

DOI: 10.32636/01308521.2025-(78)-2-2

Оригінальна наукова стаття

УДК 633.11:631.811.631.58

**ХАРАКТЕРИСТИКИ НАКОПИЧЕННЯ Ca ТА Mg
В СКЛАДОВИХ СИСТЕМИ «ГРУНТ – ПШЕНИЦЯ ОЗИМА»
ЗА УМОВ БІОЛОГІЗОВАНИХ СИСТЕМ УДОБРЕННЯ****О. Л. Дубицький, А. О. Дубицька**

Інститут сільського господарства
Карпатського регіону НААН
вул. Грушевського, 5, с. Оброшине,
Львівський р-н, Львівська обл.,
81115

Про авторів:

Олександр ДУБИЦЬКИЙ,
кандидат біологічних наук
ORCID: 0000-0002-8293-4119

Ангеліна ДУБИЦЬКА,
кандидат сільськогосподарських
наук
ORCID: 0000-0002-5685-0237

Для листування:

Олександр ДУБИЦЬКИЙ
e-mail: dubytskyoleksandr@gmail.com

Інформація про фінансування:

Національна академія
аграрних наук України

Отримано:
22 вересня 2025 р.
Погоджено до друку:
11 грудня 2025 р.
Опубліковано:
30 грудня 2025 р.

Одним із важливих напрямків розвитку сучасного землеробства є використання біологізованих систем удобрення, скомпонованих на базі соломи сільськогосподарських культур, зокрема гороху, з додаванням біоефекторів (біостимулятор, гумусне, мікробіологічне добрива) або хелатного добрива. Метою досліджень було вивчення характеристик накопичення макроелементів Ca і Mg в складових системи «грунт – пшениця озима» за умов біологізованих систем удобрення. У дослідженнях використано польові та лабораторно-аналітичні методи. Застосування $N_{30}P_{45}K_{45}$ на фоні соломи гороху з додаванням біостимулятора та гумусного добрива в найбільшій мірі демонструвало сучасні підходи до технологій управління родючістю сірих лісових ґрунтів на основі принципів екологічної безпеки. Така система забезпечила найвищий сумарний вміст Ca і Mg у ґрунті в фазі трубкування – 4,98 мг-екв/100 г ґрунту, що супроводжувалось помітним підлужненням ґрунтового розчину. Серед вивчених біологізованих систем удобрення, поєднання соломи гороху + $N_{30}P_{45}K_{45}$ + гумусне добриво було найефективнішим напрямком посилення процесів накопичення Ca та Mg у верхніх листках пшениці. Застосування мікробіологічних добрив на фоні соломи + $N_{30}P_{45}K_{45}$ + біостимулятор створювало можливості для оптимізації біологічних механізмів живлення рослин, забезпечивши вміст Ca і Mg у верхніх листках у фазу трубкування на рівні 3,92 г/кг сирової речовини. У ході досліджень з'ясовані особливості макроелементного складу зерна пшениці озимої (Ca, Mg) за біологізованих систем удобрення. Найвищий рівень їх вмісту мав місце за умов використання гумусного або мікробіологічного добрива та біостимулятора.

Ключові слова: біологізовані системи удобрення, пшениця озима, ґрунт, верхні листки, зерно, Ca і Mg.

Стаття з відкритим доступом на умовах ліцензії Creative Commons.

© Дубицький О. Л., Дубицька А. О., 2025

The characteristics of Ca and Mg accumulation in the components of the "soil – winter wheat" system in the conditions of the biologized fertilizer systems

Institute of Agriculture of Carpathian Region of NAAS
Hrushevskoho street, 5, Obroshyne village, Lviv district, Lviv region, 81115

About authors:

Alexander DUBYTSKYI
ORCID: 0000-0002-8293-4119

Anhelina DUBYTSKA
ORCID: 0000-0002-5685-0237

For corresponding:

Alexander DUBYTSKYI
e-mail: dubytskyoleksandr@gmail.com

Funding information:

National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine

Received:

September 22, 2025

Accepted:

December 11, 2025

Published:

December 30, 2025

One of the important areas of modern agriculture development is the use of biologized fertilizer systems, composed on the basis of agricultural crop straw, in particular peas, with the addition of bioeffectors (biostimulator, humic, microbiological fertilizers) or chelate fertilizer. The aim of the research was to study the characteristics of accumulation of macroelements Ca and Mg in the components of the "soil – winter wheat" system in the conditions of biologized fertilizer systems. The research used field and laboratory-analytical methods. The use of $N_{30}P_{45}K_{45}$ on the background of pea straw with the addition of a biostimulant and humus fertilizer demonstrated to the greatest extent modern approaches to fertility management technologies of gray forestal soils based on the principles of environmental safety. This system provided the highest total content of Ca and Mg in the soil in the jointing stage – 4.98 mg-eq/100 g of soil, which was accompanied by a noticeable alkalization of the soil solution. Among the studied biologized fertilization systems, the combination of pea straw + $N_{30}P_{45}K_{45}$ + humus fertilizer was the most effective in enhancing the processes of Ca and Mg accumulation in the upper leaves of wheat. The use of microbiological fertilizers on the background of straw + $N_{30}P_{45}K_{45}$ + biostimulant created opportunities for optimizing the biological mechanisms of plant nutrition, ensuring the content of Ca and Mg in the upper leaves in the jointing stage at the level of 3.92 g/kg of dry matter. During the studies, the features of the macroelement composition of winter wheat grain (Ca, Mg) were determined in the conditions of biologized fertilizer systems. The highest level of their content occurred by using humus or microbiological fertilizer and a biostimulant.

Keywords: biologized fertilizer systems, winter wheat, soil, upper leaves, grain, Ca and Mg.

This is an open-access article under the terms of the Creative Commons.

Вступ. Сучасне сільське господарство стикається з низкою критичних викликів включаючи повсюдну деградацію ґрунтів, виснаження органічної речовини, зростаючий екологічний вплив інтенсивних хімічних засобів, які спрацьовують на погіршення поживного режиму, зокрема підкислення ґрунту, а відтак нестачу Ca і Mg – макроелементів, які мають вагоме значення в житті рослин [19] особливо для пшениці озимої забезпечуючи метаболізм, фотосинтез. Перехід від конвенційного до сталого сільського господарства є не тільки екологічним вибором, а економічною необхідністю [5, 8]. В цьому контексті запровадження екологізованих або біологізованих елементів землеробства,

зокрема системи удобрення з вмістом соломи зернових або бобових здатне спричинити значні позитивні зміни у властивостях ґрунту та біопродуктивності пшениці озимої [2, 3, 10, 11].

Солома бобових, зокрема, гороху є багата на вміст Ca (11,92 г/кг) та Mg (1,92 г/кг) і є хорошим субстратом для поповнення ґрунту даними макроелементами [7, 12]. Крім того, в соломі є достатня кількість целюлози, геміцелюлози, хітину [15, 24], що стає хорошим джерелом вуглецю в ґрунті [22].

Стратегічне заорювання соломи бобових як самостійно, так і в поєднанні з NPK забезпечують сприятливі зміни у ключових властивостях ґрунту, зокрема, покращується його поживний режим і

підвищується pH_{KCl} ґрунту, що є ключовим і здатне підвищити рівень Ca та Mg в ґрунті [1, 21, 27] поліпшити мікробіологічні процеси.

Своєю чергою ці покращені ґрунтові умови позитивно впливають на ріст та розвиток рослин [24, 27] і здатні спричинити комплексні покращення біопродуктивності та якості зерна [16, 21, 22, 28]. Це охоплює збільшення вмісту Ca та Mg, вуглецю, сухої речовини у прапорцевому та передпрапорцевому листках, а також покращення фотосинтетичних процесів [6, 14]. Дія заорювання соломи або соломи + NPK потенційно може бути модифікована та посилена за допомогою біостимуляторів, мікробіологічних та гумусних добрив, а також хелатних.

Біостимулятори, до складу яких входять екстракти морських водоростей та мікроорганізми, гідролізати білків стимулюють процеси живлення, толерантність до абіотичних стресів та якісні ознаки врожаю зернових [13, 17, 29, 30].

Біодобрива, зокрема мікробіологічні, які містять мікробні культури можуть збільшувати доступність поживних речовин та як наслідок ріст рослин і покращувати якість зерна [4, 9]. Позакореневе застосування хелатних добрив в посівах пшениці озимої це внесення добрив на листя, колос, стебло, це безпечний засіб підвищення продуктивності та якості врожаю в межах 9–29 % [25, 29].

Польські дослідження подають кількісні оцінки внесення мікроелементів (ХД), що забезпечувало 18 % збільшення врожаю пшениці; це еквівалентно 1,39 т/га, та збільшення вмісту білка в зерні на 8 %.

Щодо вмісту Ca та Mg в зерні пшениці, то наявність Mg в зерні є відчутно більша Ca, що формує співвідношення Ca : Mg менше одиниці [19]. Достатня кількість Mg забезпечує хороші показники озерненості колоса, масу 1000 зерен [20]. Стимулятори росту та хелатні добрива

сприяють збільшенню макроелементів в зерні, однак внаслідок "ефекту розведення врожаю" вміст вказаних елементів може мати зворотний зв'язок з урожайністю.

Таким чином аналізуючи роль Ca і Mg в ґрунті за умов біологізованих систем удобрення та їх дію на вміст елементів у верхніх листках пшениці озимої та в зерні метою досліджень є вивчення характеристики накопичення Ca і Mg в складових системи: ґрунт – пшениця озима.

Матеріали і методи. Дослідження проводили протягом 2018–2020 рр. в польових умовах з вивчення продуктивності сівозмін на дослідному полі Інституту сільського господарства Карпатського регіону НААН (с. Ставчани Львівського району Львівської області). Дослід – мікроділяночний, площа ділянки – 1 м², відстань між ділянками – 1 м, повторність – 6-разова. Схема дослідів наступна: 1) контроль (без добрив); 2) солома гороху; 3) солома гороху + N₃₀P₄₅K₄₅; 4) солома гороху + N₃₀P₄₅K₄₅ + БС (біологічний стимулятор); 5) солома гороху + N₃₀P₄₅K₄₅ + БС + ГД (гумусне добриво); 6) солома + N₃₀P₄₅K₄₅ + БС + МД (мікробіологічне добриво); 7) солома гороху + N₃₀P₄₅K₄₅ + ХД (хелатне добриво). Польові дослідження проводили з пшеницею озимою (*Triticum aestivum*) сорту Бенефіс. Маса приораної соломи гороху під пшеницю озиму становила 2,5 т/га.

Дослідні системи удобрення були скомпоновані на базі соломи гороху + N₃₀P₄₅K₄₅ з додаванням біостимулятора, гумусного, мікробіологічного або хелатного добрив. Характеристику препаратів наведено нижче:

Біостимулятор – терра-сорб. Склад препарату: 25 % – загальна кількість органічних речовин, 20 % – амінокислоти, загальна кількість азоту – 5,5 %, В – 1,5 %, Fe – 1,0 %, Mg – 0,8 %, Zn і Mn – по 0,1 %, Мо – 0,001 %.

Гумусне добриво екоімпульс являє собою концентрований водний розчин солей гумінових кислот, склад: масова частка органічних речовин – 43,5 %, масова

частка золи – 56,5 %. Препарат підвищує родючість ґрунту, покращує екологічний стан – зв'язує продукти техногенного забруднення, запобігає нагромадженню нітратів в рослинній продукції, активізує дозрівання.

Мікробіологічне добриво екоґрунт, склад якого містить мікроорганізми *Bacillus subtilis*, *Rhodococcus erythropolis* в кількості 1000 млн шт./г.

Хелатне добриво розасоль 18-18-18 + 125 + МЕ. До його складу входить: N, P, K – 18 %; B – 128; Mn – 400; Cu – 94; Fe – 325 і Zn – 287 мг/100 г. Мікроелементи, крім бору знаходяться в хелатній формі з ЕДТА. Препарат забезпечує рівномірний розвиток культури та наростання вегетативної маси; підвищення стійкості рослин до температурних стресів і хвороб, ефективний на ґрунтах з кислим рН.

Препарати використовували наступним чином: біостимулятором (БС) терра-сорб обробляли посіви пшениці озимої в фазах весняного кушення та виходу в трубку – 0,5 л/га; гумусне добриво (ГД) – екоімпульс вносили на відповідні ділянки з осені при загортанні соломи гороху – доза 3,0 л/га; мікробіологічне добриво (МД) вносили в дозі 3,0 л/га між фазою весняного кушення і виходу в трубку; хелатне добриво (ХД) вносили в фазі виходу в трубку в дозі 3,0 кг/га.

Ґрунт дослідних ділянок – сірий лісовий поверхнево оглеєний, легкосуглинковий. Проведено визначення фізико-хімічних та агрохімічних показників ґрунту перед закладкою досліду: рН_{KCl} – 4,85, гідролітична кислотність Нг – 2,58 мг-екв/100 г ґрунту, сума увібраних основ САВ – 4,5 мг-екв/100 г ґрунту, вміст легкогідролізного азоту – 98,0 мг/кг ґрунту, доступного фосфору й обмінного калію (0,2 н HCl) – 108 та 87 мг/кг ґрунту відповідно; рівень загального гумусу за Тюрнімом в модифікації Нікітіна – 2,1 %.

Кліматичні умови за роки проведення досліджень (2018–2020 рр.) мали свої особливості. Характеризувались

перепадами температурного режиму та різкі зміни кількості опадів, особливо в весняно-літній періоді. У 2019 р. максимальна кількість опадів випала в травні, а у 2020 р. в червні на фоні підвищення температури повітря на 0,9–1,6 °С, порівняно з середнім багаторічним. Умови вегетації рослин пшениці озимої були цілком задовільними, дозрівання культур проходило в оптимальних умовах.

Відбір зразків ґрунту (глибина 0–30 см) з дослідних варіантів, та їх підготовку до лабораторно-аналітичних робіт здійснювали згідно з ДСТУ ISO 11464-2001. В отриманих зразках ґрунту визначали рН_{KCl} потенціометрично (згідно з ДСТУ ISO 10390-2001), вміст обмінних форм кальцію та магнію – тригонометричним методом (згідно з ДСТУ 7945:2015). Вміст Ca та Mg в листках і зерні – атомно-абсорбційним методом за допомогою спектрофотометра.

Результати та обговорення.

Встановлено, що застосування біологізованих систем удобрення (БСУ) за вирощування пшениці озимої зумовило зміну вмісту рухомих форм кальцію та магнію в ґрунті, верхніх листках пшениці озимої, зерні.

За вказаних умов стан ґрунтового вбирного комплексу покращився і значною мірою це обумовлено використанням соломи гороху, яка містить у своєму складі 11,6 г/кг Ca і 1,86 г/кг Mg. Рівень вказаних макроелементів у варіанті заораної соломи становив 3,92–0,57 мг-екв/100 г ґрунту і сприяв підлучено ґрунту.

За внесення соломи на фоні N₃₀P₄₅K₄₅ спостерігалась тенденція збільшення актуальної кислотності (рН_(KCl)) до рівня 5,12 одиниць, що обумовлено інтенсивним розкладом соломи та вивільненням Ca і Mg у ГВК, які відповідно стримували підкислення ґрунту.

Дія приораної соломи або соломи з NPK на ґрунт та рослини потенційно модифікована в напрямку посилення за допомогою біостимулятора, гумусного та мікробіологічного добрив, а також

хелатного. Варіант 4 з використанням біостимулятора на фоні соломи NPK сприяв пом'якшенню стресу рослин, покращенню росту, однак вміст Ca та Mg за цих умов виявився близьким до варіанту 3 (солома + NPK). Не було відмічено ефекту системи з використанням БС на кальцій-магнієвий режим ґрунту. Використання ГД на фоні соломи + NPK + БС сприяло активізації мікробної діяльності ґрунту, покращенню гумусного стану. Своєю чергою це сприяло підвищенню вмісту Ca та Mg в ґрунті до величини: 4,1 та 0,79 мг-екв/100 г ґрунту (табл. 1). Для посилення екологізації в умовах України використання рідкого гумусного добрива SMART на основі гумінових речовин покращує кальцій-магнієве живлення

томатів і підвищує їх врожайність, що вказує на позитив використання таких добрив, які можуть стати складовими у “технологіях майбутнього”. Внесення мікробіологічного (мікробного добрива), яке містить у своєму складі (гриби, бактерії) на фоні (солома + NPK + БС) вар. 6 забезпечило рівень суми вмісту Ca + Mg – 4,93 мг-екв/100 г ґрунту, що суттєво не відрізнялось від значення у варіанті 5. На фоні використання хелатного добрива + солома гороху + N₃₀P₄₅K₄₅ певною мірою зменшилась кількість Ca та Mg в ґрунті (табл. 1). Не виключено, що останнє може бути зумовлено реутилізацією цих елементів у верхніх листках пшениці озимої.

1. Вплив БСУ на вміст кальцію та магнію в ґрунті під пшеницею озимою, мг-екв/100 г ґрунту

№ вар.	Системи удобрення	Трубування			Молочно-воскова стиглість			pH _(KCl)
		Ca	Mg	Ca + Mg	Ca	Mg	Ca + Mg	
1	Контроль (без добрив)	3,81	0,51	4,32	3,70	0,43	4,13	4,90
2	Солома гороху (г.)	3,92	0,57	4,49	3,77	0,46	4,23	5,08
3	Солома г. + N ₃₀ P ₄₅ K ₄₅	4,03	0,72	4,75	3,65	0,57	4,22	5,12
4	Солома г. + N ₃₀ P ₄₅ K ₄₅ + БС	4,10	0,74	4,84	3,70	0,60	4,30	5,10
5	Солома г. + N ₃₀ P ₄₅ K ₄₅ + БС + ГД	4,19	0,79	4,98	3,88	0,63	4,51	5,16
6	Солома г. + N ₃₀ P ₄₅ K ₄₅ + БС + МД	4,17	0,76	4,93	3,76	0,61	4,37	5,11
7	Солома г. + N ₃₀ P ₄₅ K ₄₅ + ХД	3,90	0,73	4,63	3,80	0,70	4,50	5,10

Заорювання соломи впливає на рН ґрунту та доступність поживних речовин, це опосередковано впливає на вміст кальцію та магнію в верхніх листках рослин пшениці озимої, які є вкрай важливими для оптимального росту культури та її продуктивності. У житті рослинного організму ці елементи відіграють важливу роль. Вони входять до складу протоплазми, забезпечують її в'язкість та стійкість, відповідають за рівень рН рослинного соку, входять до складу життєво необхідних ферментів для росту та розвитку рослин.

слід вказати на наявність магнію, елементу, який необхідний для фотосинтезу рослин. Прапорцевий та передпрапорцевий листки є основними функціональними листками для фотосинтетичних процесів, впливаючи таким чином на налив колоса та відповідно врожайність культури.

Біологізовані системи удобрення проявили різноспрямований вплив на вміст Ca та Mg в верхніх листках пшениці озимої. Так, в контрольному варіанті у фазі трубування їх вміст був найменшим (табл. 2).

2. Вплив БСУ на накопичення кальцію та магнію у верхніх листках пшениці озимої, г/кг сирової речовини

№ вар.	Системи удобрення	Mg		Ca	
		I*	II	I	II
1	Контроль (без добрив)	2,25	1,88	0,67	0,52
2	Солома гороху (г.)	2,51	1,93	0,78	0,63
3	Солома г. + N ₃₀ P ₄₅ K ₄₅	2,70	2,38	0,87	0,67
4	Солома г. + N ₃₀ P ₄₅ K ₄₅ + БС	2,88	2,43	0,96	0,87
5	Солома г. + N ₃₀ P ₄₅ K ₄₅ + БС + ГД	2,92	2,55	1,08	0,82
6	Солома г. + N ₃₀ P ₄₅ K ₄₅ + БС + МД	2,90	2,60	1,02	0,80
7	Солома г. + N ₃₀ P ₄₅ K ₄₅ + ХД	2,76	2,74	0,96	0,77

*Примітка: I – фаза трубкування; II – фаза молочно-воскової стиглості.

Заорювання лише соломи гороху сприяло підвищенню даних елементів до рівня 0,78 та 2,51 мг/кг. Сумісне використання соломи з мінеральними добривами N₃₀P₄₅K₄₅ сприяло збільшенню вмісту Ca і Mg у верхніх листках пшениці озимої, оскільки покращення умов росту рослин обумовило більшу потребу в згаданих вище макроелементах. У фазі трубкування їх вміст становив 0,87 та 2,70 мг/кг. Додавання біостимулятора (БС) до (солома + N₃₀P₄₅K₄₅) варіанту 4 значно стимулювало ріст рослин, оскільки цей препарат у своєму складі має готові макроелементи (Ca і Mg), які сприяють нагромадженню їх у верхніх листках пшениці озимої до рівня 2,88 мг/кг. Аналогічними дослідженнями (позакоренева обробка посівів пшениці озимої стимуляторами росту, або ретардантами (терпал, мед кас топ) забезпечувала підвищення врожайності пшениці озимої. Використання системи удобрення з вмістом гумусного добрива, яке здатне адсорбувати Ca та Mg з ґрунту та покращувати його мікробіологічний стан забезпечило відчутне підвищення вмісту Ca та Mg до рівня 2,92 (Mg) та 1,08 (Ca) г/кг сирової речовини.

Додавання біодобрива, а саме мікробіологічного на фоні соломи та N₃₀P₄₅K₄₅ + БС покращило кальцій-магнієве живлення рослин пшениці. Відповідно вміст елементів у листках виявився на рівні 2,90 та 1,02 г/кг.

Автори цієї праці спостерігали зниження вмісту макроелементів у верхніх

листках за умов системи удобрення сьомого варіанту, де використовується ХД для обробки рослин. Очевидно, що дія даного мікродобрива на рослини стимулювала ріст стебла та колоса, зумовлюючи таким чином, атрагування ними Ca та Mg з решти частин рослини, в тому числі верхніх листків. Своєю чергою, це могло спричинити зменшення вмісту Ca і Mg у зазначених частинах рослини.

Таким чином використання БСУ за вирощування пшениці озимої загалом, позитивно вплинуло на накопичення макроелементів (Ca і Mg) в верхніх листках рослин. Слід відзначити, що варіант з додаванням БС та ГД виявився найбільш ефективним щодо нагромадження елементів, вміст яких виявився найвищим. До кінця вегетації в результаті росту та розвитку рослин за умов старіння вміст Ca і Mg в верхніх листках зменшувався в середньому на 17–29 %.

За результатами визначення вмісту кальцію та магнію у зразках (зерно) пшениці озимої, з'ясовано, що БСУ вплинули на величину їх вмісту. Особливо показово це виявлено за присутності біоефекторів. Обробка рослин біостимулятором (вар. 4) забезпечила відчутне зростання Ca та Mg в зерні (табл. 3). Разом з тим внесення додатково гумусного добрива викликало ще більший приріст вмісту цих макроелементів (табл. 3). Використання МД або ХД призводило до дещо меншого вмісту неорганічних елементів в зерні, порівняно з 5 варіантом.

3. Вплив БСУ на накопичення макроелементів в зерні пшениці озимої, г/кг повітряно сухої речовини

№ вар.	Системи удобрення	Mg	Ca
1	Контроль (без добрив)	0,47	0,04
2	Солома гороху (г.)	0,56	0,05
3	Солома г. + N ₃₀ P ₄₅ K ₄₅	0,73	0,07
4	Солома г. + N ₃₀ P ₄₅ K ₄₅ + БС	0,77	0,08
5	Солома г. + N ₃₀ P ₄₅ K ₄₅ + БС + ГД	0,93	0,11
6	Солома г. + N ₃₀ P ₄₅ K ₄₅ + БС + МД	0,85	0,09
7	Солома г. + N ₃₀ P ₄₅ K ₄₅ + ХД	0,82	0,08

Таким чином найбільший вміст Ca та Mg в зерні за дії БСУ з використаними біоефекторами (БС, ГД, МД), що свідчить про покращення технологічної цінності зерна пшениці за таких умов.

Висновки. Використання біологізованих систем удобрення з вмістом соломи гороху + N₃₀P₄₅K₄₅ та за дією біоефекторів (біостимулятор, гумусне, мікробіологічне) та хелатне добрива формують сприятливе ґрунтове середовище, що посилює ріст та розвиток пшениці озимої, забезпечуючи покращення якості врожаю.

Дослідження підтверджують, що застосування БС та ГД на фоні соломи гороху + N₃₀P₄₅K₄₅ забезпечило вміст суми кальцію та магнію в ґрунті на рівні 4,98 мг-екв/100 г ґрунту у фазі молочно-воскової стиглості, що супроводжувалось відчутним підлуженням ґрунту до рівня 5,16 одиниць, що на 6–7 % більше ніж в контрольному варіанті.

Список використаної літератури

1. Агрохімічні властивості сірого лісового ґрунту залежно від вапнування та різних систем удобрення / М. А. Ткаченко та ін. *Збірник наукових праць Національного наукового центру "Інститут землеробства НААН"*. 2016. Вип. 3–4. С. 3–11. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/znzpzeml_2016_3-4_3 (дата звернення: 27.08.2025).
2. Бордюжа Н. П. Вплив удобрення на акумуляцію макроелементів рослинами різних сортів пшениці озимої у Правобережному Лісостепу. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Агрономія*. 2014. Вип. 195 (1). С. 27–33.
3. Використання органічних ресурсів для відтворення родючості ґрунтів в умовах Черкащини / О. В. Демиденко та ін. *Землеробство*. 2017. Вип. 1. С. 54–61. URL:

Біологізовані системи удобрення з наявністю біоефекторів (БС, ГД, МД) виявили позитивний вплив на вміст Ca + Mg у верхніх листках пшениці озимої, який був на рівні 3,79–4,10 г/кг.

Найефективнішими у процесах накопичення Ca і Mg в зерні пшениці озимої були органо-мінеральні системи на базі: солома гороху + N₃₀P₄₅K₄₅ з додаванням біоефекторів. Присутність ХД в композиції системи призвела до зменшення Ca + Mg в верхніх листках пшениці озимої та в зерні культури.

Експериментальні дослідження в напрямку з'ясування співвідношення характеристик накопичення, зокрема Ca і Mg в елементах системи "ґрунт-рослина" у перспективі важливо доповнити аналізом вмісту і розподілу зазначених макроелементів у інших складових рослин (наприклад: стебло, вузол кушення тощо).

References

1. Agrochemical properties of gray forestal soil depending on liming and various fertilization systems / M. A. Tkachenko et al. *Zbirnyk naukovykh prats Natsionalnoho naukovooho tsentru "Instytut zemlerobstva NAAN"*. 2016. Issue 3–4. P. 3–11. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/znzpzeml_2016_3-4_3 (access date: 27.08.2025).
2. Bordiuzha N. P. The influence of fertilizer on the accumulation of macroelements by plants of different varieties of winter wheat in the Right-Bank Forest-Steppe. *Naukovyi visnyk Natsionalnoho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannia Ukrainy. Seriiia: Ahronomiia*. 2014. Issue 195 (1). P. 27–33.
3. Use of organic resources for the reproduction of soil fertility in the conditions of the Cherkasy region / O. V. Demydenko et al. *Zemlerobstvo*. 2017. Issue 1. P. 54–61. URL:

http://nbuv.gov.ua/UJRN/Zemlerobstvo_2017_1_12
(дата звернення: 27.08.2025).

4. Вплив добрив у сівозміні на родючість ґрунту і продуктивність культур / С. Е. Дегодюк та ін. *Збірник наукових праць Національного наукового центру Інститут землеробства НААН*. 2010. Київ : ВД “ЕКМО”. Вип. 4. С. 3–10.

5. Дегодюк С. Е., Дегодюк Е. Г., Пипчук Н. М. Формування потенційної родючості сірого лісового ґрунту за інтенсивного і органічного вирощування кукурудзи. *Землеробство*. 2020. Вип. 1. С. 55–68. URL: <https://zemlerobstvo.com/wp-content/uploads/2020/12/zemlerobstvo-1-98-2020.pdf> (дата звернення: 25.08.2025).

6. Дзєндзель А. Ю. Фізіологічні основи регуляції росту та продуктивності помідора їстівного (*Lycopersicon esculentum* Mill.) за впливу органо-мінеральних добрив : дис. ... д-ра філософії 091 : 09. Тернопіль, 2022. 205 с. URL: https://tnpu.edu.ua/naukova-robota/documents-download/razovi_rady/Dis_Dzendzel_A.pdf (дата звернення: 25.08.2025).

7. Зміни елементного складу рослин пшениці озимої за дії Мегафолу та ретардантів / І. М. Мірошніченко та ін. *Regulatory mechanisms in biosystems*. 2017. Т. 3. № 8. С. 403–409.

8. Польовий В. М., Ященко Л. А. Оптимізація умов вирощування пшениці озимої на дерново-підзолистому ґрунті за удобрення і вапнування в західному Поліссі України. *Publishing House “Baltija Publishing”*. 2021. URL: <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-086-5-38> (дата звернення: 25.08.2025).

9. Рязанова М. Є. Застосування фунгіцидів на початкових фазах розвитку як можливий фактор впливу на елементний склад рослин. Матеріали міжнародної науково-практичної конференції: “IV осінні наукові читання”; 1 частина (м. Київ, 12 жовт. 2015 р.). Київ, 2015. С. 43–47. URL: https://elibrary.kubg.edu.ua/10970/1/Kiev_october_2015_part1.pdf#page=43 (дата звернення: 06.08.2025).

10. Самохвалова В. С. Макроелементи рослин за впливу надлишку важких металів у системі ґрунт–рослина. *Вісник Львівського університету. Серія біологічна*. 2009. Вип. 50. С. 164–176. URL: <http://publications.lnu.edu.ua/bulletins/index.php/biology/article/view/9163/9134>. (дата звернення: 01.08.2025).

11. Тараріко О. Г. Біологізація та екологізація ґрунтозахисного землеробства. *Вісник аграрної науки*. 1999. № 10. С. 5–9.

12. Ткаченко М., Борис Н. Оптимізація живлення сільськогосподарських культур за фізико-хімічної деградації кислих ґрунтів. *Вісник аграрної науки*. 2021. Т. 99. № 1. С. 15–22. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202101-02>.

13. Швартау В. В., Михальська Л. М., Маковейчук Т. І. Вміст мікроелементів у рослинах озимої пшениці за дії ретардантів. *Фізіологія рослин і генетика*. 2018. Т. 50. № 6. С. 474–483. DOI: <https://doi.org/10.15407/frag2018.06.474>.

http://nbuv.gov.ua/UJRN/Zemlerobstvo_2017_1_12
(access date: 27.08.2025).

4. The impact of fertilizers in crop rotation on soil fertility and crop productivity / S. E. Dehodiuk et al. *Zbirnyk naukovykh prats Natsionalnoho naukovoho tsentru Instytut zemlerobstva NAAN*. 2010. Kyiv : VD “EKMO”. Iss. 4. P. 3–10. (access date: 20.08.2025).

5. Dehodiuk S. E., Dehodiuk E. H., Pypchuk N. M. Formation of potential fertility of gray forest soil with intensive and organic cultivation of corn. *Zemlerobstvo*. 2020. Issue 1. P. 55–68. URL: <https://zemlerobstvo.com/wp-content/uploads/2020/12/zemlerobstvo-1-98-2020.pdf> (access date: 25.08.2025).

6. Dzendzel A. Yu. Physiological bases for the regulation of growth and productivity of edible tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) under the influence of organomineral fertilizers : dys. ... d-ra filosofii 091 : 09. Ternopil, 2022. 205 p. URL: https://tnpu.edu.ua/naukova-robota/documents-download/razovi_rady/Dis_Dzendzel_A.pdf (access date: 25.08.2025).

7. Changes in the elemental composition of winter wheat plants under the influence of Megafol and retardants / I. M. Miroshnychenko et al. *Regulatory mechanisms in biosystems*. 2017. Vol. 3. No. 8. P. 403–409.

8. Poliovyi V. M., Yashchenko L. A. Optimization of winter wheat growing conditions on sod-podzolic soil with fertilization and liming in the western Polissia of Ukraine. *Publishing House “Baltija Publishing”*. 2021. URL: <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-086-5-38> (access date: 25.08.2025).

9. Riazanova M. Ye. The use of fungicides in the initial stages of development as a possible factor influencing the elemental composition of plants. *Materialy mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii: “IV osinni naukovy chytannia”; 1 chastyna* (m. Kyiv, 12 zhovt. 2015 r.). Kyiv, 2015. P. 43–47. URL: https://elibrary.kubg.edu.ua/10970/1/Kiev_october_2015_part1.pdf#page=43 (access date: 06.08.2025).

10. Samokhvalova V. S. Macroelements of plants under the influence of excess heavy metals in the soil-plant system. *Visnyk Lvivskoho universytetu. Seriya biolohichna*. 2009. Issue 50. P. 164–176. URL: <http://publications.lnu.edu.ua/bulletins/index.php/biology/article/view/9163/9134>. (access date: 01.08.2025).

11. Tarariko O. H. Biologization and ecologization of soil conservation agriculture. *Visnyk ahrarnoi nauky*. 1999. No. 10. 5–9.

12. Tkachenko M., Borys N. Optimization of crop nutrition during physicochemical degradation of acidic soils. *Visnyk ahrarnoi nauky*. 2021. Vol. 99. No. 1. P. 15–22. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202101-02>.

13. Shvartau V. V., Mykhalska L. M., Makoveichuk T. I. Microelement content in winter wheat plants under the influence of retardants. *Fiziologiya rasteniy i*

14. Foliar nutrition: potential and challenges under multifaceted agriculture / M. Ishfaq et al. *Environmental and experimental botany*. 2022. V. 200. Article number 104909. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2022.104909>.
15. Interaction of lime application and straw retention on ammonia emissions from a double-cropped rice field / P. Liao et al. *Agriculture, ecosystems & environment*. 2023. V. 344. Article number 108309. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2022.108309>.
16. Mineral composition of soil and the wheat grain in intensive and conservation cropping systems / Ž. Dolijanović et al. *Agronomy*. 2022. V. 12, No. 6. P. 1–16. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy12061321>.
17. Monitoring of changes in the macro- and micro-element and heavy metal / M. M. Özcan et al. *Arch Lebensmittelhyg.* 2024. V. 75. P. 106–111. <https://doi.org/10.53194/0003-925X-75-106>.
18. Nutrients and their importance in agriculture crop production: a review / M. Toor et al. *Indian journal of pure & applied biosciences*. 2021. V. 9. No. 1. P. 1–6. DOI: <http://dx.doi.org/10.18782/2582-2845.8527>.
19. Ostrowska A., Porębska G. The content of calcium and magnesium and the Ca:Mg ratio in cultivated plants in the context of human and animal demand for nutrients. *Journal of elementology*. 2017. V. 22. No. 3. P. 995–1004. DOI: <https://doi.org/10.5601/jelem.2016.21.4.1246>.
20. Physiological essence of magnesium in plants and its widespread deficiency in the farming system of China / M. Ishfaq et al. *Frontiers in plant science*. 2022. V. 13. P. 1–17. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.802274>.
21. Plant availability of magnesium in typical tea plantation soils / Q. Zhang et al. *Frontiers in plant science*. 2021. V. 12. P. 1–9. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.641501>.
22. Saito S., Uozumi N. Calcium-regulated phosphorylation systems controlling uptake and balance of plant nutrients. *Frontiers in plant science*. 2020. V. 11. P. 1–11. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00044>.
23. Sasmal D., Khatun A., Bhattacharya P. Unlocking the potential: harnessing secondary nutrients for enhanced crop yield and environmental sustainability / Ed. T. Sarkar, S. Sengupta. New Delhi, 2024. P. 35–44. DOI: <https://doi.org/10.22271/ed.book.2965>.
24. Soil and leaf potassium, calcium and magnesium in oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) plantations grown on three different soils of India: status, stoichiometry and relations / S. K. Behera et al. *Industrial crops and products*. 2021. V. 168. P. 1–9. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113589>.
25. Straw return enhances the risks of metals in soil? / Y. Su et al. *Ecotoxicology and environmental safety*. 2021. V. 207. P. 1–9. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111201>.
26. Takamoto A., Takahashi T., Togami K. Effect of changes in the soil calcium-to-magnesium ratio by calcium application on soybeans, *Glycine max* (L.) Merr., growth. *Soil science and plant nutrition*. 2021. *genetika*. 2018. Vol. 50. No. 6. P. 474–483. DOI: <https://doi.org/10.15407/frg2018.06.474>.
14. Foliar nutrition: potential and challenges under multifaceted agriculture / M. Ishfaq et al. *Environmental and experimental botany*. 2022. Vol. 200. Article number 104909. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2022.104909>.
15. Interaction of lime application and straw retention on ammonia emissions from a double-cropped rice field / P. Liao et al. *Agriculture, ecosystems & environment*. 2023. V. 344. Article number 108309. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2022.108309>.
16. Mineral composition of soil and the wheat grain in intensive and conservation cropping systems / Ž. Dolijanović et al. *Agronomy*. 2022. V. 12, No. 6. P. 1–16. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy12061321>.
17. Monitoring of changes in the macro- and micro-element and heavy metal / M. M. Özcan et al. *Arch Lebensmittelhyg.* 2024. V. 75. P. 106–111. <https://doi.org/10.53194/0003-925X-75-106>.
18. Nutrients and their importance in agriculture crop production: a review / M. Toor et al. *Indian journal of pure & applied biosciences*. 2021. V. 9. No. 1. P. 1–6. DOI: <http://dx.doi.org/10.18782/2582-2845.8527>.
19. Ostrowska A., Porębska G. The content of calcium and magnesium and the Ca:Mg ratio in cultivated plants in the context of human and animal demand for nutrients. *Journal of elementology*. 2017. V. 22. No. 3. P. 995–1004. DOI: <https://doi.org/10.5601/jelem.2016.21.4.1246>.
20. Physiological essence of magnesium in plants and its widespread deficiency in the farming system of China / M. Ishfaq et al. *Frontiers in plant science*. 2022. V. 13. P. 1–17. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.802274>.
21. Plant availability of magnesium in typical tea plantation soils / Q. Zhang et al. *Frontiers in plant science*. 2021. V. 12. P. 1–9. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.641501>.
22. Saito S., Uozumi N. Calcium-regulated phosphorylation systems controlling uptake and balance of plant nutrients. *Frontiers in plant science*. 2020. V. 11. P. 1–11. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00044>.
23. Sasmal D., Khatun A., Bhattacharya P. Unlocking the potential: harnessing secondary nutrients for enhanced crop yield and environmental sustainability / Ed. T. Sarkar, S. Sengupta. New Delhi, 2024. P. 35–44. DOI: <https://doi.org/10.22271/ed.book.2965>.
24. Soil and leaf potassium, calcium and magnesium in oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) plantations grown on three different soils of India: status, stoichiometry and relations / S. K. Behera et al. *Industrial crops and products*. 2021. V. 168. P. 1–9. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113589>.

V. 67. No. 2. P. 139–149. DOI: <https://doi.org/10.1080/00380768.2021.1872350>.

27. The course of physiological processes, yielding, and grain quality of hybrid and population wheat as affected by integrated and conventional cropping systems / M. Jańczak-Pieniążek et al. *Agronomy*. 2022. V. 12. No. 6. P. 1–22. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy12061345>.

28. The nutrient magnesium in soil and plant: a review / L. de Sousa Ferreira et al. *International journal of plant & soil science*. 2023. V. 35. No. 8. P. 136–144. DOI: <https://doi.org/10.9734/IJPSS/2023/v35i82890>.

29. Wysocka K., Cacak-Pietrzak G., Sosulski T. Mineral concentration in spring wheat grain under organic, integrated, and conventional farming systems and their alterations during processing. *Plants*. 2025. V. 14. No. 7. P. 1–15. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants14071003>.

25. Straw return enhances the risks of metals in soil? / Y. Su et al. *Ecotoxicology and environmental safety*. 2021. V. 207. P. 1–9. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111201>.

26. Takamoto A., Takahashi T., Togami K. Effect of changes in the soil calcium-to-magnesium ratio by calcium application on soybeans, *Glycine max* (L.) Merr., growth. *Soil science and plant nutrition*. 2021. V. 67. No. 2. P. 139–149. DOI: <https://doi.org/10.1080/00380768.2021.1872350>.

27. The course of physiological processes, yielding, and grain quality of hybrid and population wheat as affected by integrated and conventional cropping systems / M. Jańczak-Pieniążek et al. *Agronomy*. 2022. V. 12. No. 6. P. 1–22. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy12061345>.

28. The nutrient magnesium in soil and plant: a review / L. de Sousa Ferreira et al. *International journal of plant & soil science*. 2023. V. 35. No. 8. P. 136–144. DOI: <https://doi.org/10.9734/IJPSS/2023/v35i82890>.

29. Wysocka K., Cacak-Pietrzak G., Sosulski T. Mineral concentration in spring wheat grain under organic, integrated, and conventional farming systems and their alterations during processing. *Plants*. 2025. V. 14. No. 7. P. 1–15. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants14071003>.