

УДК 579.266/631.461.7/  
631.465/633.15

© 2019

**ЗАСВОЄННЯ ФОСФОРУ РОСЛИНАМИ  
КУКУРУДЗИ ЗА ВПЛИВУ  
ФОСФАТМОБІЛІЗУВАЛЬНИХ  
БАКТЕРІЙ***Л.М. Токмакова<sup>1</sup>, А.О. Трєпач<sup>2</sup>, Л.А. Шевченко<sup>3</sup>,  
І.В. Ларченко<sup>4</sup>, О.П. Лєпєха<sup>5</sup>, Н.О. Хаїтова<sup>6</sup>**<sup>1, 2</sup>кандидати сільськогосподарських наук**Інститут сільськогосподарської мікробіології та агропромислового виробництва НААН  
вул. Шевченка, 97, м. Чернігів, 14027, Україна**e-mail: <sup>1</sup>tokmakova\_ln@ukr.net, <sup>2</sup>alla.trepach@ukr.net, <sup>3</sup>shevchenkolyubov@ukr.net,  
<sup>4</sup>irina8117@ukr.net, <sup>5</sup>lepekhae@ukr.net, <sup>6</sup>nadia546@ukr.net*

Надійшла 17.01.2019

**Мета.** Дослідити вплив фосфатмобілізувальних бактерій на ступінь засвоєння фосфору рослинами кукурудзи за вирощування культури на чорноземі вилуженому. **Методи.** Польові, мікробіологічні, біохімічні, агрохімічні, статистичні. **Результати.** У динаміці визначено чисельність фосфатмобілізувальних бактерій, здатних до розчинення мінералофосфатів нерозчинних комплексів з катіонами  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Fe}^{+++}$ ,  $\text{Al}^{+++}$  і бактерій, що гідролізують органічні форми фосфатів, фосфатазну активність ризосферного ґрунту, ступінь засвоєння фосфору рослинами кукурудзи за бактеризації насіння. Установлено, що чисельність бактерій, які розчиняють  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ , зросла від 12,7 (на контролі) до 27,5 млн/г ґрунту (у варіанті з *Agrobacterium radiobacter* 5006),  $\text{AlPO}_4$  — від 9,2 (на контролі) до 17,9 млн/г ґрунту (у варіанті з *A. radiobacter* 5006),  $\text{FePO}_4$  — від 8,9 (на контролі) до 17,3 млн/г ґрунту (за дії *Enterobacter aerogenes* 3271) і бактерій, що гідролізують органічні форми фосфатів, — від 12,7 (на контролі) до 29,5 млн/г ґрунту (у варіанті з *Bacillus sp.* 2473). Найвищу фосфатазну активність виявлено за дії *Bacillus sp.* 2473 — 4,34 відповідно за показників контролю 2,84 мг  $\text{P}_2\text{O}_5$  /100 г ґрунту/год. **Висновки.** Бактеризація насіння кукурудзи активними штамми фосфатмобілізувальних бактерій *A. radiobacter* 5006, *Paenibacillus polymyxa* KB, *Bacillus sp.* 2473, *E. aerogenes* 3271, *E. nimipressuralis* 5213 сприяє збільшенню чисельності бактерій, які трансформують сполуки фосфору, підвищенню фосфатазної активності та ступеня рухомості фосфатів у кореневій зоні, що позитивно впливає на фосфорне живлення рослин. Біологічний чинник інтенсифікації кореневого живлення рослин забезпечує підвищення вмісту фосфору у зерні на 0,08–0,14% і зростання його виносу з урожаєм культури на 24,8–35,9% до контролю.

**Ключові слова:** фосфор, кукурудза, ступінь рухомості фосфатів, фосфатмобілізувальні бактерії, чорнозем вилужений.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agroviznyk201907-02>

У сучасному сільськогосподарському виробництві існує гострий дефіцит фосфору [1]. Родючість ґрунтів обмежується

недостатньою кількістю фосфору, який може засвоюватись рослинами, оскільки його доступність знижується через швидке

формування нерозчинних комплексів із катіонами  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$  та ін. [2] та включення його в органічні сполуки мікроорганізмами [3, 4]. Проблема ускладнюється ще й унаслідок безповоротності втрат фосфору, зумовленої виносом цього елемента з ґрунту рослинами. Тому пошук нових резервів поліпшення режиму фосфорного живлення культурних рослин є важливим завданням аграрної науки.

**Мета досліджень** — дослідити ступінь засвоєння фосфору рослинами кукурудзи і зв'язування елемента ґрунтом за впливу фосфатмобілізувальних бактерій.

**Матеріали та методи досліджень.** Дослідження проводили в польовому досліді на базі дослідного поля Інституту сільськогосподарської мікробіології та агропромислового виробництва НААН упродовж 2016–2018 рр. Ґрунт — чорнозем вилужений, який містить: гумусу — 2,12%, азоту легкогідролізованого — 95,2 мг/кг, фосфору — 226, обмінного калію — 108 мг/кг,  $\text{pH}_{\text{сop}}=5,30$ . Схема досліду має 6 варіантів: 1. Контроль — без бактеризації; 2–6. Бактеризація суспензіями активних штамів фосфатмобілізувальних бактерій: *Paenibacillus polymyxa* KB (біоагент мікробного препарату Поліміксобактерин), *Bacillus sp.* 2473, *Agrobacterium radiobacter* 5006, *Enterobacter aerogenes* 3271, *E. nimipressuralis* 5213. Штами попередньо селекціоновані із ризосфери сільськогосподарських культур, характеризуються високою фосфатмобілізувальною активністю в лабораторних умовах. Площа дослідної ділянки — 50,4 м<sup>2</sup>, повторність досліду — 3-разова.

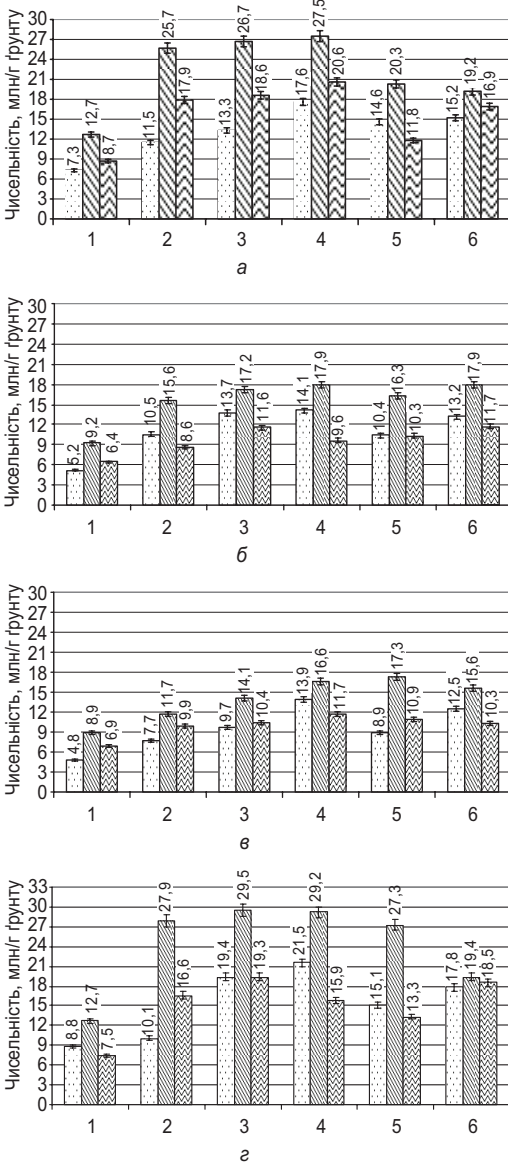
Бактеризацію насіння кукурудзи гібрида Дніпровський 181 СВ здійснювали за використання водних бактеріальних суспензій з розрахунку 0,5 млн клітин/насінину. Ґрунтові зразки (з ризосфери рослин) відбирали в основні фази органогенезу кукурудзи: вихід у трубку, цвітіння, молочно-воскова стиглість зерна. У динаміці проводили облік чисельності бактерій, здатних до розчинення мінералофосфатів нерозчинних комплексів з катіонами  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Fe}^{+++}$ ,  $\text{Al}^{+++}$  і бактерій, що гідролізують органічні форми фосфатів, фосфатазну активність — за методом І.Т. Геллера і К.Е. Гінзбурга, вміст фосфору у рослинах і зерні — за методом Деніже

в модифікації Буватьє [5], ступінь рухомості фосфатів — за методом Карпінського і Зам'ятіної [6], винос фосфору з урожаєм зерна та листо-стеблової маси кукурудзи — за методом Чирікова [7].

**Результати досліджень.** Реалізація потенціалу урожайності сільськогосподарських культур можлива лише за умови оптимального живлення рослин, що залежить від наявності поживних речовин у ґрунті та ступеня їх доступності. Водночас важливим є формування специфічних мікробних угруповань у кореневій зоні рослин. Саме мікроорганізми ґрунту перетворюють недоступні для рослин сполуки у форми, оптимальні для їх метаболізму [8], тому їх дослідження є необхідним для оцінки можливості інтенсифікації кореневого живлення сільськогосподарських культур.

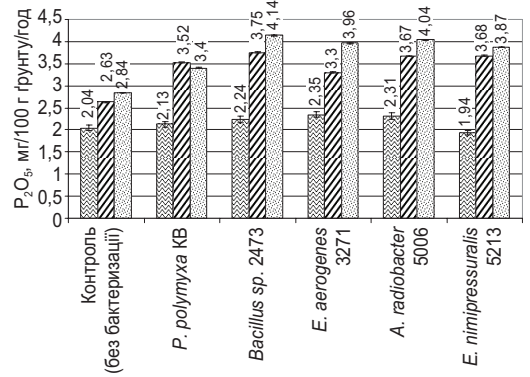
В умовах польового досліду встановлено, що бактеризація насіння кукурудзи сприяє підвищенню чисельності фосфатмобілізувальних бактерій у ризосферному ґрунті у всі фази розвитку рослин щодо показників контрольного варіанта і особливо у фазі молочно-воскової стиглості (рис. 1). Так, чисельність бактерій, які розчиняють  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ , зросла від 12,7 млн/г ґрунту (на контролі) до 27,5 млн/г ґрунту (у варіанті з *A. radiobacter* 5006),  $\text{AlPO}_4$  — від 9,2 млн/г ґрунту (на контролі) до 17,9 млн/г ґрунту (у варіанті з *A. radiobacter* 5006),  $\text{FePO}_4$  — від 8,9 млн/г ґрунту (на контролі) до 17,3 млн/г ґрунту (за дії *E. aerogenes* 3271) та бактерій, що гідролізують органічні форми фосфатів, — від 12,7 млн/г ґрунту (на контролі) до 29,5 млн/г ґрунту (у варіанті з *Bacillus sp.* 2473).

Своєрідним відображенням чисельності мікроорганізмів окремих еколого-трофічних груп у ґрунті та їх функціональної діяльності є біологічна активність і, зокрема, ферментативна, як чутливий показник найважливіших біохімічних процесів [9]. Виділення ферментів у ґрунт мікроорганізмами та коренями рослин зазвичай має адаптивний характер у формі реакції-відповіді на наявність або відсутність субстрату для дії ферменту чи продукту реакції, що особливо чітко виявляється з фосфатазами. За нестачі у середовищі рухомих сполук фосфору у мікроорганізмів і рослин виділення ферментів різко посилюється. На такому взаємозв'язку ґрунтується застосування



**Рис. 1.** Вплив бактеризації на чисельність бактерій, які розчиняють у ризосферному ґрунті рослин кукурудзи: а –  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ; б –  $\text{AlPO}_4$ ; в –  $\text{FePO}_4$ ; г – органофосфати; 1 – контроль (без бактеризації); 2 – *P. polytuxa* KB; 3 – *Bacillus sp. 2473*; 4 – *A. radiobacter* 5006; 5 – *E. aerogenes* 3271; 6 – *E. nimipressuralis* 5213; □ – фаза виходу в трубку; ▨ – фаза цвітіння; ▩ – фаза молочно-воскової стиглості

показника фосфатазної активності ґрунту для діагностики забезпеченості рослин доступним фосфором [10].



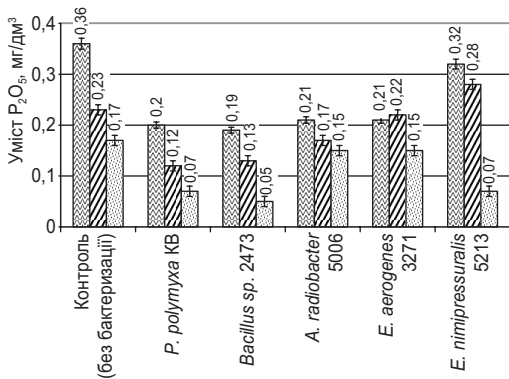
**Рис. 2.** Загальна фосфатазна активність у кореневій зоні рослин кукурудзи за дії активних штамів фосфатмобілізуювальних бактерій: □ – фаза виходу в трубку; ▨ – фаза цвітіння; ▩ – фаза молочно-воскової стиглості

Результати досліджень свідчать, що фосфатазна активність ризосферного ґрунту протягом вегетаційного періоду поступово зростає та найвищих значень набуває у фазі молочно-воскової стиглості зерна (рис. 2).

Так, найвища фосфатазна активність спостерігалася за дії *A. radiobacter* 5006 та *Bacillus sp. 2473* і становила 4,04 мг  $\text{P}_2\text{O}_5/100$  г ґрунту/год та 4,34 мг  $\text{P}_2\text{O}_5/100$  г ґрунту/год відповідно за показників контролю 2,84 мг  $\text{P}_2\text{O}_5/100$  г ґрунту/год. Літературні дані свідчать, що бактерії *A. radiobacter* здійснюють в основному ферментативний процес розчинення органічних фосфатів [11], який відбувається завдяки продукуванню фосфатаз. Це пояснює підвищення фосфатазної активності у ризосферному ґрунті рослин кукурудзи у відповідних варіантах досліджу.

Головним джерелом фосфорного живлення рослин є найрухоміші фосфати ґрунтового розчину. До того ж ступінь рухомості фосфатів у ґрунті прямо залежить від вмісту загального фосфору і його рухомих форм [12]. Відомо, що підвищення ступеня рухомості фосфатів у кореневій зоні рослин кукурудзи виявляється у зниженні вмісту рухомих форм фосфатів у ризосферному ґрунті внаслідок посиленого поглинання їх рослинами. У наших дослідженнях установлено, що найнижчі показники вмісту  $\text{P}_2\text{O}_5$  у ґрунті спостерігаються за дії *Bacillus sp. 2473* (рис. 3).

Так, уміст фосфору у кореневій зоні рослин знижувався у фазі цвітіння від 0,23 мг



**Рис. 3.** Ступінь рухомості фосфатів у кореневій зоні рослин кукурудзи за дії активних штамів фосфатмобілізувальних бактерій: — фаза виходу в трубку; — фаза цвітіння; — фаза молочно-воскової стиглості

$P_2O_5$ /дм<sup>3</sup> на контролі до 0,13 мг  $P_2O_5$ /дм<sup>3</sup> ґрунтового розчину, у фазі молочно-воскової стиглості — від 0,17 мг  $P_2O_5$ /дм<sup>3</sup> на контролі до 0,05 мг  $P_2O_5$ /дм<sup>3</sup> ґрунтового розчину за дії *Bacillus* sp. 2473. Застосування інших штамів

фосфатмобілізувальних бактерій також позитивно вплинуло на ступінь рухомості фосфатів, що свідчить про підвищення доступності ґрунтових фосфатів для рослин кукурудзи.

Уміст фосфору у листостебловій масі та зерні кукурудзи за дії фосфатмобілізувальних бактерій характеризує вплив досліджуваних чинників на фосфорне живлення рослин. За вмістом фосфору у листостебловій масі рослин і зерні виявлено істотну різницю порівняно з контролем (табл. 1).

Так, уміст фосфору в листостебловій масі кукурудзи у фазі молочно-воскової стиглості зерна був найвищим і становив від 0,45% (на контролі) до 0,54% (за дії *A. radiobacter* 5006); у зерні коливався від 0,41% (на контролі) до 0,53% (за дії *A. radiobacter* 5006). Визначено, що бактеризація сприяє значному збільшенню вносу фосфору зерном і листостебловою масою кукурудзи, який не поступається показникам, отриманим за дії *P. polymyxa* KB — біоагента відомого мікробного препарату Поліміксобактерин (табл. 2).

Так, внос фосфору зерном збільшувався

### 1. Уміст фосфору в листостебловій масі та в зерні кукурудзи

Варіант досліджу	Уміст $P_2O_5$ у листостебловій масі, %			Уміст фосфору в зерні, %
	вихід у трубку	фаза цвітіння	фаза молочно-воскової стиглості	
Контроль — без бактеризації	0,35±0,01	0,37±0,01	0,45±0,01	0,41±0,01
<i>P. polymyxa</i> KB	0,37±0,01	0,41±0,01	0,53±0,01	0,49±0,01
<i>Bacillus</i> sp. 2473	0,39±0,01	0,45±0,01	0,55±0,01	0,55±0,01
<i>E. aerogenes</i> 3271	0,41±0,01	0,43±0,01	0,48±0,01	0,50±0,01
<i>A. radiobacter</i> 5006	0,40±0,01	0,44±0,01	0,54±0,01	0,53±0,01
<i>E. nimipressuralis</i> 5213	0,44±0,01	0,45±0,01	0,50±0,02	0,52±0,01

### 2. Внос фосфору з урожаєм кукурудзи за дії бактеризації

Варіант досліджу	Внос фосфору, кг/га		Загальний внос фосфору з урожаєм, кг/га	Ефективність фосфорного живлення*	
	зерном	листочекловою масою		кг/га	%
Контроль — без бактеризації	32,8	26,4	59,2	—	—
<i>A. radiobacter</i> 5006	47,2	29,4	76,6	17,4	29,4
<i>P. polymyxa</i> KB	46,6	31,4	78,0	18,8	31,7
<i>Bacillus</i> sp. 2473	47,8	32,7	80,5	21,3	35,9
<i>E. aerogenes</i> 3271	44,5	29,4	73,9	14,7	24,8
<i>E. nimipressuralis</i> 5213	47,8	30,4	78,2	19,0	32,1

\*Різниця між показниками загального вносу фосфору з урожаєм досліджуваного і контрольного варіантів.



від 32,8 кг/га (на контролі) до 47,8 кг/га та листостебловою масою — від 26,4 кг/га (на контролі) до 32,7 кг/га (за дії *Bacillus sp.*

2473). Загальний винос фосфору становив від 59,2 кг/га (на контролі) до 80,5 кг/га, що на 35,9% більше контролю.

## Висновки

Бактеризація насіння кукурудзи активними штамми фосфатмобілізуючих бактерій *A. radiobacter* 5006, *P. polymyxa* KB, *Bacillus sp.* 2473, *E. aerogenes* 3271, *E. nimipressuralis* 5213 сприяє збільшенню чисельності бактерій, які трансформують сполуки фосфору, підвищенню фосфатазної активності та

ступеня рухомості фосфатів у кореневій зоні рослин кукурудзи, що впливає на поліпшення фосфорного живлення рослин. Штам бактерій *Bacillus sp.* 2473 може бути використаний як біоагент мікробного препарату для поліпшення фосфорного живлення сільськогосподарських культур.

Токмакова Л.Н.<sup>1</sup>, Тrepach А.А.<sup>2</sup>, Шевченко Л.А.<sup>3</sup>, Ларченко І.В.<sup>4</sup>, Лепеха Е.П.<sup>5</sup>, Хаїтова Н.А.<sup>6</sup>  
Институт сельскохозяйственной микробиологии и агропромышленного производства НААН, ул. Шевченко, 97, г. Чернигов, 14027, Украина; e-mail: <sup>1</sup>tokmakova\_ln@ukr.net, <sup>2</sup>alla.trepach@ukr.net, <sup>3</sup>shevchenkolyubov@ukr.net, <sup>4</sup>irina8117@ukr.net, <sup>5</sup>lepekhae@ukr.net, <sup>6</sup>nadia546@ukr.net

### Усвоение фосфора растениями кукурузы при влиянии фосфатмобилизирующих бактерий

**Цель.** Исследовать действие фосфатмобилизирующих бактерий на степень усвоения фосфора растениями кукурузы при выращивании культуры на черноземе выщелоченном. **Методы.** Полевые, микробиологические, биохимические, агрохимические, статистические. **Результаты.** В динамике определена численность фосфатмобилизирующих бактерий, способных к растворению минералофосфатов нерастворимых комплексов с катионами  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Fe}^{+++}$ ,  $\text{Al}^{+++}$  и бактерий, которые гидролизуют органические формы фосфатов, фосфатазную активность ризосферной почвы, степень усвоения фосфора растениями кукурузы под действием бактериализации семян. Установлено, что численность бактерий, которые растворяют  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ , увеличилась с 12,7 (на контроле) до 27,5 млн/г почвы (в варианте с *Agrobacterium radiobacter* 5006),  $\text{AlPO}_4$  — от 9,2 (на контроле) до 17,9 млн/г почвы (в варианте с *A. radiobacter* 5006),  $\text{FePO}_4$  — от 8,9 (на контроле) до 17,3 млн/г почвы (при действии *Enterobacter aerogenes* 3271) и бактерий, которые гидролизуют органические формы фосфатов, — от 12,7 (на контроле) до 29,5 млн/г почвы (в варианте с *Bacillus sp.* 2473). Самая высокая фосфатазная активность наблюдалась при действии *Bacillus sp.* 2473 — 4,34 соответственно при показателях контроля 2,84 мг  $\text{P}_2\text{O}_5/100$  г почвы/час. **Выводы.** Бактеризация семян кукурузы

активными штаммами фосфатмобилизирующих бактерий *A. radiobacter* 5006, *Paenibacillus polymyxa* KB, *Bacillus sp.* 2473, *E. aerogenes* 3271, *E. nimipressuralis* 5213 способствует увеличению численности бактерий, которые трансформируют соединения фосфора, повышению фосфатазной активности и степени подвижности фосфатов в корневой зоне, что положительно влияет на фосфорное питание растений. Биологический фактор интенсификации корневого питания растений обеспечивает повышение содержания фосфора в зерне на 0,08–0,14% и увеличение его выноса с урожаем культуры на 24,8–35,9% относительно контроля.

**Ключевые слова:** фосфор, кукуруза, степень подвижности фосфатов, фосфатмобилизирующие бактерии, чернозем выщелоченный.  
**DOI:** <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201907-02>

Токмакова Л.<sup>1</sup>, Тrepach А.<sup>2</sup>, Шевченко Л.<sup>3</sup>, Ларченко І.<sup>4</sup>, Лепеха О.<sup>5</sup>, Хаїтова Н.<sup>6</sup>  
Institute of agricultural microbiology and agroindustrial production of NAAS, Shevchenko Str., 97, Chernihiv, 14027, Ukraine; e-mail: <sup>1</sup>tokmakova\_ln@ukr.net, <sup>2</sup>alla.trepach@ukr.net, <sup>3</sup>shevchenkolyubov@ukr.net, <sup>4</sup>irina8117@ukr.net, <sup>5</sup>lepekhae@ukr.net, <sup>6</sup>nadia546@ukr.net

### Assimilation of phosphorus by plants of corn at presence of phosphate mobilizing bacteria

**The purpose.** To study action of phosphate mobilizing bacteria on the level of assimilation of phosphorus by plants of corn at cultivation on leached chernozem. **Methods.** Field, microbiological, biochemical, agrochemical, statistical. **Results.** They determined in dynamics amount of phosphate mobilizing bacteria capable to dissolve minerals-phosphates of insoluble complexes with cations of  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Fe}^{+++}$ ,  $\text{Al}^{+++}$  and bacteria which hydrolyze organic forms of phosphate, phosphatase activity of rhizosphere soil, level of assimilation of phosphorus by

plants of corn at action of bacterization of seeds. It is fixed the following: amount of bacteria which dissolve  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  increased from 12,7 (in control) up to 27,5 millions/g of soil (in alternative with *Agrobacterium radiobacter* 5006),  $\text{AlPO}_4$  — from 9,2 (in control) up to 17,9 millions/g of soil (in alternative with *A. radiobacter* 5006),  $\text{FePO}_4$  — from 8,9 (in control) up to 17,3 millions/g of soil (at action of *Enterobacter aerogenes* 3271), and bacteria which hydrolyze organic forms of phosphate — from 12,7 (in control) up to 29,5 millions/g of soil (in alternative with *Basillus sp.* 2473). The highest phosphatase activity was observed at action of *Basillus sp.* 2473 — 4,34 accordingly at indexes of control of 2,84 mg  $\text{P}_2\text{O}_5/100$  g of soil/hour. **Conclusions.** Bacterization of seeds of corn by active strains of

phosphate mobilizing bacteria *A. radiobacter* 5006, *Paenibacillus polymyxa* KV, *Bacillus sp.* 2473, *E. aerogenes* 3271, *E. nimipressuralis* 5213 promotes increase of: amount of bacteria converting joints of phosphorus, phosphatase activity and level of mobility of phosphates in root zone, that positively influences phosphorous nutrition of plants. Biological factor of intensification of root nutrition of plants ensures increase of content of phosphorus in grain on 0,08-0,14%, as well as its removal with yield of crop on 24,8-35,9% concerning control.

**Key words:** phosphorus, corn, level of mobility of phosphates, phosphate mobilizing bacteria, leached chernozem.

**DOI:** <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201907-02>

## Бібліографія

1. Носко Б.С. Сучасні проблеми фосфору в землеробстві і шляхи їх розв'язання. *Вісник аграрної науки*. 2017. № 6. С. 5–12.
2. Abel S., Ticconi C.A., Delatorre C.A. Phosphate sensing in higher plants. *Physiol. Plant*. 2002. V. 115. P. 1–8.
3. 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.
4. 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.* 2005. V. 28. P. 191–201. doi:org/10.1016/j.apsoil.2004.09.01
5. Волкогон В.В., Надкернична О.В., Токмакова Л.М. та ін. Експериментальна ґрунтова мікробіологія: монографія; за ред. В.В. Волкогона. Київ: Аграрна наука, 2010. 464 с.
6. Якість ґрунту. Визначення рухомих сполук фосфору за методом Карпінського–Зам'ятної в модифікації ННЦ ІГА ім. О.Н. Соколовського: ДСТУ 4727–2007. [Чинний від 2008-01-01]. Київ: Держспоживстандарт України, 2008. 9 с.
7. Чириков Ф.В. Агрохимия калия и фосфора. Москва: Гос. изд. с.-х. литературы, 1956. 462 с.
8. Мікробні препарати в сучасних аграрних технологіях (науково-практичні рекомендації); за ред. В.В. Волкогона. Київ, 2015. 248 с.
9. Хазиев Ф.Х. Системно-екологический анализ ферментативной активности почв. Москва: Наука, 1982. 203 с.
10. Котелев В.В., Мехтиева Е.А., Смирнов В.И. Влияние некоторых факторов на фосфатазную активность почвенных микроорганизмов. *Использование микроорганизмов в народном хозяйстве*. 1964. Вып. 1. С. 3–17.
11. Павлова В.Ф., Горская О.И. Влияние *Agrobacterium radiobacter* на фосфорное питание растений. *Бюл. ВНИИСХМ*. 1987. № 47. С. 26–28.
12. Карпинский Н.П., Глазунова Н.М. Изменение степени подвижности почвенных фосфатов в длительных микрополевых опытах при внесении фосфорных удобрений. *Агрохимия*. 1993. № 9. С. 3.