

## Корисні мікроорганізми - основа сталого та екологічно безпечного агровиробництва

У 80-х роках XIX ст. науковці відкрили здатність бобових рослин збагачувати ґрунти азотом. Вони з'ясували, що ключова роль у цьому процесі належить мікроорганізмам, які формують симбіотичні відносини з рослинами, а вже через 10 років було представлено перший комерційний інокулянт. Та майже 100 років знадобилося людству для того, щоб усвідомити важливість цього відкриття і розпочати його масштабне впровадження у практику сільського господарства. Причиною відкладеного попиту на нову технологію було нерозуміння суті явища та низька ефективність мікробних продуктів і технологій їхнього виготовлення.

На сьогодні, завдяки революційним досягненням мікробіології і біотехнології, вектор розвитку аграрних технологій розвертається в бік активного впровадження біотехнологічних продуктів. До розробки біодобрив долучились і всесвітньо відомі транснаціональні агрохімічні компанії, що є найкращим підтвердженням перспективності впровадження мікробіологічних продуктів.

Разом із тим, попри значні досягнення у застосуванні корисних мікроорганізмів для живлення рослин, кінцеві споживачі досить часто розчаровані використанням мікробних препаратів через їхню низьку ефективність. Але лише частина випадків втрати врожаю зумовлена низькою якістю інокулянту, переважна більшість негативного досвіду є наслідком неправильного використання біодобрив через неусвідомлення механізму їхньої дії, умов зберігання, застосування та інтеграції у класичні технології.

Для детального розуміння основних принципів правильного використання інокулянтів для бобових культур користувачам потрібно опрацювати гори фахової літератури, а поєднання всіх рекомендацій в одній публікації перетворило б її на важкий для сприйняття лонгрід. На нашу думку, пересічному користувачу достатньо акцентувати увагу на п'яти основних принципах у виборі продуктів та їхньому застосуванні, які ми підготували, базуючись на світовому та багаторічному успішному власному досвіді.

### Препаративна форма

На даний час найпоширенішими є стерильні або нестерильні порошкоподібні інокулянти на основі торфу, органічних залишків, природних глин чи мінералів. Оскільки торф містить усі необхідні поживні речовини для розвитку мікроорганізмів та має структуру, яка здатна ефективно захищати бактерії від впливу негативних факторів, він є носієм № 1 для створення сипких продуктів.

Проте варто розуміти, що головною вимогою у виробництві високоефективних інокулянтів є відсутність у готовому продукті контамінуючих (сторонніх) мікроорганізмів, які здатні витіснити популяцію ризобій із субстрату. Тобто, носій має бути стерильним, що у разі використання торфу або інших органічних субстратів є доволі складним і недешевим. Стерилізація мінеральних матриць менш складна, але потребує внесення додаткових поживних речовин. Використання нестерильних носіїв множить ефективність біодобрив на нуль, особливо за умов їхнього довготривалого зберігання.



Значним проривом у підвищенні ефективності рідких інокулянтів стала розробка технології їхнього «консервування», яка дає змогу випускати стерильні рідкі мікробні продукти з довгим терміном зберігання. Додатковою перевагою цієї технології є її здатність підвищувати толерантність мікроорганізмів до дії протруйників, несприятливих умов зберігання та застосування (завчасна обробка насіння, посуха, вплив низьких або високих температур). Це розширило умови транспортування, застосування та зберігання рідких препаратів і за технологічністю поставило їх в один ряд із порошкоподібними. Втім ця технологія залишається недоступною широкому колу виробників, оскільки потребує спеціалізованого обладнання.

Таким чином, на сьогодні ефективність рідких і порошкоподібних продуктів за ключовими показниками є паритетною і вибір препаративної форми залежить лише від технології застосування біодобрива.

Якщо вносити інокулянт безпосередньо у ґрунт або сівалку, то краще надати перевагу порошкоподібній формі. Для попередньої обробки насіння у поєднанні з іншими засобами захисту або живлення краще застосовувати рідку форму. Головне, щоб продукти виготовлялись на стерильній основі.

### **Моно- і полікомпонентні інокулянти**

Питання ефективності багатокомпонентних інокулянтів до цього часу не отримало однозначної відповіді. Аналізуючи профільну літературу, можна знайти інформацію про сотні успішних кейсів застосування ризобій у комплексі з іншими азотфіксуючими, фосфатчи/та каліймобілізуючими або біоконтролюючими мікроорганізмами. Проте негативний досвід поєднання декількох мікроорганізмів із різними властивостями наразі домінує над позитивним, що є однією з важливих причин гальмування розвитку препаратів «все-в-одному». Досить успішними є спроби поєднання декількох штамів одного виду, але з різними властивостями. Такі продукти є ефективнішими у ширшому діапазоні умов вирощування, проте не завжди забезпечують вищу врожайність порівняно з моноштамовими інокулянтами.

Використання двох і більше видів мікроорганізмів в одному продукті рівнозначно використанню нестерильних продуктів, де за певних умов може відбутися домінування другорядного мікроорганізму над основним, нівелюючи, тим самим, основну роль інокулянту.

*Таким чином, використання мультиштамових інокулянтів є цілком виправданим з точки зору мінімізації впливу несприятливих умов, навіть за незначних втрат урожаю. Проте поєднання двох і більше мікроорганізмів різних видів (навіть із різнонаправленою дією) в одному препараті ставить під загрозу ефективність інокуляції і може завдати значних економічних збитків.*

### **Одночасне застосування з хімічними засобами захисту й живлення**

Обробка насіння інокулянтами і хімічними протруйниками за один технологічний прийом є найбільш висвітленою темою. На даний час існує безліч публікацій, які містять перелік сумісних із інокулянтами пестицидів і способи їхнього застосування. Проте варто загострити увагу на двох моментах.



**По-перше**, орієнтуватись потрібно не на діючу речовину (д. р.), а на конкретний продукт. Дуже часто різні продукти з однаковою д.р. чинять різний токсичний ефект на рослину або мікроорганізми. Причиною цього явища є недосконала формуляція пестициду. Саме тому щороку агрохімічні гіганти спрямовують мільйони доларів не на пошук нових діючих чинників, а на вдосконалення уже наявних препаратів, підвищуючи їхню ефективність і знижуючи токсичність для рослин і довкілля.

**По-друге**, не намагайтесь поєднати в одному технологічному процесі всі компоненти живлення й захисту. Наприклад, у всіх на слуху користь молібдену для підвищення азотфіксації симбіотичними системами бобових. Проте ніхто не акцентує уваги на токсичності молібдену (як й інших важких металів) для мікроорганізмів. Звісно, рослини потребують живлення мікроелементами, але краще вносити їх у ґрунт або застосовувати по листку, але виключити з процесу протруєння насіння. Якщо застосовувати мікроелементи з метою фунгіцидного захисту, то самі мікроорганізми, які є біологічною основою інокулянтів, колонізуючи ризосферу, здатні захищати рослину від розвитку грибних або бактеріальних збудників хвороб не менш ефективно.

Це саме стосується й використання різноманітних біологічно активних сполук — фітогормонів, полісахаридів, аміно- та органічних кислот, поліпептидів тощо. Навряд чи вони справлятимуть прямий вплив на рослини, оскільки будуть метаболізовані мікрофлорою ґрунту ще до появи проростків, проте можуть стати ефективним атрактантом для шкочочинних мікроорганізмів ґрунту. Такі продукти краще застосовувати фоліарно або за крапельного зрошення.

Вибір між хімічним і біологічним протруйником, з огляду на безпечність останнього, теж не є очевидним. Використання біологічного протруйника може мати ефект, аналогічний застосуванню полікомпонентних або нестерильних інокулянтів.

*У такому разі поєднання хімічного протруйника з інокулянтом може мати вищу ефективність і пролонгованість захисту та здатне забезпечити вищу продуктивність, порівняно з комплексним застосуванням біодобрива і біопестициду. Тому за умови вибору на користь біопестициду використовуйте ті, що перевірені і рекомендовані виробником інокулянту, адже «здружити» декілька мікроорганізмів є справою складною і вимагає високої кваліфікації спеціалістів і тривалих досліджень.*

### **Способи внесення інокулянтів**

Час і місце застосування мікробних продуктів є важливими факторами, які визначають ефективність інокуляції. Це може бути завчасна (до 120 днів) обробка насіння, обробка насіння безпосередньо перед висівом або у сівалці, внесення інокулянту в ґрунт перед або під час сівби. Обираючи форми інокулянта і технології його застосування потрібно враховувати два основних моменти.

**По-перше**, за інтродукції мікроорганізму в природне середовище обробка насіння препаратом у 10–20 разів ефективніша, ніж за його внесення у ґрунт, оскільки мікроорганізм попадає безпосередньо у ризосферу цільової рослини.

**По-друге**, що коротший термін від інокуляції насіння до його висіву, то більша кількість бактерій із препарату здатна вижити і колонізувати рослину.



*Разом із тим, інокуляція насіння обмежує спектр препаратів для захисту проти хвороб і шкідників. Внесення інокулянтів у ґрунт знімає обмеження у виборі протруйників, проте створює ризики для формування саме ефективних симбіотичних взаємовідносин між мікроорганізмом і рослиною.*

### **Інші агротехнології**

Дефіцит будь-якого біогенного елементу, за виключенням азоту, знижує ефективність бобово-ризобіальних симбіозів. Тому варто подбати про забезпечення рослин елементами живлення шляхом їхнього внесення у ґрунт. Позакоренеve підживлення є ефективним лише для незначної корекції дефіциту.

Щодо азотних добрив, то ми маємо враховувати наступне. Бобові рослини формують бульбочки на 14-й день після появи сходів, які на 21-й день здатні повноцінно забезпечувати рослини атмосферним азотом. Протягом цього періоду споживання рослиною азоту є мінімальним і у ґрунті достатньо цього елементу для живлення культури до старту симбіотичного апарату. В той же час, рослина не перейде на симбіотрофне живлення, поки запаси азоту у ґрунті не знизяться до критичного рівня. Таким чином, вносячи стартові дози азотних добрив, ви пролонгуєте період формування бульбочок і перехід на живлення біологічним азотом. Це може призвести до двох негативних наслідків.

**По-перше**, формування бульбочок може співпасти з періодом посухи або зниження температур. За стресових умов рослина загальмує бульбочкоутворення, оскільки цей процес для неї є біотичним стресом. За умов вичерпання запасів азоту в ґрунті і одночасної відсутності живлення біологічним азотом рослина може зазнати азотного голодування у критичний для неї період.

**По-друге**, ви скорочуєте період ефективного функціонування симбіозу і, відповідно, знижуєте потенційні запаси біологічного азоту в ґрунті, втрати яких, за підрахунками вчених, можуть сягати 30 кг д. р./га. А це, своєю чергою, знижує економічну привабливість застосування інокулянтів.

Додатковим аргументом на користь раннього формування бульбочок є те, що «перехворівши» рослина формує неспецифічну імунну відповідь, яка у подальшому робить рослину стійкішою до впливу патогенів, посухи та інших стресових чинників.

Крім того, бобово-ризобіальні системи чутливі до нестачі вологи, аерації, освітлення. Наприклад, для трансформації і засвоєння 1 кг азоту з атмосфери рослина витрачає у вісім разів більше продуктів фотосинтезу, ніж у разі засвоєння 1 кг мінерального азоту.

**Саме тому неякісна підготовка ґрунту або загущені посіви наближають криву ефективності симбіозу до нуля, а розрахункові втрати врожаю через низький ККД фотосинтетичного і азотфіксуючого апаратів можуть сягати 30%.**

Тому прагнення, щоб рослини швидше зімкнули рядки для збереження вологи і конкуренції з бур'янами, часто має зворотній ефект через збільшення площі транспірації і зменшення інсоляції рослин.



## Підсумок

Інтенсифікація землеробства порушила водний режим ґрунтів, що викликало масштабне засолення і опустелювання, а масштабне застосування хімічних засобів захисту не допомогло подолати хвороби, а лише збіднило біорізноманіття та спровокувало появу толерантних до пестицидів шкідників. Мінеральні добрива спустошують невідновлювальні природні ресурси, які йдуть на їхнє виготовлення, а також є однією з причин глобального потепління, оскільки до 30% емісії парникових газів припадає на сільськогосподарські угіддя внаслідок руйнування гумусу та денітрифікації азотних добрив. Це свідчить про кінець «сучасної» моделі «зеленої революції».

Інокулянти є найбільш ефективними та екологічно безпечними «локальними заводами» із виробництва азотних добрив, а потенціал їхньої азотфіксації сягає 300 кг N/га за сезон. Але їхня економічна привабливість не обмежується лише дешевим азотом чи багатовекторним впливом на розвиток рослин. Для комунікації з ґрунтовими мікроорганізмами інокульовані рослини активно виділяють у ризосферу різні органічні речовини. Ці сполуки здатні утримувати вологу, хелатувати мікроелементи або слугують поживним елементами для різноманітних мікроорганізмів. Але головне — синтез цих корневих виділень відбувається з вуглекислого газу у процесі фотосинтезу.

Таким чином, застосування інокулянтів є надзвичайно ефективним способом утилізації парникових газів, а отже, ми робимо важливий крок до екологічно безпечного сталого сільськогосподарського виробництва.

