

УДК 631.8:633:577.112

DOI <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2026.149.1.9>

АМІНОКИСЛОТНА ЦІННІСТЬ БІЛКА ЗЕРНА ЗА МІНЕРАЛЬНОГО УДОБРЕННЯ: ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ КУЛЬТУР

Гамаюнова В.В. – д.с.-г.н., професор,
завідувач кафедри землеробства, геодезії та землеустрою,
Миколаївський національний аграрний університет
orcid.org/0000-0002-4151-0299

Бакланова Т.В. – к.с.-г.н.,
доцент,
Державна установа «Миколаївська державна сільськогосподарська дослідна станція Інституту кліматично орієнтованого сільського господарства Національної академії аграрних наук України»
orcid.org/0000-0002-6699-2693

Смірнова І.В. – к.с.-г.н.,
доцент кафедри землеробства, геодезії та землеустрою,
Миколаївський національний аграрний університет
orcid.org/0000-0002-8976-3818

У статті наведено результати досліджень впливу мінерального удобрення на амінокислотний склад зерна, показники якості та біологічну цінність білка сільськогосподарських культур. Актуальність роботи зумовлена необхідністю оцінювання якості зерна не лише за вмістом протеїну, а й за збалансованістю амінокислотного складу, насамперед незамінних амінокислот. Метою дослідження було встановити вплив мінерального живлення на вміст окремих амінокислот і їх груп, показники якості зерна та біологічну цінність білка, а також визначити найбільш ефективні елементи технології, зокрема дози мінеральних добрив. Дослідження виконували у польових і лабораторних умовах на базі Миколаївського національного аграрного університету та ДУ «Миколаївська державна сільськогосподарська дослідна станція ІКОСГ НААН». Об'єктами вивчення були пшениця озима, пшениця яра, жито озиме, соріз і соя, які вирощували за помірного зрошення.

Установлено, що мінеральне удобрення суттєво впливає на формування амінокислотного складу зерна, однак характер цих змін визначається як культурною, так і оптимізацією живлення. Для пшениці озимої й ярої удобрення сприяло підвищенню вмісту окремих амінокислот і їх загальної суми, проте біологічна цінність білка їх зерна змінювалася неоднозначно. Для жита озимого визначено підвищення вмісту метіоніну та забезпечення стабільно високої біологічної цінності білка. Для зерна сорізу застосування лише фосфорно-калійного живлення не забезпечило поліпшення амінокислотного складу, тоді як внесення повного мінерального добрива, особливо в поєднанні з мікродобривами, суттєво підвищувало і суму амінокислот, і частку незамінних. Мінеральні добрива забезпечували підвищення врожайності пшениці озимої та поліпшення технологічних показників якості її зерна. Найбільш збалансованими складові якості формувалися за $N_{60}P_{60}$, тоді як максимальними врожайність і вміст клейковини – за внесення $N_{120}P_{60}$. Отже, мінеральне живлення є важливим чинником підвищення поживної й технологічної цінності зерна, однак його ефективність слід оцінювати не лише за вмістом білка, а й за амінокислотною збалансованістю.

Ключові слова: мінеральне удобрення, амінокислотний склад, біологічна цінність білка, якість зерна, врожайність, пшениця озима та яра, жито озиме, соріз, соя.



© Гамаюнова В.В., Бакланова Т.В., Смірнова І.В., 2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії CC BY 4.0

Hamaiunova V.V., Baklanova T.V., Smirnova I.V. Amino acid value of grain protein under mineral fertilization: a comparative analysis of crops

The article presents the results of studies on the effect of mineral fertilization on the amino acid composition of grain, quality indicators, and the biological value of protein in agricultural crops. The relevance of the research is conditioned

by the need to evaluate grain quality not only by protein content but also by the balance of amino acid composition, primarily essential amino acids. The aim of the study was to determine the effects of mineral nutrition on the content of individual amino acids and their groups, grain quality indicators, and the biological value of protein, and to identify the most effective elements of the technology, particularly the rates of mineral fertilizers.

The research was conducted under field and laboratory conditions at the Mykolaiv National Agrarian University and the Mykolaiv State Agricultural Research Station of the Institute of Climate-Smart Agriculture of NAAS. The objects of study were winter wheat, spring wheat, winter rye, sorghum rice (soriz), and soybean grown under moderate irrigation.

It was established that mineral fertilization significantly affects the amino acid composition of grain; however, the nature of these changes depends on both the crop and the level of nutrition optimization. For winter and spring wheat, fertilization contributed to an increase in the content of individual amino acids and their total amount, although the biological value of grain protein changed ambiguously. For winter rye, an increase in methionine content and consistently high biological value of protein were observed.

For soriz grain, the application of only phosphorus-potassium nutrition did not improve the amino acid composition, whereas the application of complete mineral fertilization, especially in combination with micronutrients, significantly increased both the total amino acid content and the proportion of essential amino acids. Mineral fertilizers increased winter wheat yield and improved the technological quality indicators of its grain. The most balanced quality components were formed under $N_{120}P_{60}$ whereas the maximum yield and gluten content were achieved under $N_{120}P_{60}$.

Thus, mineral nutrition is an important factor in improving the nutritional and technological value of grain; however, its effectiveness should be assessed not only by protein content but also by amino acid balance.

Key words: *mineral fertilization, amino acid composition, biological value of protein, grain quality, yield, winter and spring wheat, winter rye, soriz, soybean.*

Вступ. Якість зерна як харчової та кормової сировини дедалі частіше оцінюють не лише за вмістом протеїну, а й за амінокислотним складом та показниками протеїнової повноцінності, адже саме збалансованість незамінних амінокислот визначає ефективність використання білка організмом [1, 2]. У міжнародній практиці для оцінювання якості білку широко застосовують підходи на основі визначення амінокислотного складу в т. ч. лімітуючої амінокислоти, а також інтегральні методи, що враховують засвоюваність, зокрема PDCAAS (Protein Digestibility-Corrected Amino Acid Score) та більш сучасні підходи – DIAAS (Digestible Indispensable Amino Acid Score). Методологічні основи оцінки якості протеїну рекомендовані ФАО/ВООЗ, в яких зазначається, що навіть при високому вмісті протеїну реальна харчова та кормова цінність характеризується насамперед за вмістом незамінних амінокислот і їх засвоюваністю [3].

Для зернових культур перш за все постає проблема низького вмісту окремих незамінних амінокислот (часто – лізину), тоді як співвідношення сірковмісних амінокислот (метіонін, цистин) може істотно змінюватися залежно від генотипу, умов року вирощування та системи живлення. Коливання амінокислотного складу зерна, вирощеного в різних екологічних умовах, а також значення чинників середовища для формування білкового комплексу пшениці висвітлено в працях, у яких акцентовано роль температури та водного режиму у формуванні складу амінокислот. Це узгоджується з практичним висновком: систему удобрення слід розглядати не ізольовано, а у взаємодії з погодними умовами, оскільки саме вони визначають інтенсивність азотного обміну та нагромадження білків у зерні [4].

Серед елементів технології вирощування важливе місце посідає азотне живлення, оскільки азот є базовим елементом синтезу амінокислот і білкових фракцій [5]. Дослідженнями встановлено, що збільшення доз азоту, як правило, підвищує вміст протеїну в зерні та супроводжується змінами амінокислотного складу, зокрема зростанням частки окремих незамінних амінокислот [6]. У класичних роботах встановлено, що під впливом азотного (а також калійного) удобрення може зростати вміст лізину і метіоніну в зерні [7]. Дослідженнями підтверджено загальну закономірність: азот істотно впливає як на вміст протеїну, так і на спектр амінокислот, хоча напрям і сила змін для окремих амінокислот можуть відрізнятися, а збільшення одних компонентів іноді супроводжується відносним зменшенням інших [8]. Важливим є й те, що на амінокислотний склад пшениці може впливати не лише азот, але й сірка (через участь у синтезі сірковмісних амінокислот), що підтверджує доцільність збалансованого живлення, а не «однобічного» збільшення доз азоту.

Паралельно з біохімічними показниками, для пшениці надзвичайно важливими є технологічні властивості зерна, зокрема вміст клейковини, склоподібність, натура, які тісно пов'язані з білковим комплексом та умовами живлення. Оглядові й експериментальні дані свідчать, що клейковина та склоподібність часто корелюють, а їх рівень визначається як сортовими особливостями, так і агротехнічними чинниками, включно з мінеральним живленням [8]. Узагальненням експериментальних результатів визначено, що підвищення доз азоту здатне збільшувати вміст протеїну та клейковини, покращувати показники якості тіста, але ефект має певну межу і залежить від ґрунтово-кліматичних умов та рівня забезпеченості ґрунту і рослин поживними речовинами [9].

У наукових джерелах вчені акцентують увагу на важливому положенні: зростання вмісту протеїну або загальної суми амінокислот не обов'язково супроводжується підвищенням біологічної цінності білка, оскільки визначальними є збалансованість незамінних амінокислот і наявність лімітуючої амінокислоти. Саме тому в міжнародних підходах ФАО/ВООЗ рекомендовано оцінювати якість білка за співвідношенням амінокислот із референтним профілем та з урахуванням засвоюваності (PDCAAS/DIAAS) [1]. На практиці це означає, що агротехнологічні заходи, спрямовані на підвищення загальної білковості зерна, можуть одночасно змінювати фракційний і амінокислотний склад білків таким чином, що визначений показник повноцінності білка не завжди зростає. Сучасними дослідженнями впливу азотного живлення на якість зерна встановлено, що підвищення вмісту окремих амінокислот може супроводжуватися менш сприятливими змінами інших, що й зумовлює неоднозначну динаміку показника біологічної цінності зерна залежно від варіанта удобрення [10].

Крім того, у літературі широко висвітлено питання культур групи сорго (а також близьких за використанням круп'яних культур), де якість зерна для кормових цілей значною мірою також визначається амінокислотним складом та впливом мікроелементів на обмін азоту. Для сорго встановлено, що внесення мікроелементів здатне підвищувати вміст протеїну й поліпшувати склад незамінних амінокислот, а також позитивно впливати на засвоюваність білка [11]. У фундаментальних дослідженнях амінокислотного складу зерна сорго зазначено, що вміст амінокислот пов'язаний із загальним азотним статусом зерна, а перерахунок азоту в білок і співвідношення білкових/небілкових форм азоту є важливими для оцінки якості [12]. У роботах, присвячених азотному удобренню сорго цукрового, також встановлено здатність азоту змінювати вміст амінокислот, що важливо для кормової оцінки зерна та вибору норм удобрення [13].

Таким чином, проведений аналіз літературних джерел засвідчує, що мінеральне живлення, передусім азотне та повне збалансоване (NPK), як правило, підвищує білковість зерна й нерідко супроводжується зростанням сумарного вмісту амінокислот. Водночас технологічні показники якості зерна пшениці (клейковина, склоподібність) можуть поліпшуватися зі збільшенням доз удобрення, однак вираженість цього ефекту істотно залежить від ґрунтово-кліматичних умов і має певні межі. Основним методичним положенням є те, що біологічна цінність білка визначається не лише «кількістю» протеїну чи амінокислот, а їх збалансованістю за вмістом незамінних амінокислот та засвоюваністю, через що інтегральні показники якості зерна можуть різнитися. Окремо визначено оптимальне поєднання NPK із мікроелементами у технологіях вирощування соргових і круп'яних культур, оскільки такі системи живлення здатні посилювати накопичення незамінних амінокислот і підвищувати кормову цінність зерна.

Метою роботи є оцінити вплив мінерального удобрення на вміст окремих амінокислот і їх груп (зокрема незамінних), показники якості зерна та біологічну цінність білка, а також визначити технологічні підходи, що забезпечують найкраще поєднання продуктивності й білкової повноцінності зерна.

Матеріали та методика досліджень. Дослідження виконували у польових і лабораторних умовах на базі Миколаївського національного аграрного університету (МНАУ) та ДУ «Миколаївська державна сільськогосподарська дослідна станція ІКОСГ НААН». Польові досліді закладали на типових для зони Південного Степу України чорноземах південних за прийнятою для польових експериментів схемою з повторенням і рандомізованим розміщенням варіантів. Технологію вирощування культур у досліді здійснювали за зональними рекомендаціями, з уніфікованими агротехнічними заходами для всіх варіантів, за винятком чинників, що прийняті на вивчення.

Об'єктами досліджень були зернові та круп'яні культури (зокрема пшениця та соріз), а також інші культури. Варіанти удобрення формували відповідно до схеми досліді: контроль (без добрив) та фони мінерального живлення з різними рівнями азотно-фосфорного або азотно-фосфорно-калійного удобрення (N-P; N-P-K), а також варіанти з поєднанням NPK і мікродобривами (залежно від культури та схеми). Добрива вносили згідно з агротехнічними вимогами культури та прийнятою системою внесення (основне внесення та/або підживлення відповідно до варіанта).

Після досягання проводили облік урожайності та відбір середніх проб зерна для лабораторних аналізів. Для пшениці додатково визначали показники якості зерна, наведені у таблицях (натура, склоподібність, вміст клейковини тощо), за загальноприйнятими методиками лабораторного контролю якості зерна.

Амінокислотний склад зерна визначали у відібраних пробах. Вміст амінокислот визначали на амінокислотному аналізаторі (Hitachi, Японія). Результати наводили за переліком амінокислот, із розрахунком суми незамінних та заміних амінокислот, а також загальної їх суми.

Біологічну цінність білків оцінювали розрахунковим шляхом за методикою Корпаці, Ліндера та Варга, з використанням показників амінокислотного складу, на основі лабораторних визначень.

Отримані експериментальні дані систематизували й узагальнювали за варіантами удобрення та культурами; результати подано у вигляді таблиць із порівняльною оцінкою впливу фону мінерального живлення на амінокислотний склад і показники якості зерна.

Результати досліджень. За середніми 3-річними даними встановлено, що мінеральне удобрення по-різному впливає на вміст окремих амінокислот у зерні та показник біологічної цінності білка залежно від культури (табл. 1). У зерні пшениці озимої на фоні внесення NPK визначено збільшення метіоніну з 0,23 мг/100 г сухої речовини у варіанті без добрив (різоагрін) до 0,25–0,27 мг/100 г за $N_{60}P_{60}K_{30}$ – $N_{90}P_{60}K_{30}$, а також глютамінової кислоти з 3,71 до 4,11–4,26 мг/100 г. Водночас вміст лізину мав тенденцію до незначного зниження (з 0,37 до 0,34–0,36 мг/100 г), що супроводжувалося зменшенням біологічної цінності білка з 59,7% у контролі до 58,0–57,2% в зерні удобрених варіантів.

У жита озимого застосування добрив призводило до істотного зростання метіоніну з 0,14 мг/100 г у контролі до 0,31 мг/100 г за $N_{60}P_{60}K_{30}$ та до 0,33 мг/100 г за $N_{60}P_{60}K_{30} + N_{30}$ (підживлення), тоді як вміст лізину при цьому змінювався незначно (0,31 мг/100 г у контролі й за $N_{60}P_{60}K_{30}$) або зростав до 0,34 мг/100 г за проведення позакореневого підживлення. Вміст глютамінової кислоти підвищувався з 1,45 до 1,54–1,68 мг/100 г, а біологічна цінність білка залишалася стабільно високою та дещо зростала з 68,9% до 69,4–69,5%. У зерні пшениці ярої мінеральне живлення сприяло послідовному збільшенню в складі амінокислот метіоніну з 0,28 до 0,31–0,33 мг/100 г, лізину – з 0,35 до 0,39–0,44 мг/100 г і глютамінової кислоти – з 3,78 до 4,31–4,84 мг/100 г, однак біологічна цінність білка при цьому не підвищувалася, а за збільшення азотного фону, навпаки, знижувалася з 62,1% (без добрив) до 61,9% ($N_{60}P_{60}K_{30}$) та 59,2% ($N_{90}P_{60}K_{30}$).

У складі амінокислот зерна сорізу на фоні підвищених доз азоту визначили зростання метіоніну з 0,19 мг/100 г у контролі до 0,23 мг/100 г за $N_{120}P_{60}K_{30}$ (за $N_{90}P_{60}K_{30}$ показник залишався на рівні 0,19 мг/100 г), тоді як вміст лізину коливався в межах 0,22–0,24 мг/100 г без чіткої тенденції. Вміст глютамінової кислоти зростав з 2,16 до 2,59–2,91 мг/100 г, проте біологічна цінність білка також зменшувалася з 61,5% у контролі до 58,9–59,0% в зерні удобрених варіантів.

У сої, попри високий сумарний вміст амінокислот, внесення добрив призводило до зниження кількості метіоніну з 0,91 мг/100 г у варіанті без добрив до 0,85 мг/100 г за дози $N_{30}P_{60}K_{30}$ і до 0,76 мг/100 г за $N_{60}P_{60}K_{30}$; вміст лізину змінювався не чітко (2,48 → 2,42 → 2,67 мг/100 г), тоді як глютамінової кислоти зростав з 5,77 до 6,03–6,31 мг/100 г. Це супроводжувалося зменшенням біологічної цінності білка з 76,4% у контролі до 74,9–74,3% в зерні удобрених варіантів, що підтверджує необхідність оцінювати не лише кількісне накопичення амінокислот в зерні, а й їх збалансованість у складі білка за різних систем мінерального живлення.

У таблиці 2 наведено середні дані за 3 роки щодо визначення кількості амінокислот у зерні сорізу залежно від системи удобрення, що дає змогу оцінити спрямованість змін: як загальний вміст амінокислот, так і частки незамінних амінокислот. Встановлено, що лише фосфорно-калійне живлення ($P_{60}K_{30}$) не поліпшувало амінокислотний склад: сума амінокислот зменшувалася з 10,99 у контролі до 10,65 мг/100 г сухої речовини /100 г, а сума незамінних – з 3,87 до 3,68 мг/100 г. На цьому фоні більшість показників або залишалася на рівні контролю, або знижувалася (наприклад, лізин 0,24 → 0,22; гістидин 0,25 → 0,22; аміак 0,42 → 0,35; аспарагінова кислота 0,79 → 0,73 мг/100 г), що свідчить про недостатність внесення лише фосфорно – калійних добрив для підвищення білково-амінокислотної якості зерна. На таку залежність вказували Е. Lonen R. та інші [15] з визначення амінокислот в зерні пшениці ярої.

Таблиця 1

**Вміст окремих амінокислот і біологічна цінність білків зерна
сільськогосподарських культур за впливу мінеральних добрив
(у середньому за даними 3-річних досліджень)**

Варіант живлення	Вміст амінокислот, мг/100 г сухої речовини			Біологічна цінність білка зерна, %
	Метіонін	Лізин	Глютамінова кислота	
Пшениця озима (2019-2021рр.)				
Без добрив (різоагрін)	0,23	0,37	3,71	59,7
$N_{60}P_{60}K_{30}$	0,25	0,36	4,11	58,0
$N_{90}P_{60}K_{30}$	0,27	0,34	4,26	57,2
Жито озиме (2021-2023рр.)				
Без добрив	0,14	0,31	1,45	68,9
$N_{60}P_{60}K_{30}$	0,31	0,31	1,54	69,54
$N_{60}P_{30}K_{30} + N_{30}$ (підживлення)	0,33	0,34	1,68	69,4
Пшениця яра (2021-2023рр.)				
Без добрив	0,28	0,35	3,78	62,1
$N_{60}P_{60}K_{30}$	0,31	0,39	4,31	61,9
$N_{90}P_{60}K_{30}$	0,33	0,44	4,84	59,2
Соріз (2018-2020рр.)				
Без добрив	0,19	0,24	2,16	61,5
$N_{90}P_{60}K_{30}$	0,19	0,22	2,59	58,9
$N_{120}P_{60}K_{30}$	0,23	0,24	2,91	59,0
Соя (2022-2024рр.)				
Без добрив	0,91	2,48	5,77	76,4
$N_{30}P_{60}K_{30}$	0,85	2,42	6,03	74,9
$N_{60}P_{60}K_{30}$	0,76	2,67	6,31	74,3

Внесення азоту сумісно з фосфором і калієм посилювало накопичення амінокислот, причому ефект залежав від доз і співвідношення добрив: по фону $N_{90}P_{60}K_{30}$ сума амінокислот зростала до 11,90 мг/100 г, а $N_{120}P_{60}K_{30}$ – до 12,97 мг/100 г (тобто на +0,91 та +1,98 мг/100 г відповідно до контролю). Одночасно збільшувалася і сума незамінних амінокислот: з 3,87 мг/100 г без добрив до 4,08 (N_{90}) і 4,48 мг/100 г (N_{120}). Найбільш помітні зміни відбувалися за рахунок зростання вмісту амінокислот, що формують основний «каркас» білкових фракцій: глютамінової кислоти з 2,16 (контроль) до 2,59 (N_{90}) і 2,91 мг/100 г (N_{120}), аланіну – з 1,00 до 1,11–1,21, лейцину – з 1,48 до 1,60–1,81 мг/100 г. Для деяких незамінних амінокислот приріст був менш вираженим, однак стабільним: валін 0,56 → 0,60–0,61; ізолейцин 0,44 → 0,47–0,51; фенілаланін 0,51 → 0,54–0,58 мг/100 г. Вміст метіоніну в зерні більшості варіантів був на рівні 0,19 мг/100 г і підвищувався лише за внесення N_{120} (до 0,23 мг/100 г), що може вказувати на потенційно лімітуючу роль азотного живлення у формуванні амінокислотної збалансованості білка зерна сорізу за вирощування на зрошенні.

Таблиця 2
**Вміст амінокислот у зерні зрошеного сорізу за впливу удобрення, мг/100 г
 сухої речовини (середнє за 2018–2020 рр.)**

Амінокислота	Без добрив	$P_{60} K_{30}$	$N_{90} P_{60} K_{30}$	$N_{120} P_{60} K_{30}$	$N_{90} P_{60} K_{30} +$ мікродобрива	Розрахункова доза добрив
Триптофан	0,11	0,10	0,11	0,11	0,12	0,11
Лізін	0,24	0,22	0,22	0,24	0,35	0,30
Гістидін	0,25	0,22	0,25	0,25	0,36	0,34
Аргінін	0,39	0,39	0,38	0,39	0,56	0,52
Аміак	0,42	0,35	0,34	0,33	0,49	0,71
Аспарагінова кислота	0,79	0,73	0,82	0,92	1,04	0,97
Треонін	0,34	0,35	0,35	0,39	0,48	0,46
Серін	0,44	0,45	0,50	0,55	0,64	0,59
Глутамінова кислота	2,16	2,25	2,59	2,91	3,08	2,91
Пролін	0,95	0,93	1,09	1,17	1,02	1,01
Гліцин	0,34	0,31	0,31	0,32	0,47	0,49
Аланін	1,00	0,98	1,11	1,21	1,38	1,44
Валін	0,56	0,56	0,60	0,61	0,67	0,62
Метіонін	0,19	0,19	0,19	0,23	0,21	0,23
Ізолейцин	0,44	0,41	0,47	0,51	0,47	0,54
Лейцин	1,48	1,40	1,60	1,81	2,11	2,04
Тирозин	0,38	0,36	0,43	0,43	0,58	0,59
Фенілаланін	0,51	0,45	0,54	0,58	0,78	0,88
Сума амінокислот	10,99	10,65	11,90	12,97	14,81	14,75
Сума незамінних амінокислот	3,87	3,68	4,08	4,48	5,19	5,18
Сума напівзамінних амінокислот	0,98	0,92	0,99	1,09	1,15	1,18

Найвищі значення вмісту більшості амінокислот в зерні визначено у варіанті поєднання $N_{90} P_{60} K_{30}$ з мікродобривами: сума амінокислот зростала до 14,81 мг/100 г, а сума незамінних – до 5,19 мг/100 г, (на +3,82 та +1,32 мг/100 г порівняно з контролем). У зерні цього варіанта особливо істотно підвищувався вміст лізину (0,24 → 0,35), гістидину (0,25 → 0,36), аргініну (0,39 → 0,56), треоніну (0,34 → 0,48), серину (0,44 → 0,64), тирозину (0,38 → 0,58) та фенілаланіну (0,51 → 0,78 мг/100 г). Водночас високий вміст глутамінової кислоти (3,08 мг/100 г) і лейцину (2,11 мг/100 г) підтверджують значення мікроелементів у посиленні білкового синтезу і зростанні вмісту важливих амінокислот. За внесення розрахункової дози добрива більшість показників були близькими до $N_{90} P_{60} K_{30} +$ мікродобрива (сума амінокислот 14,75; сума незамінних 5,18 мг/100 г),

що свідчить про ефективність оптимізації доз і співвідношення добрив для формування амінокислотного складу зерна. Уміст окремих амінокислот за розрахункової дози досягав навіть дещо вищих значень (амінокислоти: аміак 0,71; аланін 1,44; фенілаланін 0,88 мг/100 г), що може посилювати інтенсивність азотного обміну та перерозподіл амінокислот у білково-небілкових формах.

Отже, дані таблиці підтверджують, що для сорізу вирішальним чинником зростання сумарного вмісту амінокислот і підвищення частки незамінних амінокислот є азот у складі повного мінерального удобрення. Максимальний ефект досягається за поєднання NPK із мікродобривами або за внесення розрахункової дози добрив, що забезпечує найбільш інтенсивне накопичення як загальних, так і незамінних амінокислот у зерні.

У таблиці 3 наведено порівняльні дані щодо амінокислотного складу зерна зрошуваної пшениці озимої без добрив та за внесення $N_{120}P_{60}$. Добрива суттєво посилювали накопичення амінокислот у зерні: сума амінокислот зростала з 7,872 до 10,377 мг/100 г сухої речовини, тобто на +2,505 мг/100 г (біля 32%). Одночасно збільшувалася і сума незамінних амінокислот – з 2,383 до 2,863 мг/100 г (приріст +0,480 мг/100 г, близько 20%), що свідчить про поліпшення білково-амінокислотної насиченості зерна за вирощування на високому фоні живлення.

Таблиця 3

Вплив мінеральних добрив на вміст амінокислот у зерні пшениці озимої, мг/100 г сухої речовини (середнє за 2019–2021 рр.)

Амінокислота	Без добрив	$N_{120}P_{60}$
Лізин	0,209	0,231
Гістидін	0,103	0,114
Аргінін	0,252	0,263
Аспарагінова кислота	0,387	0,419
Треонін	0,197	0,229
Серін	0,338	0,435
Глутамінова кислота	2,585	3,835
Пролін	1,178	1,632
Гліцин	0,324	0,418
Аланін	0,327	0,352
Валін	0,367	0,431
Метіонін	0,268	0,339
Ізолейцин	0,264	0,320
Лейцин	0,655	0,833
Тірозин	0,190	0,220
Фенілаланін	0,241	0,263
Сума амінокислот	7,872	10,377
у т.ч. незамінних	2,383	2,863

Найбільший внесок у загальний приріст амінокислот забезпечило збільшення вмісту глутамінової кислоти, яка є домінуючою амінокислотою в зернових білках: з 2,585 до 3,835 мг/100 г (приріст +1,250 мг/100 г, майже половина від загальної

суми амінокислот). Помітно збільшувався вміст амінокислот, пов'язаних з інтенсивністю азотного обміну та формуванням білкових фракцій: проліну – з 1,178 до 1,632 (+0,454), лейцину – з 0,655 до 0,833 (+0,178), серіну – з 0,338 до 0,435 (+0,097), гліцину – з 0,324 до 0,418 (+0,094), валіну – з 0,367 до 0,431 (+0,064), ізолейцину – з 0,264 до 0,320 (+0,056) мг/100 г. Із незамінних амінокислот істотно підвищувався і вміст метіоніну (0,268 → 0,339; +0,071) та треоніну (0,197 → 0,229; +0,032), тоді як лізину зростав помірно (0,209 → 0,231; +0,022). Для решти інших амінокислот визначено стабільні, хоча й менш виражені прирости: гістидину 0,103 → 0,114; аргініну 0,252 → 0,263; аспарагінової кислоти 0,387 → 0,419; аланіну 0,327 → 0,352; тирозину 0,190 → 0,220; фенілаланіну 0,241 → 0,263 мг/100 г.

Таким чином, внесення під пшеницю озимую $N_{120}P_{60}$ забезпечувало не лише підвищення загальної амінокислотної насиченості зерна, а й збільшення у їх складі частки незамінних амінокислот, що є важливим показником поліпшення кормової та харчової цінності білка. Водночас визначена структура приросту амінокислот свідчить, що основний ефект від добрив формувався переважно за рахунок збільшення глутамінової кислоти та проліну, тобто амінокислот, які характеризують інтенсивність синтезу запасних білків і перебіг азотного метаболізму в рослині.

У таблиці 4 наведено середні за 2023–2025 рр. показники врожайності та основних технологічних властивостей зерна пшениці озимої за помірного зрощення залежно від доз мінерального добрива. Загалом внесення добрив забезпечувало підвищення продуктивності й одночасне поліпшення більшості показників якості зерна порівняно з контролем. Разом з тим, застосування $N_{120}P_{60}$ практично не призводило до зростання як врожаю зерна, так і показників його якості. Покращення якості зерна підтверджується зростанням маси 1000 зерен: з 38,3 г у контролі до 40,2–40,7 г у варіантах із добривами (максимум 40,7 г за $N_{60}P_{60}$). Це свідчить про краще наливання зерна та формування крупнішої фракції. Натура зерна також підвищувалась: з 725,2 г/л без добрив до 737,0–744,8 г/л за їх внесення, причому найвищий показник сформовано по фоні $N_{60}P_{60}$ (744,8 г/л).

Таблиця 4

**Якість зерна пшениці озимої залежно від добрив без поливу*)
(середнє за 2023–2025 рр.)**

Варіант	Урожайність, т/га	Маса 1000 зерен, г	Натура, г/л	Склоподібність, %	Вміст клейковини, %
Без добрив	4,71	38,3	725,2	45,0	20,2
$N_{60}P_{30}$	5,03	40,2	737,0	52,5	21,6
$N_{60}P_{60}$	5,33	40,7	744,8	56,6	22,9
$N_{120}P_{60}$	5,49	40,5	740,9	57,0	23,2
HP_{05}	0,20–0,29	0,3–0,5	3,2–4,8	0,3–0,8	0,7–0,9

*) сорт *Перлина степу*, без поливу

Таким чином, дані таблиці 4 засвідчують, що мінеральні добрива сприяють не лише приросту врожайності пшениці озимої, а й суттєвому поліпшенню технологічних показників якості зерна. Найбільш збалансоване поєднання високої натури, крупності зерна та підвищеної склоподібності забезпечило внесення $N_{60}P_{60}$, таким же рівень урожайності зерна, але з вищим вмістом клейковини формувалися по фоні застосування $N_{120}P_{60}$.

Висновки. Мінеральне живлення істотно впливає на амінокислотний склад і якість білка зерна, підвищуючи сумарний вміст амінокислот і частку незамінних, причому вирішальним чинником є наявність азоту в системі живлення. Застосування лише $P_{60}K_{30}$ під соріз не забезпечує поліпшення амінокислотного складу, тоді як внесення по цьому фону азоту у дозах $N_{90}-N_{120}$ посилює накопичення амінокислот, а найвищі значення більшості з них отримують за поєднання $N_{90}P_{60}K_{30}$ з мікродобривами або за внесення розрахункової дози добрив.

Внесення $N_{120}P_{60}$ сприяє помітному зростанню суми амінокислот і незамінних амінокислот та підвищує поживну цінність білка зерна пшениці озимої. Мінеральні добрива забезпечують достовірний приріст урожайності та покращують технологічні показники якості зерна (масу 1000 зерен, натуру, склоподібність і вміст клейковини). Найбільш оптимальними показники якості зерна формуються за вирощування пшениці озимої за помірного зрошення по фону $N_{60}P_{60}$, тоді як таку ж зернову продуктивність, але більший вміст клейковини забезпечує доза добрив $N_{120}P_{60}$.

Застосування мінеральних добрив під сою дещо збільшує у складі амінокислот вміст лізину порівняно з контролем. Біологічна цінність білка зерна сої при цьому практично не змінюється.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Dietary protein: physiological need and biological value: Monograph. Makhynko V. M., Sharan A. V., Makhynko L. V., Karlsruhe, 2024. 120 p. Monographic series «Innovative Science, Education, Manufacturing and Transport». Book 12. 2024.
2. Основи харчування: підручник / М.І. Кручаниця, І.С. Миронюк, Н.В. Розумикова та ін. Ужгород: Вид-во УжНУ «Говерла», 2019. 252 с.
3. Dietary protein quality evaluation in human nutrition : report of an FAO expert consultation, 31 March–2 April 2011, Auckland, New Zealand. Rome : FAO, 2013. 66 p. (FAO food and nutrition paper ; 92) ISBN 978-92-5-107417-6
4. Isidro J., Martos V., Rharrabti Y., Royo C., García L., del Moral L. F. Environmental determination of amino acid composition in the grain of durum wheat under Mediterranean conditions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2008. Vol. 56, No. 15. P. 6549–6556.
5. Gamayunova V., Sydiakina O. The problem of nitrogen in modern agriculture. *Ukrainian Black Sea Region Agrarian Science*. Vol. 27, No.3. 2023. P. 46–61. DOI: 10.56407/bs.agrarian/3.2023.46.
6. Марцинишин Ю. Д., Пида С. В. Біохімічний склад зерна пшениці м'якої (*Triticum aestivum* L.) за впливу добрив. *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Серія: Біологія*. 2021. Т. 81, № 1–2. С. 109–116. DOI: 10.25128/2078-2357.21.1-2.12.
7. Hojjati S. M., Maleki M. Effect of potassium and nitrogen fertilization on lysine, methionine, and total protein contents of wheat grain. *Triticum aestivum* L. em. Thell. *Agronomy Journal*. 1972. Vol. 64, No. 1. P. 34–36. DOI: 10.2134/agronj1972.00021962006400010015x.
8. Dubetz S., Gardiner E. E. Effect of nitrogen fertilizer treatments on the amino acid composition of Neepawa wheat. *Canadian Journal of Plant Science*. 1975. Vol. 55, No. 2. P. 475–479.
9. Lachutta K., Jankowski K. J. The quality of winter wheat grain by different sowing strategies and nitrogen fertilizer rates: a case study in northeastern Poland. *Agriculture*. 2024. Vol. 14, No. 4. Art. 552. DOI: 10.3390/agriculture14040552.
10. Sadowska J., Błaszczak W., Jeliński T., Fornal J., Borkowska H., Styk B. Fertilization and technological quality of wheat grain. *International Agrophysics*. 2001. Vol. 15, № 2. P. 105–110.

11. Yigit A., Yarasir N., Erekul O. Impact of nitrogen fertilization on bread wheat: screening for changes in quality, antioxidant and essential amino acid content. *Turkish Journal of Field Crops*. 2024. Vol. 29, No. 2. P. 149–164. DOI: 10.17557/tjfc.1554201.
12. Ahmed S. O., Abdalla A. W. H., Inoue T., Ping A., Babiker E. E. Nutritional quality of grains of sorghum cultivar grown under different levels of micronutrients fertilization. *Food Chemistry*. 2014. Vol. 159. P. 374–380. DOI: 10.1016/j.foodchem.2014.03.033.
13. Mosse J., Huet J.-C., Baudet J. The amino acid composition of whole sorghum grain in relation to its nitrogen content. *Cereal Chemistry*. 1988. Vol. 65, No. 4. P. 271–277.
14. Nokerbekova N. K., Suleimenov Ye., Zhapayev R. Influence of fertilizing with nitrogen fertilizer on the content of amino acids in sweet sorghum grain. *Agriculture and Food Sciences Research*. 2018. Vol. 5. P. 64–67. DOI: 10.20448/journal.512.2018.52.64.67.
15. E. Lonen R., Aho J., Koivistoinen R. Influence of irrigation and nitrogen fertilization on the amino acid composition of spring wheat. *Maatalins. Tiet. Uiraraus.* 1972. V.44. № 1. Pp. 56–62.

Дата першого надходження статті до видання: 24.04.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 22.05.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 29.05.2026