

**МІКРОБІОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ  
БІОКОМПОСТУВАННЯ ГНОЮ  
ВРХ З ФОСФОРИТАМИ ЗА УЧАСТІ  
ФОСФАТМОБІЛІЗУВАЛЬНИХ БАКТЕРІЙ**

**Гаценко М.В., Волкогон В.В., Токмакова Л.М.,  
Луценко Н.В.**

Інститут сільськогосподарської мікробіології УААН,  
вул. Шевченка, 97, м. Чернігів, 14027, Україна  
E-mail: mgatsenko@ukr.net

*Із вермикомпосту ізольовано активні штами мікроорганізмів, здатні мобілізувати фосфор із його важкорозчинних сполук. В угрупованні фосфатмобілізувальної мікробіоти біогумусу переважають представники роду Pseudomonas. Відібрано штами Pseudomonas sp. 17 і Pseudomonas sp. 22, які сприяють вивільненню найбільшої кількості водорозчинних сполук фосфору при вермикомпостуванні органіки, збагаченої фосфоритами. Показано залежність вмісту водорозчинних фосфатів від розвитку фосфатмобілізувальних мікроорганізмів у процесі вермикомпостування.*

*Ключові слова: фосфатмобілізувальні мікроорганізми, біогумус, гній великої рогатої худоби (ВРХ), вермикомпостування, фосфорити, водорозчинні сполуки фосфору.*

У сучасному сільськогосподарському виробництві існує проблема забезпечення ґрунтів фосфорними добривами, що обумовлено, з одного боку, високою вартістю імпортової сировини для їх виробництва, з іншого – низьким вмістом  $P_2O_5$  у вітчизняних фосфоритах, що практично унеможлиблює їх використання як сировини для одержання добрив. За цих умов особливого значення набувають альтернативні технології збагачення ґрунтів доступними для рослин сполуками фосфору. Перспективним напрямом може бути отримання компостів, збагачених місцевими фосфоритами, за участю селекціонованих фосфатмобілізувальних мікроорганізмів. Але на сьогодні залишається не вивченим питання складу та особливостей розвитку фосфатмобілізувальної мікробіоти у вермикомпості, збагаченому фосфоритами.

Тому метою представленої роботи є скринінг активних штамів, залучення яких до компостування гною ВРХ, збагаченого

фосфоритами, впливає на зростання вмісту водорозчинних фосфатів.

**Матеріали і методи.** Мікроорганізми, здатні вплинути на розчинність трикальційфосфату, ізолювали з вермикомпосту. Ідентифікацію бактерій здійснювали за визначником бактерій Берджі [14] та оригінальними роботами [11].

Інтенсивність розчинення мікроорганізмами  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  у живильному середовищі визначали методом Ердеї [5].

Скринінг активних штамів фосфатмобілізувальних бактерій проводили згідно з існуючими вказівками на агаризованому середовищі Муромцева такого складу, г/л: глюкоза – 10,0; аспарагін – 1,0;  $\text{K}_2\text{SO}_4$  – 0,2;  $\text{MgSO}_4 \times 7 \text{H}_2\text{O}$  – 0,2; агар-агар – 10,0;  $\text{CaCl}_2 \times \text{H}_2\text{O}$  – 3,3;  $\text{Na}_3\text{PO}_4 \times 12 \text{H}_2\text{O}$  – 3,8; кукурудзяний екстракт – 0,02 %; рН 7,0 [6]. Чисельність у компостах фосфатмобілізувальних мікроорганізмів вивчали чашковим методом на агаризованому середовищі Муромцева при внесенні ортофосфату і гліцерофосфату [4, 12].

Вміст загального фосфору в гної та компостах визначили фотометрично ванадієво-молібдатним методом із попереднім спалюванням 1 г компосту з концентрованою кислотою і селеном у присутності перекису водню як каталізатора [5]. Вміст мінерального водорозчинного фосфору в компості визначали за відповідними ГОСТами [8, 9]. Кількість органічного фосфору в компостах досліджували при визначенні фракційного складу фосфорних сполук за методом Соколова [1].

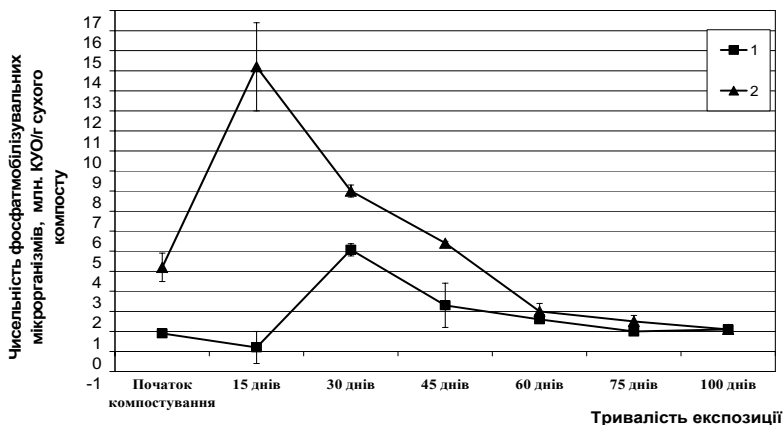
Вивчення впливу активних фосфатмобілізувальних бактерій на ступінь розчинності фосфоритів в умовах компостування здійснювали в модельних дослідах. Для компостування використовували чотири компоненти: гній ВРХ, фосфоритне борошно, активні фосфатмобілізувальні мікроорганізми та вермикультуру.

Бактерії вирощували в умовах періодичної культури на живильному середовищі наступного складу: м'яса – 2 %; кукурудзяний екстракт – 2 %; вода – 96 %; рН 7,0.

Компостування проводили, підтримуючи вологість субстрату на рівні 70 % і перемішуючи один раз у два тижні.

**Результати та їх обговорення.** Для вирішення поставленого завдання досліджували динаміку чисельності фосфатмобілізувальної мікробіоти біогумусу під час компостування гною ВРХ за участю каліфорнійського гібриду дощового черв'яка.

Розвиток фосфатмобілізувальних мікроорганізмів при вермикомпостуванні характеризується зростанням їх чисельності на початковому етапі і поступовим зниженням по мірі збільшення тривалості експозиції (рис. 1). Особливістю динаміки чисельності фосфатмобілізувальних мікроорганізмів біогумусу є те, що на початку компостування спостерігається стрімкий розвиток мікроорганізмів, що розчиняють орґанофосфати, а зі зменшенням їх кількості зростає чисельність бактерій, які розчиняють мінеральні форми фосфатів. Цю особливість, ймовірно, можна пояснити наявністю в орґанічних сполуках гною фосфатних груп, які обумовлюють розвиток мікрофлори, що мінералізує орґанофосфати. Так, відомо, що розчинення орґанічних сполук фосфору досягається, крім зміни рН розчину, хелатуванням катіонів, які входять до складу нерозчинних сполук фосфору (в тому числі і продуктів метаболізму мікроорганізмів), також і гідролізом орґанофосфатів позаклітинними ферментами мікроорганізмів (фосфатазами – вузько спеціалізованими до субстрату ферментами: нуклеазами, нуклеопротеазами, фітазами тощо) [13]. Показниками інтенсивності мікробіологічних процесів мобілізації фосфорорґанічних сполук можуть бути чисельність мікроорганізмів, які мінералізують орґанофосфати, та рівень активності дефосфорилуючих ферментів [7].



1 – мікроорганізми, що розчиняють мінеральні форми фосфатів;  
 2 – мікроорганізми, що розчиняють орґанічні форми фосфатів.

Рис. 1. Розвиток фосфатмобілізувальних мікроорганізмів у процесі вермикомпостування

По мірі мінералізації органофосфатів чисельність бактерій цієї групи зменшується. Натомість спостерігається (через 30 днів компостування) розвиток бактерій, здатних до розчинення мінеральних форм фосфатів.

Поступова трансформація важкорозчинних сполук фосфору у лабільні обумовлює зниження чисельності мікроорганізмів, що розчиняють як органічні, так і мінеральні форми фосфору. Тому відбір фосфатмобілізуювальних бактерій найдоцільніше проводити протягом першого місяця вермикомпостування.

Виділені у цей період компостування штами мікроорганізмів, що розчиняють фосфати, найповніше відображають склад фосфатмобілізуювальної мікробіоти біогумусу. Результати проведених досліджень свідчать, що угруповання фосфатмобілізуювальних мікроорганізмів даного субстрату представлено бактеріями з родів *Pseudomonas* (47 %), *Bacillus* (28 %), *Enterobacter* (18 %), *Alcaligenes* (2,4 %), *Flavobacterium* (2,4 %). Отже, серед них домінували представники роду *Pseudomonas*.

У ході досліджень виділено 120 ізолятів фосфатмобілізуювальних мікроорганізмів. З метою одержання активних штамів вивчали їх здатність розчиняти ортофосфат кальцію у живильному середовищі. Отримані результати демонструють, що серед мікроорганізмів, здатних до активного кислотного розщеплення фосфатів, домінують представники родів *Pseudomonas* і *Bacillus*.

Виходячи з інтенсивності розчинення  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  у живильному середовищі, відібрано найактивніші штами фосфатмобілізуювальних бактерій *Pseudomonas sp.* 3, *Pseudomonas sp.* 6, *Pseudomonas sp.* 10, *Pseudomonas sp.* 11, *Pseudomonas sp.* 12, *Pseudomonas sp.* 14, *Pseudomonas sp.* 15, *Pseudomonas sp.* 17, *Pseudomonas sp.* 22, *Pseudomonas sp.* 29, *Pseudomonas sp.* 42, *Pseudomonas sp.* 54, *Pseudomonas sp.* 59, *Bacillus sp.* 4, *Enterobacter sp.* 2.

Найвищі показники розчинення фосфатів демонструють представники роду *Pseudomonas*. Але не виключено, що інтродуковані у компости бактерії родів *Bacillus* і *Enterobacter* можуть проявити кращу здатність до розчинення фосфоритів, ніж *Pseudomonas sp.* Тому є необхідність у дослідженні особливостей розчинення фосфоритів у вермикомпостах залежно від інтродукованого мікроорганізму.

З цією метою проводили два модельні досліди з вермикомпостування органіки, збагаченої фосфоритами, за участі

фосфатмобілізувальних мікроорганізмів. До схеми модельного досліджу № 1, який проводили в 2006 році, включали найактивніші селекціоновані фосфатмобілізувальні бактерії (*Pseudomonas sp.* 3, 6, 10, 11, 12, 14, *Enterobacter sp.* 02 і *Bacillus sp.* 4) та 6 штамів (*Bacillus sp.* 2473, *Achromobacter album* 1122, *Paenibacillus polymyxa* KB, *Rizobium radiobacter* 5006, *Alcaligenes sp.* 5025, *Enterobacter sp.* 5213) з Національної колекції корисних мікроорганізмів (Інститут сільськогосподарської мікробіології УААН). Останні виділені з ризосферного ґрунту різних сільськогосподарських культур як активні фосфатмобілізувальні бактерії.

Як свідчать одержані результати (табл. 1), вміст розчинних форм фосфатів інтенсивно зростає протягом терміну експозиції навіть у контрольному варіанті (без додавання бактерій). Вірогідно, що на цей показник могли вплинути як зміни хімічного складу субстрату, так і інтенсивний розвиток мікроорганізмів ґною в умовах активного розвитку вермикультури. Інтродукція активних штамів фосфатмобілізувальних бактерій сприяла позитивним змінам показників порівняно з контролем. Проте стабільне і достовірне збільшення розчинного  $P_2O_5$  упродовж терміну компостування спостерігалось лише за внесення *Pseudomonas sp.* 10 і склало 12,21 % мінерального водорозчинного  $P_2O_5$  від загального внесеного через 35 днів компостування і 17,57 % – через 100 днів експозиції. При інтродукції до субстрату *Pseudomonas sp.* 11, *Pseudomonas sp.* 14, *Alcaligenes sp.* 5025, *Enterobacter sp.* 02 спостерігали достовірні зміни показників лише в окремі терміни експозиції, але наприкінці компостування в цих варіантах відмічено зниження вмісту лабільного  $P_2O_5$ , що, ймовірно, обумовлено розвитком процесу іммобілізації. У досліджах встановлено, що селекціоновані штами були активнішими за бактерії з колекції. Вірогідно, це можна пояснити більшою адаптованістю перших до використаного в досліджах субстрату. Колекційні штами бактерій були ізолювані з ризосферного ґрунту культурних рослин і активно розвиваються саме в цих екологічних нішах. Розвиток їх у ґноі може обмежуватися низкою чинників.

Таким чином, штам *Pseudomonas sp.* 10 є найперспективнішим серед досліджених, у той час як штами, виділені з ризосферного ґрунту різних сільськогосподарських культур, не забезпечують достовірного і стабільного зростання вмісту водорозчинних форм фосфору у субстраті.

**Таблиця 1. Вплив фосфатмобілізувальних бактерій на ступінь розчинення фосфатів у вермикомпості**

| Варіанти дослідів                                | Розчинний P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , % від загального |                    |                    |                     |
|--|--|--------------------|--------------------|---------------------|
|  | 30 днів експозиції   | 50 днів експозиції | 65 днів експозиції | 100 днів експозиції |
| Контроль (компостування без добавлення бактерій) | 10,98  | 12,29              | 14,14              | 16,13               |
| Компостування за участі:                         |  |                    |                    |                     |
| <i>Pseudomonas sp. 3</i>                         | 10,29  | 11,66              | 12,91              | 14,89               |
| <i>Pseudomonas sp. 6</i>                         | 11,11  | 13,18*             | 15,03*             | 15,44               |
| <i>Pseudomonas sp. 10</i>                        | 12,21*   | 13,31*             | 16,89*             | 17,57*              |
| <i>Pseudomonas sp. 11</i>                        | 11,60  | 13,11*             | 14,96*             | 15,17               |
| <i>Pseudomonas sp. 12</i>                        | 11,05  | 12,29              | 14,01              | 14,48               |
| <i>Pseudomonas sp. 14</i>                        | 12,29*   | 12,43              | 14,41              | 14,96               |
| <i>Enterobacter sp. 02</i>                       | 12,08*   | 12,36              | 15,03*             | 15,72               |
| <i>Bacillus sp. 4</i>                            | 10,71  | 12,08              | 13,04              | 15,03               |
| <i>Bacillus sp. 2473</i>                         | 10,91  | 13,79*             | 14,34              | 15,93               |
| <i>Achromobacter album 1122</i>                  | 10,43  | 12,08              | 12,36              | 15,51               |
| <i>Paenibacillus polymyxa KB</i>                 | 10,91  | 12,63              | 13,19              | 14,96               |
| <i>Rizobium radiobacter 5006</i>                 | 10,50  | 11,88              | 12,56              | 15,38               |
| <i>Alcaligenes sp. 5025</i>                      | 10,50  | 13,46*             | 13,66              | 16,19               |
| <i>Enterobacter sp. 5213</i>                     | 11,11  | 12,01              | 12,63              | 16,41               |
| НІР <sub>05</sub>                                | 0,86   | 0,88               | 0,98               | 1,04                |

Примітка: \* – достовірно відмінні від контролю показники.

До схеми модельного дослідів № 2 (2008 рік) включили селекціоновані штами фосфатмобілізувальних бактерій, а саме: *Pseudomonas sp. 10, 12, 15, 17, 22, 42, 54, 59*. Як свідчать одержані результати, внесення бактеріальних суспензій до гною ВРХ з фосфоритним борошном забезпечило різний вплив мікроорганізмів на процеси трансформації фосфору (табл. 2). Так, наприкінці компостування у всіх варіантах відбулося зростання кількості мінеральних водорозчинних форм фосфатів у порівнянні з його початковим вмістом. Компостування органіки за участю штамів *Pseudomonas sp. 17* та *Pseudomonas sp. 22* сприяло достовірному збільшенню вмісту цієї форми фосфатів у порівнянні з контролем

(компостування без додавання бактерій). Інтродукція до компосту штаму *Pseudomonas sp. 17* забезпечила зростання мінерального водорозчинного фосфору на 25,3 % у порівнянні з контролем, а *Pseudomonas sp. 22* – на 22,1 %. Низькі показники вмісту мінерального водорозчинного  $P_2O_5$  на початку компостування можна пояснити активним розвитком фосфатмобілізуювальних мікроорганізмів і, відповідно, його іммобілізацією. Про це свідчать і результати кореляційного аналізу (рис. 2, 3).

**Таблиця 2. Динаміка вмісту мінеральних водорозчинних фосфатів у вермикомпості в залежності від інтродукованого мікроорганізму**

| Варіанти дослідів                               | Вміст мінеральних водорозчинних фосфатів, мг/кг |                    |                     |
|---|---|--------------------|---------------------|
|   | 35 днів експозиції                              | 80 днів експозиції | 120 днів експозиції |
| Контроль (компостування без додавання бактерій) | 2887,5±23,1                                     | 3004,65±15,12      | 3288,4±22,9         |
| Компостування за участі:                        |   |                    |                     |
| <i>Pseudomonas sp. 10</i>                       | 2892,4±25,8                                     | 3021,1±17,2        | 3471,6±12,9         |
| <i>Pseudomonas sp. 12</i>                       | 2620,2±15,7                                     | 3055,8±16,2        | 2918,8±27,8         |
| <i>Pseudomonas sp. 15</i>                       | 2471,7±28,8                                     | 3022,8±16,5        | 2932,0±20,1         |
| <i>Pseudomonas sp. 17</i>                       | 2684,5±12,9                                     | 3090,4±33,0        | 4120,1±76,5         |
| <i>Pseudomonas sp. 22</i>                       | 2600,4±15,7                                     | 3072,3±20,7        | 4017,8±21,5         |
| <i>Pseudomonas sp. 42</i>                       | 2532,7±36,0                                     | 3133,3±10,0        | 2904,0±10,0         |
| <i>Pseudomonas sp. 54</i>                       | 2618,5±15,9                                     | 3224,1±9,2         | 3045,9±30,3         |
| <i>Pseudomonas sp. 59</i>                       | 2178,0±14,8                                     | 2887,5±33,9        | 2730,6±38,2         |

Примітка: Вміст мінеральних водорозчинних фосфатів у вихідному субстраті (гній ВРХ) складав 2922,1±18,6 мг/кг.

Так, зростання чисельності фосфатмобілізуювальних мікроорганізмів спричиняє зниження вмісту мінеральних водорозчинних сполук фосфору. Така залежність є оберненою, а коефіцієнт кореляції – сильний і складає для кореляційної залежності вмісту мінерального водорозчинного  $P_2O_5$  у компості від чисельності мікроорганізмів, що розчиняють органічні

фосфати,  $-0,760$ , а кореляційна залежність вмісту мінерального водорозчинного  $P_2O_5$  у компості від чисельності мікроорганізмів, які розчиняють мінеральні фосфати,  $-0,821$ .

Кореляційний аналіз також показав відсутність залежності вмісту органічного водорозчинного  $P_2O_5$  від чисельності фосфатмобілізувальних мікроорганізмів на початку компостування – коефіцієнт кореляції слабкий і складає  $-0,20$ .

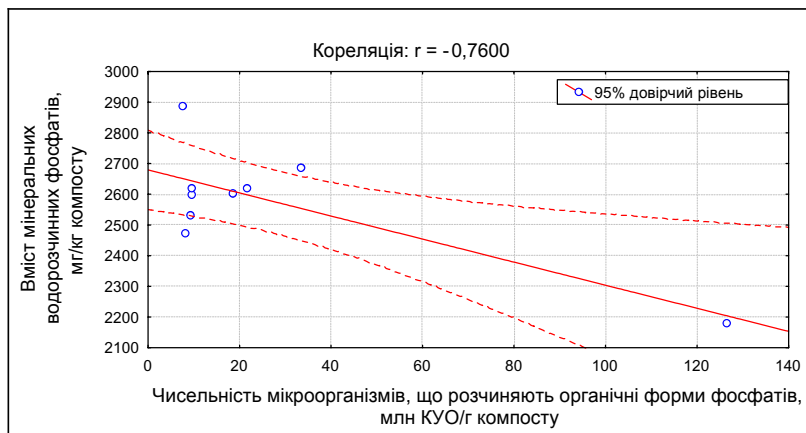


Рис. 2. Кореляційна залежність вмісту мінерального водорозчинного  $P_2O_5$  у компості від чисельності мікроорганізмів, що розчиняють органічні форми фосфатів

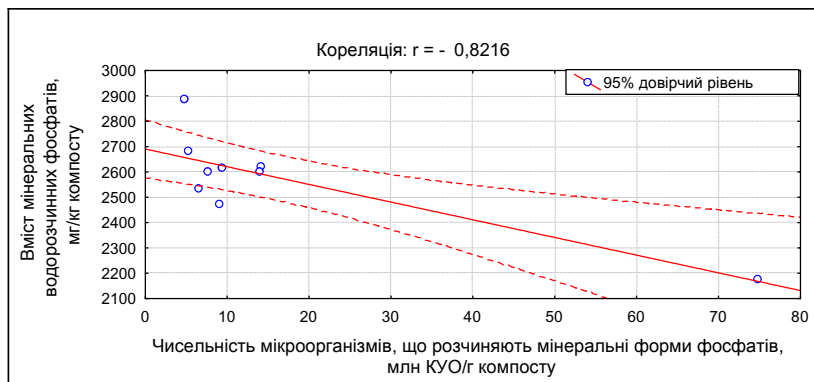


Рис. 3. Кореляційна залежність вмісту мінерального водорозчинного  $P_2O_5$  у компості від чисельності мікроорганізмів, що розчиняють мінеральні форми фосфатів



Варто відмітити, що на початку компостування залежність вмісту мінерального водорозчинного  $P_2O_5$  у компості є найбільшою при застосуванні бактеріальних штамів, що проявили високу активність щодо розчинення ортофосфату у чистій культурі (в лабораторному досліді). Результати кореляційного аналізу показали, що при компостуванні за участі штамів фосфатмобілізувальних мікроорганізмів, які мають лабораторну активність розчинення трикальційфосфату від 50 до 60 мг  $P_2O_5/100$  мл живильного середовища (а саме *Pseudomonas sp.* 15, *Pseudomonas sp.* 22, *Pseudomonas sp.* 42, *Pseudomonas sp.* 54) прослідковуються найвищі показники розчинності фосфоритів протягом першого місяця компостування, тоді як штами з вищими показниками активності розчинності ортофосфату кальцію (більше 60 мг  $P_2O_5/100$  мл) мають не такий помітний вплив на вивільнення мінеральних водорозчинних сполук фосфору в умовах компостування. Тобто, залежність є оберненою, а коефіцієнт кореляції складає  $-0,589$ . Поступове зниження залежності між цими показниками можна пояснити дією інших факторів, зокрема таких, як трансформація фосфатів і органічної речовини та особливості суцесії фосфатмобілізувальної мікробіоти компосту.

Одержані результати також свідчать, що скринінг активних фосфатмобілізувальних бактерій з метою їх подальшої інтродукції в компости, недостатньо обмежувати лише показниками фосфатрозчинної активності в рідкому живильному середовищі. На виробничі показники (кількість водорозчинних фосфатів у компості) може вплинути комплекс інших чинників, зокрема, інтенсивність розвитку бактерій у гної та ін.

У всіх варіантах досліді інокуляція субстратів сприяла збільшенню вмісту органічних водорозчинних форм фосфору у порівнянні з контролем (табл. 3).

Найвищим цей показник є у варіантах із застосуванням *Pseudomonas sp.* 17 та *Pseudomonas sp.* 22. Але вміст органічного фосфору, на противагу мінеральному його формам, є максимальним через 35 днів компостування. Так, при інтродукції штаму *Pseudomonas sp.* 17 вміст органічного водорозчинного  $P_2O_5$  складає 2211,1 мг/кг компосту, що на 68,8 % більше, ніж при компостуванні без додавання бактерій. При компостуванні за участі *Pseudomonas sp.* 22 цей показник дорівнює 2192,5 мг/кг компосту (67,2 % до контролю).

**Таблиця 3. Динаміка вмісту органічних водорозчинних фосфатів у вермикомпості в залежності від інтродукованого мікроорганізму**

| Варіанти досліджу                               | Вміст органічних водорозчинних фосфатів, мг/кг |                    |                     |
|---|--|--------------------|---------------------|
|   | 35 днів експозиції                             | 80 днів експозиції | 120 днів експозиції |
| Контроль (компостування без додавання бактерій) | 1310,8±135,9                                   | 158,8±130,2        | 146,6±48,2          |
| Компостування за участі:                        |  |                    |                     |
| <i>Pseudomonas sp. 10</i>                       | 1452,7±113,1                                   | 296,4±15,4         | 542±88,5            |
| <i>Pseudomonas sp. 12</i>                       | 1959,8±116,4                                   | 137,0±30,5         | 560,2±6,0           |
| <i>Pseudomonas sp. 15</i>                       | 1990,9±55,8                                    | 118,6±27,8         | 532,3±42,9          |
| <i>Pseudomonas sp. 17</i>                       | 2211,1±117,7                                   | 381,2±85,9         | 672,8±136,0         |
| <i>Pseudomonas sp. 22</i>                       | 2192±142,8                                     | 318,7±57,1         | 613,6±39,8          |
| <i>Pseudomonas sp. 42</i>                       | 1357,3±80,6                                    | 712,7±182,8        | 868,6±115,5         |
| <i>Pseudomonas sp. 54</i>                       | 2049,5±107,5                                   | 394,4±101,0        | 734±34,5            |
| <i>Pseudomonas sp. 59</i>                       | 1961,6±120,2                                   | 877,8±118,3        | 1203,5±77,0         |

Примітка: Вміст органічних водорозчинних фосфатів у вихідному субстраті (гній ВРХ) складає 505,5±144,8 мг/кг.

Це обумовлено особливостями розвитку інтродукованих мікроорганізмів (табл. 3 і 4, рис. 4). Висока чисельність фосфатмобілізуювальних мікроорганізмів на початку досліджу та їх відмирання через 35 днів експозиції зумовлює низький вміст мінеральних водорозчинних форм фосфатів і високий – органічного фосфору. Проте на кінцевому етапі вермикомпостування спостерігається додаткове вивільнення розчинних мінеральних фосфатів.

Крім зазначених штамів (№№ 17 і 22) також варто відмітити *Pseudomonas sp. 59*. Саме за його інтродукції до вермикомпосту спостерігаються високі показники вмісту органічних водорозчинних фосфатів протягом усього терміну компостування. Це можна пояснити активним розвитком інтродукованого мікроорганізму (табл. 4). Так, зокрема, інюляція субстрату штамом *Pseudomonas sp. 59* сприяла зростанню чисельності фосфатмобілізуювальних мікроорганізмів у порівнянні з контролем протягом всього терміну компостування.

**Таблиця 4. Динаміка чисельності фосфатмобілізувальних мікроорганізмів при вермикомпостуванні в залежності від інтродукованого мікроорганізму**

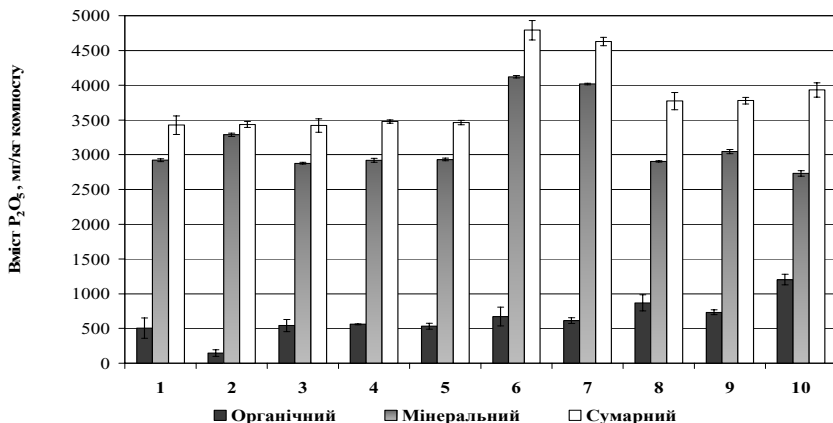
| Варіанти дослідів                                 | Чисельність мікроорганізмів, що розчиняють мінеральні форми фосфатів, млн/г сух. компосту |                    |                     | Чисельність мікроорганізмів, що розчиняють органічні форми фосфатів, млн/г сух. компосту |                    |                     |
|---|---|--------------------|---------------------|--|--------------------|---------------------|
|   | 35 днів експозиції  | 80 днів експозиції | 120 днів експозиції | 35 днів експозиції   | 80 днів експозиції | 120 днів експозиції |
| Контроль (компостування без додавання бактерій)   | 4,7±0,7   | 2,2±0,4            | 1,4±0,2             | 7,6±1,5  | 1,5±0,1            | 1,4±0,2             |
| Компостування за участі <i>Pseudomonas sp.</i> 17 | 14,0±3,4  | 18,4±2,3           | 9,7±1,2             | 33,4±4,1   | 16,2±2,1           | 12,3±2,0            |
| Компостування за участі <i>Pseudomonas sp.</i> 59 | 74,7±8,6  | 28,9±3,1           | 29,0±3,0            | 126,4±13,5   | 28,7±2,7           | 23,3±3,2            |

Примітка: У вихідному субстраті (гній ВРХ) чисельність мікроорганізмів, що розчиняють мінеральні форми фосфатів, складала 22,8±2,6 млн/г сухого компосту; чисельність мікроорганізмів, що розчиняють органічні форми фосфатів, – 24,3±5,5 млн/г сухого компосту.

Серед мікроорганізмів, які сприяли збільшенню вмісту як органічних водорозчинних фосфатів, так і мінеральних сполук фосфору, слід виділити штами *Pseudomonas sp.* 17 та *Pseudomonas sp.* 22. Так, застосування *Pseudomonas sp.* 17 забезпечує зростання на кінцевому етапі компостування (рис. 4) водорозчинних форм фосфатів від 3435,0 мг/кг у контрольному компості до 4792,9 мг/кг – в експериментальному, що складає 39,5 %, а штаму *Pseudomonas sp.* 22 – до 4631,4 мг/кг (34,8 %). Щодо штаму *Pseudomonas sp.* 59, то його інтродукція до компостованого субстрату зумовлює зростання загального водорозчинного фосфору в компості на 14 %

(3934,1 мг/кг в експериментальному компості проти 3435,0 мг/кг – у контрольному субстраті).

Саме ці штами серед досліджених можемо вважати активними мікроорганізмами, які здатні суттєво вплинути на розчинність фосфоритного борошна в умовах вермикомпостування.



1 – гній (вихідний субстрат); 2 – контроль (компостування без додавання бактерій); компостування за участі: 3 – *Pseudomonas sp. 10*; 4 – *Pseudomonas sp. 12*; 5 – *Pseudomonas sp. 15*; 6 – *Pseudomonas sp. 17*; 7 – *Pseudomonas sp. 22*; 8 – *Pseudomonas sp. 42*; 9 – *Pseudomonas sp. 54*; 10 – *Pseudomonas sp. 59*.

Рис. 4. Вплив фосфатмобілізуючих бактерій на ступінь розчинення фосфатів у вермикомпості на кінцевому етапі компостування

Таким чином, у ході досліджень з'ясовано особливості розвитку фосфатмобілізуючих мікроорганізмів у вермикомпості, які зводяться до стрімкого розвитку мікроорганізмів, які розчиняють ортофосфати, на початку компостування, а зі зменшенням їх кількості – зростання чисельності мікроорганізмів, що розчиняють мінеральні фосфати. Склад фосфатмобілізуючої мікробіоти вермикомпосту представлений бактеріями родів *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Enterobacter*, *Alcaligenes* та ін., серед яких найактивнішими у розщепленні ортофосфату кальцію у живильному середовищі виявилися представники родів *Pseudomonas* і *Bacillus*. Встановлено обернену залежність вмісту мінерального водорозчинного фосфору в компості від чисельності фосфатмобілізуючої мікробіоти на початку компостування. При вермикомпостуванні органіки,

збагаченої фосфоритами, за участю активних фосфатмобілізувальних бактерій найкращими показниками щодо впливу на вивільнення фосфатів характеризувалися штами *Pseudomonas sp.* 17 та *Pseudomonas sp.* 22. Інтродукція їх до субстрату забезпечила зростання водорозчинних форм фосфору на 34,8-39,5 %.

1. Агрохімічний аналіз /[Городній М.М., Лісовал А.П., Бикін А.В. та ін.]; за ред. М.М. Городнього. – [2-ге вид.]. – К.: Арістей, 2005. – 476 с.

2. Базаревский С.Д. К вопросу о мобилизации фосфорной кислоты под влиянием деятельности микробов /С.Д. Базаревский. – М.: Мысль, 1916.

3. Беттхер К. Исследования лецитиназной активности у некоторых почвенных споровых бактерий /Беттхер К. //Микробиол. – 1961. – Т. 30, Вып. 4. – С. 673-678.

4. Звягинцев Д.Т. Методы почвенной микробиологии и биохимии /Д.Т. Звягинцев. – М.: Изд-во МГУ, 1980. – 224 с.

5. Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения содержания фосфора: ГОСТ 26657-85. – [Введен от 1987-07-01]. – М.: Изд-во стандартов, 1986. – 12 с.

6. Методические указания по выделению микроорганизмов, растворяющих труднодоступные минеральные и органические соединения фосфора. – Л., 1981. – 17 с.

7. Муромцев Г.С. О растворении солей фитиновой кислоты почвенными микроорганизмами /Муромцев Г.С., Самойлова Т.С. //Докл. ВАСХНИЛ. – 1975. – № 3. – С. 18-19.

8. Почвы тепличные. Метод определения водорастворимого фосфора: ГОСТ 27753.5-88. – [Введен от 1990-01-01]. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 79 с.

9. Почвы тепличные. Метод приготовления водной вытяжки: ГОСТ 27753.2-88. – [Введен от 1990-01-01]. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 79 с.

10. Северин С.А. Мобилизация почвенной фосфорной кислоты под влиянием жизнедеятельности бактерий /Северин С.А. //Вестн. бактериологоагрономической станции. – 1910. – № 17. – С. 100-123.

11. Смирнов В.В. Бактерии рода *Pseudomonas* /Смирнов В.В., Киприанова Е.А. – К.: Наук. думка, 1990. – 264 с.

12. Теппер Е.З. Практикум по микробиологии: учебное пособие [для вузов] /Е.З. Теппер, В.К. Шильникова, Г.И. Переверзева. – М.: Дрофа, 2005. – 256 с.

13. Хадиев Ф.Х. Ферментативная активность почв /Ф.Х. Хадиев. – М.: Наука, 1976. – 180 с.

14. Bergey's Manual of Systematic Bacteriology, second edition. – Vol. 2 (The Proteobacteria), part C (The Alpha-, Beta-, Delta-, and Epsilonproteobacteria). – Springer New York, 2005 – P. 438.

15. Erdey L. Colorimetric determination small quantity phosphates /Erdey L., Fleps V., Bodor E. //Acta chimica academiae scientiarum Hungaricae. – 1954. – Vol. 5, № 1. – S. 65-80.

## **МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ БИОКОМПОСТИРОВАНИЯ НАВОЗА КРС С ФОСФОРИТАМИ ПРИ УЧАСТИИ ФОСФАТМОБИЛИЗИРУЮЩИХ БАКТЕРИЙ**

**Гаценко М.В., Волкогон В.В., Токмакова Л.М.,  
Луценко Н.В.**

Институт сельскохозяйственной микробиологии УААН,  
г. Чернигов

*Из вермикомпоста изолированы активные штаммы микроорганизмов, способные мобилизовать фосфор из трудно-растворимых соединений. В сообществе фосфатмобилизирующей микробиоты биогазуса преобладают представители рода Pseudomonas. Отобраны штаммы Pseudomonas sp. 17 и Pseudomonas sp. 22, которые способствуют освобождению наибольшего количества водорастворимых фосфатов при вермикомпостировании органики, обогащенной фосфоритами. Показана зависимость содержания водорастворимых фосфатов от развития фосфатмобилизирующих микроорганизмов в процессе вермикомпостирования.*

Ключевые слова: *фосфатмобилизирующие микроорганизмы, биогазус, навоз крупного рогатого скота (КРС), вермикомпостирование, фосфориты, фосфоритная мука, водорастворимые соединения фосфора.*

**MICROBIOLOGICAL ASPECTS OF CATTLE MANURE  
BIOCOMPOSTING WITH PHOSPHORITES  
AND PHOSPHATE MOBILIZING BACTERIA**

**Gatsenko M.V., Volkogon V.V., Tokmakova L.M.,  
Lutsenko N.V.**

Institute of Agricultural Microbiology UAAS, Chernihiv

*The active strains of microorganisms mobilizing phosphorus from sparingly soluble compounds were isolated from the vermicompost. Representatives of the genera Pseudomonas had dominated in phosphate mobilizing humus microbiota. The strains Pseudomonas sp. 17 and Pseudomonas sp. 22 capable to release of bigger amount of water-soluble phosphates at vermicomposting of organics with enriched by phosphorites were selected. The dependence of water-soluble phosphates content on the development of phosphorus-mobilizing microorganisms during vermicomposting was shown.*

*Key words: phosphate-mobilizing microorganisms, humus, cattle manure, vermicomposting, phosphorites, ground phosphate rock, water-soluble phosphorus compound.*