

ШЛЯХИ МІКРОБІОЛОГІЧНОЇ МОБІЛІЗАЦІЇ ФОСФАТІВ У ҐРУНТАХ

¹Чернігівський державний інститут економіки і управління
²Інститут сільськогосподарської мікробіології УААН

Обговорюються роль і можливості ґрунтових бактерій у поповненні резерву доступних рослинам фосфатів у ґрунтах та біологічні методи і засоби поліпшення фосфорного живлення сільськогосподарських культур.

Ключові слова: мобілізація фосфатів, ґрунтові бактерії, біологічна активність, фосфобактерин.

V. I. Kanivets¹, L. M. Tokmakova², I. M. Pishchur²

¹Chernihiv state institute of economy and administration

²Institute of the agricultural microbiology UAAS

WAYS OF THE PHOSPHATES' MICROBIOLOGICAL MOBILIZATION IN THE SOILS

The role and potential of soil bacteria in the process of refilling of assimilable phosphates in the soils are being discussed in the present article. The biological procedures of a phosphate supply improvement for agricultural plants are given also.

Keywords: phosphates mobilization, soils' bacteria, biological activity, phosphobacterin.

Оптимізація фосфорного живлення рослин є важливою турботою всіх, причетних до вирощування врожаю. Урожаєм виноситься з ґрунту до 20-30 кг/га P_2O_5 – більше половини того, що знаходиться в ґрунтовому розчині. Поповнюється ґрунтовий розчин у процесі життєдіяльності мікроорганізмів та завдяки кислотним виділенням коріння, тобто в процесі розчинення стійких мінеральних фосфатів та живлення мікроорганізмів орґанофосфатами. Але в умовах відчуження біомаси рослин з урожаєм, розімкнутого кругообігу зольних елементів останні протікають недостатньо активно, що змушує вносити в ґрунт фосфорні добрива.

Найближчим резервом ґрунтових фосфатів є, як відомо, сполуки фосфору, що переходять в ту чи іншу хімічну витяжку при агрохімічному аналізі, – рухомий фосфор, умовно доступний рослинам.

В Україні вважається достатнім для зернових культур уміст рухомого фосфору в ґрунтах у межах 100 мг P_2O_5 /кг ґрунту (майже 300 кг/га в орному шарі), для цукрових буряків – 150–180 мг/кг. У Росії деякі автори вважають достатнім для зернових і 50 мг/кг ґрунту. На жаль, як показав П. Ф. Янишевський (1996), ні один із агрохімічних методів визначення кількості доступних рослині фосфатів не є універсальним і беззаперечним. Тому паралельно необхідно враховувати реакцію рослин, тип ґрунту, тобто вносяться корективи експериментальним шляхом, шляхом польового досліду.

У польових дослідах, проведених нами на чорноземі вилуженому легкосуглинковому (південні опілля Українського Полісся), при вмісті в ньому фосфору в кількості 140–160 мг/кг забезпечувалась урожайність цукрових буряків (з удобренням ґрунту лише азотом і калієм) у межах 500 ц/га, тобто при такому рівні рослин не потребували фосфорних добрив.

У 1970–1980 роки в Україні вдалося досягти помітного збагачення ґрунтів рухомими фосфатами (Носко, 1990), хоч і не такого високого рівня, як на нашому дослідному полі під Черніговом. Тепер цим забезпечується посередня врожайність, незважаючи на мінімальне і лише спорадичне удобрення ґрунту протягом останнього десятиріччя. Більше того, на досягнутому фосфатному фоні за допомогою тільки азотних добрив, а де необхідно – разом із калійними, сьогодні ще можемо отримувати

високі врожаї. Безумовно, відносно благополучне становище з фосфором у більшості регіонів – тимчасове явище, і завтра, при нинішньому економічному становищі, він стане лімітуючим чинником.

Взагалі валові запаси фосфору в ґрунтах (з урахуванням віддаленого резерву) – достатньо великі і їх потрібно безперервно переводити в стан, доступний рослинам. Так, у профілі найбідніших дерново-підзолистих ґрунтів його міститься до 4 т/га (в P_2O_5), у чорноземах – 20–23 т/га. Цього достатньо на сотні років. Лише запасами одного орного шару можна користуватись майже 100 років. Отже, стимулюючи фосфатомобілізуючу діяльність мікроорганізмів, тобто використовуючи віддалений резерв, можна довго підтримувати потрібний рівень умісту рухомого фосфору, зменшити норми фосфорних добрив. Це є актуальним завданням, адже проблема нестачі фосфорних добрив може вирішитись дуже й дуже нескоро. Доступної багатой сировини в державі немає. Необхідно використовувати відомі та розробляти нові мікробіологічні шляхи і засоби поліпшення забезпеченості рослин цим елементом. Крім того, мікробіологічні технології набагато дешевші й екологічно безпечні. Так, відомо, що ґрунтові види бактерій не шкодять людині, а зменшення норм фосфорних туків обмежить забруднення ґрунту важкими металами.

Фосфати в ґрунтах, як відомо, складаються з двох типів сполук – мінеральних і органічних. У чорноземах вони містяться приблизно в рівних кількостях з перевагою орґанофосфатів у гумусовому горизонті. У дерново-підзолистих ґрунтах переважають мінеральні фосфати (до 70 %). Тому заслуговують на увагу засоби мобілізації фосфору як з орґанофосфатів, так і з мінеральних. Головна частина орґанофосфатів представлена гумусом, до 10 % – сполуками індивідуальної природи – фосфоліпідами, сахарофосфатами, фосфорпротеїнами, немало їх у рослинних рештках. Біохімічні сполуки – легкодоступні мікроорґанізмам за допомогою фосфатаз. Певна кількість фосфору знаходиться безпосередньо в клітинах мікроорґанізмів і звільняється після їх автолізу.

Щодо мінеральних фосфатів, то склад їх залежить від генетичної природи ґрунту, а також ґрунотвірної породи. Найменше піддаються дії мікроорґанізмів фосфати апатитової природи (основа первинних фосфатів). Відносно доступними є прості водонерозчинні солі, зокрема фосфати кальцію. Останні панують у чорноземах (фосфатів апатитової природи тут близько 30 %, приблизно 10 % складають фосфати заліза і алюмінію). У дерново-підзолистих і буроземних ґрунтах переважають *Fe*- і *Al*-фосфати. Найлегше розчиняються у кислому середовищі фосфати кальцію. Вони є найближчим резервом разом з орґанофосфатами індивідуальної природи.

Існує безліч мікроорґанізмів зі специфічністю щодо використання фосфору з орґанофосфатів і мікроорґанізмів, які отримують фосфор із $Ca_3(PO_4)_2$.

Кількість доступного рослині фосфору можна збільшити шляхом стимуляції життєдіяльності аборигенної мікрофлори – усього мікробного ценозу, а також шляхом збагачення ризосфери активними формами фосформобілізівних бактерій – інокуляцією ними рослин, тобто застосуванням мікробних препаратів-добрив (Канівець, 2001).

Серед заходів, спрямованих на стимуляцію мікробної активності в ґрунті, безумовно, на першому місці є внесення в ґрунти енергетичного матеріалу – рослинних решток, органічних добрив. За нашими даними (Канівець, 2001), по-перше, уже через два тижні після надходження зелених решток і органічних добрив у прогрітій вологий чорнозем вилугуваний з них звільняється більша частина фосфатів, через місяць – уся. Одночасно протікає мобілізація фосфору з ґрунтових резервів. Доля останнього в сумі мобілізованого при цьому фосфору в ґрунті сягає 40 %. Причому мобілізується фосфор і при внесенні соломи (з додаванням азотних туків). У польових модельних дослідях з внесенням в ґрунт до 3 % органічної речовини кількість P_2O_5 у варіанті з гноєм зросла з 210 мг/кг ґрунту до 540 мг/кг ґрунту, у варіанті з рештками конюшини – до 340 мг, соломи – до 270 мг/кг. У ґрунті спостерігалась дуже висока мікробіологічна активність. Так, у кілька разів зросла чисельність фосформобілізівних і азотфіксувальних бактерій, целюлозоруйнуючих мікроорґанізмів, азотобактера. Висока чисельність бактерій і високий рівень мобілізованих фосфатів зберігалися протягом трьох років спостережень.

Іншим ефективним засобом мобілізації фосфатів є вапнування вилугуваних і кислих ґрунтів, в яких велику долю складають фосфати алюмінію і заліза, що помічено було ще А. І. Гуменюком (1968) та К. А. Бровкіною (1976). Нами (Канівець, 2000) показано, що в провапнованому чорноземі вилуженому зростає кількість бактерій, які розчиняють мінеральні фосфати, на 30–40 %, посилюється розклад клітковини, зростає розвиток азотобактера. В результаті вміст рухомого фосфору в ризосфері збільшувався на 20–40 мг/кг, у коренеплодах – на 15–20 %. Урожайність цукрових буряків підвищувалась на 8–14 %. Позитивний вплив вапнування на біологічну активність ґрунту неодноразово відмічався нами і в інших випадках. При вапнуванні середньо- і сильнокислих ґрунтів загальна чисельність бактерій зростала в 1,5–2,0 рази. Сильніше біологічну активність стимулювати може лише внесення енергетичного (органічного) матеріалу.

Внесення в ґрунт CaCO_3 викликає збільшення долі фосфатів кальцію. Складається враження, як пише А. І. Гуменюк (1968), що аніони фосфорної кислоти віддають перевагу кальцію в присутності Al і Fe , і це є корисним явищем. Фосфати кальцію більше розчинні в кислому середовищі, ніж фосфати алюмінію і заліза, утворюють кислі легкорозчинні солі. Вважається, що оптимальна доступність фосфатів має місце при $\text{pH}_{\text{вод.}}$ 5,5–6,0. Позитивна дія вапна спостерігається протягом багатьох років після його надходження до ґрунту (понад п'яти років).

Аналогічно мобілізації фосфору кореневими системами за допомогою виділення органічних кислот протікає процес розчинення фосфатів кислотоутворюючими бактеріями, розвиток яких може стимулюватись в ризосфері, наприклад, цукрових буряків (Канівець, 1987). Коренеплід цієї культури виділяє цукри, ущільнює навколо ґрунт, що сприяє зброджуванню цукру й утворенню органічних кислот, розчиненню мінеральних фосфатів.

Процес підкислення вилугуваного ґрунту під цукровими буряками може набрати і негативного розмаху. Так, уже при повторному посіві цукрових буряків в наших польових дослідах на чорноземі вилуженому pH зменшувався на 0,5 одиниць, а на третій рік вирощування цієї культури – на одиницю – з 5,9 до 5,0–4,8 (Токмакова, 1989). Цьому сприяє і великий винос цукровими буряками CaO – 70–110 кг/га при врожаї 350–370 ц/га (Канівець, 1986), до 180 кг/га при врожаї в 500 ц/га (Петербургський, 1986).

Підкислення ґрунту під цукровими буряками є одним із чинників розвитку ґрунтостомлення. Тому вапнування вилугуваних і кислих ґрунтів є обов'язковим заходом. У наших польових дослідженнях на середньокислих провапнованих ґрунтах вапнування забезпечувало підвищення врожайності цукрових буряків сягало 20 %. Причому рослини у вапнованих варіантах виділялись насиченим зеленим забарвленням, як при внесенні азотних добрив.

Особливі надії в поліпшенні фосфорного живлення рослин покладають на розробку методів та засобів інокуляції рослин мікроорганізмами, що активно засвоюють фосфор із важкодоступних сполук.

Перспективним методом тут могла стати мікоризація рослин. Адже симбіотичні мікроорганізми порівняно легко приживлюються на рослинах, мають надійне живлення. Мікориза відіграє велику роль у живленні рослин фосфором. Та непереборною перешкодою для інокуляції рослин мікоризними грибами поки-що залишається неможливість виготовлення дешевого і «технологічного» біопрепарату. Мікоризний грибок зараз нагромаджують лише на живому корінні, що стримує виробництво препарату.

Відомою й актуальною є проблема створення ефективного фосфоробактерину – препарату, бактерії якого, приживлюючись у ризосфері, здійснювали б розклад ферментативним шляхом органофосфатів або розчиняли мінеральні фосфати. Оптимальним бактеріальним штамом для цього препарату мав би бути такий, що мобілізує фосфор з обох джерел.

Історія створення фосфоробактерину – «фосфорного бактеріального добрива» – бере початок ще з тридцятих років минулого століття. Першою широкомасштабною спробою реалізувати ідею інокуляції сільськогосподарських культур активними формами фосформобілізівних бактерій був препарат, розроблений Р. А. Менкіною

(1953, 1961). Його готували на основі запропонованого цією авторкою штаму спорової бактерії з групи амоніфікаторів – *Bacillus megatherium* var. *phosphaticum*. У лабораторних умовах штам активно розкладав орґанофосфати.

Фосфорбактерин Р. А. Менкіної, що в умовах мінімальних можливостей на той час вносити в ґуки, широко застосовувався на виробництві. Численні виробничі дослідження свідчили, що бактеризація в переважній більшості забезпечувала приріст урожаю в межах 10 %. Та фундаментальних досліджень, які б свідчили, що інокуляція дійсно поліпшує фосфорне живлення, так і не було проведено. Опоненти вважали, що діючим початком є біохімічні стимулятори росту. У недостатньо ясній ситуації препарат, як бактеріальне фосфорне добриво, зняли з виробництва. Із-за певних недоліків не знаходили широкого застосування до останніх років інші варіанти фосфорбактерину.

Криза з постачанням фосфорних добрив у наш час, їх мала доступність для збагачених господарств змушує повернутись до проблеми фосфорбактерину – дешевого засобу, тим більше, що такий препарат відповідає й ідеології екології – впровадженню в сільському господарстві засобів, альтернативних хімічним.

Для того, щоб бактеризація насіння сільськогосподарських культур стала надійним засобом щодо підвищення врожайності, необхідно вирішити не одне питання. Перш за все необхідно відселекціонувати штам, який би дійсно надійно збільшував в ґрунті кількість рухомого фосфору, допомігся, щоб штам приживався в ризосфері, адже як вільно існуючому (не симбіонту) йому випаде конкурувати з мільйонами клітин аборигенної мікрофлори і зайняти панівне становище, хоча б не стати чужаком у мікробній аборигенній асоціації. Клітини мають бути не вразливими до традиційних пестицидів, не втрачати з часом високої фізіологічної активності, знаходячись у відносно бідному на поживні речовини середовищі, яким є ґрунт. Багаторічне культивування бактерій на багатих лабораторних середовищах не залишається безслідним. Часом у таких умовах вони втрачають агрономічно цінні фізіологічні якості і їх необхідно відновлювати, регенерувати або замінити штам.

Штами мають бути невибагливими в застосуванні, не гинути на сухому насінні після його бактеризації.

Якщо бактеріальний препарат забезпечить рослини на одному гектарі хоча б 5–7 кг P_2O_5 (майже 20 % від потреб рослин), він заслуговуватиме на велику увагу і по праву буде називатися фосфорбактерином; 5–7 кг P_2O_5 – це 25–35 кг суперфосфату.

У зв'язку з вищевказаним дивними є заяви В. П. Патики про неймовірно великі можливості бактеріальних препаратів щодо економії ґуків (у п'ять разів більше). Дивним також є те, що вони проголошені без спроби наукового їх обґрунтування.

В останні роки нами розроблені три нових види фосфорбактерину – поліміксобактерин і альобактерин для цукрових буряків (Патенти України 20207 і 20206) і агробактерин для кукурудзи. Поліміксобактерин і альобактерин мають державну реєстрацію. Вони придатні для бактеризації насіння заздалегідь до посіву, резистентні до сучасних протруйників насіння, рекомендуються для бактеризації насіння на насінневих заводах одночасно з обробкою їх захисно-стимулюючими речовинами. Пробактеризоване в заводських умовах насіння забезпечує приріст урожаю на 8–12 % і підвищення цукристості коренеплодів на 0,2–0,3 %. Поліміксобактерину притаманні також антибіотичні властивості, інокульовані ним проростки, менше вражаються хворобами. Цей препарат ефективний також на соняшнику.

Здатність мобілізувати фосфор у ґрунті притаманна також консорції азотобактера (препарат БПА, призначений для поліпшення азотного живлення сільськогосподарських культур – а.с. СССР 1476831).

У цілому проблема створення бактеріальних препаратів-добрив потребує глибоких мікробіологічних, фізіологічних і біохімічних досліджень, які, на жаль, недостатньо проводяться із-за об'єктивних і суб'єктивних причин.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- А.с. 1476831 ССРСР.** Консорциум штаммов бактерий *Azotobacter chroococcum* и *Azotobacter vinelandii* для производства бактериального удобрения под кормовую свеклу и капусту / Ю. М. Мочалов, В. И. Канивец. – 3 с.
- Бровкина Е. А.** Известкование почв в районах свеклосеяния. – К.: Урожай, 1976. – 88 с.
- Гинзбург К. Е.** Фосфор основных типов почв СССР. – М.: Наука, 1981. – 244 с.
- Гуменюк Г. І.** Вапнування ґрунтів. – К.: Урожай, 1968. – 100 с.
- Илялетдинов А. Н.** Биологическая мобилизация минеральных соединений. – Алма-Ата: Наука, 1966. – 332 с.
- Канивец В. И.** Мобилизация фосфора микроорганизмами в черноземе выщелоченном под сахарной свеклой и влияние на этот процесс извести / В. И. Канивец, Л. Н. Токмакова // Бюл. ВНИИСХМ. – 1987. – № 47. – С. 32-35.
- Канівець В. І.** Життя ґрунту: 2-е доп. вид. – К.: Аграрна наука, 2000.
- Канівець В. І.** Вапнування кислих і вилугуваних ґрунтів – важливий фактор активізації в них мікрофлори і поліпшення фосфорного живлення буряка цукрового / В. І. Канівець, Л. М. Токмакова, В. М. Якименко // Вісник аграрної науки. – 2000. – № 6. – С. 10-13.
- Канівець В. І.** Мінералізація та гуміфікація рослинних решток і гною в чорноземі вилугуваному / В. І. Канівець, С. М. Черствий // Вісник аграрної науки. – 2001. – № 9. – С. 9-12.
- Менкина Р. А.** Роль *Bacillus megaterium var. phosphaticum* в питании растений // Микроорганизмы и эффективное плодородие почвы. Тр. Ин-та микробиологии. – 1961. – Вып. 11. – С. 238-245.
- Менкина Р. А.** Фосфорбактерин и его применение в сельском хозяйстве // Роль микроорганизмов в питании растений. – М.: Сельхозгиз, 1953. – С. 91-95.
- Носко Б. С.** Фосфатный режим ґрунтів і ефективність добрив. – К.: Урожай, 1990. – 224 с.
- Пат. 20206 Україна** А Штам бактерій *Vac. polytuxa* ВНДІСГМ В-324 Д для виробництва стимулятора росту цукрового буряка / В. І. Канівець, Л. М. Токмакова, Ю. М. Мелимука. – Опубл. 27.02.98 / Бюл. № 1. – 6 с.
- Пат. 20207 Україна** А Штам бактерій *Achr. album* ВНДІСГМ В-322 Д для виготовлення препарату який підвищує цукристість і урожай цукрового буряка / В. І. Канівець, Л. М. Токмакова, Ю. М. Мелимука. – Опубл. 27.02.98 / Бюл. № 1. – 6 с.
- Петербургский А. В.** Калий и сахарная свекла // Агрохимия. – 1986. – № 12. – С. 119-121.
- Токмакова Л. Н.** Почвоутомление к сахарной свекле и приемы борьбы с ним // Использование достижений микробиологической науки в повышении эффективности земледелия. – К., 1989. – С. 40-45.
- Янишевский П. Ф.** Химическая оценка фосфатного состояния почв // Агрохимия. – № 4. – С. 95-116.

Надійшла до редколегії 16.09.06