

ПРИЧИНИ ДЕФІЦИТУ ТА ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ВМІСТУ РУХОМИХ ФОРМ ФОСФОРУ В ҐРУНТІ

Кучер А. О., здобувач вищої освіти
Нечипуренко М. С., здобувач вищої освіти
Гамаюнова В. В., д. с.-г. н., професор
Хоненко Л. Г., к. с.-г. н., доцент
Миколаївський національний аграрний університет,
м. Миколаїв, Миколаївської області

Фосфор належить до стратегічно важливих макроелементів живлення рослин. Він входить до складу нуклеїнових кислот, фосфоліпідів, ферментів та аденозинтрифосфату – універсального акумулятора енергії клітини. Забезпеченість рослин фосфором визначає розвиток кореневої системи, інтенсивність фотосинтезу, формування генеративних органів і врожайність. Попри значний валовий вміст фосфору в ґрунтах (до 0,3%), його доступні форми часто перебувають у дефіциті, що обмежує продуктивність агроценозів.

Основна проблема полягає у невідповідності між загальним запасом фосфору в ґрунті та його реально доступними формами. Для живлення рослин придатні переважно ортофосфати (H_2PO_4^- та HPO_4^{2-}), концентрація яких у ґрунтовому розчині є дуже низькою. Значна частина фосфору переходить у важкорозчинні сполуки з кальцієм, залізом або алюмінієм, особливо за кислої чи лужної реакції середовища. Додатковими чинниками дефіциту є низький вміст органічної речовини, слабка мікробіологічна активність, нестача вологи, низька температура та ерозійні процеси.

Фосфор один із найважливіших макроелементів, необхідних для нормального росту та розвитку рослин, забезпечує формування кореневої системи, стимулює цвітіння та плодоношення, є основним компонентом аденозинтрифосфату. Ця молекула є універсальним джерелом енергії для клітин рослин та бере участь у фотосинтезі, диханні та інших біохімічних процесах. Тому нестача фосфору в рослині призводить до порушення засвоєння поживних речовин і води, нездатності формувати здорові зав'язі і плоди [1].

Загальний вміст фосфору в ґрунті залежить від материнської породи, що сформувала ґрунт, і може досягати 0,3% від його загального хімічного складу. Фосфор у природі зустрічається у вигляді органічних (50–70%) та неорганічних (30–50%) сполук [2]. Попри високий загальний вміст, рухомі (доступні) форми фосфору часто є обмеженими, що призводить до дефіциту фосфорного живлення для рослин.

Неорганічний фосфор представлений розчинними ортофосфатами (H_2PO_4^- та HPO_4^{2-}), є основною формою, що безпосередньо засвоюється рослинами, хоча його концентрація в ґрунті, як правило, невисока (< 0.1 мг/л). Вміст його в ґрунті

зменшується за надто кислого ($\text{pH} < 6$) або лужного ($\text{pH} > 8-9$) середовища, оскільки фосфор блокується та стає менш доступним. Частина мікроорганізмів переводить доступні фосфати у свою біомасу, тимчасово вилучаючи їх із кругообігу.

Органічний фосфор, що міститься в рештках рослин і тварин, повинен спочатку мінералізуватися мікроорганізмами, щоб стати доступним для рослин. В живих організмах фосфор входить до складу нуклеїнових кислот, біологічно активних речовин, а також сполук, що нагромаджують енергію.

Запаси фосфору повертаються до ґрунту у вигляді легко-розчинного фосфат-іона в процесі мінералізації мікробами решток рослинних та тваринних організмів. Для рослин та інших організмів доступні лише ортофосфати, тому важливим є процес їх утворення та мобілізації.

Сполуки фосфору в ґрунті підлягають різноманітним перетворенням. Найбільше значення для ґрунтоутворення мають мінералізація органічних речовин, зміна рухливості фосфорних сполук (мобілізація та іммобілізація) і фіксація фосфору.

Основні етапи мікробіологічного циклу фосфору:

- Мінералізація – це перетворення органічних сполук фосфору на мінеральні в результаті діяльності мікроорганізмів (бактерії роду *Bacillus*, *Pseudomonas*, актиноміцети, гриби). При дії різних ферментів від органічних фосфоровмісних сполук відщеплюються залишки фосфорної кислоти. Їх поведінка залежить від реакції ґрунтового розчину і вмісту кальцію.

- Мобілізація фосфатів – перетворення важкорозчинних солей на розчинні і перехід у ґрунтовий розчин. Наприклад, перетворення трикальційфосфату в ди-і монокальційфосфат: $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, CaHPO_4 та $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$.

Значну роль в мобілізації відіграє вода. Ґрунтова вода здатна частково розчинити нерозчинні фосфати кальцію і переводити їх у розчинні. Частково можуть засвоювати фосфор з важкорозчинних сполук самі рослини. Під дією органічних кислот, які виділяє коренева система, важкорозчинні фосфоровмісні сполуки переходять у розчин, і фосфорна кислота стає доступною рослинам.

Треба враховувати, що не всі рослини однаково здатні засвоювати фосфор, який міститься у ґрунті чи у внесених добривах. Існують культури та сорти, які відносять до фосфор-ефективних – вони можуть активно поглинати фосфор навіть за його низької доступності. Така здатність формується під впливом кількох чинників: будови й розвиненості кореневої системи, характеру її розподілу у ґрунтовому профілі, співвідношення маси коренів до надземної частини, утворення мікоризи (виняток становлять капустяні та деякі інші рослини), а також змін pH у зоні ризосфери.

Крім того, рослини за умов нестачі фосфору посилюють виділення протонів та збільшують активність фосфатазних ферментів, які розкладають органічні сполуки фосфору. Додатково корені деяких культур виділяють органічні кислоти (цитратну, малатну, оксалатну та інші), що сприяють розчиненню

важкодоступних неорганічних фосфатів. Найбільш виражена здатність до такого механізму спостерігається у люпину, гречки та ріпаку.

Фосфор-ефективність змінюється не лише між різними видами рослин, а й між сортами чи гібридами однієї культури. Важливу роль відіграє архітектоніка кореневої системи: окремі сорти мають потужні та розгалужені корені, здатні охоплювати більший обсяг ґрунту та знаходити доступні форми фосфору, тоді як інші – характеризуються активним виділенням речовин, що мобілізують фосфатні сполуки. Деякі сорти утворюють довші кореневі волоски, що значно збільшує площу поглинання.

Такі овочеві культури, як цибуля, томати та боби, мають низьку здатність поглинати фосфор і відрізняються малим співвідношенням кореневої та надземної маси, тому їх відносять до малоефективних щодо засвоєння фосфору. На противагу їм ріпак і шпинат демонструють значно вищі показники поглинання фосфору, а зернові культури – жито та пшениця – мають розвинені кореневі системи з високою часткою підземної маси, що робить їх високофосфор-ефективними.

Суттєву роль в мобілізації фосфорної кислоти відіграють мікроорганізми. Найважливіші фосфатмобілізатори: *Aspergillus niger*, *Penicillium*, *Pseudomonas fluorescens*. Мікроорганізми виділяють кислоти, під дією яких важкорозчинні фосфати частково переходять у розчинні. У доступній для рослин формі фосфорна кислота накопичується в аеробних умовах. Вона взаємодіє з основами і утворює фосфорнокислі солі, які можуть засвоювати рослини. Деякі мікроби здатні розчиняти важкорозчинні фосфати ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, FePO_4 , AlPO_4), виділяючи органічні кислоти.

Імобілізація фосфорної кислоти – це засвоєння мікроорганізмами легкорозчинних сполук фосфору і перетворення їх на складні органічні речовини, які не можуть засвоювати рослини. Після відмирання мікроорганізмів і мінералізації їх тіл, фосфор знову переходить у розчинну форму і стає доступним для рослин.

Фіксація фосфору полягає в його переході у нерозчинний стан за рахунок утворення зв'язків з мінеральними компонентами ґрунту. У цих реакціях беруть участь, в основному, іони H_2PO_4^- .

Фосфор часто присутній у ґрунті, але у недоступній для рослин формі. Дефіцит фосфору виникає через його низьку доступність, яка спричинена надмірною кількістю кальцію, заліза, алюмінію. Ці елементи утворюють з фосфором нерозчинні сполуки. Також гальмує вивільнення фосфору з органічних сполук низький вміст органічної речовини внаслідок зменшення мікробної активності.

Зменшує доступність фосфору брак вологи внаслідок переходу фосфору в недоступні форми, особливо за низької температури: при температурі нижче $20\text{ }^\circ\text{C}$ фосфор погано засвоюється рослинами, а нижче $15\text{ }^\circ\text{C}$ він практично недоступний.

Для підвищення доступності фосфору в ґрунті необхідно комплексний підхід, що враховує тип ґрунту, культуру та економічні чинники. Основними з них є:

- внесення фосфорних добрив (суперфосфат, амофос, діамфос або рідкі форми (наприклад, ортофосфат амонію);
- внесення органічних добрив, зокрема гною, компостів, а також заробки сидератів для збагачення ґрунту органічним фосфором і стимуляції мікробної активності;
- застосування бактеріологічних препаратів (бактерії *Pseudomonas*, *Bacillus*) і грибів (мікориза), які розщеплюють органічний фосфор і вивільняють фіксований. Їх внесення може збільшити доступність на 15–25%;
- введення в сівозміну багаторічних бобових культур (люцерна, конюшина), які накопичують фосфор у ґрунті, а також сидератів (гірчиця, гречка), що покращують структуру ґрунту та зменшують вимивання рухомих форм;
- запровадження точного землеробства для дозованого внесення добрив згідно з картами поживних речовин з метою оптимізації використання фосфору та зниження втрат до 10%.

Ці методи, застосовані комплексно, можуть підвищити доступність фосфору на 30–60%, залежно від умов, забезпечуючи оптимальне живлення рослин і зростання врожайності.

Дефіцит фосфору в ґрунті є поширеною проблемою, що спричинена складною фіксацією фосфатів, ерозією, низьким вмістом органічної речовини та слабкою активністю мікробіоти. Для підвищення доступності фосфору необхідно застосовувати комплексний підхід: оптимізувати рН, вносити органічні та мінеральні добрива, використовувати біопрепарати-фосфатмобілізатори, підтримувати біологічне здоров'я ґрунтів та вирощувати високофосфор-ефективні гібриди і сорти.

Література

1. Фосфор у ґрунті: чому його нестача впливає на врожайність. URL: <https://zmd.if.ua/blog/fosfor-u-grunti/>
2. Вміст фосфору в ґрунті: причини дефіциту та способи підвищення. URL: <https://www.volynnews.com/news/all/vmist-fosforu-v-runti-prychyny-defitsytu-ta-sposoby-pidvyshchennia/>
3. Полюхович М. М., Вега Н. І., Проблема зв'язування фосфору на кислих і лужних ґрунтах. URL: <https://agroelita.info/problema-zvyazuvannya-fosforu-na-kyslyh-i-luzhnyh-gruntah/>
4. Успішний менеджмент фосфору. URL: <https://richfield.com.ua/article/uspeshnyy-menedzhment-fosfora>