



# РІДКІ КОМПЛЕКСНІ ДОБРИВА ПЕРЕВАГИ ВИКОРИСТАННЯ ПОРІВНЯНО ІЗ ТВЕРДИМИ ТУКАМИ

*С. М. Крамарьов, д-р с.-г. наук, професор, зав. кафедри агрохімії, Л. П. Бандура, канд. с.-г. наук, доцент, Дніпровський державний аграрно-економічний університет; О. С. Крамарьов, наук. співр., Інститут зернових культур НААН України*

## ФОСФОР У ЖИТТІ РОСЛИН

На важливість рухомих сполук фосфору в мінеральному живленні рослин вперше звернув увагу вчений Дендональд ще у 1795 році. Відтоді цьому елементу мінерального живлення приділяється належна увага. Це пов'язано з тим, що фосфор в житті рослин відіграє дуже важливу роль, оскільки є одним із основних компонентів у складі ключових молекул: нуклеїнових кислот, фосфоліпідів, фосфопротеїдів, фітину, цукрофосфатів, АТФ та інших. Переважна частина фосфору міститься у репродуктивних і молодих органах рослин, де інтенсивно відбуваються синтетичні процеси. Оптимальне

фосфорне забезпечення сприяє добрій перезимівлі озимих завдяки кращому синтезу вуглеводів. Фосфор пов'язаний з усіма системами використання енергії в живій клітині й бере активну участь у регулюванні та контролі головних ферментативних реакцій, які проходять за його участю в рослинному організмі. Особливо чутливі до нестачі фосфору молоді рослини. Нині вже переконливо доведено, що життя без цього елемента неможливе.

Щоб підкреслити надзвичайно важливу роль фосфору в механізмах біохімічних процесів, що відбуваються в рослинах, зарубіжні вчені країн Західної Європи, розповідаючи у своїх виступах про роль фос-

фору в житті рослин, часто дають таке визначення: «Якщо вуглець є королем живої речовини, то фосфор відіграє роль прем'єр-міністра, без якого король безсильний», а академік А. Е. Ферсман назвав його «елементом життя і думки», і ці слова не є перебільшенням.

З огляду на сказане вище можна стверджувати, що без участі фосфору в рослинному організмі не відбудеться жодна біохімічна реакція, адже для неї потрібна енергія, яку клітинам рослин надають лише молекули АТФ і НАДФ, що містять у своєму складі фосфор. Безумовно, для того, щоб усі ці біохімічні реакції проходили вчасно й активно, потрібно забезпечити рослини достатньою

кількістю водорозчинних сполук фосфору, особливо у критичні фази їх розвитку.

## ПРОБЛЕМА ДОСТУПНОСТІ ФОСФОРУ

Як відомо, основним джерелом фосфору для рослин є ґрунт, в якому водорозчинні сполуки фосфору містяться у вигляді одно- і дво-валентних аніонів ортофосфорної кислоти. Втім, зазвичай рухомих сполук фосфору в ґрунтового розчині недостатньо, що призводить до виникнення проблеми з його надходженням до рослин. Якщо мінеральні форми азоту ми можемо отримувати з різних джерел (наприклад, використовуючи атмосферні запаси молекулярного азоту, синтезувати з них аміак, з якого потім виготовляється великий асортимент азотних добрив; провести збагачення ґрунту мінеральними формами азоту навіть без внесення добрив – за рахунок азотофіксуючих бульбочкових бактерій, витративши на це незначні кошти для проведення передпосівної інокуляції насіння), то в випадку з фосфором таких можливостей немає. Поповнити його ґрунтові запаси можливо тільки завдяки внесенню фосфоровмісних добрив, у складі яких цей елемент мінерального живлення міститься у вигляді аніону  $H_2PO_4^-$ .

На сьогодні дефіцит у ґрунтах рухомих форм фосфору є глобальною проблемою в землеробстві нашої держави. Це стосується навіть таких багатих на поживні речовини ґрунтів як чорноземи.

Справа в тому, що у природних умовах фосфор в основному перебуває в нерозчинній формі у складі фосфоровмісних фосфатних сполук з  $Mg^{2+}$ ,  $Fe^{2+}$ ,  $Al^{3+}$ ,  $Mn^{2+}$  та разом з іншими катіонами, значна частина яких міститься у поглинутому стані на поверхні ґрунтових колоїдів у твердій фазі ґрунту. Характерною особливістю фосфорних ґрунтових сполук є низька їх розчинність і дисоціація на іони, до того ж вони легко фіксуються твердою фазою ґрунту, а їх міграція у ґрунтовому профілі дуже обмежена і впродовж року не перевищує 1 см. Тому спостерігається великий розрив між відносно високим вмістом в ґрунті валових форм і водночас

низькою концентрацією рухомих форм, вміст яких зазвичай не перевищує 3% від валових.

Варто зазначити, що вільного фосфору в природі не зафіксовано з огляду на його високу хімічну активність. Він завжди міститься тільки у вигляді різних сполук – в основному солей ортофосфорної кислоти (фосфатів). Ортофосфорна кислота утворюється з тих гірських порід, з яких відбулось геологічне утворення ґрунтів. Більшість гірських кристалічних порід мають у своєму складі від 0,1 до 1% валових форм  $P_2O_5$ , які найчастіше поширені у вигляді кристалів апатиту та фосфориту. При цьому найбільш давні кристалічні фосфоровмісні гірські породи (граніти, сиєніти, гнейси) досить бідні на фосфорну кислоту, в той час як породи вулканічного походження (лави, трахіти, базальти) містять у своєму складі 0,5% і більше  $P_2O_5$ .

Тож залежно від того, які гірські породи дали початок утворенню тих чи інших ґрунтів, вміст у них солей фосфорної кислоти суттєво варіюється. Так, відомі своєю родючістю схили вулканів, сформовані на лавах, характеризуються високим вмістом фосфору й калію, але у всіх інших ґрунтах вміст  $P_2O_5$  невисокий і варіює в межах від 0,05% до 0,1%.

При цьому спостерігається великий дисбаланс (парадокс) фосфору.

Так, при значних запасах в орному шарі валових форм фосфору, що можуть сягати 6 тонн (табл. 1), доступних буде, навпаки, обмаль – у найкращому випадку їх кількість може становити не більше ніж 12 кг/га.

Запаси в метровому шарі чорнозему основних поживних елементів такі (т/га): валового азоту 20–36, фосфору 15, калію 230–270, тобто вміст фосфору порівняно з азотом і калієм значно менший.

До того ж запаси фосфору залежать від гранулометричного складу ґрунту і вмісту в ньому гумусу. Основна кількість валового фосфору зосереджена в шарі ґрунту 0–25 см, що пов'язано з діяльністю кореневих систем рослин. Рухомих форм, які безпосередньо можуть бути використані рослинами з ґрунтового розчину, дуже мало, про що свідчать дані, які показують ступінь рухомості фосфатів, визначену за методом Карпінського-Зам'ятиної, наведену в табл. 2. Також потрібно пам'ятати, що валові та рухомі форми фосфору у ґрунті розподіляються за генетичними горизонтами нерівномірно.

У верхніх шарах ґрунту валовий вміст  $P_2O_5$  зазвичай більший, ніж у глибших горизонтах, що пов'язано з діяльністю рослин, які своїм корінням отримують поживні речовини з нижніх горизонтів і збагачують

Таблиця 1. Умовна характеристика ґрунтів за вмістом у них валових форм фосфору

Ґрунти	Вміст валових форм фосфору, %	Валовий запас фосфору, кг/га
Дуже бідні	<0,01	<300
Бідні	0,01–0,05	300–1500
Середні	0,05–0,1	1500–3000
Багаті	0,1–0,2	3000–6000

Таблиця 2. Порівняльна оцінка вмісту в чорноземах звичайних валових і рухомих форм фосфору

Вміст $P_2O_5$ :						
Валовий, мг/кг	За Чириковим, мг/кг	За Карпінським-Зам'ятиною, мг/л	За Chang Jackson			
			P пухкий, мг/кг	Al-P, мг/кг	Fe-P, мг/кг	Ca-P, мг/кг
1060	107	0,06	4,7	55	78	245
1230	89	0,03	5,0	37	8	250
1330	103	0,05	2,3	42	49	170
1370	115	0,06	3,0	64	12	276
–	126	0,05	5,2	31	72	304
1430	91	0,05	5,5	30	73	358
1550	113	0,06	6,0	62	106	367
–	106	0,04	2,8	50	68	221



Рис. 1. Мобілізація рухомих фосфатів фосфатомобілізувальними мікроорганізмами

Таблиця 3. Загальна зміна фосфорної кислоти у ґрунті за горизонтами

Чорнозем		Підзолистий піщаний ґрунт	
Глибина шару, см	$\text{P}_2\text{O}_5$ , %	Глибина шару, см	$\text{P}_2\text{O}_5$ , %
1–16	0,15	0–5	0,12
14–28	0,16	25–30	0,06
38–48	0,11	30–100	0,03
94–104	0,08	100–150	0,02

ним верхні шари у процесі своєї життєдіяльності.

Поряд із мінеральними сполуками ґрунтів фосфор міститься і в органічній речовині. Насамперед йдеться про ту частину фосфору, що потрапила у ґрунт разом із рослинними рештками, які переробляються мікроорганізмами (тіла бактерій містять у своєму складі багато фосфору) (рис. 1). Але чисельність у ґрунті фосфатомобілізувальних мікроорганізмів з кожним роком зменшується, що пов'язано з їх знищенням внесеними в ґрунт різноманітними пестицидами та забрудненням ґрунту важкими металами і радіонуклідами. На чисельність цих мікроорганізмів згубно діє і посуха. Тому попо-

внення рухомих форм фосфору з цього джерела відбувається дуже повільно.

В результаті зменшується кількість виділених у ґрунт фосфатомобілізувальними мікроорганізмами органічних кислот і ферментів, що призводить до зниження інтенсивності розчинення мінеральних фосфатовмісних сполук ґрунту.

Кількість фосфору в органічних сполуках становить досить значну частку від загальної кількості, особливо в ґрунтах із високим вмістом органічної речовини, що справедливо для чорноземів. Приблизний відсотковий розподіл фосфорної кислоти в чорноземах і підзолистому піщаному ґрунті представлено в табл. 3.

Беручи до уваги той факт, що водорозчинні солі фосфорної кислоти зазвичай присутні у ґрунтах в дуже невеликих кількостях (у водній витяжці – міліграми або навіть частки міліграма на 1 кг ґрунту), це призводить до конкурентної боротьби між рослинами за доступні сполуки фосфору, що досить часто стає лімітуючим чинником у мінеральному живленні сільськогосподарських культур. До того ж рослини погано засвоюють фосфор із холодного ґрунту. Зазвичай вони починають його засвоювати, коли ґрунт прогрівається до  $+12^\circ\text{C}$ , тому, особливо рано навесні, рослини часто демонструють потребу в фосфорі своїм антоціановим забарвленням (рис. 2).

Виніс фосфору врожаєм досить часто становить лише 30–40 кг/га, але рідко перевищує 100 кг/га (при відносно високих врожаях), однак і цю кількість фосфору взяти рослинам із ґрунту не завжди вдається. Тому, щоб забезпечити рослини в достатній кількості фосфором, застосовується додаткове внесення фосфорних добрив.

Навіть при високому загальному вмісті фосфору в орному шарі ґрунту – 5–6 тонн внесення невеликих доз фосфорних добрив (наприклад, у дозі 50–60 кг  $\text{P}_2\text{O}_5$ ) суттєво підвищує врожайність зернових культур, що свідчить про дефіцит у ґрунті рухомих форм цього елемента. Особливо різко зменшується вміст в ґрунті рухомих форм фосфору в посушливих умовах. Відповідно всім ґрунтам, у тому числі й таким родючим, як чорноземи, потрібен фосфор для підвищення врожайів сільськогосподарських культур.

Важливість фосфору для рослин полягає ще й в тому, що він бере активну участь у формуванні коре-



Рис. 2. Фосфорне голодування рослин ріпаку озимого рано навесні

невої системи, а це досить важливо на ранніх етапах онтогенезу рослини і в умовах посухи. Адже завдяки фосфору коріння рослин здатне проникати у глибокі, більш зволожені шари ґрунту і забезпечувати їх поживними речовинами навіть за несприятливих погодних умов. Тому кожному агроному потрібно дбати про належне фосфорне забезпечення рослин. З цією метою при сівбі насіння в ґрунт обов'язково вносять фосфоровмісне добриво. Але стартове добриво не забезпечує потребу рослин у фосфорі повною мірою, тому його необхідно поєднувати із внесенням фосфорних добрив під основний обробіток ґрунту.

### ПОКРАЩИТИ ФОСФОРНЕ ЖИВЛЕННЯ

З огляду на одну із ключових ролей елемента в розвитку рослин, щорічно перед аграріями постають два вкрай важливих питання: 1) в якій формі вносити фосфор; 2) як забезпечити пролонгованість дії фосфоровмісних добрив і уникнути непродуктивних втрат (з метою підвищення вкрай низького

коефіцієнту використання, який навіть за локального внесення цих туків дуже рідко перевищує позначку 30%).

Для того щоб дати відповідь на ці актуальні питання, насамперед потрібно розуміти, що основною сировиною для створення всіх без винятку видів фосфоровмісних добрив є гірські мінерали (фосфорит і апатит), з яких формують за відповідними технологіями кристалічний фосфоровмісний порошок. Для цього фосфоритний і апатитний фосфат (слабодоступний рослинам аніон  $PO_4^{3-}$ ) переводять різними шляхами (за допомогою кислот або термічним способом) у доступний для них дигідрофосфат аніон  $H_2PO_4^-$ .

Рослина засвоює фосфор виключно в ортоформі. Іони ортофосфорної кислоти – єдине з'єднання фосфору, яке можуть поглинати рослини. При цьому  $PO_4^{3-}$  практично не поглинається кореневими системами рослин,  $HPO_4^{2-}$  поглинається більшою мірою лише на кислих ґрунтах (підзолистих, дерново-підзолистих, сірих лісових), а найбільш доступним для рослин є аніон  $H_2PO_4^-$ .

Якщо з порошку зробити гранулу, то засвоєння фосфору рослиною буде відбуватись пролонговано завдяки поступовому розчиненню в ґрунті гранули і перетворенню солей в ортофосфорну кислоту, але це відбувається за умови, якщо гранула потрапила в вологий ґрунт. Відомо також, що ортофосфорна кислота після внесення в ґрунт може бути доступною для рослини досить невеликий проміжок часу (до 2 тижнів), а далі хімічно зв'язується карбонатними сполуками Ca, Al та Fe з утворенням при цьому важкодоступних для рослин сполук.

Сьогодні на вітчизняному і зарубіжному ринках найбільш поширеними фосфоровмісними твердими добривами є простий і подвійний суперфосфати, амофос, діамфос, нітрофоска, суперфосфат, нітрофос, метафосфат амонію, поліфосфат амонію, метафосфат кальцію та ін. Всі ці добрива різняться між собою вмістом діючої речовини, рН та іншими характеристиками, але більшість із них має спільну основу, що так чи інакше формує їхню природу, – вони є, в підсумку,

## РЕЗЕРВУАРНІ ПАРКИ І ЄМНОСТІ для зберігання і транспортування КАС, води і ПММ



[www.gidrobak.com](http://www.gidrobak.com)  
(096) 366-83-31, (095) 470-58-68

**GIDROBAK**

солями кальцію й амонію ортофосфорної кислоти і містять в своєму складі аніон  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ . А це означає, що фосфор в них міститься виключно в розчинній ортоформі, яка представлена у вигляді солей амонійфосфату ( $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ ; MAP) та діамонійфосфату (DAP). Ці речовини досить добре розчиняються у воді й дисоціюють в ґрунтовому розчині на іони  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ , але при потрапінні в ґрунт швидко починають зв'язуватись ґрунтовими сполуками й переходять в недоступну для рослин форму.

Тож виробники прагнуть забезпечити пролонгованість дії різними способами. Для цього вони навмисно вносять в гранулу різні баластові речовини, покривають поверхню гранул плівкою та використовують інші методи, щоб таким чином забезпечити поступове розчинення гранули, продовжити існування в ній аніону  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ , тим самим підвищуючи ефективність цих добрив.

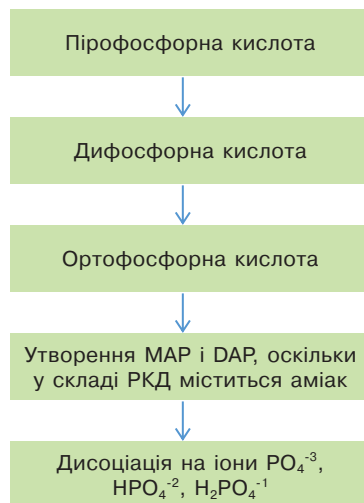
Але нерідко, потрапляючи у ґрунт під час екстремально посушливих погодних умов, такі добрива стають недоступними, перебуваючи тривалий час у нерозчиненому стані. Ці обставини змушують агрономів шукати альтернативу твердим гранульованим фосфоровмісним добривам. Тому в останні роки в виробничих умовах набувають поширення рідкі комплексні добрива (РКД) різних марок. Наприклад, рідке комплексне добриво марки 10:34 містить в своєму складі 10% азоту в амонійній формі та 34% загального фосфору  $\text{P}_2\text{O}_5$ , представленого в вигляді орто- та поліформ.

Що ж забезпечує пролонгованість дії РКД? Відповідь на це питання слід шукати у принципівній схемі його отримання, яка полягає в нейтралізації аміаком ортофосфорної кислоти (екстракційної або термічної) до рН близько 6,5. Оскільки у процесі виготовлення РКД використовується ортофосфорна кислота, через яку пропускають аміак ( $\text{NH}_3$ ) та нагрівають до  $200^\circ\text{C}$ , відбувається хімічний синтез нових фосфоровмісних сполук. Так, в баковій суміші отримуємо ортоформу та поліформу. Ортоформа представлена у вигляді амонійфосфату (MAP) та діамонійфосфату (DAP), а поліформа – сукупністю різних поліфосфорних кислот (дифосфорна кислота ( $\text{H}_4\text{P}_2\text{O}_7$ ), пірофосфорна

кислота ( $\text{H}_4\text{P}_2\text{O}_7$ ), триполіфосфорна ( $\text{H}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ ) та ін.) Якщо з отриманням ортоформи більш-менш зрозуміло, то з поліформою, наявність якої в складі РКД, власне, й забезпечує пролонгованість дії, трішки складніше.

Поліфосфорні кислоти отримують при нагріванні в вакуумі ортофосфорної кислоти. При цьому відбувається конденсація, тобто зв'язування двох і більше молекул ортофосфорної кислоти в одну. Процес супроводжується виділенням молекул води. Таким чином, спостерігається об'єднання мономерних ортофосфатів у полімерний ланцюг. Термін «поліфосфати» використовується для позначення полімерних з'єднань з різною довжиною ланцюга.

Коли кислота потрапляє у ґрунт, відбувається зворотній процес, який вже буде проходити в іншому напрямку:



На весь цей зворотній процес потрібен час (до 6 тижнів), який і забезпечить пролонгованість дії. Причому для проходження зворотного процесу продуктивної вологи потрібно значно менше, ніж для розчинення гранул твердих фосфоровмісних добрив.

У зв'язку з цим порівняно із твердими тукоsumішами РКД має низку конкретних переваг, яку забезпечують його вищу економічну ефективність:

- однорідність вмісту діючих речовин надає широкі можливості для застосування РКД в точному землеробстві;
- відсутність у складі вільного аміаку дає змогу здійснювати транспортування, зберігання і

внесення РКД без додаткових заходів безпеки;

- поліфосфатні РКД мають пролонговану дію і не схильні до переходу в недоступну для рослин форму;

- мінімізуються втрати азоту (до 1%) при внесенні добрив;

- можуть застосовуватися в одній баковій суміші з мікродобривами, пестицидами і регуляторами росту;

- знижуються затрати на зберігання та застосування (на 20–30%) порівняно з твердими комплексними добривами;

- можуть дороблятися рідкими азотними добривами (КАС) залежно від потреби в азоті й фази розвитку рослин.

З вище наведеного видно, що виробництво РКД пов'язане із суттєвими енергетичними витратами, оскільки технологія їх виготовлення передбачає проведення нагрівання ортофосфорної кислоти до високих температур. Тоді постає слушне питання: а що ж буде відбуватись у ґрунті, якщо цих витрат уникнути і просто розчинити в воді водорозчинні фосфорні добрива? Якщо розчинити в воді, наприклад, той же амофос, нітроамофос, подвійний суперфосфат і внести отриманий розчин у ґрунт, тоді в ґрунтовому розчині миттєво відбудеться хімічна реакція взаємодії аніона ортофосфорної кислоти з катіонами дво- і тривалентних металів ґрунту, що призведе до хімічного зв'язування фосфору в нерозчинну сполуку.

Відтак із твердого добрива, яке було кращим, ми свідомо зробили гірше, розчинивши його у воді. Чому так сталося? Цікаве запитання, розгляд якого й буде темою нашої подальшої розмови з читачами.

## ВИСНОВКИ

Підсумовуючи все сказане вище, можна зробити висновок, що для підвищення коефіцієнта використання фосфору із внесених у ґрунт фосфоровмісних добрив потрібно переходити на рідкі комплексні добрива, виготовлені на основі водорозчинних солей поліфосфорних кислот. Такі добрива мають низку переваг по відношенню до твердих туків, отриманих на основі ортофосфорної кислоти. Особливо чітко це проявляється в посушливих умовах. 🌱