

УДК 633.16:631.547:631.53.04

DOI <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2026.150.6>

ЗАЛЕЖНІСТЬ СТАНУ РОЗВИТКУ РОСЛИН ЯЧМЕНЮ ЯРОГО ВІД ВПЛИВУ МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРІВ НА ПОЧАТКОВИХ ЕТАПАХ ФОРМУВАННЯ АГРОФІТОЦЕНОЗУ

Гораш В.О. – аспірант кафедри рослинництва, селекції та насінництва,
Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»
orcid.org/0009-0004-0310-1672

Мета досліджень – встановити біологічний стан розвитку ячменю ярого на початку процесу куціння рослин в результаті впливу застосованих мінеральних добрив. **Методи.** При проведенні експериментів використано науково-обґрунтовані методи, а саме: лабораторний, аналітичний, конкретизації, узагальнення, статистично-математичний. **Результати.** Доведено, що при вирощуванні ячменю ярого на сірих опідзолених ґрунтах внесенні мінеральні добрива забезпечують істотно кращі результати стану розвитку рослин на початку фази куціння за встановленими біометричними показниками аналізу сирової біомаси, площі листової поверхні та вмісту сухої речовини. **Висновки.** В результаті трірічних досліджень (2024–2026 рр.) доведено залежність між рівнем мінерального удобрення посівів макроелементами та основними біометричними параметрами ячменю ярого за станом розвитку рослин на початку фази куціння. Внесення мінеральних добрив за всіх норм включених в експеримент забезпечило стабільне й математично достовірне збільшення сирової біомаси, сухої речовини рослин та площі асиміляційної поверхні листків порівняно з контрольним варіантом ($N_0P_0K_0$). За результатом динаміки біометричних показників максимальний агрономічний ефект зафіксовано при нормі мінерального добрива $N_{60}P_{60}K_{60}$. За цього варіанта живлення показники сирової біомаси досягли 586,2 мг, площа листової поверхні становила 658,3 мм², а маса сухої речовини – 135,4 мг, що перевищувало контроль на 76,0 %, 71,7 % та 61,2 % відповідно. Найбільш динамічний крок приросту вегетативної маси та асиміляційної площі рослин в роки досліджень встановлено за оптимізації живлення від норми $N_{15}P_{15}K_{15}$ до $N_{30}P_{30}K_{30}$. Це засвідчує фізіологічну чутливість ячменю до середніх норм макроелементів на ранніх етапах росту та розвитку, де подальше збільшення норм до $N_{45}P_{45}K_{45}$ та $N_{60}P_{60}K_{60}$ сприяє стабільному нарощуванню біометричного потенціалу рослин. Отже, в результаті проведених досліджень встановлено сприятливий вплив застосованого мінерального добрива на реалізацію стартового потенціалу розвитку рослин ячменю ярого на початку фази куціння.

Ключові слова: ячмінь ярий, розвиток рослин, норми мінеральних добрив, фаза куціння, сира біомаса, площа листової поверхні, суха речовина.

Horash V.O. Dependence of spring barley plant development on the influence of mineral fertilizers at the initial stages of agrophytocenosis formation

Purpose. To determine the biological status of spring barley development at the beginning of the tillering stage under the influence of applied mineral fertilizers. **Methods.** The study employed scientifically substantiated research methods, including laboratory, analytical, specification, generalization, and statistical-mathematical methods. **Results.** It was established that the application of mineral fertilizers in spring barley cultivation on gray podzolized soils significantly improved plant development at the beginning of the tillering stage. This was confirmed by biometric indicators, including fresh biomass, leaf surface area, and dry matter content. **Conclusions.** Based on three years of research (2024–2026), a relationship was confirmed between the level of mineral fertilization with macronutrients and the main biometric parameters of spring barley plants at the beginning of the tillering stage. The application of mineral fertilizers at all rates included in the experiment ensured a stable and statistically significant increase in fresh biomass, plant dry matter, and leaf assimilation area compared with the control treatment ($N_0P_0K_0$). According to the



© Гораш В.О., 2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії CC BY 4.0

dynamics of biometric indicators, the maximum agronomic effect was recorded at the fertilizer rate of $N_{60}P_{60}K_{60}$. Under this nutrition regime, fresh biomass reached 586.2 mg, leaf surface area amounted to 658.3 mm², and dry matter weight reached 135.4 mg, exceeding the control treatment by 76.0%, 71.7%, and 61.2%, respectively. The most intensive increase in vegetative biomass and assimilation area during the study years was observed when fertilizer rates were increased from $N_{15}P_{15}K_{15}$ to $N_{30}P_{30}K_{30}$. This indicates the physiological sensitivity of spring barley to moderate macronutrient rates during the early stages of growth and development. Further increases in fertilizer rates to $N_{45}P_{45}K_{45}$ and $N_{60}P_{60}K_{60}$ contributed to a stable enhancement of the biometric potential of plants. Therefore, the conducted research demonstrated the positive effect of mineral fertilizer application on the realization of the initial growth and development potential of spring barley plants at the beginning of the tillering stage.

Key words: spring barley, plant development, mineral fertilizer rates, tillering stage, fresh biomass, leaf surface area, dry matter.

Постановка проблеми. Ячмінь належить до однієї з найбільш поширених зернових культур, яку вирощують в багатьох країнах світу. Зерно ячменю використовують в якості харчового продукту, кормів для сільськогосподарських тварин, як сировину для виробництва солоду. Вирощене зерно досить поживне і придатне для виготовлення харчових продуктів – борошна, перловки, голландки, ячної крупи. Сухі речовини містять 70–85 % загальних вуглеводів, білка – 10–12 %, жирів – 2–3 %, мінеральних речовин – 2–4 %, інших речовин – 1–2 %. Також ячменю відводиться роль цілющої рослини. Шведські вчені з'ясували, що ячмінна крупа захищає від цукрового діабету другого типу.

Актуальність досліджень полягає в необхідності обґрунтування окремих елементів технології вирощування ячменю ярого на ґрунтах, які належать до типу сірих опідзолених, де вони характеризуються невисоким забезпеченням доступним азотом та рухомим фосфором. Відповідно особливий інтерес щодо забезпечення розвитку агротехнологій вирощування ячменю ярого представляють параметри біологічного стану рослин на початку входження рослин в процес кушення або за термінологією органогенезу при настанні другого його етапу [1, 2]. Це період розвитку, коли розпочинається закладка потенціала продуктивності рослин за кількістю функціональних пагонів та кількістю зернин колоса. Важливо також, що в цьому аспекті підставою для такого формату досліджень є раннє настання можливостей проведення сівби. Зокрема закономірними стали умови в південно-західному Лісостепу для проведення ранньої весняної сівби ячменю ярого з настанням з самого початку весни сприятливих технологічних умов за яких фізичний стан ґрунту забезпечує можливості розпочати польові роботи. Як відомо ячмінь належить до ранніх ярих зернових культур, він витримує короткочасні заморозки до 7–8 °С. За ранніх строків сівби він в процесі проростання ефективно використовує енергетичний ресурс абіотичного середовища. Оцінка впливу мінеральних добрив в результаті їх застосування при вирощуванні ячменю на сірих опідзолених ґрунтах за ранніх строків сівби на ріст та розвиток рослин на початкових етапах формування агрофітоценозу є затребуваним виробництвом в організації такого дослідження.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Ячмінь звичайний (*Hordeum vulgare*) належить до однієї з найбільш поширених зернових культур. Використовується для різноманітних потреб в народногосподарській діяльності багатьох країн світу. Перш за все як продукт функціонального харчування [3]. Також зерно ячменю використовують для забезпечення виробництва кормів та відповідно годівлі сільськогосподарських тварин. Як культура відомий ячмінь з доісторичних часів. Самі ранні спогади про ячмінь відносяться до документів періоду за

7900 років до нашої ери, які віднайдені в Хузестані. Але вкрай мало інформації про те, як вирощували ячмінь. Існує припущення, що ячмінь був одомашнений більше одного разу. Принаймні одне одомашнення відбулося в межах Родючого Півмісяця, а друге за 1500–3000 км далі на схід [4]. Проте досить детальні інформаційні повідомлення, які торкаються фактично історичної агрономії вирощування ячменю отримані на обломкові дошки. Віком близько 1700 років до нашої ери в Месопотамії в міжріччі Тигр та Євфрат на 109 строчках зазначено клиновидним шрифтом про значну кількість порад, які торкаються питань щодо підготовки ґрунту, оранки, сівби, збирання урожаю, очищення та сортування насіння [5].

Нині вирощування ячменю поширено в країнах помірного клімату. За кількістю виробленого зерна світові обсяги виробництва ячменю за останні сезони демонструють відновлення та коливаються в межах 142–155 млн тонн на рік. Ця культура стабільно посідає 4-те місце в світі за обсягами виробництва серед усіх зернових, поступаючись лише кукурудзі, рису та пшениці. Україна входить до топ-10 світових виробників та утримує сильні позиції в експорті до Китаю та країн Середземномор'я. Левова частка світового врожаю використовується як фуражний ячмінь, який йде на корм для забезпечення потреб годівлі тварин. Ячмінь є незамінною сировиною для виробництва з зерна ячменю ячневих та перлових круп, борошна для забезпечення здорового харчування. Ячмінне зерно містить різноманітні біологічно активні речовини до яких належать у вигляді сполук бета-глюкан, токотрієнол, токоферол та інші флавоноїди, які забезпечують антиоксидантну та проти-запальну дію. Така функціональна дія сприяє зменшенню запалення в людському організмі, особливо коли використовуються ферментовані екстракти з солоду ячмінного зерна [6]. Ячмінь забезпечує малтери сировиною і є основним важливим компонентом у процесі виробництва солоду. Виготовлення солоду залежить від багатьох факторів, включаючи біологічні, технологічні та абіотичні, які зумовлюють якість зерна ячменю. Відповідно мета досліджень полягала у досягненні пивоварної якості солодового потенціалу. В протилежному випадку використання не стандартної якості зерна ячменю для виготовлення солоду потребує не унормованих рішень [7].

В наукових дослідженнях надається увага сорту ячменю ярого як важливому біологічному об'єкту, про що свідчать відповідні публікації [8]. Вирощуванню ячменю на основі органічного землеробства присвячені новітні дослідження в аспекті інноваційних технологій. Автори експериментів використовують мікробні препарати разом із мульчою [9]. Такі дослідження сприятимуть в перспективі виробництву сировини екологічно безпечної для виготовлення продуктів харчування. В аспекті різноманітності досліджень, в процесі переробки зерна ячменю на ячмінні крупи, перловку, виділяється ячмінне лушпиння, це не що інше як побічний продукт. Експериментально встановлено, що лушпиння можна використати для синтезу вуглецевих анодних матеріалів літій-іонних акумуляторів так як воно багате на вуглець та кремнезем. І такі результати досліджень дають підстави стверджувати про альтернативу графіту як традиційному анодному матеріалу та перспективі для розвитку технологій накопичення енергії наступного покоління літій-іонних батарей [10].

В наукових публікаціях висвітлюються також результати впливу на продуктивність ячменю ярого факторів технологічного та абіотичного характеру. Розкрито процес реалізації індивідуальної продуктивності колоса ячменю за кількістю зернин в конкретному ґрунтово-кліматичному середовищі, відповідно впливу умов за різних строків сівби. Отримані результати досліджень фактично представляють

пояснення процесу компенсації рівня урожайності за рахунок зниження редукції генеративних органів колоса ячменю [11]. Встановлено, що при відтермінуванні строку сівби від першого ранньовесняного, відбувається процес достовірного збільшення кількості зернівок в колосі ячменю. В результаті наукових досліджень доведено також істотний вплив на продуктивність колоса ячменю ярого внесених мінеральних добрив та фоліарного застосування мікродобрива «Вуксал». Основні висновки дослідження полягають в тому, що застосовані мінеральні добрива знижують кількість зернин в колосі через формування густішого стеблостою та відповідно більшого виходу зерна з одиниці площі. Встановлено зворотний зв'язок з коефіцієнтом $r = -0,81$. Мікродобрива «Вуксал» підвищують озерненість: триразове позакореневе обприскування за схемою при настанні кушення, вихід у трубку, цвітіння компенсує цей негативний ефект і збільшує кількість зернівок на всіх фонах мінерального живлення. Спільна дія обох факторів характеризується коефіцієнтом кореляції $R = 0,95$ [12].

Методика досліджень. Дослідження проведені впродовж 2024–2026 рр. в Закладі вищої освіти «Подільський державний університет» в умовах Західного Лісостепу України у відповідності до вимог наукової агрономії [13].

Об'єкт дослідження – ячмінь ярий, сорт Себастьян. Мета роботи – встановити біологічний стан розвитку рослин ячменю ярого на початку фази кушіння за різних умов мінерального живлення.

Схема досліду включала такі варіанти застосування мінеральних добрив: $N_0P_0K_0$ (контроль), $N_{15}P_{15}K_{15}$, $N_{30}P_{30}K_{30}$, $N_{45}P_{45}K_{45}$, $N_{60}P_{60}K_{60}$. Для проведення аналізів на початку фази кушіння рослини відбирали разом із кореневою системою, яку згодом ретельно відмивали. Кількість рослин для аналізу в кожній повторності становила 35 шт. Перед зважуванням рослинну масу висушували до повітряно-сухого стану.

Площу листової поверхні визначали методом висічок, сиру біомасу рослин – зважуванням на лабораторних вагах FEN-600L, а масу сухої речовини – термогравіметричним методом за загальноприйнятими методиками [13, 14].

Дослідження проводили на темно-сірому опідзоленому ґрунті. За результатами аналізу ґрунтових зразків дослідна ділянка характеризується такими агрохімічними показниками: реакція ґрунтового середовища – слабокисла (рН 5,6), сума ввібраних основ ($Ca^{2+} + Mg^{2+}$) – 17,0 мг-екс. /100 г ґрунту. Вміст гумусу середній 2,97 %, забезпеченість ґрунту легкогідролізованим азотом низька 128,8 мг/кг ґрунту, рухомими сполуками фосфору середня 56 мг/кг ґрунту, а рухомими сполуками калію дуже висока 245 мг/кг ґрунту.

Для математичної обробки та обґрунтування достовірності результатів досліджень використано t -критерій Стьюдента.

Результати досліджень. У 2024 р. вплив мінеральних добрив на формування сирової біомаси рослин ячменю ярого сорту Себастьян характеризувався чіткою тенденцією: зі збільшенням норм внесення поживних речовин спостерігалось лінійне зростання цього показника (табл. 1).

Зокрема, порівняно з контрольним варіантом ($N_0P_0K_0$) внесення мінімальної норми добрив ($N_{15}P_{15}K_{15}$) забезпечило істотне збільшення сирової біомаси рослин на 55,2 мг (з $358,5 \pm 4,9$ до $413,7 \pm 6,8$ мг) за фактичного значення критерію Стьюдента $t_{\phi} = 6,59$ при $t_{0,05} = 2,02$. Подальше підвищення норми мінерального живлення до $N_{30}P_{30}K_{30}$ порівняно з варіантом $N_{15}P_{15}K_{15}$ призвело до додаткового математично достовірного приросту біомаси на 79,5 мг ($t_{\phi} = 7,74 > t_{0,05} = 2,02$). Аналогічна динаміка простежувалася і при вищих рівнях удобрення. Перехід від норми $N_{30}P_{30}K_{30}$

до $N_{45}P_{45}K_{45}$ сприяв збільшенню маси рослин на $68,4 \text{ мг}$ $t_{\phi} = 6,79 > t_{0,05} = 2,02$. Максимальні показники сирової біомаси зафіксовано на варіанті $N_{60}P_{60}K_{60}$, де вони становили $614,2 \pm 8,1 \text{ мг}$, що на $52,6 \text{ мг}$ вище порівняно з варіантом $N_{45}P_{45}K_{45}$ ($t_{\phi} = 5,07 > t_{0,05} = 2,02$).

Таблиця 1

Біологічний стан розвитку рослин ячменю ярого на початку фази кушіння залежно від норм мінеральних добрив (2024 р.)

Показники	Норма добрив, д. р.				
	$N_{0}P_{0}K_{0}$	$N_{15}P_{15}K_{15}$	$N_{30}P_{30}K_{30}$	$N_{45}P_{45}K_{45}$	$N_{60}P_{60}K_{60}$
Сира біомаса, мг	$358,5 \pm 4,9$	$413,7 \pm 6,8$	$493,2 \pm 7,7$	$561,6 \pm 6,5$	$614,2 \pm 8,1$
Площа листової поверхні, мм^2	$385,4 \pm 5,8$	$443,7 \pm 6,5$	$533,4 \pm 7,1$	$606,1 \pm 7,5$	$668,6 \pm 10,4$
Суха речовина, мг	$88,6 \pm 3,3$	$99,2 \pm 3,8$	$114,3 \pm 5,5$	$128,1 \pm 3,0$	$136,6 \pm 2,9$

Аналіз розвитку асиміляційного апарату рослин ячменю ярого виявив подібну закономірність: оптимізація умов живлення позитивно впливала на площу листової поверхні. При порівнянні варіантів $N_{0}P_{0}K_{0}$ та $N_{15}P_{15}K_{15}$ різниця становила $58,3 \text{ мм}^2$ на користь підживлення, що є статистично доведеним ($t_{\phi} = 6,69 > t_{0,05} = 2,02$). Збільшення норми до $N_{30}P_{30}K_{30}$ забезпечило площу листків на рівні $533,4 \pm 7,1 \text{ мм}^2$, що суттєво перевищувало попередній показник на $89,7 \text{ мм}^2$ ($t_{\phi} = 9,32$). На варіанті $N_{45}P_{45}K_{45}$ площа листової поверхні досягла $606,1 \pm 7,5 \text{ мм}^2$, продемонструвавши достовірний приріст у $72,7 \text{ мм}^2$ відносно норми $N_{30}P_{30}K_{30}$ ($t_{\phi} = 7,04$). Найбільшу площу фотосинтетичної поверхні сформували рослини на варіанті із внесенням $N_{60}P_{60}K_{60}$ – $668,6 \pm 10,4 \text{ мм}^2$. Істотність відхилення цього результату від показника на варіанті $N_{45}P_{45}K_{45}$ становила $62,5 \text{ мм}^2$ при $t_{\phi} = 4,88 > t_{0,05} = 2,02$.

Динаміка накопичення сухої речовини в рослинах ячменю ярого на початку фази кушіння також перебувала у прямій залежності від рівня мінерального живлення. Застосування добрив у нормі $N_{15}P_{15}K_{15}$ збільшило масу сухої речовини порівняно з контролем на $10,6 \text{ мг}$ ($t_{\phi} = 2,11 > t_{0,05} = 2,02$). Інтенсифікація живлення до норми $N_{30}P_{30}K_{30}$ гарантувала вагоме зростання показника до $114,3 \pm 5,5 \text{ мг}$, що на $15,1 \text{ мг}$ більше за варіант $N_{15}P_{15}K_{15}$ ($t_{\phi} = 2,26 > t_{0,05} = 2,02$). У разі збільшення норми до $N_{45}P_{45}K_{45}$ зафіксовано масу сухої речовини $128,1 \pm 3,0 \text{ мг}$, що на $13,8 \text{ мг}$ перевищувало результат попереднього варіанта ($t_{\phi} = 2,20$). Максимальне накопичення сухої речовини відзначено за внесення $N_{60}P_{60}K_{60}$, де показник досяг $136,6 \pm 2,9 \text{ мг}$. Різниця порівняно з нормою $N_{45}P_{45}K_{45}$ становила $8,5 \text{ мг}$ і була підтверджена математично за допомогою критерію Стюдента ($t_{\phi} = 2,04 > t_{0,05} = 2,02$).

Аналіз експериментальних даних 2025 року підтвердив виявлені раніше закономірності щодо позитивного впливу мінеральних добрив на основні біометричні показники ячменю ярого на початку фази кушіння (табл. 2). Дослідження сирової біомаси рослин засвідчили, що порівняно з контрольним варіантом $N_{0}P_{0}K_{0}$, де цей показник становив $305,1 \pm 5,2 \text{ мг}$, внесення мінімальної норми добрив $N_{15}P_{15}K_{15}$ забезпечило його істотне зростання на $36,3 \text{ мг}$ (до $341,4 \pm 4,3 \text{ мг}$) за фактичного значення критерію Стюдента ($t_{\phi} = 5,38$ при $t_{0,05} = 2,02$). Оптимізація живлення до норми $N_{30}P_{30}K_{30}$ порівняно з варіантом $N_{15}P_{15}K_{15}$ дозволила отримати додатковий достовірний приріст маси рослин на $70,4 \text{ мг}$ ($t_{\phi} = 9,34 > t_{0,05} = 2,02$). Подальше збільшення норми добрив до $N_{45}P_{45}K_{45}$ супроводжувалося вагомим наростанням вегетативної маси – різниця з попереднім варіантом становила $65,3 \text{ мг}$ ($t_{\phi} = 7,64 > t_{0,05} = 2,02$). Максимальну сирову біомасу рослин у 2025 році зафіксовано

на варіанті $N_{60}P_{60}K_{60}$ ($538,3 \pm 8,2$ мг), що на 61,2 мг перевищувало показники за норми $N_{45}P_{45}K_{45}$ при статистично доведеному ($t_{0,05} = 6,06$).

Закономірне збільшення асиміляційної поверхні ячменю ярого також перебувало у прямій залежності від насиченості посівів елементами живлення. Застосування норми $N_{15}P_{15}K_{15}$ збільшило площу листків порівняно з контролем на $62,4$ мм² ($t_{\phi} = 8,36 > t_{0,05} = 2,02$). На варіанті $N_{30}P_{30}K_{30}$ площа листової поверхні досягла $515,5 \pm 8,3$ мм², що забезпечило суттєву різницю в $82,8$ мм² відносно попередньої норми ($t_{\phi} = 8,69$). Внесення добрив у нормі $N_{45}P_{45}K_{45}$ гарантувало подальший розвиток листового апарату до $587,3 \pm 7,1$ мм², що на $71,8$ мм² більше за показники варіанта $N_{30}P_{30}K_{30}$ ($t_{\phi} = 6,58$). Максимальну площу фотосинтетичної поверхні сформували рослини за норми $N_{60}P_{60}K_{60}$ – $638,3 \pm 9,9$ мм², що на $51,0$ мм² достовірно вище порівняно з варіантом $N_{45}P_{45}K_{45}$ ($t_{\phi} = 4,19 > t_{0,05} = 2,02$).

Таблиця 2

Біологічний стан розвитку рослин ячменю ярого на початку фази кушіння залежно від норм мінеральних добрив (2025 р.)

Показники	Норма добрив, д. р.				
	$N_0P_0K_0$	$N_{15}P_{15}K_{15}$	$N_{30}P_{30}K_{30}$	$N_{45}P_{45}K_{45}$	$N_{60}P_{60}K_{60}$
Сира біомаса, мг	305,1±5,2	341,4±4,3	411,8±6,2	477,1±5,9	538,3±8,2
Площа листової поверхні, мм ²	370,3±5,8	432,7±4,7	515,5±8,3	587,3±7,1	638,3±9,9
Суша речовина, мг	79,1±2,7	86,9±2,6	102,0±4,4	116,4±4,4	127,5±3,1

Інтенсивність накопичення сухої речовини в тканинах ячменю ярого у фазі кушіння чітко корелювала із рівнем мінерального удобрення. Без внесення добрив маса сухої речовини становила $79,1 \pm 2,7$ мг, тоді як за норми $N_{15}P_{15}K_{15}$ вона істотно зросла на $7,8$ мг ($t_{\phi} = 2,08$). Підвищення норми до $N_{30}P_{30}K_{30}$ стимулювало подальше збільшення сухої маси до $102,0 \pm 4,4$ мг, забезпечивши математично доведену різницю в $15,1$ мг ($t_{\phi} = 2,95 > t_{0,05} = 2,02$). На варіанті $N_{45}P_{45}K_{45}$ цей показник дорівнював $116,4 \pm 4,4$ мг, що свідчить про істотний приріст у $14,4$ мг порівняно з нормою $N_{30}P_{30}K_{30}$ ($t_{\phi} = 2,32$). Найвищу масу сухої речовини рослин відзначено за максимального рівня живлення $N_{60}P_{60}K_{60}$ – $127,5 \pm 3,1$ мг. Різниця порівняно з варіантом $N_{45}P_{45}K_{45}$ становила $11,1$ мг, підтверджуючи високу ефективність інтенсивних норм добрив ($t_{\phi} = 2,06 > t_{0,05} = 2,02$).

Аналіз експериментальних даних 2026 року також підтвердив виявлені раніше закономірності щодо позитивного впливу мінеральних добрив на основні біометричні показники ячменю ярого на початку фази кушіння (табл. 3). Дослідження сирової біомаси рослин засвідчили, що порівняно з контрольним варіантом $N_0P_0K_0$, де цей показник становив $335,7 \pm 5,1$ мг, внесення мінімальної норми добрив $N_{15}P_{15}K_{15}$ забезпечило його істотне зростання на $56,3$ мг (до $392,0 \pm 7,3$ мг) за фактичного значення критерію Стюдента $t_{\phi} = 6,32$ при $t_{0,05} = 2,02$. Оптимізація живлення до норми $N_{30}P_{30}K_{30}$ порівняно з варіантом $N_{15}P_{15}K_{15}$ дала змогу отримати додатковий достовірний приріст маси рослин на $82,6$ мг ($t_{\phi} = 7,58 > t_{0,05} = 2,02$). Подальше збільшення норми добрив до $N_{45}P_{45}K_{45}$ супроводжувалося вагомим наростанням вегетативної маси – різниця з попереднім варіантом становила $71,1$ мг ($t_{\phi} = 6,40 > t_{0,05} = 2,02$). Максимальну сирову біомасу рослин у 2026 році зафіксовано на варіанті $N_{60}P_{60}K_{60}$ – $606,1 \pm 9,3$ мг, що на $60,4$ мг перевищувало показники отримані за норми $N_{45}P_{45}K_{45}$ при статистично доведеному значенні критерію Стюдента $t_{\phi} = 5,03 > t_{0,05} = 2,02$.

Таблиця 3

**Біологічний стан розвитку рослин ячменю ярого на початку фази кущіння
залежно від норм мінеральних добрив (2026 р.)**

Показники	Норма добрив, д. р.				
	$N_0 P_0 K_0$	$N_{15} P_{15} K_{15}$	$N_{30} P_{30} K_{30}$	$N_{45} P_{45} K_{45}$	$N_{60} P_{60} K_{60}$
Сира біомаса, мг	335,7±5,1	392,0±7,3	474,6±8,1	545,7±7,6	606,1±9,3
Площа листової поверхні, мм ²	394,5±7,6	451,7±8,7	528,9±10,1	615,0±10,9	668,1±9,8
Суша речовина, мг	84,4±2,2	97,4±2,4	116,4±2,5	130,4±3,6	142,2±3,7

Закономірне збільшення асиміляційної поверхні ячменю ярого також перебувало у прямій залежності від забезпеченості посівів елементами мінерального живлення. Застосування норми $N_{15}P_{15}K_{15}$ збільшило площу листків порівняно з контролем на 57,2 мм² ($t_{\phi} = 4,95 > t_{0,05} = 2,02$). На варіанті $N_{30}P_{30}K_{30}$ площа листової поверхні досягла 528,9 ± 10,1 мм², що забезпечило суттєву різницю в 77,2 мм² відносно попередньої норми ($t_{\phi} = 5,79 > t_{0,05} = 2,02$). Внесення добрив за норми $N_{45}P_{45}K_{45}$ гарантувало подальший розвиток листового апарату до 615,0 ± 10,9 мм², що на 86,1 мм² більше за показники варіанта $N_{30}P_{30}K_{30}$ ($t_{\phi} = 5,79 > t_{0,05} = 2,02$). Максимальну площу фотосинтетичної поверхні сформували рослини за норми $N_{60}P_{60}K_{60}$ – 668,1 ± 9,8 мм², що на 53,1 мм² достовірно більше порівняно з варіантом $N_{60}P_{60}K_{60}$ ($t_{\phi} = 3,62 > t_{0,05} = 2,02$).

Інтенсивність накопичення сухої речовини в тканинах ячменю ярого у фазі кущіння сильно корелювала із рівнем мінерального удобрення. Без внесення добрив маса сухої речовини становила 84,4 ± 2,2 мг, тоді як за норми $N_{15}P_{15}K_{15}$ вона істотно зросла на 13,0 мг ($t_{\phi} = 4,00 > t_{0,05} = 2,02$). Підвищення норми добрив до $N_{30}P_{30}K_{30}$ стимулювало подальше збільшення сухої маси до 116,4 ± 2,5 мг, забезпечивши математично доведену різницю в 19,0 мг ($t_{\phi} = 5,49 > t_{0,05} = 2,02$). На варіанті $N_{45}P_{45}K_{45}$ цей показник дорівнював 130,4 ± 3,6 мг, що свідчить про істотний приріст у 14,0 мг порівняно з нормою $N_{30}P_{30}K_{30}$ ($t_{\phi} = 3,20 > t_{0,05} = 2,02$). Найвищу масу сухої речовини рослин відзначено за максимального рівня живлення $N_{60}P_{60}K_{60}$ – 142,2 ± 3,7 мг. Різниця порівняно з варіантом $N_{45}P_{45}K_{45}$ становила 11,8 мг, підтверджуючи високу ефективність інтенсивних норм добрив ($t_{\phi} = 2,29 > t_{0,05} = 2,02$).

Аналіз узагальнених експериментальних даних за три роки досліджень (2024–2026 рр.) свідчить про стійку закономірність позитивного впливу мінеральних добрив на комплекс біометричних показників ячменю ярого на початку фази кущіння (табл. 4). Проведений аналіз показав сильний кореляційний зв'язок залежності між параметрами біологічного стану розвитку рослин ячменю ярого на початку фази кущіння та нормами мінеральних добрив. Встановлені коефіцієнти кореляції для показників: сирової біомаси рослин $R = 0,94$; площі листової поверхні $R = 0,99$ та вмісту сухих речовин в рослинах $R = 0,95$.

Дослідження сирової біомаси рослин засвідчили, що порівняно з контрольним варіантом $N_0P_0K_0$, де цей показник становив 333,1 мг, внесення мінімальної норми добрив $N_{15}P_{15}K_{15}$ забезпечило його істотне зростання на 49,3 мг до 382,4 мг. Оптимізація живлення до норми $N_{30}P_{30}K_{30}$ порівняно з попереднім варіантом дала змогу отримати додатковий приріст маси рослин на 77,5 мг до 459,9 мг. Подальше збільшення норми добрив до $N_{45}P_{45}K_{45}$ супроводжувалося вагомим наростанням вегетативної маси до 528,1 мг – різниця становила 68,2 мг. Максимальну сирову біомасу рослин у середньому за три роки зафіксовано на варіанті $N_{60}P_{60}K_{60}$ – 586,2 мг, що на 58,1 мг перевищувало показники за норми $N_{45}P_{45}K_{45}$.

Таблиця 4

**Агробіологічний стан розвитку ячменю ярого на початку фази кущіння
залежно від норм застосованих мінеральних добрив
(середнє за 2024–2026 рр.)**

Показники	Норма добрив, д. р.				
	$N_0P_0K_0$	$N_{15}P_{15}K_{15}$	$N_{30}P_{30}K_{30}$	$N_{45}P_{45}K_{45}$	$N_{60}P_{60}K_{60}$
Сира біомаса, мг	333,1	382,4	459,9	528,1	586,2
Площа листової поверхні, мм ²	383,4	442,7	525,9	602,8	658,3
Суха речовина, мг	84,0	94,5	110,9	125,0	135,4

Закономірне збільшення асиміляційної поверхні ячменю ярого також перебувало у прямій залежності від насиченості посівів елементами живлення. Застосування норми $N_{15}P_{15}K_{15}$ збільшило площу листків порівняно з контролем на 59,3 мм² (до 442,7 мм²). На варіанті $N_{30}P_{30}K_{30}$ площа листової поверхні досягла 525,9 мм², що забезпечило різницю в 83,2 мм² відносно попередньої норми. Внесення добрив у нормі $N_{45}P_{45}K_{45}$ гарантувало подальший розвиток листового апарату до 602,8 мм², що на 76,9 мм² більше за показники варіанта $N_{30}P_{30}K_{30}$. Максимальну площу фотосинтетичної поверхні сформули рослини за норми $N_{60}P_{60}K_{60}$ – 658,3 мм², що на 55,5 мм² більше порівняно з варіантом $N_{45}P_{45}K_{45}$.

Інтенсивність накопичення сухої речовини в тканинах ячменю ярого у фазі кущіння чітко корелювала з рівнем мінерального удобрення. Без внесення добрив маса сухої речовини становила 84,0 мг, тоді як за норми $N_{15}P_{15}K_{15}$ вона зросла на 10,5 мг (до 94,5 мг). Підвищення норми до $N_{30}P_{30}K_{30}$ стимулювало подальше збільшення сухої маси до 110,9 мг, забезпечивши різницю в 16,4 мг. На варіанті $N_{45}P_{45}K_{45}$ цей показник дорівнював 125,0 мг, що свідчить про приріст у 14,1 мг порівняно з попередньою нормою. Найвищу масу сухої речовини рослин відзначено за максимального рівня живлення $N_{60}P_{60}K_{60}$ – 135,4 мг, що забезпечило додаткове збільшення показника на 10,4 мг відносно варіанта $N_{45}P_{45}K_{45}$.

Висновки та перспективи подальших досліджень. В результаті трирічних досліджень (2024–2026 рр.) доведено залежність між рівнем мінерального живлення посівів макроелементами та основними біометричними параметрами ячменю ярого за станом рослин на початку фази кущіння. Внесення мінеральних добрив за всіх норм включених в експеримент забезпечило стабільне й математично достовірне збільшення сирової біомаси, сухої речовини рослин та площі асиміляційної поверхні листків порівняно з контрольним варіантом ($N_0P_0K_0$).

За результатом динаміки біометричних показників максимальний агрономічний ефект зафіксовано при внесенні норми мінерального добрива $N_{60}P_{60}K_{60}$. За цього варіанта живлення показники сирової біомаси досягли 586,2 мг, площа листової поверхні становила 658,3 мм², а маса сухої речовини – 135,4 мг, що перевищувало контроль на 76,0 %, 71,7 % та 61,2 % відповідно. Найбільш динамічний крок приросту вегетативної маси та асиміляційної площі рослин в роки досліджень встановлено за оптимізації живлення від норми $N_{15}P_{15}K_{15}$ до $N_{30}P_{30}K_{30}$. Це засвідчує фізіологічну чутливість ячменю до середніх норм макроелементів на ранніх етапах росту та розвитку, де подальше збільшення норм до $N_{45}P_{45}K_{45}$ та $N_{60}P_{60}K_{60}$ сприяє стабільному нарощуванню біометричного потенціалу рослин. Отже, встановлено сприятливий вплив мінерального живлення на реалізацію стартового потенціалу розвитку рослин ячменю ярого.

Перспективи подальших досліджень полягають в аналогічному аналізі стану розвитку рослин ячменю ярого по завершенню процесу кущіння.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Klymyshena R., Horash O., Myalkovsky R., Vilchynska L., Nochvina O. Evaluation of barley plants growth and development at the beginning of tillering phenophase at different sowing dates. *Scientific Horizons*. 2024. T. 27(7). P. 87–96. DOI: 10.48077/scihor7.2024.87
2. Horash O., Klymyshena R. Evaluation of growth and development of barley plants of phenotype with three formed shoots at the end of the tillering phenophase at different sowing dates. *Scientific Horizons*. 2025. T. 28(7). P. 9–21. DOI: 10.48077/scihor7.2025.09
3. Карпій В.Б., Рибалка О.І., Моргун Б.В. Фізіолого-біохімічні та генетичні особливості ячменю як продукту функціонального харчування. *Фізіологія рослин і генетика*. 2021. Т. 53, № 6. С. 463–483. DOI: 10.15407/frg2021.06.463
4. Morrell P.L., Clegg M.T. Genetic evidence for a second domestication of barley (*Hordeum vulgare*) east of the Fertile Crescent. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2007. Vol. 104, No. 9. P. 3289–3294. DOI: 10.1073/pnas.0611377104
5. Reid D.A., Wiebe G.A., Dahms R.G. [et al.]. Barley: Origin, Botany, Culture, Winterhardiness, Genetics, Utilization, Pests. U.S. Department of Agriculture. Agriculture handbook, No.338. Washington, 1968. 255 p.
6. Ramakrishna R., Sarkar D., Shetty K. Functional bioactives from barley for human health benefits. In: *Functional Foods and Biotechnology: Sources of Functional Foods and Ingredients* / ed. by K. Shetty, D. Sarkar. Boca Raton: CRC Press, 2020. P. 61–85. DOI: 10.1201/9781003003830-5
7. Dráb Š., Solgajová M., Mendelová A., Mareček J., Drábová B. The impact of non-standard barley quality on the malting process and its utilization possibilities. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*. 2026. Vol. 15, No. 5. e13952. DOI: 10.55251/jmbfs.13952
8. Solgajová M., Dráb Š., Mendelová A., Kolesárová A., Mareček J. Quality assessment of spring barley varieties intended for malting process. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*. 2022. Vol. 12, No. Special issue. e9250. DOI: 10.55251/jmbfs.9250
9. Górski R., Rosa R., Niewiadomska A., Wolna-Maruwka A., Płaza A. Innovative spring barley cultivation technology based on the use of microbial products together with living mulch in organic farming. *Agronomy*. 2023. Vol. 13, No. 7. e1914. DOI: 10.3390/agronomy13071914
10. Yue C., Fereyduni A., Nakhkhanivej P. From waste to energy: utilizing barley husk as a sustainable graphite-replacing anode active material in lithium-ion batteries. *RSC Sustainability*. 2025. Vol. 3, Issue 7. P. 2915–2926. DOI: 10.1039/D5SU00254K
11. Гораш О.С., Климишена Р.І. Залежність продуктивності колоса ячменю ярого за параметром кількості зернин від впливу абіотичних та технологічних факторів. *Таврійський науковий вісник*. 2025. Вип. 142, ч. 1. С. 42–48. DOI: 10.32782/2226-0099.2025.142.1.7
12. Климишена Р.І. Залежність кількості зерен у колосі ячменю ярого від впливу мінерального удобрення. *Таврійський науковий вісник*. 2019. Вип. 110, ч. 1. С. 88–94. DOI: 10.32851/2226-0099.2019.110-1.12
13. Єщенко В.О., Копитко П.Г., Костогриз П.В., Опришко В.П. Основи наукових досліджень в агрономії: підручник. Вінниця: ПП «ТД «Едельвейс і К»», 2014. 332 с.
14. Грицаєнко З.М., Грицаєнко А.О., Карпенко В.П. Методи біологічних та агрохімічних досліджень рослин і ґрунтів. К.: ЗАТ «НІЧЛАВА», 2003. С. 17–18.

Дата першого надходження статті до видання: 03.07.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 03.08.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 28.08.2026