

ЕКОЛОГО-ФІЗІОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ РЕАГУВАННЯ РОСЛИН НА ЗМІНУ КЛІМАТУ

**СКЛЯР ВІКТОРІЯ ГРИГОРІВНА
ШЕРСТЮК МАРИНА ЮРІЇВНА
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**



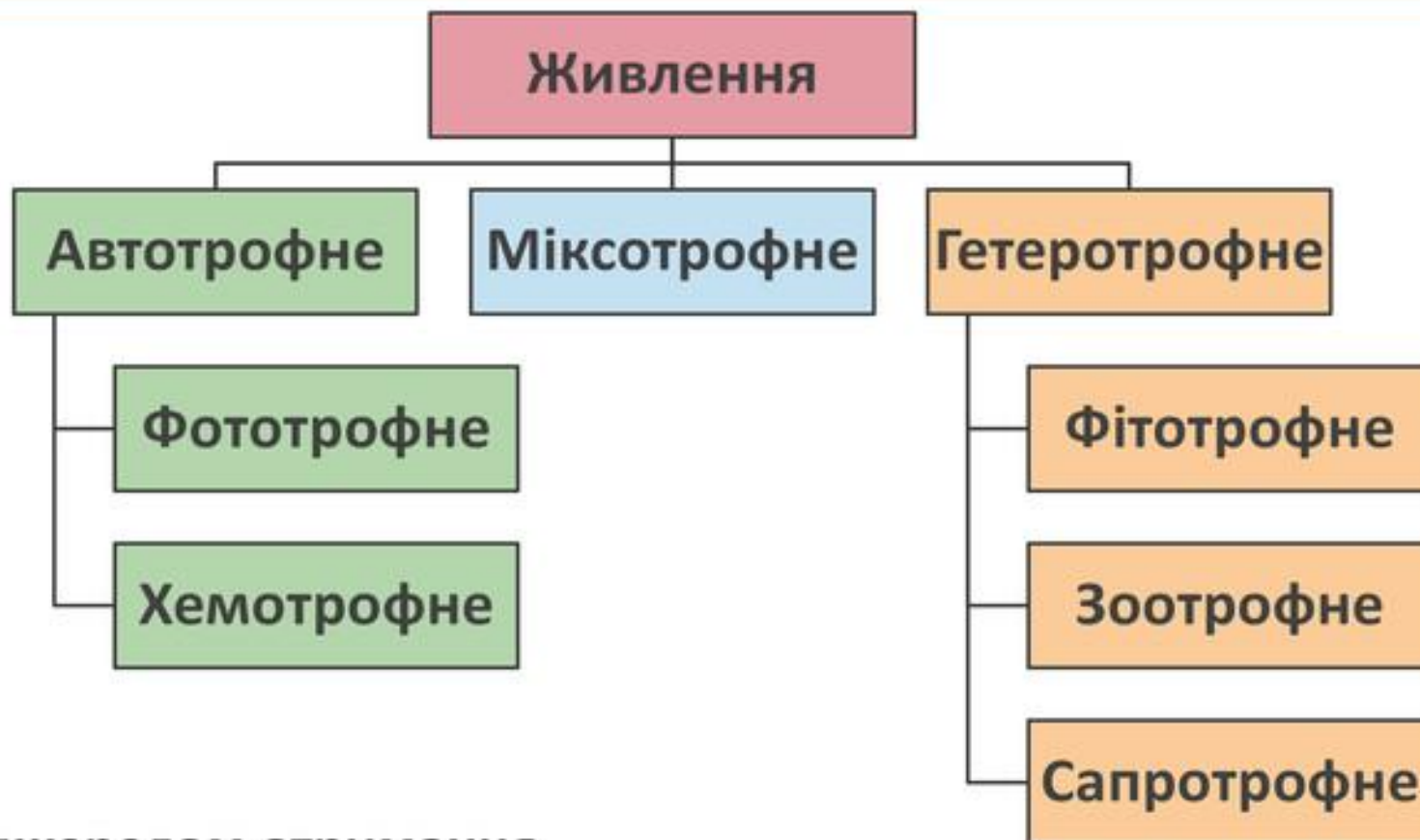
Рослини

- це *нерухомі* організми.

Їхня нерухомість цілковито зумовлена *особливостями живлення.*



Типи живлення



За джерелом отримання
поживних речовин

Для ЗЕЛЕНИХ РОСЛИН

- характерний **автотрофний тип** живлення, заснований на процесі фотосинтезу, за якого нова органічна речовина створюється із простих неорганічних сполук, тоді як тварини живляться **гетеротрофно**, тобто **використовують в їжу готову органічну речовину**.



НЕ ЛИШЕ СПОСІБ ЖИВЛЕННЯ

- сам по собі відрізняє рослини від тварин. З автотрофністю рослин пов'язана ціла низка інших їхніх особливостей, які впливають з автотрофності і визначають своєрідність життєдіяльності рослин.
- Для будь-яких живих організмів важливу роль відіграє розподіл харчових ресурсів у просторі. Їжа тварин сконцентрована в певних місцях. У фітофагів – там, де ростуть їстівні рослини, у м'ясоїдних хижаків – там, де знаходиться їхня жертва. Виникає необхідність знайти цю їжу і переміститися в місце її знаходження. Тому тваринні – істоти рухливі.



ОСНОВНІ КОМПОНЕНТИ ЖИВЛЕННЯ РОСЛИН,

- вуглекислий газ і сонячне випромінювання, навпаки, порівняно **рівномірно розподілені у просторі**.
- У наземних фотосинтезуючих рослин витрата значної кількості матеріальних ресурсів і енергії на формування органів руху **виявилася не вигідною**. Переміщення туди, де в повітрі тимчасово може бути дещо більшою концентрація вуглекислого газу або яскравіше світить сонце, не закрите хмаринкою, а ґрунт дещо вологіший, особливих вигод не дає. **Витрати матеріально-енергетичних ресурсів** у рослин на побудову органів руху і переміщення в просторі для отримання таких мізерних і ненадійних переваг у живленні явно себе **не виправдовують**.



ЖИВЛЕННЯ РОСЛИН



ЕНЕРГІЯ
СОНЦЯ

ВУГЛЕКИСЛИЙ
ГАЗ

КИСЕНЬ

ЦУКОР
КРОХМАЛЬ

**РОСЛИНА -
ЖИВИЙ ОРГАНІЗМ**
НАРОДЖУЄТЬСЯ
ДИХАЄ
ЖИВИТЬСЯ
РОСТЕ
РОЗМНОЖУЄТЬСЯ
ВІДМИРАЄ



КРОХМАЛЬ
ЦУКОР

ВОДА, РОЗЧИНЕНІ СОЛІ



У ЗЕЛЕНИХ РОСЛИН

у процесі еволюції сформувався цілий комплекс структур і властивостей, які забезпечують їх виживання саме як нерухомих організмів. Цей комплекс називають

механізмом тонкого налаштування
(fine-tuning)

рослини на місце її існування.

Використання ***fine-tuning*** набуває особливої значущості в умовах змін клімату при формуванні **адаптацій** до них.

АДАПТАЦІЯ

є **сукупністю** фізіологічних, біохімічних і морфологічних **реакцій**, які забезпечують **приспосовування** рослин до екологічних чинників.

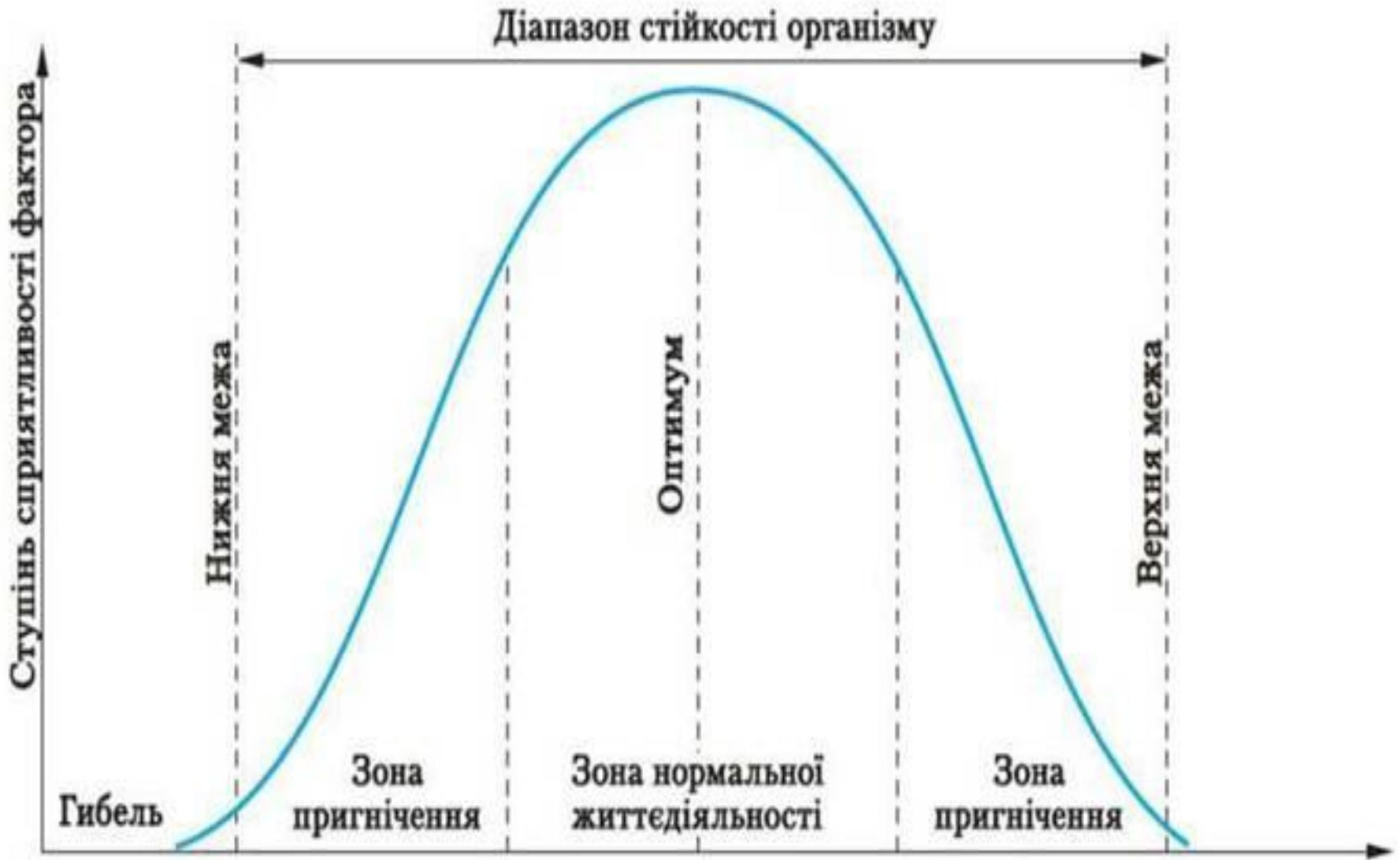
Прояв адаптацій суттєво залежить від видової належності рослини. Вона може адаптуватися до екологічного середовища тільки у межах, обумовлених її генотипом.



ЧИМ ВИЩОЮ Є ЗДАТНІСТЬ РОСЛИНИ

- змінювати метаболізм, ростові і формотвірні процеси відповідно до умов існування, тим ширше норма її реакції і **кращою є здатність до адаптації, у тому числі і до змін клімату.**





АДАПТАЦІЇ

є **найбільш енерговитратними** явищами порівняно з іншими процесами, які відбуваються у рослинах.

У різних екологічних груп рослин енергетичні **витрати** на адаптацію **неоднакові**. Якщо цей вид рослин початково здатний рости в досить широкій амплітуді певного екологічного чинника, то такі витрати невеликі.

У інших випадках енергетичні витрати на адаптацію настільки значні, що призводять до істотного гальмування продукційних і ростових процесів, змінюючи зрештою весь габітус (зовнішній вигляд) рослини.



АДАПТАЦІЯ



Активна адаптація

полягає у швидкому формуванні захисних механізмів, які сприяють пристосуванню до умов місцезростань та виживанню в них.

Пасивна адаптація

полягає у переході рослин у стан спокою, скороченні періоду вегетації тощо.



Для РЕАЛІЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ АДАПТАЦІЇ

потрібна послідовність певних етапів:

- **1** – *сприйняття* параметрів екологічного середовища;
- **2** – "*обробка*" отриманої інформації;
- **3** – відповідна *реакція* із боку рослини.



У БІОЛОГІЇ СТРУКТУРИ,

- що відповідають за сприйняття зовнішніх впливів, називають ***рецепторами***.
- Рецептори властиві всім живим організмам, але система рецепторів рослин влаштована зовсім не так, як у тварин: у рослин відсутні спеціальні органи зору, слуху, дотику та ін., характерні для тварин.
- ***Рецепторами у рослин є молекули органічних речовин і молекулярні комплекси***, які входять до складу мембран клітин.



РЕЦЕПТОРНІ СИСТЕМИ РОСЛИН ТРИРІВНЕВІ.

- **Перший** рівень – це сприйняття стану екологічного середовища власне на рівні молекул.
- **Другий** – на рівні клітини і її органел.
- **Третій** – на рівні рослини загалом.

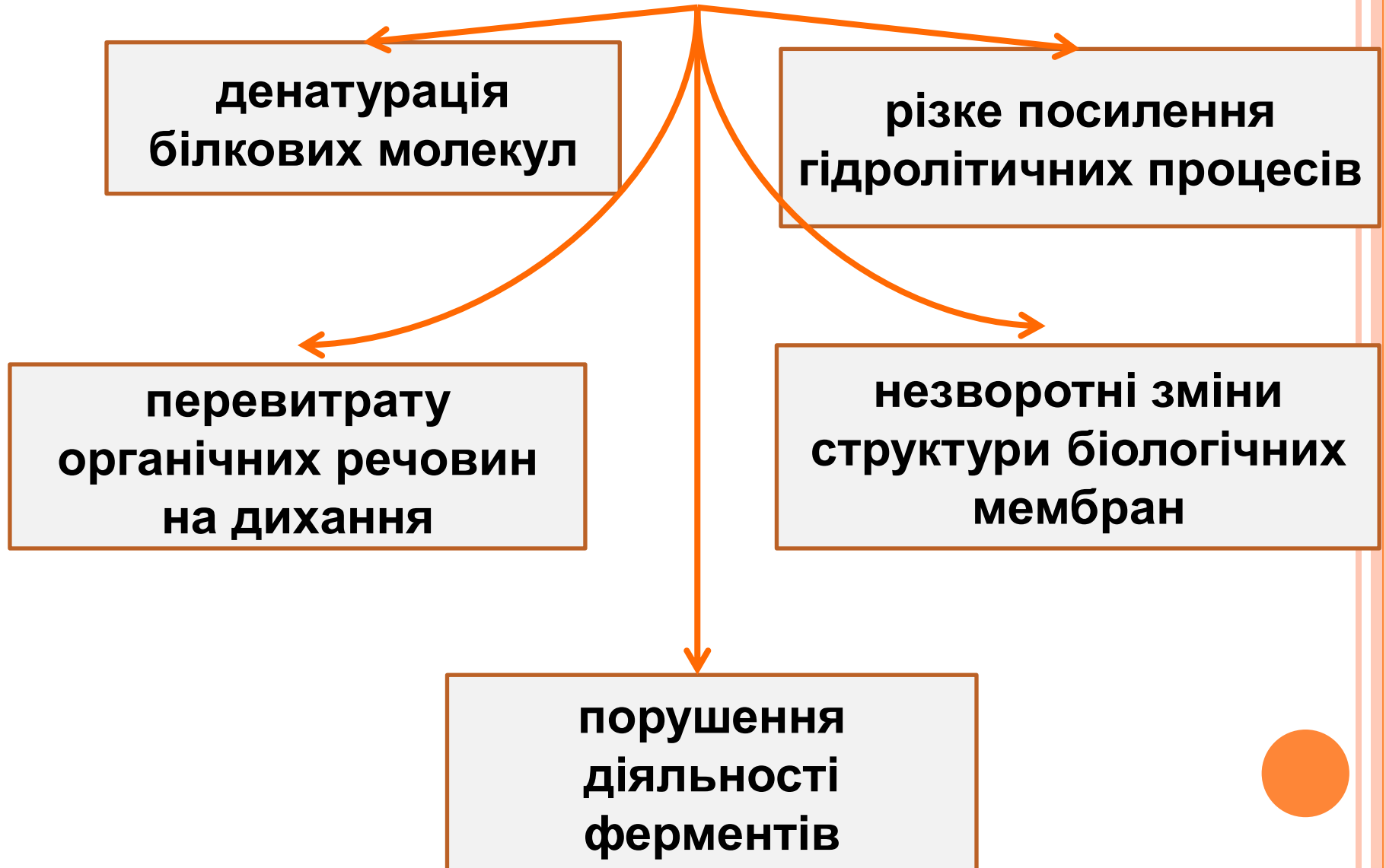


МОЛЕКУЛЯРНО-БІОХІМІЧНИЙ

- рівень сприйняття стану екологічного середовища реалізується переважно ферментами і мембранними системами клітин.
- Наприклад, основними **рецепторами сприйняття температури є ферменти.**
- Залежно від температури їх активність змінюється, що відбивається на рівні метаболічних процесів, а від останніх залежить ріст і продуктивність рослин.



Вплив підвищеної температури повітря на стан рослинної клітини



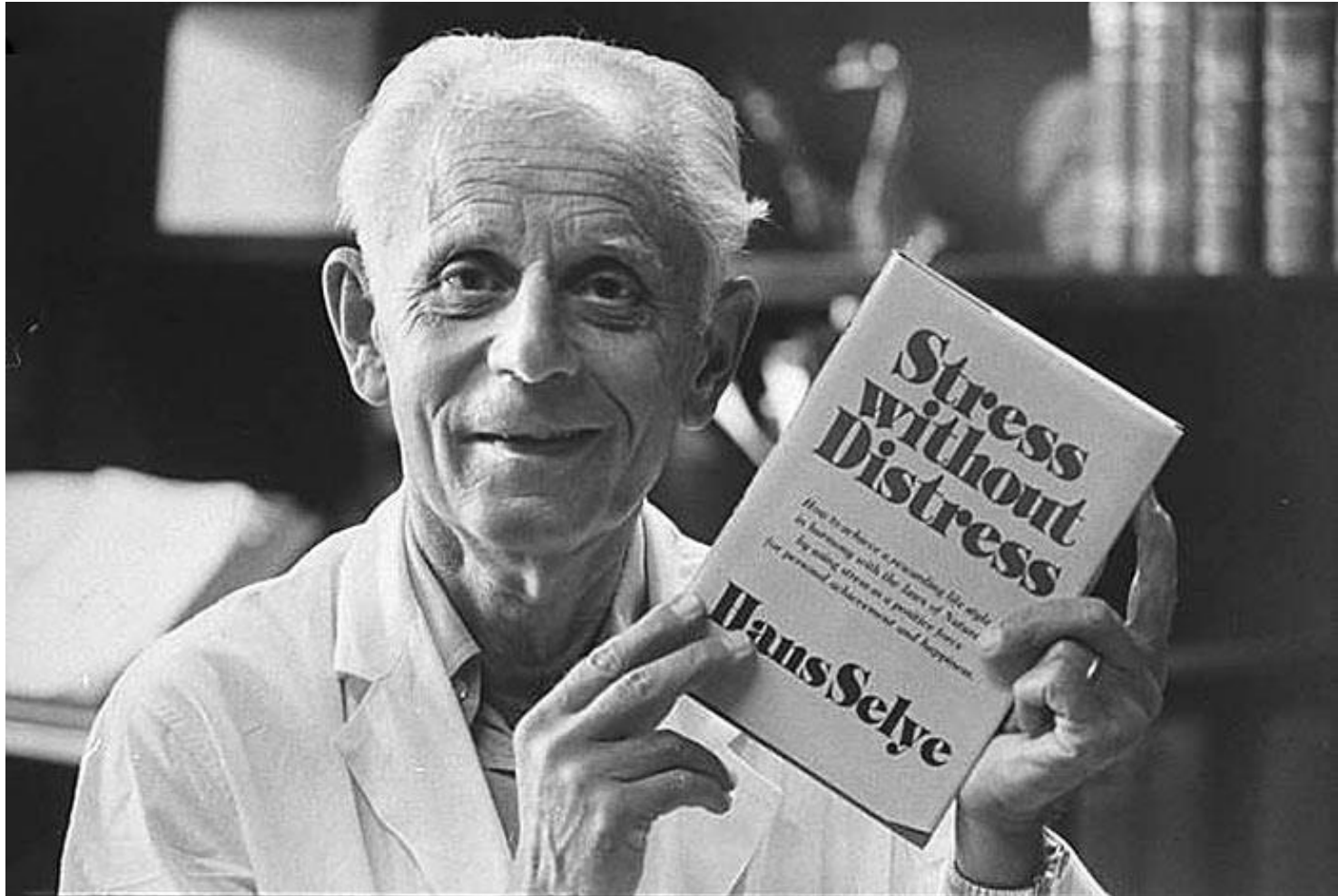
У РОЗУМІННІ СУТІ Й МЕХАНІЗМІВ АДАПТАЦІЇ ТА
СТІЙКОСТІ РОСЛИН ДО ЗОВНІШНІХ ВПЛИВІВ ВАЖЛИВУ
РОЛЬ ВІДІГРАЄ **КОНЦЕПЦІЯ СТРЕСУ**.

- Вона була запропонована
Гансом Сельє у 1936 році.



Г. Сельє.

(УРОДЖЕНИЙ ЯНОШ ГУГО БРУНО ШЕЙЄ
(1907, Відень — 1982, МОНРЕАЛЬ) — ВИДАТНИЙ КАНАДСЬКИЙ ЕНДОКРИНОЛОГ
АВСТРО-УГОРСЬКОГО ПОХОДЖЕННЯ, ЛІКАР




У МЕЖАХ ЦІЄЇ КОНЦЕПЦІЇ

- зовнішні чинники, які негативно впливають на рослини, називаються ***стресорами***.
- Стрес же розглядається як особливий стан організму, що формується у відповідь на їхню дію. Існує велика кількість стресорів. До їхнього числа належать і кліматичні.



НАЙВАЖЛИВІШОЮ НЕСПЕЦИФІЧНОЮ РЕАКЦІЄЮ

- клітин рослин на дію стресорів є синтез особливих **білків**, які отримали назву **стресових**.
 - Стресові білки синтезуються у рослинах у відповідь на різні дії.
 - Усе частіш **синтез цих білків є реакцією на комплекс кліматичних змін**, у тому числі підвищення і зниження температури, знезводнення.
- 

Після сприйняття сигналу

про зміну параметрів середовища синтез стресових білків починається **дуже швидко**.

Вони виявляються у клітинах вже через 15 хвилин після початку дії стрес-фактора.

Вони поділяються на дві групи – високомолекулярні і низькомолекулярні.

Особливістю рослинної клітини, на відміну від клітин тваринних, є її здатність до утворення низькомолекулярних стресових білків.



БІЛЬШІСТЬ РОСЛИН

- помірного кліматичного поясу зазнають стресу при підвищенні температури до 35–40 °С.
- При цих і вищих температурах нормальні фізіологічні функції рослини гальмуються.
- Це явище називають, як зазначалося, **тепловим шоком, або тепловим стресом.**

Особливо чутливий до цього типу стресу фотосинтез.

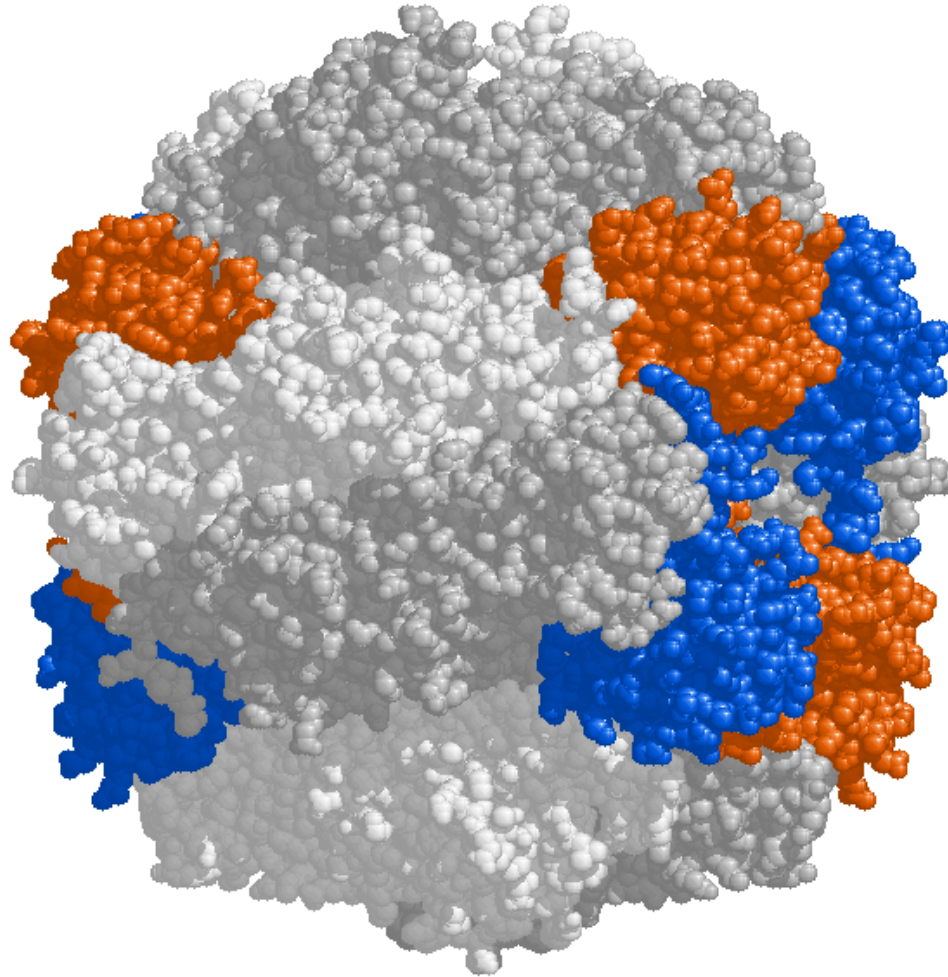


У ПЕРШУ ЧЕРГУ СТРЕСОВІ ТЕМПЕРАТУРИ

- впливають на якісні і кількісні показники *Рубіско* – ключового ферменту процесу фотосинтезу.



РИБУЛОЗОБІСФОСФАТКАРБОКСИЛАЗА (РБФК) (*RuBisCo*) — ФЕРМЕНТ,
ЯКИЙ КАТАЛІЗУЄ РЕАКЦІЮ ФІКСАЦІЇ ВУГЛЕКИСЛОГО ГАЗУ НА ПЕРШІЙ
СТАДІЇ ЦИКЛУ КАЛЬВІНА,



ЦЕЙ ВАЖЛИВИЙ ФЕРМЕНТ

- по-різному реагує на підвищення або зниження температури.
- В умовах теплового шоку Рубіско знижує активність, що призводить до загального зменшення інтенсивності фотосинтезу, а за дії низьких температур (холодового стресу) процес фотосинтезу, навпаки, активізується, що сприяє накопиченню запасних поживних речовин, необхідних рослинам, щоб витримувати низькі температури.



НАДМІРНЕ ПІДВИЩЕННЯ ТЕМПЕРАТУРИ

- викликає у клітин і тканин рослин унаслідок **теплової денатурації білкових молекул незворотні зміни структури біологічних мембран**, порушення діяльності ферментів, різке посилення гідролітичних процесів, перевитрату органічних речовин на дихання та ін.
- Різні білки-ферменти денатурують за різної температури.
- Проте навіть часткова денатурація деяких найбільш термічно нестійких ферментів призводить до порушення узгодженості процесів обміну.

НАКОПИЧУЮТЬСЯ

- розчинні азотисті сполуки й інші отруйні проміжні продукти обміну, через що клітини гинуть.
- Якщо ушкоджувальна дія високої температури перевищує захисні можливості морфоанатомічних і фізіологічних пристосувань, спрацьовує механізм захисту: **синтезуються білки теплового шоку, які є одним з основних елементів адаптації до теплового стресу.**



БІЛКИ ТЕПЛОВОГО ШОКУ НА ТЕПЕР Є ОДНИМИ ІЗ НАЙБІЛЬШ ДЕТАЛЬНОВИВЧЕНИХ СТРЕСОВИХ БІЛКІВ.

- Вони забезпечують стійкість рослин не лише до підвищеної температури, а й до інших видів екологічних стресів.
- У рослин вони були відкриті тільки в 1980 році, але зараз вже доведено, що ці білки дійсно допомагають клітині вижити при дії температурного стресора і відновити фізіологічні процеси після його припинення.
- Синтез цих білків здійснюється шляхом активації мРНК.



БІЛКИ ТЕПЛОВОГО ШОКУ

(HEAT SHOCK PROTEINS – HSPs, sHSP)



Функції білків теплового шоку

Беруть участь у підтриманні основного метаболізму клітини

Видалення пошкоджених клітинних компонентів

Захищають клітинні компоненти від пошкоджень, мають здатність асоціюватися з органелами та ферментами, підвищують стійкість до денатурації

Білки теплового шоку

Синтезуються у відповідь на дію різних несприятливих факторів (підвищена температура, вологість, засолення, нестача кисню)

З'являються вже на 3-5 хвилину дії стресових умов і синтезуються протягом декількох годин

Синтезуються в клітинах рослин, людини, тварин, мікроорганізмів

Для рослин характерне нагромадження низькомолекулярних білків (15-30 кДа)

Експериментальне обґрунтування застосування білків теплового шоку у вакцинотерапії хворих зі злякисними новоутвореннями

Болюх І.А.¹, Діденко Г.В.², Шпак Є.Г.¹, Кузьменко О.П.², Лісовенко Г.С.¹, Потебня Г.П.¹

¹Інститут експериментальної патології, онкології і радіобіології ім. Р.Є. Кавецького НАН України, Київ

²Інститут експериментальної патології, онкології і радіобіології ім. Р.Є. Кавецького НАН України, Київ

Резюме. *Значний терапевтичний потенціал у лікуванні пацієнтів зі злякисними новоутвореннями становлять вакцини, виготовлені з використанням білків теплового шоку (БТШ). Одним із шляхів підвищення ефективності аутологічних БТШ-вакцин є модифікація пухлиноасоційованих антигенів цитотоксичними білоквмісними метаболітами *Bacillus subtilis* B-7025. У даній роботі проведено вивчення індукції та накопичення БТШ з молекулярною масою 70 кДа в пухлинних клітинах за рахунок гіпертермії, викликаній надвисокочастотним генератором, і досліджено протипухлинну ефективність вакцин, сконструйованих на основі пухлинних клітин, збагачених БТШ, і метаболітів *Bacillus subtilis* B-7025. Дані вакцини за рівнем гальмування росту пухлинного вузла та антиметастатичною дією виявилися більш ефективними, ніж вакцини, виготовлені за традиційною технологією.*

белки теплового шока

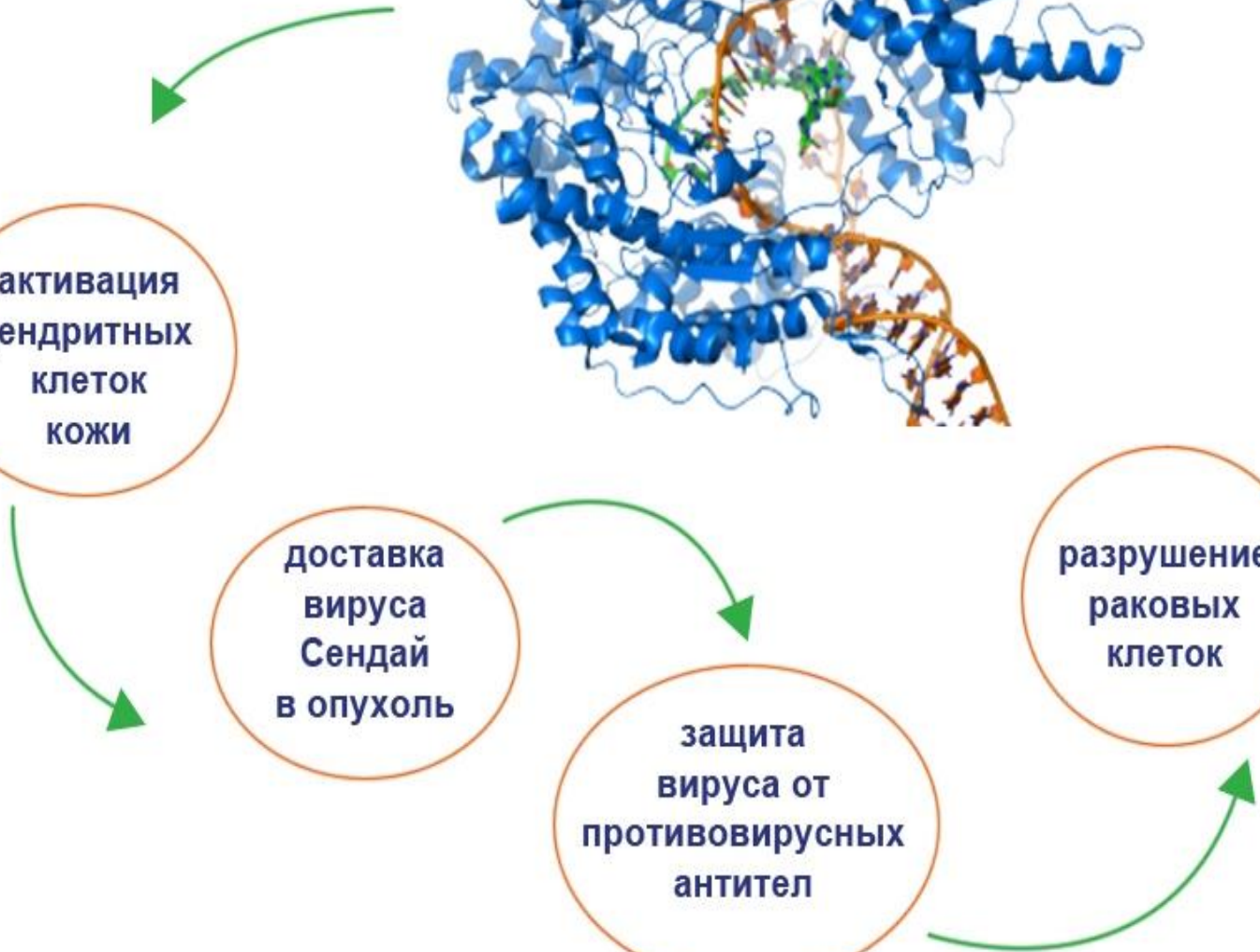


активация
дендритных
клеток
кожи

доставка
вируса
Сендай
в опухоль

защита
вируса от
противовирусных
антител

разрушение
раковых
клеток



Низькомолекулярні білки теплового шоку рослин

О. С. Талалаєв

Інститут ботаніки ім. М. Г. Холодного НАН України
Вул. Терещаківська, 2, Київ, 01601, Україна

E-mail: cell@svitonline.com

Низькомолекулярні білки теплового шоку (sHsp) продукуються як в сукаріотній, так і прокаріотній клітині у відповідь на дію високої температури. Особливе значення sHsp для рослин підтверджується їхньою різноманітністю. Ідентифіковано шість класів рослинних sHsp. Усі вони індуються і при інших стресових факторах, а деякі ще й на певних стадіях розвитку. Значення sHsp полягає у формуванні стійкості до стресів. Функції sHsp як молекулярних шаперонів підтверджено in vivo та in vitro. Представлений огляд сумує загальні знання щодо експресії генів, молекулярної структури і функцій sHsp рослин.

Ключові слова: білки теплового шоку, шаперони.

Вступ. У відповідь на тепловий стрес клітини всіх сукаріотів синтезують групу білків з молекулярною масою від 15 до 42 кДа, які отримали назву низькомолекулярних білків теплового шоку (small heat shock proteins, sHsp) [1]. Для рослин характерною є надзвичайна різноманітність sHsp, обумовлена необхідністю швидкої адаптації до різних змін умов довкілля, зокрема, таких як підвищення температури та інтенсивність освітлення, зміна вологості тощо. За подібністю послідовностей ДНК,

агрегації та спрямовуючи субстратний фолдинг [3–7].

Класи рослинних sHsp і їхня структура. Частина низькомолекулярних рослинних білків теплового шоку з молекулярною масою від 15 до 42 кДа під час теплового стресу складає до 1 % від загального вмісту білка, це можна помітити за допомогою денатурувального гел-електрофорезу [2, 8, 9]. Аналіз комплексу sHsp *Arabidopsis thaliana* показав, що її геном містить 19 рамок зчиту-

СВОЄРІДНУ ФОРМУ

- захисту процесу фотосинтезу від теплового стресу становить **активне переміщення хлоропластів до бічних стінок клітин**, що дозволяє їм уникати прямої дії сонячних променів.
- Крім того, існує ціла низка **морфологічних пристосувань**, що захищають рослини від теплових ушкоджень. Це світле забарвлення поверхні пагонів, складання і скручування листків, опушування, яке захищає тканини від перегрівання, наявність шарів пробкової тканини, велика товщина кутикулярного шару та ін.



Для кожного виду рослин

- існує оптимальна для фотосинтезу температура, при відхиленнях від якої продуктивність фотосинтезу знижується. Для рослин помірних широт оптимальною є температура близько 25 °C (20–35 °C).
- Положення точки оптимуму в **C₄-рослин** завжди значно вище, ніж у **C₃-рослин**. Тому перші набагато частіше поселяються на територіях із високими температурними показниками.



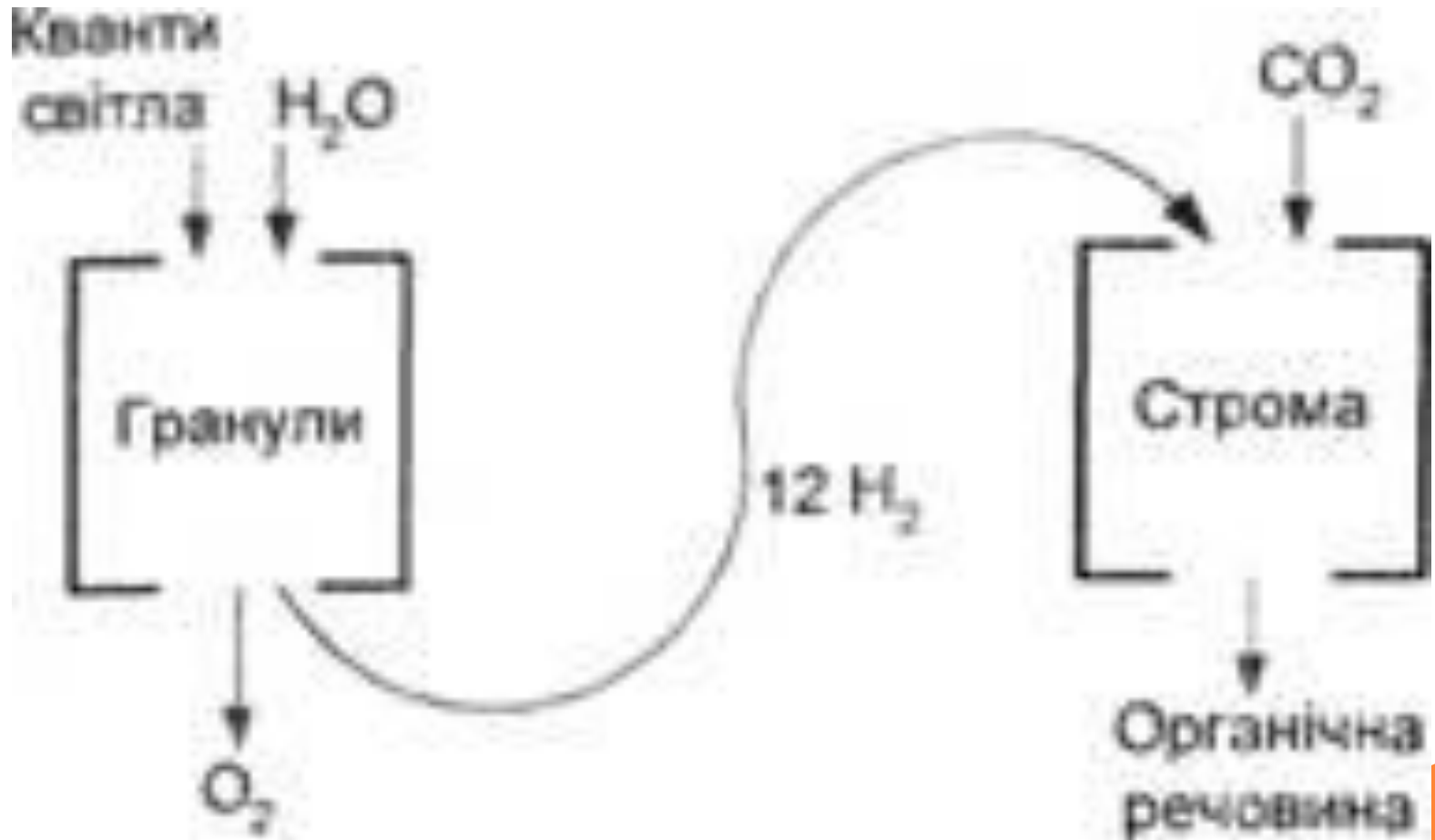
РОСЛИНИ ІЗ ФОТОСИНТЕЗОМ **C3**-ТИПУ

у них у ході фотосинтезу як проміжні речовини утворюються хімічні сполуки, основу яких складають вуглецеві ланцюжки з **трьох атомів** вуглецю.

У інших рослин (**C4**-типу) у таких проміжних речовинах вуглецевий ланцюг складається із **чотирьох** атомів.



БЛОК-СХЕМА ФОТОСИНТЕЗУ У СЗ-РОСЛИН

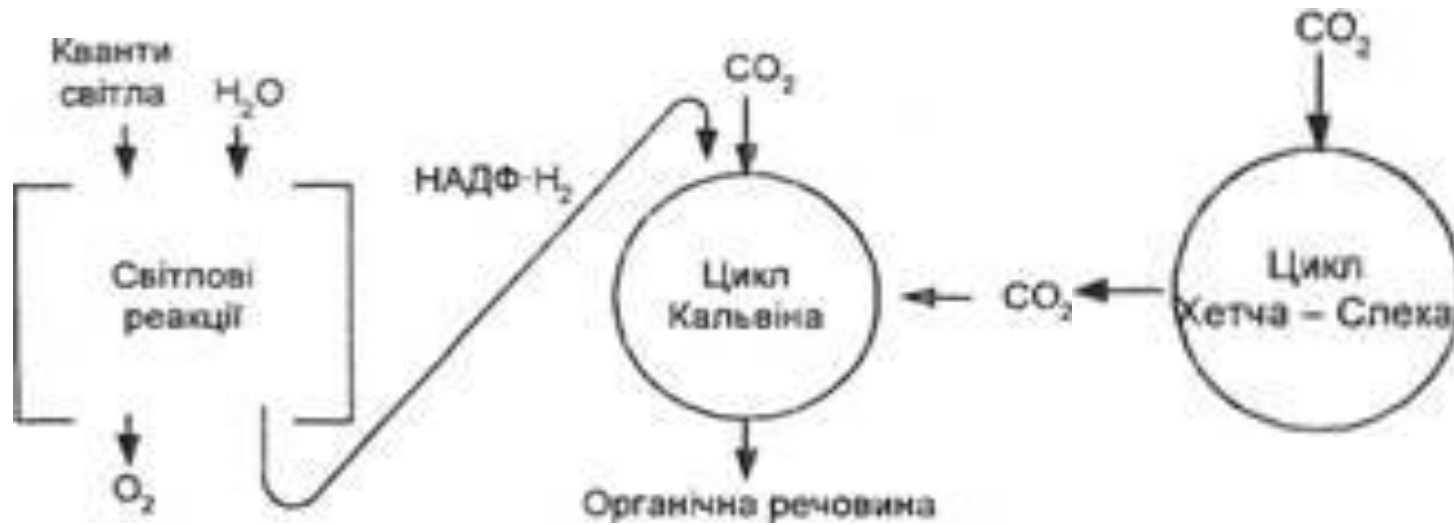


C3-рослини мають ***один*** поглинач вуглекислого газу з повітря.

У ***C4-рослин*** таких поглиначів ***два***, і, відповідно, ресурси вуглекислого газу вони використовують **більш повно**.



БЛОК-СХЕМА ФОТОСИНТЕЗУ У С4-РОСЛИН



До групи **C4-рослин** належить близько 500 видів квіткових рослин і, зокрема, ряд злаків (кукурудза, просо, цукрова тростина та ін.), лобода, молочай, осоки, щириця, багато гвоздичних.

Як правило, це високопродуктивні рослини, що стійко здійснюють фотосинтез при значних підвищеннях температури і в посушливих умовах.

Продуктивність таких C4-рослин, як кукурудза і цукрова тростина, може бути в 2–3 рази вищою, ніж продуктивність C3-рослин – пшениці, рису, вівса.



ГАЛЬМУВАННЯ ФОТОСИНТЕЗУ

- за високої температури пов'язане з тим, що підвищення температури стимулює дихання більше, ніж фотосинтетичні реакції. Наслідком цього є і зниження загальної кількості органічних речовин, що синтезуються, і поганий ріст рослин при температурі, вищій за оптимальну.




У РЕЗУЛЬТАТІ ТЕПЛОВОГО ШОКУ

- на листках з'являються некротичні плями – опіки, які називають "запалом".



ФАКТИЧНИЙ ПОРІГ

- стресової дії високої температури на рослину залежить від процесу транспірації. Температура транспірованого листа зазвичай на 10–15 °С нижча за температуру повітря. Тому транспірація є механізмом самоохолодження рослин і виконує роль захисту від перегрівання. Водний дефіцит, який виникає у разі нестачі води, збільшує несприятливу дію підвищених температур.
- 

ДИХАННЯ РОСЛИН І ТЕМПЕРАТУРНИЙ РЕЖИМ.

Температура є одним із провідних зовнішніх чинників, що суттєво впливає на інтенсивність дихання. У нього зазвичай найвища активність реєструється за температури 40–45 °С.



ПРОДУКЦІЙНИЙ ПРОЦЕС.

- Дія температури на фотосинтез, дихання і активність ферментів зрештою зумовлює те, що у кожної рослини, залежно від її адаптованості до температурного режиму, виокремлюється та оптимальна температура, яка найбільш сприятлива для росту й формоутворення.
- На різних етапах онтогенезу рослин температурний оптимум різний.



ТЕМПЕРАТУРА ҐРУНТУ

- важлива як для роботи осмотичного механізма, так і для неметаболического поглинання води.
- Ю. Сакс ще в 1864 році показав, що діяльність коренів з поглинання води залежить від температури.
 - ***Оптимальна температура для процесів водопоглинання знаходиться в інтервалі від 20 до 30 °C.***



ПЕВНИЙ ТЕМПЕРАТУРНИЙ РЕЖИМ

- необхідний і для проходження рослинами особливого етапу розвитку – термоперіода, або як його називали раніше, яровізації. Наприклад, злакові культури поділяють на ярі й озимі. Перші висівають навесні, оскільки вони проходять яровізацію при позитивних знижених температурах, другі висівають восени, оскільки для проходження яровізації їм потрібна дія значно нижчих температур й упродовж тривалішого періоду часу.











ДЯКУЄМО ЗА УВАГУ!

