOLUCJA POD PRESJĄ SELEKCYJNĄ



4. TSR – Target-Site Resistance

Mutacja w miejscu działania herbicydu lub zwiększona ilość białka będącego celem.
Herbicyd nie może skutecznie związać się z celem.



5. NTSR – Non-Target-Site Resistance

Mechanizmy niezwiązane z miejscem działania, m.in.:

- zwiększony metabolizm (szybszy rozkład),
- ograniczone pobieranie,
- ograniczona translokacja,
- sekwestracja (unieszkodliwianie w komórkach).



10. Herbicyd nie tworzy mutacji celowo

Herbicyd nie powoduje mutacji. Działa jako czynnik selekcyjny, który eliminuje osobniki wrażliwe, a faworyzuje te, które już miały lub nowo nabyły cechy umożliwiające przeżycie.



11. Zarządzanie ryzykiem

- Rotacja mechanizmów działania herbicydów.
- Stosowanie pełnych, skutecznych dawek zgodnie z etykietą.
- Łączenie metod: mechanicznych, agrotechnicznych, i chemicznych.
- Zmienowanie roślin.
- Ograniczanie banku nasion chwastów w glebie.



9. Co zwiększa ryzyko?

- Ciągłe stosowanie herbicydów o tym samym mechanizmie działania.
- Opieranie się na jednym sposobie zwalczania.
- Brak rotacji upraw i uproszczenia w zmianowaniu.
- Duża pula nasion chwastów w glebie.



6. Odporność krzyżowa

Jeden mechanizm odporności może chronić przed kilkoma herbicydami o podobnym mechanizmie działania.



7. Odporność wielokrotna

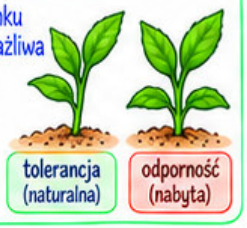
Jedna populacja może posiadać więcej niż jeden mechanizm odporności, co utrudnia skuteczne zwalczanie.



8. Tolerancja ≠ odporność

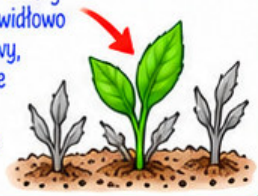
Tolerancja to naturalna cecha gatunku – roślina od początku jest mniej wrażliwa na herbicyd.

Odporność to efekt ewolucji w populacji, która wcześniej była wrażliwa, a zmieniła się pod wpływem presji selekcyjnej.



12. Praktyczny przykład

Jeżeli pojedyncze, zdrowe chwasty wielokrotnie przeżywają prawidłowo wykonany zabieg herbicydowy, podczas gdy rośliny wrażliwe wokół nich zamierają. to odporność jest poważną hipotezą.



Moduł 05

Fitotoksyczność, znoszenie i diagnostyka

Celem modułu jest przedstawienie praktycznego algorytmu diagnostycznego, który pozwala odróżnić fitotoksyczność herbicydu od niedoborów pokarmowych, chorób, stresów środowiskowych i innych przyczyn uszkodzeń roślin.

1. Fitotoksyczność

Uszkodzenia roślin spowodowane:
- niezamierzonym narażeniem na substancję,
- zbyt wysoką dawką lub stężeniem,
- nakładkami podczas aplikacji,
- niekorzystnymi warunkami pogodowymi,
- interakcjami między środkami,
- dużą wrażliwością odmiany lub gatunku.



2. Znoszenie

Najsilniejsze objawy występują na skraju pola, od strony źródła znoszenia. Wraz z odległością od granicy pola nasilienie objawów słabnie.



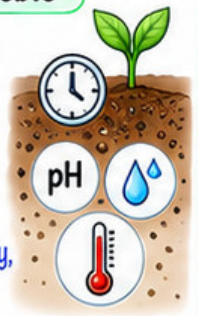
3. Nakładka aplikacyjna

Regularny pas uszkodzeń zgodny z przejazdami opryskiwacza. Szerokość pasa odpowiada szerokości belki roboczej.

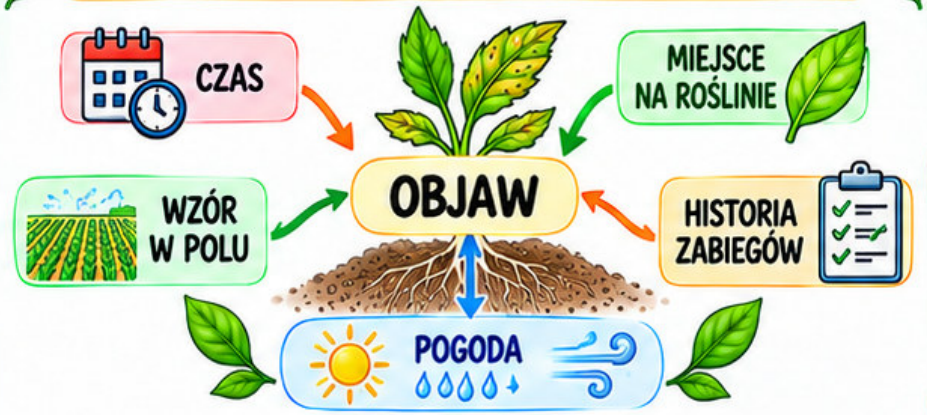


4. Pozostałości w glebie

Utrzymywanie się substancji w glebie może wpływać na roślinę następczą. Znaczenie mają:
- substancja czynna, dawka,
- pH gleby, wilgotność, temperatura,
- czas od zabiegu,
- właściwości gleby (zawartość próchnicy, typ i skład granulometryczny).



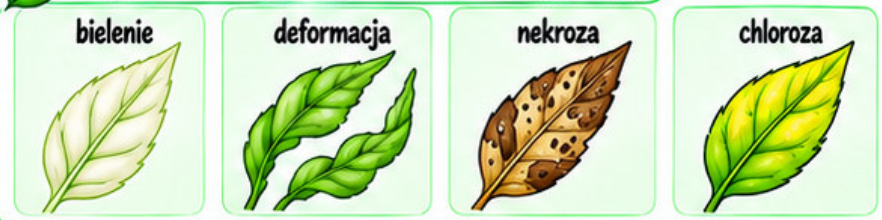
OBJAW PO HERBICYDZIE — CO NAPRAWDĘ SIĘ WYDARZYŁO?



ALGORYTM DIAGNOSTYCZNY

1. JAKI JEST OBJAW?
2. KTÓRA TKANKA?
3. JAK ROZKŁADA SIĘ W POLU?
4. JAKA BYŁA HISTORIA ZABIEGÓW?
5. JAKA BYŁA POGODA?
6. CZY OBJAW PASUJE DO MIEJSCA DZIAŁANIA?
7. PORÓWNAJ Z CHOROBĄ / NIEDOBOREM / STRESEM.

Najczęstsze typy objawów – jak wyglądają?



5. Objaw zgodny z miejscem działania

- ALS / ACCase — zahamowanie wzrostu nowych tkanek.
- HPPD / karotenoidy → bielenie (wybielanie).
- Syntetyczne auksyny – deformacje, skręcanie.
- PPO / PSI – szybka nekroza.



6. Rozmieszczenie objawu

Sprawdź, czy układ objawów na polu jest zgodny z biologią choroby (ogniska, plamy) czy z wzorem aplikacji (pasy, jednolity obszar, skraj).



7. Czas pojawienia się

Mechanizmy kontaktowe często działają szybciej (objawy w ciągu dni), metaboliczne mogą ujawniać się później (nawet po 1–3 tygodniach).



8. Pogoda

Wysoka temperatura, susza, przymrozki, wiatr, deszcz, wysoka wilgotność mogą naśladować objawy herbicydów lub zwiększać wrażliwość roślin.



9. 5 wskazówek z pola

- Pas zgodny z przejazdem opryskiwacza = aplikacja.
- Najsilniejsze objawy na skraju pola = znoszenie.
- Białe najmłodsze liście = mechanizmy HPPD / karotenoidy,
- Skręcone młode liście = zaburzenia typu auksynowego.
- Nekroza tylko na pokrytych fragmentach = mechanizm kontaktowy.

10. Blok bezpieczeństwa



Nie podejmuj decyzji o kolejnym zabiegu na podstawie pojedynczego objawu wizualnego. Najpierw zbierz:
- historię pola, warunki pogodowe, dane z aplikacji,
- zdjęcia całej rośliny i pola, informację o fazie rozwojowej roślin.

11. Praktyczny przykład



Objawy rozpoczynające się na skraju pola, od strony wcześniej opryskiwanego areału i stopniowo słabnące w głąb pola wskazują na znoszenie herbicydu.

Moduł 06

Choroby i szkodniki rolnicze

Jak rozpoznać sprawcę problemu, zrozumieć cykl infekcji lub żerowania i podejść do ochrony roślin jako do systemu.

Cel modułu

Po zakończeniu modułu użytkownik powinien:

- rozróżniać główne grupy sprawców chorób i szkodników,
- rozumieć, jak powstają objawy,
- analizować epidemiologię i czynniki ryzyka,
- stosować logiczną diagnozę zamiast opierać się tylko na rozpoznawaniu problemów ze zdjęcia.

> **Dobra ochrona zaczyna się od dobrej diagnozy.**
> Ten sam objaw może mieć kilka zupełnie różnych przyczyn.

Słowa-klucze na subcapie

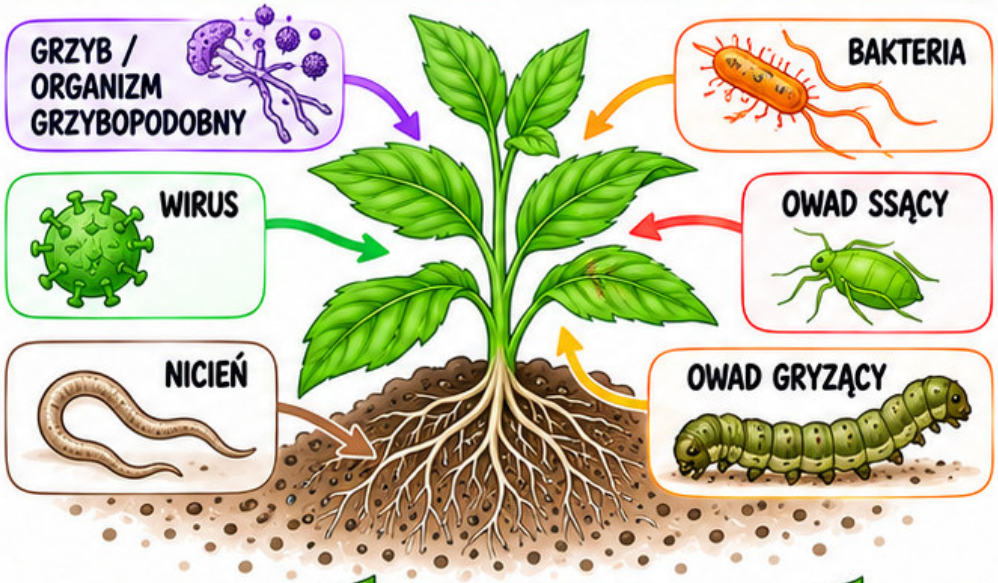
- patogen
- gospodarz
- środowisko
- infekcja
- objaw
- epidemiologia
- szkodnik
- monitoring
- próg
- IPM



Główna idea modułu

Nie zaczynamy od pytania „Jaki preparat zastosować?”.
Zaczynamy od pytania **„Co dokładnie powoduje objaw?”.**





Mini-schemat diagnostyczny

OBJAW
↓
BIOTYCZNY CZY ABIOTYCZNY?
↓
KTÓRY ORGAN?
↓
JAKI WZÓR?
↓
CZY WIDAĆ SPRAWCĘ / OZNAKI?
↓
JAK ROZKŁADA SIĘ W POLU?
↓
JAKIE WARUNKI SPRZYJAŁY PROBLEMOWI?

Filary modułu

1. Diagnoza	2. Biologia sprawcy	3. Epidemiologia	4. Monitoring	5. Zintegrowana ochrona
Logiczne rozpoznawanie problemu	Cykl życia i sposób działania	Warunki rozwoju i rozprzestrzeniania	Lustracje, progi, ryzyko	Łączenie metod i racjonalne decyzje

Objaw vs oznaka

OBJAW
= reakcja rośliny na problem.



np. żółknięcie, nekrozy, deformacje

OZNAKA SPRAWCY
= fizyczna obecność struktury patogenu lub szkodnika.



np. grzybnia, zarodniki, owady, jaja, wylinki

Kierunek wizualny





W tym module stawiamy na dużą liczbę wysokiej jakości zdjęć diagnostycznych, ale każda mapa myśli pozostaje skupiona na jednym, jasno określonym zagadnieniu.

Paleta modułu

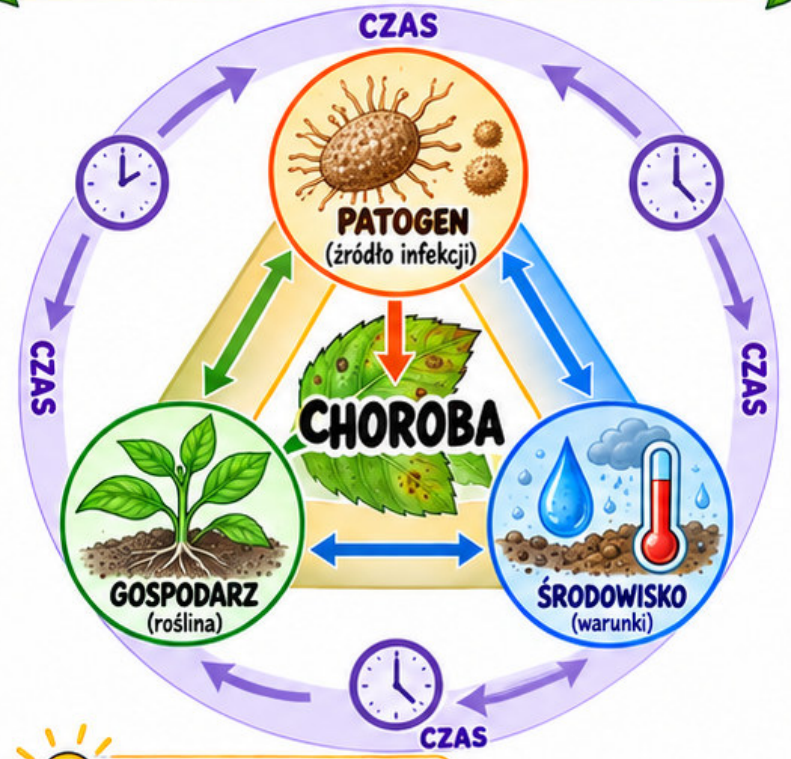
- zieleń = zdrowa roślina
- pomarańcz = ostrzeżenie
- fiolet = patogen
- granat = diagnostyka
- czerwony = uszkodzenie / alarm

Moduł 06

Trójkąt chorobowy i epidemiologia

Choroba rozwija się, gdy spotkają się: podatny gospodarz, aktywny patogen oraz sprzyjające warunki środowiska i utrzymają się one przez odpowiednio długi czas.

CHOROBA = PATOGEN + GOSPODARZ + ŚRODOWISKO + CZAS



1. Gospodarz podatny

Na podatność rośliny wpływają m.in.:

- **gatunek** – różna podatność między gatunkami
- **odmiana** – odmiany mogą być bardziej lub mniej podatne
- **geny odporności** – obecność genów R może ograniczać infekcję
- **faza rozwojowa** – niektóre fazy są bardziej wrażliwe (np. siewki, kwitnienie)
- **kondycja fizjologiczna** – stres (susza, niedobory składników, uszkodzenia) zwiększa podatność



2. Patogen zdolny do infekcji

- musi być obecny w środowisku
- musi być żywy i zdolny do rozwoju
- musi dotrzeć do gospodarza
- musi być zdolny do infekcji (np. kiełkować, wytworzyć struktury infekcyjne)
- znaczenie ma ilość inokulum – im więcej, tym większe ryzyko choroby



3. Środowisko

- **temperatura** – wpływa na kiełkowanie, infekcję i rozwój patogena
- **wilgotność powietrza** – wysoka sprzyja chorobom
- **długość zwilżenia liścia** – kluczowa dla infekcji
- **opady** – zapewniają wodę do kiełkowania i rozprzestrzeniania
- **wiatr** – przenosi zarodniki na duże odległości
- **wilgotność gleby** – ważna dla patogenów glebowych



4. Czas

- warunki muszą utrzymywać się wystarczająco długo, aby patogen mógł:
  - kiełkować
  - wniknąć do rośliny
  - skolonizować tkanki
  - wytworzyć nowe jednostki infekcyjne
- zbyt krótki czas sprzyjających warunków może przerwać rozwój choroby.



Przykład praktyczny

Sama obecność zarodników nie gwarantuje silnej choroby!

Jeśli temperatura jest zbyt niska, a liście pozostają suche tylko przez krótki czas, zarodniki mogą nie kiełkować i infekcja nie nastąpi, mimo obecności patogena w polu.



5. Inokulum pierwotne

Źródła pierwszych infekcji w sezonie:

- resztki pożniwne (porażone liście, łodygi)
- nasiona (porażone lub zainfekowane powierzchniowo)
- gleba (przetrwalniki, sklerocja, oospory)
- samosiewy roślin uprawnych
- chwasty (żywiciele patogena)
- materiał szkółkarski / sadzeniaki
- wektory (np. owady, roztocza, nicienie)



6. Inokulum wtórne

- Po pierwszych infekcjach na zainfekowanych roślinach powstają nowe zarodniki / jednostki infekcyjne.
- Rozprzestrzeniają się one w łanie i powodują kolejne infekcje.
- Im szybsze powstawanie i rozprzestrzenianie inokulum wtórnego, tym szybszy rozwój epidemii.
- W przypadku wielu chorób mamy do czynienia z epidemiami policyklicznymi (wiele cykli infekcji w jednym sezonie).



7. Epidemiologia

To nauka, która bada rozwój chorób roślin w czasie i przestrzeni oraz czynniki wpływające na tempo ich rozprzestrzeniania.

- określa źródła inokulum i drogi rozprzestrzeniania
- analizuje warunki sprzyjające epidemii
- pomaga przewidywać ryzyko i wyznaczać terminy działań ochronnych



8. Choroba monocykliczna vs policykliczna

Choroba monocykliczna	Choroba policykliczna
zwykle jeden cykl infekcji w sezonie	wiele cykli infekcji w sezonie
rozwija się wolniej	szybki rozwój epidemii
duże znaczenie ma inokulum pierwotne	duże znaczenie ma inokulum wtórne
przykłady: wiele chorób podstawy źdźbła, niektóre choroby korzeni	przykłady: mączniak prawdziwy, rdze, septoriozy, zaraza ziemniaka

Co można zmienić?

- **podatność gospodarza** (wybór odmiany, odporność, kondycja)
- **ilość inokulum** (niszczenie resztek, kwalifikowany materiał siewny)
- **mikroklimat łanu** (np. szerokość międzyrzędzi, przewiewność)
- **termin siewu** (unikanie najbardziej ryzykownych okresów)
- **długość utrzymywania się wilgoci** (np. nawadnianie, termin zabiegów)
- **ciągłość źródła infekcji** (zwalczanie samosiewów i chwastów)

Moduł 06

Objaw, oznaka chorobowa czy zaburzenie abiotyczne?

CO WŁAŚCIWIE WIDZISZ?

Naucz się rozróżniać reakcję rośliny, bezpośredni ślad sprawcy i uszkodzenie nieinfekcyjne, aby postawić właściwą diagnozę.

Cel modułu

Nauczyć, jak odróżnić: reakcję rośliny (objaw), bezpośrednią oznakę sprawcy (oznakę chorobową) oraz uszkodzenie abiotyczne, aby trafniej diagnozować problemy w uprawach.

Pamiętaj!

Ten sam wygląd liścia może mieć różne przyczyny. Patrz na całość: wygląd zmiany, wzór w polu, symetrię, postęp w czasie i warunki uprawy.

OBJAW

reakcja rośliny na stres lub działanie sprawcy



Przykłady objawów:

- chloroza (żółknięcie)
- nekroza (zamieranie tkanek)
- więdnięcie
- deformacja
- zahamowanie wzrostu
- plamistość

Objaw nie wskazuje automatycznie na jedną konkretną przyczynę.

OZNAKA

bezpośredni, widoczny element sprawcy



Przykłady oznak chorobowych:

- grzybnia (nalot, strzępki)
- zarodnikowanie (np. zarodniki, skupiska)
- sklerocja (twarde przetrwalniki)
- owocniki (np. czarne punkty, miseczki)
- wyciek bakteryjny (np. krople, śluz)

ABIOTYCZNE

uszkodzenie spowodowane czynnikami nieożywionymi



Przykłady zaburzeń abiotycznych:

- susza (niedobór wody)
- zalanie (nadmiar wody)
- mróz (uszkodzenia mrozowe)
- niedobór składnika pokarmowego
- herbicyd (uszkodzenia po zabiegu)
- zasolenie gleby
- uszkodzenie mechaniczne (np. grad, wiatr, sprzęt)

Nie rozprzestrzenia się z rośliny na roślinę jak choroba czy szkodnik.

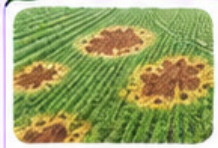
Szkodnik jako sprawca widoczny



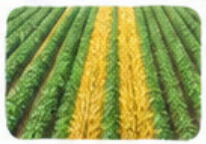
- owad (np. chrząszcz, mszyca)
- larwa (np. gąsienica, pędrak)
- jaja (skupiska jaj)
- odchody (np. czarne kulki)
- wylinki (pozostałości po linieniu)

Widoczny szkodnik lub jego ślady to silniejsza wskazówka niż samo uszkodzenie.

Wzór rozmieszczenia



Czynniki biotyczne często zaczynają się ogniskowo (place) i z czasem się rozprzestrzeniają.



Czynniki abiotyczne często układają się zgodnie z glebą, ścieżką maszyny, obniżeniem terenu, granicą pola lub kierunkiem wiatru.

Symetria

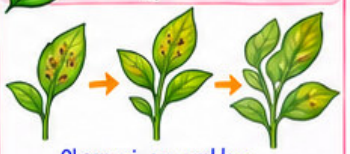


Infekcja - często nieregularne ogniska, różne nasilenie.



Zaburzenia fizjologiczne - często bardziej symetryczne na liściach i na roślinach.

Postęp w czasie



Obserwuj, czy problem się nasila i przechodzi na kolejne rośliny. Choroby i szkodniki zwykle się rozprzestrzeniają, zaburzenia abiotyczne - nie.

Najczęstszy błąd

„Widzę plamę, więc to grzyb."

Plamy na liściach mogą być spowodowane przez:

- chorobę (grzyb, bakteria)
- herbicyd (uszkodzenie po zabiegu)
- niedobór składnika pokarmowego
- uszkodzenie termiczne (np. upał, mróz)
- promieniowanie (np. silne nasłonecznienie)
- mechaniczne zranienie (np. grad, piasek)

Prosty algorytm diagnostyczny

WIDZĘ ZMIANĘ → Czy widzę sprawcę lub jego strukturę? → NIE → Jaki jest wzór w polu? → Czy objaw przechodzi na kolejne rośliny? → Czy pasuje do pogody, gleby lub historii zabiegów? → Postaw najbardziej prawdopodobną diagnozę.

Czy widzę sprawcę lub jego strukturę? → TAK → Silna wskazówka biologiczna (choroba / szkodnik)

Jaki jest wzór w polu? — Ogniska czy pasy? Zgodność z glebą, maszyną, terenem?

Czy objaw przechodzi na kolejne rośliny? — Czy problem się nasila?

Czy pasuje do pogody, gleby lub historii zabiegów? — Susza, mróz, herbicyd, niedobór, zalanie?

Przykład z praktyki



Na polu pojawiają się brązowe plamy dokładnie w śladzie opryskiwacza.

→ Najpierw sprawdź historię zabiegów (aplikacja środka, dawka, warunki).

Taki układ najczęściej wskazuje na uszkodzenie po zabiegu (czynnik abiotyczny), a nie na chorobę.

Moduł 06

Grzyby i organizmy grzybopodobne

GRZYB TO NIE ZAWSZE "PLEŚŃ"

Celem modułu jest przedstawienie najważniejszych cech patogenów grzybowych i organizmów grzybopodobnych oraz różnic w budowie, sposobie infekcji i przetrwaniu.

1. Grzyby właściwe

- Tworzą strzępki, które razem tworzą grzybnię.
- Ściana komórkowa zbudowana głównie z chityny.



2. Zarodniki

- Umożliwiają rozprzestrzenianie się na duże odległości.
- Służą do infekcji nowych roślin.
- Zapewniają przetrwanie w niekorzystnych warunkach.



3. Wnikanie do rośliny

- Bezpośrednie przenikanie przez skórkę (epidermis).
- Przez aparaty szparkowe.
- Przez rany.
- Przez naturalne otwory (np. lenticelle).



4. Haustoria

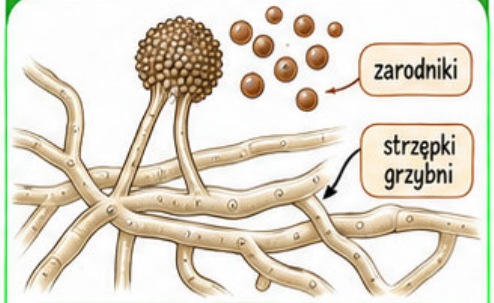
- Specjalistyczne struktury ssące występujące u niektórych biotrofów.
- Umożliwiają pobieranie substancji odżywczych z żywych komórek rośliny.



Dlaczego klasyfikacja ma znaczenie?

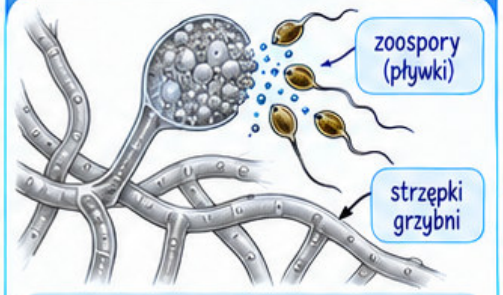
- Różne grupy mają odmienną biologię, budowę komórek, wymagania środowiskowe oraz różną wrażliwość na metody ochrony.
- Właściwe rozpoznanie sprawcy pozwala dobrać skuteczną strategię ograniczania chorób.

GRZYB



- Grzyby właściwe (Fungi).
- Ściana komórkowa głównie z chityny.
- Często tworzą septowane strzępki.
- Różnorodny sposób rozmnażania (zarodniki bezpłciowe i płciowe).

LĘGNIOWIEC



- Organizmy grzybopodobne (Lęgniowce, Oomycota).
- Odrębna grupa biologiczna – nie są to grzyby właściwe.
- Ściana komórkowa bogata w celulozę i glukany (nie zawiera chityny w dużych ilościach).
- Często tworzą nieseptowaną grzybnię.
- Wytwarzają pływki (zoospory).

biotrof – żywi się żywymi komórkami rośliny

nekrotrof – zabija komórki rośliny i odżywia się martwą tkanką

hemibiotrof – najpierw faza biotroficzna, potem nekrotyficzna

PATOGENY "GRZYBOWE"

GRZYBY WŁAŚCIWE

ORGANIZMY GRZYBOPODOBNE

biotrof ● nekrotrof ● hemibiotrof

Przykład praktyczny

Choroby takie jak zaraza ziemniaka (*Phytophthora infestans*) intensyfikują się w bardzo wilgotnych warunkach. Sprawca wytwarzą ruchliwe zoospory, które w warstwie wody szybko docierają do roślin i infekują je przez aparaty szparkowe lub bezpośrednio przez skórkę.



8. Organizmy grzybopodobne / Lęgniowce / Oomycota

- Odrębna grupa organizmów (Oomycota).
- Ściana komórkowa bogata w celulozę i glukany.
- Nie są to grzyby właściwe.
- Często tworzą nieseptowaną grzybnię.



9. Woda

- Wolna woda ma kluczowe znaczenie dla infekcji – ułatwia kiełkowanie zarodników, ruch strzępek i infekcję.
- Wiele organizmów grzybopodobnych wytwarza ruchliwe zoospory (pływki), które przemieszczają się w warstwie wody.



10. Przetrwanie

- Przetrwanie w formie:
  - grzybni w resztkach roślinnych,
  - sklerocjów,
  - zarodników przetrwalnikowych (np. chlamydospor).
  - oospor (u lęgniowców),
  - struktur w glebie i na resztkach pożniwnych.



5. Biotrof

- Wymaga żywych tkanek rośliny do rozwoju.
- Często tworzy haustoria.
- Zwykle powoduje mniej widoczne objawy na początku.



6. Nekrotrof

- Zabija komórki rośliny i odżywia się martwą tkanką.
- Wytwarza enzymy i toksyny.
- Powoduje rozkład ścian komórkowych i błon.
- Często daje szybkie i wyraźne objawy nekrotyczne.



7. Hemibiotrof

- Najpierw żywi się żywymi komórkami rośliny (faza biotroficzna).
- Następnie przechodzi do fazy nekrotyficznej.
- Łączy cechy biotrofów i nekrotrofów.



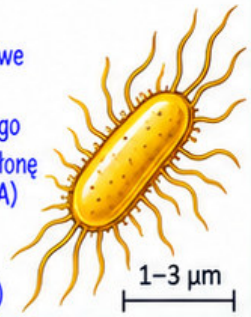
Moduł 06

Bakterie fitopatogeniczne

Jak bakterie wnikają do roślin, przemieszczają się w tkankach i powodują typowe objawy chorobowe?

1. Budowa

- bakterie są jednokomórkowe i prokariotyczne
- nie mają jądra komórkowego
- mają ścianę komórkową, błonę i materiał genetyczny (DNA)
- rozmnażają się głównie przez podział komórki (rozmnażanie wegetatywne)



2. Nie przebijają zdrowej kutykuli łatwo

Wnikają głównie przez:

- szparki
- hydatody (wodniki)
- rany mechaniczne
- miejsca żerowania owadów
- uszkodzenia spowodowane przez grad, mróz, narzędzia



3. Woda jako nośnik

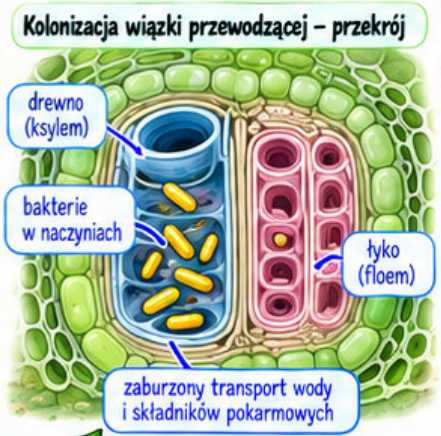
- krople deszczu rozprzestrzeniają bakterie na sąsiednie rośliny
- wysoka wilgotność i długie zwilżenie liści sprzyjają wielu bakteryzom
- woda do nawadniania może być źródłem infekcji



> **BAKTERIA – MAŁA KOMÓRKA, DUŻE ZABURZENIE**







4. Rozmnażanie w przestrzeniach międzykomórkowych

- bakterie namnażają się bardzo szybko w przestrzeniach międzykomórkowych
- powodują rozluźnienie tkanek i ich rozpad
- mogą przemieszczać się dalej do sąsiednich tkanek



5. Enzymy degradujące ściany

- wytwarzają enzymy rozkładające: pektyny, celulozę i inne składniki ściany komórkowej
- efekt: miękkie zgnilizny i rozpad tkanek
- uwalniają substancje toksyczne, które nasilają objawy



6. Ksylem

- niektóre gatunki kolonizują tkanki przewodzące (ksylem)
- zaburzają transport wody i soli mineralnych
- prowadzi to do więdnięcia roślin mimo dostatecznej wilgotności gleby



7. Typowe objawy

- wodne plamy
- nekrozy
- zgorzele
- więdnięcie
- miękkie zgnilizny
- narośla (gale)
- wycieki bakteryjne



8. Wycieki bakteryjne

- śluzowate lub mętne wycieki z tkanek
- często widoczne przy wysokiej wilgotności powietrza
- bezpośredni znak obecności bakterii w roślinie



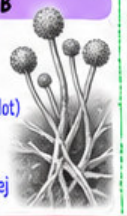
9. Rozprzestrzenianie

- deszcz i krople wody
- narzędzia i maszyny
- materiał rozmnożeniowy (sadzonki, bulwy, cebule)
- nasiona
- owady
- kontakt roślin



Grzyb czy bakteria?

GRZYB	BAKTERIA
często widoczna grzybnia	brak grzybni i zarodnikowania
może tworzyć zarodniki (np. nalot)	często wodniste plamy i wycieki
objawy zwykle bardziej suche	szybkie, miękkie zgnilizny
rozwija się wolniej	objawy mogą być podobne – wymaga dokładnej analizy





> Diagnoza tylko na podstawie objawów wizualnych może być myląca!

Przykład z praktyki

U rośliny warzywnej po intensywnych opadach pojawiły się wodniste, miękkie plamy na liściach i ogonkach. Tkanka w krótkim czasie uległa rozpadowi, a z miejsc porażenia wypływał mętny, śluzowaty wyciek. To typowy przebieg bakteryjnej miękkiej zgnilizny w warunkach wysokiej wilgotności.



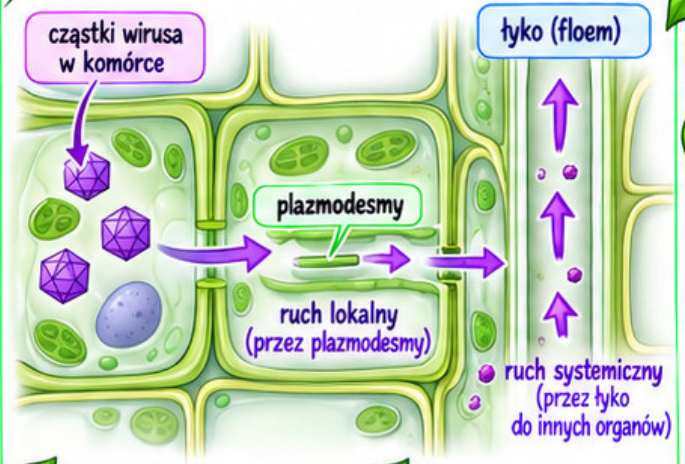
Moduł 06

Wirusy i fitoplazmy

PATOGEN WEWNĄTRZ KOMÓRKI I ŁYKA

Wirusy i fitoplazmy różnią się zasadniczo od grzybów i bakterii, ponieważ nie prowadzą samodzielnego życia poza komórką rośliny, a ich rozprzestrzenianie zależy od wektorów, co ma kluczowe znaczenie dla epidemiologii.

WIRUS



1. Czym jest wirus?



- materiał genetyczny (RNA lub DNA)
- kapsyd białkowy
- nie ma pełnego, własnego metabolizmu

2. Potrzebuje komórki gospodarza



- wykorzystuje aparat komórkowy rośliny do kopiowania swojego materiału genetycznego

3. Ruch lokalny



- przez plazmodesmy
- z udziałem białek ruchu (movement proteins)

4. Ruch systemiczny



- po dotarciu do łyka może przemieszczać się do innych organów rośliny

5. Typowe objawy



- mozaiki
- chlorozy
- pierścienie
- deformacje
- karłowatość
- nekrozy

- nie są wyłącznie wirusowe – podobne objawy mogą powodować także inne patogeny lub czynniki stresowe.

6. Wektory



WEKTOR



przenosi wirusy i fitoplazmy między roślinami podczas żerowania na tkankach przewodzących.

PORÓWNANIE

WIRUS	FITOPLAZMA
niekomórkowy patogen	żywa komórka prokariotyczna bez ściany komórkowej
materiał genetyczny + kapsyd	żyje głównie w łyku (floemie)
kopiuje się z użyciem aparatu komórkowego rośliny	nie może być hodowana na sztucznych podłożach
może przemieszczać się przez łyko do innych organów	przenoszona przez określone owady ssące

Dlaczego wektor jest kluczowy?



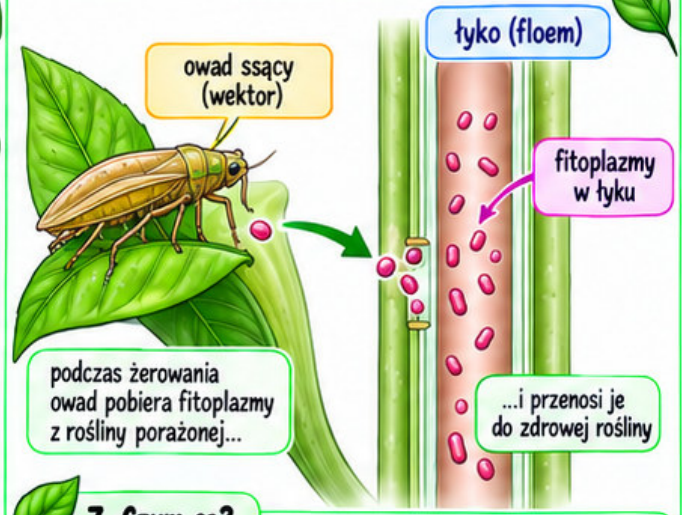
- stosowanie zdrowego materiału nasadzeniowego
- ograniczanie źródeł infekcji w otoczeniu plantacji
- zwalczanie i monitoring wektorów
- w niektórych systemach – usuwanie roślin porażonych

Przykład z praktyki



Usuwanie tylko roślin z widocznymi objawami nie zatrzymuje epidemii, jeśli wektory nadal przenoszą patogen na zdrowe rośliny.
Dlatego potrzebne jest łączne działanie: higiena uprawy + kontrola wektorów + eliminacja źródeł infekcji.

FITOPLAZMA



7. Czym są?



- bakterie bez ściany komórkowej
- należą do grupy Mollicutes
- żyją i namnażają się głównie w łyku (floemie) roślin
- nie mogą być hodowane na sztucznych podłożach

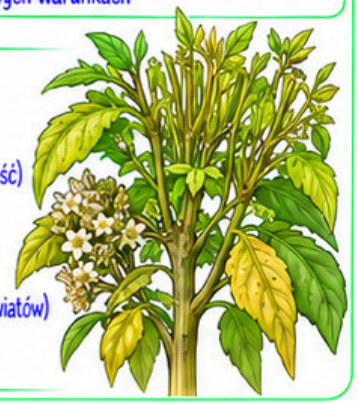
8. Przenoszenie



- głównie przez owady ssące żerujące na łyku (floemie)
- najważniejsze wektory to skoczki (Cicadellidae), rzadziej inne owady ssące
- fitoplazmy nie są przenoszone mechanicznie w typowych warunkach

9. Objawy

- żółknięcie liści
- karłowatość
- proliferacja pędów (wielopędowość)
- miotlastość
- zazielenienie kwiatów
- zaburzenia rozwojowe (np. wykształcanie liści zamiast kwiatów)



Moduł 06

Cykl chorobowy

Kolejne etapy – od przetrwania patogenu, przez rozwój infekcji, aż do nowych zakażeń. Na każdym etapie można przerwać cykl!

„CHOROBA TO CYKL, NIE JEDEN MOMENT"



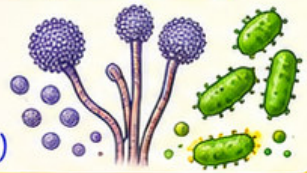
Etap 1 Przetrwanie

- resztki pożniwne
- gleba
- nasiona
- bulwy / kłącza
- chwasty
- samosiewy
- wektory (np. owady)



Etap 2 Produkcja inokulum

- zarodniki (grzyby)
- komórki bakteryjne
- zakaźne wektory
- inne formy zakaźne (np. oospory, sklerocja)



Etap 3 Rozprzestrzenianie

- wiatr
- deszcz / woda
- gleba (cząstki)
- maszyny i narzędzia
- nasiona
- owady
- materiał szkółkarski / sadzeniaki



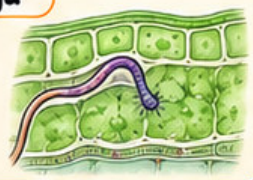
Etap 4 Inokulacja

- inokulum dociera do powierzchni podatnego żywiciela (np. liść, łodyga, korzeń, owoc).



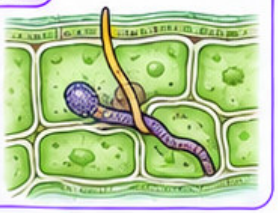
Etap 5 Penetracja

- przez kutykulę
- przez aparaty szparkowe
- przez hydatody
- przez rany
- z udziałem wektora



Etap 6 Infekcja

- nawiązanie relacji z żywą tkanką rośliny, rozwój wewnątrz komórek lub w przestrzeniach międzykomórkowych.



Etap 7 Kolonizacja

- lokalne lub systemiczne rozprzestrzenianie
- między komórkami
- wewnątrz komórek
- drogą ksylemu lub floemu



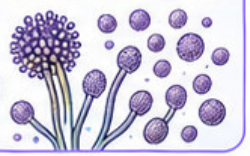
Etap 8 Objawy

- plamy
- chlorozy
- więdnięcie
- nekrozy
- deformacje



Etap 9 Sporulacja / nowe inokulum

- tworzenie nowych form zakaźnych, które mogą zainfekować kolejne rośliny i rozpocząć nowy cykl.



Ważne pojęcia



OKRES INKUBACJI = czas od infekcji do pojawienia się objawów.

OKRES LATENTNY = czas od infekcji do momentu, gdy patogen może tworzyć nowe inokulum.

Prosty schemat cyklu

PRZETRWANIE → INOKULUM → ROZPRZESTRZENIANIE → INFEKCJA → KOLONIZACJA → OBJAWY → NOWE INOKULUM

Gdzie przerwać cykl?

Przetrwanie	płodozmian / resztki pożniwne
Inokulum	zdrowe nasiona
Rozprzestrzenianie	higiena / wektory
Infekcja	odmiana odporna / mikroklimat / właściwa ochrona

Przykład z praktyki



Usunięcie źródła inokulum po zbiorach (np. dokładne rozdrobnienie i przyoranie resztek porażonych roślin) ogranicza presję pierwotną patogena w następnym sezonie.

Mniej inokulum dziś = mniej chorób jutro!

Cel modułu

Po zakończeniu modułu użytkownik powinien:

- rozpoznać dwa główne źródła infekcji (patogeny w glebie i na/ w nasionach),
- zrozumieć, jak prowadzą do słabych i nierównych wschodów,
- umieć odróżnić objawy i zaplanować działania ograniczające ryzyko w kolejnych sezonach.

Moduł 06

Choroby odglebowe i przenoszone przez nasiona

„PROBLEM MOŻE ZACZĄĆ SIĘ, ZANIM ROŚLINA WYJDZIE Z GLEBY"

Słowa-klucze na subcapie

- gleba
- nasiono
- patogen
- zgorzel
- kiełkowanie
- wschody
- grzybnia
- sklerocja
- chlamydospory
- oospory
- zdrowotność
- materiał siewny

GLEBA

W glebie patogeny mogą przetrwać przez wiele lat i zaatakować młodą roślinę.

1. Źródło w glebie

Patogeny przetrwają w glebie i resztkach pożniwnych w postaci:

- grzybni,
- sklerocjów,
- chlamydospor,
- oospor,
- innych struktur przetrwalnikowych.



2. Atak na kiełkujące nasiona

- Zamieranie nasion w glebie (zgnilizna nasion).
- Brak wschodów.
- Śmierć kiełka przed osiągnięciem powierzchni gleby.

3. Zgorzel przedwschodowa

- Siewka obumiera w glebie przed wyjściem na powierzchnię.
- W łanie widoczne są puste miejsca.



4. Zgorzel powschodowa

- Po wschodach na szyjce korzeniowej pojawia się przewężenie.
- Siewka przewraca się i zamiera.

5. Warunki sprzyjające

- Wysoka wilgotność gleby.
- Słaba aeracja (nadmierne zagęszczenie).
- Niskie temperatury.
- Powolne, wydłużone wschody.
- Duże nasilenie inokulum w glebie.



słabe / nierówne wschody

NASIONO

Nasiona mogą być nośnikiem patogenów – nawet jeśli wyglądają zdrowo.

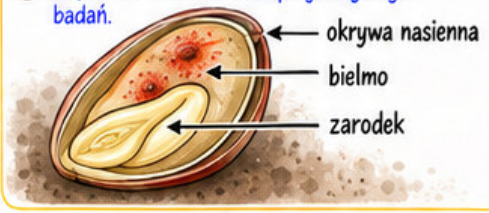
6. Na powierzchni nasiona

- Patogeny znajdują się na okrywie nasiennej lub w zanieczyszczeniach (przylegająca gleba, resztki roślin).



7. Wewnątrz nasiona

- Patogeny mogą być w okrywie nasiennej, bielmie lub zarodku.
- Często nie widać ich bez specjalistycznych badań.



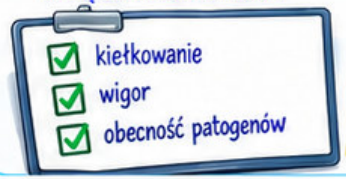
8. Nasiono jako wehikuł

- Zakażone nasiona wprowadzają patogen na nowe pole.
- Stanowią źródło pierwszych ognisk choroby.
- Mogą prowadzić do infekcji systemicznej w roślinie.



9. Zdrowotność materiału siewnego

- Oceń: kiełkowanie, wigor i obecność patogenów (np. badania laboratoryjne).
- Wysoka zdolność kiełkowania nie zawsze oznacza dobrą zdrowotność nasion.



Nasiona mogą kiełkować dobrze, a jednocześnie być nosicielami patogenów.

Porównanie – dwie drogi infekcji

GLEBA	NASIONO ZAKAŻONE
atakuje nasiono / korzeń od zewnątrz.	wnosi patogen razem z rośliną.

Jak odróżniać?



Nieregularne luki w łanie, często w zagłębieniach terenu i na wilgotnych stanowiskach → **problem odglebowy.**



Chore siewki rozmieszczone zgodnie z partią nasion (np. pasami lub w całym polu) → **problem ze zdrowotnością materiału siewnego.**

Praktyczny przykład

Partia nasion zbóż ma 95% kiełkowania w warunkach laboratoryjnych, ale jest porażona przez grzyba przenoszonego przez nasiona (np. głownię). Po siewie na polu pojawiają się nierówne wschody i pierwsze ogniska choroby.

Wysoka zdolność kiełkowania to nie to samo, co dobra zdrowotność nasion.

Moduł 06
Choroby liści

PLAMA NA LIŚCIU TO WZÓR DO ODCZYTANIA

Praktyczna mapa, która pomoże przeanalizować zmiany na liściach na podstawie kształtu, brzegu, koloru, rozmieszczenia i widocznych struktur sprawcy.

1. Plamistość

- Oceń kształt plamy (okrągła, nieregularna),
- wielkość,
- kolor (brunatna, szara, czarna, jasna),
- brzeg (wyraźny, rozmyty),
- środek plamy (jednolity czy z pierścieniami).



2. Halo chlorotyczne

- Żółta strefa wokół nekrozy może świadczyć o reakcji tkanek rośliny.
- Nie jest to cecha swoista dla jednego patogenu.
- Występuje u różnych grup sprawców chorób.



3. Ograniczenie przez nerwy

- Plama o kanciastym kształcie, zatrzymana przez nerwy liścia, to ważna wskazówka morfologiczna.
- Świadczy o wpływie budowy liścia na rozwój zmiany.
- Często spotykane u patogenów wchodzących przez aparaty szparkowe.



4. Nalot

- Biały nalot może być grzybnią lub zarodnikowaniem.
- Szary lub brunatny nalot również może stanowić struktury zarodnikujące.
- Zawsze sprawdź obie strony liścia – wygląd może się różnić.



Najczęstsze wzory zmian na liściach



okrągła plama | kanciasta | halo | nalot | krosty | mozaika

Prosty schemat diagnostyczny

PLAMA NA LIŚCIU
↓
NEKROTYCZNA CZY CHLOROTYCZNA?
↓
OKRĄGŁA CZY KANCIASTA?
↓
JEST HALO?
↓
JEST NALOT / ZARODNIKOWANIE?
↓
AWERS CZY REWERS?
↓
JAK ROZKŁADA SIĘ NA ROŚLINIE I POLU?

Nie diagnozuj po kolorze



Sama brunatna plama nie pozwala określić sprawcy.

Najbardziej wiarygodna diagnoza wynika z zestawu cech (morfologia zmiany, struktury sprawcy, strona liścia, rozmieszczenie) oraz z kontekstu epidemiologicznego (warunki pogodowe, faza rozwojowa roślin, źródło inoculum, historia pola).

Przykład z praktyki



Plamy o kanciastym kształcie, ograniczone przez nerwy, a od spodu widoczny nalot (zarodnikowanie) to typowy obraz patogenu, który rozwija się w warunkach wysokiej wilgotności.

Połączenie kształtu zmiany, ograniczenia przez nerwy, strony liścia i warunków środowiska prowadzi do właściwego wniosku.

5. Krosty i skupienia zarodników

- Wypukłe struktury na liściu mogą wskazywać na zarodnikowanie.
- Mogą mieć różny kolor: pomarańczowy, brunatny, czarny.
- Kolor może się zmieniać w zależności od etapu rozwoju sprawcy.



6. Koncentryczne pierścienie

- Pierścienie w kształcie tarczki mogą być wynikiem strefowego wzrostu sprawcy lub kolejnych faz nekrozy.
- Nie są cechą unikalną dla jednej choroby.
- Warto sprawdzić, czy pierścienie są wyraźne i regularne.



7. Mozaika

- Nieregularny wzór jasnych i ciemnozielonych obszarów może świadczyć o systemowym zaburzeniu w roślinie, w tym o przyczynach wirusowych, ale nie wyłącznie.
- Wzór może obejmować całą blaszkę lub jej część.
- Często towarzyszy temu deformacja liści.



8. Z której strony liścia?

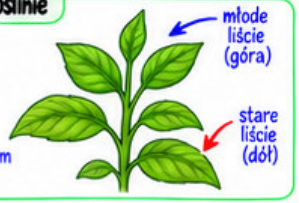
- Niektórzy patogeni wykazują struktury głównie na spodniej stronie liścia, inni na obu stronach.
- Diagnostyka wymaga dokładnego obejrzenia:

AWERS + REWERS



9. Rozmieszczenie w roślinie

- Czy objawy występują na starych czy młodych liściach?
- Czy częściej na dolnych czy górnych partiach rośliny?
- Pomaga to powiązać objaw z mikroklimatem, źródłem inokulum i fizjologią rośliny.



Moduł 06

Choroby korzeni i wiązek przewodzących

> **GDY LIŚĆ WIĘDNIE, PROBLEM MOŻE BYĆ POD ZIEMIĄ**
> Infekcja korzeni lub ksylemu może powodować objawy w liściach i pędach, ponieważ zaburza pobieranie lub transport wody i jonów, a skutki widoczne są daleko od miejsca pierwotnego uszkodzenia.

1. Choroby korzeni

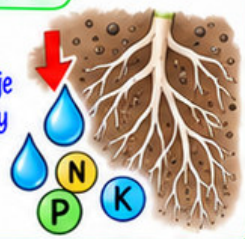
Patogeny mogą uszkadzać:

- włośniki (włośniki korzeniowe),
- korzenie boczne,
- korzeń główny,
- szyjkę korzeniową.



2. Pierwszy efekt

Zmniejszenie aktywnej powierzchni korzeni powoduje ograniczenie pobierania wody i składników pokarmowych.



3. Objawy części nadziemnej

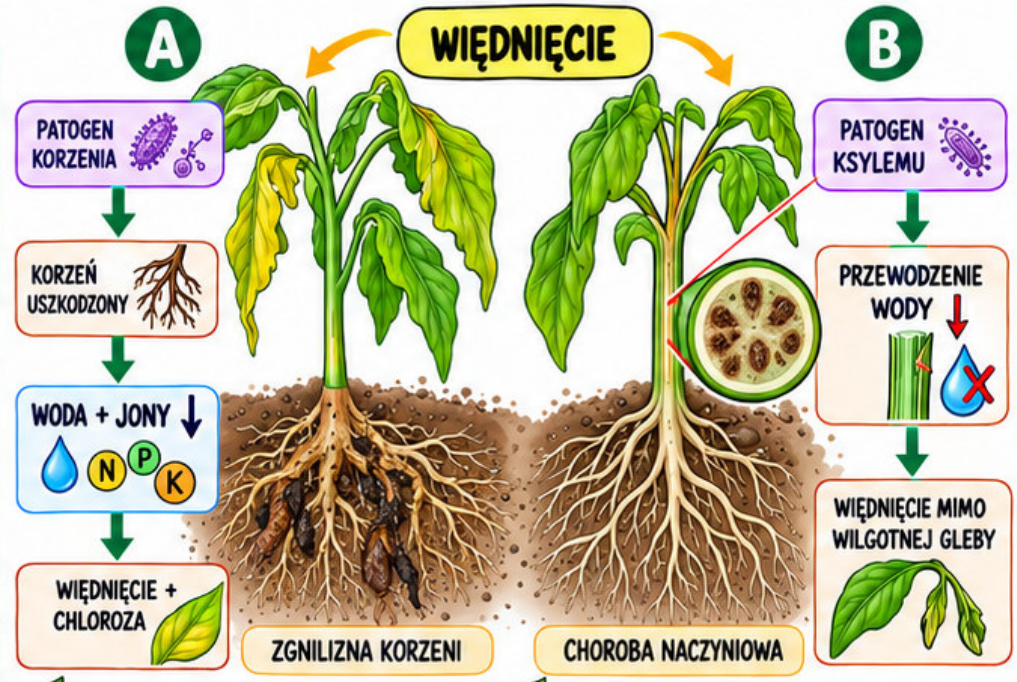
- więdnięcie liści i pędów,
- chloroza (żółknięcie),
- zahamowanie wzrostu,
- przedwczesne starzenie się roślin.



4. Zgnilizna

Tkanki korzeni mogą być brązowe, miękkie i wodniste lub suche i martwe – zależnie od sprawcy choroby i warunków środowiska.





Zawsze wykop roślinę

Sprawdź:

- korzenie (stan, kolor, zapach),
- szyjkę korzeniową,
- przekrój łodygi,
- kolor wiązek przewodzących,
- zapach tkanek,
- strukturę gleby (zbita, podmokła, beztlenowa).



Przykład z praktyki

Roślina więdnie, mimo że gleba jest wilgotna. Po wykopaniu widać częściowo zgnite korzenie, a na przekroju łodygi wyraźne, brązowe wiązki przewodzące.



Woda jest w glebie, ale nie dociera do części nadziemnych.

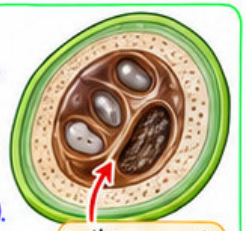
5. Choroby naczyniowe

Patogeny (grzyby, bakterie) zasiedlają ksylem i utrudniają transport wody w roślinie.



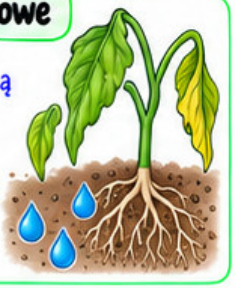
6. Okluzja naczyń

Światła naczyń mogą być blokowane przez strzępki grzybów, bakterie, substancje gumowate, tylosy oraz reakcje obronne rośliny (np. odkładanie związków fenolowych).



7. Więdnięcie naczyniowe

Nawet przy wilgotnej glebie liście tracą turgor, ponieważ woda jest w glebie, ale nie dociera prawidłowo do części nadziemnych z powodu zablokowanego przewodzenia.



8. Przebarwienia wiązek

Na przekroju łodygi lub korzenia można zaobserwować brązowe lub ciemne przebarwienia wiązek przewodzących.



9. Jednostronne objawy

Jeśli zablokowana jest tylko część układu naczyniowego, objawy mogą być silniej widoczne po jednej stronie pędu lub liścia.



Moduł 06

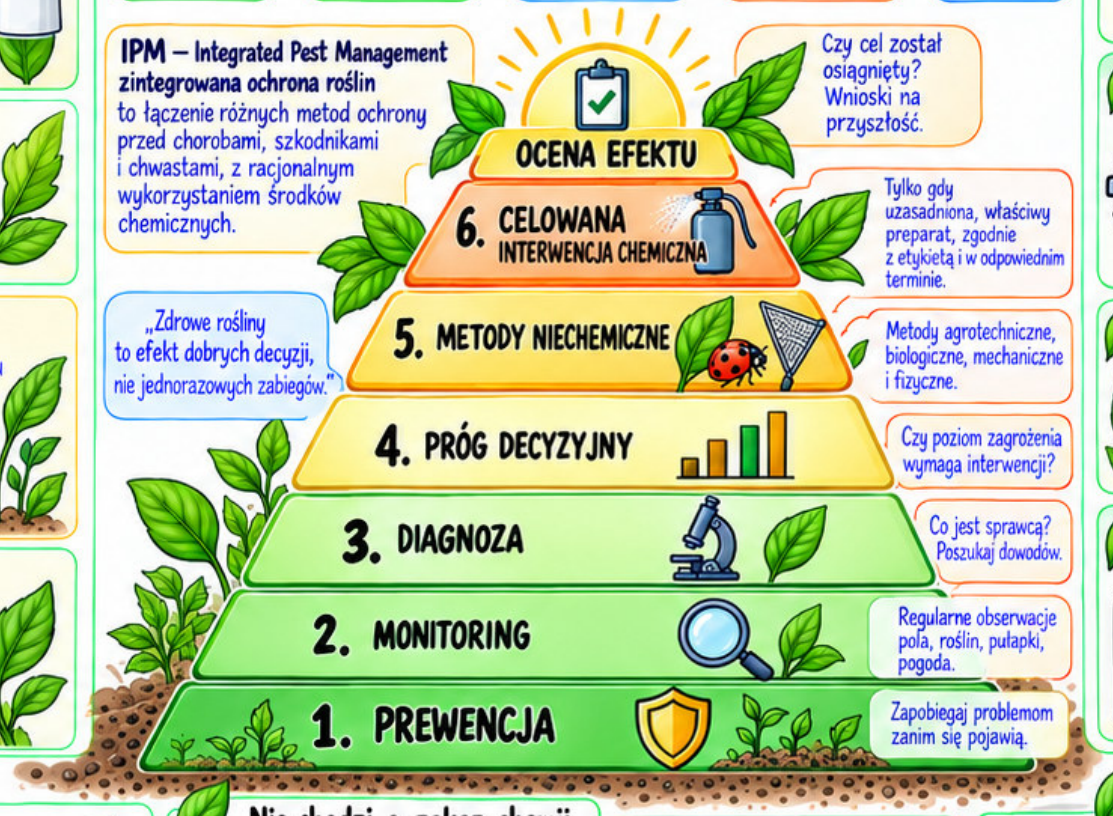
Zintegrowana ochrona roślin

IPM — NIE JEDEN ZABIEG, LECZ SYSTEM DECYZJI

PREWENCJA → MONITORING → PRAWIDŁOWA DIAGNOZA → ADEKWATNA INTERWENCJA → OCENA EFEKTU

IPM — Integrated Pest Management
zintegrowana ochrona roślin
to łączenie różnych metod ochrony przed chorobami, szkodnikami i chwastami, z racjonalnym wykorzystaniem środków chemicznych.

„Zdrowe rośliny to efekt dobrych decyzji, nie jednorazowych zabiegów."



Filary zintegrowanej ochrony roślin

1. Zapobieganie
- płodozmian
- odmiana odporna
- zdrowy materiał siewny
- higiena
- prawidłowa agrotechnika
- zarządzanie resztkami pożniwnymi

2. Monitoring
- regularne obserwacje pola i roślin
- pułapki (np. feromonowe, lepowe)
- warunki pogodowe
- rozwój patogenów lub szkodników

3. Diagnoza
- co jest sprawcą?
- poszukaj dowodów (objawy, obecność organizmu, analizy)
- zaakceptuj różne możliwości

4. Ocena zagrożenia
- nie każda obecność wymaga zabiegu
- uwzględnij liczebność
- fazę rozwojową rośliny
- tempo rozwoju populacji
- warunki pogodowe
- możliwe straty

5. Progi decyzyjne
- stosuj ekonomiczne progi szkodliwości lub inne kryteria, gdy są dostępne
- wartości zależą od gatunku, uprawy, regionu i sytuacji
- nie ma uniwersalnych liczb

6. Metody agrotechniczne
- płodozmian
- termin siewu
- odpowiednia obsada
- nawożenie i nawadnianie
- uprawa gleby
- usuwanie źródeł inokulum

7. Metody biologiczne
- antagoniści
- naturalni wrogowie
- pożyteczne mikroorganizmy
- biopreparaty

8. Metody mechaniczne i fizyczne
- usuwanie porażonych części roślin
- mechaniczne zwalczanie chwastów
- bariery (np. siatki, osłony)
- pułapki
- zabiegi termiczne (w odpowiednich systemach)

9. Metody chemiczne
- tylko gdy uzasadniona potrzeba
- właściwie dobrany preparat
- zgodnie z etykietą
- w odpowiednim terminie

10. Ocena po działaniu
- sprawdź skuteczność
- zanotuj wyniki
- oceń wpływ na organizmy niebędące celem
- wykorzystaj dane w kolejnej decyzji

Dlaczego system działa lepiej?
- mniej niepotrzebnych zabiegów
- mniejsza presja na powstawanie odporności
- niższe koszty błędnych decyzji
- mniejsze ryzyko dla organizmów niebędących celem

Nie chodzi o zakaz chemii

Chemia jako jedno z narzędzi
Stosowana rozważnie, we właściwym momencie, jako element całego systemu.

Chemia jako jedyna odpowiedź
Prowadzi do większych kosztów, ryzyka odporności i problemów środowiskowych.

Praktyczny przykład

Na plantacji rzepaku stwierdzono niewielką liczbę mszyc. Obserwacje wykazały dużą liczbę biedronek i złotooków.

Nie zawsze wymaga to natychmiastowej interwencji chemicznej!

Warto poczekać i dalej obserwować – naturalni wrogowie mogą skutecznie ograniczyć liczebność szkodników.



PATOGENY → poznane

Teraz przechodzimy od chorób do sposobu, w jaki owady, roztocza i nicienie uszkadzają rośliny.

SZKODNIKI → następny etap

Moduł 06

Typy aparatów gębowych szkodników

SPOSÓB ŻEROWANIA ZOSTAWIA ŚLAD

Ta strona uczy, jak na podstawie uszkodzeń połączyć typ żerowania z aparatem gębowym szkodnika, zanim rozpoznasz konkretny gatunek.

1. Aparat gryzący

- **Przykłady:** gąsienice, wiele chrząszczy, część larw (np. pilarzowate).
- **Mechanizm:** tkanka jest fizycznie odgryziona.
- **Typowe uszkodzenia:** dziury, wygryzienia brzegów liści, szkieletowanie (zostają nerwy), przecięte młode organy (pędy, pąki, liście).



Charakterystyczne nierówne dziury i wygryzienia brzegów.

2. Aparat kłująco-ssący

- **Przykłady:** mszyce, mączliki, skoczki, pluskwiaki.
- **Mechanizm:** tkanka jest przebijana, pobierana zawartość komórek lub soki z tkanek przewodzących.
- **Skutek:** osłabienie rośliny, deformacje, żółknięcie, spadź, często transmisja wirusów.



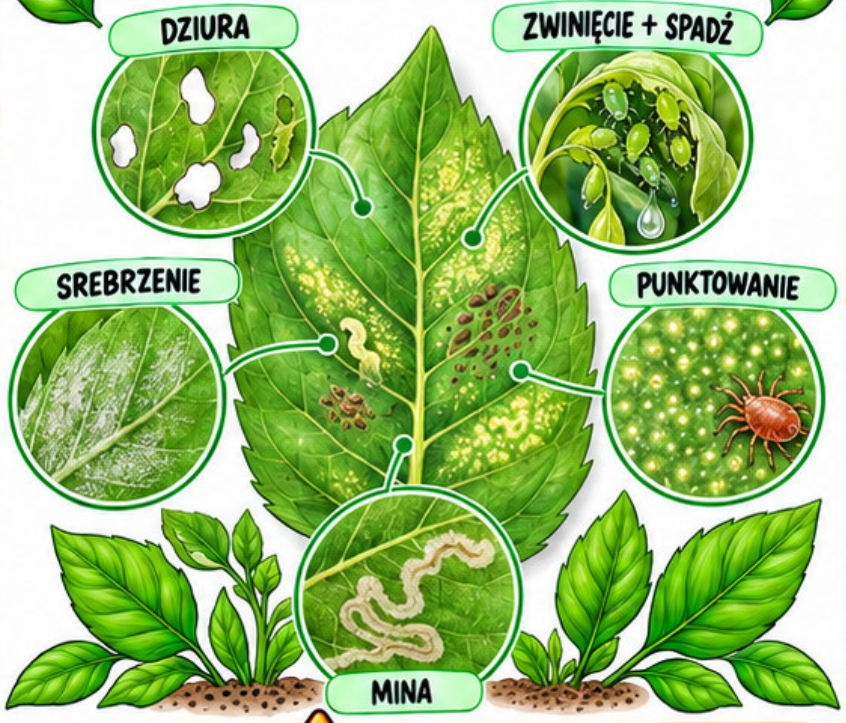
Nakłuwanie tkanek – często towarzyszą deformacje i spadź.

3. Pobieranie z floemu

- **Mszyce** i część innych owadów docierają do łyka (floemu).
- **Skutki:** osłabienie rośliny, deformacje (liście się zwijają), spadź (lepka ciecz), rozwój grzybów sadzakowych, transmisja wirusów.



Zwijanie liści i lepka spadź to częsty objaw żerowania na floemie.



Mapa diagnostyczna – co zauważasz?

DZIURY / BRAK TKANKI	szukaj szkodnika gryzącego
ZWIJANIE + SPADŹ	sprawdź owady ssące floem
SREBRZENIE	sprawdź m.in. wciornastki
DROBNE PUNKCIKI + PAJĘCZYNKA	sprawdź roztocza
KORYTARZ W LIŚCIU	szukaj larwy minującej

Uszkodzenie ≠ identyfikacja

- Podobny typ żerowania może być powodowany przez kilka gatunków szkodników.
- Na podstawie samych objawów nie zawsze da się określić sprawcę.
- Kolejnym krokiem jest znalezienie szkodnika, jego jaj, larw, odchodów lub innych bezpośrednich śladów obecności (np. wylinki, pajęczynki, spadź).

Uszkodzenie podpowiada, kogo szukać, ale to nie jest jeszcze nazwa gatunku!

4. Pobieranie zawartości komórek

- Nie wszystkie owady ssące wykorzystują rośliny przewodzące bezpośrednio.
- **Przykłady:** wciornastki (tripsy), niektóre pluskwiaki, miniarki na wczesnym etapie.
- **Mechanizm:** nakłuwanie komórek i wysysanie ich zawartości (np. chloroplastów).
- **Typowe uszkodzenia:** srebrzenie liści, drobne przebarwienia, nekrotyczne punkty.



Srebrzyste przebarwienia to częsty ślad żerowania wciornasków.

5. Aparat kłująco-ssący roztoczy

- **Roztocza** nie są owadami, ale nakłuwają komórki roślin.
- **Mechanizm:** uszkadzają chloroplasty i pobierają zawartość komórek.
- **Typowe uszkodzenia:** bardzo drobne jasne punkty, później mozaikowe żółknięcie i zasychanie liści.



Drobne punkciki i mozaikowe żółknięcie – charakterystyczne dla roztoczy.

6. Żerowanie minujące

- **Larwa** rozwija się pomiędzy warstwami blaszki liściowej.
- **Przykłady:** miniarki (larwy muchówek), niektóre gąsienice motyli.
- **Typowe uszkodzenia:** korytarze lub plamy wewnątrz liścia, często w postaci jasnych, nieregularnych śladów.



Korytarze w liściu to efekt żerowania larwy minującej.

7. Żerowanie wewnątrz organów

- Larwy niektórych szkodników mogą wgryzać się do łodyg, nasion, korzeni, owoców.
- Z zewnątrz objawy mogą być słabo widoczne, a uszkodzenia wewnątrz są znaczne.
- **Przykłady:** larwy motyli (omacnica), niektóre chrząszcze, muchówki.



Duże uszkodzenia mogą kryć się wewnątrz rośliny.

Praktyczny przykład

Jeśli blaszka liściowa pozostaje na miejscu, ale jest pokryta wieloma drobnymi, jasnymi punktami, to bardziej prawdopodobny jest mechanizm kłująco-ssący niż gryzący.



Liść pozostaje, ale ma dużo drobnych jasnych punktów – to typowy objaw nakłuwania komórek (roztocza lub wciornastki).

Moduł 06

Mszyce i mączliki

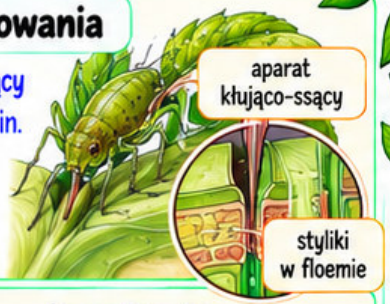
MAŁY OWAD, DUŻY WPŁYW NA ROŚLINĘ

Drobne owady ssące, które osłabiają rośliny, wydzielają spadź, powodują rozwój sadzaków i mogą przenosić groźne wirusy.

MSZYCE

1. Sposób żerowania

- aparat kłująco-ssący
- styliki docierają m.in. do floemu
- pobieranie soku bogatego w cukry



2. Spadź

- nadmiar cukrów wydalany jako spadź
- lepka powierzchnia liści
- krople spadzi na liściach i pędach



3. Grzyby sadzakowe

- na spadzi rozwijają się ciemne grzyby powierzchniowe
- czarny nalot ogranicza efektywny odbiór światła
- pogorszenie fotosyntezy i kondycji rośliny



4. Objawy

- zwijanie liści
- deformacje młodych organów
- zahamowanie wzrostu
- lepkość powierzchni
- kolonie owadów



5. Transmisja wirusów

- mszyce są ważnymi wektorami wielu wirusów roślinnych
- transmisja może być szybka (niecałe minuty) lub wymagać dłuższego żerowania (godziny – dni)



Sprawdź trzy rzeczy

1. **LEPKI LIŚĆ** → sprawdź **spód** (czy są mszyce lub mączliki).
2. **CZARNY NALOT** → sprawdź źródło spadzi (jaki owad ją wytwarza).
3. **DEFORMACJE + MOZAIKĘ** → poza owadem rozważ również możliwą **infekcję wirusową**.

FLOEM (sok roślinny)



Owady pobierają sok z floemu bogaty w cukry.

SPADŹ (nadmiar cukrów)



Nadmiar cukrów wydalany jest jako spadź, która pokrywa liście i pędy.

SADZAKI (grzyby powierzchniowe)



Na spadzi rozwijają się ciemne grzyby sadzakowe ograniczające dostęp światła.

Centralne porównanie

MSZYCA



- kolonie na młodych organach
- charakterystyczne syfony
- szybkie namnażanie
- możliwość form uskrzydlonych

MĄCZLIK



- dorosłe białe owady pod liściem
- liczne małe stadia osiadłe
- spadź
- często na spodniej stronie liści

WEKTOR WIRUSÓW

Zarówno mszyce, jak i mączliki mogą przenosić groźne wirusy roślinne, powodujące mozaiki, deformacje i straty w plonach.

Przykład praktyczny

Usunięcie tylko nalotu sadzakowego nie rozwiązuje problemu!

Trzeba zidentyfikować, który organizm wytwarza spadź (mszyce, mączliki, inne szkodniki) oraz czy jest wektorem wirusów. Bez eliminacji owada problem szybko powróci.



MĄCZLIKI

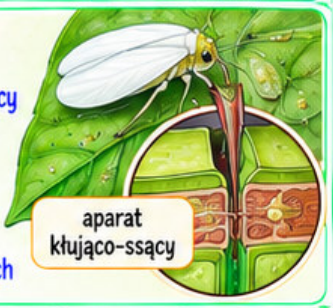
6. Lokalizacja

- dorosłe i stadia młodociane często znajdują się na spodniej stronie liści
- łatwo je spłoszyć – dorosłe odlatują przy poruszeniu rośliny
- oglądanie spodu liści ma dużą wartość diagnostyczną



7. Żerowanie

- podobny aparat kłująco-ssący jak u mszyc
- pobieranie soku z roślin
- osłabienie roślin, chloroza
- wydzielanie spadzi
- rozwój grzybów sadzakowych



8. Stadia nieruchome

- jaja i młodsze stadia po zasiedleniu liścia są mało ruchliwe
- mają postać płaskich, przezroczysto-żółtawych tarczek
- oglądanie spodu liści ma dużą wartość diagnostyczną



9. Wektory

- niektóre mączliki są bardzo ważnymi wektorami wirusów w uprawach
- mogą przenosić wiele groźnych wirusów, podobnie jak mszyce



Moduł 06
Chrząszcze i ryjkowce

CHRZĄSZCZ — DOROSŁY I LARWA MOGĄ USZKADZAĆ INNE ORGANY

Aby prawidłowo rozpoznać zagrożenie, diagnozuj zarówno stadia dorosłe, jak i larwy.

1. Aparat gryzący

Dorosłe chrząszcze mają aparat gryzący, za pomocą którego fizycznie usuwają fragmenty tkanek roślin.

- silne, twarde żuwaczki
- przystosowane do zgryzania twardych tkanek
- pozostawiają widoczne ubytłenk i fragmenty liści



2. Typowe uszkodzenia liści

- dziury i nieregularne wygryzienia
- uszkodzenia brzegów liści
- szkieletowanie liści
- pozostawione fragmenty nerwów



3. Larwy

- część gatunków żyje w glebie
- mogą żerować w łodygach, korzeniach
- rozwijają się wewnątrz nasion
- mogą występować pod korą lub epidermą roślin



7. Uszkodzenia organów generatywnych

chrząszcze i ryjkowce uszkadzają:

- pąki kwiatowe
- kwiaty
- nasiona
- łuszczyny i strąki
- inne organy reprodukcyjne



DOROSŁY → LIŚĆ



Dorosłe chrząszcze żerują na liściach, wygryzają fragmenty tkanek.

LARWA → KORZEŃ



Larwy, szczególnie glebowe, uszkadzają korzenie i inne podziemne albo ukryte organy.



TEN SAM GATUNEK

DOROSŁY → liść / kwiat

LARWA → korzeń / łodyga / nasiono

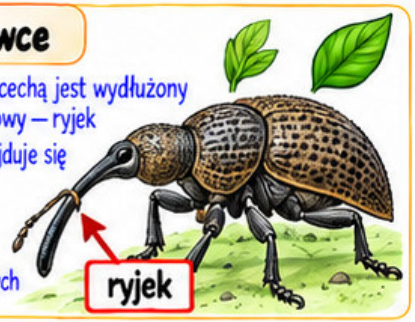
4. Uszkodzenia korzeni

- larwy glebowe odgryzają korzenie i szyjkę korzeniową
- ograniczają pobieranie wody i składników pokarmowych
- objawy nadziemne: więdnięcie roślin i zahamowanie wzrostu



5. Ryjkowce

- charakterystyczną cechą jest wydłużony przedni odcinek głowy — ryjek
- na końcu ryjka znajduje się aparat gębowy
- ryjkowce to ważna grupa chrząszczy w uprawach rolniczych



6. Składanie jaj

- samice części ryjkowców składają jaja w tkankach roślin, nasionach, glebie lub w pąkach
- larwa rozwija się w chronionym miejscu



Diagnoza w praktyce



Liść podziurawiony → sprawdź roślinę nocą i w dzień.

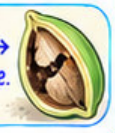


Roślina więdnie bez widocznych objawów na liściach → wykop korzenie.





Nasiono lub pąk uszkodzony → otwórz organ i sprawdź wnętrze.



8. Okresy aktywności

monitoring powinien uwzględniać:

- pojawienie się dorosłych
- termin składania jaj
- obecność larw
- przypadkowe zwalczanie złego stadium bywa mniej skuteczne



WIOSNA	LATO	JESIEŃ	ZIMA

Praktyczny przykład

Brak widocznego owada na powierzchni rośliny nie wyklucza uszkodzeń powodowanych przez chrząszcze.

Larwa może znajdować się wewnątrz korzenia, łodygi, nasiona lub innego organu.

Zawsze sprawdzaj zarówno nadziemne, jak i podziemne części rośliny!



Moduł 06

Gąsienice i motyle

DOROSŁY SZUKA MIEJSCA — GĄSIENICA WYKONUJE WIĘKSZOŚĆ ŻEROWANIA

Różne stadia – różna rola, różne zagrożenia dla roślin.

1. Gąsienica



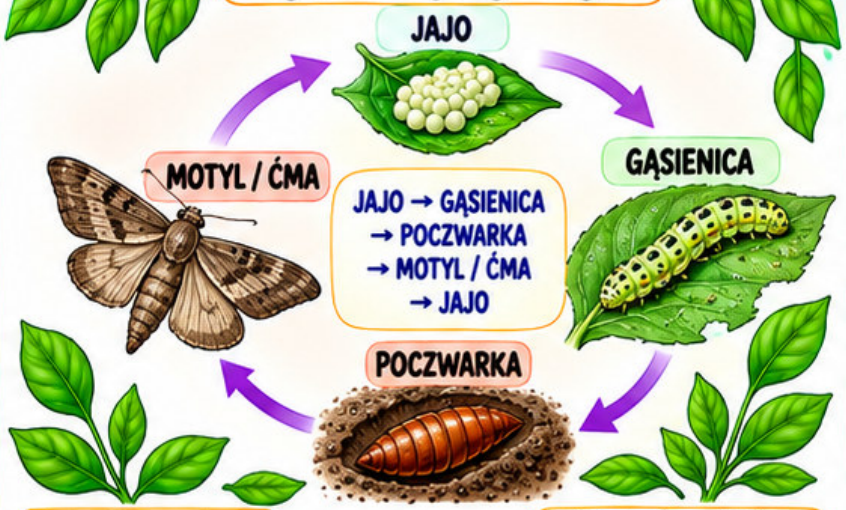
- larwalne stadium motyla
- silny aparat gryzący (gryzące żuwaczki)
- to zwykle gąsienica powoduje największe, bezpośrednie szkody w roślinach
- szybko rośnie i intensywnie żeruje, zwiększając zapotrzebowanie na pokarm

2. Liście

- dziury w liściach
- wygryzione brzegi
- szkieletowanie liści (pozostają nerwy)
- przy silnym żerowaniu może dojść do całkowitej defoliacji

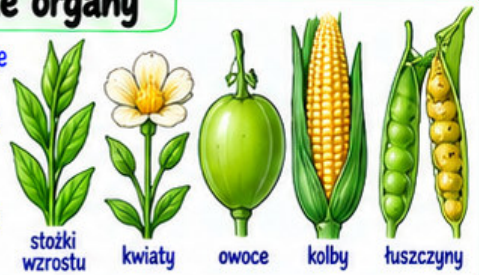


Cykl rozwojowy motyla



3. Młode organy

- część gąsienic atakuje stożki wzrostu, pąki, kwiaty, owoce, kolby, łuszczyny
- może to prowadzić do ograniczenia plonu i jakości



4. Żerowanie ukryte

- larwa może przebywać wewnątrz łodygi, owocu lub zwiniętego liścia
- kontakt z nią jest utrudniony
- często widoczne są jedynie ślady żerowania (otwory, trocinki, uszkodzenia)



5. Odchody

- granulki kałowe są ważną wskazówką aktywnego żerowania
- można je znaleźć na liściach, w kątach liści, w pobliżu uszkodzeń
- obecność odchodów świadczy o żerowaniu, nawet gdy gąsienica jest ukryta



6. Dorosły motyl

- dorosły owad często żywi się inaczej (np. nektarem) lub powoduje niewielkie bezpośrednie szkody w roślinach
- jego główna rola to: rozmnażanie, migracja, wybór miejsca składania jaj



7. Feromony

- samice wielu gatunków produkują feromony płciowe wykrywane przez samce
- można to wykorzystać w pułapkach monitoringowych
- pułapki pomagają określić początek i nasilenie lotu



8. Stadium larwalne ma znaczenie

MŁODA GĄSIENICA (1–2 instary)

- mniejsza
- zjada zwykle mniej
- łatwiej ją znaleźć
- bardziej wrażliwa na zabiegi

STARSZA GĄSIENICA (ostatnie instary)

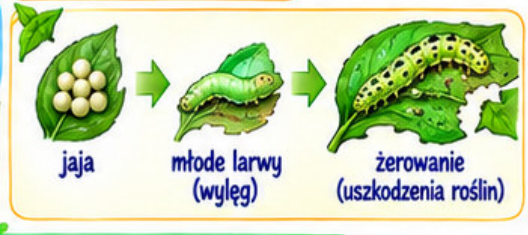
- większa
- zjada znacznie więcej
- częściej się ukrywa
- trudniej ją zwalczać



Pułapka a szkody



Od jaja do szkód



Monitoring fenologiczny



Praktyczny przykład



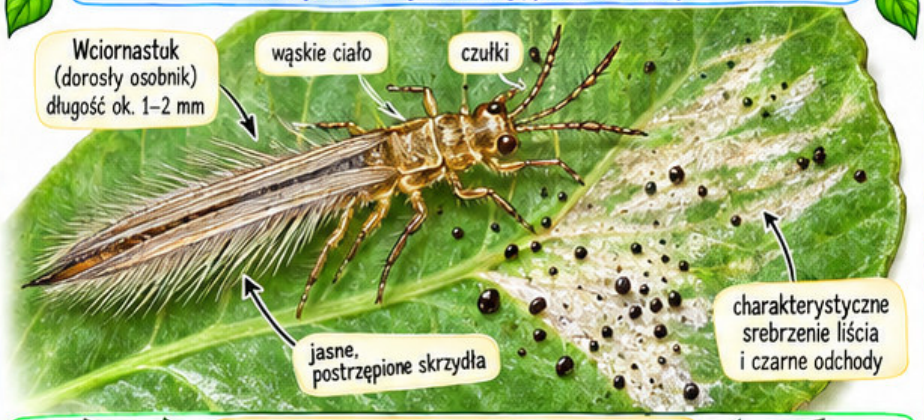
Wzrost liczby motyli w pułapce może sygnalizować potrzebę intensywniejszej lustracji plantacji w poszukiwaniu jaj i młodych larw, a nie jest bezpośrednim dowodem na już występujące szkody gospodarcze.

Więcej motyli w pułapce = czas na lustrację roślin!

Moduł 06
Wciornastki

WCIORNASTEK – SREBRZENIE, BLIZNY I WEKTOROWANIE

Małe, wąskie owady, które uszkadzają komórki roślin, powodują srebrzenie, blizny, deformacje oraz mogą przenosić wirusy.



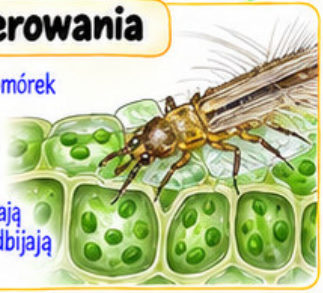
1. Mały rozmiar

- wciornastki są wąskie, niewielkie (długość 1–2 mm)
- często ukryte w kwiatach, młodych liściach lub szczelinach roślin
- dlatego łatwo je przeoczyć



2. Sposób żerowania

- uszkadzają powierzchnię komórek i pobierają ich zawartość
- komórki tracą chloroplasty i prawidłową strukturę
- w miejscu żerowania powstają puste przestrzenie, które odbijają światło



3. Srebrzenie

- powierzchnia liścia może wyglądać srebrzyście, jasno, jak drobne zadrapania
- w uszkodzonych miejscach powstają przestrzenie odbijające światło
- najczęściej występuje w postaci nieregularnych, wydłużonych plam i smug



4. Czarne punkty

- często obecne małe, ciemne odchody
- połączenie „srebrzenie + czarne punkty" ma duże znaczenie diagnostyczne
- odchody są zwykle błyszczące, żywiczne i widoczne gołym okiem lub przy dużym powiększeniu



Nie myl

WCIORNASTKI
- srebrzenie często ma charakter podłużnych, nieregularnych uszkodzeń

ROZTOCZA
- częściej widoczne jest bardzo drobne punktowanie całej powierzchni

Jak wyglądają uszkodzone komórki?



Zestaw diagnostyczny

- SREBRZENIE
- CZARNE PUNKTY
- MAŁE WYDŁUŻONE OWADY

→ **mocna wskazówka w kierunku wciornastków**

Wciornastk vs roztocz – porównanie

Wciornastki
- wydłużone, wąskie ciało
- długość 1–2 mm
- szybko się poruszają
- srebrzenie o podłużnym charakterze

Roztocza
- bardzo małe, owalne ciało
- zwykle < 0,5 mm
- wolniejsze ruchy
- drobne punktowanie całej powierzchni liścia

5. Młode organy

- żerowanie w nierozwiniętych tkankach powoduje deformacje, blizny, skręcanie i nieprawidłowy rozwój liści, pędów i pąków
- uszkodzenia widoczne są dopiero po rozwinięciu organów



6. Kwiaty

- wciornastki mogą przebywać wewnątrz kwiatów
- powodują uszkodzenie pylników, płatków i młodych zawiązków
- mogą obniżać zawiązywanie owoców i jakość plonu



7. Wektory wirusów

- niektóre gatunki przenoszą określone wirusy roślin (np. TSWV – wirus brunatnej plamistości pomidora)
- nie każdy gatunek i osobnik ma taki sam potencjał wektorowy
- wirusy mogą powodować mozaiki, przebarwienia, karłowacenie i deformacje roślin



8. Monitoring

- oglądanie kwiatów i młodych organów
- potrząsanie roślinami nad jasną powierzchnią (np. kartką papieru)
- pułapki lepowe (niebieskie lub żółte)
- regularne oglądanie młodych liści, pędów i pąków



Praktyczny przykład

Silnie zniekształcony młody liść może przypominać uszkodzenia po herbicydach, ale znalezienie wciornastków oraz czarnych odchodów w nierozwiniętych tkankach silnie zmienia diagnozę.

Obecność wtionastków i czarnych punktów w młodych organach to ważna wskazówka, że przyczyną są wciornastki, a nie herbicydy.



Moduł 06

Roztocza i nicienie

DWA MAŁE ZAGROŻENIA — DWA ZUPEŁNIE INNE MIEJSCA ATAKU

Różne organizmy, inne miejsce żerowania, podobny efekt końcowy — słabsze i mniej plonujące rośliny.

ROZTOCZE

Małe pajęczaki na liściach

1. To nie owady

- roztocza należą do pajęczaków (Arthropoda – pajęczaki)
- dorosłe formy wielu gatunków mają 4 pary odnóży
- są bardzo małe (często niewidoczne gołym okiem)



4 pary odnóży (u dorosłych form)

2. Żerowanie



- nakłuwają komórki liścia i pobierają ich zawartość
- uszkadzają chloroplasty, co osłabia fotosyntezę rośliny

3. Typowy objaw



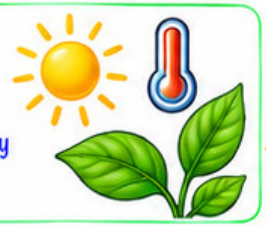
- bardzo drobne, jasne punkty na liściach (tzw. punktowanie)
- stopniowo żółknięcie liści
- później brązowienie i zasychanie przy silnym porażeniu

4. Pajęczynka



- niektóre ważne gatunki wytwarzają delikatną pajęczynę
- najczęściej widoczna od spodu liści
- pojawia się zwłaszcza przy dużej liczebności roztoczy

5. Warunki



- ciepła i sucha pogoda może sprzyjać szybkiemu rozwojowi części gatunków roztoczy
- w takich warunkach populacje mogą gwałtownie rosnąć

LIŚĆ vs KORZEŃ



Szybkie porównanie

	ROZTOCZE	NICIENIE
miejsce:	LIŚĆ	KORZEŃ
objaw:	PUNKTOWANIE + czasem PAJĘCZYNKA	ZABURZENIA KORZENIA + PLACE SŁABSZYCH ROŚLIN

Lupa i łopata



Przy podejrzeniu **roztoczy** → **użyj lupy i obejrzyj spód liścia.**



Przy podejrzeniu nicieni → **wykop całą roślinę z korzeniem.**

Praktyczny przykład



Place roślin więdnących przy niewielkim niedoborze wody mogą wskazywać na problem z korzeniami. Galasy lub inne deformacje korzeni zwiększają podejrzenie nicieni.

NICIENIE

Niewidoczni w glebie, widoczne skutki

6. Czym są?

- nicienie to mikroskopijne lub bardzo małe robaki obłe (nicienie, Nematoda)
- część gatunków pasożytuje na roślinach
- są cienkie, wydłużone, zwykle przezroczyste i niewidoczne gołym okiem



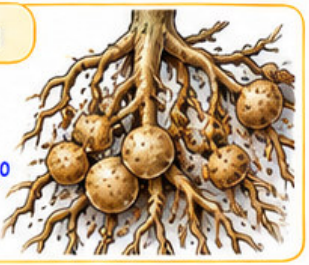
Nicienie (schematycznie)

7. Korzeń



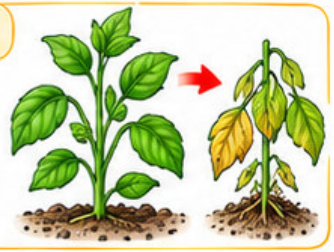
- pasożytnicze nicienie nakłuwają komórki korzenia
- penetrują tkanki i mogą tworzyć wyspecjalizowane miejsca odżywiania (np. olbrzymie komórki, syncytia)
- uszkadzają system korzeniowy i ograniczają pobieranie wody i składników

8. Objawy na korzeniach



- galasy (narośla i zgrubienia)
- nekrozy i przebarwienia
- skrócenie systemu korzeniowego
- nadmierne rozgałęzienie i deformacje korzeni

9. Objawy nadziemne



- wzrost roślin spada
- chloroza (żółknięcie liści)
- więdnięcie, szczególnie przy niedoborze wody
- mniejsza tolerancja suszy

10. Rozmieszczenie w polu



- problemy nicieniowe często tworzą nieregularne place słabszego wzrostu
- podobny wzór może też wynikać z gleby, wilgotności lub innych chorób korzeni – zawsze warto rozważyć kilka możliwych przyczyn

Moduł 06

Monitoring i progi szkodliwości

NAJPIERW ZMIERZ – POTEM DECYDUJ

Systematyczne obserwacje to podstawa racjonalnej ochrony roślin.

1. Monitoring regularny



- obserwacje powinny być systematyczne i powtarzalne
- prowadź je w kilku punktach pola
- nie oglądaj tylko najgorszego miejsca przy drodze
- zapisuj wyniki (data, miejsce, warunki pogodowe)

3. Co liczyć?



- liczba osobników na roślinie
- liczba larw na liściu
- liczba jaj
- procent uszkodzonych roślin
- liczba w pułapce
- powierzchnia uszkodzeń liści

4. Pułapki



- **lepowe** – np. na mszyce, mączliki, wciornastki
- **feromonowe** – np. na motyle szkodników
- **wodne** – np. na chowacze, chrząszcze
- **glebowe** – np. na szkodniki glebowe
- **świetlne** – np. na motyle nocne
- stosuj w wybranych, uzasadnionych sytuacjach

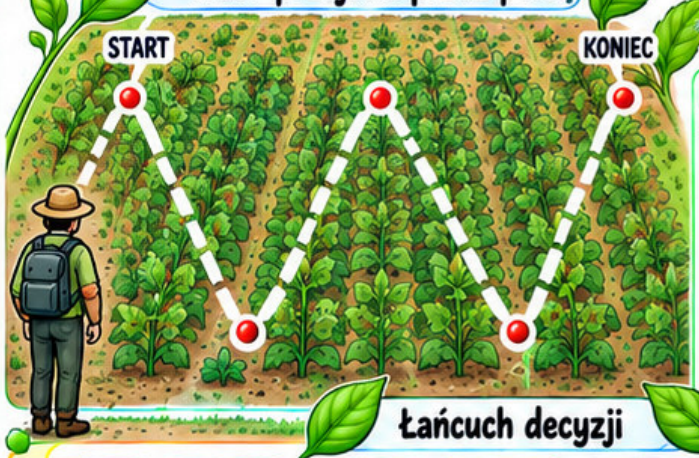
Wynik pułapki nie zawsze bezpośrednio odpowiada liczbie żerujących larw na roślinach!

5. Obserwacja roślin



- sprawdzaj wierzchołki pędów
- oglądaj spód liściu
- kontroluj kwiaty i pąki
- sprawdzaj łodygi (np. obecność larw)
- w razie potrzeby oglądaj korzenie

Wzór przejścia przez pole



Celem jest uzyskać obraz całego pola, nie tylko jego części.

2. Wzór przejścia przez pole

Praktyczne schematy:

- W (najczęściej stosowany) – zygzak
- punkty reprezentujące różne strefy pola (wysoko, nisko, wilgotno, sucho)

Łańcuch decyzji

ZNAJDŹ	POLICZ	PORÓWNAJ Z PROGIEM	SPRAWDŹ NATURALNYCH WROGÓW	UWZGLĘDNIJ FAZĘ UPRAWY	DECYZJA	SPRAWDŹ EFEKT
odszukaj szkodniki i objawy	określ liczebność wg wybranych wskaźników	sprawdź czy przekracza próg szkodliwości	oceń obecność i aktywność	sprawdź jaką fazę ma roślina	działaj lub wstrzymaj się	kontynuuj monitoring

Populacja w czasie



Trend jest równie ważny jak liczba!

Spadek liczebności po pojawieniu się naturalnych wrogów

Nie pryskaj obecności



- Sama obecność szkodnika nie zawsze oznacza stratę ekonomiczną.
- Decyzja zależy od liczebności, fazy rośliny, trendu i potencjalnych strat.
- Nie wykonuj zabiegu tylko dlatego, że widzisz pojedyncze osobniki.

6. Próg szkodliwości



- to poziom zagrożenia, przy którym działanie staje się uzasadnione
- nie ma jednej, uniwersalnej liczby
- zależy od: uprawy, fazy rozwojowej, szkodnika, wartości produkcji, pogody

7. Próg ekonomiczny



- interwencja ma sens, gdy przewidywana strata może przekroczyć koszt działania
- uwzględnia cenę plonu i koszt zabiegu
- pomaga uniknąć niepotrzebnych zabiegów

8. Naturalni wrogowie



- licz także pożyteczne organizmy:
  - biedronki (i ich larwy)
  - larwy bzygowatych (pływików)
  - złotooki
  - pasożytnicze błonkówki
  - drapieżne roztocza
- ich obecność może silnie ograniczyć liczebność szkodników

9. Trend jest równie ważny jak liczba



- 10 osobników dziś to co innego niż 10 osobników po spadku z 40
- zapisuj liczebność, datę i obserwuj trend (rosnący / stabilny / malejący)
- trend pozwala przewidzieć ryzyko i lepiej zaplanować działanie

Przykład praktyczny



Pojedyncze mszyce na roślinie oraz wiele biedronek i brak wzrostu liczebności → **zazwyczaj nie wykonujemy zabiegu, tylko monitorujemy.**



Szybko rosnąca kolonia mszyc bez naturalnych wrogów → **wysokie ryzyko strat, należy rozważyć interwencję.**

Moduł 06

Metody biologiczne, agrotechniczne i chemiczne

OCHRONA = ŁĄCZENIE NARZĘDZI

Ta strona podsumowuje moduł 06. Skuteczna i trwała ochrona roślin opiera się na integracji różnych metod, dostosowanych do sytuacji w polu i podejmowanych na podstawie monitoringu oraz diagnozy.

1. Metody agrotechniczne



- płodozmian
- higiena (czystość pola i sprzętu)
- termin i obsada roślin
- odmiana (mniej podatna)

Zmniejszają liczebność organizmów związanych z roślina żywicielską, pomagają w gospodarowaniu resztkami pożniwnymi i mikroklimatem uprawy, mogą spowolnić rozwój chorób.

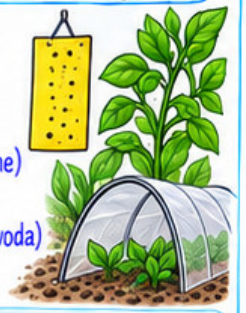
2. Metody biologiczne



- naturalni wrogowie (drapieżcy, parazytoidy)
- mikroorganizmy antagonistyczne np. bakterie, grzyby, wirusy
- zachowanie pożytecznych organizmów

Wykorzystują naturalne procesy: drapieżnictwo, pasożytnictwo, patogeny owadów, konkurencję, antybiozę i indukcję odporności. Wspierają je m.in. pasy kwietne i ograniczanie niepotrzebnych zabiegów, aby zachować pożyteczne organizmy w agroekosystemie.

3. Metody mechaniczne i fizyczne



- usuwanie porażonych organów (liście, pędy, owoce)
- mechaniczne niszczenie chwastów (pielenie, uprawki)
- pułapki (feromonowe, lepowe, świetlne)
- bariery (siatki, osłony)
- zabiegi termiczne (np. para, gorąca woda) w odpowiednich systemach

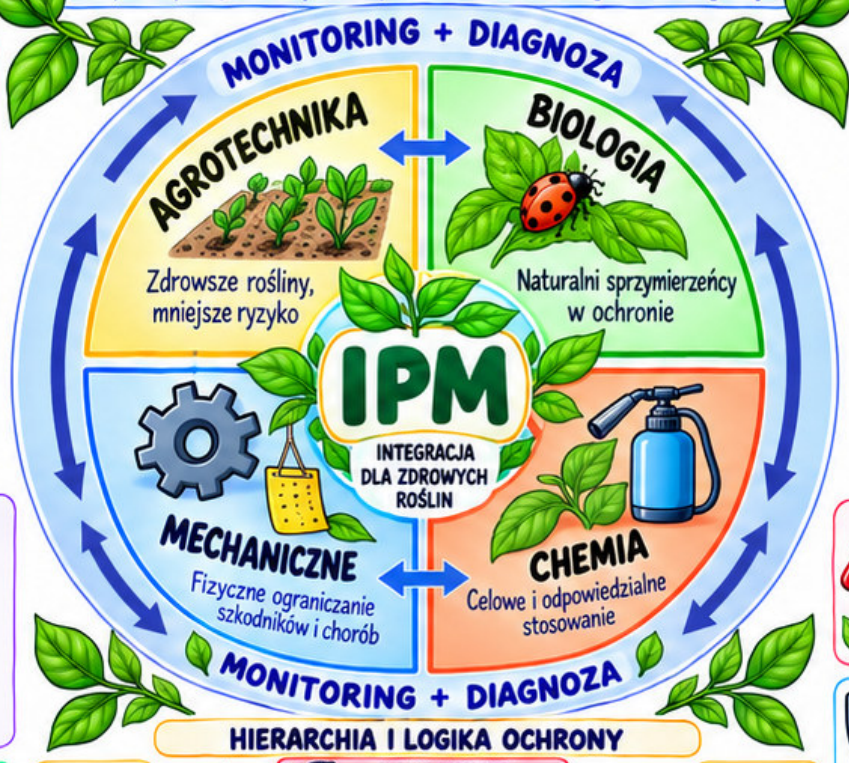
Bezpośrednio ograniczają liczebność patogenów, szkodników i chwastów oraz zmniejszają ich rozprzestrzenianie.

4. Metody chemiczne



- prawidłowa diagnoza (co jest problemem)
- cel biologiczny (jaki organizm)
- faza organizmu (najwrażliwszy etap)
- miejsce działania (powierzchnia, układowe, kontaktowe)
- ryzyko odporności (rotacja mechanizmów)
- aktualna etykieta (rejestracja, dawki, terminy, zalecenia)

Środki chemiczne stosujemy tylko wtedy, gdy jest to konieczne, celowo, w odpowiednim terminie i zgodnie z aktualną etykietą.



Rotacja mechanizmów działania



- Powtarzanie tego samego mechanizmu działania (tej samej presji selekcyjnej) zwiększa ryzyko odporności.
- Plan ochrony powinien łączyć różne mechanizmy działania oraz metody niechemiczne (agrotechniczne, biologiczne, mechaniczne i fizyczne).

Ochrona organizmów niecelowych





- zapylacze (np. pszczoły)
- naturalni wrogowie
- organizmy glebowe (np. dżdżownice, mikroorganizmy)
- środowisko wodne

Dobra ochrona roślin uwzględnia wpływ działań na organizmy niebędące celem zabiegów i otaczające środowisko.

Najdroższy błąd

Nawet najlepszy środek, zastosowany na niewłaściwy problem, to wciąż zła decyzja. Najpierw diagnoza, potem działanie!

Bezpieczeństwo

- Nie podajemy dawek ani „przepisów" na zabiegi.
- Zawsze stosować środki zgodnie z aktualną etykietą, rejestracją i lokalnymi przepisami.

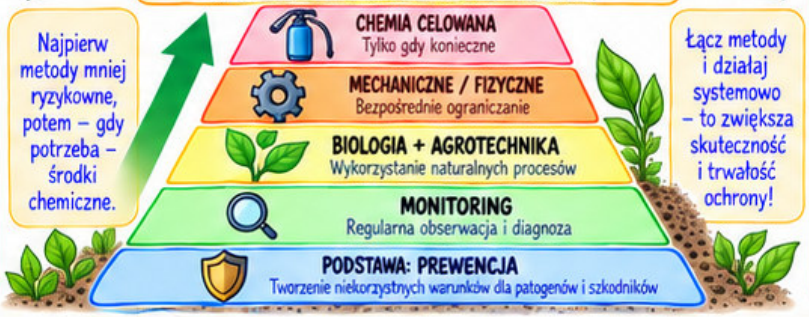
Praktyczny przykład

- W chorobie, której rozwój sprzyja długie utrzymywanie się zwilżenia liści, poprawa przewietrzania łanu, wybór odpowiedniej odmiany oraz ograniczenie źródeł inokulum (np. usunięcie resztek roślinnych) może istotnie obniżyć presję choroby jeszcze przed interwencją chemiczną.



HIERARCHIA I LOGIKA OCHRONY

Najpierw metody mniej ryzykowne, potem – gdy potrzeba – środki chemiczne.



Łącz metody i działaj systemowo – to zwiększa skuteczność i trwałość ochrony!

DOBRA OCHRONA = ROZPOZNANIE → BIOLOGIA → MONITORING → WŁAŚCIWA DECYZJA

Mapa końcowa

Mega-mapa zależności Agro

ROŚLINA TO JEDEN SYSTEM

Ta mapa łączy wszystkie 6 modułów w jedną całość. Pokazuje, jak fizjologia, odżywianie, nasiono, stres, herbicydy oraz choroby i szkodniki wzajemnie na siebie wpływają.

Zdrowa roślina to efekt równowagi wszystkich czynników!

1. FIZJOLOGIA

Światło, woda, CO_2 i procesy życiowe

ŚWIATŁO → FOTOSYNTEZA → ASYMILATY → WZROST NASIONA KORZENIE

- Aparaty szparkowe ↔ CO_2 ↔ H_2O
- Ksylem → woda + minerały
- Floem → asymilaty

2. ODŻYWIANIE MINERALNE

Minerały napędzają życie rośliny

GLEBA → KORZEŃ → N P K Ca Mg Fe Zn + mikroelementy → ENZYMY CHLOROFIL BŁONY ATP → FIZJOLOGIA

- Niedobór → ROS → słabszy wzrost
- Zaburzone odżywienie → zmieniona kondycja tkanek → większa podatność na stres, choroby i uszkodzenia

3. NASIONO

Dobry początek to silna roślina

JAKOŚĆ NASIONA → IMBIBICJA → KIEŁKOWANIE → SIEWKA → SYSTEM KORZENIOWY + PIERWSZE LIŚCIE

Słaby wigor
- → wolne wschody
- → dłuższa ekspozycja na stres i patogeny

4. STRES

Roślina reaguje na niekorzystne warunki

SUSZA, SÓL, TEMPERATURA, ZALANIE → Ca^{2+} + ROS + HORMONY → SZPARKI KORZEŃ ANTYOKSYDANTY → AKLIMATYZACJA lub USZKODZENIE

Susza → szparki ↓ → CO_2 ↓ → fotosynteza ↓

5. HERBICYDY

Skuteczność zależy od pobrania, transportu i wrażliwości rośliny

POBRANIE → TRANSPORT → MIEJSCE DZIAŁANIA → METABOLIZM ZABURZONY → OBJAW

Przykłady mechanizmów:
- ALS → wzrost STOP
- HPPD → bielenie
- PPO → nekroza
- auksyny → deformacje

Objaw herbicydowy może przypominać niedobór lub chorobę – ważna jest prawidłowa diagnoza!

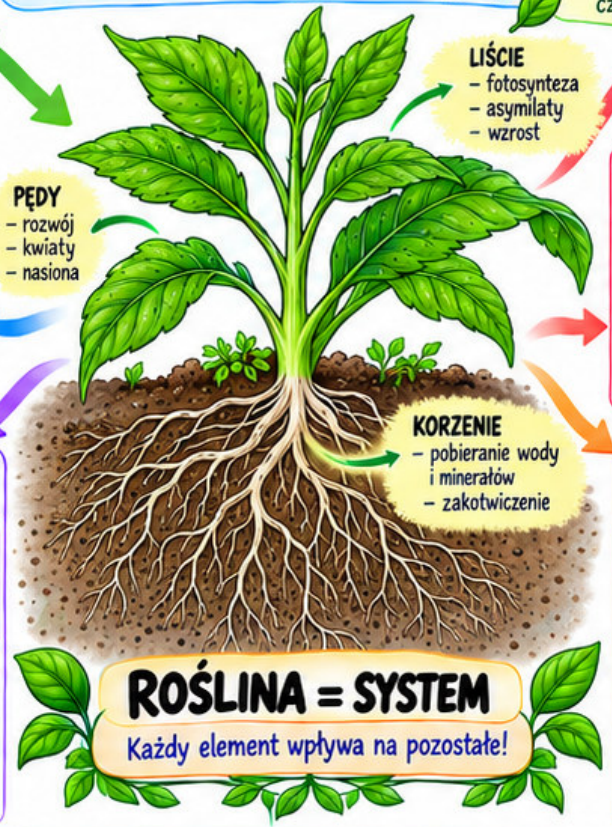
6. CHOROBY I SZKODNIKI

Uszkadzają tkanki i zaburzają funkcjonowanie rośliny

PATOGEN (grzyb, bakteria, wirus) → USZKODZENIE TKANKI ← SZKODNIK (owad, roztocz, nicień)

USZKODZENIE TKANKI → fotosynteza ↓, transport ↓, korzenie ↓, powierzchnia liści ↓, asymilaty ↓

- Choroba ksylemu → transport wody ↓
- Szkodnik liści → powierzchnia fotosyntetyczna ↓
- Owady ssące → floem + transmisja wirusów



ROŚLINA = SYSTEM

Każdy element wpływa na pozostałe!

STRES (może zaburzyć każdy etap) | PATOGEN (może zaatakować każdy etap) | SZKODNIK (może uszkodzić każdy etap) | HERBICYD (może zablokować każdy etap)

WSZYSTKO SIĘ ŁĄCZY

KORZEŃ pobiera wodę + minerały → LIŚĆ prowadzi fotosyntezę → FLOEM rozprowadza asymilaty → WZROST tworzy kwiaty i nasiona → NASIONO rozpoczyna nowe pokolenie

Cykl życia trwa nadal...

5 połączeń, które trzeba zapamiętać

1. WODA ↔ SZPARKI ↔ CO_2 ↔ FOTOSYNTEZA
2. KORZEŃ ↔ MINERAŁY ↔ ENZYMY ↔ WZROST
3. NASIONO ↔ WIGOR ↔ WSCHODY ↔ ŁAN
4. STRES ↔ ROS ↔ ANTYOKSYDANTY ↔ AKLIMATYZACJA
5. OBJAW ↔ MECHANIZM ↔ DIAGNOZA ↔ DECYZJA

Zrozum zależności – podejmuj lepsze decyzje w polu!

Obserwuj. Analizuj. Szukaj zależności, a nie pojedynczych odpowiedzi.

Powtórka końcowa

Mapa powtórek i diagnostycznego toku myślenia

NIE ZGADUJ – MYŚL SYSTEMOWO

Ta strona to jednocześnie mapa powtórek, lista kontrolna do diagnozy i finalne narzędzie praktyczne.

Zdrowe decyzje zaczynają się od właściwych pytań.

1 KROK 1 – CO WIDZĘ?
Opisuj objawy, nie zgaduj choroby.

→ **OBJAW**

- chloroza (żółknięcie)
- nekroza (zamieranie tkanek)
- więdnięcie
- deformacja
- bielenie
- zahamowanie wzrostu
- dziury (uszkodzenia)
- srebrzenie

2 KROK 2 – KTÓRY ORGAN?
Zidentyfikuj, która część rośliny jest objęta problemem.

→ **ORGAN**

- **LIŚĆ** – fotosynteza, odżywianie, patogeny, szkodniki
- **KORZEŃ** – pobieranie wody i składników, patogeny glebowe
- **ŁODYGA** – przewodzenie, uszkodzenia, patogeny
- **NASIONO / SIEWKA** – jakość materiału, infekcje, uszkodzenia

3 KROK 3 – STARA CZY MŁODA TKANKA?
To wskazuje na możliwe przyczyny.

→ **WIEK TKANKI**

- **STARE LIŚCIE** – niedobory: N, P, K, Mg
- **MŁODE LIŚCIE** – niedobory: Ca, B, Fe, herbicydy (uszkodzenia nowego wzrostu), patogeny młodych tkanek

stare młode

4 KROK 4 – JAKI JEST WZÓR W POLU?
Sposób występowania mówi wiele o przyczynie.

→ **WZÓR W POLU**

- **CAŁE POLE** – np. susza, niedobór, herbicyd, nawożenie
- **PLAMY / OGNISKA** – patogeny, szkodniki
- **PASY** – problem z opryskiem, siewem, glebą
- **GRANICA POLA** – różnice gleby, zabiegi, znoszenie

5 KROK 5 – SPRAWDŹ WODĘ I KORZEŃ
Bez korzenia diagnoza więdnięcia jest niepełna.

→ **KORZEŃ + WODA**

- Sucha? – stres suszy
- Zalana? – niedobór tlenu
- Zagęszczona? – słaby rozwój korzenia
- Korzeń: biały (zdrowy), brunatny, zgnity, skrócony, z galasami

Jeżeli nie sprawdziłeś korzenia, diagnoza więdnięcia jest niepełna.

6 KROK 6 – SPRAWDŹ ODŻYWIENIE
Czy to brak pierwiastka, czy problem z pobieraniem?

N P K

→ **ODŻYWIENIE**

- pH gleby
- analiza gleby
- analiza liścia
- brakuje pierwiastka czy tylko nie można go pobrać?
- historia nawożenia
- antagonizmy (np. K ↔ Mg, Ca ↔ K, P ↔ Zn)

7 KROK 7 – SZUKAJ SPRAWCY
Szukaj dokładnie na roślinie i w jej otoczeniu.

→ **PATOGEN / SZKODNIK**

- spód liści
- wnętrze zwiniętych organów
- korzenie, kwiaty, łodygi
- owad, roztocz, jaja, larwy
- grzybnia, zarodniki
- wycieki, odchody

8 KROK 8 – HISTORIA POLA
Kontekst pomaga zawęzić listę możliwych przyczyn.

→ **HISTORIA ZABIEGÓW**

- siew (termin, odmiana)
- nawożenie (co, kiedy, dawki)
- oprysk (substancje, terminy)
- mróz, upał, opad, susza, zalanie
- poprzednia uprawa (płatodozmian)

9 KROK 9 – POŁĄCZ OBJAW Z MECHANIZMEM
Zastanów się, co prowadzi do takiego objawu.

→ **MECHANIZM**

- zamknięcie szparek → CO_2 ↓ → fotosynteza ↓
- uszkodzony korzeń → H_2O + minerały ↓ → więdnięcie + chloroza
- blokada HPPD → karotenoidy ↓ → bielenie
- patogen ksylemu → przewodzenie wody ↓ → więdnięcie

10 KROK 10 – POTWIERDŹ PRZED DECYZJĄ
Im więcej dowodów, tym lepsza decyzja.

→ **POTWIERDZENIE**

- analiza gleby
- analiza roślin
- lupa (obserwacja)
- laboratorium diagnostyczne
- test nasion
- pułapki (na szkodniki)
- dokumentacja zabiegów

Diagnoza to proces. Dobra decyzja to wynik logicznego myślenia.

→ **DECYZJA**

Wybierz rozwiązanie adekwatne do przyczyny, warunków pola i celów produkcji. Działaj świadomie i monitoruj efekt.

System powtórek Agro Map Myśli

POWTÓRKA 1 – OD RAZU
- Zamknij materiał i odtwórz 3 główne gałęzie.
- Sprawdź, co zapamiętałeś.

POWTÓRKA 2 – NASTĘPNEGO DNIA
- Z samego tytułu odtwórz: mechanizm, objaw i przykład.
- Sprawdź luki w wiedzy.

POWTÓRKA 3 – PO KILKU DNIACH
- Połącz mapę z inną mapą, np. susza → ABA → szparki → fotosynteza.
- Zbuduj własne powiązania.

POWTÓRKA 4 – PRAKTYKA
- Weź zdjęcie lub roślinę i przejdź przez 10 kroków diagnostycznych.
- Porównaj swoją diagnozę z rzeczywistością.

Jeżeli zapamiętasz tylko jedną zasadę

Roślina nie działa w oddzielnych rozdziałach. Woda wpływa na korzeń, korzeń na odżywianie, odżywianie na fotosyntezę, fotosynteza na wzrost. Stres zmienia wszystko, a patogeny, szkodniki i herbicydy zaburzają te same mechanizmy. Najlepsza diagnoza zaczyna się od zależności, nie od zgadywania nazwy problemu.

Patrz. Łącz. Rozumiej. Diagnozuj.

Agro Map Myśli