

УДК 633.11:631.811:631.8/631.821

DOI <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2024.137.42>

ВПЛИВ РІЗНИХ НОРМ ВАПНА ЗА МІНЕРАЛЬНОГО УДОБРЕННЯ НА ВИНОС ЕЛЕМЕНТІВ ЖИВЛЕННЯ ПШЕНИЦЕЮ ОЗИМОЮ НА ДЕРНОВО-ПІДЗОЛИСТОМУ ҐРУНТІ

Шевчук М.Й. – д.с.-г.н.,

професор кафедри лісового і садово-паркового господарства,
Волинський національний університет імені Лесі Українки

Голуб С.М. – к.с.-г.н.,

доцент кафедри лісового і садово-паркового господарства,
Волинський національний університет імені Лесі Українки

Гук Б.В. – старший науковий співробітник,

Інститут сільського господарства Західного Полісся
Національної академії аграрних наук України

Пшениця озима для сталої продуктивності потребує забезпечення вимог щодо живлення та корегування рівня кислотності ґрунтового розчину шляхом проведення вапнування. Метою досліджень було визначити рівень накопичення елементів живлення зерном і соломом пшениці озимої за вирощування на провапнованому дерново-підзолистому ґрунті у поєднанні з мінеральними добривами $N_{60}P_{60}K_{60}$ та оцінити частку їх повернення за заорювання соломи в ґрунт. Результати показали збільшення сухої надземної маси рослин пшениці озимої за внесення зростаючих норм вапна. Найбільше накопичення сухої речовини у зерні пшениці (3,21 т/га) і соломі (2,57 т/га) встановлено у варіанті застосування 1,5 норми $CaCO_3$ на фоні мінеральних добрив. У варіанті удобрення $N_{60}P_{60}K_{60}$ без вапнування спостерігалася істотне зниження вмісту сухої речовини на 29,4–42,8% у зерні і соломі у порівнянні з провапнованими варіантами. Відсутність добрив і вапна у контролі спричинили найнижчий вміст азоту, фосфору і калію як у зерні, так і в соломі. Одностороннє внесення $N_{60}P_{60}K_{60}$ забезпечило підвищення вмісту азоту в зерні до рівня 2,34%, тоді як зростаючі норми вапна на цьому фоні знижували вміст азоту в зерні, але на вміст фосфору і калію така тенденція не поширювалася. Проте за рахунок накопичення сухої речовини вапнування підвищило накопичення азоту у зерні і соломі на 36,2–49,5% порівняно з контролем і 21,8–37,8% порівняно з мінеральним фоном. Аналогічні результати отримані для фосфору і калію. Кореляційний аналіз виявив високий зв'язок між накопиченням сухої речовини та елементів живлення у надземних органах рослин пшениці: $r = 0,97-0,94$ для зерна; $r = 0,88-0,77$ для соломи. У ході досліджень встановлено, що із соломом у варіантах $N_{60}P_{60}K_{60}$ та у поєднанні з 0,5–2,0 нормами $CaCO_3$ у ґрунт повертається у середньому 22,2% азоту, 20,6% фосфору і 64,7% калію від загального виносу елементів рослинами пшениці озимої.

Ключові слова: зерно, солома, удобрення, вапнування, суха речовина, азот, фосфор, калій, накопичення, повернення.

Shevchuk M.Y., Holub S.M., Huk B.V. Effect of different lime rates under mineral fertilization on nutrient removal by winter wheat on sod-podzolic soil

Sustainable productivity of winter wheat requires meeting its nutritional needs and adjusting soil acidity through liming. This study investigated the accumulation of nutrients in grain and straw of winter wheat grown on limed sod-podzolic soil. The experiment combined $N_{60}P_{60}K_{60}$ mineral fertilizers with varying lime application rates. The study also assessed nutrient return to the soil through straw incorporation. Results showed an increase in dry above-ground plant mass with higher lime application rates. The highest dry matter accumulation in both grain (3.21 t/ha) and straw (2.57 t/ha) was observed with the application of 1.5 norms of $CaCO_3$ alongside mineral fertilizers. Compared to limed variants, the variant with $N_{60}P_{60}K_{60}$ fertilization but without liming showed a substantial decrease in dry matter (29.4–42.8%) in both grain and straw. The control treatment with no fertilizers or lime resulted in the lowest nitrogen, phosphorus,

and potassium content in both grain and straw. Application of N60P60K60 fertilizers increased grain nitrogen content to 2.34%. However, increasing lime application rates on this background reduced nitrogen content in the grain, but this trend did not apply to phosphorus and potassium content. Importantly, due to increased dry matter, liming enhanced nitrogen accumulation in grain and straw by 36.2–49.5% compared to the control and by 21.8–37.8% compared to the mineral background alone. Similar results were obtained for phosphorus and potassium. Correlation analysis revealed a strong positive relationship between dry matter accumulation and nutrient content in wheat above-ground organs ($r = 0.97$ – 0.94 for grain and $r = 0.88$ – 0.77 for straw). The study found that straw incorporation in variants with N60P60K60 fertilization combined with 0.5–2.0 norms of CaCO₃ returned back to the soil an average of 22.2% of nitrogen, 20.6% of phosphorus, and 64.7% of potassium from the total nutrient uptake by winter wheat.

Key words: grain, straw, mineral fertilization, liming, dry matter, nitrogen, phosphorus, potassium, removal, nutrient return.

Постановка проблеми. Зерновиробництво в Україні відіграє визначальну роль в економічному розвитку країни. Ця галузь не лише забезпечує продовольчу безпеку держави, але й служить потужним джерелом експортних надходжень, що робить значний внесок у бюджет. Сприятливі кліматичні умови та родючі ґрунти України створюють можливості для розвитку зернового господарства, зокрема вирощування пшениці озимої. Завдяки чому країна є одним із світових лідерів виробництва та експорту зернових культур [1]. Проте однією із ключових проблем вітчизняного ринку пшениці є пошук компромісу між потребою забезпечення продовольчої безпеки країни та необхідністю нарощування присутності відповідної української продукції на глобальному ринку [2].

Забезпечити вирішення зазначених питань можливо лише за максимальної реалізації потенційної продуктивності культури в різних зонах її вирощування за рахунок комплексності та збалансованості агротехнічних заходів [3]. Від попередників, строків сівби та погодних умов у період вегетації значною мірою залежить продуктивність різних за генотипом сортів [4]. Однак, саме внесення добрив у поєднанні з іншими факторами забезпечує до 50% приросту урожайності пшениці озимої [5–7].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Пшениця озима є досить вимогливою до умов вирощування і живлення. Відомо, що врожайність і якісні показники зерна підвищуються лише при задоволенні потреб рослини в усіх поживних речовинах [8]. У дослідженнях Лихочвора В.В. за удобрення $N_{160}P_{80}K_{120}$ урожайність озимої пшениці сорту Кубус становила 8,01 т/га [9].

Господаренком Г.М. зі співавторами встановлено, що підвищенню врожайності зерна на фоні парних комбінацій основних елементів живлення найбільше сприяли азотні добрива у дозі 150 кг/га – приріст зерна 2,57 т/га, тоді як фосфорні у дозі 60 кг/га д. р. та калійні добрива у дозі 80 кг/га д. р. підвищили урожайність на 1,00 і 0,65 т/га відповідно [10]. Важливо, щоб дози мінеральних добрив забезпечували рослину збалансованим набором всіх необхідних біогенних елементів, мінімізуючи при цьому негативний вплив на довкілля [11].

Проте, крім збалансованого живлення для сталого та ефективного рослинництва суттєве значення має рівень кислотності ґрунту (рН). Більшість польових культур, серед яких пшениця озима, демонструють позитивну реакцію на вапнування ґрунту у вигляді підвищення врожайності [12]. Вапнування також значно покращує економічність віддачу за вирощування більшості культур [13]. Так, у зоні Полісся завдяки зниженню реакції дерново-підзолистого ґрунту з кислої до нейтральної окупність 1 кг мінеральних добрив унесених під пшеницю озиму зростає у 2,4 рази [14]. Подальшими дослідженнями встановлено, що зміна інтервалу

кислотності ґрунту до pH_{KCl} 5,73–6,40 забезпечила 0,81–1,68 т/га приросту урожайності зерна до фону $N_{120}P_{60}K_{90}$. Між величиною врожаю і pH_{KCl} ґрунту встановлено тісний прямий кореляційний зв'язок на рівні $r = 0,85$ [15].

Постановка завдання. Мета дослідження визначити рівні вмісту і виносу основних елементів живлення рослинами пшениці озимої у сівозміні Західного Полісся за різних норм вапна у поєднанні з мінеральними добривами на дерново-підзолистому ґрунті

Виклад основного матеріалу дослідження. Дослідження проведені у стаціонарному досліді Рівненської ДСГДС з пшеницею озимою на дерново-підзолистому ґрунті, який на початок досліджень характеризувався наступними показниками: дуже низьким умістом гумусу 1,2%, середнім рівнем забезпеченості рухомими сполуками фосфору (62,0 мг/кг ґрунту) і калію (75,0 мг/кг ґрунту), середньо кислою реакцією ґрунтового розчину за $pH_{KCl} = 4,8$; потребою у вапнуванні за показником гідролітичної кислотності – 2,3 ммоль/100 г ґрунту.

Розміри ділянок у дослідженні: посівна площа складала 198 м² (33×6), облікова площа – 100 м² (25×4). Повторність досліді триразова. Мінеральні добрива застосовували у вигляді аміачної селітри, гранульованого суперфосфату та хлористого калію. Фосфорні і калійні добрива вносили під осінню оранку, азотні – половину норми під оранку, а решту навесні для підживлення. Хімічну меліорацію здійснювали меленим вапном із вмістом діючої речовини ($CaCO_3$) 83,7–92,1%. Розрахунок норми внесення проводили за гідролітичною кислотністю ґрунту.

Відбір рослинних зразків проводили у фазу повної стиглості зерна пшениці з двох несуміжних повторень із подальшим висушуванням до повітряно-сухого стану. Вміст сухої речовини визначали гравіметричним методом. Озолення рослинного матеріалу проводили методом К'ельдаля із наступним визначенням: азоту із реактивом Несслера, фосфору фотометрично за Деніже, калію методом полум'яної фотометрії. Обробку експериментальних даних виконано дисперсійним аналізом ANOVA за порівняння результатів з урахуванням критерію F ($p \leq 0,05$).

У ході досліджень спостерігалось збільшення сухої надземної маси озимої пшениці за внесення зростаючих норм вапна (табл. 1). Цей показник у рослинному матеріалі залежить від кількості накопиченої сирої маси та вологості рослин, отже, на його величину впливали фон живлення і норма вапна в досліді.

За відсутності вапнування на фоні мінерального удобрення $N_{60}P_{60}K_{60}$ відзначено тенденцію до зниження вмісту сухої речовини як у зерні, так і в соломі порівняно з контролем, а також істотне зниження порівняно з варіантами вапнування. Це вказує на позитивну роль вапнування у накопиченні маси надземної частини рослин пшениці.

Таблиця 1

Накопичення сухої речовини рослинами пшениці озимої залежно від норми вапна на фоні удобрення

Варіант	Суха речовина, т/га	
	зерно	солома
Контроль (без добрив і вапна)	2,27	1,82
$N_{60}P_{60}K_{60}$ – фон	2,25	1,80
Фон + 0,5 норми $CaCO_3$	2,92	2,33
Фон + 1,0 норми $CaCO_3$	3,04	2,43

Продовження таблиці 1

Фон + 1,5 норми CaCO_3	3,21	2,57
Фон + 2,0 норми CaCO_3	3,01	2,44
НІР ₀₅	0,11	0,08

Достовірне накопичення сухої речовини рослин порівняно з іншими варіантами досліду встановлено у варіанті застосування 1,5 норми CaCO_3 на фоні $\text{N}_{60}\text{P}_{60}\text{K}_{60}$: для зерна показник коливався у межах 0,17–0,96 т/га, соломи 0,13–0,75 т/га. У зерні встановлено зниження сухої речовини за вапнування 2,0 нормою вапна, що Господарено Г.М. та ін. пояснюють можливим дефіцитом надходження у рослини інших елементів живлення за підвищення вмісту кальцію у ґрунті [16].

Агротехнічні фактори, зокрема, удобрення і вапнування, можуть зумовлювати відмінності у вмісті макроелементів у рослинному організмі, у тому числі пригнічення їх рівня [17].

Відсутність добрив і вапна у контролі спричинили найнижчий вміст азоту, фосфору і калію як у зерні, так і в соломі (табл. 2).

Таблиця 2

Вміст елементів живлення в рослинах пшениці озимої залежно від норм вапна на фоні удобрення, % на суху речовину

Варіант	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O
	зерно			солома		
Контроль (без добрив і вапна)	2,03	0,77	0,59	0,71	0,10	1,04
$\text{N}_{60}\text{P}_{60}\text{K}_{60}$ – фон	2,34	0,80	0,58	0,79	0,26	1,61
Фон + 0,5 норми CaCO_3	2,26	0,82	0,60	0,80	0,29	1,45
Фон + 1,0 норми CaCO_3	2,27	0,79	0,59	0,81	0,31	1,26
Фон + 1,5 норми CaCO_3	2,06	0,80	0,59	0,72	0,27	1,37
Фон + 2,0 норми CaCO_3	2,05	0,77	0,63	0,74	0,30	1,26
НІР ₀₅	0,05	0,03	0,04	0,06	0,02	0,07

Внесення мінеральних добрив $\text{N}_{60}\text{P}_{60}\text{K}_{60}$ забезпечило істотне підвищення вмісту азоту в зерні озимої пшениці до рівня 2,34% порівняно з іншими варіантами, що вказує на виключно важливу роль азоту у живленні культури. Вапнування призвело до зниження вмісту азоту в зерні, при цьому спостерігалася тенденція до зростання зниження із підвищенням норми вапна. Для вмісту фосфору і калію у зерні такої тенденції не було відзначено. У соломі пшениці за мінерального удобрення встановлено статистично достовірне підвищення вмісту калію до рівня 1,61%, тоді як істотне збільшення фосфору до 0,31% визначено за 1,0 норми CaCO_3 . Вапнування 2,0 нормою CaCO_3 не спричинило значного впливу на вміст основних елементів у зерні і соломі пшениці озимої у досліді.

Обсяги зібраного врожаю зерна і соломи значно впливають на накопичення і господарський винос поживних речовин [18]. Винос поживних елементів є основним критерієм оцінки балансу елементів у землеробстві за яким визначають потребу культур в удобренні. Враховуючи істотний вплив природних і агротехнічних чинників на рівень накопичення елементів пшеницею озимою існує потреба дослідження цього питання у конкретних умовах її вирощування.

Із урахуванням накопичення сухої речовини та вмісту в ній елементів живлення визначено, що вапнування обумовлює підвищення накопичення азоту в зерні і соломі пшениці на 36,2–49,5% порівняно з контролем і 21,8–37,8% порівняно з мінеральним фоном (рис. 1).

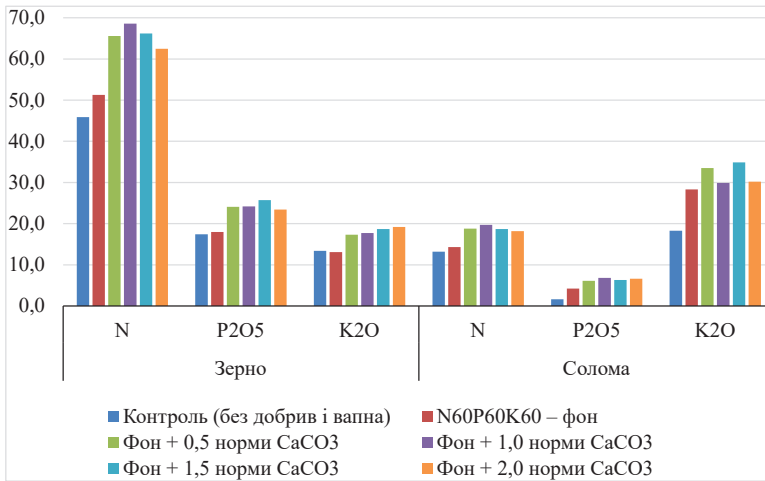


Рис. 1. Накопичення елементів живлення сухою речовиною рослин пшениці озимої за різних норм вапна на фоні удобрення, т/га

Накопичення фосфору і калію у зерні у варіантах досліджу має розподіл подібний до азоту у межах 30,0–47,7%. Тоді як для калію і особливо фосфору визначено істотні підвищення виносу елементів, що пов'язано у більшій мірі з урожайністю культури.

Кореляційний аналіз дозволив оцінити тісноти зв'язку між накопиченням сухої речовини і елементів живлення у надземних органах рослин пшениці (табл. 3).

Таблиця 3

Кореляційна залежність накопичення сухої речовини й елементів живлення пшеницею озимою від норм вапна на фоні удобрення

Частина рослини	Елемент живлення	Рівняння	Коефіцієнт кореляції	Коефіцієнт детермінації
зерно	N	$y = 20,604x + 2,5665$	0,938	0,880
	P ₂ O ₅	$y = 8,2704x - 0,9274$	0,984	0,972
	K ₂ O	$y = 6,1931x - 0,7017$	0,977	0,955
солома	N	$y = 13,461x - 0,8567$	0,770	0,593
	P ₂ O ₅	$y = 7,5842x + 0,2246$	0,942	0,887
	K ₂ O	$y = 5,265x - 6,4748$	0,880	0,774

Так, у зерні коефіцієнт кореляції має значення 0,97–0,94, у соломі 0,88–0,77 для азоту, фосфору і калію, що характеризує зв'язок між досліджуваними чинниками як високий ($r = 0,7–0,9$).

Враховуючи сучасну практику повернення побічної продукції зернових культур у ґрунт у якості органічного добрива, важливим є розуміння кількості елементів живлення, що повертається для подальшого корегування системи удобрення. У ході досліджень визначено, що частка повернення елементів залежить від удобрення і норми вапна (табл. 4).

Таблиця 4

Частка повернення елементів живлення у ґрунт із соломкою від накопичення рослинами пшениці озимої у досліді, %

Варіант	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Контроль (без добрив і вапна)	22,3	8,6	57,7
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ – фон	21,8	19,0	68,4
Фон + 0,5 норми СаСО ₃	22,3	20,2	65,9
Фон + 1,0 норми СаСО ₃	22,3	21,9	62,8
Фон + 1,5 норми СаСО ₃	22,0	19,7	65,1
Фон + 2,0 норми СаСО ₃	22,6	22,0	61,1

У середньому у досліді за рахунок заробляння побічної продукції у ґрунт повертається 22,2% азоту, 20,6% азоту і 64,7% калію без урахування показників у контролі, які становили 22,3%, 8,6 і 57,7% відповідно.

Висновки і пропозиції. Мінеральне удобрення і вапнування зумовлюють накопичення сухої речовини органами пшениці озимої та азоту, фосфору і калію у них, що спричиняє підвищений винос елементів живлення. Найвище накопичення елементів за співвідношення N:P:K для зерна як 1:0,39:0,28 і соломи як 1:0,34:1,87 встановлено у варіанті внесення 1,5 норми СаСО₃ на фоні N₆₀P₆₀K₆₀. Проте частка повернення елементів із соломкою від загального накопичення рослинами також збільшується, що позитивно впливає на агроекологічний стан ґрунту та може розглядатися як джерело зниження собівартості продукції за рахунок коригування системи удобрення культури в агротехніці її вирощування.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Томашевська О. А., Шевченко К. А. Економічна ефективність виробництва зернових культур у сільськогосподарських підприємствах та підвищення рівня їх конкурентоспроможності. *Молодий вчений*. 2019. № 1 (65). С. 524–530. DOI: <https://doi.org/10.32839/2304-5809/2019-1-65-120>
2. Лагодієнко В. В., Богданов О. О., Лагодієнко В.В. Місце та роль України на світовому ринку пшениці. *Український журнал прикладної економіки*. 2019. Том 4. № 3. С. 297–308. DOI: <https://doi.org/10.32839/2304-5809/2019-1-65-120>
3. Черчіль В. Ю., Шевченко М. С. Агроресурси і наукове моделювання виробництва 100 мільйонів тонн зерна. *Зернові культури*. 2020. Том 4. № 1. С. 53–63. DOI: <https://doi.org/10.31867/2523-4544/0106>
4. Лось Р. М., Кириленко В. В., Гуменюк О. В., Дубовик Н. С. Реакція перспективних сортів пшениці озимої за урожайністю на умови вирощування. *Зернові культури*. 2022. Том 6. № 2. С. 100–105. DOI: <https://doi.org/10.31867/2523-4544/0237>
5. Shang, Q., Ling, N., Feng, X., Yang, X., Wu, P., Zou, J., Guo, S. Soil fertility and its significance to crop productivity and sustainability in typical agroecosystem: a summary of long-term fertilizer experiments in China. *Plant and soil*. 2014. Vol. 381. P. 13–23. DOI: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11104-014-2089-6>
6. Господаренко М. Г., Черно О. Д. Урожайність пшениці озимої після різних попередників на фоні тривалого застосування добрив у сівозміні. *Землеробство*. 2015. Вип.1. С. 28–31. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Zemlerobstvo_2015_1_8

7. Мащенко Ю. В., Соколовська І. М. Урожайність, продуктивність та економічна ефективність вирощування пшениці озимої залежно від ланки сівозмін і систем удобрення. *Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка*. 2023. № (40), С. 21–27. DOI: <https://doi.org/10.37406/2706-9052-2023-3.3>
 8. Lykhochvor, V., Gnativ, P., Andrushko, O., Ivanyuk, V., Olifir, Yu. The role of nutrients in the formation of yield and grain quality of winter wheat. *Bulg. J. Agric. Sci.* 2022. Vol. 28 (1), 103–109. URL: <https://www.agrojournal.org/28/01-14.pdf>
 9. Лихочвор В. Урожайність і якість зерна озимої пшениці сорту Кубус залежно від норм добрив. *Вісник Львівського НАУ*. 2020. № 24. С. 49–52. DOI: <https://doi.org/10.31734/agronomy2019.01.049>.
 10. Господаренко, Г. М., Черно, О. Д., Бойко, В. П., Стасіневич, О. Ю. (2018). Вплив доз і співвідношень добрив на врожайність і якість зерна пшениці озимої. *Вісник Уманського національного університету садівництва*. 2018. №2. С. 76–79. DOI: <https://doi.org/10.31395/2310-0478-2018-21-76-79>
 11. Meena Pandey, Jiban Shrestha, Subash Subedi, Kabita Kumari Shah (2020). Role of Nutrients in Wheat: A Review. *Tropical Agrobiodiversity*. 2020. Vol. 1(1). P. 18–23. DOI: 10.26480/trab.01.2020.18.23
 12. Holland, J. E., White, P. J., Glendining, M. J., Goulding, K. W. T., McGrath, S. P. (2019). Yield responses of arable crops to liming—An evaluation of relationships between yields and soil pH from a long-term liming experiment. *European Journal of Agronomy*. 2019. N. 105, P. 176–188 DOI: 10.1016/j.eja.2019.02.016
 13. Holland, J. E., & Behrendt, K. The economics of liming in arable crop rotations: analysis of the 35-year Rothamsted and Woburn liming experiments. *Soil Use and Management*. 2021. Vol. 37(2). P. 342–352. DOI: <https://doi.org/10.1111/sum.12682>
 14. Польовий В. М., Лукашук Л. Я., Лаврук М. М. Реакція пшениці озимої на удобрення залежно від кислотності дерново-підзолистого ґрунту. *Вісник аграрної науки*. 2012. № 12. С. 18–21. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/vaan_2012_12_5
 15. Польовий В. М., Яценко Л. А., Ровна Г. Ф., Гук Б. В., Ювчик Н. О. Вплив вапнякових меліорантів, удобрення на продуктивність пшениці озимої в сівозміні. *Збірник наукових праць Уманського НУС*. 2021. Вип. 98 ч.1 с. 58–97. DOI: 10.31395/2415-8240-2021-98-1-58-67
 16. Господаренко Г., Карнаух О., Alexander A. Мікроелементи і добрива в живленні рослин / за заг. ред. Г. Господаренка. Кам'янець-Подільський: ТОВ Друкарня «Рута», 2020. 348 с.
 17. Brzozowska, I., Brzozowski, J. Content of macronutrients in winter wheat grain depending on the sowing date and level of NPK fertilization. *Journal of Elementology*. 2020. 25(1). P. 7–19. DOI: 10.5601/jelem.2019.24.3.1826
 18. Smith E.G., Janzen H. H., Ellert B. H. Effect of fertilizer and cropping system on grain nutrient concentrations in spring wheat. *Can. J. Plant Sci.* 2018. Vol. 98(1). P. 125–131. DOI: <https://doi.org/10.1139/cjps-2017-0079>
-