



Стаття поширюється на умовах ліцензії  
відкритого доступу CC BY 4.0

УДК 631872 :631.41: 631.445.4]:631.8  
DOI <https://doi.org/10.32782/2310-0478-2026-1-61-67>



### І. В. Чикін

аспірант кафедри агрохімії і ґрунтознавства,  
Уманський національний університет (м. Умань, Україна)  
E-mail: igor.chykin@gmail.com  
orcid.org/0009-0001-9449-7462



### Г. М. Господаренко

доктор сільськогосподарських наук, професор,  
професор кафедри агрохімії і ґрунтознавства  
Уманський національний університет (м. Умань, Україна)  
E-mail: hospodarenko@gmail.com  
orcid.org/0000-0002-6495-2647



### Я. О. Мізерака

аспірант кафедри агрохімії і ґрунтознавства,  
Уманський національний університет (м. Умань, Україна)  
E-mail: homeadress22@gmail.com  
orcid.org/0009-0001-8825-6822

## ГУМУСОВАНІСТЬ І ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ЧОРНОЗЕМУ ОПІДЗОЛЕНОГО ЗАЛЕЖНО ВІД УДОБРЕННЯ

Метою статті було визначити вплив тривалого (15 років) застосування різних видів, доз мінеральних добрив і їх поєднань у польовій сівозміні на гумусованість і фізико-хімічні показники чорнозему опідзоленого. Стационарний польовий дослід проводиться на дослідному полі Уманського національного університету з 2010 року, що розташоване в Маньківському природно-сільськогосподарському районі Правобережного Лісостепу. Ґрунт під дослідом – чорнозем опідзолений важко-суглинковий на лесі (за класифікацією FAO/WRB, 2022 – Phaeosems). Текстура за FAO класифікується як мулово-глинистий суглинок (silt clay loam) з великою часткою мулу (63–65%) і глини (33–35%) та незначним вмістом піску (2,1–2,5%). Польова сівозмінна (пшениця озима, кукурудза, ячмінь ярий, соя) одночасно розгорнута на чотирьох полях на площі 2 га. Повторення дослідю триразове, розміщення варіантів послідовне. Розмір дослідних ділянок становить 110 м<sup>2</sup>, а збиральних – 25 м<sup>2</sup>. Добрива у вигляді суперфосфату гранульованого та калію хлористого вносили перед зяблевим обробітком ґрунту, а аміачну селітру – під передпосівну культивування та як ранньовесняне підживлення. Нетоварну продукцію (солому, стебелиння) подрібнювали і залишали на полі.

Тривале застосування різних систем удобрення, так і без нього істотно не впливало на вміст гумусу, який був у межах 3,7–4,1%. Незначні зміни вмісту гумусу можна пояснити залишення на полі нетоварної продукції усіх культур сівозміни. Встановлено, що у варіантах дослідю  $N_{110}P_{60}$  та  $N_{110}P_{30-60}K_{40-80}$  порівняно з неудобреними ділянками, було незначне – на 7–8% підвищення ЄКО, що можна пояснити більшим надходженням у ґрунт органічної речовини з пожнивно-корневими рештками. Структура ЄКО чорнозему опідзоленого під дослідом близька до оптимальної і під впливом 15-річного застосування різних систем застосування мінеральних добрив за умови залишення на полі нетоварного врожаю не зазнала суттєвих змін. Частка кальцію та магнію в складі ЄКО була в оптимальних межах – відповідно 69,5–75,8% і 10,9–12,8%. Незначне зниження частки кальцію в ґрунті удобрених ділянок можна пояснити поверненням його з висхідним потоком води по ґрунтових капілярах. Відношення  $Ca^{2+} : Mg^{2+}$  у структурі ЄКО ґрунту було 7,7, а після тривалого застосування добрив залежно від варіанту дослідю – в межах 5,8–6,5 і було найнижчим на ділянках без удобрення. Відношення  $Mg^{2+} : K^{+}$  перед закладанням дослідю становило 3,5, а після тривалого використання ґрунту без внесення мінеральних добрив підвищилось до 4,8. Значне підвищення відношення  $Mg^{2+} : K^{+}$  – до 4,4 пройшло також у варіанті дослідю  $N_{110}P_{60}$ , що показує можливий дефіцит калію в живленні рослин.

**Ключові слова:** гумус, кислотність, обмінні основи, мінеральні добрива, сівозмінна.

**I. V. Chykin**

Graduate Student at the Department of Agricultural Chemistry and Soil Science,  
Uman National University (Uman, Ukraine)  
E-mail: igor.chykin@gmail.com  
orcid.org/0009-0001-9449-7462

**H. M. Hospodarenko**

Doctor of Agricultural Sciences, Professor,  
Professor at the Department of Agricultural Chemistry and Soil Science  
Uman National University (Uman, Ukraine)  
E-mail: hospodarenko@gmail.com  
orcid.org/0000-0002-6495-2647

**Ya. O. Mizeraka**

Graduate Student at the Department of Agricultural Chemistry and Soil Science,  
Uman National University (Uman, Ukraine)  
E-mail: homeadress22@gmail.com  
orcid.org/0009-0001-8825-6822

**HUMUS CONTENT AND PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES OF PODZOLIZED CHERNOZEM DEPENDING ON FERTILIZATION**

*The aim of the article was to determine the impact of long-term (15 years) application of different types and rates of mineral fertilizers and their combinations in a field crop rotation on the humus content and physicochemical indicators of podzolized chernozem. A stationary field experiment has been conducted on the experimental field of Uman National University since 2010, located in the Mankivka natural-agricultural district of the Right-Bank Forest-Steppe. The soil under study is heavy loam podzolized chernozem on loess (classified as Phaeozems according to FAO/WRB, 2022). The texture, by FAO classification, is defined as silt clay loam with a high proportion of silt (63–65%) and clay (33–35%) and a negligible sand content (2.1–2.5%). The field crop rotation (winter wheat, corn, spring barley, soybeans) is simultaneously deployed across four fields with a total area of 2 hectares. The experiment has three replications, with a sequential arrangement of the variants. The size of the experimental plots is 110 m<sup>2</sup>, and the harvest plots are 25 m<sup>2</sup>. Fertilizers in the form of granular superphosphate and potassium chloride were applied before deep autumn tillage, while ammonium nitrate was applied during pre-sowing cultivation and as early spring top-dressing. Non-marketable plant residues (straw, stalks) were shredded and left in the field. The long-term application of different fertilization systems, including the unfertilized control, did not significantly affect the humus content, which remained within the range of 3.7–4.1%. The minor fluctuations in humus content can be explained by the practice of leaving the non-marketable residues of all crops in the rotation on the field. It was found that in the experimental variants N110P60 and N110P30–60K40–80, compared to the unfertilized plots, there was a slight (7–8%) increase in Cation Exchange Capacity (CEC). This can be attributed to a greater input of organic matter into the soil from post-harvest and root residues. The structure of the CEC of the studied podzolized chernozem is close to optimal and, under the influence of the 15-year application of different mineral fertilizer systems combined with leaving non-marketable crop residues in the field, did not undergo significant changes. The share of calcium and magnesium in the CEC composition was within optimal limits – 69.5–75.8% and 10.9–12.8%, respectively. A slight decrease in the proportion of calcium in the soil of the fertilized plots can be explained by its return to the surface with the upward movement of water through soil capillaries. The Ca<sup>2+</sup> : Mg<sup>2+</sup> ratio in the soil's CEC structure was 7.7 before the experiment, and after the long-term fertilizer application, depending on the variant, it ranged from 5.8 to 6.5, being the lowest in the unfertilized plots. The Mg<sup>2+</sup> : K<sup>+</sup> ratio before the experiment was established as 3.5, and after the long-term use of the soil without mineral fertilizer application, it increased to 4.8. A significant increase in the Mg<sup>2+</sup> : K<sup>+</sup> ratio to 4.4 also occurred in the N110P60 experimental variant, indicating a potential potassium deficiency in plant nutrition.*

**Key words:** humus, acidity, exchangeable bases, mineral fertilizers, crop rotation.

**Постановка проблеми.** Основною метою сучасного сільського господарства є збереження здоров'я ґрунту, зменшення наслідків зміни клімату та виробництва здорових продуктів харчування. Підтримання високої якості ґрунтів за одночасного підвищення їх продуктивності вимагає точного оцінювання того, як удобрення та сівоzmіна впливають на окремі його властивості. Удобрення впливає на ґрунтові умови, що змінює середовище для розвитку ґрунтових мікроорганізмів і рослин та призводить до змін ґрунтового середовища. Бракує тривалих експериментальних даних про вплив різного удобрення в сівоzmіні на гумусованість ґрунту та його фізико-хімічні властивості. Новизна цього дослідження полягає в тому, що визначено вплив різних видів мінеральних добрив, їх доз та поєднань на тлі залишення на полі нетоварної продукції на ці показники у контексті тривалого експерименту в польовій сівоzmіні на чорноземі опідзоленому.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Удобрення є основним агротехнологічним заходом, який значно підвищує продуктивність сільськогосподарських культур. Біологічні, хімічні та фізичні процеси, що проходять у ґрунті також залежать від зміни поживного режиму та ґрунтового середовища для їх росту й розвитку [2, 6, 7, 10]. Щоб отримати інформацію про види удобрювальних продуктів і дози їх внесення, що застосовуються для підвищення продуктивності сільськогосподарських культур, було проведено численні тривалі стаціонарні досліді з удобренням [4, 12, 16]. Ці дослідження дають можливість встановити, як тривале застосування різних видів мінеральних добрив та їх комбінацій впливає на властивості ґрунту. Встановлено, що вплив мінерального удобрення на якість ґрунту необхідно досліджувати тривалий період, щоб зрозуміти, як вони впливають на властивості ґрунту, які змінюються повільно. Крім того, вони дозволяють

розробити теоретичну основу для збереження здоров'я ґрунту та сталого підвищення продуктивності сільськогосподарських культур [5].

Гумус виконує багатогранну агроекологічну функцію в ґрунті – поліпшує його буферні властивості, збільшує іонообмінну та водоутримувальну здатність, активує біохімічні та мікробіологічні процеси, регулює фізіологічні механізми росту й розвитку рослин. Він сприяє ліпшому засвоєнню поживних речовин, знижує фітотоксичність забруднювачів, а також забезпечує зростання продуктивності агроценозів [17].

Види і дози добрив, їх поєднання та структура сівозміни можуть впливати на кислотність ґрунтового розчину, доступність поживних речовин і вміст гумусу через вплив на мікробіологічні процеси [2].

На чорноземі лувиковому в Болгарії удобрення, яке безперервно застосовували упродовж 64 років у 4-пільній сівозміні (пшениця, ячмінь, кукурудза та боби), включало варіанти досліду з внесенням азоту (N), фосфору (P), калію (K), NP, NK, PK, NPK та абсолютний контроль. Встановлено, що найвищий вміст органічного вуглецю спостерігався за внесенням NPK (1,42%) та NP (1,43%). При цьому азотні добрива найбільш суттєво впливали на властивості ґрунту – pH, електропровідність і вміст органічного вуглецю в ґрунті через зміну ґрунтового середовища для розвитку мікробіоти [3].

Отже, особливої актуальності набуває дослідження впливу різного удобрення сільськогосподарських культур у короткоротаційній польовій сівозміні на гумусний стан та фізико-хімічні властивості ґрунту в умовах Правобережного Лісостепу.

**Мета статті** – визначити вплив тривалого застосування різних видів, доз мінеральних добрив і їх поєднань у польовій сівозміні на гумусованість і фізико-хімічні показники чорнозему опідзоленого.

**Методика дослідження.** Стационарний польовий дослід (атестат УААН № 87) проводиться на дослідному полі Уманського національного університету з 2010 року, що розташоване в Маньківському природно-сільськогосподарському районі Правобережного Лісостепу. Висота над рівнем моря 245 м, клімат помірно континентальний із середньорічною кількістю опадів 586 мм і температурою 8,8 °С.

Ґрунт під дослідом – чорнозем опідзолений важкосуглинковий на лесі (за класифікацією FAO/WRB, 2022 – *Phaeosems*). Текстура за FAO класифікується як мулово-глинистий суглинок (*silti clay loam*) з великою часткою мулу (63–65%) і глини (33–35%) та незначним вмістом піску (2,1–2,5%). Ґрунт достатньо дренажований, що забезпечує добре утримання води й поживних речовин.

Слабокисла реакція ґрунту у верхніх горизонтах сприяє руйнуванню мінералів і переходу в рухомі форми поживних речовин. За елювіально-ілювіальним профілем він слабо диференційований. Карбонати кальцію скипають лише на глибині 100–110 см.

Польова сівозміна (пшениця озима, кукурудза, ячмінь ярий, соя) одночасно розгорнута на чотирьох полях на площі 2 га. Повторення досліду триразове, розміщення варіантів послідовне. Розмір дослідних ділянок становить 110 м<sup>2</sup>, а збиральних – 25 м<sup>2</sup>. Добрива у вигляді суперфосфату гранульованого та калію хлористого вносили перед зяблевим обробітком ґрунту, а аміачну селітру – під передпосівну культивуацію та як ранньовесняне підживлення. Нетоварну продукцію (солому, стебелиння) подрібнювали і залишали на полі.

У серпні 2025 року було відібрано зразки ґрунту для агрохімічного аналізу з усіх варіантів досліду в двох несуміжних повтореннях експерименту з шару 0–20 см. У зразках ґрунту, відібраних згідно вимог ДСТУ 4287:2004 і ДСТУ ISO 11464:2007, визначали такі показники: вміст гумусу – за ДСТУ 4289:2004; кислотність (pH<sub>KCl</sub>) – за ДСТУ ISO 10390:2022; гідролітичну кислотність – за ДСТУ 7537:2014; вміст обмінних катіонів (Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>) в амонійно-ацетатному буферному розчині з pH 7,0 методом оптико-емісійної спектроскопії [9].

**Основні результати дослідження.** Органічна речовина ґрунту є ключовою складовою, що визначає рівень його родючості та екологічний стан. Її кількісний і якісний склад суттєво залежать від інтенсивності агротехнологічних заходів, передусім від систем удобрення, обробітку ґрунту, структури сівозміни та застосування органічних залишків. Близько 85–90% органічної речовини припадає на гумус – стабільну, колоїдну, високомолекулярну сполуку, яка утворюється в результаті трансформації залишків рослинного і тваринного походження в умовах малого біологічного колобігу речовини та енергії.

Встановлено, що тривале використання ґрунту як за різних систем удобрення, так і без них істотно не впливало на вміст гумусу, який був 3,7–4,1%, що в межах помилки досліду (табл. 1). Незначні зміни вмісту гумусу можна пояснити залишенням на полі нетоварної продукції усіх культур сівозміни.

Стан ЄКО ґрунту має різновекторну дію на кореневе живлення рослин. Усі властивості ґрунту, які зумовлюють у кінцевому результаті формування врожаю, тою чи іншою мірою залежать від складу ЄКО. Нині все частіше продуктивність сільськогосподарських культур обмежується зміною в структурі ЄКО антропогенною діяльністю. Стан колоїдного комплексу ґрунту характеризується ємністю катіонного обміну та його складом. Вважається, чим більше ЄКО, тим буде вищою буферна здатність ґрунту [15].

Як видно з даних табл. 1, ЄКО змінювалася від 27,3 до 29,4 смоль/кг ґрунту за показника перед закладанням досліду 27,6 смоль/кг, що було в межах помилки досліду. Порівняно з неудобреними ділянками, було незначне – на 7–8% його підвищення у варіантах досліду N<sub>110</sub>P<sub>60</sub> та з повним мінеральним добривом з дозою азоту 110 кг/га. Це можна пояснити

більшим надходженням у ґрунт органічної речовини з поживно-кореновими рештками.

У складі ЄКО чорнозему опідзоленого найбільший вміст кальцію й магнію – відповідно 20,1–21,3 смоль/кг і магнію 2,7–3,5 смоль/кг. При цьому необхідно зазначити, що під впливом тривалого застосування добрив у сівозміні найбільші зміни порівняно з вихідним рівнем відбулися у вмісті калію і магнію – на 30 %, тоді як кальцію і натрію були незначними – до 6%.

Встановлено [11, 15], що найбільше кальцію з ґрунту втрачається в результаті вимивання. При

цьому його вміст в ЄКО заміщує магній. Азотні добрива посилюють вимивання кальцію.

Кислотно-основні властивості ґрунтового середовища мають суттєвий вплив на формування кореневої системи рослин і їх живлення через регуляцію засвоєння поживних речовин. Від кислотності ґрунту залежить доступність поживних речовин, активність ґрунтової біоти і загальна якість ґрунту [1]. Рослини здатні частково адаптуватися до кислої реакції ґрунтового середовища модифікацією заряду поверхні корневих клітин, зміною функціональних груп.

Таблиця 1

**Вплив тривалого (2010–2025 рр.) удобрення в польовій сівозміні на гумусованість і ємність катіонного обміну**

Варіант досліджу	Вміст гумусу, %	ЄКО, смоль/кг	Насиченість основами, смоль/кг				
			Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Сума
2010 р.*	3,8	27,6	20,9	2,7	0,8	0,1	24,5
Без добрив (контроль)	3,7	27,3	20,3	3,5	0,8	0,1	24,7
N <sub>55</sub>	3,8	27,8	20,1	3,3	0,7	0,1	24,2
N <sub>110</sub>	4,0	28,0	20,2	3,3	0,8	0,1	24,4
P <sub>60</sub> K <sub>80</sub>	3,9	27,4	20,8	3,2	0,9	0,1	25,0
N <sub>110</sub> K <sub>80</sub>	4,0	27,9	20,1	3,2	0,9	0,1	24,3
N <sub>110</sub> P <sub>60</sub>	3,9	29,3	20,5	3,2	0,7	0,1	24,5
N <sub>55</sub> P <sub>30</sub> K <sub>40</sub>	4,0	28,7	21,0	3,2	0,8	0,1	25,1
N <sub>110</sub> P <sub>60</sub> K <sub>80</sub>	4,1	29,4	21,3	3,3	0,9	0,1	25,6
N <sub>110</sub> P <sub>30</sub> K <sub>40</sub>	3,9	29,3	20,4	3,3	0,8	0,1	24,6
N <sub>110</sub> P <sub>60</sub> K <sub>40</sub>	4,1	29,2	21,1	3,4	0,8	0,1	25,4
N <sub>110</sub> P <sub>30</sub> K <sub>80</sub>	4,1	29,3	21,3	3,4	0,9	0,1	25,7
НІР <sub>05</sub>	0,3	1,8	1,1	0,2	0,1		

Примітка. Вихідні дані перед закладанням досліджу.

Таблиця 2

**Зміни структури ЄКО під впливом тривалого (2010–2025 рр.) застосування добрив у польовій сівозміні**

Варіант досліджу	Частка в ЄКО, %						V, %
	H <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca + Mg	
2010 р.*	11,5	75,6	9,8	2,8	0,3	85,4	89,9
Без добрив (контроль)	11,7	74,4	12,8	2,8	0,3	87,2	89,7
N <sub>55</sub>	13,0	72,3	11,8	2,6	0,3	84,1	89,6
N <sub>110</sub>	13,4	72,2	11,8	2,7	0,4	84,0	89,3
P <sub>60</sub> K <sub>80</sub>	11,8	75,8	11,8	3,3	0,4	87,6	90,6
N <sub>110</sub> K <sub>80</sub>	13,5	72,0	11,4	3,4	0,3	83,4	89,2
N <sub>110</sub> P <sub>60</sub>	13,4	70,0	10,9	2,5	0,3	80,9	89,8
N <sub>55</sub> P <sub>30</sub> K <sub>40</sub>	13,0	73,0	11,3	2,9	0,3	84,3	89,9
N <sub>110</sub> P <sub>60</sub> K <sub>80</sub>	12,7	72,5	11,2	3,1	0,3	83,7	89,5
N <sub>110</sub> P <sub>30</sub> K <sub>40</sub>	12,4	69,5	11,1	2,8	0,2	80,6	89,8
N <sub>110</sub> P <sub>60</sub> K <sub>40</sub>	12,5	72,4	11,5	2,8	0,3	83,9	89,7
N <sub>110</sub> P <sub>30</sub> K <sub>80</sub>	12,7	72,8	11,5	3,1	0,3	84,3	89,8

Примітка. Вихідні дані перед закладанням досліджу.

Це зменшує накопичення токсичних іонів і поліпшує засвоєння поживних речовин за підвищеної кислотності [8].

Широке застосування удобрювальних продуктів і дія техногенних чинників значно посилює навантаження на ґрунт. Нині підкислення ґрунтів – один з основних ґрунтово-деградаційних процесів, через який зазвичай проявляється дія техногенного забруднення. Реакція ґрунту впливає на швидкість та спрямованість хімічних і біологічних процесів, розвиток рослин і ґрунтових мікроорганізмів. Добрива зазвичай змінюють реакцію ґрунтового середовища [14, 15]. Вважається, що обмінний ґрунтовий комплекс повинен містити 65% кальцію, 10– магнію, 5 – калію і 20% водню [11].

Як видно з даних табл. 2, вміст водню в структурі ЄКО становить 11,5–13,5% і збільшився у варіантах дослідів з удобренням в основному під впливом застосування азотних добрив. Незначна зміна вмісту водню в ЄКО за період проведення дослідів, на думку вчених [15], пояснюється потеплінням клімату та зміною затяжних спекотних періодів на короткотривалі дощові.

Вміст кальцію в ЄКО має тісний зв'язок з процесами накопичення й розкладання органічної речовини ґрунту. Цей зв'язок буває прямим – у результаті утворення важкорозчинних гуматів кальцію, так і побічним – змінюється реакція ґрунту та його фізичні властивості. Консервування органічної речовини у ґрунті зменшує втрати кальцію та сприяє накопиченню гумусу [17]. Вважається, що насиченість ґрунту важкого гранулометричного складу кальцієм і магнієм відповідно повинна бути 70% і 10%, тобто оптимальний сумарний вміст – 80%. Якщо вміст магнію в ЄКО глинистих ґрунтів 10–12%, дефіцит його в живленні рослин не повинен проявлятися [11].

Дослідженнями встановлено, що частка кальцію й магнію в складі ЄКО була в оптимальних межах – відповідно 69,5–75,8% і 10,9–12,8%. Незначне підвищення частки кальцію в ґрунті удобрених ділянок можна пояснити поверненням його з висхідним потоком води по ґрунтових капілярах. Вважається, що 20–30% вимитого з верхнього шару кальцію і магнію в посушливий період може повертатися в орний шар ґрунту [11].

За порушення оптимального відношення  $Ca^{2+} : Mg^{2+}$  і  $Mg^{2+} : K^{+}$  вирощувані культури відчувають дефіцит або надлишок магнію для формування врожаю, навіть за високого його вмісту в ґрунті [11].

Відношення  $Ca^{2+} : Mg^{2+}$  у структурі ЄКО ґрунту було 7,7, а після тривалого застосування добрив залежно від варіанту дослідів – в межах 5,8–6,5 і було найнижчим на ділянках без удобрення.

Вважається, що за відношення  $Mg^{2+} : K^{+}$  менш як 2, проявляється різкий дефіцит магнію, 2–5 – збалансоване живлення рослин цими елементами, більше ніж 5 – різкий дефіцит калію [13]. Дослідженнями встановлено, що це відношення в ґрунті перед закладанням дослідів становило 3,5, а після тривалого використання

ґрунту без внесення мінеральних добрив підвищилось до 4,8. Значне підвищення відношення  $Mg^{2+} : K^{+}$  – 4,4 пройшло також у варіанті дослідів  $N_{110}P_{60}$ , що показує можливий дефіцит калію в живленні рослин.

Ступінь насиченості ґрунту основами за період проведення дослідів майже не змінився і був у межах 89,2–90,6% за вихідного показника 89,9%.

Відсутність значних змін у складі ЄКО свідчить про селективність цього процесу, хід якого, крім хімізму елементів, визначається складом ЄКО і ґрунтової маси в цілому. На стабільність показника також впливають особливості біохімічних циклів речовин у певних ґрунтово-кліматичних умовах.

**Висновки.** 1. Тривале застосування різних систем удобрення, так і без них істотно не впливало на вміст гумусу, який був у межах 3,7–4,1%. Незначні зміни вмісту гумусу можна пояснити залишення на полі нетоварної продукції усіх культур сівозміни.

2. У варіантах дослідів  $N_{110}P_{60}$  та  $N_{110}P_{30-60}K_{40-80}$  порівняно неудобреними ділянками, було незначне – на 7–8% підвищення ЄКО, що можна пояснити більшим надходженням у ґрунт органічної речовини з поживно-кореновими рештками.

3. Структура ЄКО чорнозему опідзоленого під дослідом близька до оптимальної і під впливом 15-річного застосування різних систем застосування мінеральних добрив за умови залишення на полі нетоварного врожаю не зазнала суттєвих змін.

4. Частка кальцію та магнію в складі ЄКО була в оптимальних межах – відповідно 69,5–75,8% і 10,9–12,8%. Незначне зниження частки кальцію в ґрунті удобрених ділянок можна пояснити поверненням його з висхідним потоком води по ґрунтових капілярах.

5. Відношення  $Ca^{2+} : Mg^{2+}$  у структурі ЄКО ґрунту було 7,7, а після тривалого застосування добрив залежно від варіанту дослідів – в межах 5,8–6,5 з найнижчим значенням на ділянках без удобрення. Відношення  $Mg^{2+} : K^{+}$  перед закладанням дослідів становило 3,5, а після тривалого використання ґрунту без внесення мінеральних добрив підвищилось до 4,8. Значне підвищення відношення  $Mg^{2+} : K^{+}$  – 4,4 пройшло також у варіанті дослідів  $N_{150}P_{60}$ , що показує про можливий дефіцит калію в живленні рослин.

### Література

- Barrow, N. J., Hartemink, A. E. (2023). The effects of pH on nutrient availability depend on both soils and plants. *Plant Soil*, 487, 21–37. <https://doi.org/10.1007/s11104-023-05960-5>
- Hu, X. J.; Liu, J. J.; Wei, D. et al. (2017). Effects of over 30-year of different fertilization regimes on fungal community compositions in the black soils of northeast China. *Agric. Ecosyst. Environ.* 248, 113–122. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.07.031>
- Kuncheva, G., Gynchev, G., Perfanova, J. et al. (2025). Multivariate Analyses of Soil Properties and CO<sub>2</sub> Emissions Under Long-Term Fertilization and

Crop Rotation in Luvic Chernozem. *Nitrogen*, 6(2), 39. <https://doi.org/10.3390/nitrogen6020039>

4. Luo, P., Han, X., Wang, Y. et al. (2015). Influence of long-term fertilization on soil microbial biomass, dehydrogenase activity, and bacterial and fungal community structure in a brown soil of northeast China. *Ann. Microbiol.* 65, 533–542. <https://doi.org/10.1007/s13213-014-0889-9>

5. Šimanský, V., Jonczak, J., Horváthová, J. et al. (2022). Does long-term application of mineral fertilizers improve physical properties and nutrient regime of sandy soils? *Soil Tillage Res.*, 215, 105224. <https://doi.org/10.1016/j.still.2021.105224>

6. Šimanský, V., Juriga, M., Jonczak, J. et al. (2019). How relationships between soil organic carbon parameters and soil structure characteristics are affected by the long-term fertilization of a sandy soil. *Geoderma*, 342, 75–84. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.02.020>

7. Ullah, S., Ai, C., Ding, W. et al. (2019). The response of soil fungal diversity and community composition to long-term fertilization. *Appl. Soil Ecol.* 140, 35–41. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2019.03.025>

8. Warke A. T., Wakgari T. (2024). A Review on the Impact of Soil Acidification on Plant Nutrient Availability, Crop Productivity, and Management Options in the Ethiopian Highlands. *Agriculture, Forestry and Fisheries*, 13 (2), 31–45. <https://doi.org/10.11648/j.aff.20241302.13>

9. Warncke, D., Brown's, J. R. (1998). Potassium and Other Basic Cations. Recommended Chemical Soil Test Procedures for the North Central Region. NCR Publication, no. 221, 31–33.

10. Внутрігосподарський контроль стану ґрунтів (наукові рекомендації); за ред. М. Мірошніченка. Харків : 2023. 121 с.

11. Господаренко Г. М. Агрохімія. Київ : ТОВ «ТРОПЕА», 2024. 572 с.

12. Господаренко Г. М., Прокопчук І. В. Трансформація кислотно-основних властивостей ґрунту за тривалого застосування добрив у польовій сівозміні. *Вісник Уманського національного університету садівництва*. 2014. №1. С. 8–12.

13. Господаренко Г. М., Черно О. Д., Нікітіна О. В. Агрохімія калію / за заг ред. Г. М. Господаренка. Київ : ТОВ «ТРОПЕА», 2021. 264 с.

14. Носко Б. С. Антропогенна еволюція чорноземів. Харків : Вид. «13 типографія», 2006. 239 с.

15. Основи управління родючістю ґрунтів. Р. С. Трускавецький, Ю. Л. Цапко; за наук. ред. Р. С. Трускавецького. Харків : ФОП Бровін О. В., 2016. 388 с.

16. Стаціонарні польові дослідження України. Реєстр атестатів. Київ : Аграрна наука, 2014. 146 с.

17. Трус О. М., Господаренко Г. М., Прокопчук І. В. Гумус чорнозему опідзоленого та його відтворення. Умань : ВПЦ «Візаві», 2016. 228 с.

## References

1. Barrow, N. J., Hartemink, A. E. (2023). The effects of pH on nutrient availability depend on both soils and plants. *Plant Soil*, 487, 21–37. <https://doi.org/10.1007/s11104-023-05960-5>

2. Hu, X. J.; Liu, J. J.; Wei, D. et al. (2017). Effects

of over 30-year of different fertilization regimes on fungal community compositions in the black soils of north-east China. *Agric. Ecosyst. Environ.* 248, 113–122. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.07.031>

3. Kuncheva, G., Gynchev, G., Perfanova, J. et al. (2025). Multivariate Analyses of Soil Properties and CO<sub>2</sub> Emissions Under Long-Term Fertilization and Crop Rotation in Luvic Chernozem. *Nitrogen*, 6(2), 39. <https://doi.org/10.3390/nitrogen6020039>

4. Luo, P., Han, X., Wang, Y. et al. (2015). Influence of long-term fertilization on soil microbial biomass, dehydrogenase activity, and bacterial and fungal community structure in a brown soil of northeast China. *Ann. Microbiol.* 65, 533–542. <https://doi.org/10.1007/s13213-014-0889-9>

5. Šimanský, V., Jonczak, J., Horváthová, J. et al. (2022). Does long-term application of mineral fertilizers improve physical properties and nutrient regime of sandy soils? *Soil Tillage Res.*, 215, 105224. <https://doi.org/10.1016/j.still.2021.105224>

6. Šimanský, V., Juriga, M., Jonczak, J. et al. (2019). How relationships between soil organic carbon parameters and soil structure characteristics are affected by the long-term fertilization of a sandy soil. *Geoderma*, 342, 75–84. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.02.020>

7. Ullah, S., Ai, C., Ding, W. et al. (2019). The response of soil fungal diversity and community composition to long-term fertilization. *Appl. Soil Ecol.* 140, 35–41. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2019.03.025>

8. Warke A. T., Wakgari T. (2024). A Review on the Impact of Soil Acidification on Plant Nutrient Availability, Crop Productivity, and Management Options in the Ethiopian Highlands. *Agriculture, Forestry and Fisheries*, 13 (2), 31–45. <https://doi.org/10.11648/j.aff.20241302.13>

9. Warncke, D., Brown's, J. R. (1998). Potassium and Other Basic Cations. Recommended Chemical Soil Test Procedures for the North Central Region. NCR Publication, no. 221, 31–33.

10. Miroshnychenko, M. (Ed.). (2023). Vnutrihospodarskyi kontrol stanu gruntiv: naukovi rekomendatsii [Internal farm soil condition control: scientific recommendations]. Kharkiv: 121 [in Ukrainian].

11. Hospodarenko, H.M. (2024). Ahrokhimiia [Agrochemistry]. Kyiv: TROPEA, 572 [in Ukrainian].

12. Hospodarenko, H.M., & Prokopchuk, I.V. (2014). Transformatsiia kyslotno-osnovnykh vlastyvostei gruntu za tryvaloho zastosuvannia dobriv u polovii sivozmini [Transformation of soil acid-base properties under long-term application of fertilizers in a field crop rotation]. Uman: Visnyk Umanskoho natsionalnoho universytetu sadivnytstva, vol. 1, 8–12 [in Ukrainian].

13. Hospodarenko, H.M., Cherny, O.D., & Nikitina, O.V. (2021). Ahrokhimiia kaliu [Agrochemistry of potassium]. Kyiv: TROPEA, 264 [in Ukrainian].

14. Nosko, B.S. (2006). Antropohenna evoliutsiia chornozemiv [Anthropogenic evolution of chernozems]. Kharkiv: 13 Typohrafiia, 239 [in Ukrainian].

15. Truskavetskyi, R.S., & Tsapko, Yu.L. (2016). Osnovy upravlinnia rodichistiu gruntiv [Fundamentals of soil fertility management]. Kharkiv: Brovin O.V., 388 [in Ukrainian]

16. Statsionarni polovi doslidy Ukrainy. Reiestr atestativ [Stationary field experiments of Ukraine. Register of certificates]. Kyiv: Ahrarna nauka, 146 [in Ukrainian].

17. Trus, O.M., Hospodarenko, H.M., & Prokopchuk, I.V. (2016). Humus chornozemu opidzolenoho ta yoho vidtvorennia [Humus of podzolized chernozem and its reproduction]. Uman: Vizavi, 228 [in Ukrainian].

Дата першого надходження статті до видання: 26.02.2026  
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 27.03.2026  
Дата публікації (оприлюднення) статті: 26.05.2026