

## WYKŁAD XV

Regulacja wzrostu i rozwoju roślin przez czynniki endogenne  
Reakcja roślin na stres

**Fitohormony** - hormony roślinne - endogenne regulatory roślinne, które są transportowane w roślinie od miejsca, gdzie są wytwarzane, do miejsca, gdzie wywierają swoje działanie. Są to związki organiczne, które w bardzo małych ilościach - wykluczających ich działanie żywieniowe - pobudzają, hamują lub w inny sposób modyfikują procesy fizjologiczne roślin.

### Regulatory wzrostu

1. Auksyny
2. Gibereliny
3. Cytokininy
4. Brasinosteroidy
5. Kwas abscysynowy
6. Jasmonidy
7. Etylen

### AUKSYNY (*gr. auksein* – wzrastać)

Definicja: Auksyny są to związki organiczne, które charakteryzuje zdolność wywoływania wzrostu elongacyjnego (wydłużeniowego) komórek łodygi w sposób podobny do kwasu indolilo-3-octowego.

#### AUKSYNY

- Pobudzają (niekiedy hamują) wzrost wydłużeniowy komórek
- Biorą udział w wygięciach fototropijnych (w kierunku źródła światła)
- Biorą udział w wygięciach grawitropijnych (w kierunku siły ciężenia – w korzeniu lub przeciwnie do niej – w pędzie)
- Biorą udział w zjawisku plagiotropizmu – skośnym w stosunku do wektora grawitacji wroście pędów bocznych i rozłogów; gałęzie rosnące plagiotropijnie mają tendencję do słabszego wzrostu i silniejszego owocowania w porównaniu do gałęzi rosnących ortotropijnie
- Biorą udział w ustawianiu się liścia powierzchnią adaksjalną (wierzchnią) ku światłu i poprzecznie w stosunku do grawitacji
- U wielu gatunków roślin, w ściętych kawałkach pędów, auksyny gromadzą się w ich podstawowej części i sprzyjają regeneracji korzeni
- Powodują zawiązywanie korzeni bocznych i przybyszowych;
- Uczestniczą w zjawisku dominacji wierzchołkowej, czyli w korelatywnym hamowaniu pąków pachwinowych przez wierzchołek pędu i młode liście
- Zapobiegają opadaniu liści i owoców

- Zapoczątkowują działalność kambium na wiosnę (współdziałając z giberelinami i cytokininami)
- Powodują powstawanie partenokarpicznych (beznasiennych) owoców
- Pobudzają podziały komórkowe (współdziałając z cytokininami)

## GIBERELINY

Definicja: Gibereliny to duża grupa hormonów roślinnych, których budowa chemiczna oparta jest na diterpenowym, 4-pierścieniowym związku – giberelanie.

Nazwa tych hormonów pochodzi od nazwy grzyba *Giberella fujikuroi*, u którego po raz pierwszy znaleziono gibereliny.

GIBERELINY:

- Silnie stymulują wzrost międzywęzła i wydłużanie się pędów (niektórym karłowym mutantom można przywrócić normalny pokrój przez spryskiwanie ich roztworem giberelin)
- U niektórych roślin pobudzają kwitnienie
- U niektórych roślin mogą zastąpić działanie długiego dnia lub chłodu (fotoperiodyzm, jaryzacja)
- W kwiatach rozdzielнопłciowych stymulują rozwój kwiatów męskich
- Pobudzają rozwój owocni (w pewnych przypadkach mogą wywołać powstanie pozbawionych nasion owoców partenokarpicznych)
- Grają ważną rolę w przerywaniu stanu głębokiego spoczynku w narządach przetrwalnikowych (nasionach, bulwach)
- Działają synergicznie z auksynami w pobudzaniu działalności kambium w drzewach iglastych i w jabłoniach.

**CYTOKININY** (*gr. kytos* – jama, komórka; *kineo* – poruszam)

Definicja: Cytokininy są to związki organiczne, które przyspieszają podziały komórkowe.

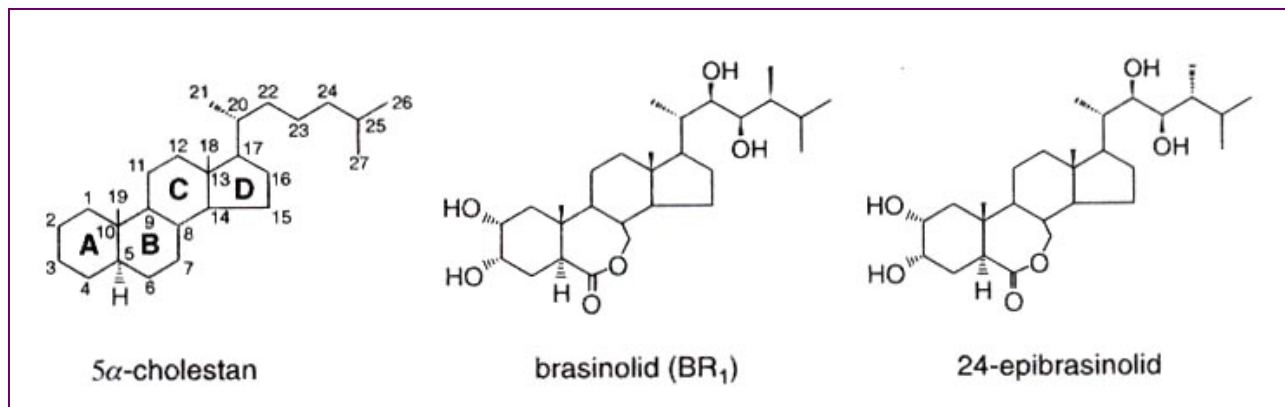
Naturalne cytokininy stanowią jednorodną grupę związków – są pochodnymi adeniny.

CYTOKININY:

- Są niezbędnymi czynnikami podziałów komórkowych
- Pobudzają różnicowanie się chloroplastów
- Indukują rozwój pędów (pobudzają np. wzrost pąków bocznych – zmieniają dominację wierzchołkową) i rozgałęzianie się pędów (działają tu antagonistycznie do auksyn)
- Opóźniają procesy starzenia się narządów (zwłaszcza liści)
- Mogą wpływać na proces translacji poprzez wbudowanie w cząsteczkę tRNA i rRNA; generalnie cytokininy występują w strukturze tych tRNA, w których sekwencja trzech zasad antykodonu zaczyna się od uracylu
- Mogą występować w połączeniach z białkami (np. kompleks cytokinina-białko znajduje się na powierzchni membran chloroplastów – połączenie to może odgrywać istotną rolę w intensyfikacji procesu fosforylacji)
- Białka łączące się z cytokininami mogą spełniać rolę receptora – powstaje wtedy połączenie cytokinina – białko receptorowe.

## BRASINOSTEROIDY

Definicja: Są to związki biologicznie czynne wywodzące się z triterpenów, hydroksysteroidy – pochodne cholestanu. Wykazują duże podobieństwo do zwierzęcych hormonów sterydowych.



#### BRASINOSTEROIDY:

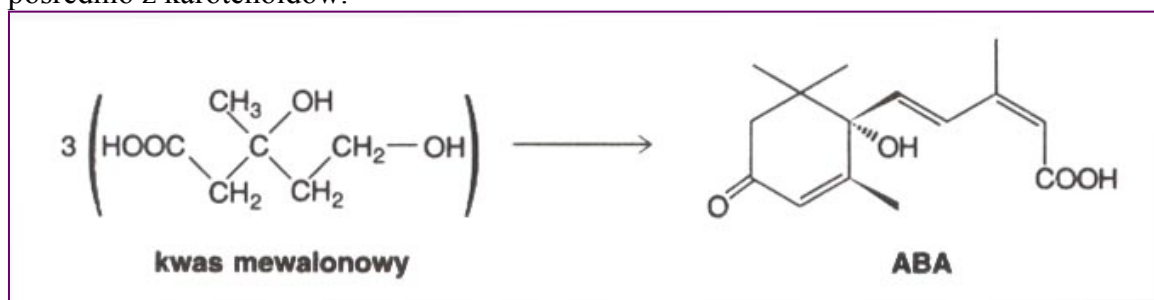
- Stymulują wzrost koleoptyli i pędów; są najaktywniejsze ze wszystkich regulatorów roślinnych w stymulacji wydłużania się łodyg
- Pobudzają wydzielanie się H<sup>+</sup> do ściany komórkowej, co prowadzi do rozluźnienia jej struktury
- Uruchamiają różnicowanie się izolowanych komórek mezofilu w elementy ksylemu
- Ich podanie na narząd-biorcę pobudza transport związków pokarmowych ku temu narządowi

#### INHIBITORY WZROSTU

Definicja: Inhibitory wzrostu są to związki organiczne, które w stężeniach fizjologicznych hamują takie procesy, jak wydłużanie łodygi oraz jej wycinków, wzrost korzeni, kiełkowanie nasion, otwieranie pąków i kwitnienie. Hamowanie tych procesów ma charakter odwracalny, a więc obniżenie poziomu inhibitora w roślinie wznowia zahamowany poprzednio proces.

#### KWAS ABCYSYNOWY A B A

Zwany jest również dorminą. ABA jest terpenoidem, tzn. związkiem, którego jednostką budulcową jest układ izoprenowy. Powstaje bezpośrednio z kwasu mewalonowego lub pośrednio z karotenoidów.



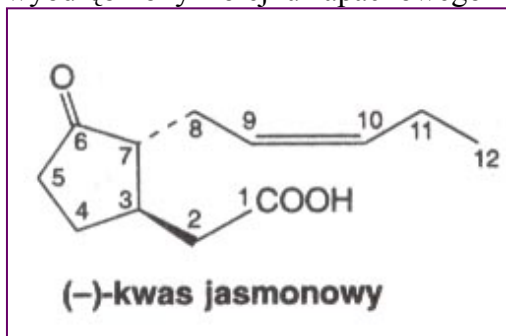
#### KWAS ABCYSYNOWY:

- Hamuje wzrost pędów, koleoptyli, kiełkowanie nasion, bulw i innych utworów przetrwalnych.
- Przyspiesza kwitnienie, starzenie się organów roślinnych.
- Indukuje zrzucanie liści, kwiatów i owoców, prawdopodobnie przez wzmocnienie syntezy etylenu, który jest bezpośrednio odpowiedzialny za tworzenie się warstwy odcinającej.

- Indukuje stan spoczynku zimowego pąków wielu drzew oraz stan spoczynku zimowego wielu gatunków nasion.
- Stymuluje zamykanie się aparatów szparkowych.
- Hamuje fotosyntezę i syntezę chlorofilu oraz transport jonów przez błony
- W warunkach stresowych nasila ekspresję genów dla białek m. in. uczestniczących w aklimatyzacji roślin.
- Wzrost stężenia ABA towarzyszy niekorzystnym dla roślin zmianom w środowisku (susza, zranienie, zalanie), co wpływa na zwiększenie odporności roślin na stresy.

## JASMONIDY

Definicja: Jasmonidy są to związki organiczne o strukturze podobnej do prostaglandyn (hormonów zwierzęcych). Pierwszym poznany związek był kwas jasmonowy, wyodrębniony z olejku zapachowego kwiatu jaśminu i rozmarynu.



## JASMONIDY

- Hamują wzrost wydłużeniowy nadziemnych części roślin, kiełkowanie ziaren pyłku i nasion bogatych w tłuszcze
- Hamują embriogenezę, tworzenie się pąków kwiatowych
- Przyspieszają starzenie się liści, powstawanie warstwy odcinającej i opadanie liści
- Stymulują dojrzewanie owoców
- Stymulują zamykanie się aparatów szparkowych
- Pełnią rolę pośredników w reakcjach na stres i w mechanizmach obronnych roślin; wzrost ich stężenia w tkankach jest jedną z pierwszych odpowiedzi rośliny na stres
- W wyniku mechanicznego uszkodzenia tkanek roślin, np. przez owady, zachodzi wzmożona synteza jasmonidów i następuje aktywacja lub indukcja biosyntezy enzymów odpowiedzialnych za gromadzenie się fitoaleksyn i inhibitorów proteinaz, które blokują aktywność proteinaz owadzie, uniemożliwiając tym samym dostęp owadów do roślinnych białek.
- Indukują syntezę wtórnych metabolitów roślinnych, np. alkaloidów
- Kwas jasmonowy aktywuje ekspresję genów kodujących niektóre białka obronne, np. osmotyny, oraz enzymy szlaku fenylopropanoidowego biorące udział w biosyntezie fitoaleksyn.

## Etylen

Etylen (CH<sub>2</sub>=CH<sub>2</sub>) jest to prosty nienasycony węglowodór.

ETYLEN:

- Hamuje podziały i wzrost wydłużeniowy komórek

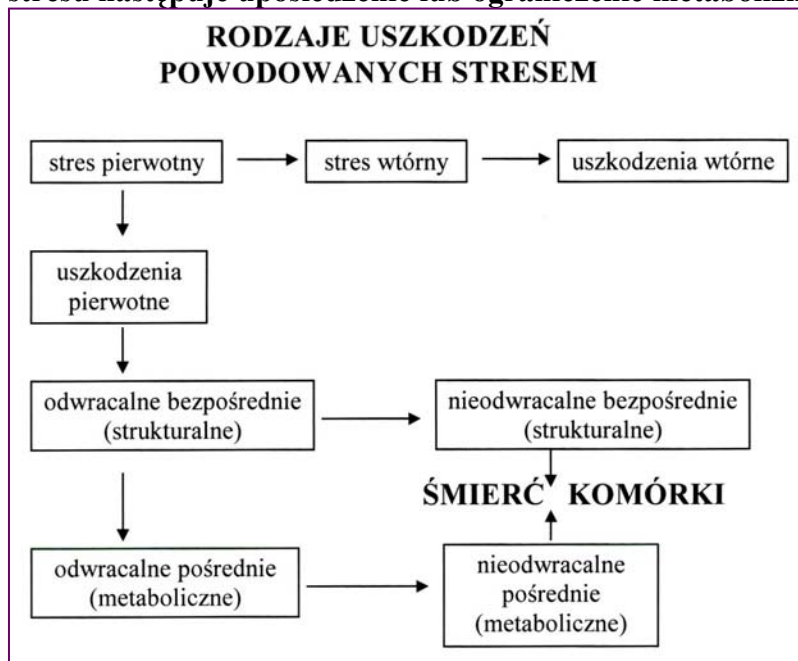
- Przyspiesza procesy dojrzewania i starzenia się tkanek (wydzielany jest np. podczas dojrzewania owoców i silnie ten proces stymuluje)
- Pobudza rozwój warstwy odcinającej, powodującej opadanie liści, kwiatów, owoców i innych narządów
- Wydzielanie etylenu często towarzyszy reakcji roślin na stres (suszę, chłód, atak patogenów).

Mechanizm działania hormonów roślinnych

- Odpowiedzi szybkie - efekt zmian konformacyjnych receptora wywołanych obecnością hormonu lub zmian w bezpośrednim otoczeniu cząsteczki receptora (najczęściej w plazmolemie).
- Odpowiedzi powolne (długotrwałe) - efekt wpływu hormonu na ekspresję genomu.

## STRES

Stan organizmu wywołany ujemnym działaniem niesprzyjających czynników środowiska o natężeniu krytycznym lub zbliżonym do granic tolerancji. W wyniku stresu następuje upośledzenie lub ograniczenie metabolizmu i rozwoju rośliny.



**Czynniki stresowe** - stresory - czynniki środowiska, których oddziaływanie na organizm może prowadzić do zaburzeń funkcji i struktury niekorzystnych dla roślin.

Przebieg reakcji rośliny na działanie czynnika stresowego

- Faza alarmu - destabilizacja uwarunkowań strukturalnych i funkcjonalnych, koniecznych do normalnego przebiegu procesów życiowych w organizmie.
  - Reakcja na stres - zakłócenie gospodarki jonowej lub bilansu energii, zmiany w funkcjonowaniu podstawowych dróg metabolicznych (fotosynteza i oddychanie).
  - Faza odporności - pobudzenie procesów naprawczych lub obronnych.
- Faza odporności - normalizacja stanu komórek w warunkach działającego stresu - **dostosowanie** do warunków stresowych.
- Faza wyczerpania - nieodwracalne uszkodzenie i przedwczesna śmierć organu i/lub organizmu.
- Faza regeneracji - regeneracja utraconych organów po ustąpieniu stresu.

Odpowiedź na działanie czynnika stresowego:

- Lokalna
- Systemiczna
  - Nadwrażliwość
  - Systemiczna odporność nabyta (SAR)

Nadwrażliwość - (HR = Hypersensitive Response) - lokalne zamieranie komórek wokół miejsca zakażonego patogenem

Reakcja nadwrażliwości rozwija się w następujących układach:

- między bakteriami patogenicznymi a odporną rośliną żywicielską
- między patogenicznymi bakteriami a roślinami dla nich nieżywicielskimi
- między niepatogenicznymi szczepami patogenicznych gatunków bakterii a rośliną żywicielską

Nabyta odporność systemiczna

(**Systemic Acquired Resistance - SAR**)

Ujawnia się w jakiś czas po pierwotnym zakażeniu, np. po kilku godzinach lub dniach i zwrócona jest nie tylko przeciw patogenowi lub szkodnikowi, który wywołał pierwotne zakażenie, ale zazwyczaj przeciwko szerokiej gamie patogenów należących do bardzo różnych grup taksonomicznych.

Elementy odporności roślin na stres:

- Właściwości organizmu
- Zdolność organizmu do naprawy uszkodzeń
- Zdolności dostosowawcze organizmu

## **DOSTOSOWANIE SIĘ ROŚLIN DO STRESOWYCH WARUNKÓW ŚRODOWISKA**

### **ADAPTACJA**

- Adaptacja jest skutkiem zmian zachodzących w genomie osobnika w toku ewolucji, w wyniku mutacji, oraz w wyniku zabiegów hodowlanych.
- Adaptacja polega na takich dziedzicznych zmianach struktury i funkcji, które zwiększają prawdopodobieństwo przeżycia i reprodukcji organizmu w określonym środowisku.
- Adaptacja jest trwała i prowadzi do zróżnicowania roślin pod względem morfologicznym i metabolicznym.

### **AKLIMATYZACJA**

- Aklimatyzacja jest to niedziedziczna modyfikacja struktury i funkcji osobnika podczas jego rozwoju osobniczego, w odpowiedzi na czynnik stresowy działający w natężeniu subletalnym.
- Aklimatyzacja pozwala na minimalizowanie uszkodzeń i lepsze dopasowanie osobnika do aktualnie panujących warunków środowiskowych.
- Aklimatyzacja polega na zmianie aktualnie realizowanego programu genetycznego, indukowanej przez czynnik stresowy. Możliwości aklimatyzacji zależą od potencjału genetycznego danego osobnika.

Strategie dostosowawcze roślin:

- Zapobieganie lub opóźnianie działania czynnika stresotwórczego w obrębie komórek.
- Tolerowanie działania czynnika stresowego.

Wspólne podłoże odpowiedzi roślin na **różne** czynniki stresowe:

- Zmiana homeostazy wapniowej w cytozolu
- Wytwarzanie reaktywnych form tlenu (np. rodnik ponadtlenkowy, nadtlenek wodoru) - **stres oksydacyjny** - zachwianie równowagi między wytwarzaniem reaktywnych form tlenu a ich usuwaniem. Prowadzi to do aktywacji specyficznych dróg przekazywania sygnału w komórce.
  - Skutki stresu oksydacyjnego:
    - peroksydacja lipidów (⇒ zamiana struktury i stany fizycznego błony - „uszczywnienie” błony)
    - uszkodzenia oksydacyjne białek (np. modyfikacje reszt aminokwasowych, fragmentacja łańcucha polipeptydowego)
    - uszkodzenia oksydacyjne DNA ⇒ mutacje