



# Землеробство, грунтознавство, агрохімія

УДК 631.46.631.  
445.41:631.84  
© 2023

## КОРЕЛЯЦІЙНІ ЗВ'ЯЗКИ МІЖ ПОКАЗНИКАМИ СТАНУ МІКРОБНОГО ЦЕНОЗУ І ПОТЕНЦІЙНОЇ РОДЮЧОСТІ ЧОРНОЗЕМУ ТИПОВОГО

*Камінський В.Ф.<sup>1</sup>, Малиновська І.М.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>доктор сільськогосподарських наук, професор, академік НААН

<sup>2</sup>доктор сільськогосподарських наук, член-кореспондент НААН

ННЦ «Інститут землеробства НААН»

вул. Машинобудівників, 2б, смт Чабани Фастівського р-ну Київської обл., 08162, Україна

e-mail: <sup>1</sup>kamin.60@ukr.net, <sup>2</sup>irina.malinovskaya.1960@ukr.net

ORCID: <sup>1</sup>0000-0002-9668-6742, <sup>2</sup>0000-0001-5945-2042

Надійшла 28.02.2023

**Мета.** Вивчення закономірностей формування зв'язків між окремими групами мікроорганізмів у чорноземі типовому та показниками його потенційної родючості за вирощування соняшнику із застосуванням різних систем основного обробітку ґрунту та мінерального удобрення. **Методи.** Мікробіологічний, лабораторно-аналітичний, статистичний. Дослідження проводили з використанням ґрунтових зразків стаціонарного досліду з вивчення короткоротаційних сівозмін, закладеному у 2009 р. на Панфільській дослідній станції ННЦ «Інститут землеробства НААН». **Результати.** Із показниками потенційної родючості чорнозему типового корелює чисельність мікроорганізмів багатьох еколого-трофічних, систематичних і функціональних груп, їхня фізіолого-біохімічна активність, напруженість та спрямованість мінералізаційних процесів у ґрунті. Зокрема, чисельність амоніфікаторів корелює з гідролітичною кислотністю ґрунту ( $r = 0,352$ ), сумою увібраних основ ( $r = -0,559$ ), вмістом азоту ( $r = 0,975$ ), калію ( $r = 0,739$ ), гумусу ( $r = 0,837$ ). Кількість КУО (колонієутворювальних одиниць) іммобілізаторів мінерального азоту корелює із сумою увібраних основ ( $r = -0,547$ ), вмістом азоту ( $r = 0,826$ ), калію ( $r = 0,712$ ), гумусу ( $r = 0,777$ ). Чисельність олігонітрофілів має значущі кореляційні зв'язки з рН сольовим ( $r = -0,615$ ), гідролітичною кислотністю ( $r = 0,604$ ), вмістом фосфору ( $r = 0,533$ ), гумусу ( $r = -0,586$ ). Обернений характер зв'язку між чисельністю олігонітрофілів і вмістом гумусу свідчить про основну причину мінералізації гумусу – нестачу в ґрунті сполук азоту. Чисельність азотобактера корелює з гідролітичною кислотністю ґрунту ( $r = -0,539$ ), рН сольовим ( $r = 0,568$ ), сумою увібраних основ ( $r = 0,338$ ), вмістом азоту ( $r = -0,395$ ) та фосфору ( $r = -0,470$ ). Обернений характер

зв'язку з умістом у ґрунті фосфору свідчить про те, що азотобактер не є індикатором забезпечення ґрунту сполуками фосфору. Кількість полісахаридсинтезувальних бактерій не корелює з показниками потенційної родючості ґрунту, за винятком умісту гумусу ( $r = -0,389$ ). Активність мінералізації гумусу корелює з усіма досліджуваними показниками потенційної родючості: гідролітичною кислотністю ( $r = -0,784$ ), рН сольовим ( $r = 0,772$ ), сумою увібраних основ ( $r = 0,887$ ), умістом азоту ( $r = -0,555$ ), фосфору ( $r = 0,788$ ), калію ( $r = 0,588$ ) та гумусу ( $r = -0,760$ ). Сумарна біологічна активність корелює з гідролітичною кислотністю ( $r = 0,363$ ), рН сольовим ( $r = -0,343$ ), сумою увібраних основ ( $r = -0,430$ ), умістом азоту ( $r = 0,655$ ), калію ( $r = 0,424$ ) та гумусу ( $r = 0,625$ ). Загальна чисельність мікроорганізмів корелює з гідролітичною кислотністю ( $r = 0,349$ ), рН сольовим ( $r = -0,303$ ), сумою увібраних основ ( $r = -0,550$ ), умістом азоту ( $r = 0,965$ ), калію ( $r = 0,735$ ) та гумусу ( $r = 0,839$ ). **Висновки.** Аналіз кореляційних зв'язків між показниками стану мікробного ценозу мікроорганізмів і показниками потенційної родючості чорнозему типового показує наявність тісного взаємозв'язку.

**Ключові слова:** мікроорганізми, амоніфікатори, автохтонні, полісахаридсинтезувальні мікроорганізми, гідролітична кислотність, гумус.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202305-01>

Склад мікробного ценозу і його видове різноманіття безпосередньо залежать від фізико-хімічних властивостей ґрунту і, навпаки, властивості ґрунту формуються під впливом мінералізаційних і синтезаційних процесів, що здійснюються ґрунтовою мікробіотою. Однак досліджень цих взаємозв'язків, навіть на суто формальному рівні, у доступному сегменті наукової літератури маємо дуже обмежену кількість [1–5]. Згідно з дослідженнями [1] пасовищні мікробні угруповання мають прямі кореляційні зв'язки з температурою ґрунту ( $r^2 = 0,97$ ), співвідношенням C/N ( $r^2 = 0,95$ ) і вмістом Fe ( $r^2 = 0,77$ ), водночас лісові мікробні угруповання мають прямі кореляційні зв'язки з кислотністю ґрунту (H+Al)<sup>3+</sup> ( $r^2 = 0,87$ ), умістом S ( $r^2 = 0,89$ ), насиченістю основами ( $r^2 = 0,91$ ) і катіонообмінною здатністю ( $r^2 = 0,77$ ). Також встановлено, що кислотність ґрунту (H+Al)<sup>3+</sup>, температура і співвідношення C/N найбільше впливали на склад і різноманіття мікробного ценозу. Кислотність ґрунтового розчину (H+Al)<sup>3+</sup> мала прямі високозначущі зв'язки із чисельністю *Crenarchaeota* ( $r = 0,90$ ), *Nitrospirae* ( $r = 0,87$ ), *Alphaproteobacteria* ( $r = 0,97$ ), *Gemmatimonadetes* ( $r = 0,94$ ), *Chlamydiae* ( $r = 0,91$ ) і *Gammaproteobacteria* ( $r = 0,72$ ),

*Acidobacteria* ( $r = 0,69$ ) й обернені зв'язки — із чисельністю *Deltaproteobacteria* ( $r = -0,82$ ), *Firmicutes* ( $r = -0,78$ ), *Betaproteobacteria* ( $r = -0,92$ ). З іншого боку, температура і співвідношення C/N мали обернені кореляції із зазначеними вище мікробними таксонами. Кислотність ґрунту обернено корелювала з видовим біорізноманіттям ( $r = -0,85$ ) і подібністю угруповань ( $r = -0,88$ ), водночас температура ( $r = 0,82$ ) і співвідношення C/N ( $r = 0,88$ ) позитивно корелювали з видовим біорізноманіттям і подібністю угруповань.

Показано також, що на склад грибного угруповання альпійського лучного ґрунту Тибету вплинули річна температура повітря ( $r^2 = 0,120$ ,  $P = 0,042$ ), рН ґрунту ( $r^2 = 0,150$ ,  $P = 0,015$ ), уміст рухомих сполук фосфору ( $r^2 = 0,186$ ,  $P = 0,008$ ) та органічної речовини ґрунту ( $r^2 = 0,206$ ,  $P = 0,003$ ) [6]. Поглиблений аналіз взаємозв'язків між рН і чисельністю найбільш розповсюджених родин та філотипів мікроміцетів показав, що чисельність *Glomeraceae* і *Glo-7* зменшується зі збільшенням рН ( $r^2 = 0,199$ ,  $P = 0,000$ ;  $r^2 = 0,265$ ,  $P = 0,000$ ), тоді як біорізноманіття зростає зі збільшенням рН ( $r^2 = 0,295$ ,  $P = 0,003$ ).

Однак установлення зв'язків між показниками ґрунту і таксономічними групами мікроорганізмів не дає уявлення про перебіг процесів мінералізації і синтезу в ґрунтах, тому що мікробний метаболізм дуже пластичний, і представники різних таксонів можуть здійснювати, наприклад, мобілізацію фосфатів із нерозчинних форм або денітрифікацію.

**Мета досліджень** — установлення зв'язків між показниками ґрунту і функціональними та еколого-трофічними групами мікроорганізмів, представники яких відповідають у ґрунті за перебіг певних агрономічно значущих процесів.

**Об'єкт досліджень** — процес формування зв'язків між окремими групами мікроорганізмів у складі угруповань чорнозему типового та показниками його потенційної родючості за вирощування соняшнику.

**Матеріали і методи досліджень.** Зразки ґрунту відбирали на Панфільській дослідній станції ННЦ «Інститут землеробства НААН» у стаціонарному досліді з вивчення короткочасних сівозмін, закладеному в 2009 р. на чорноземі типовому малогумусному легкосуглинковому. Об'єктом досліджень були варіанти стаціонарного досліді: 1. No-till-технологія, без добрив (контроль). 2. No-till-технологія,  $N_{30}P_{30}K_{65}$ . 3. No-till-технологія,  $N_{150}P_{100}K_{120}$ . 4. Дискування (мілкий дисковий обробіток на 10–12 см), без добрив. 5. Дискування (мілкий дисковий обробіток на 10–12 см),  $N_{30}P_{30}K_{65}$ . 6. Дискування (мілкий дисковий обробіток на 10–12 см),  $N_{150}P_{100}K_{120}$ . 7. Оранка на 25–27 см, без добрив. 8. Оранка на 25–27 см,  $N_{30}P_{30}K_{65}$ . 9. Оранка на 25–27 см,  $N_{150}P_{100}K_{120}$ . У 2021 р. у досліджуваних варіантах вирощували гібрид соняшнику Тор, попередник — ячмінь ярий. Розмір посівної ділянки —  $25 \times 6 = 150 \text{ м}^2$ , облікової —  $100 \text{ м}^2$ . Повторення досліді — 3-разове, розміщення варіантів і повторень — систематичне.

Відбір і підготовку зразків ґрунту для дослідження мікробіоти в лабораторних умовах проводили згідно з ДСТУ ISO 10381-6-2001. Вологість ґрунту визначали термогравіметричним методом (ДСТУ ISO 11465:2001). Чисельність мікроорганізмів основних еколого-трофічних, функціональних і систематичних груп визначали методом висіву ґрунтової суспензії на відповідні

загальні, селективні та спеціальні поживні середовища в 3-х повтореннях [7, 8]. Кількість колоній підраховували впродовж 21 доби залежно від швидкості росту та фізіологічних особливостей мікроорганізмів певної еколого-трофічної групи. Показники інтенсивності процесів мінералізації сполук азоту, органічної речовини ґрунту, гумусу, сумарної біологічної активності (СБА), вірогідності формування бактеріальних колоній (ВФК) розраховували згідно з методиками, наведеними в праці [9].

Агрохімічний аналіз ґрунту проводили за ДСТУ ISO 10390: 2005, IDT Якість ґрунту; визначення рН<sub>сол</sub> — за ДСТУ 4289:2004; органічної речовини — за ДСТУ 7537:2014; гідролітичної кислотності — за ГОСТ 27821-88. ґрунти; суму увібраних основ — методом Каппена (ДСТУ 4115-2002. ґрунти). Визначення рухомих сполук фосфору і калію здійснювали за модифікованим методом Чирікова (ДСТУ 7863:2015. Якість ґрунту), легкогідролізного азоту — методом Корнфілда (ДСТУ 7863:2015. Якість ґрунту).

Статистичну обробку експериментальних даних виконували за загальноприйнятими в ґрунтознавстві та ґрунтової мікробіології методиками з використанням комп'ютерних програм *Microsoft Excel* та *Statistica 10*.

**Результати досліджень.** Установлено, що чисельність амоніфікаторів корелює з гідролітичною кислотністю ґрунту, сумою увібраних основ, умістом азоту, калію, гумусу (табл. 1). Фізіолого-біохімічна активність клітин амоніфікаторів не корелює з жодним досліджуваним показником потенційної родючості чорнозему типового. Кількість КУО іммобілізаторів мінерального азоту, як і амоніфікаторів, корелює з такими показниками потенційної родючості: сумою увібраних основ, умістом азоту, калію, гумусу. Фізіолого-біохімічна активність клітин іммобілізаторів мінерального азоту корелює з рН сольовим ( $r = 0,731$ ), гідролітичною кислотністю ґрунту ( $r = -0,717$ ), умістом азоту ( $r = 0,717$ ) та фосфору ( $r = -0,721$ ).

Кількість КУО олігонітрофілів корелює з рН сольовим, гідролітичною кислотністю, умістом фосфору, гумусу. Обернений зв'язок між чисельністю олігонітрофілів і вмістом гумусу свідчить про мінералізацію гумусу в чорноземі типовому цього

1. Коefіцієнти кореляції між показниками потенційної родючості чорнозему типового та чисельністю мікроорганізмів еколого-трофічних, систематичних і функціональних груп

Показник	Амоніфікатори	Імобілізатори мінерального азоту	Оліготрофіли	Азотобактер, % обростає ґрунту	Нітрифікатори	Меланінін-тезувальні бактерії	Педотрофи	Целюлозоруйнівні бактерії	Полісахаридсинтезувальні мікроорганізми	Автохтонні	Актиноміцети	Мікроміцети	Меланінін-тезувальні мікроміцети	Кислотоутворювальні мікроорганізми	Мобілізатори мінеральних фосфатів	Загальна чисельність мікроорганізмів
pH сол	-0,305	-0,073	-0,615	0,568	-0,486	-0,381	-0,186	-0,086	-0,233	0,701	-0,471	-0,542	-0,232	-0,857	0,294	-0,303
Гідролітична кислотність	0,352	0,114	0,604	-0,539	0,489	0,423	0,229	0,150	0,210	-0,670	0,498	0,557	0,265	0,892	-0,225	0,349
Сума увібраних основ	-0,559	-0,275	-0,547	0,338	-0,222	-0,631	-0,521	-0,272	-0,123	0,481	-0,721	-0,614	-0,229	-0,861	0,013	-0,550
Уміст, мг/кг:																
N	0,975	0,826	-0,321	-0,395	0,335	-0,793	-0,917	-0,792	-0,099	-0,362	-0,894	-0,654	-0,367	-0,428	-0,783	0,965
P	0,222	0,007	0,533	-0,470	0,010	0,314	0,288	-0,194	0,230	-0,605	0,564	0,430	-0,135	0,466	-0,463	0,223
K	0,739	0,712	-0,285	-0,250	0,734	-0,469	-0,839	-0,449	-0,180	-0,253	-0,881	-0,440	0,165	0,027	-0,411	0,735
Уміст гумусу, %	0,837	0,777	-0,586	-0,031	0,431	-0,524	-0,786	-0,534	-0,389	-0,513	-0,967	-0,686	-0,044	-0,278	-0,321	0,839

стаціонарного дослідження через нестачу сполук азоту. ВФК олігонітрофілів, як і ВФК амоніфікаторів, не корелює з жодним досліджуваним показником потенційної родючості.

Чисельність азотобактера обернено корелює із гідролітичною кислотністю ґрунту, умістом азоту та фосфору, прямо — з величиною рН сольового і сумою увібраних основ. ВФК азотобактера має прямий кореляційний зв'язок середнього рівня значущості з рН сольовим ( $r = 0,363$ ), обернений — із гідролітичною кислотністю ґрунту ( $r = -0,329$ ), умістом азоту ( $r = -0,338$ ) та фосфору ( $r = -0,454$ ). Отже, чисельність азотобактера в кореневмістному шарі ґрунту визначається, зокрема, величиною гідролітичної кислотності ґрунтового розчину, що свідчить про необхідність проведення вапнування цього ґрунту. Підтверджено також загальну закономірність розповсюдження азотофіксаторів, які існують вільно: їхня діяльність і процес розмноження інгібуються вмістом азоту в ґрунті [10, 11]. І на прикладі вирощування соняшнику не підтверджується висновок автора [Мішустін Є.М. та ін., 1957] про те, що азотобактер є індикатором забезпечення ґрунту сполуками фосфору.

Чисельність нітрифікаторів обернено корелює з рН сольовим і прямо — із величиною гідролітичної кислотності, умістом азоту, калію та гумусу в ґрунті. Кількість КУО педотрофів обернено корелює із сумою увібраних основ, умістом азоту, калію та гумусу в ґрунті. Фізіолого-біохімічна активність їхніх клітин корелює з рН сольовим ( $r = 0,348$ ), умістом азоту ( $r = -0,728$ ), фосфору ( $r = -0,463$ ), калію ( $r = -0,408$ ) та гумусу ( $r = -0,359$ ). Обернений кореляційний зв'язок між чисельністю і ВФК педотрофів, для яких субстратом є органічна речовина ґрунту, і вмістом гумусу цілком зрозумілий, тому що гумус є складовою частиною органічно-мінерального комплексу ґрунту.

Кількість целюлозоруйнівних бактерій обернено корелює з умістом азоту, калію та гумусу. ВФК целюлозоруйнівних бактерій має обернені зв'язки з умістом у ґрунті азоту ( $r = -0,720$ ), фосфору ( $r = -0,290$ ), калію ( $r = -0,490$ ) та гумусу ( $r = -0,495$ ). Чисельність полісахаридсинтезувальних бактерій, як і в попередні роки

досліджень [2], неістотно корелює з усіма показниками потенційної родючості ґрунту, за винятком умісту гумусу ( $r = -0,389$ ). ВФК клітин мікроорганізмів цієї групи має прямі кореляційні зв'язки з умістом азоту ( $r = 0,839$ ), калію ( $r = 0,864$ ) та гумусу ( $r = 0,712$ ).

Кількість автохтонних мікроорганізмів корелює з рН сольовим, величиною гідролітичної кислотності, сумою увібраних основ, умістом азоту, фосфору та гумусу. ВФК автохтонних мікроорганізмів корелює з умістом у ґрунті калію ( $r = 0,394$ ), фосфору ( $r = -0,488$ ) та гумусу ( $r = 0,384$ ). Обернений кореляційний зв'язок між чисельністю автохтонних мікроорганізмів і вмістом азоту ( $r = -0,362$ ) свідчить про те, що основною причиною мінералізації гумусу в ґрунті цього екотопу є нестача сполук азоту для живлення рослин і мікроорганізмів. Закономірним і підтвердженим багаторічними даними є обернений кореляційний зв'язок між умістом гумусу і чисельністю автохтонних мікроорганізмів.

Чисельність актиноміцетів корелює з гідролітичною кислотністю ґрунту, рН сольовим, сумою увібраних основ, умістом азоту, фосфору, калію та гумусу; фізіолого-біохімічна активність їхніх клітин — із сумою увібраних основ ( $r = -0,436$ ), умістом азоту ( $r = -0,475$ ), калію ( $r = -0,491$ ), гумусу ( $r = -0,425$ ). Чисельність іншої групи міцеліальних мікроорганізмів — мікроміцетів — також істотно обернено корелює з рН сольовим, сумою увібраних основ, умістом азоту, калію, гумусу і має прямий зв'язок з величиною гідролітичної кислотності, умістом фосфору. Фізіолого-біохімічна активність їхніх клітин корелює з гідролітичною кислотністю ( $r = 0,448$ ), рН сольовим ( $r = -0,458$ ), умістом у ґрунті калію ( $r = 0,507$ ). При цьому чисельність меланінсинтезувальних мікроміцетів істотно обернено корелює лише з умістом азоту, що узгоджується із закономірностями формування мікробних угруповань ризосфери сої і пшениці озимої. Однак із чисельністю і фізіолого-біохімічною активністю мікроорганізмів майже всіх досліджуваних груп кількість меланінсинтезувальних мікроміцетів за вирощування соянишки корелює. Ці закономірності відрізняються від установлених для сої і пшениці, в яких чисельність меланінсинтезувальних

мікроміцетів не корелювала з чисельністю жодної групи мікроорганізмів (за винятком оберненої залежності з чисельністю полісахаридсинтезувальних мікроорганізмів). Прямую залежність було встановлено з гідролітичною ( $r = 0,971$ ) та загальною ( $r = 0,861$ ) кислотністю ґрунтового розчину, умістом  $Al^{3+}$  ( $r = 0,813$ ) та амонійного азоту ( $r = 0,536$ ).

Кількість кислотоутворювальних мікроорганізмів корелює з величинами гідролітичної кислотності, рН сольового, сумою увібраних основ, умістом азоту та фосфору. Фізіолого-біохімічна активність їхніх клітин корелює з рН сольовим ( $r = -0,743$ ), гідролітичною кислотністю ґрунту ( $r = 0,748$ ), сумою увібраних основ ( $r = -0,699$ ), умістом фосфору ( $r = 0,544$ ). Чисельність мікроорганізмів іншої групи, що поліпшує мінеральне живлення рослин — мобілізаторів мінеральних фосфатів — обернено корелює з умістом азоту, фосфору та калію.

Загальна чисельність мікроорганізмів корелює з гідролітичною кислотністю, рН сольовим, сумою увібраних основ, умістом азоту, калію та гумусу. Отже, аналіз значень кореляційних зв'язків між загальною чисельністю мікроорганізмів і показниками потенційної родючості ґрунту свідчить про наявність тісного взаємозв'язку.

Коефіцієнти та індекси, що описують спрямованість і напруженість процесів мінералізації в ґрунті, корелюють із показниками потенційної родючості ґрунту (табл. 2). Так, величина індексу педотрофності обернено корелює із сумою увібраних основ, умістом азоту, калію та гумусу. Коефіцієнт оліготрофності корелює з гідролітичною кислотністю, рН сольовим, сумою увібраних основ, умістом фосфору. Коефіцієнт мінералізації-імобілізації сполук азоту обернено корелює з умістом азоту, калію та гумусу.

Активність мінералізації гумусу корелює з усіма досліджуваними показниками потенційної родючості: гідролітичною кислотністю, рН сольовим, сумою увібраних основ, умістом азоту, фосфору, калію та гумусу. Сумарна біологічна активність корелює з гідролітичною кислотністю, рН сольовим, сумою увібраних основ, умістом азоту, калію та гумусу в ґрунті. Фітотоксичність ґрунту корелює з рН сольовим, гідролітичною

кислотністю, сумою увібраних основ, умістом фосфору.

Порівняння отриманих даних з літературними [3] свідчить про наявність істотних розбіжностей. Так, за даними автора [3], між рН сольовим і чисельністю амоніфікаторів, педотрофів і мікроміцетів є пряма сильна кореляція ( $R = 0,76-0,82$ ), з амілолітичними та оліготрофними групами мікроорганізмів кореляційний зв'язок послаблюється до прямого середнього рівня ( $R = 0,49-0,58$ ). За нашими даними, рН сольовий має обернені зв'язки з чисельністю майже всіх досліджуваних груп мікроорганізмів, за винятком азотобактера, автохтонних бактерій і мобілізаторів мінеральних фосфатів (див. табл. 1). Автор [3] зазначає, що кореляційний зв'язок рН сольового з чисельністю гуматорозкладаючих мікроорганізмів і коефіцієнтом мінералізації-імобілізації (Км/і) був на рівні оберненої сильної кореляції:  $R = -0,61-0,83$ , що пов'язано зі зміною інтенсивності процесів у ґрунті. За даними, отриманими нами при вирощуванні соняшнику на чорноземі типовому, зв'язок між рН сольовим і чисельністю автохтонних (гуматорозкладаючих) мікроорганізмів є прямим високозначущим ( $r = 0,701$ ), зв'язок із коефіцієнтом мінералізації-імобілізації сполук азоту є незначущим ( $r = 0,130$ ). При цьому рН сольовий має прямі високозначущі зв'язки з іншими досліджуваними коефіцієнтами та індексами, що описують

спрямованість і напруженість мінералізаційних процесів у ґрунті (табл. 2).

За даними, наведеними вище, сумарна біологічна активність чорнозему типового має обернений зв'язок з обмінною кислотністю ( $r = -0,343$ ), тоді як за даними автора [3], аналогічний показник (рівень біогенності ґрунту) з обмінною кислотністю корелювали на рівні прямої сильної кореляції ( $R = +0,82$ ), що пов'язано, на думку автора, зі зростанням чисельності та активності амоніфікувальних, більшою мірою педотрофних та амілолітичних груп мікроорганізмів і меншою мірою — мікроміцетів.

Також маємо протиріччя щодо інших отриманих даних. Так, на думку автора [3], між сумою увібраних основ і чисельністю амоніфікувальних, педотрофних мікроорганізмів, мікроміцетів є прямий кореляційний зв'язок на рівні сильної кореляції:  $R = 0,69-0,85$ , чисельність мікроорганізмів амілолітичних та оліготрофних груп корелює на середньому рівні:  $R = 0,41-0,55$ ; між чисельністю гуматорозкладаючих мікроорганізмів і Км/і зв'язок був на рівні оберненої сильної кореляції ( $R = -0,67-0,86$ ), що свідчить про посилення процесу мінералізації гумусу. За отриманими нами даними, сума увібраних основ обернено корелює з показниками чисельності мікроорганізмів усіх досліджуваних груп, за винятком азотобактера, автохтонних бактерій і мобілізаторів

**2. Коефіцієнти кореляції між показниками потенційної родючості чорнозему типового та індексами спрямованості і напруженості мінералізаційних та синтезаційних процесів**

Показник	Індекс педотрофності	Коефіцієнт оліготрофності	Коефіцієнт мінералізації азоту	Активність мінералізації гумусу	Сумарна біологічна активність	Маса 100 рослин тест-культури — пшениці озимої, г		
						Стебло	Коріння	Загальна маса
рН сол	-0,128	-0,673	0,130	0,772	-0,343	0,602	0,570	0,635
Гідролітична кислотність	0,161	0,636	-0,097	-0,784	0,363	-0,609	-0,563	-0,634
Сума увібраних основ	-0,458	-0,463	0,001	0,887	-0,430	0,695	0,529	0,654
Уміст, мг/кг:								
N	-0,781	0,130	-0,574	-0,555	0,655	0,507	-0,062	0,200
P	0,323	0,596	-0,193	-0,788	0,227	-0,577	-0,482	-0,569
K	-0,816	0,123	-0,554	0,588	0,424	0,285	-0,285	-0,042
Уміст гумусу, %	-0,703	-0,199	-0,581	-0,760	0,625	0,464	-0,153	0,123

мінеральних фосфатів (див. табл. 1). З активністю мінералізації гумусу сума увібраних основ, як і обмінна кислотність, має високозначущий прямий зв'язок ( $r = 0,887$ ), що свідчить про посилення розкладання гумусу зі зростанням суми увібраних основ (див. табл. 2). Оскільки сумою увібраних основ (тобто суму катіонів без водню та амонію) вважають загальну кількість поглинутих основ у ґрунті (Ca, Mg, K, Na та ін.), і її величина залежить від типу ґрунту, то розбіжності

в отриманих даних можна пояснити тим, що підтип ґрунту в досліді автора [3] — це чорнозем опідзолений на карбонатному лесі, у наших дослідіах — чорнозем типовий малогумусний легкосуглинковий. До того ж дані, наведені цим автором, отримано для 5-пільної зернопрораспної сівозміни: горох — пшениця озима — кукурудза — соя — ячмінь ярий; наші дані отримано за вирощування окремої культури сівозміни — соняшнику.

## Висновки

Із показниками потенційної родючості чорнозему типового за вирощування соняшнику корелює чисельність мікроорганізмів багатьох еколого-трофічних, систематичних і функціональних груп, їхня фізіолого-біохімічна активність, показники напруженості та спрямованості процесів мінералізації у чорноземі типовому.

pH сольове обернено корелює з чисельністю мікроорганізмів усіх досліджуваних груп, за винятком азотобактера, автохтонних бактерій і мобілізаторів мінеральних фосфатів; має обернений зв'язок із коефіцієнтом оліготрофності ( $r = -0,673$ ), сумарною біологічною активністю ( $r = -0,343$ ), показниками фітотоксичності ґрунту ( $r = -0,635$ ) і прямий зв'язок — з активністю мінералізації гумусу ( $r = 0,772$ ).

Гідролітична кислотність ґрунтового розчину має прямий зв'язок із чисельністю всіх досліджуваних груп мікроорганізмів, за винятком азотобактера, автохтонних

бактерій і мобілізаторів мінеральних фосфатів; має прямі кореляційні зв'язки з коефіцієнтом оліготрофності ( $r = 0,636$ ), сумарною біологічною активністю ( $r = 0,363$ ), показниками фітотоксичності ґрунту ( $r = 0,634$ ) та обернений зв'язок — з активністю мінералізації гумусу ( $r = -0,784$ ).

Сума увібраних основ, як і pH сольове, обернено корелює з чисельністю мікроорганізмів усіх досліджуваних груп, за винятком азотобактера, автохтонних бактерій і мобілізаторів мінеральних фосфатів; має обернений середньозначущий зв'язок з індексом педотрофності ( $r = -0,458$ ), коефіцієнтом оліготрофності ( $r = -0,463$ ), сумарною біологічною активністю ( $r = -0,430$ ), показниками фітотоксичності ( $r = -0,654$ ) і прямий високозначущий зв'язок — з активністю мінералізації гумусу ( $r = 0,887$ ).

### Kaminskyi V.<sup>1</sup>, Malynovska I.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>National Research Center «Institute of Agriculture of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine», 2b Mashynobudivnykiv Str., Chabany, Fastiv district, Kyiv oblast, Ukraine; <sup>2</sup>Institute of Agriculture of NAAS, Kyiv, Ukraine; e-mail: <sup>1</sup>kamin.60@ukr.net, <sup>2</sup>irina.malinovskaya.1960@ukr.net; ORCID: <sup>1</sup>0000-0002-9668-6742, <sup>2</sup>0000-0001-5945-2042

### Correlation relations between indicators of the state of the microbial cenose and the potential fertility of typical chernozem

**Goal.** To study the regularities of the formation of connections between separate groups of microorganisms in typical chernozem and indicators of its potential fertility for growing sunflowers with the use of different systems of basic tillage and mineral

fertilization. **Methods.** Microbiological, laboratory-analytical, statistical. The research was carried out using soil samples from a stationary experiment on the study of short crop rotations, established in 2009 at the Panfilsk research station of the Institute of Agriculture of NAAS. **Results.** The number of microorganisms of many ecotrophic, systematic, and functional groups, their physiological-biochemical activity, intensity, and orientation of mineralization processes in the soil are correlated with indicators of the potential fertility of typical chernozem. In particular, the number of ammonifiers correlates with the hydrolytic acidity of the soil ( $r = 0.352$ ), the sum of the absorbed bases ( $r = -0.559$ ), the content of nitrogen ( $r = 0.975$ ), potassium ( $r = 0.739$ ), and humus ( $r = 0.837$ ). The number of CFU (colony-forming units) of mineral nitrogen immobilizers correlates

with the sum of absorbed bases ( $r = -0.547$ ), nitrogen content ( $r = 0.826$ ), potassium ( $r = 0.712$ ), and humus ( $r = 0.777$ ). The number of oligonitrophils has significant correlations with saline pH ( $r = -0.615$ ), hydrolytic acidity ( $r = 0.604$ ), phosphorus content ( $r = 0.533$ ), and humus ( $r = -0.586$ ). The inverse nature of the relationship between the number of oligonitrophils and the content of humus indicates the main cause of humus mineralization — the lack of nitrogen compounds in the soil. The number of *Azotobacter* is correlated with the hydrolytic acidity of the soil ( $r = -0.539$ ), saline pH ( $r = 0.568$ ), the sum of absorbed bases ( $r = 0.338$ ), the content of nitrogen ( $r = -0.395$ ), and phosphorus ( $r = -0.470$ ). The inverse nature of the relationship with the content of phosphorus in the soil indicates that *Azotobacter* is not an indicator of providing the soil with phosphorus compounds. The number of polysaccharide-synthesizing bacteria does not correlate with indicators of potential soil fertility, except for humus content ( $r = -0.389$ ). Humus mineralization activity correlates with all

studied indicators of potential fertility: hydrolytic acidity ( $r = -0.784$ ), saline pH ( $r = 0.772$ ), the sum of absorbed bases ( $r = 0.887$ ), nitrogen content ( $r = -0.555$ ), phosphorus ( $r = 0.788$ ), potassium ( $r = 0.588$ ), and humus ( $r = -0.760$ ). Total biological activity is correlated with hydrolytic acidity ( $r = 0.363$ ), saline pH ( $r = -0.343$ ), sum of absorbed bases ( $r = -0.430$ ), nitrogen content ( $r = 0.655$ ), potassium ( $r = 0.424$ ), and humus ( $r = 0.625$ ). The total number of microorganisms correlates with hydrolytic acidity ( $r = 0.349$ ), saline pH ( $r = -0.303$ ), the sum of absorbed bases ( $r = -0.550$ ), the content of nitrogen ( $r = 0.965$ ), potassium ( $r = 0.735$ ), and humus ( $r = 0.839$ ). **Conclusions.** The analysis of correlations between indicators of the state of the microbial coenosis of microorganisms and indicators of the potential fertility of typical chernozem shows the presence of a close relationship.

**Key words:** microorganisms, ammonifiers, autochthonous, polysaccharide-synthesizing microorganisms, hydrolytic acidity, humus.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202305-01>

## Бібліографія

1. Wadud Khan M.A., Bohannan B.J.M., Nüsslein K. et al. Deforestation impacts network co-occurrence patterns of microbial communities in Amazon soils. *FEMS Microbiology Ecology*. 2019. V. 95. № 2. doi: 10.1093/femsec/fiy230
2. Малиновська І.М., Ткаченко М.А., Кондратюк І.М. Зв'язки між мікроорганізмами і показниками потенційної та ефективної родючості сірого лісового ґрунту за вирощування люпину білого і пшениці озимої. *Землеробство та рослинництво: теорія і практика*. 2022. Вип. 4 (6). С. 19–30.
3. Демиденко О.В. Кореляційні зв'язки фізіологічних груп мікроорганізмів з показниками родючості чорнозему опідзоленого за різних систем удобрення. *Вісник аграрної науки*. 2021. № 4. С. 20–27. doi: 10.31073/agrovisnyk202104-03
4. Bailey V.L., McCue L.A., Fansler S.J. et al. Micrometer-scale physical structure and microbial composition of soil macroaggregates. *Soil Biol. Biochem.* 2013. № 65. P. 60–68.
5. Kuzyakov Y., Blagodatskaya E. Microbial hotspots and hot moments in soil: concept and review. *Soil Biol. Biochem.* 2015. № 83. P. 184–199.
6. Lei Liu, Miranda M. Hart, Junling Zhang et al. Altitudinal distribution patterns of AM fungal assemblages in a Tibetan alpine grassland. *FEMS Microbiology Ecology*. 2015. V. 91. doi: 10.1093/femsec/fiv078
7. Alef Kassem, Nannipieri Paolo. *Methods in Applied Soil Microbiology and Biochemistry*. Elsevier: Academy Press. 2010. 425 p. doi: 10.1016/B978-0-12-513840-6.X5014-9
8. Paul E.A. Soil Microbiology, Ecology and Biochemistry. 4th ed. *Fort Collins: Elsevier Science*. 2015. doi: 10.1016/C2011-0-05497-2
9. Malynovska I., Tkachenko M., Bulgakov V. et al. Study of Microbiological Processes in the Soil of a Two-Year Fallow. *J. of Ecological Engineering*. 2023. № 24(2). P. 309–316. doi: 10.12911/22998993/156802
10. Knutson C.M., Plunkett M.H., Liming R.A., Barney B.M. Efforts toward optimization of aerobic biohydrogen reveal details of secondary regulation of biological nitrogen fixation by nitrogenous compounds in *Azotobacter vinelandii*. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 2018. № 102(23). P. 10315–10325. doi: 10.1007/s00253-018-9363-0
11. Noar J.D., Bruno-Bárcena J.M. *Azotobacter vinelandii*: the source of 100 years of discoveries and many more to come. *Microbiology*. 2018. № 164 (4). P. 421–436. doi: 10.1099/mic.0.000643