

УДК 631.4.54.2:576.8.73

ПРОБЛЕМА ФОСФОРУ У ЗЕМЛЕРОБСТВІ ПОЛІССЯ І ШЛЯХИ ЇЇ ВИРІШЕННЯ

**І. В. Гриник¹, О. М. Бердніков², Л. В. Потапенко²,
Т. Б. Мілютенко²**

¹Національна академія аграрних наук України
вул. Васильківська, 38; м. Київ, 03022, Україна
e-mail: prezid@ukr.net

²Інститут сільськогосподарської мікробіології та
агропромислового виробництва НААН
вул. Шевченка, 97; м. Чернігів, 14027, Україна
e-mail: isgm@ukrpost.ua

Проаналізовано проблему фосфорного живлення культурних рослин за їх вирощування на дерново-підзолистих ґрунтах Полісся. Розглянуто джерела поповнення P_2O_5 в орному шарі ґрунту дерново-підзолистого типу, показано взаємозв'язок між балансом фосфору і продуктивністю сівозміни, а також роль біопрепарату Поліміксобактерину за періодичного і запасного внесення технічного фосфору.

Ключові слова: фосфор, біопрепарат Поліміксобактерин, система удобрення, фосфорний режим ґрунту, продуктивність сівозміни.

У 2013 р. Чернігівська область, як і вся Україна, досягла максимального виробництва зерна, відповідно, 3 і 60 млн. т. При цьому слід мати на увазі, що формування урожаю зернових супроводжується підвищенням виносом фосфору, а реалізація товарного зерна — значним відчуженням цього елемента за межі агроценозів. Так, з урожаєм

пшениці озимої 4 т/га з ґрунту виноситься 45–50 кг P_2O_5 , кукурудзи урожайністю 6 т/га — 70 кг P_2O_5 , ячменю (4 т/га) — 55 кг, сої (2,5 т/га) — 40 кг, картоплі (25 т/га) — 4 кг P_2O_5 .

Проте норми внесення органічних добрив у Чернігівській області та у Поліссі в цілому сьогодні не перевищують 2 т/га, а мінеральних — 70–90 кг/га діючої речовини, при тому, що за такої системи удобрення на долю азоту припадає 70–90 %. Зазначені підходи до удобрення і рівень продуктивності зернових культур не узгоджуються з положеннями класичної агрохімії — законом балансу біогенних елементів і, зокрема, фосфору [1–3]. Зважаючи, що сьогодні на порядок денний виходять питання закріплення досягнутого успіху в урожайності сільськогосподарських культур та збереження родючості ґрунту, пошук заходів оптимізації фосфорного живлення є надзвичайно актуальним.

До 1990 р. у Чернігівській області, як і в цілому в зоні Полісся України, в середньому вносилося 10–12 т/га органічних добрив, з якими у ґрунт надходило 25–30 кг/га доступного фосфору, а також 170–180 кг/га діючої речовини туків при співвідношенні N:P:K як 1:1:1, що з врахуванням урожайності сільськогосподарських культур забезпечувало позитивний баланс фосфору на рівні 30–40 кг/га щорічно. Розрахунки показують, що в останні 10 років за сучасної продуктивності культур баланс фосфору у Поліссі складає мінус 30 кг/га і більше щороку. Проте така ситуація з балансом фосфору не призвела до негативних наслідків у землеробстві — різкого зниження урожайності. Чим це можна пояснити? Існує думка, що окремі методи агрохімічного дослідження ґрунтів, у тому числі і метод за Кірсановим, не завжди відображають реальну картину вмісту у ґрунті доступного фосфору [4–6]. Безперечно, це може мати місце, але відсутність зниження рівня урожайності сільськогосподарських культур цим не поясниш. Отже, причини в іншому.

Проведений на підставі отриманих результатів досліджень [7] аналіз взаємозв'язку продуктивності сівозміни з окультуренням ґрунту (табл. 1) свідчить, що за продуктивно-

сті до 5 т/га зернових одиниць відсутня пряма кореляція між хімічним складом рослин, ступенем окультурення ґрунтів і їх продуктивністю, що вказує на наявність механізмів саморегуляції у системі «ґрунт – рослина». У той же час, за продуктивності сівозміни 8,8 т/га зернових одиниць змінюється хімічний склад рослин у бік збільшення вмісту основних елементів живлення, а винос їх підвищується: азоту — в 2,3 рази, фосфору — в 2 рази, калію — в 1,8 рази.

Таблиця 1. Взаємозв'язок продуктивності сівозміни із ступенем окультурення ґрунту (комплекс сільськогосподарських придатностей) та виносом основних елементів живлення з одиницею врожаю і одиниці площі [7]

Комплекс с.-г. придатностей	Урожайність зернових одиниць, т/га	Споживання на зернову одиницю, кг			Винос, кг/га		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Пшеничний добрий	8,8	2,60	1,08	2,96	230	96	262
Житній добрий	4,9	2,23	0,99	2,87	110	49	142
Житній слабкий	4,8	2,06	1,02	3,04	99	49	146

Отже, саморегуляція в системі може здійснюватися лише до певного рівня врожайності культур (і, на нашу думку, впродовж певного часу). Аналіз робіт вітчизняних і зарубіжних дослідників [2; 7–9] свідчить, що за будь-якої системи землеробства важливо забезпечити рослини необхідною кількістю біогенних елементів живлення, в оптимальному співвідношенні, в доступних для рослин формах. Це одна з основних умов формування високих урожаїв сільськогосподарських культур і якості продукції. При цьому дефіцит поживних речовин за їх виносу з урожаєм, у тому числі й фосфору, не можна системно планувати на бідних ґрунтах (бездефіцитний, або навіть негативний баланс біогенних елемен-

тів допускається лише на добре окультурених ґрунтах). Отже, в майбутньому необхідно проводити постійний моніторинг стану забезпеченості ґрунтів сполуками біогенних елементів; в іншому разі через кілька років негативний баланс поживних речовин неминуче призведе до їх виснаження, а отже і зниження врожайності сільськогосподарських культур [7].

Наші дослідження, проведені у тривалому польовому стаціонарному досліді на середньо окультуреному дерново-підзолистому ґрунті з підвищеним вмістом фосфору (за Кірсановим 160–180 мг на кг ґрунту) за факторіальною схемою, де дози кожного елемента (N, P, K) змінювалися від 20 до 100 кг діючої речовини, показують: досягти продуктивності сівозміни більше 8 т/га зернових одиниць можна лише при позитивному балансі фосфору на рівні 40 кг, азоту — 30 кг і калію — 50 кг/га діючої речовини.

Продуктивність сівозміни 6 т/га зернових одиниць удалося отримати як за бездефіцитного балансу фосфору (P_0), так і при позитивному ($+P_{10}$) і негативному ($-P_{10}$). Додавимо при цьому, що в типовій для зони Полісся сівозміні з багаторічними травами при зазначеній продуктивності сівозміни допустимий від'ємний баланс за азотом ($-N_{20}$) і за калієм ($-K_{30}$).

За негативного балансу фосфору ($-P_{30}$) вже на п'ятий рік продуктивність сівозміни знизилася до 4 т/га зернових одиниць, причому була отримана за більш високого дефіциту азоту ($-N_{50}$) і калію ($-K_{60}$). Ця особливість підкреслює першочергову роль фосфору для забезпечення продуктивності рослин.

Отже, можна сформулювати такий прогноз: за сучасної системи удобрення з одностороннім використанням азотних добрив через 3–4 роки в умовах середньо і добре окультурених дерново-підзолистих ґрунтах Полісся можливе різке зниження урожайності, в тому числі і зернових культур; на слабо буферних піщаних і супіщаних дерново-підзолистих ґрунтах негативні результати можна очікувати через 2–3 ро-

ки, а на окремих площах це явище можна спостерігати і сьогодні.

Повертаючись до питання відносної саморегуляції системи «грунт – рослина», слід відмітити, що причини стабільного вмісту в орному шарі доступного фосфору не мають належного обґрунтування і є дискусійними. Викладемо власне розуміння цього питання: ступінь використання рослинами фосфору з ґрунту і добрив, як правило, не перевищує 18 %; «залишковий» фосфор органічних і мінеральних добрив ортоградується (закріплюється в ґрунті) і за його дефіциту рослини змушені використовувати його запаси з ґрунту. Цьому сприяє підкислення ґрунтів за використання азотних добрив, що за відсутності вапнування може бути причиною переходу важкорозчинних фосфатів ґрунту в рухомі форми. Крім того, як відомо з праць Д. М. Прянишникова [8], у природі існує механізм трансформації сполук фосфору з глибоких шарів ґрунту, де є достатні запаси фосфору, які до того ж зростають з глибиною [10; 11]. Своєрідною біологічною «помпою», яка забезпечує надходження сполук фосфору з нижніх горизонтів ґрунтового профілю до орного, є коренева система рослин люпинів (можливо і не лише люпинів). Можна також допустити, що однією з причин зростання вмісту в орному шарі лабільного фосфору є висока екскреторна (розчинна) функція кореневої системи рослин сучасних сортів інтенсивного типу. Якщо раніше до таких культур відносили люпин, овес, гречку, частково жито, то сьогодні цілком вірогідно в цьому списку може бути соя, пелюшка, вика, кукурудза і соняшник. Але досліджень у цьому напрямі проведено дуже мало.

Загальновідомим є правило поповнення запасів біогенних елементів у ґрунті шляхом внесення добрив. Проте сучасні німецькі дослідники [11] вважають, що є інші шляхи вирішення проблеми, а саме: для переважної кількості орних земель вміст фосфору в орному шарі складає 1400–10400 кг/га. Отже, можна використовувати фосфор із цих запасів десятками років, якщо не століттями, до того ж, не можна розглядати верхній шар 0–20 см як систему, яка з часом

може виснажитися, оскільки вона динамічна. Доступність фосфору для рослин значною мірою також залежить від стану і якості ґрунту. Так, у результаті серії власне проведених дослідів, а також при узагальненні більш як 250 дослідів з вивчення фосфорного і калійного живлення рослин К. Емануелю [11] не вдалося отримати вірогідних приростів урожаю як за одностороннього застосування фосфорних добрив, так і при збільшенні їх доз. Автор відмічає, що при застосуванні фосфорних добрив часто виявлялося, що саме покращення стану ґрунту підвищує доступність фосфору рослинам.

Отже, у традиційному, альтернативному і органічному землеробстві для оптимізації фосфорного режиму важливо створити оптимальні умови росту і розвитку рослин — достатні запаси органічної речовини, азоту, вологи, оптимальний повітряно-тепловий режим, що досягається включенням у сівозміну багаторічних трав, бобових культур, використанням рослин-сидератів.

Особливе значення в оптимізації поживного режиму ґрунту і зокрема фосфорного, особливо на початкових фазах росту і розвитку рослин, може мати інокуляція насіння мікробними препаратами, біологічними агентами яких є фосфатомобілізувальні мікроорганізми [12].

У своїй роботі ми переконалися в доцільності цього агроприйому. Дослідження проводили на середньокультурному дерново-підзолистому ґрунті з підвищеним вмістом фосфору (160 мг/кг P_2O_5 за Кірсановим). Схема дослідів включала варіанти як із збалансованим живленням за фосфором, так і зі зменшенням дози технічного фосфору у вигляді суперфосфату на P_{25} за використання мікробного препарату Поліміксобактерину.

Поживний режим ґрунту на початку вегетації рослин при заміні P_{25} інокуляцією не змінювався відносно варіантів з повною дозою (P_{60}) (табл. 2).

У середньому за вегетацію вміст у ґрунті рухомого P_2O_5 при інокуляції був вищим відносно контролю і еквівалент-

ним щодо показників варіантів з органічними і сидеральними системами удобрення.

Таблиця 2. Фосфорний режим ґрунту під кукурудзою за варіантами польового дослідю, мг/100 г

Варіанти дослідю	Фази розвитку рослин			Середнє за вегетацію
	6–8 листків	цвітіння	наливу зерна	
Без добрив	14,8	15,6	13,0	14,5
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀	16,2	18,0	14,0	16,1
Сидерат	14,8	16,0	16,0	15,6
Гній	14,8	16,0	16,0	15,6
N ₉₀ P ₃₅ K ₉₀ + Полі-міксобактерин*	16,0	16,0	13,3	15,1
НІР ₀₉₉	0,26	0,30	0,20	

Примітка: * — зменшення дози фосфору на 25 кг/га

Слід відмітити, що при закінченні ротації сівозміни: пшениця озима – кукурудза – овес голозерний – люпин вузьколистий відмічено незначне зменшення вмісту P₂O₅ — на 15–20 мг/кг ґрунту на контролі. У варіанті з інокуляцією Поліміксобактерином спостерігали збільшення вмісту фосфору в орному шарі ґрунту на 25–27 мг/кг відносно початкового; за використання сидерату і гною вміст рухомого фосфору в орному шарі не збільшувався, а у підорному (20–40 см) підвищувався на 22–24 мг/кг ґрунту.

При поєднанні зменшеної дози фосфорних добрив з інокуляцією Поліміксобактерином урожайність культур у сівозміні і якість продукції були на рівні показників продуктивності культур за повної норми мінерального фосфору (табл. 3).

В основі механізму дії Поліміксобактерину на покращення фосфорного живлення рослин, як відомо [12] знаходиться інтенсивний розвиток інтродукованого мікроорганізму в кореневій зоні, вплив його метаболітів на розчинення мінеральних форм фосфатів і гідроліз оргонофосфатів, та стимулювання розвитку кореневої системи. За нашими спо-

Таблиця 3. Урожайність сільськогосподарських культур за різних систем удобрення та інокуляції, т/га

Варіанти дослідів	Урожайність пшениці озимої		± до варіантів без інокуляції	Урожайність кукурудзи на зерно		± до варіантів без інокуляції	Урожайність вівса голозерного		± до варіантів без інокуляції	Урожайність люпину вузьколистого		± до варіантів без інокуляції
	I*	II**		I*	II**		I*	II**		I*	II**	
Контроль	2,40	2,90	+0,50	3,40	4,00	+0,60	1,40	1,74	+0,34	1,40	1,65	+0,25
НРК	4,06	4,07	+0,01	6,61	6,60	-0,01	2,06	2,04	-0,02	1,42	1,70	+0,28
Сидерат — люпин вузьк.	4,00	4,64	+0,64	5,60	6,20	+0,60	1,81	1,91	+0,01	1,60	2,00	+0,40
Сидерат + НРК	4,72	4,96	+0,24	8,20	8,06	-0,14	3,02	3,08	+0,05	1,60	2,08	+0,48
Гній, 10 т/га	4,14	4,50	+0,34	5,01	5,40	+0,30	2,40	2,70	+0,30	1,90	2,20	+0,30
Гній + НРК	4,38	4,40	+0,02	7,90	8,00	+0,10	3,11	3,28	+0,17	1,92	2,20	+0,28
Сидерат + гній + НРК	4,98	5,04	+0,06	8,06	8,04	-0,02	3,02	3,30	+0,28	2,02	2,30	+0,28
Гній, 20 т/га	5,11	5,40	+0,29	8,06	8,14	+0,08	3,40	3,46	+0,06	2,10	2,36	+0,26
НІР _{0,95}	0,22	0,24		0,40	0,42		0,12	0,14		0,12	0,14	

Примітка: I* — без інокуляції; II** — інокуляція насіння Поліміксобактерином всіх культур сівозміни за зменшення дози фосфорних добрив (-P₂₅)

стереженнями, зростає також і продуктивність фотосинтезу на 10–14 %.

Слід відмітити і таку особливість Поліміксобактерину: препарат дозволяє ефективніше використовувати фосфорні добрива, внесені про запас. Так, в умовах польових і лізиметричних досліджень з різними видами добрив — агрофоски (P_2O_5 — 19 %) і амофосу (P_2O_5 — 52 %) у складі повного добрива встановлено: за беззмінного вирощування кукурудзи внесення фосфору у дозі P_{150} один раз у три роки поступалося ефективності щорічного застосування добрив у дозі P_{50} на 9 %. За інокуляції насіння Поліміксобактерином відмінності практично були відсутні (табл. 4, *вар. 2 і 4, фон I і II*), що вказує на перспективу інокуляції при внесенні фосфору про запас — один раз у три роки при застосуванні недорогих фосфорних добрив у вигляді природних фосфоритів, збагачених методом магнітної сепарації та придатних для органічного землеробства.

Таким чином, аналіз літературних джерел і власні дослідження свідчать про існування механізмів саморегуляції системи «грунт – рослина» щодо забезпечення сполуками фосфору. Це дозволяє впродовж чотирьох–п’яти років одержувати відносно високі та стабільні врожаї, у тому числі і зернових колосових культур. Проте за дефіцитного балансу фосфору у землеробстві слід попередити можливі негативні наслідки сучасних агротехнологій, які можуть проявитися (після закінчення ефекту стабілізації фосфорного режиму) у різкому зменшенні продуктивності культур, у тому числі і зернових. Оптимізація фосфорного режиму рослин можлива при покращенні культури землеробства і підвищенні родючості ґрунту шляхом вирощування бобових культур, внесення гною, використання проміжної сидерації та передпосівної інокуляції насіння фосфатмобілізувальними бактеріями. На дерново-підзолистих ґрунтах з підвищеним вмістом доступного фосфору інокуляція насіння препаратом Поліміксобактерин еквівалентна дії технічного фосфору у дозі P_{25} . Для одержання високих і стійких врожаїв зернових та продуктив-

Таблиця 4. Ефективність різних видів і способів внесення добрив при вирощуванні кукурудзи на зерно у беззмінних посівах (середнє за три роки)

№ вар	Варіанти дослідів	Польовий дослід				Лізиметричний дослід					
		Урожайність, т/га		Вміст протеїну в зерні		Урожайність, т/га		Вміст протеїну в зерні		Втрати P ₂ O ₅ від вимивання, кг/га	
		I*	II**	I	II	I	II	I	II	I	II
1	N ₁₂₀ P ₅₀ K ₉₀ (P ₅₀ щорічно у вигляді амофосу)	7,9	8,5	9,6	9,8	11,2	12,0	8,9	9,2	3,6	2,0
2	N ₁₂₀ P ₅₀ K ₉₀ (P ₅₀ у вигляді нітроамофоски)	8,2	8,6	10,2	10,2	10,2	12,2	10,0	10,2	3,6	1,2
3	N ₁₂₀ P ₅₀ K ₉₀ (P ₅₀ в запас на 3 роки у вигляді амофосу)	6,9	8,7	9,4	9,8	10,4	12,0	10,0	10,0	4,8	2,0
4	N ₁₂₀ P ₅₀ K ₉₀ (P ₅₀ в запас на 3 роки у вигляді нітроамофоски)	7,4	8,4	9,6	9,8	10,6	12,0	9,0	10,4	4,0	2,0
НІР _{0,95}		0,34	0,40			0,20	0,24				

Примітка: I* — без інокуляції, II** — за інокуляції насіння Поліміксобактерином

ності сівозмін на рівні 7–8 т/га зернових одиниць у виробничих умовах доза технічного фосфору повинна складати P_{40-50} , а при інокуляції насіння можливе її зменшення на 20–30 %.

1. Рюбензам Э. Земледелие / Э. Рюбензам ; пер. с нем. А. М. Лыкова. — К., Рауэ : Колос, 1969. — 519 с.

2. Панников В. Д. Почва, климат, удобрение и урожай / В. Д. Панников, В. Г. Минеев. — М. : Колос, 1977. — 416 с.

3. Якість ґрунтів та сучасні стратегії добрив / за ред. Дж. Хофмана, Д. Мельничука, М. Городнього. — К. : Арістей, 2004. — 488 с.

4. Шафран С. А. Динамика применения удобрений и плодородие почв / С. А. Шафран // Агрохимия. — 2004. — № 1. — С. 9–17.

5. Христенко А. А. Проблема изучения фосфатного состояния почв / А. А. Христенко // Агрохимия. — 2001. — № 6. — С. 89–95.

6. Христенко А. А. Динамика основных показателей фосфатного режима почв в процессе их экстенсивного использования / А. А. Христенко // Агрохимия. — 2004. — № 2. — С. 18–23.

7. Минеев В. Г. Биологическое земледелие и минеральные удобрения / [Минеев В. Г., Дебрецени Б., Мазур Т.]. — М. : Колос, 1993. — 415 с.

8. Прянишников Д. Н. Избранные сочинения / Д. Н. Прянишников. — М. : Изд. с.-х. литературы, 1952. — Т. 1. Агрохимия. — 692 с.

9. Кук Дж. У. Системы удобрения для получения максимальных урожаев / Дж. У. Кук ; пер. с англ. Н. В. Гаделия. — М. : Колос, 1975. — 246 с.

10. Носко Б. С. Фосфатний режим ґрунтів і ефективність добрив / Б. С. Носко — К. : Урожай, 1990. — 224 с.

11. Емануель К. Основные вопросы питания растений / К. Емануель // Земледелатель. — Вып. 3. — Тула : Филин; Худе : Лебен унд Умвельт, 1985. — С. 181–196.

12. Методологія і практика використання мікробних препаратів у технологіях вирощування сільськогосподарських культур [В. В. Волгогон, А. С. Заришняк, І. В. Гриник та ін.]. — К. : Аграрна наука, 2011. — 156 с.

ПРОБЛЕМА ФОСФОРА В ЗЕМЛЕДЕЛІИ ПОЛЕСЬЯ И ПУТИ ЕЕ РАЗРЕШЕНИЯ

**И. В. Гриник¹, А. М. Бердников², Л. В. Потапенко²,
Т. Б. Милютенко²**

¹Национальная академия аграрных наук Украины, г. Киев

²Институт сельскохозяйственной микробиологии и агропромышленного производства НААН, г. Чернигов

Проанализирована проблема фосфорного питания культурных растений при их выращивании на дерново-подзолистых почвах Полесья. Рассмотрены источники пополнения P_2O_5 в пахотном слое почвы дерново-подзолистого типа, показана взаимосвязь между балансом фосфора и продуктивностью севооборота, а также роль биопрепарата Полимиксобактерина при периодичном и запасном внесении технического фосфора.

Ключевые слова: фосфор, биопрепарат Полимиксобактерин, система удобрения, фосфорный режим почвы, продуктивность севооборота.

THE PROBLEM OF PHOSPHORUS IN AGRICULTURE OF POLISSYA AND WAYS TO SOLVE IT

**I. V. Grynyk¹, O. M. Berdnikov², L. V. Potapenko²,
T. B. Milyutenko²**

¹National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine, Kyiv

²Institute of Agricultural Microbiology and Agroindustrial Manufacture, NAAS, Chernihiv

Analyzed the problem of phosphorus nutrition of crops by their cultivation on sod-podzolic soils of Polissya. Considered sources of increasing P_2O_5 in the arable soil layer of sod-podzolic type, shows the relationship between the balance of

phosphorus and crop rotation productivity and the role of biopreparation Polymyxobakterin by periodic technical and spare introducing phosphorus.

Key words: phosphorus, biopreparation Polymyxobakterin, system of fertilization, soil phosphorus regime, the performance of crop rotation.