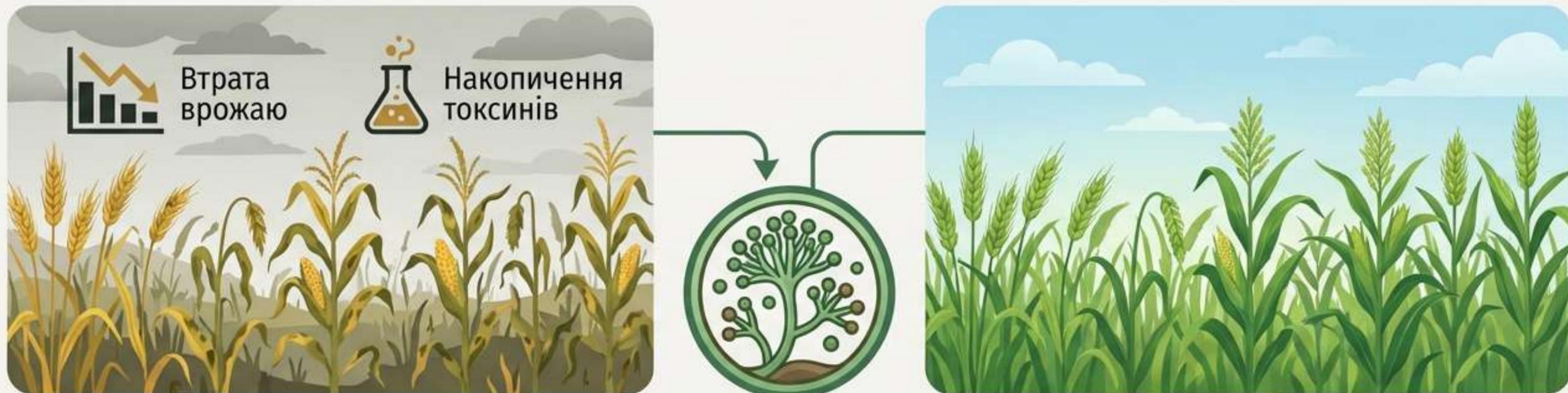


# Триходерма: Подвійна Стратегія для Здоров'я Рослин

Fira Sans Прямий напад на патогени та системна підтримка росту.



# Невидима битва за врожай: Виклики сучасного агросектору

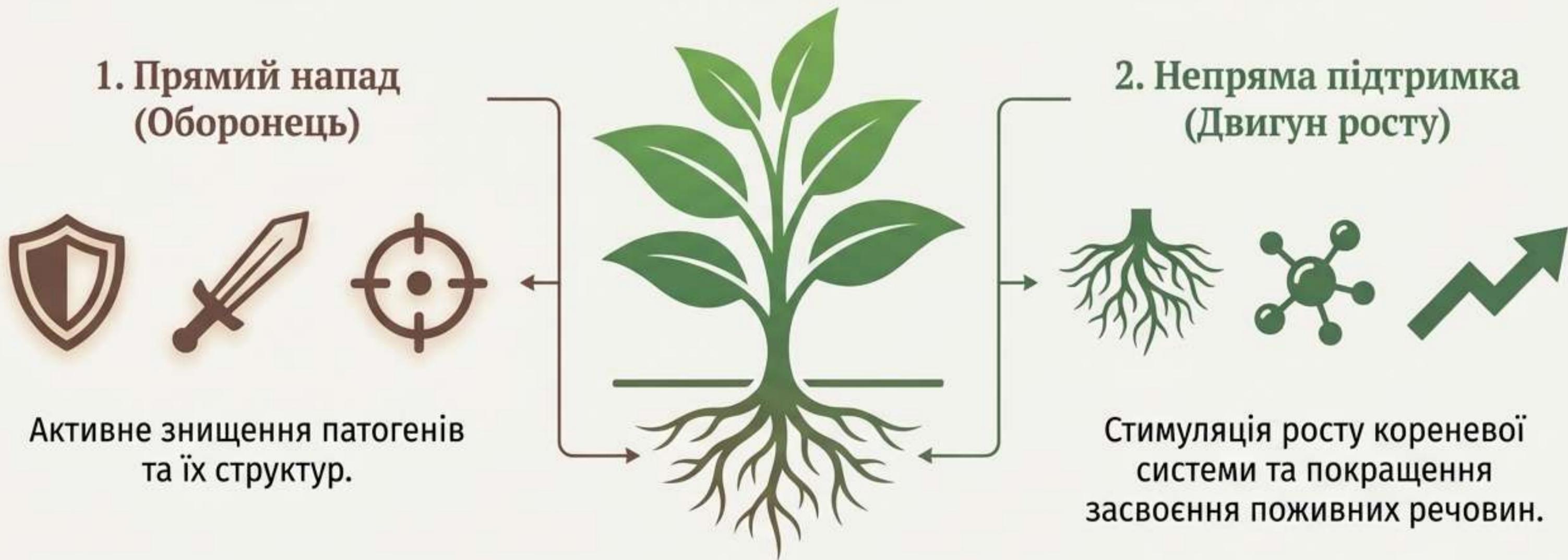


- **Проблема:** Біотичні стреси (гриби, бактерії, віруси) спричиняють **втрати врожаю до 31–42%**.
- **Недоліки хімії:** Традиційні фунгіциди призводять до накопичення токсинів у екосистемі та розвитку резистентних штамів патогенів (напр., *Phytophthora infestans* до металаксилу).

- **Біологічне рішення:** *Trichoderma* — це екологічно безпечний, ефективний та економічний агент біоконтролю. На її основі створено з її основі створено понад **60%** сучасних біофунгіцидів у світі.

# Два фронти, одна мета: Комплексний захист і стимуляція

*Trichoderma* застосовує подвійну стратегію, діючи одночасно у двох напрямках:



Дію *Trichoderma* можна порівняти з роботою **комплексної системи безпеки та персонального тренера**: вона не лише фізично усуває «зловмисників», але й постійно «тренує» імунну систему рослини.

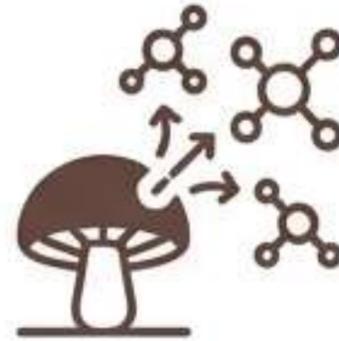
# Фронт 1: Три ключові тактики прямого нападу на патогени

*Trichoderma* використовує три основні механізми для прямого придушення фітопатогенних грибів у ризосфері. Кожен з них є унікальним, але разом вони створюють потужний захисний бар'єр.



## Мікопаразитизм

Пряма атака та руйнування інших грибів.



## Антибіоз

«Хімічна війна» за допомогою біоактивних сполук.



## Конкуренція

Боротьба за життєво важливі ресурси та простір.

# Тактика 1: Мікопаразитизм

## Пряме полювання на патогени

Це складний, багатоетапний процес прямого антагонізму, що включає розпізнавання, фізичний контакт та ферментативну атаку.



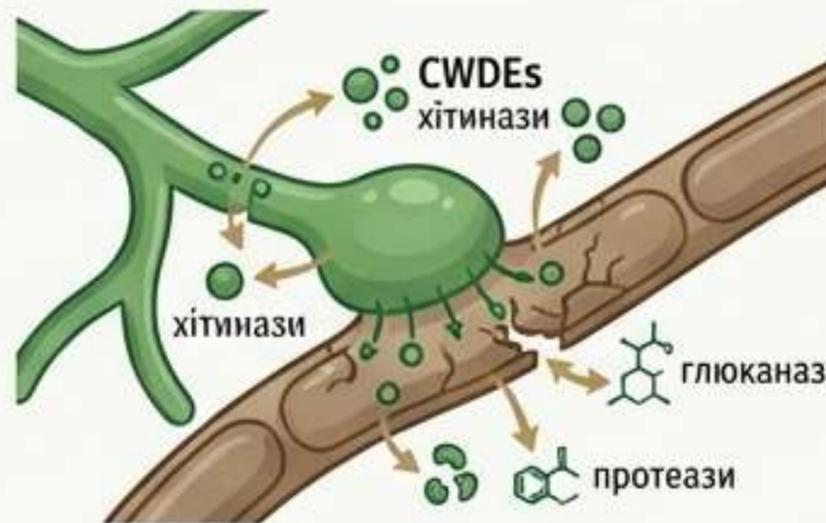
### 1. Розпізнавання

*Trichoderma* ідентифікує патоген за хімічними сигналами.



### 2. Обплітання та прикріплення

2. Гіфи обплітають патоген і формують апресорії для проникнення.



### 3. Ферментативна атака

Виділяються ферменти, що руйнують клітинну стінку (CWDEs).



### 4. Лізис

Клітинна стінка патогена розчиняється, що призводить до його загибелі.

## Тактика 2: Антибіоз — Арсенал біоактивних сполук

*Trichoderma* синтезує та виділяє низькомолекулярні сполуки, які пригнічують або вбивають конкурентні мікроорганізми.

> **180 видів**

ідентифіковано вторинних метаболітів

### Основні класи сполук:

- **Пептайболи:** (напр., трихоконін VI) формують іонні канали в мембранах патогенів.
- **Полікетиди:** Мають сильну антимікробну дію.
- **Терпени:** (напр., віридин) інгібують ріст грибів.

**Ключові приклади:** Гліотоксин, гарціанова кислота.



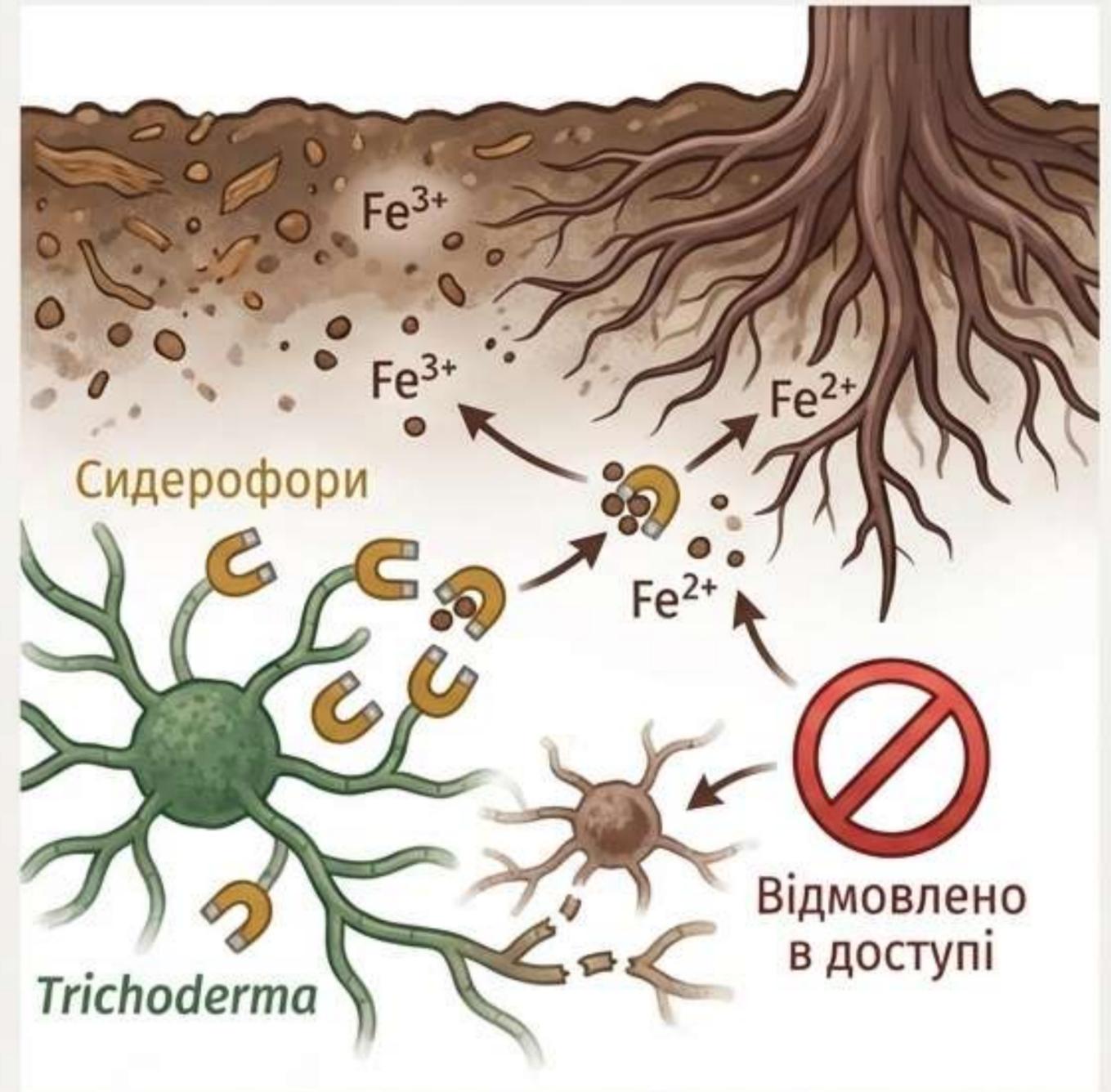
# Тактика 3: Конкуренція — Боротьба за ресурси та простір

Будучи швидким колонізатором, *Trichoderma* ефективно випереджає патогени у боротьбі за ключові ресурси:

- **Поживні речовини:** Ефективніше поглинає вуглець (C) та азот (N) з ризосфери.
- **Ключовий елемент — Залізо (Fe):** *Trichoderma* виділяє **сидерофори** — спеціальні молекули, що хелатують (зв'язують) нерозчинне залізо ( $\text{Fe}^{3+}$ ) у ґрунті.

## Подвійний ефект сидерофорів:

1. Перетворюють  $\text{Fe}^{3+}$  у розчинну форму ( $\text{Fe}^{2+}$ ), роблячи його доступним для рослини.
2. Позбавляють патогени доступу до заліза, обмежуючи їхній ріст.

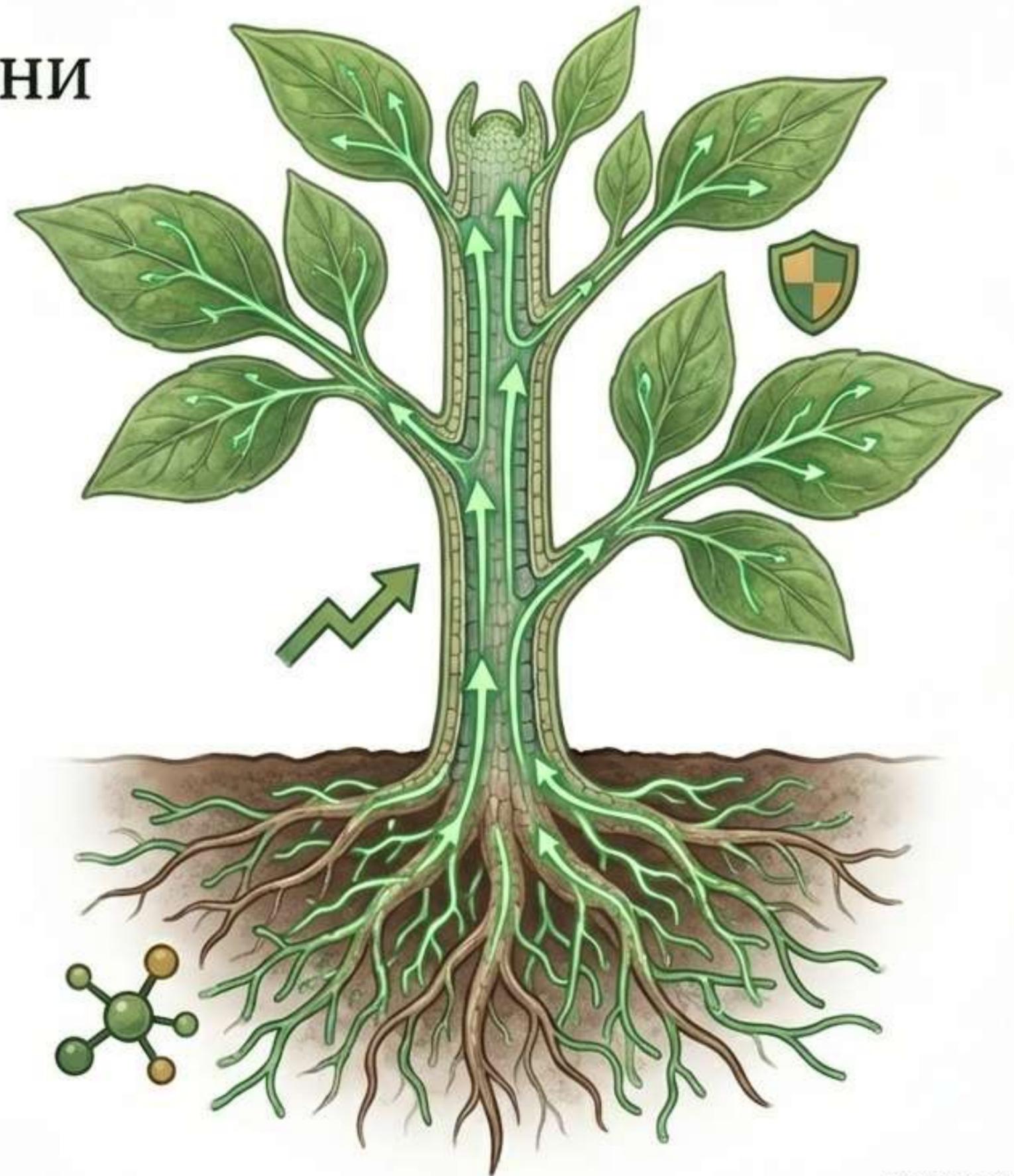


## Фронт 2: Зміцнення зсередини

### Посилення потенціалу рослини

Окрім прямої боротьби з патогенами, *Trichoderma* діє як симбіонт, що системно покращує здоров'я та стійкість рослини-господаря. Ця непряма підтримка є основою для довготривалого захисту.

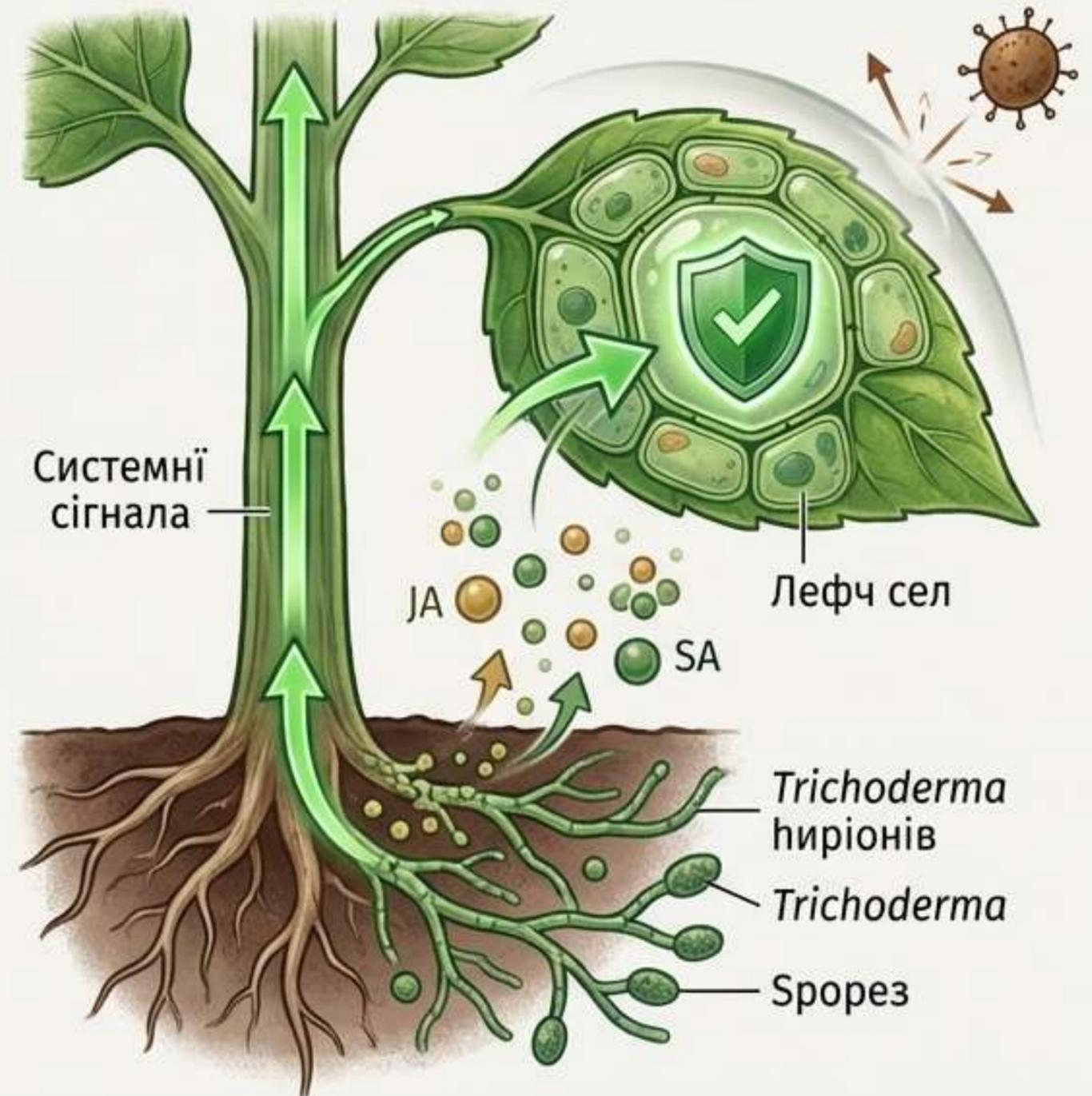
- Індукція системної стійкості
- Стимуляція росту та розвитку
- Покращення поглинання поживних речовин
- Підвищення толерантності до абіотичних стресів



# Механізм 1: Індукція системної стійкості — «Вакцинація» рослини

Колонізація коренів грибом *Trichoderma* запускає власні захисні механізми рослини, роблячи її готовою до майбутніх загроз.

- **Активація імунних шляхів:** Запускаються каскади реакцій, відомі як **індукована системна стійкість (ISR)** та **системна набута стійкість (SAR)**.
- **Сигнальні молекули:** Процес регулюється фітогормонами, такими як жасмонова кислота (JA), саліцилова кислота (SA) та етилен.
- **Результат:** Рослина накопичує захисні сполуки (PR-білки, фітоалексини) і здатна швидше та сильніше реагувати на атаку патогенів.



# Механізм 2: Стимуляція росту — Побудова сильнішої та більшої рослини

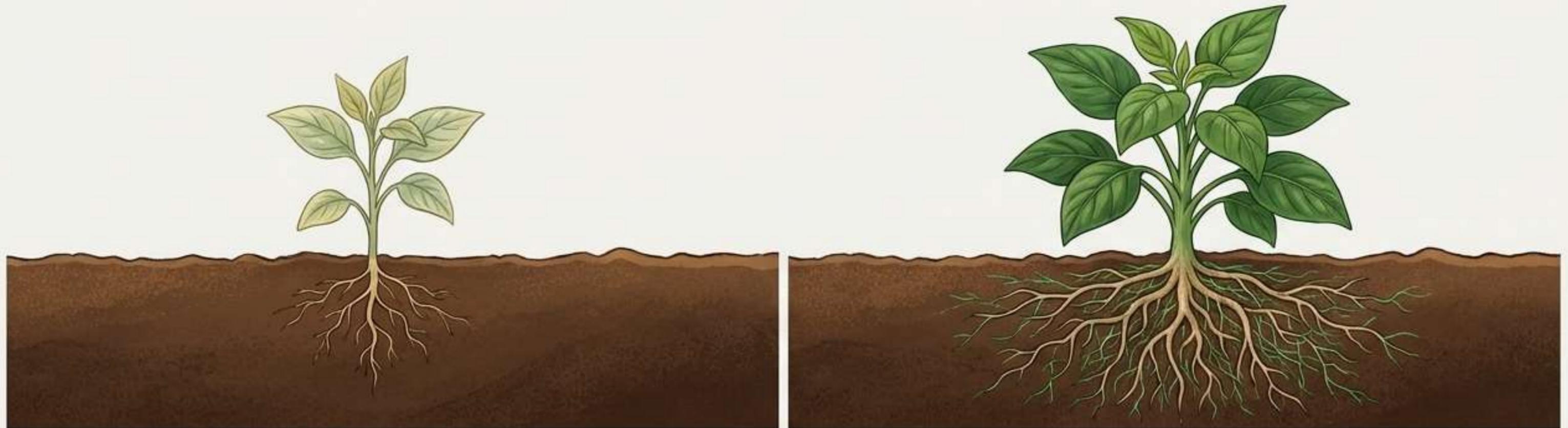
*Trichoderma* безпосередньо впливає на архітектуру та біомасу рослини.

## Вплив на морфологію:

- Збільшення довжини коренів та пагонів.
- Стимуляція розвитку бічних коренів.
- Збільшення площі листя та біомаси.

## Біохімічна основа:

- Синтез ауксино-подібних сполук.
- Виробництво ферменту **swollenin** для розширення клітинних стінок коренів.



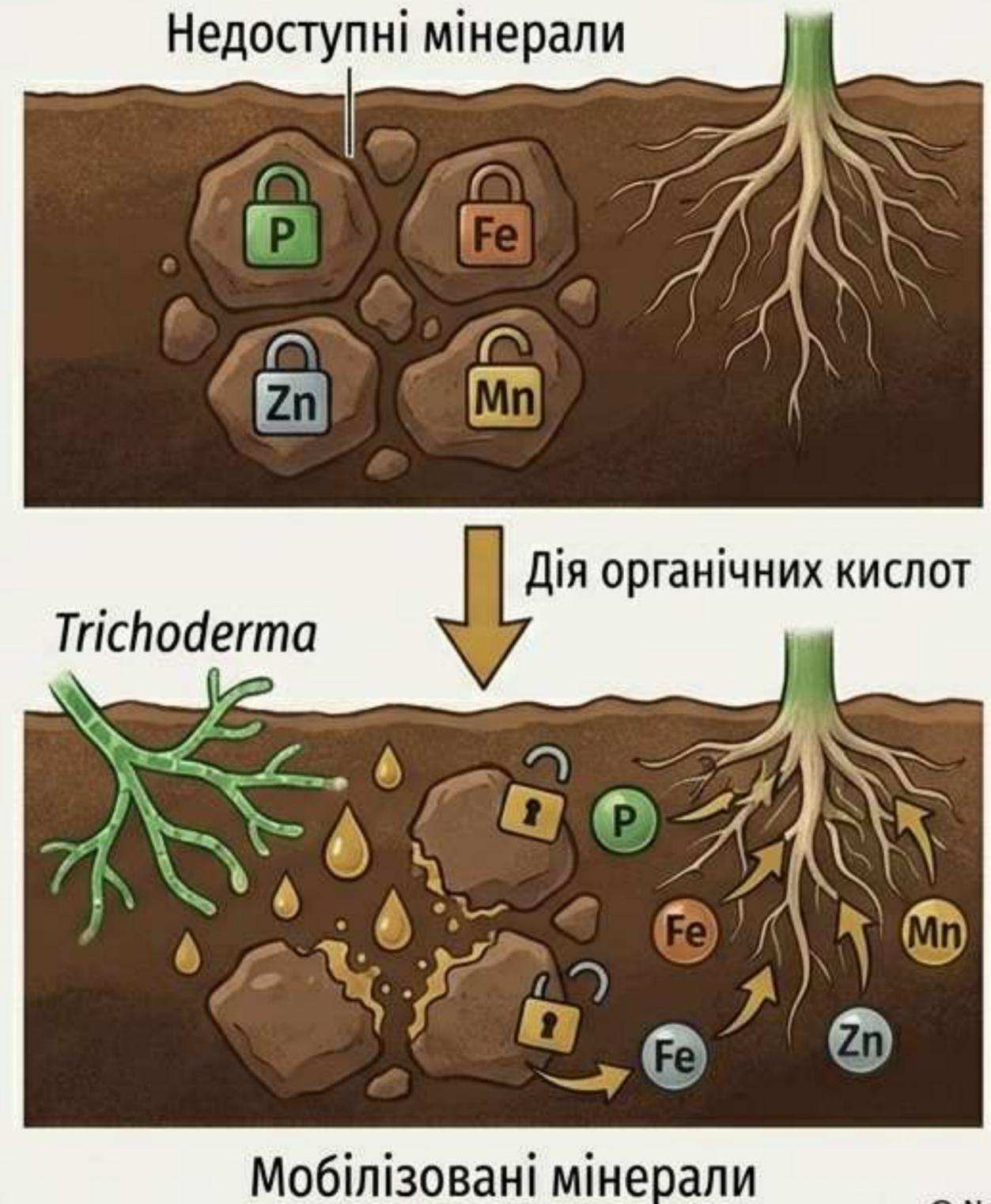
Контроль

З обробкою *Trichoderma*

# Механізм 3: Покращення живлення — Розблокування ґрунтових ресурсів

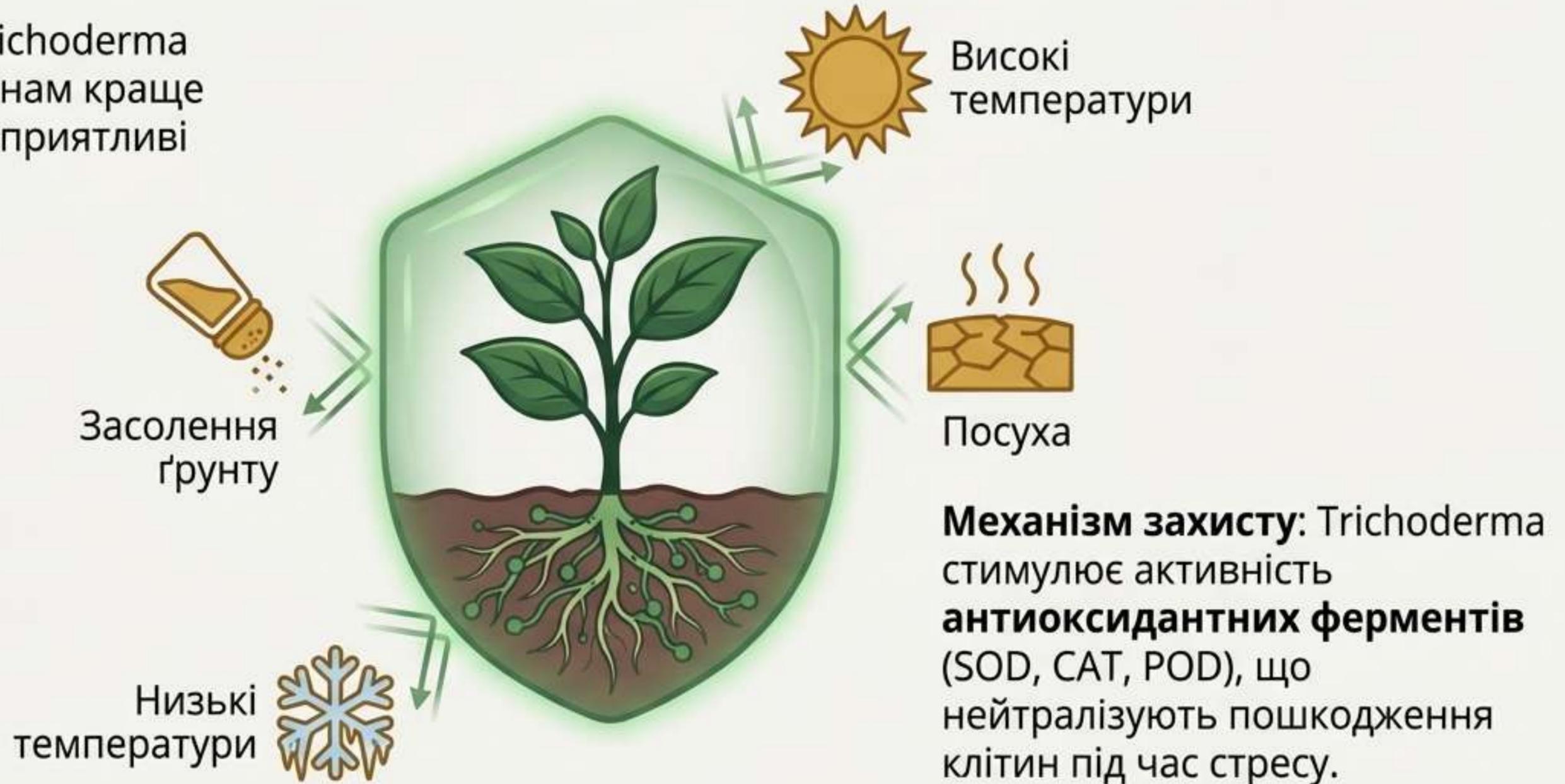
Багато поживних речовин у ґрунті знаходяться у формах, недоступних для рослин. *Trichoderma* змінює хімію ризосфери, щоб мобілізувати їх.

- **Секреція органічних кислот:** Гриб виділяє глюконову, лимонну та фумарову кислоти.
- **Зниження рН:** Ці кислоти локально знижують рН ґрунту.
- **Розчинення мінералів:** Це сприяє переходу в доступну форму ключових елементів:
  - Фосфор (P)
  - Залізо (Fe)
  - Цинк (Zn)
  - Марганець (Mn)



# Механізм 4: Толерантність до стресу — Підвищення стійкості до негараздів

Партнерство з *Trichoderma* допомагає рослинам краще витримувати несприятливі умови.



# Синергія: Коли ціле більше, ніж сума його частин

«Напад» та «Підтримка» — це не окремі процеси, а взаємопов'язані компоненти єдиної стратегії.



**Результат:** Цей синергетичний ефект створює надзвичайно стійку та високопродуктивну агроecosystemу.

# За межами поля: Багатогранний талант *Trichoderma*

Унікальні метаболічні властивості *Trichoderma* роблять її цінною у багатьох галузях, окрім захисту рослин.



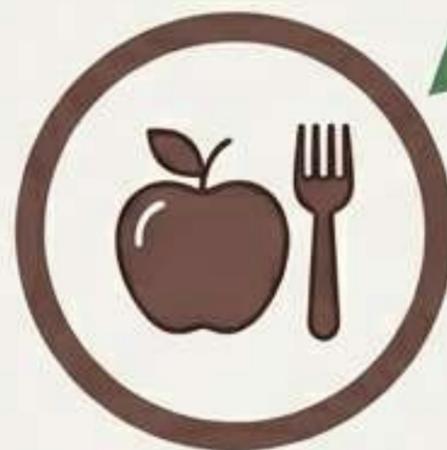
## Біоремедіація

Розкладання пестицидів та забруднювачів.



## Промислові ферменти

Виробництво целюлаз для біопалива та текстилю.



## Харчова промисловість

Виробництво ароматизаторів та добавок.



## Гігієна

Мутаназа у зубних пастах для запобігання нальоту.

# Триходерма: Не просто біоконтроль, а цілісний партнер рослини

Сила *Trichoderma* полягає не в одному механізмі, а в її унікальній здатності вести боротьбу на двох фронтах одночасно: агресивно знищувати загрози та системно зміцнювати саму рослину. Цей подвійний підхід робить її незамінним інструментом для побудови сталого та продуктивного сільського господарства майбутнього.