

СЕКРЕТИ РОСЛИННОГО ІМУНІТЕТУ

Чим смачнішим стає "сільськогосподарський пиріг" людства, тим з більшим апетитом накидаються на нього різноманітні шкідники і паразитичні організми — гриби, віруси, бактерії. Генетична й селекційна робота людини протягом багатьох віків дуже змінила культурні рослини. Набуваючи дедалі цінніших для людини харчових якостей, рослини втрачали деякі риси, притаманні їхнім диким предкам, зокрема, на жаль, і стійкість до хвороб та шкідників.



Олександр Дмитрієв
д. б. н., член-кореспондент НАН України,
завідувач лабораторії імунітету рослин Інституту клітинної біології та генетичної інженерії НАН України

Виходячи з вимог економіки, людина вирощує монокультури рослин на величезних площах. Мимоволі порушується рівновага між рослинами та паразитами. Опинившись у нових природних умовах, рослини стають досить чутливими до всяких несприятливих впливів, у тому числі до шкідників та хвороб. У погоні за великими урожаями люди застосовували пестициди, а це, в свою чергу, призвело до того, що хімічний метод захисту рослин став основним. Завдяки пестицидам землероби відбили атаки багатьох збудників хвороб. Здавалося б,

проблема захисту рослин від хвороб розв'язана. Та стало очевидним, що пестициди забруднюють біосферу. До них слід вдаватися лише тоді, коли інші можливості вичерпані. Препарати, які нині застосовують для захисту рослин, звичайно менш небезпечні, ніж ДДТ, але важко передбачити негативні наслідки їхнього глобального використання. Важливо, щоб "хімічний прес", до якого людство вдається дедалі активніше у взаєминах з природою, не став бумерангом...

Де ж вихід? Адже очевидно, що без інтенсивного хімічного захисту рослин рентабельне землеробство поки що неможливе, хоча наука шукає інші методи, зокрема біологічні.

Одним з найперспективніших методів у напрямку цих пошуків є використання захисних реакцій самих рослин, підвищення їх стійкості до хвороб за допомогою природних механізмів.

Як і будь-який живий організм, рослини здатні чинити опір інфекції. В основі цього процесу лежить імунітет рослин. Його вивчення і є предметом порівняно нової науки — фітоімунології.

Імунітет рослин

Вчення про фітоімунітет почало розвиватися на початку минулого століття, коли вже були певні досягнення у вивченні імунітету тварин. Відомо, що імунітет тварин ґрунтується на підвищеному вмісті в кровоносній системі специфічних антитіл. Їх виробляють спеціалізовані клітини - лімфоцити, роль яких полягає в тому, щоб знайти інфекцію й знищити її.

У рослин таких спеціалізованих клітин немає. Виявилося, що кожна клітина рослини має і імунні функції. Спочатку фітоімунологи намагалися іти шляхом створення рослинного імунітету подібно до тваринного — вакцинували й імунізували рослини, сподіваючись, що в них утворюється антитіла. Та їх і досі не виявили. Очевидно, імунологічна реакція, пов'язана з утворенням специфічних антитіл, виникла на пізнішій стадії еволюції, а тому у рослин її немає. Основна ж функція імунітету — розпізнавання "свого" і "не свого" — притаманна й рослинам. Проявляється це у здатності розпізнавати й позбуватися паразитичних мікроорганізмів, боротися з інфекціями.

Заражена рослина потрапляє в умови екологічного стресу, до якого намагається пристосуватися. Але й паразит має пристосувальні можливості, що значно переважають можливості рослини. У системі "рослина — паразит" останній намагається перетворити рослину на джерело свого живлення, неодмінною умовою чого є подолання бар'єру рослинного імунітету. Рослина ж прагне позбутися чи принаймні обмежити вплив паразита.

У природі є майже десять тисяч видів паразитарних грибів (це без бактерій і вірусів), але кожен вид рослин уражається приблизно десятком паразитів, проти решти ж 9990 цей вид стійкий.

Ось чому "центральною догмою" фітоімунології вважається, що фітоімунітет — правило, а сприйнятливість — виняток, тобто більшість рослин стійкі проти більшості паразитарних мікроорганізмів. Це так званий видовий імунітет, завдяки якому багато грибів хоча й здатні іноді проникати в різні рослини, але не можуть на них паразитувати.



**Блакитна троянда "Velchenblau".
Фото Дар'ї Скрибченко (м. Київ)**

Щоб паразит зміг подолати видовий імунітет рослини, вони повинні, образно кажучи, "поваритися разом" у спільному еволюційному "казані". В результаті подолання бар'єру несумісності виникає система "рослина — паразит", у якій рослина сприйнятлива до паразита, а паразит є хвороботворним щодо неї. Паразит набуває здатності уражати цей вид рослини й стає для нього специфічним. Відтак починається другий етап їх взаємин — виникнення в межах виду стійких форм рослин, які можуть уникнути зараження. І відповідно у паразита виникає нова раса, здатна уражати ці стійкі форми. Тоді у популяції рослини -хазяїна в результаті мутаційної мінливості виникають гени стійкості уже проти цієї нової раси — паразита. Знову з'являється стійкий сорт. А у паразита виникає новий ген хвороботворності. І так далі.

На перший погляд здається парадоксальним, що культурні рослини, які значно поступаються мікроорганізмам за швидкістю розмноження, мінливості, пристосованості до несприятливих умов, зовсім небеззахисні щодо паразитів. Але в процесі еволюції рослини розвинули у собі захисні механізми. Імунітет рослин, як і тварин, ґрунтується на багатьох захисних реакціях і, як писав М.І. Вавилов, "являє собою суму складових". Захисні реакції рослин різноманітні і взаємодоповнюють одна одну.

Розглянемо їх детальніше.

Багатоешелонована оборона

Основних механізмів самозахисту у рослин чотири.

Перший — різного роду механічні бар'єри, покриви рослин, які має подолати паразит. Якщо він за допомогою своїх знарядь нападу (ферментів і токсинів) все ж таки зруйнує зовнішні покриви, тоді почне діяти наступна захисна реакція — відкладаються речовини типу суберину і лігніну, які зміцнюють стінки клітин і перешкоджають просуванню паразита. Коли ж буде прорвана і друга лінія оборони і патоген проникне у судини рослини, в них утворюються спеціальні пробки з полісахаридів, а також "тіли" — своєрідні вирости, які ніби замурують паразита.

Другий — активізація окиснювальних процесів. Це найбільш загальна захисна реакція не тільки на зараження, а й практично на всі стреси. Адже захист від пошкодження — це насамперед мобілізація всіх видів ресурсів. З'являються нові ферменти, синтезуються особливі "стресові" білки, які мають вищу стійкість у змінених умовах. Посилено утворюються мітохондрії — силові станції клітини, де виробляється енергія. Докорінно перебудовується енергетичний обмін, щоб протистояти інфекції.

Третій — наявність у непошкоджених тканинах рослин певних антибіотичних речовин. Ці сполуки, що чинять токсичну дію на паразита, називаються антибіотиками, бо виробляються одним організмом (рослиною), щоб пригнічувати розмноження іншого (паразита). Такі антибіотики були знайдені у трав'янистих і деревних рослин. Вважається, що вони досить швидко діють на паразитів, оскільки містяться у непошкоджених тканинах у токсичних для них концентраціях. Найдетальніше вивчена група цих речовин — фенольні сполуки. У процесі інфекції вони окиснюються й утворюють хінони — речовини, які нейтралізують хвороботворних мікробів. Однак часто буває, що перелічені захисні реакції не можуть їх зупинити.

Тоді починає діяти четвертий захисний механізм — у тканинах рослин утворюються фітоалексини (гр. "*phyton*" — рослина + "*alexo*" — відбиваю, захищаю). Фітоалексини — це антибіотичні речовини вищих рослин, яких немає у непошкоджених тканинах; вони з'являються у відповідь на появу збудників інфекції і пригнічують їх розмноження. Рослина-хазяїн, таким чином, у боротьбі з ворогом вдається до свого останнього резерву.

Фітоалексини

Відкриття фітоалексинів пов'язане з ім'ям німецького фітоімунолога **К. Мюллера**, який ще 1940 року передбачив відкриття таких антибіотиків. За 10 років до цього вітчизняний вчений **Б.П. Токін** відкрив фітонциди. Поняття "фітонциди" охоплює антибіотичні речовини, що утворюються як вищими, так і нижчими рослинами. Вони є у непошкоджених тканинах, а також синтезуються у відповідь на інфекцію. Фітоалексини — один із видів фітонцидів.



**Троянда.
Фото Олександра Вакулєнка (м. Одеса)**



Microcosmos.

Фото Ганни Шелест (м. Одеса)

У кожного виду (а іноді й роду чи навіть родини) рослин утворюються фітоалексини певної хімічної природи. Один і той же вид може утворювати два чи більше фітоалексинів. Це дуже важливо, бо паразиту важче пристосуватися до кількох токсичних речовин, ніж до однієї. Крім того, різні антибіотичні речовини взаємно посилюють вплив одної на іншу.

Наявність стійких і сприйнятливих сортів рослин засвідчує, що паразити здатні подолати й четвертий, найбільш ефективний захисний механізм. Для цього є два основних шляхи. *Перший* — розкласти і тим самим знешкодити фітоалексини. *Другий* — замаскувати ті свої речовини, за якими рослина-хазяїн розпізнає паразита. Такі речовини називаються *індукторами*, або провокаторами (бо вказують присутність мікроорганізмів). Зрозуміло, вони виникли в організмі паразита зовсім не для того, щоб вказувати його присутність. У них інші функції, але рослина під час еволюції "навчилася" розпізнавати їх і у відповідь синтезувати фітоалексини. Тому хвороботворний мікроб намагається "обдурити" розпізнавальні системи рослини й проникнути в клітину непоміченим.



Синьоока. Лускокрилі (метелики).

Індукування стійкості у рослин

За допомогою вакцин і сироваток створюють імунітет у людей і тварин. А чи не можна таким чином підвищити стійкість рослин? Над цією проблемою працювало багато дослідників. Ставили досліди по індуванню стійкості: рослини заражали ослабленими культурами паразитарних грибів або бактерій. І хоча стійкість вдавалося підвищити лише на недовгий час і найчастіше поблизу зони зараження, ці досліди викликали значний інтерес, оскільки це обіцяло активізувати захисні реакції рослин.

У процесі досліджень постав ряд практичних питань.

По-перше, чи не можна створити щось на зразок штучних фітоалексинів? Цей напрям здається перспективним, оскільки деякі прості фітоалексини легко синтезувати. Чи будуть вони менш небезпечними для навколишнього середовища, ніж пестициди? Можна сподіватися, що так, бо, потрапляючи в організм рослини, ці аналоги природних речовин будуть з часом розкладатися метаболічним шляхом.

По-друге, доцільно було б використати відповідні речовини - провокатори для обробки сприйнятливих рослин, щоб вони стали стійкими проти хвороб. Прямолінійно зробити це не можна, тому що вміст фітоалексинів у рослинах може досягти токсичних для людей і тварин концентрацій. Крім того, через масовий синтез фітоалексинів захисна зброя рослин буде по суті "розсекреченою", оскільки паразит зможе легко до неї пристосуватися.

Перспективнішим виявився інший напрям: викликати як синтез, так і розпад фітоалексинів без великого їх нагромадження. Це істотно підвищує потенційну здатність рослин протистояти інфекції. Експерименти засвідчили, що оброблені малими дозами індукторів рослини перебувають в такому "активованому" стані і в разі наступних контактів з інфекцією прискорено синтезують фітоалексини.

У Інституті клітинної біології та генетичної інженерії НАН України розроблено біотехнологію обробки рослин індукторами, виділеними з фітопатогенних грибів, що дає можливість вдвічі зменшити втрати врожаю від хвороб (ця робота була відмічена премією ім. М.Г. Холодного НАН України). Будучи продуктами життєдіяльності грибів, які паразитують на рослинах, такі індуктори не виявляють токсичної дії щодо рослин або організму людини. Використання нового альтернативного методу захисту рослин, механізм якого ґрунтується на підвищенні природного імунітету, не буде порушувати екологічну рівновагу. Головною ж перевагою цих індукторів є те, що при їх використанні, на відміну від хімічних пестицидів, не забруднюється навколишнє середовище.