

DOI: 10.32636/01308521.2021-(70)-2-9

УДК 631.412:631.416.8

О. Л. ДУБИЦЬКИЙ, кандидат біологічних наук

О. Й. КАЧМАР, А. О. ДУБИЦЬКА, О. В. ВАВРИНОВИЧ, кандидати с.-г. наук

М. М. ЩЕРБА, науковий співробітник

Інститут сільського господарства Карпатського регіону НААН

вул. Грушевського, 5, с. Оброшине Львівського р-ну Львівської обл.,

81115, e-mail: oksanaostrowska@ukr.net

ДИНАМІКА ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТА ВМІСТ МІКРОЕЛЕМЕНТІВ У ҐРУНТІ ПІД ПШЕНИЦЕЮ ОЗИМОЮ ЗА ЕКОЛОГІЗОВАНИХ СИСТЕМ УДОБРЕННЯ

Досліджено закономірності формування фізико-хімічних властивостей кислотно-основного балансу (обмінна, гідролітична кислотність, сума увібраних основ – відповідно рН_{КСІ}, Нг, S), зміни вмісту обмінних Ca²⁺, Mg²⁺, рухомих форм Cu, Zn, Mn, Fe у сірому лісовому ґрунті під пшеницею озимою (ВВСН23, ВВСН31-33, ВВСН89), урожайності зазначеної культури за умов екологізованих систем удобрення (ЕСУ). Встановлено доцільність застосування соломи гороху (СГ) + N₃₀P₄₅K₄₅ + біостимулятор (БС) або СГ + N₃₀P₄₅K₄₅ + гумусне добриво (ГД) (відповідно вар. 3, 4) для підлужнення ґрунтового розчину на 0,11–0,24 одиниці, зниження Нг та скеровування змін S у напрямі зростання щодо контролю (вар. 1). Це супроводжувалося збільшенням вмісту рухомих форм Ca²⁺, Mg²⁺, зменшенням співвідношення Ca²⁺/Mg²⁺ порівняно з вар. 1 до субоптимальних рівнів 6,5–6,6 (вар. 4; кушення, повна стиглість).

За умов N₆₀P₉₀K₉₀ + БС (вар. 5) мало місце зменшення рН_{КСІ}, S на 0,03–0,08 одиниці та на 0,16–0,29 мг-екв/100 г ґрунту, одночасне збільшення Нг на 0,08–0,12 мг-екв/100 г ґрунту порівняно з контролем (вар. 1). У разі застосування N₆₀P₉₀K₉₀ + БС + ГД (вар. 6) відзначено зростання рН_{КСІ} на 0,05–0,08 і неоднозначні за фазами онтогенезу зміни S, Нг щодо вар. 1. Водночас на вар. 5, 6 рН_{КСІ}, S залишалися меншими, Нг – більшою, порівняно з вар. 3, 4. Також на вар. 5, 6 відбувалося збільшення рухомих Ca²⁺, Mg²⁺ на 0,08–0,68 мг-екв/100 г ґрунту, зростання Ca²⁺/Mg²⁺ до 8,7–9,3.

ЕСУ на основі N₆₀P₉₀K₉₀ зумовлювали більші прирости Cu, Mn, Fe (0,23–2,17 мг/кг ґрунту; вар. 5, 6; кушення, повна стиглість) порівняно з ЕСУ на основі СГ + N₃₀P₄₅K₄₅ (0,11–1,70 мг/кг ґрунту; вар. 3, 4) щодо вар. 1. Навпаки, приріст вмісту Zn, до вар. 1 був більшим на вар. 3, 4 (0,12–0,27 мг/кг) vs. вар. 5, 6 (0,06–0,12 мг/кг). Як за умов фону СГ + N₃₀P₄₅K₄₅, так і за N₆₀P₉₀K₉₀ прирости вмісту Mn, Fe щодо вар. 1, були більшими, ніж відповідні прирости Cu, Zn (відповідно 0,52–2,17 vs. 0,06–0,29 мг/кг).

На вар. 3, 4 природи врожайності пшениці до вар. 1 становили 1,46–1,72 т/га, тоді як на вар. 5, 6 вони були більшими – 2,67–2,75 т/га.

Ключові слова: екологізовані системи удобрення, солома гороху, пшениця озима, фізико-хімічні властивості ґрунту, мікроелементи, врожай.

Olexandr Dubytskyi, Oksana Kachmar, Anhelina Dubytska, Oksana Vavrynovych, Mariia Shcherba

Institute of Agriculture of the Carpathian Region NAAS

Dynamics of physicochemical properties and content of trace elements in the soil under winter wheat by ecologized fertilization systems

The regularities of the physicochemical properties' formation of acid-base balance (exchangable and hydrolytic acidity, the sum of absorbed bases – pH_{KCl} , Hr, S), changes of the exchangeable Ca^{2+} and Mg^{2+} content, mobile forms of Cu, Zn, Mn, Fe in the gray forest soil under winter wheat (BBCH23, BBCH31-33, BBCH89), the yield of this crop under conditions of ecologized fertilization systems (EFS) have been investigated. The expediencies of pea straw use (PS) + $N_{30}P_{45}K_{45}$ + biostimulator (BS) or PS + $N_{30}P_{45}K_{45}$ + humus fertilizer (HF) (var. 3, 4, respectively) in order to alkalyze soil solution by 0.11–0.24 units, decrease Hr and increase S relative to control (var. 1) have been established. This was accompanied by the increase in content of Ca^{2+} and Mg^{2+} mobile forms, decrease of Ca^{2+}/Mg^{2+} ratio compared with var. 1, until suboptimal levels of 6.5–6.6 was reached (var. 4; tillering, full ripeness).

Under the conditions of $N_{60}P_{90}K_{90}$ + BS (var. 5) took place the decrease of pH_{KCl} and S by 0.03–0.08 units and by 0.16–0.29 mg-eq/100 g of soil. The simultaneous increase of Hr by 0.08–0.12 mg-eq/100 g of soil compared to control (var. 1). In the case of $N_{60}P_{90}K_{90}$ + BS + HF application (var. 6), there was noted the increase of pH_{KCl} by 0.05–0.08 and changes of S and Hr compared to var. 1. At the same time on var. 5 and 6 the values of pH_{KCl} and S remained lower, Hr – higher relative to var. 3 and 4. Also on the var. 5 and 6 there was an increase of the contents of mobile Ca^{2+} , Mg^{2+} by 0.08–0.68 mg-eq/100 g of soil, as well as Ca^{2+}/Mg^{2+} to 8.7–9.3.

EFS based on $N_{60}P_{90}K_{90}$ caused the large increments of Cu, Mn, Fe (0.23–2.17 mg/kg of soil; var. 5, 6), compared with EFS based on PS + $N_{30}P_{45}K_{45}$ (0.11–1.70 mg/kg of soil; var. 3, 4) relative to var. 1. On the contrary, the gain of the Zn content relative to var. 1 was greater on var. 3, 4 (0.12–0.27 mg/kg) vs. var. 5, 6 (0.06–0.12 mg/kg). Both, under the conditions of the PS + $N_{30}P_{45}K_{45}$ and $N_{60}P_{90}K_{90}$ background the increases of Mn, Fe content relative to var. 1 were greater than corresponding increases of Cu, Zn (0.52–2.17 mg/kg vs. 0.06–0.29 mg/kg respectively).

On var. 3, 4 increments of the wheat yield relative to var. 1 were 1.46–1.72 t/ha while on var. 5, 6 they were higher – 2.67–2.75 t/ha.

Key words: ecologized fertilizing systems, pea straw, winter wheat, physicochemical properties of soil, trace elements, harvest.

Вступ. На сучасному етапі розвитку землеробства особливу увагу вчених привертає раціональне використання побічної продукції сільськогосподарських культур, оскільки це економічно виправдано. Відпадає потреба у її скиртуванні і транспортуванні, що позитивно позначається на затратній частині технологій вирощування культур, а також сприяє отриманню істотного приросту врожаю сільськогосподарських культур та поліпшенню параметрів ґрунтової родючості [1, 7, 18, 19]. Крім цього, слід відзначити, що останні десятиріччя хімічну меліорацію в Україні практично не проводили, а дози внесення мінеральних добрив є незначними і становлять 25–30 кг/га, а органічних – лише 3 т/га. За таких обставин не відтворюється родючість, знижується вміст і запаси гумусу, погіршується кислотний стан, як наслідок, ґрунти прогресивно деградують. Слід також зазначити, що у зв'язку з збільшенням зернового клину та високоліквідних технічних культур постає проблема раціонального використання нетоварної частини врожаю. На сьогодні спостерігаємо зменшення соломи в раціоні великої рогатої худоби, яку в подрібненому стані доцільно використовувати для збагачення ґрунтів органічною речовиною, а також з метою нормалізації кислотно-лужного балансу ґрунту.

Ряд вчених [9, 15, 17, 25, 31] вказує на позитивний вплив загорання соломи зернових культур: це поліпшення кореневого живлення і повітряного режиму, структури ґрунту. За розкладання соломи до ґрунту надходять не тільки мінеральні сполуки, але й значна кількість вуглекислого газу, що використовується рослинами для фотосинтезу, а також утворюється вугільна кислота, яка сприяє переведенню у розчинну форму певної кількості поживних елементів.

Хімічний склад соломи змінюється залежно від біологічних, ґрунтових і погодних умов. У середньому 1 т соломи зернових містить: 0,5 % азоту, 0,25 % фосфорного ангідриду, 0,8 % оксиду калію, 35–40% вуглецю у формі різних органічних сполук. Крім того, у соломі містяться кальцій та магній, які здатні послаблювати кислотність ґрунту, та ряд мікроелементів (B, Cu, Mn, Mo, Zn, Co).

Однак відомо, що в процесі розкладання соломи мікроорганізми інтенсивно споживають мінеральний азот ґрунту, тому додавання мінеральних добрив, особливо азотних, є обов'язковим для оптимізації цього процесу.

До негативних властивостей соломи зернових слід віднести частково депресивну дію на наступну сільськогосподарську культуру, під яку й заорюють. Інгібіторна дія продуктів розкладання соломи

пов'язана з наявністю в них саліцилової, дегідростеаринової, бензойної, кумарової кислот і вініліну. Фітотоксичний ефект продуктів розкладу проявляється в затримці росту коріння, порушенні обміну речовин, хлорозі листя.

Слід відзначити, що вплив соломи бобових культур на ріст і розвиток зернових вивчено недостатньо. Відомо, що вміст відповідних макро- та мікроелементів у соломі гороху, люпину чи бобів кормових значно відрізняється від соломи зернових культур. Так, вміст N та K є вищим у соломі бобових, рівень Ca – в 6,1 разів, а Mg – в 2 рази. Є також певні відмінності і щодо її мікроелементного складу [24, 27, 30].

Водночас вплив соломи бобових попередників на ріст і розвиток пшениці озимої та особливості формування родючості ґрунту під нею потребують більш повного вивчення.

Слід також зазначити, що на сучасному етапі розвитку землеробства застосування заходів біологізації спрямоване на оптимізацію та екологізацію систем удобрення для поліпшення родючості ґрунту, збереження довкілля та отримання рослинницької продукції належної якості [4, 10, 12, 29].

Серед новітніх альтернативних органічних добрив, здатних активізувати аборигенну мікрофлору і позитивно впливати на ґрунтово-біологічні процеси, оптимізувати кореневе живлення рослин, стимулювати ріст і розвиток рослин, є гумусні добрива, такі як humin plus, гумісол та багато інших подібних препаратів [2, 5, 13, 22].

Гумінові препарати позитивно впливають на ріст та розвиток рослин, поліпшують надходження води й елементів живлення. Особливо важлива роль гумінових речовин у послабленні дії несприятливих зовнішніх факторів на рослини. Гумусові кислоти нівелюють негативний вплив високих доз мінеральних добрив, підвищують стійкість рослин до токсичного впливу важких металів. В основі отримання гумінових препаратів лежать властивості гумусових кислот каустоболітів утворювати водорозчинні солі з одновалентними катіонами натрію, калію, амонію [6].

Солі одновалентних лужних металів та амонію добре розчинні і легкодоступні для рослин. На відміну від гумінових кислот їх солі активніше діють на фізіологічні процеси розвитку рослин. У рослинництві ці солі можна безпосередньо вносити в ґрунт, використовувати для позакореневого підживлення [14].

У зв'язку з цим використання гумусних добрив сумісно з мінеральними є доречним і актуальним, проте недостатньо вивченим.

Агроекологічна оцінка ґрунтів базується на комплексі

показників, серед яких важливе місце відведено реакції ґрунтового розчину (pH_{KCl} , гідролітична кислотність Hr , сума увібраних основ – S). Ці характеристичні величини впливають на ріст і розвиток рослин, діяльність ґрунтових організмів і ступінь розчинності важкодоступних форм елементів живлення, ефективність удобрення [3, 21, 26].

Причини формування кислого ґрунтового середовища такі: погодні умови (промивний водний режим), властивості материнської породи (кисла чи карбонатна) та антропогенні чинники. Серед останніх: застосування в значних обсягах фізіологічно -і хімічнокислих добрив, випадання кислотних опадів. Значної підкислювальної дії зазнає ґрунт внаслідок декальцинації – виносу кальцію з урожаєм та інфільтрації з талими водами.

Слід відзначити проблему забезпеченості рослин кальцієм та магнієм [11, 16]. З різних причин відбувається поступове збіднення на ці елементи орного шару ґрунтів. Доцільність регулювання кількості кальцію та магнію розглядають не тільки як засіб нейтралізації ґрунтової кислотності, а як істотний чинник оптимізації стану ґрунтового вбирного комплексу (ГВК), процесів синтезу і деструкції органічних речовин.

Науковий та практичний інтерес становить інтенсивність перетворення рослинних решток у ґрунті і, як наслідок, швидкість вивільнення мікроелементів та доступність їх наступній культурі, що може бути критерієм ефективності екологізованих систем удобрення [8, 20, 23, 28, 31].

Мета роботи – дослідити вплив екологізованих систем удобрення на формування в динаміці параметрів кислотності ґрунту, накопичення мезо- та мікроелементів та продуктивність пшениці озимої.

Матеріали і методи. Дослідження проводили у 2018–2020 рр. у полі пшениці озимої *Triticum aestivum* L. сорту Бенефіс, висіяної після гороху на зерно в умовах стаціонарного досліду з вивчення наукових основ управління продуктивністю короткоротаційних сівозмін в умовах Карпатського регіону. Схема досліду включає 6 варіантів:

- 1) контроль (без добрив);
- 2) солома гороху;
- 3) солома гороху + $\text{N}_{30}\text{P}_{45}\text{K}_{45}$ + БС;
- 4) солома гороху + $\text{N}_{30}\text{P}_{45}\text{K}_{45}$ + БС + ГД;
- 5) $\text{N}_{60}\text{P}_{90}\text{K}_{90}$ + БС;
- 6) $\text{N}_{60}\text{P}_{90}\text{K}_{90}$ + БС + ГД.

Варіанти, скомпоновані на основі соломи гороху, умовно позначили блок I, а на тлі $N_{60}P_{90}K_{90}$ – блок II. Гумусне добриво (ГД) вносили з осені в період заорювання соломи в дозі 3,0 л/га. Біостимулятор застосовували двічі за вегетацію (весняне кушення та вихід у трубку) – 0,5 л/га.

Гумусне добриво (ГД) еко-імпульс представляє собою концентрований водний розчин солей гумінових кислот, склад: масова частка органічних речовин – 43,5 %, золи – 56,5 %; біостимулятор (БС) terra-сорб, склад препарату: 25 % – загальна кількість органічних речовин, 20 % – амінокислоти, 5,5 – вміст азоту, В – 1,5, Fe – 1,0, Mg – 0,8, Zn і Mn по 0,1 та Mo – 0,001 %.

Ґрунт дослідної ділянки – сірий лісовий поверхнево оглеєний легкосуглинковий з відповідною агрохімічною характеристикою: рН сольове – 4,85, вміст азоту (за Корнфілдом) – 9,8, доступного фосфору та калію (за Кірсановим) ($2n\text{HCl}$) – 10,8 та 8,7 мг/100 г ґрунту, рівень загального гумусу – 2,1 %.

Аналітичні роботи здійснювали зі зразками ґрунту, відібраними в період вегетації пшениці озимої. Визначали рН сольове (обмінна кислотність – потенціометричним методом, ДСТУ ISO 10390-2001; гідролітичну кислотність – титриметричним методом Каппена в модифікації ЦІНАО, ГОСТ 26212-91); суму увібраних основ – титриметричним методом Каппена (ГОСТ 27821-88). Концентрацію рухомих мікроелементів Cu, Zn, Fe, Mn (після вилучення ацетатно-амонійним буферним розчином, рН 4,8) – методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії на приладі С-115 М. Вміст рухомих форм кальцію та магнію визначали трилонометричним методом.

Результати та обговорення. Результати наших досліджень засвідчують, що застосування соломи гороху сприяло підлужненню ґрунтового розчину у фазі весняного кушення на 0,20, забезпечивши обмінну кислотність на рівні 5,04 проти 4,84 одиниці на контролі. У фазі колосіння це зниження було на рівні 0,23, а в кінці вегетації показник pH_{KCl} становив відповідно 5,02 одиниці (табл. 1).

За період вегетації обмінна кислотність виявилася найнижчою у фазі кушення, в наступні періоди вона дещо підвищилася і залишилася на цьому рівні до кінця вегетації. Таку закономірність спостерігали практично в усіх варіантах досліду. Вирощування пшениці озимої після соломи гороху + $N_{30}P_{45}K_{45}$ + БС (вар. 3) сприяло підвищенню значення pH_{KCl} ґрунту на 0,11–0,12 одиниць щодо контролю. Однак за наявності органічної складової у системі удобрення (гумусне добриво) (вар. 4) відзначено вищий рівень величини рН – 5,05 одиниці (табл. 1).

Застосування мінеральної системи удобрення призвело до підкислення ґрунтового розчину, рівень рН становить – 4,76 (вар 5) (табл. 1). Аналогічні закономірності змін кислотності відстежили інші автори [3, 11]. Сумісне внесення $N_{60}P_{90}K_{90}$ + БС + ГД (вар. 6) сприяло частковій нормалізації кислотно-обмінних процесів у ґрунті, рівень рН сольового зріс на 0,12–0,19 одиниць щодо варіанта 5 (табл. 1).

1. Вплив екологізованих систем удобрення на фізико-хімічні властивості сірого лісового ґрунту (0-30 см; середнє за 2018–2020 рр.)

№ д. в.	Обмінна кислотність, рН _{KCl}			Гідролітична кислотність, Нг			Сума увібраних основ, S		
	мг-екв/100 г ґрунту								
	I	II	III	I	II	III	I	II	III
1	4,84	4,81	4,82	2,50	2,52	2,50	5,54	5,60	5,62
2	5,04	5,04	5,02	2,38	2,38	2,40	5,72	5,72	5,70
3	4,96	4,93	4,93	2,42	2,45	2,45	5,62	5,59	5,60
4	5,08	5,03	5,05	2,34	2,40	2,38	5,78	5,66	5,74
5	4,76	4,74	4,79	2,58	2,62	2,62	5,38	5,36	5,33
6	4,91	4,86	4,90	2,48	2,52	2,50	5,58	5,56	5,68

Примітка. I, II, III – фази онтогенезу весняне кущення, колосіння, повна стиглість. Зміст варіантів 1–6 див. розділ “Матеріали і методи”, д. в. – дослідний варіант.

Зниження обмінної кислотності за умов приорування соломи гороху супроводжувалося зменшенням гідролітичної кислотності до рівня 2,38–2,40 мг-екв/100 г ґрунту (вар. 2) проти 2,50–2,52 у контролі (вар. 1). Аналогічні закономірності відзначили в умовах сірих лісових ґрунтів інші вчені [18, 19]. Внесення $N_{30}P_{45}K_{45}$ на фоні соломи гороху забезпечило нижчий рівень гідролітичної кислотності, ніж на контролі на 4,5–5,0 %, однак щодо варіанта 2 відзначено підвищення у ґрунті концентрації іонів водню.

Внесення мінеральних добрив ($N_{60}P_{90}K_{90}$) підвищило рівень Нг до величини 2,58–2,62 мг-екв/100 г ґрунту. Слід зазначити, що підвищення гідролітичної кислотності на мінеральному фоні ($N_{60}P_{90}K_{90}$) більш виражене, ніж вплив на величину концентрації катіонів, що визначають обмінний її рівень. Гумусне добриво, внесенне на фоні $N_{60}P_{90}K_{90}$, до певної міри нормалізувало кислотно-обмінні процеси в ґрунті. Гідролітична кислотність становила відповідно 2,48–2,52 мг-екв/100 г ґрунту.

Важливим показником агрохімічного складу ґрунту є сума увібраних основ (S), що відображає загальну кількість увібраних катіонів, які відіграють важливу роль як джерело поживних речовин для рослин.

Сума увібраних основ зазнала певних змін за екологізованих систем удобрення. Різниця величини цього показника між варіантами була незначною, однак спостерігали тенденцію до її підвищення у варіанті з використанням соломи гороху + $N_{30}P_{45}K_{45}$ та з додаванням гумусного добрива. Використання мінерального добрива в дозі $N_{60}P_{90}K_{90}$ дещо звужувало ГВК, і сума увібраних основ зменшувалася. Доповнення мінерального удобрення (блок II) органічною складовою (ГД) забезпечило підвищення вмісту суми увібраних основ до рівня 5,56–5,68 мг-екв/100 г ґрунту. Очевидно, що така композиція удобрень дає можливість поліпшити цей показник, що оптимізує фізико-хімічні властивості ґрунту.

На цьому тлі є можливість відстежити вплив екологізованих систем удобрення на забезпеченість ґрунту рухомими формами кальцію та магнію.

Застосування соломи гороху, у складі якої кальцію в 6 разів більше, ніж у соломі пшениці озимої, зумовило зростання вмісту цього елемента щодо контролю на 6–11, а магнію – на 25–33 %. Внесення вторинної рослинницької продукції гороху сумісно з $N_{30}P_{45}K_{45}$ обумовило незначне зниження вмісту кальцію та магнію щодо до варіанту заорювання лише соломи. Встановлено, що додавання ГД у композиції удобрення ($N_{30}P_{45}K_{45}$ + БС + ГД) зменшило вимивання лужноземельних елементів, вміст яких стабілізувався на рівні 4,66–4,88 та 0,70–0,75 мг-екв/100 г ґрунту. Дослідження засвідчили, що із підвищенням рівня внесених мінеральних добрив ($N_{60}P_{90}K_{90}$) спостерігали зниження вмісту обмінних катіонів кальцію та магнію до рівня 4,46 та 0,48 мг-екв/100 г ґрунту. Внесення гумусного добрива на мінеральному фоні сприяло поліпшенню кальцій-магнієвого режиму, закріплення яких у ґрунті значною мірою здійснюється гуміновими кислотами. Проте найважливішим є співвідношення вмісту кальцію до магнію. На думку вчених, дефіциту магнію не буде, якщо еквівалент співвідношення між кальцієм і магнієм дорівнюватиме шести [11]. За результатами наших досліджень, ця умова найповніше задовольняється за таких еквівалентних співвідношень: на ділянках з органо-мінеральною системою (вар. 4) і наближено у варіанті 6 (табл. 2).

2. Вміст обмінного кальцію та магнію в ґрунті за екологізованих систем удобрення (0–30 см; середнє за 2018–2020 рр.)

№ д.в.	Обмінний кальцій, Ca ²⁺		Обмінний магній, Mg ²⁺		Ca ²⁺ Mg ²⁺	
	мг-екв/100 г ґрунту					
	I	II	I	II	I	II
1	4,14±0,17	3,94±0,15	0,40±0,019	0,39±0,019	10,3	10,1
2	4,52±0,20	4,40±0,18	0,54±0,026	0,52±0,025	8,1	8,4
3	4,42±0,18	4,48±0,19	0,50±0,025	0,51±0,025	9,0	8,7
4	4,88±0,22	4,66±0,21	0,75±0,030	0,70±0,034	6,5	6,6
5	4,46±0,19	4,24±0,17	0,48±0,024	0,48±0,024	9,3	8,7
6	4,80±0,21	4,62±0,21	0,65±0,029	0,66±0,030	7,3	7,1

Примітка. I – фаза кушення, II – повна стиглість. Зміст варіантів 1–6 див. розділ “Матеріали і методи”.

На ділянках без добрив та за використання лише мінеральної системи удобрення рекомендоване співвідношення порушується, а його величина знаходиться в межах 8,7–10,3, що свідчить про поглиблення дефіциту доступних форм магнію у ґрунті.

Для нормального росту і розвитку рослин потрібні мікроелементи, зокрема Cu, Fe, Zn, Mn, і визначення їх вмісту є важливим для дослідження фізико-хімічного та агрохімічного режимів ґрунту під пшеницею озимою за відповідних систем удобрення.

Слід зауважити, що за період 2018–2020 рр. у варіантах досліду спостерігали тенденцію до підвищення вмісту рухомих форм мікроелементів у шарі ґрунту 0–30 см, щодо контрольного варіанта.

Найбільше накопичення МЕ було у варіанті з максимальним насиченням мінеральними добривами (N₆₀P₉₀K₉₀). Вміст міді становив 1,12, цинку – 0,97, заліза – 11,80, марганцю – 11,40 мг/кг (табл. 3).

Очевидно, за умов підкислення ґрунту метали стають більш рухомими і надходять до організму рослин за наявності дефіциту потрібних мікроелементів. У наших досліджених вміст рухомих форм заліза загалом був вищим від середніх показників для зони і зростав за умов використання мінеральних добрив (N₆₀P₉₀K₉₀). Натомість застосування гумусного добрива на згаданому фоні сприяло зниженню рухомих форм заліза до рівня 10,84 мг/кг ґрунту. У варіантах блоку I на фоні соломи гороху спостерігали тенденційне зниження вмісту мікроелементу Fe, що значною мірою обумовлено зниженням кислотності ґрунту і як наслідок – послабленням мінералізаційних процесів у ньому. Щодо марганцю (Mn), то його вміст в ґрунті як і

заліза виявився достатньо високим. Розчинність Mn і Fe зростала із збільшенням кислотності ґрунту і виявилася найвищою на мінеральному фоні – 11,40 та 11,80 мг/кг (табл. 3).

3. Вміст мікроелементів у сірому лісовому ґрунті за екологізованих систем удобрення (середнє за 2019–2020 рр.)

№ д.в.	Cu		Zn		Mn		Fe	
	мг/кг							
	I	II	I	II	I	II	I	II
1	0,83	0,77	0,87	0,82	9,52	8,76	9,82	9,56
2	0,96	0,84	0,88	0,80	10,42	9,14	10,10	9,78
3	0,98	0,88	1,08	0,97	11,12	10,08	10,75	10,08
4	1,08	0,91	1,14	0,94	11,22	10,26	10,60	10,14
5	1,12	1,00	0,97	0,88	11,40	10,93	11,80	10,76
6	1,10	1,04	0,96	0,94	11,24	10,66	10,84	10,52

Примітка. I – фаза кушення, II – повна стиглість. Вміст варіантів 1–6 див. розділ “Матеріали і методи”.

Наявність рухомих форм МЕ відображає природні концентрації характерні для сірого лісового ґрунту: заліза і марганцю – високі, а забезпеченість цинком і міддю є низькою.

Це свідчить про особливості материнської породи ґрунту та високу активність поглинання їх пшеницею озимою.

За роки досліджень урожайність пшениці озимої після попередника горох на зерно на неудобреному фоні знаходилася на рівні 2,69 т/га (рис. 1). Вища врожайність зерна формувалася у разі поєднання соломи гороху + $N_{30}P_{45}K_{45}$ + БС, а також за умов внесення гумусного добрива на фоні побічної продукції + $N_{30}P_{45}K_{45}$ + БС і становила 4,15–4,44 т/га. Внесення мінерального добрива в дозі $N_{60}P_{90}K_{90}$ + БС сприяло отриманню на 1,19 т/га більшого врожаю, ніж на вар. 3. Використання на фоні цієї композиції ГД забезпечило отримання врожаю на рівні 5,44 т/га (рис.).

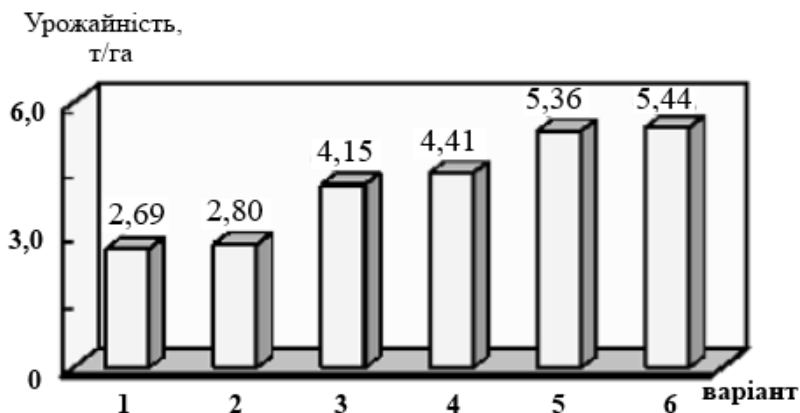


Рис. Урожайність пшениці озимої за умов екологізованих систем удобрення (повна стиглість; середнє за 2019–2020 рр., НІР_{0,5} – 0,17)

Висновки. Позитивний вплив екологізованих систем удобрення, скомпонованих на базі соломи гороху, за вирощування пшениці озимої сприяв поліпшенню фізико-хімічних властивостей ґрунту: підвищилися значення рН_{KCl} та відбулося зниження Нг, збільшилась сума увібраних основ, а співвідношення Ca²⁺ до Mg²⁺ знаходилося в межах 6,6–8,7. Мінеральна система удобрення (N₆₀P₉₀K₉₀) пшениці озимої призводить до збільшення обмінної та гідролітичної кислотності, тому для зниження окреслених негативних явищ потрібно практикувати введення в систему удобрень органічного компонента, зокрема гумусного добрива.

Встановлено, що застосування екологізованих систем удобрення на сірому лісовому ґрунті мало вплив на накопичення рухомих форм мікроелементів порівняно з показниками контрольного варіанта, однак перевищення гранично допустимих концентрацій елементів не спостерігали. Виявлено, що найбільше накопичення мікроелементів відбувалося за умов внесення N₆₀P₉₀K₉₀ + біостимулятор: Cu – 1,12, Zn – 0,97, Fe – 11,80 мг/кг. Застосування систем удобрення на фоні соломи гороху + N₃₀P₄₅K₄₅ + біостимулятор + гумусне добриво сприяло тенденції зростання вмісту Zn та Cu щодо контролю.

Позитивний вплив екологізованих систем удобрення на функціональні властивості ґрунту сприяв підвищенню його ефективної родючості. Рівень урожаю пшениці озимої на фоні соломи гороху

(блок I) становив 4,15–4,41 т/га. Сумісне застосування $N_{60}P_{90}K_{90}$ + біостимулятор та гумусне добриво забезпечило отримання додаткового врожаю 0,17 т/га, що вище, ніж за умов використання систем удобрення на фоні соломи (блок I).

Список використаної літератури

1. Балок С. А. Грунтові ресурси України: стан і заходи їх поліпшення. *Вісник аграрної науки*. 2010. № 6. С. 6–7.
2. Бикін А. В., Генгало О. М., Генгало Н. О. Вплив мінеральних добрив та гумату калію на врожайність і якість насіння сої. *Збірник наукових праць ННЦ “Інститут землеробства НААН”*. 2011. Вип. 3/4. С. 16–22.
3. Броннікова Л. Ф. Зміна кислотності темно-сірих лісових ґрунтів за різних технологічних чинників їх використання. *Сільське господарство та лісівництво. Ґрунтознавство та поліпшення якості ґрунтів*. 2016. № 4. С. 26–33.
4. Волкогон В. В., Надкєрнична О. В., Ковалєвська Т. М. Мікробні препарати у землеробстві. Теорія і практика / за ред. В. В. Волкогона. Київ, 2006. 312 с.
5. Волкогон В. В., Гусєв О. В., Волкогон К. І. Особливості азотного живлення ячменю при застосуванні нового біологічного препарату мікрогуміну. *Живлення рослин: теорія і практика* : збірник наукових праць, присвяч. 100-річчю від дня народження акад. АН УРСР і ВАСГНІЛ П. А. Власюка / голов. ред. В. В. Моргун. Київ, 2005. С. 279–285.
6. Горовая А. И., Орлов Д. С., Щєрбенко О. В. Гуминовье вещества. Киев, 1995. 303 с.
7. Ефективність використання побічної продукції на сірих лісових ґрунтах / Г. А. Мазур та ін. *Збірник наукових праць ННЦ “Інститут землеробства УААН”*, присвяч. Всеукр. наук. конф. “Шляхи підвищення ефективності використання на добриво побічної продукції рослинництва”. 2003. Спецвипуск. С. 23–28.

References

1. Baliuk S. A. Soil resources of Ukraine: condition and measures for their improvement. *Visnyk ahrarnoi nauky*. 2010. No 6. P. 6–7.
2. Bykin A. V., Henhalo O. M., Henhalo N. O. Influence of mineral fertilizers and potassium humate on the yield and quality of soybean seeds. *Zbirnyk naukovykh prats NNTs “Instytut zemlerobstva NAAN”*. 2011. Iss. 3/4. P. 16–22.
3. Bronnikova L. F. Changes of the acidity of dark gray forest soils under various technological factors of their use. *Siliske hospodarstvo ta lisivnytstvo. Gruntoznavstvo ta polipshennia iakosti gruntiv*. 2016. No 4. P. 26–33.
4. Volkohon V. V., Nadkernychna O. V., Kovalevska T. M. Microbial preparations in agriculture. Theory and practice / edited by V. V. Volkohon. Kyiv, 2006. 312 p.
5. Volkohon V. V., Husiev O. V., Volkohon K. I. Peculiarities of the nitrogen nutrition of barley when using the new biological preparation microhumine. *Zhyvlennia roslyn: teoriia i praktyka: zbirnyk naukovykh prats, prysviach. 100-richchiu vid dnia narodzhennia akad. AN URSSR i VASHNIL P. A. Vlasiuka / Chief Editor V. V. Morhun*. Kyiv, 2005. P. 279–285.
6. Gorovaya A. I., Orlov D. S., Shcherbenko O. V. Humic substances. Kiev, 1995. 303 p.
7. Efficiency of using by-products on gray forest soils / H. A. Mazur et al. *Zbirnyk naukovykh prats NNTs “Instytut zemlerobstva UAAN”*, prysviach. Vseukr. nauk. konf. “Shliakhy pidvyshchennia efektyvnosti vykorystannia na dobrovyo pobichnoi produktsii roslinnytstva”. 2003. Special Issue. P. 23–28.

8. Кабата-Пендиас А. Проблемы современной биогеохимии микроэлементов. *Российский химический журнал*. 2005. Т. 49, № 3. С. 15–19.
9. Кольбе Г., Штумпе Г. Солома как удобрение. Москва, 1972. 75 с.
10. Коноваленко Л. І., Колесникова Т. О., Моргунова Л. Я. Ефективність альтернативних органічних добрив в умовах Степу. Збірник наукових праць “Охорона ґрунтів”: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції “Агрохімічна служба України: роль і місце в розвитку агропромислового комплексу держави”. З нагоди 50-річчя агрохімічної служби України. 2014. Вип. 1. С. 170–173.
11. Літвінова О. А., Дмитренко О. В., Ковальова С. П. Динаміка вмісту мікроелементів і важких металів у сірому лісовому ґрунті за тривалого застосування добрив у сівозміні. *Агрокологічний журнал*. 2018. № 4. С. 43–49.
12. Лопушняк В. І., Засєкін Н. П. Використання ферментативних органічних добрив на дерново-підзолистих ґрунтах Західного Полісся України. Збірник наукових праць “Охорона ґрунтів”: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції “Агрохімічна служба України: роль і місце в розвитку агропромислового комплексу держави”. З нагоди 50-річчя агрохімічної служби України. 2014. Вип. 1. С. 180–182.
13. Найдюнова О. Є. Застосування гумінового препарату Humin plus в органічному землеробстві. *Вісник ХНАУ. Серія: Ґрунтознавство, агрохімія, землеробство. Лісове господарство*. 2015. Вип. 2. С. 39–50.
14. Орлов Д. С. Свойства и функции гуминовых веществ. *Гуминовые вещества в биосфере* / под ред. Д. С. Орлова. Москва, 1993. С. 16–27.
15. Примак І. Д., Манько Ю. Д., Рідей Н. М. Екологічні проблеми
8. Kabata-Pendias A. Problems of modern biogeochemistry of trace elements. *Rossiyskiy khimicheskii zhurnal*. 2005. Vol. 49, No 3. P. 15–19.
9. Kol’be G., Shtumpe G. The straw as fertilizer. Moscow, 1972. 75 p.
10. Konovalenko L. I., Kolesnykova T. O., Morhunova L. Ya. The effectiveness of alternative organic fertilizers in Steppe conditions. Zbirnyk naukovykh prats “Okhorona ґruntiv”: materialy Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii “Ahrokhimichna sluzhba Ukrainy: rol i mistse v rozvytku ahropromyslovoho kompleksu derzhavy”. Z nahody 50-richchia ahrokhimichnoi sluzhby Ukrainy. 2014. Iss. 1. P. 170–173.
11. Litvinova O. A., Dmytrenko O. V., Kovaliova S. P. Dynamics of the content of trace elements and heavy metals in the gray forest soil by the prolonged use of fertilizers in crop rotation. *Ahroekolohichniy zhurnal*. 2018. No 4. P. 43–49.
12. Lopushniak V. I., Zasiakin N. P. The use of enzymatic organic fertilizers on the sod-podzolic soils of Western Polissia of Ukraine. “Okhorona ґruntiv”: materialy Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii “Ahrokhimichna sluzhba Ukrainy: rol i mistse v rozvytku ahropromyslovoho kompleksu derzhavy”. Z nahody 50-richchia ahrokhimichnoi sluzhby Ukrainy. 2014. Iss. 1. P. 180–182.
13. Naidonova O. Ye. Application of the humic preparation Humin plus in organic farming. *Visnyk KhNAU. Seriya: Gruntoznavstvo, ahrokhimiia, zemlerobstvo. Lisove hospodarstvo*. 2015. Iss. 2. P. 39–50.
14. Orlov D. S. Properties and functions of humic substances. *Guminovyye veshchestva v biosfere* / edited by D. S. Orlova. Moscow, 1993. P. 16–27.
15. Prymak I. D., Manko Yu. D., Ridei N. M. Environmental problems of agriculture. Kyiv, 2010. 456 p.
16. Prymak I. D., Kupchuk V. I., Kolesnyk T. V. Changes of the agrochemical properties of typical

землеробства. Київ, 2010. 456 с.

16. Примак І. Д., Купчик В. І., Колесник Т. В. Зміна агрохімічних властивостей чорнозему типового за різних систем основного обробітку ґрунту й удобрення в Центральному Лісостепу України. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2012. № 3. С. 26–30.

17. Рижук С. М. Проблема поповнення ґрунтів органічною речовиною в сучасних умовах. *Збірник наукових праць ННЦ “Інститут землеробства УААН” присвяч. Всеукр. наук. конф. “Шляхи підвищення ефективності використання на добриво побічної продукції рослинництва”*. 2003. Спецвипуск. С. 9–13.

18. Сайко В. Ф. Використання на удобрення побічної продукції рослинництва. *Збірник наукових праць ННЦ “Інститут землеробства УААН” присвяч. Всеукр. наук. конф. “Шляхи підвищення ефективності використання на добриво побічної продукції рослинництва”*. 2003. Спецвипуск. С. 3–9.

19. Ткаченко М. А. Кислотність сірого лісового ґрунту при застосуванні на добриво нетоварної продукції рослинництва. *Збірник наукових праць ННЦ “Інститут землеробства УААН”*. 2011. Вип. 3/4. С. 3–8.

20. Фатєєв А. І. Рухомість Zn, Cu та Co в чорноземі опідзоленому під впливом сільськогосподарських культур. *Агрохімія і ґрунтознавство*. 2011. Вип. 74. С. 60–62.

21. Шемет А. Вплив сільськогосподарських культур на зміну рН і вмісту рухомих сполук мікроелементів в ґрунтах. *Вісник Львівського національного аграрного університету. Агрономія*. 2013. № 17 (1). С. 148–153.

22. Якименко О. С., Терехова В. А. Гуминовые препараты и оценка их биологической активности для целей сертификации. *Почвоведение*. 2011. № 11. С. 1334–1343.

chernozem under different systems of basic tillage and fertilization in the Central Forest-Steppe of Ukraine. *Visnyk Poltavskoi derzhavnoi ahrarnoi akademii*. 2012. No 3. P. 26–30.

17. Ryzhuk S. M. The problem of soil replenishment with organic matter in modern conditions. *Zbirnyk naukovykh prats NNTs “Instytut zemlerobstva UAAN” prysviach. Vseukr. nauk. konf. “Shliakhy pidvyshchennia efektyvnosti vykorystannia na dobrovyo pobichnoi produktsii roslynyntstva”*. 2003. Special Issue. P. 9–13.

18. Saiko V. F. Use of crop by-products for fertilization. *Zbirnyk naukovykh prats NNTs “Instytut zemlerobstva UAAN” prysviach. Vseukr. nauk. konf. “Shliakhy pidvyshchennia efektyvnosti vykorystannia na dobrovyo pobichnoi produktsii roslynyntstva”*. 2003. Special Issue. P. 3–9.

19. Tkachenko M. A. Acidity of the gray forest soil at use for fertilization of non-commercial crop production. *Zbirnyk naukovykh prats NNTs “Instytut zemlerobstva UAAN”*. 2011. Iss. 3/4. P. 3–8.

20. Fatieiev A. I. Mobility of Zn, Cu and Co in podzolized chernozem under the influence of agricultural crops. *Ahrokhimiia i gruntoznastvo*. 2011. Iss. 74. P. 60–62.

21. Shemet A. The influence of agricultural crops on the changes of pH and content of mobile compounds of microelements in the soils. *Visnyk Lvivskoho natsionalnoho ahrarneho universytetu. Ahronomiia*. 2013. No 17 (1). P. 148–153.

22. Yakimenko O. S., Terekhova V. A. Humic preparations and assessment of their biological activity for certification purposes. *Pochvovedenie*. 2011. No 11. P. 1334–1343.

23. A comparison of technologies for remediation of heavy metal contaminated soils / S. Khalid et al. *Journal of Geochemical Exploration*. 2017. Vol. 182. P. 247–268.

24. Amendment of acid soils with

23. A comparison of technologies for remediation of heavy metal contaminated soils / S. Khalid et al. *Journal of Geochemical Exploration*. 2017. V. 182. P. 247–268.
24. Amendment of acid soils with crop residues and biochars / Y. U. A. N. Jin-Hua et al. *Pedosphere*. 2011. V. 21, N 3. P. 302–308.
25. Buraczynska D., Ceglarek F. Previous crop value of post-harvest residues and straw of spring wheat, field pea and their mixtures for winter triticale Part I. Weight and chemical composition of post-harvest residues and straw. *Acta Scientiarum Polonorum. Agricultura*. 2011. Vol. 10, No 2. P. 3–18.
26. Characteristics of crop straw-decayed products and their ameliorating effects on an acidic ultisol / X. Y. Pan et al. *Archives of Agronomy and Soil Science*. 2020. V. 67, Iss. 12. P. 1708–1721.
27. Comparison of the ameliorating effects on an acidic ultisol between four crop straws and their biochars / J. H. Yuan et al. *Journal of Soils and Sediment*. 2011. V. 11, N 5. P. 741–750.
28. Haberhauer G., Temmel B., Gerzabek M. H. Influence of dissolved humic substances on the leaching of MCPA in a soil column experiment. *Chemosphere*. 2002. V. 46, N 4. P. 495–499.
29. Long-term straw management and N fertilizer rate effects on quantity and quality of organic C and N and some chemical properties in two contrasting soils in Western Canada / S. S. Malhi et al. *Biology and Fertility of Soils*. 2011. V. 47, N 7. P. 785–800.
30. Research progress on the effects of returning straw to fields on soil quality and crop growth / X. W. Cui et al. *Chinese Journal of Soil Science*. 2014. V. 45, N 6. P. 1527–1532.
31. Wang N., Li J. Y., Xu R. K. Use of agricultural by-products to study the pH effects in an acid tea garden soil. *Soil Use and Management*. 2009. V. 25, N 2. P. 128–132.
- crop residues and biochars / Y. U. A. N. Jin-Hua et al. *Pedosphere*. 2011. Vol. 21, No 3. P. 302–308.
25. Buraczynska D., Ceglarek F. Previous crop value of post-harvest residues and straw of spring wheat, field pea and their mixtures for winter triticale Part. I. Weight and chemical composition of post-harvest residues and straw. *Acta Scientiarum Polonorum. Agricultura*. 2011. Vol. 10, No 2. P. 3–18.
26. Characteristics of crop straw-decayed products and their ameliorating effects on an acidic ultisol / X. Y. Pan et al. *Archives of Agronomy and Soil Science*. 2020. Vol. 67, Iss. 12. P. 1708–1721.
27. Comparison of the ameliorating effects on an acidic ultisol between four crop straws and their biochars / J. H. Yuan et al. *Journal of Soils and Sediment*. 2011. Vol. 11, No 5. P. 741–750.
28. Haberhauer G., Temmel B., Gerzabek M. H. Influence of dissolved humic substances on the leaching of MCPA in a soil column experiment. *Chemosphere*. 2002. Vol. 46, No 4. P. 495–499.
29. Long-term straw management and N fertilizer rate effects on quantity and quality of organic C and N and some chemical properties in two contrasting soils in Western Canada / S. S. Malhi et al. *Biology and Fertility of Soils*. 2011. Vol. 47, No 7. P. 785–800.
30. Research progress on the effects of returning straw to fields on soil quality and crop growth / X. W. Cui et al. *Chinese Journal of Soil Science*. 2014. Vol. 45, No 6. P. 1527–1532.
31. Wang N., Li J. Y., Xu R. K. Use of agricultural by-products to study the pH effects in an acid tea garden soil. *Soil Use and Management*. 2009. Vol. 25, No 2. P. 128–132.

Отримано 28.09.2021