

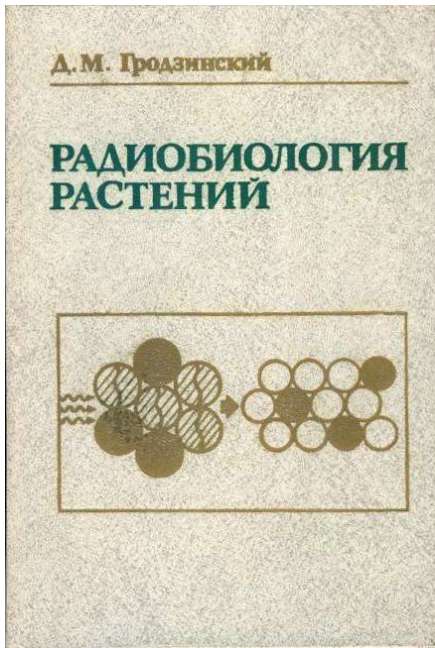
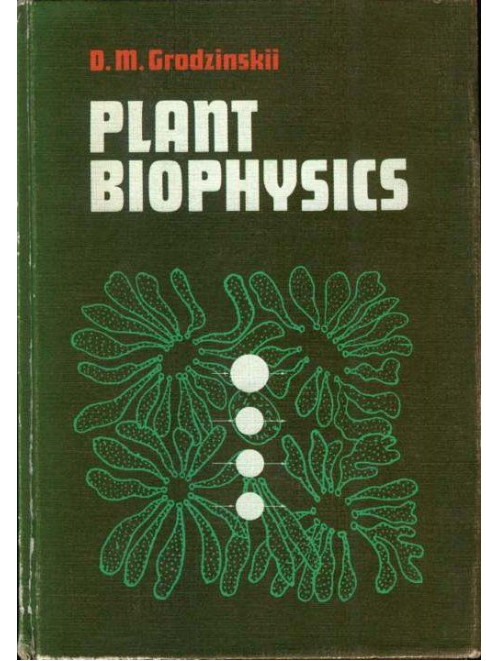
## Лекція 12

# **Реакції рослин на різні несприятливі фактори довкілля**

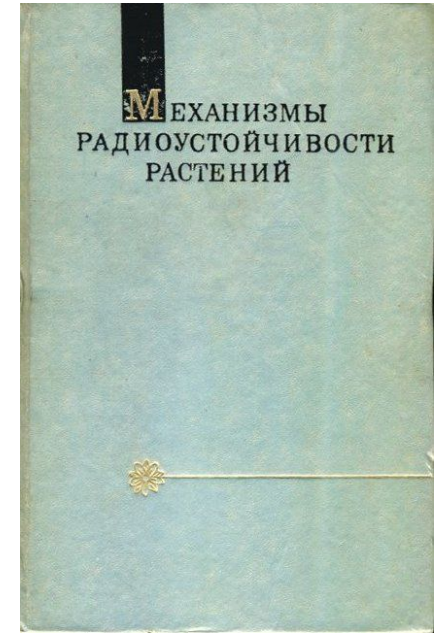
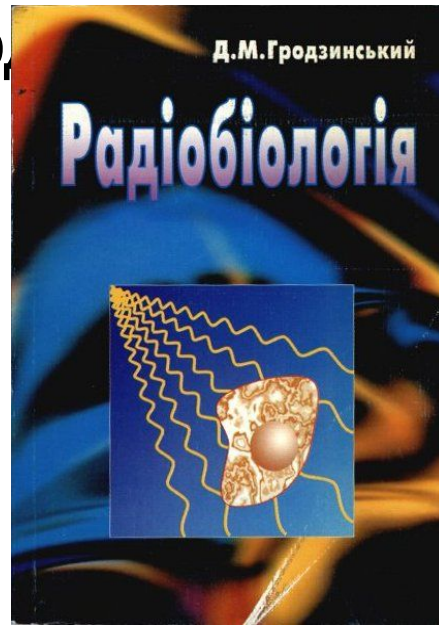
Обов'язкова властивість будь-якого організму  
– здатність до захисту за дії  
несприятливих абіотичних і біотичних  
факторів середовища.

**Надійність** організму виявляється в ефективності його захисних пристосувань, у його стійкості до дії несприятливих факторів зовнішнього середовища.

*Д. М. Гродзинський*



Гродзинский Д. М.



**Стійкість** – реакція організму на дію несприятливих чинників і здатність витримувати стресові навантаження. Якщо організм здатний проявити стійкість на будь-якому рівні (від клітинного до популяційного) та пристосувати свою життєдіяльність до нових умов, тоді можлива адаптація.

**Адаптація** – сукупність особливостей організму, які забезпечують його життєздатність у певних умовах існування. Це **спадкова конститутивна ознака**, притаманна рослинам незалежно від впливу стресового чинника. Адаптації визначають пристосування популяції до певних умов проживання.

**Акліматизація** – збільшення стійкості рослин до дії стресового фактора шляхом загартовування або підпорогових впливів. **Акліматизація** відбувається в онтогенезі рослини і не успадковується. Водночас вона здійснюється на основі потенціальних можливостей генотипу.

*Приклад акліматизації* – загартовування рослин дією низьких температур.

Згідно концепції Г. Сельє,  
стресові реакції властиві  
усім живим організмам.



**Ганс Сельє**

**Стрес** – це сукупність усіх неспецифічних змін, які виникають в організмі під впливом будь-яких несприятливих чинників (стресорів).

**Стрес** – стан, в якому знаходиться організм (рослина) за впливу того чи іншого несприятливого чинника (стресора).

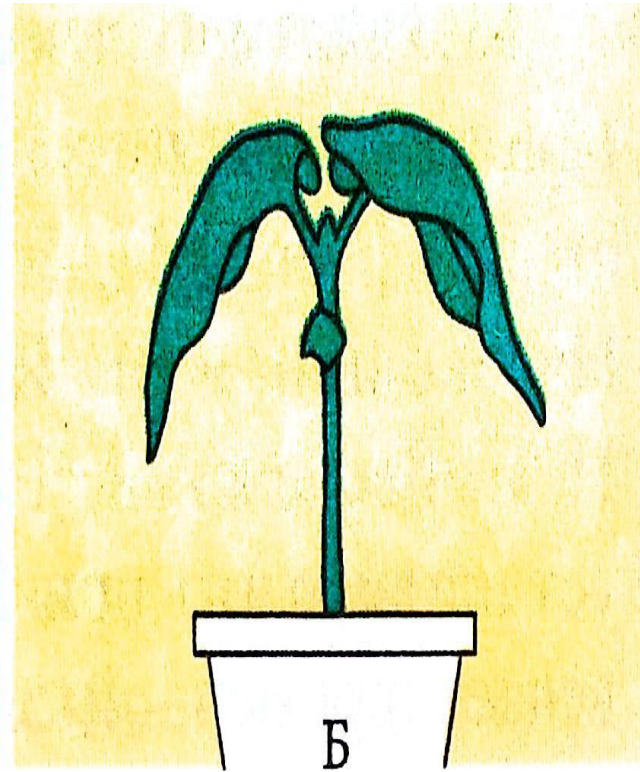
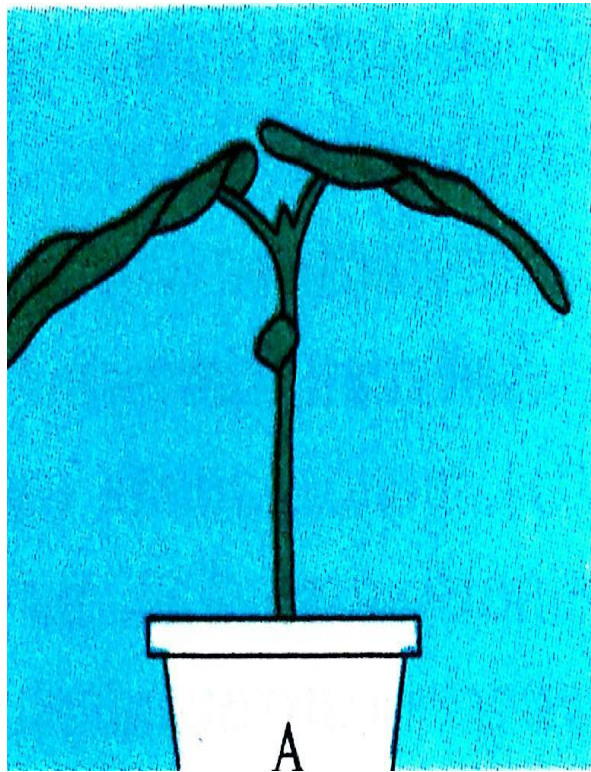


# Фази стресу за Г.Сельє:

- **тривоги;**
- **адаптації,** протягом якої організм пристосовується до дії стресора;
- **виснаження,** якщо адаптаційний потенціал недостатній для подолання впливу стресора.

**У рослин розрізняють три фази стресу:**

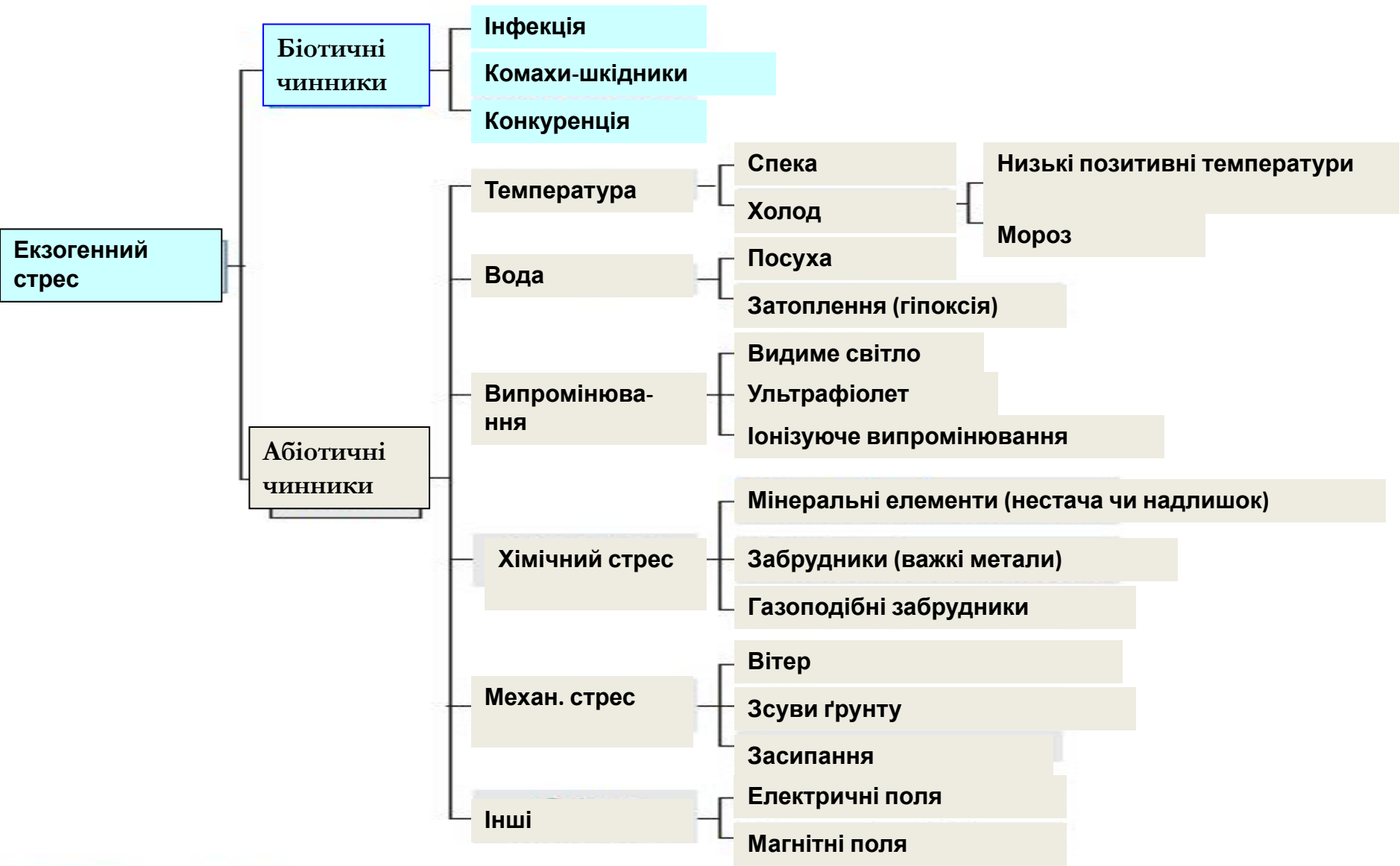
- 1) первинної стресової реакції;
- 2) адаптації;
- 3) виснаження ресурсів надійності.



адаптація проростка квасолі до дії стресора – потоку теплого повітря (за полевым в.в., 1989): а – контроль; б – 30-хвилинне обдування повітрям з температурою 38°с; в – 90-хвилинне безперервне обдування теплим повітрям

# Чинники, здатні викликати стрес у рослинних організмів:

- **фізичні:** недостатня чи надлишкова вологість, освітлення або температура, радіоактивне випромінювання, механічні впливи;
- **хімічні:** солі, газы, ксенобіотики (гербіциди, інсектициди, фунгіциди, промислові відходи тощо);
- **біологічні:** ураження збудниками хвороб або шкідниками, конкуренція з іншими рослинами, вплив тварин).



## БІОТИЧНІ ТА АБІОТИЧНІ СТРЕСОВІ ЧИННИКИ СЕРЕДОВИЩА

## 2. Механізми стресової реакції

Схема реакції рослини у відповідь на несприятливі чинники

Несприятливі чинники

РОСЛИНА

**Первинні порушення:** зміна осморегуляції цитоплазми, біоенергетичних процесів, структури та складу мембран, ДНК.

**Вторинні порушення:** гальмування білкового синтезу, зростання вмісту фітогормонів-інгібіторів, гальмування поділу та росту клітин розтагуванням.

**Кінцеві порушення:** зміна інтенсивності поглинання та утилізації мінеральних елементів, зміна приросту загальної біомаси тощо.

# Первинні неспецифічні стресові реакції у клітинах рослин:

- Підвищення проникності мембран, деполяризація мембранного потенціалу плазмалеми;
- Вихід йонів  $\text{Ca}^{2+}$  в цитоплазму (із клітинних стінок і внутрішньоклітинних компартментів, вакуолі, ендоплазматичної сітки, мітохондрій);
- Посилення активності  $\text{H}^+$ -помпи в плазмалемі та тонопласті;
- Зниження рН цитоплазми;
- Активація збирання актинових мікрофіламентів і елементів цитоскелету, в результаті – зростає в'язкість цитоплазми;

- Посилення поглинання  $O_2$ , пришвидшення використання АТФ, розвиток вільнорадикальних процесів;
- Активація і синтез стресових білків, зокрема білків теплового шоку БТШ;
- Зростання вмісту вуглеводів і проліну;
- Посилення синтезу етилену і АБК, гальмування поділу клітин та росту, інших фізіологічних і метаболічних процесів.

Гальмування функціональної активності клітин відбувається в результаті дії інгібіторів і перемикання енергетичних ресурсів на подолання несприятливих змін.



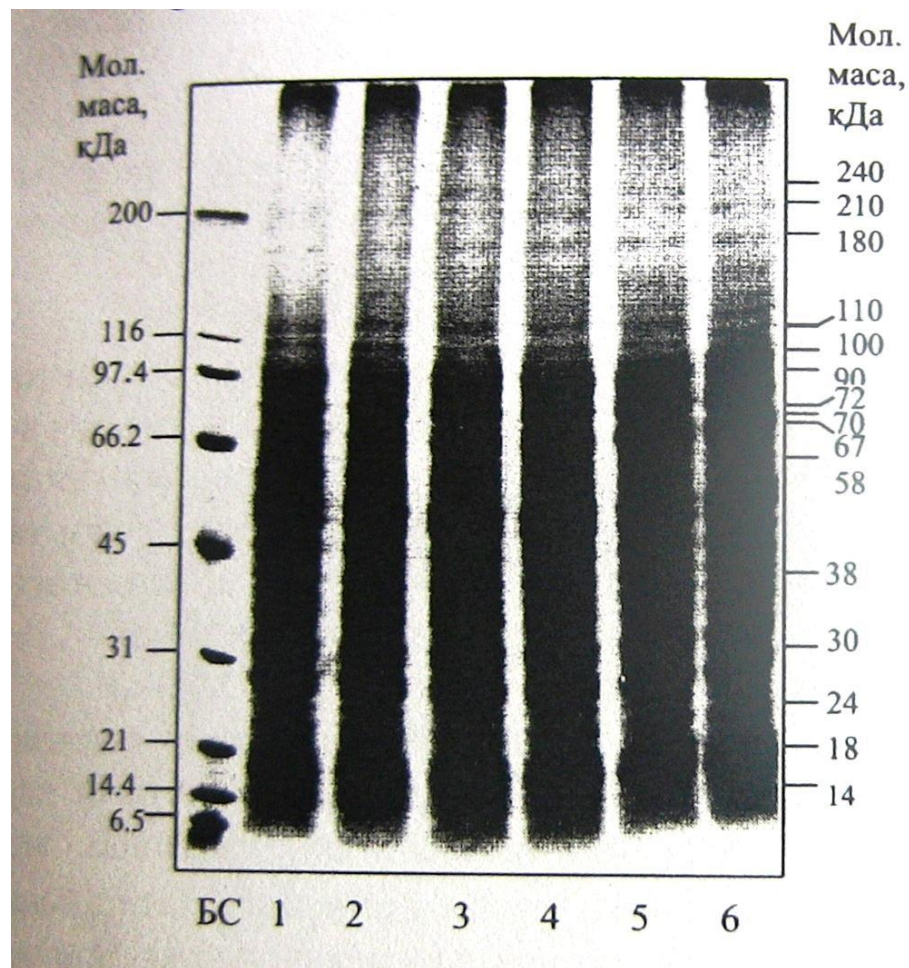
Ці стресові реакції спостерігаються за дії будь-яких стресорів (неспецифічні стресові реакції). Вони спрямовані на захист внутрішньоклітинних структур і усунення несприятливих змін у клітинах.

До специфічних стресових реакцій належать синтез білків-антифризів, фітохелатинів, перемикання фотосинтезу на САМ-метаболізм.

На формування **неспецифічних елементів** стійкості потрібно **значно менше часу**, ніж для проходження специфічних адаптивних реакцій.

# Білки теплового шоку (БТШ)

- Синтезуються у відповідь на дію різних несприятливих факторів (температура, вологість, засолення, вплив важких металів, нестачі кисню тощо).
- З'являються вже на 3-5 хвилину впливу стресора, синтезуються протягом кількох годин.
- Синтезуються у клітинах людини, тварин, рослин, мікроорганізмів.
- Для рослин характерне нагромадження унікальних низькомолекулярних БТШ ( 15-31 кДа).

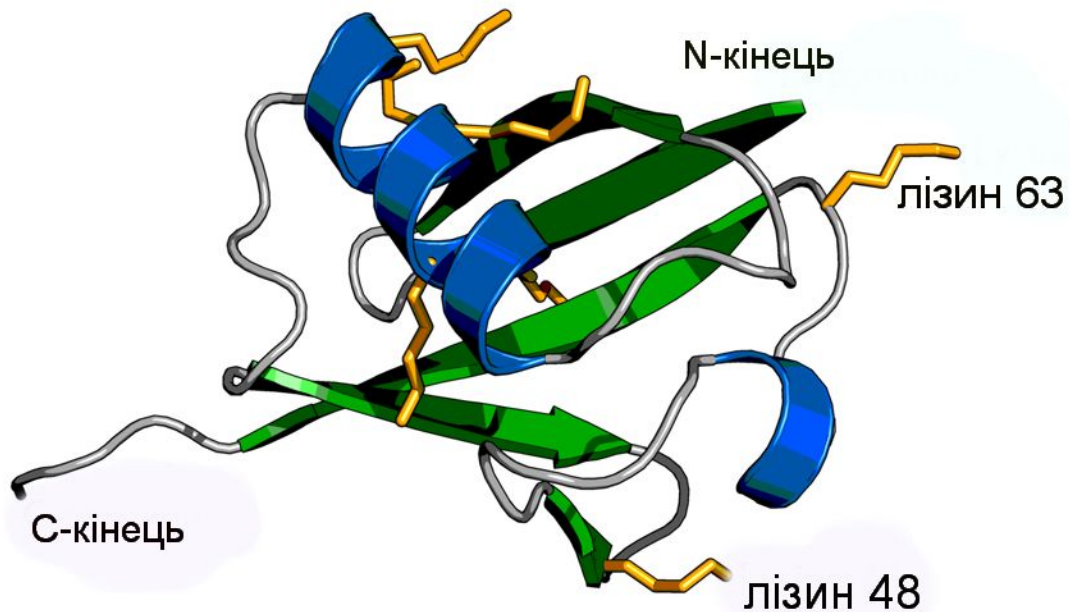


Електрофореграма білків клітин корневих меристем проростків кукурудзи за дії гіпертермії (+42°С) та 6-БАП ( $10^{-11}$  М) (за Терек К.В., 2001): БС – білкові стандарти; 1- контроль; 2-6-БАП+27°С; 3-Н<sub>2</sub>О+42°С, 2 год; 4-6-БАП+42°С, 2 год; 5-Н<sub>2</sub>О+42°С, 24 год; 6-6-БАП+42°С, 24 год

# Найважливіші функції білків теплого шоку (БТШ)

- беруть участь у підтриманні основного метаболізму клітин;
- захищають клітинні компоненти від пошкоджень, завдяки здатності до асоціації БТШ з ферментами або органелами, підвищують їхню стійкість до денатурації;
- видалення пошкоджених клітинних компонентів.

# Просторова модель молекули убіквітину



# Механізми стресу на рівні організму

- **конкуренція між органами за фізіологічно активні речовини і трофічні фактори.** Це дозволяє рослинам в екстремальних умовах сформувати той мінімум генеративних органів (атрагуючих центрів), який вони можуть забезпечити необхідними речовинами для нормального дозрівання.
- **заміна ушкоджених чи втрачених органів шляхом регенерації і росту пазушних бруньок.**
- **активація синтезу етилену й АБК,** зниження вмісту гормонів-стимуляторів. Відбувається гальмування росту, перехід рослинного організму в стан спокою.

# Механізми стресової реакції на популяційному рівні

На популяційному рівні в стресову реакцію включається додатковий фактор — **добір**, що призводить до появи більш пристосованих організмів у нових умовах (**генетична адаптація**).

Насіння утворюють лише ті рослини, які є стійкішими до дії стресових чинників рослини. Гинуть індивідууми, в яких норма реакції на певний екстремальний фактор обмежена вузькими межами.

# Пристаосування рослин до посухи

У рослин, які ростуть у посушливих місцях, **ксерофітів**, виробилися пристосування, що дозволяють переносити періоди посухи.

Рослини використовують три основні способи захисту:

- запобігання зайвої втрати води клітинами (уникнення висихання),
- перенесення висихання,
- уникнення періоду посухи.



## Анатомічні ознаки, характерні для посухостійких рослин:

- занурення прорихів у тканини листка;
- опушеність листків;
- товста кутикула;
- виникнення ксероморфної структури листків;
- редукція листків.

# Біохімічні механізми захисту від посухи

- нагромадження низькомолекулярних гідрофільних білків, які зв'язують значну кількість води;
- взаємодія білків із проліном, що посилює їхню гідрофільність;
- збільшення у цитоплазмі моноцукрів;
- утворення бетаїнів - осмотично активних сполук.

Для багатьох ксерофітів характерний **C4-шлях фотосинтезу**.

У **сукулентів** зменшується втрата води завдяки **СAM-метаболізму**.

Холодостійкість теплолюбних сільськогосподарських рослин можна підсилити **передпосівним загартуванням насіння**. Набрякле насіння теплолюбних культур (огірки, томати, диня та ін.) протягом декількох днів витримують по чергово в умовах низьких позитивних (1-5°C) і більш високих (10-20°C) температур. Таким же способом можна потім **загартувати розсаду**.

Холодостійкість підвищується також при замочуванні насіння у **0,25 % розчинах мікроелементів**.

# Основні причини пошкоджуючої дії низьких позитивних температур на теплолюбні рослини

- порушення функціональної активності клітинних мембран. Відбувається перехід насичених жирних кислот, що входять у їхній склад, з рідкокристалічного стану в стан гелю. Це призводить до порушень в обміні речовин, а при тривалій дії низької температури — до загибелі рослини.
- Відбувається поступова втрата тургору клітинами надземної частини при низьких температурах - порушується надходження води до транспіраційних органів.
- Спостерігається посилення розпаду білків і нагромадження в тканинах розчинних форм нітрогену.

# Основні причини пошкоджуючої дії низьких позитивних температур на теплолюбні рослини

- порушення функціональної активності клітинних мембран. Відбувається перехід насичених жирних кислот, що входять у їхній склад, з рідкокристалічного стану в стан гелю. Це призводить до порушень в обміні речовин, а при тривалій дії низької температури — до загибелі рослини.
- Відбувається поступова втрата тургору клітинами надземної частини при низьких температурах - порушується надходження води до транспіраційних органів.
- Спостерігається посилення розпаду білків і нагромадження в тканинах розчинних форм нітрогену.

# Пристосування рослин до дії низьких температур

- **підтримання високої проникності мембран.** Загальна реакція рослин на низькі температури - збільшення в складі мембран кількості ненасичених жирних кислот. Це зумовлює зниження температури фазового переходу ліпідів з рідко-кристалічного стану в гель до величини, що лежить нижче рівня замерзання.
- **посилення процесів синтезу речовин, що захищають тканини – кріопротекторів** (моно- та олігоцукрів, гідрофільних білків).

## Для жаростійких рослин характерні:

- високий вміст органічних кислот, що зв'язують надлишковий аміак;
- посилена транспірація;
- добре розвинена коренева система;
- висока в'язкість цитоплазми і підвищений вміст міцно зв'язаної води (сукуленти.)

Для підвищення жаростійкості рослин застосовують позакореневу обробку розчином солей цинку **0,05%**



# Механізми стійкості рослин до дії важких металів

- зв'язування важких металів клітинною стінкою та виділеннями (ескудатами) клітини;
- зниження надходження важких металів у клітину і транспортування їх з цитоплазми в апопласт;
- хелатування їх у цитоплазмі (фітохелатини, органічні кислоти);
- репарація пошкоджених білків;
- компартментація металів у вакуолі.