

Optimization of sowing rates and mineral nutrition in winter barley cultivation under climatic risks in the Left-Bank Forest-Steppe of Ukraine

B. Mukha✉

Article info

Correspondence Author

B. Mukha

E-mail:

bohdan.mukha@pdaa.edu.uaPoltava State Agrarian
University,
Skovoroda St., 1/3,
Poltava, 36000, Ukraine

Citation: Mukha, B. (2025). Optimization of sowing rates and mineral nutrition in winter barley cultivation under climatic risks in the Left-Bank Forest-Steppe of Ukraine. *Scientific Progress & Innovations*, 28 (2), 96–102. doi: 10.31210/spi2025.28.02.15

The purpose of this review is to summarize scientific approaches and experimental findings related to the optimization of sowing rates and mineral nutrition in winter barley (*Hordeum vulgare* L.) cultivation under the agroecological conditions of the Left-Bank Forest-Steppe of Ukraine, considering current climatic challenges. The economic significance of winter barley is substantiated by its high yield potential compared to spring barley and earlier maturation (by 10–16 days), which allows for more efficient use of land for successive crops. An analysis of sowing area dynamics during 2019–2024 reveals a spatial shift in cultivation from the traditional southern regions (due to military actions) toward the northern and western parts of Ukraine, where relatively stable moisture availability is observed. Optimal sowing rates are determined to range between 3.5 and 5.5 million viable seeds per hectare, depending on the variety, sowing date, and moisture conditions. Mineral nutrition is identified as a key factor in productivity enhancement; in particular, localized nitrogen application ($N_{30-N_{90}}$) during the tillering stage significantly increases grain protein content. In different agroclimatic zones, effective fertilization strategies vary within the range of $N_{30}P_{30}K_{30}$ to $N_{129}P_{66}K_{132}$. Climatic transformations in the Left-Bank Forest-Steppe demonstrate a marked trend toward aridization: the average annual temperature has increased by 1.1 °C, annual precipitation has decreased by 5 %, and the frequency of drought conditions has risen from 47 % to 61 %. Simultaneously, the probability of optimal water availability has nearly halved. Based on the findings, several technological recommendations are proposed: adjustment of sowing rates depending on sowing dates (3.2–4.0 million seeds/ha for early sowing and 4.5–5.0 million for later sowing); staged nitrogen application; localized phosphorus-potassium fertilization; use of anti-stress microfertilizers; implementation of digital technologies; and the adoption of high-yielding, stress-tolerant varieties.

Keywords: climate change, spatial shifts, moisture availability, fertilization, variety, yield.

Оптимізація норм висіву та мінерального живлення при вирощуванні ячменю озимого за умов кліматичних ризиків в умовах Лівобережного Лісостепу України

Б. Г. Муха

Полтавський державний
аграрний університет,
м. Полтава, Україна

Метою огляду є узагальнення наукових підходів та експериментальних даних щодо оптимізації норм висіву і мінерального живлення ячменю озимого в умовах Лівобережного Лісостепу України з урахуванням сучасних кліматичних викликів. Обґрунтовано економічне значення культури, що зумовлюється її високим потенціалом урожайності відносно ячменю ярого та раннім достиганням (на 10–16 днів), що дозволяє ефективно використовувати площі під повторні посіви. На основі аналізу динаміки посівних площ у 2019–2024 роках виявлено зміщення ареалу вирощування культури з традиційних південних регіонів (через воєнні дії) на північ і захід України, де створюються відносно стабільні умови вологозабезпечення. Оптимальні норми висіву встановлено в межах 3,5–5,5 млн схожих зерен/га залежно від сорту, строку сівби та рівня зволоження. Визначено, що мінеральне живлення є провідним фактором підвищення продуктивності культури; зокрема, локальне прикореневе підживлення азотом у фазі кущення ($N_{30-N_{90}}$) сприяє істотному зростанню білковості зерна. У різних агрокліматичних умовах ефективними є схеми мінерального удобрення в діапазоні від $N_{30}P_{30}K_{30}$ до $N_{129}P_{66}K_{132}$. Кліматичні трансформації в Лівобережному Лісостепу свідчать про виражену тенденцію до аридизації: середньорічна температура зросла на 1,1 °C, кількість опадів скоротилася на 5 %, а частота посушливих періодів зросла з 47 % до 61 %. Водночас ймовірність оптимального вологозабезпечення знизилася майже вдвічі. Сформульовано рекомендації щодо вдосконалення технологій вирощування: адаптація норм висіву до строків сівби (3,2–4,0 млн зерен/га при ранніх та 4,5–5,0 млн – при пізніх); поділ азотного живлення на етапи; локальне внесення фосфорно-калійних добрив; застосування мікродобрив з антистресовими властивостями; інтеграція цифрових технологій; впровадження високопродуктивних сортів з підвищеною адаптивністю до стресових умов.

Ключові слова: зміна клімату, просторові зрушення, вологозабезпечення, удобрення, сорт, урожайність.

Бібліографічний опис для цитування: Муха Б. Г. Оптимізація норм висіву та мінерального живлення при вирощуванні ячменю озимого за умов кліматичних ризиків в умовах Лівобережного Лісостепу України. *Scientific Progress & Innovations*. 2025. № 28 (2). С. 96–102.

Ячмінь озимий (*Hordeum vulgare* L.) є однією з важливих зернових культур, яка вирізняється коротким вегетаційним періодом, раннім звільненням поля, а також універсальним використанням – як у продовольчому, так і кормовому напрямках [1]. Незважаючи на те, що його частка в структурі посівних площ серед зернових і зернобобових культур України у 2000–2022 рр. коливалася в межах 2,5–9,8 %, культура залишається перспективною завдяки високому потенціалу врожайності, пластичності та здатності адаптуватися до різних умов вирощування [2]. Економічне значення ячменю озимого зумовлене його високою продуктивністю, яка перевищує врожайність ячменю ярого на 4–8 ц/га, а в сприятливих – 25–30 ц/га [3]. Його раннє досягання – на 10–16 днів швидше за ячмінь ярий – дозволяє ефективно використовувати вільні площі під повторні культури та забезпечити раннє надходження кормового зерна [4].

Попри зростання середньої врожайності ячменю озимого в Україні протягом останніх двох десятиліть – з приблизно 2,0 т/га до 4,3 т/га – цей показник істотно поступається рівню продуктивності, досягнутому в країнах Європейського Союзу, де середня врожайність становить близько 7,0 т/га. Водночас, сучасні сорти ячменю озимого характеризуються високим потенціалом урожайності. Зокрема, в умовах країн Західної Європи стабільно отримують урожай зерна на рівні 9–10 т/га, що свідчить про значний резерв підвищення продуктивності культури за оптимального поєднання сортових та агротехнологічних чинників [5].

Урожайність ячменю озимого значною мірою залежить від комплексу біотичних і абіотичних чинників, серед яких основну роль відіграють технологія вирощування, гідротермічні умови, живлення та стійкість до стресових явищ. Культура добре реагує на застосування мінеральних добрив, зокрема азотних і фосфорно-калійних, які вносяться під попередники або безпосередньо під ячмінь у вигляді диференційованих доз. Застосування мінеральних добрив забезпечує істотне підвищення урожайності ячменю озимого – приріст зерна може досягати 50 %. Така висока чутливість культури до удобрення є важливим фактором, що зумовлює перспективність розширення її посівних площ в Україні [6]. Проте важливо враховувати, що надмірна активізація вегетативного розвитку в осінній період за високих температур і підвищених сум активних температур призводить до зниження морозостійкості через інтенсивне використання запасів цукрів.

Ячмінь озимий менш морозостійкий, ніж інші озимі зернові, що обмежує його поширення. Критичними є температури $-11...-13^{\circ}\text{C}$ при тривалих періодах похолодання. Особливу шкоду завдають глибокі зимові відлиги, які супроводжуються повторним відростанням рослин, що знижує їх здатність до відновлення після похолодання [7]. У північних регіонах він вирощується переважно в областях із м'якими зимами – зокрема, північна межа проходить через Львівську, Тернопільську, Вінницьку й Луганську області. Головні посівні масиви традиційно зосереджувалися в Степовій зоні,

однак зміни клімату та соціально-економічні умови сприяють трансформації географії його поширення [4].

Аналіз просторових зрушень у вирощуванні ячменю озимого в умовах кліматичних змін і воєнних дій

У період 2019–2021 років ячмінь озимий демонстрував стабільну позитивну динаміку розширення посівних площ і врожайності практично в усіх регіонах України (зокрема, до рекордних з 2000 року 42,7 ц/га у 2021 році). Це відображало зростаючий інтерес аграріїв до культури як джерела ранньої продукції з високим кормовим і продовольчим потенціалом. Показники площ у 2021 році свідчили про максимальне зосередження виробництва в традиційних степових регіонах – Одеській, Миколаївській, Херсонській та Дніпропетровській областях [2, 8].

Однак після початку повномасштабної війни у 2022 році структура розміщення ячменю озимого зазнала істотних змін. У степовій зоні, яка зазнала безпосереднього впливу тимчасової окупації, бойових дій і руйнування аграрної інфраструктури, спостерігалось різке скорочення посівних площ. За 2022–2024 роки площі в Одеській області зменшилися на понад 35 %, у Миколаївській – майже на 65 %, у Херсонській – практично до нуля. У Дніпропетровській області зафіксовано зменшення площ більш ніж у три рази [9].

На цьому тлі спостерігається тенденція розширення ареалу вирощування ячменю озимого на північ і захід України – у Хмельницькій, Чернівецькій, Чернігівській, Рівненській, Київській і Вінницькій областях [8, 9]. Зростання посівів у цих регіонах є свідченням адаптаційної реакції аграрного сектору на виклики безпеки, доступності ресурсів і змін клімату. Північні та західні області залишаються відносно безпечними для ведення господарства навіть в умовах війни. Окрім того, тут формуються більш стабільні умови зволоження, що стає критичним фактором в умовах посух у південних регіонах [10].

Таким чином, трансформація кліматичних умов і безпекове середовище зумовлюють перерозподіл регіонів вирощування ячменю озимого, що актуалізує потребу в адаптації агротехнологій до нових умов [11]. Хоча окремі джерела вказують на потенційне підвищення біопроductивності внаслідок потепління, практичні реалії вказують на зниження адаптаційного потенціалу рослин через зменшення запасів ґрунтової вологи, стреси від високих температур, ерозійні явища та нестабільність погодних умов у період вегетації.

Враховуючи вищезазначене, набуває актуальності дослідження, спрямовані на вдосконалення технологій вирощування ячменю озимого. Серед ключових напрямів варто відзначити оптимізацію норм висіву насіння та мінерального живлення з урахуванням сортових особливостей, кліматичних ризиків і регіональної специфіки, що дозволить підвищити стабільність та ефективність аграрного виробництва й адаптацію культури до нових викликів.

Огляд наукових підходів за темою дослідження

Аналіз сучасних вітчизняних наукових джерел засвідчує високу наукову зацікавленість до вивчення впливу норм висіву та мінерального живлення на формування продуктивності озимого ячменю. У дослідженнях відзначається, що оптимальні норми висіву ячменю озимого знаходяться у межах 3,5–5,5 млн/га, залежно від сорту та погодних умов [12, 13]. Зменшення норми висіву сприяє кращому куцjenню рослин та ефективнішому використанню вологи, що особливо важливо в умовах посухи.

Застосування мінеральних добрив є одним із найважливіших чинників інтенсифікації технології вирощування ячменю озимого, тому значна увага науковців приділена вивченню ефективних доз добрив для різних типів ґрунтів.

За результатами трирічного дослід, проведеного в умовах північної частини Степу на чорноземі звичайному малогумусному середньосуглинковому на лесі, встановлено високу ефективність мінерального удобрення [14]. У рамках дослідження перед сівбою в ґрунт вносили повне мінеральне добриво в нормі $N_{60}P_{60}K_{90}$. Азотне підживлення озимого ячменю здійснювали із використанням аміачної селітри (вміст N – 34,4 %) у два етапи: ранньою весною по мерзлоталому ґрунту (доза N_{30}) та локально наприкінці фази куцjenня в дозах N_{30} , N_{60} і N_{90} .

Результати дослідження засвідчили, що поверхнєве внесення азоту по МТГ у дозі N_{30} забезпечувало лише незначне підвищення вмісту білка в зерні. Натомість локальне прикоренєве підживлення наприкінці фази куцjenня в дозі N_{30} сприяло підвищенню білковості зерна на 0,5 % порівняно з фоном. Подальше збільшення норми азоту до 60 та 90 кг/га забезпечувало зростання вмісту білка до 9,4–9,8 %, що відповідало приросту на 0,9–1,3 % відносно контрольного варіанта.

Також було встановлено, що внесення азотних добрив певною мірою впливало на натуру зерна. Найвищий показник маси 1 літра зерна (660 г/л) спостерігався за локального підживлення в дозі N_{60} . Водночас як збільшення, так і зменшення дози азоту на 30 кг/га супроводжувалося зниженням натури – найнижчий показник (645 г/л) зафіксовано у варіанті з лише фоновим внесенням добрив.

Щодо вмісту крохмалю, було відмічено тенденцію до його зниження під впливом підвищених норм азотного живлення, що, ймовірно, пов'язано зі зсувом метаболізму у напрямі білкового синтезу [14].

Результати досліджень, проведених у 2004–2008 роки. В умовах західного Лісостепу, засвідчили доцільність застосування повного мінерального удобрення ($N_{60}P_{60}K_{60}$) на темно-сірих опідзолених ґрунтах після пізніх просапних культур, під які не вносили органічних добрив. Найбільш ефективною виявилась схема, що передбачала внесення повної дози добрив восени під передпосівну культивуацію або ж розподіл азотної складової – із частковим внесенням (N_{40}) у формі ранньовесняного підживлення [15].

В умовах богарного землеробства південного Степу України найвища врожайність зерна культури

(35,6–40,5 ц/га) досягається при розміщенні її після чорного пару. Порівняно високих результатів (близько 35 ц/га) можна досягти також після кукурудзи на силос за умови внесення мінерального добрива $N_{30}P_{60}$ під основний обробіток ґрунту, проведення позакореневого підживлення азотом (N_{30}) у фазі відновлення весняної вегетації та застосування інтегрованої системи захисту рослин [16].

У дослідженнях [17], проведених на чорноземі слабогумусованому легкосуглинковому, застосовувалась адаптована система удобрення ячменю озимого в умовах Житомирської області. Під передпосівну культивуацію вносили 100 кг/га діаміфоски ($N_{10}P_{26}K_{26}$). У фазі осіннього куцjenня використовували 100 кг/га КАС-32, тоді як перше весняне підживлення здійснювали по мерзлоталому ґрунту шляхом внесення 200 кг/га аміачної селітри. Друге підживлення проводили у фазі виходу в трубку – знову із застосуванням КАС-32 у нормі 100 кг/га.

Норма висіву насіння ячменю озимого сорту Хайтлайт протягом років дослідження при двох строках сівби становила в середньому 4,64 млн шт./га. Встановлено високу здатність культури до перезимівлі. Зокрема, за умов раннього строку сівби (11–13 вересня), відсоток загиблених рослин у фазі куцjenня становив лише 2–4 %, тоді як при пізньому строку (29–30 вересня) – близько 4 %. За результатами дослід, дослідному сорту ячменю озимого властивий високий рівень відгуку на мінеральне живлення: врожайність за внесення добрив перевищувала контрольний варіант (без добрив) у 2,3 рази [17].

За результатами досліджень [18, 19], внесення мінеральних добрив у нормах $N_{30}P_{30}K_{30}$ – $N_{120}P_{120}K_{120}$ забезпечувало збереження кількісних елементів структури врожаю на рівні 24,8–22,8 зерен у колосі та маси 1000 зерен у межах 53,4–51,1 мг. Зі збільшенням кількості продуктивних стебел на 100 шт./м², що досягалося шляхом підвищення норми висіву, спостерігалось зменшення маси зернівки на 2,6 мг та зменшення кількості зерен у колосі на 2,5 шт., тоді як під впливом мінерального удобрення ці показники знижувались незначно – відповідно на 0,8 мг і 0,6 шт.

За результатами досліджень, проведених на темно-сірих опідзолених ґрунтах, для досягнення урожайності ячменю озимого на рівні 7–8,0 т/га доцільно вносити добрива в нормі $N_{129}P_{66}K_{132}$. При цьому фосфор і калій вносять під основний обробіток ґрунту, тоді як азот рекомендується застосовувати дробно – зокрема у фазі весняного куцjenня [20]. Такий підхід дозволяє забезпечити рослини необхідними елементами живлення в критичні фази розвитку.

У дослідженнях, проведених М. Babulicová та В. Dyulgerova на базі дослідної станції Боровце (Болгарія) [21], встановлено, що кліматичні умови є одним із ключових чинників, що визначають врожайність ячменю озимого та елементи структури його врожаю. Залежно від погодних умов різних років, коливання врожайності сягали 2,19 т/га, що становило 4,9 % від середнього рівня. Важливим агротехнічним фактором також виявилось удобрення: у 2010–2015 роки внесення мінеральних добрив у поєднанні з органічними забезпечувало приріст

урожайності на 0,41 т/га (7,7 %), що перевищувало ефективність внесення лише мінеральних добрив.

Згідно з результатами N. Pfab і співавторів [22], екстремальні погодні явища, зокрема тривалі посухи або надмірна кількість опадів, частота яких помітно зростає, мають негативний вплив на активність ґрунтової мікробіоти. Це призводить до значних втрат азоту, зумовлених його денітрифікацією та вилугуванням нітратів.

G. Berhanu, T. Kismányoky та K. Sárdi у своїх експериментах [23] досліджували вплив п'яти рівнів азотного живлення. Встановлено, що середня висота рослин, урожайність зерна та соломи достовірно зростали під впливом внесення азоту та органічних добрив ($p < 0,05$), тоді як взаємодія факторів була статистично незначущою. Максимальний приріст урожайності (103 % порівняно з контролем) зафіксовано при внесенні 120 кг/га азоту.

У польових дослідях K. Noworolnik, D. Leszczyńska, T. Dworakowski та A. Sułek (2005–2007 роки, Польща) [24] оцінювали реакцію сортів ячменю озимого на чотири рівні азотного підживлення: 0, 35, 70 та 105 кг/га д.р. Встановлено, що найвищу врожайність забезпечували норми 70 та 105 кг/га, причому між ними суттєвої різниці не виявлено. Застосування азоту позитивно впливало на кількість продуктивних колосків на одиницю площі, однак не мало впливу на масу 1000 зерен.

Таким чином, подальші наукові узагальнення мають бути зосереджені на адаптації вже наявних результатів досліджень до нових агрокліматичних умов, особливо для регіонів, де ячміль озимий не був традиційною культурою. Також перспективним є активізація досліджень щодо поєднаного впливу технологічних факторів і погодних ризиків на стабільність урожаю культури в умовах зростаючих кліматичних викликів.

Кліматичні зміни як фактор адаптації технологій вирощування

Результати багаторічних метеорологічних спостережень засвідчують поступову трансформацію кліматичних умов у Лівобережному Лісостепу України в напрямі аридизації. Цей процес виявляється у стабільному зростанні середньорічної температури повітря на фоні зменшення сумарної кількості атмосферних опадів. Так, у період 1991–2020 років середньорічна температура в регіоні зросла на 1,1 °C порівняно з базовим періодом 1961–1990 роки, тоді як річна кількість опадів скоротилася приблизно на 5 %. На цьому фоні відзначається зростання частоти настання середньо- та сильнопосушливих умов протягом вегетаційного періоду – з 47 % у 1961–1990 роки до 61 % у 1991–2020 роки. Одночасно істотно зменшилась ймовірність оптимального зволоження агроценозів, яка, за деякими оцінками, знизилася майже вдвічі [25].

Такі зміни призводять до поступового зменшення агрокліматичного потенціалу регіону. Посилення повторюваності екстремальних погодних явищ, зокрема високих температур і нестачі вологи, зумовлює зсув меж агрокліматичних зон у

меридіональному напрямку. Лівобережний Лісостеп за кліматичними характеристиками дедалі більше набуває рис, притаманних Степовій зоні. Реструктуризація гідротермічного режиму спричиняє перебудову структури агроландшафтів, що вимагає корекції систем землеробства. Подовження тривалості вегетаційного періоду створює передумови для вирощування теплолюбних культур і сортів, проте водночас підвищує ризики поширення шкідників і хвороб [26, 27].

Спостереження, проведені в межах Полтавської області, підтверджують високу температурну нестабільність. Зокрема, середньорічно реєструється понад 15 днів із різкими похолоданнями, коли температура знижується більш ніж на 4 °C відносно середньодобової. Із них 5–6 днів супроводжуються значними пониженнями температури, а майже 1 день на рік – надзвичайно сильними аномаліями. Особливе занепокоєння викликає сезонна концентрація холодних стресів у весняний період, що збігається з критичними фазами онтогенезу – проростанням, бутонізацією, цвітінням. У середньому навесні фіксується 3,3 дні з різким похолоданням, 1,3 дні з сильним, а також близько 0,06 днів з надзвичайно сильним холодним стресом [28].

Нестабільність температурного режиму навесні чинить комплексний негативний вплив на фізіологічні процеси в рослинах. Вона порушує проходження фенологічних фаз, знижує активність росту та фотосинтетичну продуктивність. Похолодання в період цвітіння особливо небезпечні, оскільки призводять до порушення запилення, зниження зав'язуваності та формування неповноцінного насіння [29].

Сучасні агрокліматичні умови також характеризуються послідовністю мультистресових факторів – весняні похолодання часто змінюються періодами літньої гіпертермії та дефіциту вологи. Така послідовність чинників створює синергійний кумулятивний ефект, який має значно серйозніші наслідки для врожайності, ніж дія окремих стресів. Це особливо критично для інтенсивних сортів із високим потенціалом продуктивності, які є більш чутливими до погодних коливань [30].

Пропозиції щодо оптимізації норм висіву та мінерального живлення ячменю озимого в умовах Лівобережного Лісостепу

В умовах наростаючої аридизації клімату в Лівобережному Лісостепу та підвищення нестабільності погодних умов, традиційні технологічні підходи до вирощування ячменю озимого потребують адаптації. Ключовими напрямками технологічного удосконалення є регіоналізація норм висіву та системи живлення з урахуванням зменшення ґрунтової вологи, температурної нестабільності та ризику весняних і літніх мультистресів.

1. Оптимізація норм висіву передбачає:

– зменшення загущення посівів до 3,2–4,0 млн схожих зерен/га за умов ранніх строків сівби й очікуваного теплого осіннього періоду. Це дозволить уникнути перерозвитку рослин восени, що знижує їх морозостійкість через виснаження вуглеводних запасів [31];

– помірне підвищення норми висіву до 4,5–5,0 млн зерен/га у разі сівби в пізні строки або при прогнозі знижених температур восени. Це компенсуватиме ризики зрідження посівів через уповільнений розвиток і ранньовесняні стреси;

– густота стояння має бути адаптована до конкретного сорту, з урахуванням його інтенсивності кушіння та толерантності до стресових факторів. Диференційований підхід до норм висіву дозволяє забезпечити ефективне формування продуктивного стеблостою й оптимальну густоту стояння рослин.

2. Адаптація мінерального живлення включає [32]:

– розділення азотного живлення на два етапи: внесення 30–40 % дози під передпосівну культивування, решту – у фазі весняного кушіння або виходу в трубку. Це сприятиме рівномірному використанню азоту, зниженню ризику нітратного навантаження в умовах весняної посухи та покращенню білкового складу зерна;

– фосфорно-калійні добрива (P_{40-60} , K_{40-60}) доцільно вносити під основний обробіток або локально в рядки – для стимуляції розвитку кореневої системи та підвищення посухостійкості, тоді як азот рекомендується вносити дробно, зокрема одну з доз вносити у фазі весняного кушіння;

– використання мікродобрив з антистресовим ефектом (бор, цинк, молібден) під час передпосівної обробки насіння або у фазі кушіння/виходу в трубку дозволить активізувати ферментативну активність та імунний захист рослин;

– використання інгібіторів нітрифікації або пролонгованих форм азоту може зменшити втрати елементів живлення у випадку надмірної вологості або навпаки – у разі нестачі води.

3. Інтеграція технологій управління ризиками [33]:

– у системі прийняття рішень варто враховувати кліматичні прогнози (на основі аналізу багаторічних даних ГТК, температур, опадів), що дозволить оперативно коригувати строки сівби, норму висіву та режим живлення;

– використання цифрових технологій (супутниковий моніторинг, метеостанції, DSS-системи) сприятиме більш точному визначенню потреби в елементах живлення та густоті посівів у різних ґрунтово-ландшафтних ділянках.

Особливої уваги заслуговує використання сучасних сортів ячменю озимого, що характеризуються підвищеною морозо- та зимостійкістю, а також жаро- й посухостійкістю. Вони також відзначаються стійкістю до вилягання і комплексу поширених хвороб [34]. Запровадження нових перспективних сортів ячменю озимого сприятиме стабілізації виробництва зерна, підвищенню врожайності, адаптивності рослин до несприятливих абіотичних чинників, стійкості до основних шкідників, а також покращенню якісних показників урожаю [35]. Водночас ці сорти мають певні біологічні та агротехнічні особливості, технологічні аспекти вирощування яких залишаються недостатньо вивченими в умовах конкретних агрокліматичних зон, зокрема за зростаючих кліматичних ризиків [36].

У зв'язку з підвищенням температури та зменшенням кількості опадів, доцільно також

впроваджувати технології, що сприяють збереженню вологи в ґрунті. Зокрема, застосування безполицевого обробітку ґрунту сприяє підвищенню вмісту обмінного калію в шарі ґрунту 0–20 см, що позитивно впливає на водозабезпечення рослин [37].

Застосування біопрепаратів та регуляторів росту рослин у системі живлення ячменю озимого сприяє зниженню впливу стресових факторів, зокрема екстремальних температур і посухи, завдяки змінам у жирнокислотному складі та властивостях клітинних мембран. Під їх дією в рослинах відбуваються глибокі біохімічні перебудови, які впливають на основні ланки метаболізму, що забезпечує підвищення адаптивної стійкості та стабільності функціонування рослинного організму [38, 39].

Ефективним також є використання морфорегуляторів – хлормекватхлориду (1,5 л/га) у фазі виходу в трубку (ББСН 31) та медакс топ (1 л/га) у фазі прапорцевого листка (ББСН 37–39), що сприяє приросту врожайності на 0,63–1,05 т/га [40].

Застосування зазначених рекомендацій сприятиме підвищенню врожайності ячменю озимого й адаптації технологій його вирощування до змін клімату в Лівобережному Лісостепу.

Висновки

Метою огляду є узагальнення наукових підходів і експериментальних результатів щодо оптимізації норм висіву та мінерального живлення ячменю озимого в умовах Лівобережного Лісостепу України з урахуванням сучасних кліматичних ризиків, а також визначення перспектив удосконалення технологій вирощування культури для підвищення її адаптивного потенціалу та стабільності продуктивності. Зазначено, що завдяки високій урожайності та коротшим періодом вегетації площі після ячменю озимого можна ефективно використовувати під повторні культури. Просторовий аналіз динаміки посівів за останні п'ять років виявив зміщення ареалу вирощування ячменю озимого з традиційних південних регіонів України, що зазнали більшого впливу воєнних дій, на північні й західні області з відносно стабільнішими умовами вологозабезпечення. Це свідчить про необхідність переорієнтації технологій вирощування до нових кліматичних реалій.

Встановлено оптимальні норми висіву ячменю озимого в межах 3,5–5,5 млн схожих зерен на 1 га, що варіюються залежно від сорту, строку сівби та рівня вологозабезпечення. Розглянуто особливості мінерального живлення залежно від агрокліматичних умов (від $N_{30}P_{30}K_{30}$ до $N_{120}P_{66}K_{132}$) та підтверджено вплив на врожайність і якість зерна ячменю озимого.

Враховуючи досліджені кліматичні трансформації в умовах Лівобережного Лісостепу наведено рекомендації щодо оптимізації норм висіву, адаптації мінерального живлення й інтеграції технологій управління ризиками. Це дозволить адаптувати технології вирощування культури до нових кліматичних умов і забезпечить стабільне виробництво зерна в умовах зростаючих агрокліматичних ризиків.

Конфлікт інтересів

Автор стверджує про відсутність конфлікту інтересів щодо викладу та результатів досліджень.

References

1. Yarchuk, I. I., Bozhko, V. Yu., & Voyt, V. A. (2012). Winter barley resistance to cold and productivity. *Scientific Progress & Innovations*, 3, 31–34. <https://doi.org/10.31210/visnyk2012.03.06>
2. *Silske hospodarstvo Ukrainy za 2022 : statystychnyi zibnyk* (2023). Kyiv: Derzhavna sluzhba statystyky Ukrainy [in Ukrainian]
3. Vozhehova, R. A., Lavrynenko, Yu. O., & Zaiets, S. O. (2013). *Tekhnologii vyroshchuvannya zernovykh, tekhnichnykh, kormovykh kultur i kartopli na zroshuvanykh zemliakh pivdnia Ukrainy: Naukovo-praktychni rekomendatsii*. Kherson: Hrin D. S. [in Ukrainian]
4. Polevoy, A., Bozhko, L., Barsukova, E., & Kolosovska, V. (2022). Productivity of winter barley in the steppe zone of Ukraine in the conditions of climate warming. *Ecological Sciences*, 42 (3), 141–146. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.3-42.23>
5. Karazhbay, G. (2019). Stan ta perspektyvy yachmeniu ozymoho na nasinnievomu rynku Ukrainy. *Infoindustria*. Retrieved from: <https://infoindustria.com.ua/stan-ta-perspektivi-yachmeniyu-ozimogo-na-nasinniyevomu-rinku-ukrayini/> [in Ukrainian]
6. Klymyshyna, R. I. (2012). Produktivnist yachmeniu ozymoho zalezno vid udobrennia ta norm vysivu nasinnia. *Visnyk Ahrarnoi Nauky*, 10, 76–79. [in Ukrainian]
7. Zavalytich, N. O. (2020). Osoblyvosti perezymivli roslyn yachmeniu ozymoho zalezno vid strokiv sivyby. *Ahronom*. Retrieved from: <https://www.agronom.com.ua/osoblyvosti-perezymivli-roslyn-yachmeniyu-ozymoho-zalezno-vid-strokiv-sivyby/> [in Ukrainian]
8. Posivni ploshchi yachmeniu ozymoho pid urozhai 2019–2022 rokiv po rehionakh. *Derzhavna sluzhba statystyky Ukrainy*. Retrieved from: <https://www.ukrstat.gov.ua/> [in Ukrainian]
9. Za dva roky posivna ploshcha ozymykh kultur skorotylasia na 32 %. (2024). *Skilky-Skilky*. Retrieved from: <https://skilky-skilky.info/za-dva-roky-posivna-ploshcha-ozymykh-kultur-skorotylasia-na-32/> [in Ukrainian]
10. Linchevskiy, A., & Legkun, I. (2020). A new attitude to barley culture and selection in the conditions of climate change. *Visnyk Ahrarnoi Nauky*, 98 (9), 34–42. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202009-05>
11. Gamajunova, V. V., & Kuvshynova, A. O. (2022). Osoblyvosti vodospozhyvannia yachmeniu ozymoho zalezno vid sortu y opytizatsii zhyvlennia v umovakh pivdennoho Stepu Ukrainy. *Ahrarni Innovatsii*, 4, 10–17. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2020.4.2> [in Ukrainian]
12. Musatov, A. G., & Samoylenko, O. A. (2010). Vplyv poperednykh ta norm vysivu na produktyvnist yachmeniu ozymoho v pivdennomu Stepu Ukrainy. *Byuleten Institutu Zernovogo Gospodarstva*, 39, 170–172. [in Ukrainian]
13. Cherenkov, A. V., Bondarenko, A. S., & Benda, R. V. (2011). Zimostyikist roslyn yachmeniu zalezno vid strokiv sivybi v umovakh pivnichnoyi chastini Stepu. *Ahronom*, 3, 82–84. [in Ukrainian]
14. Cherenkov, A. V., Benda, R. V., & Priadko, Yu. M. (2012). Vplyv strokiv sivybi ta mineralnogo zhyvlennia na formuvannia pokaznykiv yakosti zerna yachmeniu ozymoho. *Biuleten Institutu silskoho Hospodarstva Stepovoi Zony NAAN Ukrainy*, 2, 72–75. [in Ukrainian]
15. Tuchapskiy, O. R. (2001). Udoskonalennia tekhnologii vyroshchuvannia ozymoho yachmeniu – zaporka oderzhannia vysokykh i stabilnykh vrozhaiv zerna. *Silskyi hospodar*, 3/4, 21–23. [in Ukrainian]
16. Homyak, P. V., Andriychenko, L. V., & Zalevska, M. P. (2012). Formuvannia urozhaivnosti zerna yachmeniu ozymoho pry yoho vyroshchuvanni u pivdennomu stepu Ukrainy. *Zroshuvane Zemlerobstvo*, 58, 62–64. [in Ukrainian]
17. Moisiienko, V., & Podolsky, O. (2019). Productivity of Hillebrand winter barley, depending on the elements of the technology of growing. *Scientific Horizons*, 83 (10), 13–19. <https://doi.org/10.33249/2663-2144-2019-83-10-13-19>
18. Klimishina, R. I. (2012). Produktivnist yachmeniu ozimogo zalezno vid udobrennia ta norm vysivu nasinnia. *Visnyk Ahrarnoi Nauky*, 10, 76–79. [in Ukrainian]
19. Gorash, O. S., & Klimishina, R. I. (2015). Realizatsiya potentsialu produktivnosti elementiv struktury vrozhaivnosti yachmeniu ozimogo. *Visnyk Ahrarnoi Nauky*, 7, 27–30. [in Ukrainian]
20. Veremeenko, S. I., Tkachuk, S. O., & Trusheva, S. S. (2017). Produktivnist novykh sortiv yachmeniu ozymoho za mineralno udobrennia na temnosirykh opidzolenykh gruntakh. *Visnyk Zhytomyrskoho Natsionalnoho Ahroekologichnoho Universytetu*, 2 (1), 12–19. [in Ukrainian]
21. Babulicová, M., & Dylgerova, B. (2018). Winter barley production in relation to crop rotations, fertilisation and weather conditions. *Agriculture*, 64 (1), 35–44.
22. Pfah, H., Palmer, I., Buegger, F., Fiedler, S., Müller, T., & Ruser, R. (2012). Influence of a nitrification inhibitor and of placed N-fertilization on N₂O fluxes from a vegetable cropped loamy soil. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 150, 91–101. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2012.01.001>
23. Berhanu, G., Kismányoky, T., & Sárdi, K. (2013). Effect of nitrogen fertilization and residue management on the productivity of winter barley (*Hordeum vulgare* L.). *Acta Agronomica Hungarica*, 61 (2), 101–111. <https://doi.org/10.1556/AAgr.61.2013.2.2>
24. Noworolnik, K., Leszczyńska, D., Dworakowski, T., & Sulek, A. (2009). Wpływ odmiany i nawożenia azotem na plonowanie jęczmienia ozimego. *Fragmenta Agronomica*, 26 (2), 89–95.
25. Tarariko, Yu. O., Saidak, R. V., Olepir, R. V., Soroka, Yu. V., & Vitvitskiy, S. V. (2021). Potentsial bioproduktyvnosti chornozemu typovoho v Livoberezhnomu Lisostepu Ukrainy za spriatlyvykh umov zvolozhennia. *Land Reclamation and Water Management*, 2, 87–100. <https://doi.org/10.31073/mivg202102-304>
26. Klimat zminiuiie pravyla hry dla roslyn. (2025). *Vegetable*. Retrieved from: <https://vegetable.com.ua/vpliv-klimatichnix-zmin-na-shkidnikiv-i-xvorobi-roslyn/> [in Ukrainian]
27. Tryhub, O. V., Kutsenko, O. M., Liashenko, V. V., & Chaika, T. O. (2022). Vplyv pryrodno-klimatichnykh umov na urozhaivnist i adaptivnist hrechky. In T. O. Chaika (Red.), *Ekoloohoorientovani pidkroky vidnovlennia tekhnolohii zabrudnynykh terytorii i stvorennia stalnykh ekosystem : kolektivna monohrafiia*. (s. 159–165). Poltava: Astraia [in Ukrainian]
28. Balabukh, V. O., Malyska, L. V., Dovhal, H. P., Yahodynets, S. M., & Lavrynenko, O. M. (2024). Changes in the frequency of sharp cold snaps in spring during the XXI century in Ukraine and their impact on agricultural production. *Agricultural Science and Practice*, 11 (3), 3–22. <https://doi.org/10.15407/agrisp11.03.003>
29. Pysarenko, V. M., Pysarenko, P. V., Pysarenko, V. V., Gorb, O. O., & Chaika, T. O. (2019). Droughts in the context of climate changes in Ukraine. *Scientific Progress & Innovations*, 1, 134–146. <https://doi.org/10.31210/visnyk2019.01.18>
30. Dmytrenko, V. P. (2010). *Pohoda, klimat i urozhai polovykh kultur : monohrafiia*. Kyiv: Nika-Tsentr [in Ukrainian]
31. Yarchuk, I. I., Bozhko, V. Yu., & Moroz, O. O. (2015). Winter barley cold-resistance and productivity depending on sowing terms and rates. *Scientific Progress & Innovations*, 3, 54–57. <https://doi.org/10.31210/visnyk2015.03.07>
32. Kramarov, S. M., & Krasniakov, S. V. (2014). Pidvyshchennia adaptatsii ozymykh silskohospodarskykh kultur do dii nyzkykh temperatur. *PP "VKF "Imporhservis"*. Retrieved from: <https://importorhservis.uaprom.net.ua/a/178544-pidvischennya-adaptatsiyi-ozimih.html> [in Ukrainian]
33. Chaika, T. O. (2025). Intehrovane zastosuvannia tsyfrovyykh tekhnologii dla staloho rozvytku orhanichnoho zemlerobstva v Ukraini: suchasnyi stan, mozhlyvosti ta bariery. *Stiikist osvity i nauky v umovakh transformatsii : materialy III Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii*. Kyiv: MNTU im. akademika Yu. Buhaia [in Ukrainian]
34. Linchevskiy, A. A. (2000). Selektiia yachmeniu v Ukraini. *Visnyk Ahrarnoi Nauky*, 12, 39–40. [in Ukrainian]
35. Tsapik, T. F., Usova, N. M., & Dudaiev, H. F. (2017). Otsinka produktyvnosti suchasnykh sortiv yachmeniu ozymoho v umovakh Pivdennoho Stepu Ukrainy. *Svitovi roslinni resursy: stan ta perspektyvy rozvytku : materialy III Mizhnar. naukovo-praktychnoi konferentsii*. Vinnytsia: Nilan-LTD [in Ukrainian]
36. Zaiets, S. O., Balian, I. V., Onufan, L. I., & Yuziuk, S. M. (2023). Urozhaivnist riznykh sortiv yachmeniu ozymoho v umovakh pivdennoho Stepu. *Ahrarni Innovatsii*, 19, 51–56. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2023.19.8> [in Ukrainian]
37. Nahimyi, V. V. (2020). Vplyv strokiv sivybi ta mikrodobryv na produktyvnist sortiv yachmeniu ozymoho v umovakh pivdnia ukrainy. *Candidate's thesis*. Khersonskyi derzhavnyi ahrarnyi universytet. Kherson [in Ukrainian]

38. Huang, H., Ullah, F., Zhou, D. X., Yi, M., & Zhao, Y. (2019). Mechanisms of ROS regulation of plant development and stress responses. *Frontiers in Plant Science*, 10 <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00800>
39. Shulaev, V., Cortes, D., Miller, G., & Miller, R. (2008). Metabolomics for plant stress response. *Physiologia Plantarum*, 132 (2), 199–208. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2007.01025.x>
40. Lihochvor, V. V. & Matkovska, M. V. (2017). Urozhaynist sortiv ozimogo yachmenyu zalezno vid norm dobriv, morforegulyatoriv ta fungitsidiv v umovah zahidnogo Lisostepu. *Peredhirne ta Hirske Zemlerobstvo i Tvarynystvo*, 62, 91–101. [in Ukrainian]

ORCID

B. Mukha 

<https://orcid.org/0009-0003-5683-9315>



2025 Mukha B. This is an open-access article distributed under the Creative Commons Attribution License <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.