



# Рідкі комплексні добрива: переваги використання

Фосфор у житті рослин відіграє дуже важливу роль, оскільки є одним із основних компонентів у складі ключових молекул: нуклеїнових кислот, фосfolіпідів, АТФ та інших.

Він зв'язаний із усіма системами використання енергії в живій клітині.

Також бере активну участь у регулюванні та контролі головних ферментативних реакцій, які відбуваються з його участю в рослинному організмі.

**Б**ез фосфору в рослинному організмі не відбудеться жодна біохімічна реакція, бо для її перебігу потрібна енергія, яку надають рослинним клітинам лише молекули АТФ і НАДФ, що містять у своєму складі фосфор. Безумовно, для того, щоб усі ці біохімічні реакції перебігали вчасно й активно, потрібно забезпечити культуру в достатній кількості водорозчинними сполуками фосфору, особливо в критичні фази розвитку рослин. Основним джерелом фосфору для рослинного організму є ґрунт, у якому сполуки фосфору містяться у вигляді одно- й двовалентних аніонів ортофосфорної кислоти.

Але в ґрунтового розчині таких рухомих сполук фосфору міститься не завжди в достатній кількості, через що виникають проблеми з його надходженням для рослин.

Азот як елемент мінерального живлення ми можемо легко залучати в господарський колообіг, отримавши його мінеральні форми з різних джерел, зокрема й шляхом використання значних атмосферних запасів молекулярного азоту, синтезувавши з них аміак, із якого потім виготовити великий асортимент азотних добрив. Окрім того, можна провести збагачення ґрунту мінеральними формами азоту навіть без внесення добрив, найдешевшим біологічним шляхом — завдяки азотфіксувальним бульбочковим бактеріям. Адже проведення передвисівної інокуляції насіння бактеріальними добривами потребує зовсім невеликих коштів.

Проте з фосфором таких можливостей немає. Поповнити його ґрунтові запаси можливо лише внесенням фосфоровмісних добрив, у складі яких цей елемент мі-



нерального живлення міститься тільки у вигляді аніону  $H_2PO_4^-$ . Справа в тому, що в природних умовах фосфор переважно представлений у нерозчинній формі, в міцно зв'язаному вигляді, в складі фосфоровмісних фосфатних сполук із  $Mg^{2+}$ ,  $Fe^{2+}$ ,  $Al^{3+}$ ,  $Mn^{2+}$  та з іншими катіонами, значна частина яких перебуває в поглинутому стані на поверхні ґрунтових колоїдів у твердій фазі ґрунту. Характерною особливістю фосфорних ґрунтових сполук є їхня низька розчинність і дисоціація на іони. До того ж вони легко фіксуються твердою фазою ґрунту, а їхня міграція в ґрунтового профілі дуже обмежена й упродовж року не перевищує 1 см. Тому спостерігається великий розрив між відносно високим вмістом у ґрунті валових форм і одночасно низькою концентрацією рухомих форм. Уміст останніх не перевищує 3% валових. Тому наявний нині дефіцит у ґрунтах рухомих форм фосфору — велика глобальна проблема його нестачі в українському землеробстві, яка потребує негайного вирішення. Навіть у таких багатих на поживні речовини ґрунтах, як чорноземи, ця проблема також є й, на жаль, досі не вирішена.

Слід також відзначити, що у зв'язку з високою хімічною активністю в природі вільного фосфору ніде не знайдено. Він завжди є тільки у вигляді різних сполук фосфору — в основному, солей ортофосфорної кислоти (фосфатів). Ортофосфорна кислота ґрунту утворюється з тих гірських порід, із яких відбулось геологічне утворення ґрунтів. Більшість гірських кристалічних порід мають у своєму складі від 0,1 до 1,0% валових форм  $P_2O_5$ , які найчастіше поширені у вигляді кристалів апатиту та фосфориту.



Фосфор що потрапила в ґрунт разом із рослинними рештками переробляється ґрунтовими мікроорганізмами



Запас фосфору залежить від гранулометричного складу ґрунту

Тому, залежно від того, які гірські породи дали початок утворенню тих чи інших ґрунтів, уміст у них солей фосфорної кислоти сильно варіює. Так, відомі своєю високою родючістю й розораністю схили вулканів сформовані на лавах, яким притаманний високий уміст фосфору й калію. Але, на превеликий жаль, у всіх інших ґрунтах вміст  $P_2O_5$  невисокий і варіює

ґрунти за родючістю	Уміст $P_2O_5$ , %	Валовий запас $P_2O_5$ , 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 1. Умовна характеристика ґрунтів за вмістом ортофосфорної кислоти

зазвичай у межах від 0,05% до 0,1%. Тому за загальним запасом фосфору в ґрунті їх можна умовно характеризувати за приблизним зіставленням (табл. 1).

Водночас спостерігається великий дисбаланс фосфору, адже за значних запасів у орному шарі валових форм фосфору, які можуть сягати аж до 6 т (табл. 1), доступних буде обмаль. У кращому випадку і за найкращих оптимальних умов їхня кількість може сягати не більше як 12 кг/га. Так, в орному шарі чорноземів звичайних уміст валового фосфору становить 0,12–0,16%, а його валові запаси порівняно невеликі й варіюють у межах 5,4–5,5 т/га, а в метровому шарі — 17,5–18,0 т/га, що значно нижче від запасів у цих ґрунтах азоту й калію. Запаси в метровому шарі чорнозему основних поживних елементів такі: валового азоту — 20–36 т/га, **фосфору — 15**, калію — 230–270 т/га. Тобто вміст фосфору, порівняно з азотом і калієм, значно менший. Менший він і порівняно з іншими макроелементами мінерального живлення.

До того ж запаси фосфору залежать від гранулометричного складу ґрунту та 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.

У верхніх шарах ґрунту валовий уміст  $P_2O_5$  зазвичай більший, ніж у глибших горизонтах, що зазвичай пов'язано з діяльністю рослин. Останні своїм корінням із глибших горизонтів отримують поживні речовини й збагачують ним верхні шари ґрунту в процесі своєї діяльності.



Якщо динаміка азотних сполук здебільшого залежить від біологічних факторів і значна частина азотних сполук закріплена органічними сполуками, то сполуки фосфорної кислоти містяться у складі різних солей, що фактично роблять фосфор недоступним для рослин.

### Окрім вмісту в мінеральних складових ґрунтів, фосфор є також і в органічній речовині

Передусім маємо на увазі ту частину фосфору, що потрапила в ґрунт разом із рослинними рештками, які переробляються ґрунтовими мікроорганізмами (рис. 1). Але чисельність у ґрунті фосфатомобілізуювальних мікроорганізмів із кожним роком зменшується, що пов'язано з їхнім знищенням внесеними під посіви різноманітними пестицидами та забрудненням ґрунту різноманітними важкими металами й радіонуклідами.

На чисельність цих мікроорганізмів згубно діє й посуха. Тому поповнення рухомих форм фосфору з цього джерела відбувається дуже повільно.

Відповідно зменшується й кількість виділених у ґрунт фосфатомобілізуювальними мікроорганізмами органічних кислот і

## Механізми дії фосфатомобілізуювальних мікроорганізмів

- **Продуктування органічних кислот (молочна, оцтова, лимонна, янтарна, масляна)**
- **Продуктування ферментів (фосфатаз, фітази, нуклеаз, фосфо-моноестераз)**

Рис.1. Мобілізація рухомих фосфатів із органічних фосфатних сполук фосфатомобілізуювальними мікроорганізмами

ферментів, у результаті чого знижується інтенсивність розчинення мінеральних фосфатовмісних сполук ґрунту (рис. 2).

Кількість фосфору в органічних сполуках становить доволі значну частку від загальної кількості, особливо в ґрунтах із високим умістом органічної речовини, що справедливо для чорноземів. Дані про приблизне відсоткове розподілення фосфорної кислоти в чорноземах і підзолистому піщаному ґрунті подано в табл. 2.

Чорнозем		Підзолистий піщаний ґрунт	
Глибина шару, см	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , %	Глибина шару, см	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , %
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

Таблиця 2. Загальна зміна фосфорної кислоти в ґрунті за горизонтами

Якщо врахувати той факт, що водорозчинні солі фосфорної кислоти наявні в ґрунтах зазвичай у дуже невеликих кількостях (у водній витяжці – це міліграми або навіть частки міліграма на 1 кг ґрунту), то виникає досить велика конкурентна боротьба між рослинами за водорозчинні сполуки фосфору. Це дуже часто стає лімітуючим фактором у мінеральному живленні агрокультур. До того ж рослини погано засвоюють фосфор із холодного, непрогрітого сонцем, ґрунту, особливо рано навесні. Зазвичай рослина розпочинає його засвоювати з ґрунту, коли той прогріється до 12°C. Тому, особливо рано навесні, рослини сигналізують про свою потребу у фосфорі антоціановим забарвленням листя (рис. 3). Нині під час сівби зазвичай вносять фосфоровмісні добрива, які дають змогу на початку онтогенезу ліквідувати наявний дефіцит рухомих форм фосфору. З цієї метою використовують легкорозчинні фосфоровмісні без-



Ознаки фосфорного голодування на листках озимого ріпаку рано весною, коли ґрунт ще холодний



Рис. 3. Фосфорне голодування рослин ріпаку озимого рано навесні

Фосфор бере активну участь у формуванні кореневої системи

баластні добрива, які здатні легко засвоюватись рослиною.

Важливість фосфору для рослин полягає ще й у тому, що він бере активну участь у формуванні кореневої системи, а це досить важливо на ранніх етапах онтогенезу рослини і в умовах посухи. Адже фосфор допомагає корінню рослин легше проникати в глибші, більш зволожені, шари ґрунту та забезпечувати їх поживними речовинами навіть за несприятливих погодних умов. Тому прищеплені внесення



Рослини погано засвоюють фосфор із холодного, непрогрітого сонцем ґрунту

фосфорних добрив дозою P<sub>10</sub> стало вже аксіомою й широко використовується у виробничих умовах на великих площах. Проте стартове добриво не забезпечує потребу рослин у фосфорі повною мірою, тому його застосування слід поєднувати з основним внесенням фосфорних добрив під основний обробіток ґрунту.

Внесення фосфору з урожаєм досить часто становить лише 30–40 кг/га та рідко перевищує 100 кг/га (за відносно високої врожайності). Але й цю кількість фосфору взяти рослинам з ґрунту з посівних площ доволі складно. Адже рослини культури своїми кореневими виділеннями здатні розчиняти ґрунтові фосфорити та апатити й сильно виснажують ґрунтові фосфорні запаси, оскільки з насінням за межі поля виноситься велика кількість цього поживного елемента.

Попри те, що за високого загального вмісту фосфору, який міститься в орному шарі ґрунту в кількості 5–6 т P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, внесення навіть невеликих доз фосфорних добрив (наприклад, у дозі 50–60 кг P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) суттєво підвищує врожайність зернових культур, і це свідчить про дефіцит у ґрунті рухомих форм цього елемента мінерального живлення рослин. Цей факт можна науково пояснити тим, що в ґрунтах дуже малий уміст доступних для рослин форм фосфору (десяті долі відсотків від його валового запасу). Особливо різко зменшується вміст у ґрунті рухомих форм фосфору в посушливих умовах. Тому всім ґрунтам, і навіть таким родючим, як чорноземи, потрібен фосфор для підвищення врожаїв сільськогосподарських культур.

Беззаперечним є той факт, що оптимальне фосфорне живлення потрібне рослинам упродовж усього їхнього органогенезу, оскільки цей елемент міститься у всіх їхніх органах (в стеблах, листках та інших вегетативних частинах рослинного організму). Але

особливо високий його вміст у зерні, яке вивозять із поля як цільовий урожай, а отже, відбувається збіднення фосфорних запасів і виснаження ґрунту.

Складність проблеми фосфорного живлення рослин загострюється ще й тим, що доступного фосфору в ґрунті в достатній для них кількості немає та й не може бути. Оскільки основна частина фосфору, що потрапляє в ґрунт, зв'язується карбонатними сполуками, а на кислих ґрунтах – переважно сполуками Al і Fe – в дуже слабкорозчинні фосфати. Тому їм потрібно допомогти шляхом внесення в ґрунт фосфоровмісних добрив.

У зв'язку з цим щороку перед аграріями постають два вкрай важливі запитання: в якій формі вносити фосфор та як забезпечити пролонгованість дії фосфоровмісних добрив і вберегти фосфор від непродуктивних втрат? У який спосіб підвищити вкрай низький коефіцієнт використання фосфору, що навіть за локального внесення цих туків дуже рідко перевищує позначку 30 %?

Щоб знайти відповідь на ці актуальні питання, передусім потрібно добре розуміти, що основною сировиною для створення всіх без винятку видів фосфоровмісних добрив є гірські мінерали (фосфорит і апатит). З останніх за відповідними технологіями формують кристалічний фосфоровмісний порошок, який складається з водорозчинних сполук (солей амонію або калію ортофосфорної кислоти). Для цього фосфоритний і апатитний фосфат із слабодоступним рослинам аніоном PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> переводять різними шляхами, за допомогою кислот або термічним способом, у доступний для них дигідрофосфат аніон H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup>.

Рослина засвоює фосфор тільки в ортоформі, точніше, за переходу в дисоційовані іони ортофосфорної кислоти.

Іони ортофосфорної кислоти – єдина сполука фосфору, що біологічно здатна поглинатися рослинами.

Водночас PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> практично не поглинається кореневими системами рослин, HPO<sub>4</sub><sup>2-</sup> – поглинається більшою мірою лише на кислих ґрунтах (підзолистих, дерново-підзолистих, сірих лісових), а найдоступнішим для рослин є аніон H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup>.

Якщо з порошку зробити гранулу, то засвоєння фосфору рослиною відбувати-





Фосфоровмісні тверді добрива різняться між собою вмістом діючої речовини

меться пролонговано – завдяки поступовому розчиненню в ґрунті гранули й перетворенню солей на ортофосфорну кислоту. Але це відбувається за умови, якщо гранула потрапила у вологий ґрунт. Також відомо, що ортофосфорна кислота після внесення в ґрунт може бути доступна рослині досить невеликий проміжок часу (лише до двох тижнів). Надалі вона хімічно зв'язується, як зазначалося вище, карбонатними сполуками Ca, Al і Fe з утворенням важкодоступних для рослин сполук.

Сьогодні на вітчизняному та зарубіжному ринках найпоширенішими фосфоровмісними твердими добривами є простий і подвійний суперфосфати, амофос, діамофос, нітрофоска, суперфосфат, нітрофос, метафосфат амонію, поліфосфат амонію, метафосфат кальцію тощо. Всі ці добрива, ясна річ, різняться між собою вмістом діючої речовини, рН та іншими характеристиками. Але більшість із них мають загальну основу, що так чи інакше формує їхню природу – вони є, в кінцевому результаті, солями кальцію та амонію ортофосфорної кислоти й містять у своєму складі аніон  $H_2PO_4^-$ . А це означає, що фосфор у них – тільки в розчинній ортоформі. Ортоформа представлена у вигляді солей амонійфосфату ( $NH_4H_2PO_4$ ; MAP) та діамонійфосфату (ДАФ). Ці речовини досить непогано розчиняються у воді й дуже добре дисоціюють у ґрунтового розчині на іони  $NH_4^+$ ,  $PO_4^{3-}$ ,  $HPO_4^{2-}$ ,  $H_2PO_4^-$ . Проте за потрапляння в ґрунтовий розчин вони швидко розпочинають зв'язуватись ґрунтовими сполуками й переходять у недоступну для рослин форму.

Саме тому виробники добрив прагнуть забезпечити пролонговану дію різними способами. Для цього вони навмисно вносять у гранулу різні баластові речовини, покривають поверхню гранул плівкою та використовують інші методи, намагаючись таким чином забезпечити поступове розчинення гранули, продовжити існування в ній аніону  $H_2PO_4^-$  й тим самим підвищити ефективність цих добрив.

Але нерідко після потрапляння в ґрунт, у якому склалися екстремальні умови щодо вологозабезпечення через надто малу кількість атмосферних опадів, такі добрива стають недоступними для засвоєння рослинами й перебувають у ґрунті тривалий час у нерозчиненому стані. Ці обставини змушують агрономів шукати альтернативу твердим гранульованим фосфоровмісним добривам. Тому останніми роками у виробничих умовах набувають поширення рідкі комплексні добрива (РКД) різних марок.

Рідке комплексне добриво марки 10:34 містить у своєму складі 10% азоту в амонійній формі та 34% загального фосфору  $P_2O_5$  у вигляді орто- та поліформ.

### Що ж забезпечує пролонгованість дії РКД?

Відповідь на це питання закладена в принциповій схемі отримання РКД. Принципова схема отримання РКД полягає в нейтралізації ортофосфорної кислоти (екстракційної або термічної) до рН близько 6,5. В якості нейтралізуючого агента, залежно від схеми отримання, використовують водний або безводний аміак. Оскільки в процесі виготовлення РКД використовується ортофосфорна кислота, через яку пропускають аміак ( $NH_3$ ) та нагрівають до 200 °C, відбувається хімічний синтез нових фосфоровмісних сполук. Так у баковій суміші отримуємо ортоформу й поліформу.

Поліформа – це власне сукупність різних поліфосфорних кислот: дифосфорна кислота ( $H_4P_2O_7$ ), пірофосфорна кислота ( $H_4P_2O_7$ ), триполіфосфорна ( $H_6P_3O_{10}$ ) та ін. Саме наявність поліфосфорних кислот (утворюються в процесі нагрівання ортофосфорної кислоти) в складі РКД власне й забезпечує пролонгованість їхньої дії.

Після потрапляння РКД у ґрунт поліфосфати переходять в ортоформи, доступні рослинам. Це потребує певного часу (до шести тижнів), що й забезпечить пролон-

### ОСНОВНІ АГРОНОМІЧНІ ПЕРЕВАГИ РІДКИХ КОМПЛЕКСНИХ ДОБРИВ

- ▶ Однорідність умісту діючих речовин, що дає широкі можливості застосування РКД у точному землеробстві.
- ▶ Відсутність у складі РКД вільного аміаку забезпечує надійне й безпечне транспортування, зберігання і їхнє внесення без додаткових заходів безпеки.
- ▶ Пролонгованість дії поліфосфатних РКД без схильності до переходу в недоступну для рослин форму.
- ▶ Мінімізація втрат азоту (до 1,0%) під час внесення добрив.
- ▶ Можливість застосовувати в одній баковій суміші з мікродобривами, пестицидами й регуляторами росту.
- ▶ Зниження витрат на зберігання та застосування (на 20-30%) порівняно з твердими комплексними добривами.
- ▶ Можливість доробки рідкими азотними добривами (КАС) залежно від потреби в азоті та фази розвитку рослин.

гованість дії. Причому для успішного результату цього процесу потрібно значно менше продуктивної вологи, ніж для розчинення гранул твердих фосфоровмісних добрив. У цьому також полягають переваги РКД над твердими формами туків, оскільки з рідких форм коефіцієнт використання фосфору вищий.

Постає слушне питання, а що ж відбуватиметься в ґрунті, коли просто розчинити у воді водорозчинні фосфорні добрива (наприклад, той самий амофос, нітроамофос, подвійний суперфосфат) та внести цей розчин у ґрунт? У ґрунтового 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. А відтак із твердого добрива, яке було кращим, ми свідомо зробимо гірше добриво, розчинивши його у воді.

**С. Крамарьов**, завкафедри агрохімії, д-р с.-г. наук, старш. наук. співробітник, професор  
**Л. Бандура**, канд. с.-г. наук, доцент,  
 Дніпровський державний аграрно-економічний університет,  
**О. Крамарьов**, наук. співробітник,  
 ДУ Інститут зернових культур НААН України



Knowledge grows



YaraMila™ — максимальна віддача від ваших вкладень.

Добрива легко розчиняються та містять всі поживні речовини в одній гранулі. Ви отримуєте те, що дійсно має значення — **ВИЩУ РЕНТАБЕЛЬНІСТЬ.**

YaraMila™

Регіональні консультанти Yara:  
 Захід 067 501 32 97 | 067 238 31 44  
 Центр 067 463 62 64 | 067 523 56 11  
 Південь 067 219 87 56  
 Схід 067 343 60 07 | 067 238 12 90

www.yara.ua

Офіційні дистриб'ютори Yara в Україні:  
 ТОВ «Агросем» | 0 800 50 17 17  
 ТОВ «Сяйво» | 063 939 13 79  
 ТОВ «Арта-Хімгруп» | 097 499 82 81  
 ТОВ «Полетехніка» | 098 931 31 31  
 ТОВ «Агро Експерт Інт.» | 067 253 63 30

