

## ФОСФОРНЕ ЖИВЛЕННЯ РОСЛИН ТА МЕТОДИЧНІ АСПЕКТИ ВИЗНАЧЕННЯ РУХОМИХ СПОЛУК ФОСФОРУ В ҐРУНТІ

*Інститут ботаніки ім. М. Г. Холодного Національної Академії наук України*

Розглянуто проблеми фосфорного живлення рослин та особливості визначення рухомих сполук фосфору у ґрунті. В огляді подано характеристику широко відомих і сучасних методів (вітчизняних та закордонних) визначення фосфору в ґрунті, а також деякі аспекти вдосконалення ґрунтової діагностики.

*Ключові слова: фосфор, рухомі сполуки фосфору, ґрунт, методи визначення.*

М. П. Стахів

*Інститут ботаніки ім. Н. Г. Холодного Національної академії наук України*

## ФОСФОРНОЕ ПИТАНИЕ РАСТЕНИЙ И МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОДВИЖНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ФОСФОРА В ПОЧВЕ

Рассмотрены проблемы фосфорного питания растений и особенности определения подвижных соединений фосфора в почве. Представлена характеристика широко известных и современных методов (отечественных и зарубежных) определения фосфора в почве, а также отдельные аспекты совершенствования почвенной диагностики.

*Ключевые слова: фосфор, подвижные соединения фосфора, почва, методы определения.*

M. P. Stakhiv

*Kholodnyi Institute of Botany, National Academy of Sciences of Ukraine*

## PHOSPHORUS NUTRITION OF PLANT AND METHOD ASPECTS OF MOBILE PHOSPHORUS COMPOUNDS DETERMINATION IN SOIL

The problems of plant phosphorus nutrition and the main steps of determination of phosphorus compounds in soil are considered. The characteristics of the most distributed and modern determination methods of phosphorus in soil and some aspects of soil diagnostics improvement are presented in review.

*Key words: phosphorus, mobile phosphorus compounds, soil, identification methods.*

Фосфор є одним із ключових елементів мінерального живлення рослин, який відіграє важливу і центральну роль у їх метаболізмі (Abel et al., 2002; Batten, 1992; Raghohama, 1999).

Створюючи енергетичну основу для функціонування рослинних клітин, він входить до складу нуклеїнових кислот і нуклеотидів, ліпідів мембран, ферментів та проміжних продуктів фотосинтетичного та дихального циклів. Його засвоєння та метаболізм визначально важливі для росту і розвитку рослин. Хоча початкові етапи є критичними щодо фосфору, оптимальне забезпечення ним є важливим протягом усього вегетаційного періоду рослин.

Проблема оптимізації фосфорного живлення рослин у наш час набуває все більшої актуальності, оскільки ресурси фосфору, на відміну від азоту, досить обмежені. За останні 25 років кількість внесеного фосфору на 1 га посівної площі знизилась із 40 кг діючої речовини до 3–4, азоту – з 60 до 5–15, калію – з 35 до 1–2 кг діючої речовини (Агрохімічний..., 2005).

В останнє десятиліття виробництво фосфорних добрив в Україні різко скоротилося (Щегров, 2001), зокрема у 2005 році знизилось на 22,9 %, що і призвело до різкого падіння рівня застосування мінеральних фосфорних добрив. Така ситуація пов'язана з їхньою високою вартістю, зумовленою зростанням цін на енергоносії і обмеженістю джерел власної фосфатної сировини для їхнього виробництва. Зважаючи на невисоку природну забезпеченість більшості ґрунтів рухомими сполуками фосфору, спостерігається різке падіння ефективної родючості ґрунтів, погіршується ре-

жим фосфорного живлення рослин, що в результаті призводить до зниження врожайності сільськогосподарських культур.

Проблема загострюється ще й безповоротністю втрат фосфору, обумовленою виносом цього елемента з ґрунту рослинами, оскільки накопичення його переважає в зерні та плодах, а не у вегетативній масі, яка після збирання врожаю в процесі мікробіологічного розкладу поповнює запаси недоступних для рослин елементів. Тому забезпечення ґрунту фосфором у даний час може здійснюватись в основному лише за рахунок внесення фосфорних добрив.

На думку окремих авторів, при збереженні цієї тенденції запаси фосфору на Земній кулі можуть бути вичерпані вже через 60–80 років (Hammond et al., 2003) і глобальний пік використання запасів фосфатної сировини, за прогнозами деяких дослідників (Jasinski, 2006), припадає на 2040 рік.

### **Доступність фосфору в ґрунті для рослин**

Термін «доступний» фосфор указує на кількість фосфору ґрунту в ґрунтовому розчині, що може поглинатися кореневою системою рослин і використовуватись ними для росту і розвитку протягом усього життєвого циклу. Доступний фосфор називають також і лабільним. Концентрація доступного фосфору завжди низька через безперервний процес поглинання його рослинами (Holford, 1997). Як відомо (Крамарев, 2004), рослини здатні поглинати фосфор із ґрунтового розчину навіть при невеликих його концентраціях. У зв'язку із цим для нормального росту і розвитку рослин важливою є не стільки висока його концентрація в ґрунтовому розчині як здатність ґрунту поповнювати дефіцит запасів фосфору, що спостерігається під час живлення рослин. Доступність фосфору в ґрунті для рослин залежить від його мобілізації та іммобілізації, які пов'язані з процесами розчинення чи осадження, сорбції і десорбції, мінералізації та біологічного закріплення його сполук (Антипина, 1991). На відміну від інших елементів органічної речовини ґрунту (С, Н, О, N), які надходять у ґрунт переважно із атмосфери, основним первинним джерелом фосфору є ґрунтоутворююча порода (Маккелви, 1977).

Фосфор за своїми хімічними властивостями має складну природу взаємодії з компонентами ґрунту, що значною мірою ускладнює об'єктивну оцінку забезпеченості ґрунту цим елементом для оптимального росту і розвитку рослин. Доступність для рослин внесених фосфатів визначається розчинністю продуктів реакції добрив із ґрунтом. Тому дуже важливим є підтримання рівня доступного для рослин фосфору для уникнення його дефіциту, що в результаті призводить до зниження урожайності культур.

#### *Чинники, які впливають на доступність фосфору в ґрунті*

Відомо (Agbenin, 2003), що деякі чинники суттєво впливають на доступність фосфору в ґрунті для рослин, а також на фосфор, вилучений хімічними екстрагентами. До них можна віднести: оксиди Fe, Al, Mn, які можуть бути екстраговані, частки глини в ґрунті, CaCO<sub>3</sub>, органічний склад ґрунту, рН ґрунту і здатність його до сорбції фосфору. Зокрема, показано, що форма, у якій неорганічний фосфат знаходиться в розчині, змінюється залежно від показника рН. При рН нижче 6 більшість неорганічних фосфатів присутні у вигляді одновалентних іонів H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup>, у той час як H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> і HPO<sub>4</sub><sup>2-</sup> представлені тільки в незначних кількостях. Більшістю досліджень показано, що швидкість поглинання фосфору рослинами є найвищою в діапазоні рН від 5,0 до 6,0, коли переважає йон H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup> (Furhata et al., 1992; Schachtman et al., 1998; Ullrich-Eberius, Novacky, 1990).

Парадокс проблеми фосфорного живлення рослин полягає в тому, що фосфор у більшості ґрунтів знаходиться в надлишку, однак на 40 % площ орних земель світу продуктивність рослин лімітується його нестачею (Гуляев, 2004; Никитишен, 2002; Ма, 2000; Rengel, 2005). Валові запаси фосфору в метровому шарі ґрунтів досить великі і залежно від їх генетичних властивостей коливаються від 3–4 т/га в дерново-підзолистих супіщаних до 23–24 т/га в чорноземах типових і звичайних важкосуглинкових (Носко, 1990). Проте родючість ґрунтів обмежується недостатньою кількістю фосфору, який може засвоюватись рослинами, оскільки його доступність знижується через швидке формування нерозчинних комплексів із катіонами (CaO, Fe, Al та ін.

(Abel et al., 2002; Bolland, Gilkes, 1998) та включення його в органічні сполуки мікроорганізмами (Marschner et al., 2005a, 2004). Тому коефіцієнт використання фосфору із мінеральних добрив навіть при достатньому його внесенні становить лише 10–20 %, тоді як азоту – до 50 %, калію – до 70 % (Vance, 2001). А в останні роки у зв'язку із внесенням дуже низьких доз фосфорних добрив ця ситуація ще більше ускладнюється і вміст рухомого фосфору в ґрунтах знижується (Виробництво..., 2004).

В Україні площа ріллі з низьким і середнім умістом рухомого фосфору досягає 17 812 га, або 57 % загальної площі (Металіди, 1999; Носко, 1997). Саме через низьку забезпеченість ґрунтів доступним для рослин фосфором окупність фосфорних добрив досить висока – у середньому 1 кг  $P_2O_5$  забезпечує приріст 4–5 кг зерна або 30–40 кг коренеплодів цукрових буряків. Внаслідок зниження вмісту фосфору в ґрунті вже у найближчі роки в Україні зменшення продуктивності сівозмін сягне 2,2 зернової одиниці (Медведев, 2000).

### **Ґрунтова діагностика фосфорного живлення**

У сучасних умовах одним із найбільш ефективних шляхів розв'язання цієї проблеми дефіциту фосфору є вдосконалення точності ґрунтової діагностики фосфорного живлення рослин. Пошук оптимальних методів визначення фосфатного стану ґрунтів, передусім рівнів доступного для рослин фосфору, належить до складних питань рослинництва, що мають фундаментальне та прикладне значення. Точне визначення показників рухомих сполук фосфору в ґрунті дає змогу ефективніше використовувати природні ресурси та прогнозувати ефективність фосфорних добрив. Недостовірна інформація про фосфатний стан ґрунтів призводить до вкрай неефективного використання добрив. Застосування методів визначення вмісту фосфору без урахування конкретних особливостей ґрунтів, а також недостатнє відпрацювання методичних аспектів діагностики живлення рослин призводить до викривлення оцінки стану родючості ґрунтів цілих регіонів. Це пов'язано з тим, що більшість методів базується на використанні як екстрагентів розчинів сильних кислот, що свідчить про їх належність до так званих жорстких методів (Стахів, 2007; Христенко, 2003, 2008). Використання цих методів на дуже кислих ґрунтах призводить до істотного заниження даних за рахунок сильного повторного поглинання  $P_2O_5$  при проведенні аналізу, а в ґрунтах, що мають підвищений уміст апатитоподібних сполук, навпаки, до істотного їх завищення. Навіть дуже слабка лужність ґрунтів викликає часткову нейтралізацію кислоти і знову ж, заниження результатів, які отримують (Носко, 1999). Головним критерієм при виборі методу для вилучення рухомих сполук фосфору з ґрунту є оцінка його здатності правильно відображати реакцію рослин на внесення фосфорних добрив.

На сьогодні методи аналізів, що ґрунтуються на застосуванні чистих розчинів мінеральних або органічних кислот, ніде в світі, крім України та кількох країн СНД, не використовуються (Чумаченко, 1999).

Як відомо, в останні роки у світовій практиці оцінка фосфатного стану ґрунтів здійснюється за допомогою хімічних екстрагентів, іонообмінних смол (іонообмінна хроматографія), ізотопно-обмінного та біологічних методів. Як екстрагенти слугують вода, розчини органічних і мінеральних кислот, фторидів, лугів, солей, а також багатокomпонентні суміші. Ці загальноприйняті екстрагенти можуть і не давати чіткої інформації про рівень доступного фосфору в ґрунті для поглинання рослинами, оскільки хімічні речовини, які використовуються для його вилучення, можуть розчиняти малодоступний фосфор. Це призводить до закріплення фосфору катіонами Fe та Al і відповідно сприяє недоступності використання його рослинами (Hinsinger, 2001; Mallarino, 1997). Слід відмітити, що ці хімічні екстрагенти використовуються не для всіх типів ґрунтів. Невдале застосування будь-якого хімічного екстрагента для визначення фосфору в ґрунті може призвести до неправильної оцінки доступного фосфору для рослин (Myers et al., 2005).

Хімічні методи можуть використовуватись у практичних цілях лише тоді, коли та кількість фосфору, що ними визначається, корелює із забезпеченістю рослин фосфором та відгуком їх на фосфорні добрива. Шляхом зіставлення результатів польових і вегетаційних дослідів для кожного хімічного методу встановлюються певні по-

казники, так звані граничні числа, які дозволяють говорити про ступінь забезпеченості рослин фосфором у даному ґрунті та про той чи інший уміст у ньому фосфору.

У процесі отримання витяжок може відбуватися не лише розчинення, але й вторинне осадження фосфатів, яке може послаблюватися при розширенні співвідношення між ґрунтом і розчином. У зв'язку з цим основною відмінною властивістю методів визначення рухомих сполук фосфору є розчинник. Вибір екстрагента для вилучення фосфатів у різних типах ґрунтів визначається формами фосфорних сполук у досліджуваних ґрунтах, які пов'язані з їх фізико-хімічними особливостями (Чумаченко, 1999; Koormans, 2001).

Звертає на себе увагу такий факт, що в багатьох випадках той чи інший метод не рекомендується застосовувати при вивченні ґрунтів за профілем, тобто він не призначений для визначення фосфору в нижніх горизонтах.

Найбільш чутливим методом визначення фосфору є колориметричний, в основі якого знаходиться утворення молібденової гетерополісіні.

### **Сучасні закордонні методи визначення рухомих сполук фосфору в ґрунті**

Сучасними методами визначення фосфору у світовій практиці є методи Брея Р I, Мелхіка I, Мелхіка III, Моргана, Олсена, Егнера та ін. Ці методи можуть використовуватися на ґрунтах із різними фізичними та хімічними властивостями (Sharpley et al., 1994). Так, наприклад, у методі Брея Р I екстракційний розчин, що рекомендується для вилучення фосфору на слабокислих і нейтральних ґрунтах, у яких основним джерелом доступних його сполук є фосфати алюмінію і кальцію, складається з HCl та NH<sub>4</sub>F. Фторид-іони екстракційного розчину утворюють розчинні міцні комплексні сполуки з алюмінієм, що призводить до розчинення Al-P сполук фосфору, а HCl частково розчиняє Ca-P і меншою мірою Fe-P. У ґрунтах із реакцією середовища, близькою до нейтральної, фториди екстрагента утворюють CaF<sub>2</sub>, що сприяє розчиненню Ca-P сполук. Цей метод дозволяє екстрагувати лабільні сполуки фосфору в таких кількостях, які близькі до тих, що переходять у ґрунтовий розчин у випадку його збіднення при виносі рослинами. Метод Олсена функціонує аналогічно при дослідженні карбонатних ґрунтів. Екстрагенти вилучають певну кількість органічних сполук фосфору завдяки реакціям кислотного гідролізу або підсилюють розчинність органо-металічних комплексів (Pierzynski, 2000; Pierzynski et al., 2005). Зважаючи на сказане, методи Брея Р I, Моргана і Олсена використовуються тільки для вилучення фосфору, а такі методи, як Мелхіка I, Мелхіка III, Егнера, є мультиелементними, що використовуються для екстракції не лише макроелементів (P, K, Ca, Mg), а й мікроелементів (Cu, Fe, Zn, Mn). Загальне правило вибору методу таке: кислотні екстрагенти методів Брея Р I, Мелхіка I, Мелхіка III, Моргана використовуються на ґрунтах з кислою реакцією ґрунтового розчину, а лужний метод Олсена застосовується в основному для карбонатних ґрунтів, хоча також може використовуватись для точних визначень доступного для рослин фосфору в різних типах ґрунтів (Агрохімічний..., 2004; Якість..., 2005).

Для вилучення з ґрунту фосфору нехімічною екстракцією використовують два інших підходи – «Pi»-тест та застосування йоно-обмінних смол (Buehler et al., 2002; Ziadi et al., 2001). «Pi»-тест багато дослідників вважають дуже перспективним (Menon et al., 1997). Йоно-обмінні смоли використовуються в агрохімії фосфору для вилучення сполук, які здатні самовільно, без хімічного втручання, переходити у водне середовище. Аніони характеризують як кількість рухомого P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, так і швидкість його розчинення. У рівноважну суміш ґрунту з 0,01 М CaCl<sub>2</sub> опускають стрічки фільтрувального паперу, вкритого оксидом заліза, на яких сорбується фосфор ґрунтового розчину, що призводить до десорбції лабільних фосфатів із ґрунту. Через деякий час стрічку виймають з розчину, змивають часточки ґрунту, а поглинутий фосфор вилучається в розчин 1 М H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> протягом двох годин при струшуванні. Аніоно-обмінні смоли, насичені Cl<sup>-</sup> або HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> та змішані з ґрунтом, у водній суспензії адсорбують лабільний фосфор у кількостях, які достовірно вказують про рівень забезпеченості цим елементом різних типів ґрунтів (Myers et al., 1997). Смоли моделюють поглинання фосфору кореневою системою з розчину, а кількість поглинутого фосфору з роз-

чину визначається його дифузією (Куо, 1996). Проте використання цього методу не набуло широкого застосування у зв'язку із труднощами, які виникають при відокремленні йоно-обмінних смол від ґрунту.

На ґрунтах із кислою реакцією ґрунтового розчину рекомендується використання кислотних витяжок і різних буферних сумішей з вихідним рН у межах 1–5, а на карбонатних ґрунтах – буферні суміші та лужні витяжки з рН 8,5–9. Проте на сьогоднішній день добре відомі розбіжності між абсолютними значеннями вмісту рухомих (доступних для рослин) фосфатів і даними щодо ефективності фосфорних добрив (Носко, 1990). Існує пряма залежність між загальним умістом фосфору і дією добрив: чим більше фосфору в ґрунті, тим краще діють фосфорні добрива. Деякі ґрунти внаслідок своїх природних особливостей, зумовлених характером ґрунтоутворення, мають високі показники кисло-розчинного фосфору, які не відповідають фактичному ступеню забезпеченості цим елементом, тому культурні рослини ефективно реагують на внесення фосфорних добрив (Griffin et al., 2003; Sims et al., 2005). У таких випадках агрохімічна наука рекомендує використовувати більш конкретні лужні, сольові та водні витяжки. Проте застосування лужних методів на ґрунтах із слаболужною реакцією неодмінно зумовлює зниження вмісту рухомих сполук фосфору (Христенко, 2001).

### **Сучасні вітчизняні методи визначення фосфору в ґрунті**

Найпоширеніші вітчизняні методи визначення вмісту рухомого фосфору в ґрунтах запропоновані Труогом, Кірсановим, Чириковим, Мачигіним, Гінзбургом та іншими. Так, наприклад, рухомі сполуки фосфору в дерново-підзолистих і сірих лісових ґрунтах визначають за методом Кірсанова, у чорноземах некарбонатних, темно-сірих опідзолених – методом Чирикова, у карбонатних ґрунтах – методом Мачигіна та ін. Фракційний склад мінеральних сполук фосфору визначають за методом Гінзбург-Лебедевої, груповий склад – за методом Чирикова.

У розчинах загальний вміст фосфору визначають гравіметричним або фотометричним методами.

Сполуки фосфору за методом Кірсанова вилучають з ґрунту 0,2 н розчином НСІ. Суть методу полягає в тому, що фосфорна кислота в кислому середовищі утворює з молібдатом амонію комплексну сполуку – гетерополікислоту. Кількість кислоти у розчині має бути оптимальною, оскільки в лужному середовищі гетерополікислота руйнується, а в сильнокислому – утворюється нестійка сполука. Цей метод є чутливим, проте інтенсивність забарвлення молібденової сині з часом слабшає. Отримані дані використовують для моніторингу ґрунтів, паспортизації земель, складання агрохімічних картограм, системи застосування добрив, оцінки якості земельної ділянки.

Метод Чирикова використовується для визначення групового складу фосфатів з метою вивчення перетворень сполук фосфору із внесених добрив. Як екстрагенти використовують: воду, насичену вуглекислим газом, 0,5 н розчин  $\text{CH}_3\text{COOH}$ , 0,5 н розчин НСІ, 3 н водний розчин аміаку залежно від групи фосфатів. Проте для агрохімічної характеристики ґрунтів найчастіше вилучення рухомих сполук фосфору, які представлені в основному дигідрофосфатами, гідрофосфатами, а також різноосновними фосфатами, проводять за допомогою 0,5 н розчину оцтової кислоти. Слід відмітити, що на результат хімічного аналізу ґрунтів даним методом може негативно впливати певна кількість фосфоровмісних сполук типу апатиту (ДСТУ 4115–2002, 2002). На показники, що отримують за методом Чирикова, також суттєвий вплив мають ґрунтова кислотність і пов'язані з нею ті чи інші властивості ґрунту. Тому недоцільно використовувати даний метод на дуже кислих ґрунтах, особливо буроземах (Носко, 1996).

Одним із поширених вітчизняних методів є метод Мачигіна, який ґрунтується на вилученні рухомих сполук фосфору з ґрунту 1%-м розчином вуглекислого амонію з рН екстрагента 9,0. Гранулометричний склад та інші властивості ґрунтів мало відбиваються на результаті аналізу, проведеного даним методом, тому діапазон його використання дуже широкий. Єдиним винятком залишається значення рН ґрунтового розчину: чим вища лужність ґрунтів, тим нижчі одержувані параметри. Метод Мачигіна вважається

найбільш універсальним і може бути використаний для визначення вмісту рухомого фосфору на всіх основних типах ґрунтів України, проте не поширюється на ґрунтові горизонти, які містять гіпс (ДСТУ 4114–2002, 2002; Христенко, 2001).

Виходячи із літературних даних (Полупан, 2008; Христенко, 2001), вміст рухомих сполук фосфору у ґрунтах залежить від генетичної природи останніх. Методи, які використовуються в агрохімічних дослідженнях, віддзеркалюють різний параметричний рівень вмісту доступних форм фосфору, проте існує чітка закономірність розподілу даних між різними методами. Так, наприклад, за Чириковим і методами Мачигіна, Егнера-Рима, Троуга, Гінзбурга, Карпінського-Зам'ятіної, а також за Мачигініним і Кірсановим із вищезазначеними методами кореляційний зв'язок перевищує 0,9 (Носко, 1990). Виходячи з цього, розроблено систему групування ґрунтів за рівнем рухомих сполук фосфору відповідно до методу визначення (Методика..., 2003). Проте такий розподіл ґрунтів за вмістом рухомого фосфору залишається науково необґрунтованим. Це пов'язано з тим, що на сьогодні не встановлено природних рівнів валового фосфору та рухомих його форм у ґрунтах.

Як відомо, ґрунти, навіть у межах одного типу, мають різний склад та властивості, що істотно позначається на результатах кількісного визначення  $P_2O_5$  при хімічному аналізі. Чим більше відхиляється величина рН екстрагента від нейтрального значення, тим вища ймовірність помилки. Так, наприклад, 0,5 н розчин оцтової кислоти (рН 2,5), що використовується в методі Чирикова, здатний частково вилучати малодоступні для рослин сполуки фосфору. Збільшення в ґрунтах вмісту апатитоподібних сполук на кожен 1 мг/100 г ґрунту при його рівні понад 15 мг/100 г ґрунту автоматично завищує отримані за цим методом результати на 0,4–0,42 мг  $P_2O_5$ /100 г ґрунту.

Застосування оцтовокислої витяжки не лише на карбонатних, а й на ґрунтах, що мають реакцію розчину, близьку до нейтральної (рН сольове – 6,9–7,1), зміщує значення рН цього малобуферного екстрагента, а це, у свою чергу, призводить до істотного заниження отриманих результатів. Тому, наприклад, метод Чирикова може бути успішно використаний лише на ґрунтах з нейтральною, слабо- і середньокислою реакцією ґрунтового розчину (Христенко, 1998).

Різноманітність методів, які використовуються в агрохімічних дослідженнях, ускладнює узагальнення отриманих результатів та їх порівняння, особливо при визначенні фосфору в ґрунтах великих регіонів.

Таким чином, вищесказане підтверджує, що проблема фосфорного живлення на сьогодні набуває все більшої актуальності і об'єктивна оцінка фосфатного стану ґрунтів та прогнозування ефективності від внесених добрив можливі лише на основі декількох, що доповнюють один одного, показників або шляхом підбору такого екстрагента, який би враховував найбільш вірогідні форми фосфору в ґрунті, що безпосередньо беруть участь у живленні рослин у даному вегетаційному сезоні.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

**Агрохімічний** аналіз: підручник / Городній М. М., Лісовал А. П., Бикін А. В. та ін. / За ред. Городнього М. М. – 2-ге видання. – К. : Арістей, 2005. – 476 с.

**Антипина Л. П.** Фосфор в почвах Сибіри: Автореферат дис. ... доктора сільськогосподарських наук / Л. П. Антипина. – Омск, 1991. – 32 с.

**Виробництво** фосфоромісних мінеральних добрив підприємствами України та їх використання в сільському господарстві / за ред. В. Г. Зареченого. – Суми : ВТД «Університетська книга», 2004. – 189 с.

**Гуляев Б. И.** Фосфор как энергетическая основа процессов фотосинтеза, роста и развития растений / Б. И. Гуляев, В. Ф. Патыка // Агроэкологічний журнал. – 2004. – № 2. – С. 3-9.

**ДСТУ 4114–2002** Ґрунти. Визначення рухомих сполук фосфору і калію за модифікованим методом Мачигіна. – К. : Державний комітет з питань технічного регулювання та споживчої політики, 2002. – 11 с.

**ДСТУ 4115–2002** Ґрунти. Визначення рухомих сполук фосфору і калію за модифікованим методом Чирикова. – К. : Національний стандарт України, 2002. – 5 с.

**Крамарев С. М.** Эффективность использования фосфорных удобрений в агроценозах зерновых культур / С. М. Крамарев, С. В. Красненков, Л. Н. Токмакова и др. // Фосфор і калій у землеробстві. Проблеми мікробіологічної мобілізації. – Чернігів. Міжнародна науково-практична конференція. Наукові доповіді. КП «Друкарня» № 13. – 2004. – С. 56-65.

- Маккелви В. Е.** Фосфор в окружающей среде / В. Е. Маккелви / Под ред. Э. Гриффита и др. – М. : Мир, 1977. – С. 24-37.
- Медведев В. В.** Проблема фосфору в Україні та шляхи її розв'язання / В. В. Медведев // Вісник аграрної науки. – 2000. – № 7. – С. 82-84.
- Металіди В. С.** Сировинна база фосфатів України / В. С. Металіди, І. В. Щепель // Мінеральні ресурси України. – 1999. – № 2. – С. 267-269.
- Методика** агрохімічної паспортизації земель сільськогосподарського призначення. – К., 2003. – 63 с.
- Никитишен В. И.** Плодородие почвы и устойчивость функционирования агроэкосистем / В. И. Никитишен / Отв. ред. В. Г. Минеев. – М. : Наука, 2002. – 258 с.
- Носко Б. С.** Фосфатний режим ґрунтів і ефективність добрив / Б. С. Носко. – К. : Урожай, 1990. – 153 с.
- Носко Б. С.** Післядія добрив на фосфатний режим чорноземів України / Б. С. Носко, В. І. Бабинін, Л. М. Бурлакова Л. М. та ін. // Вісник аграрної науки. – 2008. – № 12. – С. 17-22.
- Носко Б. С.** Влияние состава и свойств почв на результаты определения содержания подвижного фосфора химическими методами / Б. С. Носко, А. А. Христенко // Агрохимия. – 1996. – № 4. – С. 87-94.
- Носко Б. С.** Фосфорити як джерело живлення сільськогосподарських культур / Б. С. Носко, А. О. Христенко, В. І. Бабинін // Використання нетрадиційних сировинних ресурсів у сільському господарстві: Зб. наукових статей і доповідей. – Луцьк : Надстир'я, 1997. – С. 18-20.
- Носко Б. С.** Проблема фосфору в землеробстві України / Б. С. Носко, А. О. Христенко, В. П. Максимова // Вісник аграрної науки. – 1999. – № 5. – С. 13-16.
- Полупан І. М.** Природний рівень фосфору у ґрунтах України залежно від їх генетичної природи / І. М. Полупан, В. Б. Соловей, О. В. Коростін // Вісник аграрної науки. – 2008. – № 5. – С. 14-23.
- Сергеев В.** На службі охорони родючості ґрунтів / В. Сергеев, Д. Бенцаровський // Урядовий кур'єр. – 2004. – № 183. – С. 13.
- Стахів М. П.** Визначення рівнів доступного фосфору у ґрунті для високопродуктивних сортів озимої пшениці / М. П. Стахів, В. В. Швартау // Науковий вісник Ужгородського університету. Серія Біологія. – 2007. – Вип. 22. – С. 5-9.
- Христенко А. О.** Діагностика вмісту рухомих сполук фосфору в ґрунтах / А. О. Христенко // Вісник аграрної науки. – 1998. – № 4. – С. 21-25.
- Христенко А. А.** Проблема изучения фосфатного состояния почв / А. А. Христенко // Агрохимия. – 2001. – № 6. – С. 89-95.
- Христенко А. О.** Розробка стандарту України на методи визначення рухомих сполук фосфору і калію в ґрунтах / А. О. Христенко // Вісник аграрної науки – 2003. – № 6. – С. 9-13.
- Христенко А. О.** Вплив складу і властивостей ґрунтів на результати визначення вмісту рухомого фосфору за методом Мачигіна / А. О. Христенко, Н. П. Копоть, Л. М. Бурлакова // Агрохімія і ґрунтознавство. – 2001. – № 61. – С. 84-92.
- Христенко А. О.** Оцінка фосфатного стану ґрунтів на основі Міжнародного стандарту / А. О. Христенко, М. Є. Лазебна // Вісник аграрної науки – 2008. – № 10. – С. 16-19.
- Чумаченко И. Н.** Симпозиум «Совершенствование методологии исследования фосфатного режима почв, оптимизации питания растений и баланса фосфора в агроэкосистемах» / И. Н. Чумаченко, Ф. В. Янишевский // Агрохимия. – 1999. – № 1. – С. 94-96.
- Щегров Л. М.** Перспективні шляхи виробництва фосфорних добрив в Україні / Л. М. Щегров, Н. М. Антрапцева, В. П. Кухарь та ін. // Вісник аграрної науки – 2001 – № 9. – С. 13-15.
- Якість ґрунтів та сучасні системи удобрення** / За ред. Д. Мельничука, Дж. Хофман, М. Городнього. – К. : Арістей, 2004. – 488 с.
- Abel S., Ticconi C. A., Delatorre C. A.** Phosphate sensing in higher plants // *Physiol. Plant.* – 2002. – V. 115. – P. 1-8.
- Agbenin J. O.** Extractable iron and aluminum effects on phosphate sorption in a Savanna Alfisol // *Soil Sci. Soc. Am. J.* – 2003. – 67. – P. 589-595.
- Batten G. D.** A review of phosphorus efficiency in wheat // *Plant and Soil.* – 1992. – 146. – P. 163-168.
- Bolland M. D. A., Gilkes R. J.** The chemistry and agronomic effectiveness of phosphate fertilizers // *Nutrient use in crop production.* – N.Y.: The Haworth Press, 1998. – P. 139-163.
- Buehler S., Oberson A., Rao I. M. et al.** Sequential phosphorus extraction of a <sup>32</sup>P-labeled Oxisol under contrasting agricultural systems // *Soil Sci. Soc. Am. J.* – 2002. – V. 66 – P. 868-877.
- Furihata T., Suzuki M., Sakurai H.** Kinetic characterization of two phosphate uptake system with different affinities in suspension cultured *Catharanthus roseus* protoplasts // *Plant and Cell Physiol.* – 1992. – V. 33. – P. 1153-1157.

- Griffin T. S., Honeycutt C. W., He Z.** Changes in soil phosphorus from manure application // Soil Science Society of America Journal. – 2003. – V. 2, № 67 – P. 645-653.
- Hammond J. P., Bennett M. J., Bowen H. C. et al.** Changes in gene expression in *Arabidopsis* shoots during phosphate starvation and potential for developing smart plants // Plant Physiol. – 2003. – V. 132. – № 2. – P. 578-596.
- Hinsinger P.** Bioavailability of soil inorganic P in the rhizosphere as affected by root-induced chemical changes: a review // Plant and Soil. – 2001 – V. 237. – P. 173-195.
- Holford J. C. R.** Soil phosphorus: its measurement, and its uptake by plants // Aust. J. Soil Res. – 1997. – V. 35. – P. 227-239.
- Jasinski S. M.** Phosphate rock. – 2006. – Statistics and Information. — US Geological.
- Koopmans G. F., Van Der Zeeuw M. E., Chardon W. J. et al.** Identification and characterization of phosphorus rich sandy soils. // Neth. J. Agric. Sci. – 2001. – V. 49. – P. 369-384.
- Kuo S.** Phosphorus Methods of Soil Analysis: Part 3-Chemical Methods. SSSA, Madison, WI. – 1996. – P. 869-919.
- Ma J. R.** Role of organic acids in detoxication of aluminum in higher plants // Plant Cell Physiol. – 2000. – V. 41. – P. 383-390.
- Marschner P., Crowley D. E., Yang C. H.** Development of specific rhizosphere bacterial communities in relation to plant species, nutrition and soil type // Plant Soil – 2004. – V. 261. – P. 199-208.
- Marschner P., Grierson P.F., Rengel Z.** Microbial community composition and functioning in the rhizosphere of three *Banksia species* in native woodland in Western Australia // Appl. Soil Ecol. – 2005a. – V. 28. – P. 191-201.
- Mallarino A. P.** Interpretation of soil phosphorus tests for corn in soils with varying pH and calcium carbonate content // J. Prod. Agric. – 1997 – V. 10. – P. 163-167.
- Menon R. G., Chien S. H., Chardon W. J.** Iron hydroxide-impregnated filter paper (P test): II. A review of its application. // Nutr. Cycl. in Agroecosyst. – 1997. – V. 47. – P. 7-18.
- Myers R. G., Sharpley A. N., Thien S. J.** Ion-sink phosphorus extraction methods applied on 24 soils from the continental USA // Soil Sci. Soc. Am. J. – 2005. – V. 69. – P. 511-521.
- Myers R. G., Pierzynski G. M., Thien S. J.** Iron oxide sink method for extracting soil phosphorus paper preparation and use // Soil Sci. Soc. Am. J. – 1997. – V. 61. – P. 1400-1407.
- Pierzynski G. M., McDowell R. W., Sims J. T.** Chemistry, cycling, and potential movement of inorganic phosphorus in soils Phosphorus: Agriculture and the Environment, ed. Sims J.T., Sharpley A.N. Agronomy Monograph 46. – 2005. – Madison, WI: ASA, CSSA, and SSSA.
- Pierzynski G. M.** Methods of phosphorus analysis for soils, sediments, residuals and waters. Southern Coop. Series Bull. – 2000. – № 396. North Carolina State Univ., Raleigh, N.C. – 102 p.
- Raghothama K. G.** Phosphate acquisition // Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol. – 1999. – V. 50. – P. 665-693.
- Rengel Z., Marschner P.** Nutrient availability and management in the rhizosphere: exploiting genotypic differences // New Phytologist. – 2005. – V. 168. – P. 305-312.
- Schachtman D. P., Reid R. J., Ayling S. M.** Phosphorus uptake by plants : from soil to cell // Plant Physiol. – 1998. – V. 116. – P. 447-453.
- Sharpley A. N., Sims J. T., Pierzynski G. M.** Innovative soil phosphorus indices: ssuming inorganic phosphorus: J. Havlin et al. (ed) Soil testing: Prospects for improving nutrient recommendations // Soil Sci Soc. Am Spec. Pub. – 1994. – V. 40 – ASA, Madison, WI. – P. 115-142.
- Sims J. T., Sharpley A. N., Hedley M., McLaughlin M.** Reactions of phosphate fertilizers and byproducts in soils. In Phosphorus: Agriculture and the Environment, ed. Sims J.T., Sharpley A.N. Agronomy Monograph 46. – Madison, WI, ASA, CSA and SSSA. – 2005. – P. 181-252.
- Ullrich-Eberius C., Novacky A.** Extra- and intracellular pH and membrane potential changes induced by  $K^+$ ,  $Cl^-$ ,  $H_2PO_4^-$ ,  $NO_3^-$  uptake and fusicoccin in root hairs of *Limnobium stoloniferum* // Plant Physiol. – 1990. – V. 94. – P. 1561-1567.
- Vance C. P.** Update on the state of nitrogen and phosphorus nutrition. Symbiotic nitrogen fixation and phosphorus acquisition. Plant nutrition in a world of declining renewable resources // Plant Physiol. – 2001. – V. 127. – P. 390-397.
- Ziadi N., Simard R. R., Tran T. S., Allard G.** Soil-available phosphorus as evaluated by desorption techniques and chemical extractions. // Can. J. Soil Sci. – 2001. – V. 2. – P. 167-174.

Надійшла до редколегії 18.03.10