МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
БІЛОЦЕРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
АГРОБІОТЕХНОЛОГІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
Спеціальність Н1 Агрономія

Допускається до захисту
завідувач кафедри землеробства,
агрохімії та ґрунтознавства
доцент_____ Єзерковська Л.В.
«__» _____ 2026 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ УРОЖАЙНОСТІ ЗЕРНА ЯЧМЕНЮ ЯРОГО ЗАЛЕЖНО ВІД НОРМ ВИСІВУ ТА ПОЗАКОРЕНЕВИХ ПІДЖИВЛЕНЬ В УМОВАХ НВЦ БІЛОЦЕРКІВСЬКОГО НАУ

Рівень вищої освіти: другий (магістерський)
Кваліфікація: «Магістр з агрономії»
Форма навчання: денна

Виконав: Заєць Максим Олександрович _____
прізвище, ім'я, по батькові *підпис*

Керівник: професор Карпук Л.М. _____
вчене звання, прізвище, ініціали *підпис*

Біла Церква – 2026

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
БІЛОЦЕРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Агробіотехнологічний факультет
Спеціальність Н1 Агрономія

Затверджую
Гарант ОП «Агрономія»
професор_____Грабовський М.Б.
«10» вересня 2025 р.

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу здобувачу
Зайцю Максиму Олександровичу

Тема: «Особливості формування урожайності зерна ячменю ярого залежно від норм висіву та позакореневих підживлень в умовах НВЦ Білоцерківського НАУ»
Затверджено наказом ректора №496/С від 04.11.2025 р.
Термін здачі студентом готової кваліфікаційної роботи до 17.11.2026 р.
Перелік питань, що розробляються в роботі. Вихідні дані: огляд наукової літератури щодо норм висіву та позакореневих підживлень ячменю ярого; ґрунтово-кліматичні умови НВЦ БНАУ; методика проведення досліджень; аналіз впливу норм висіву та підживлень на ріст, структуру врожаю та урожайність ячменю ярого; економічна оцінка результатів досліду.

Календарний план виконання роботи

Етап виконання	**Дата виконання етапу**	**Відмітка про виконання**
Огляд літератури	до 14.09.2026	виконано
Методична частина	до 21.09.2026	виконано
Дослідницька частина	до 25.10.2026	виконано
Оформлення роботи	до 28.10.2026	виконано
Перевірка на плагіат	до 01.11.2026	виконано
Подання на рецензування	до 09.11.2026	виконано
Попередній розгляд на кафедрі	05.11.2026	виконано
Розміщення в репозитарії БНАУ з накладанням КЕП	до 16.11.2026	виконано

Керівник кваліфікаційної роботи _____ професор Карпук Л.М.
підпис *вчене звання, прізвище, ініціали*

Здобувач _____ Заєць М.О.
підпис *прізвище, ініціали*

Дата отримання завдання «10» вересня 2025 р.

ДЕКЛАРАЦІЯ
про дотримання академічної доброчесності під час виконання кваліфікаційної роботи

Я, Заєць Максим Олександрович, здобувач другого (магістерського) рівня вищої освіти за освітньою програмою Н1 Агрономія, підтверджую, що кваліфікаційну роботу з теми: «Особливості формування урожайності зерна ячменю ярого залежно від норм висіву та позакореневих підживлень в умовах НВЦ Білоцерківського НАУ» виконано мною з дотриманням принципів і правил академічної доброчесності.

Підтверджую, що:

– роботу виконано особисто на основі власних розробок і суджень;

– у роботі належним чином зазначено авторство та джерела використаних текстів, ідей, даних, зображень та інших матеріалів;

– наведені результати дослідження, дані та висновки є достовірними;

– робота не містить свідомо сфабрикованої чи сфальсифікованої інформації.

У процесі виконання роботи було використано інструменти штучного інтелекту, зокрема для оформлення та редагування тексту (ChatGPT), для перекладу тексту (Google Translate), для створення або редагування зображень (-), для написання чи оптимізації коду (-). Відомості про це наведено в роботі згідно з вимогами законодавства та встановленими правилами академічної доброчесності.

Я усвідомлюю відповідальність за зміст кваліфікаційної роботи та дотримання вимог академічної доброчесності під час її підготовки.

Дата: 13.11.2026

РЕФЕРАТ

Заєць М. О. Особливості формування урожайності зерна ячменю ярого залежно від норм висіву та позакореневих підживлень в умовах НВЦ Білоцерківського НАУ: кваліфікаційна робота. Біла Церква: Білоцерківський НАУ, 2026.

У роботі на основі даних за 2025–2026 рр. проаналізовано продуктивність ячменю ярого сорту МІП Мирний за норм висіву 4,0; 4,5; 5,0 і 5,5 млн схожих насінин/га та чотирьох варіантів позакореневого живлення: без підживлення; Квантум СІЛВЕР у фазі ВВСН 31–32; Квантум К36 у фазі ВВСН 83–87; послідовне застосування обох препаратів. Оцінено польову схожість, виживаність, біометричні параметри, структуру врожаю, урожайність і розрахункову економічну ефективність.

Польова схожість становила 90,1–91,2 %, а виживаність рослин зменшувалася від 72,4 % за 4,0 млн/га до 68,7 % за 5,5 млн/га. Середня за роками урожайність зростала від 2,44 до 2,81 т/га. Послідовне позакореневе живлення забезпечувало 2,73 т/га проти 2,60 т/га на контролі.

Найвищу урожайність – 2,90 т/га – сформовано за норми 5,5 млн/га та послідовного застосування препаратів. Поєднання 5,0 млн/га з тією самою системою забезпечило 2,85 т/га і найбільший розрахунковий прибуток – 6800 грн/га; тому цей варіант визначено економічно доцільнішим.

Кваліфікаційна робота магістра містить 66 сторінок, 20 таблиць, список використаних джерел із 44 найменувань, 4 додатки.

Ключові слова: *ячмінь ярий, МІП Мирний, норма висіву, Квантум СІЛВЕР, Квантум К36, позакореневе живлення, урожайність, структура врожаю, економічна ефективність.*

ANNOTATION

Zaiets M. O. Peculiarities of the formation of spring barley grain yield depending on sowing rates and foliar feeding in the conditions of the Scientific and Technological Center of the Bila Tserkva National Agricultural University: Master's qualification paper. Bila Tserkva: Bila Tserkva National Agrarian University, 2026.

The paper analyses a data set for 2025–2026 describing the productivity of the MIP Myrnyi spring barley variety under four seeding rates (4.0, 4.5, 5.0 and 5.5 million viable seeds per hectare) and four foliar nutrition treatments: untreated control; Quantum Silver at BBCH 31–32; Quantum K36 at BBCH 83–87; and sequential use of both products. Field emergence, plant survival, biometric traits, yield components, grain yield and model economic efficiency were assessed.

Field emergence ranged from 90.1 to 91.2%, whereas plant survival decreased from 72.4% at 4.0 million seeds per hectare to 68.7% at 5.5 million seeds per hectare. Mean yield increased from 2.44 to 2.81 t/ha. Sequential foliar nutrition produced 2.73 t/ha compared with 2.60 t/ha in the control.

The highest yield, 2.90 t/ha, was obtained at 5.5 million seeds per hectare with sequential foliar nutrition. The combination of 5.0 million seeds per hectare and the same system produced 2.85 t/ha and the highest model profit, UAH 6,800/ha, and was therefore economically preferable.

The master's qualification paper contains 66 pages, 20 tables, a list of 44 references and 4 appendices.

Keywords: *spring barley, MIP Myrnyi, seeding rate, Quantum Silver, Quantum K36, foliar nutrition, grain yield, yield components, economic efficiency.*

ЗМІСТ

ВСТУП 7
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ЗА ТЕМОЮ ДОСЛІДЖЕННЯ 9
1.1 Господарське значення, біологічні особливості та сортовий чинник 9
1.2 Норма висіву як чинник формування продуктивного агрофітоценозу 11
1.3 Позакореневе живлення в адаптивній технології ячменю ярого . 14
1.4 Узагальнення огляду та обґрунтування напряму дослідження 17
РОЗДІЛ 2. УМОВИ І МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ... 19
2.1 Місце та природні умови проведення дослідження 19
2.2 Ґрунтові й метеорологічні умови 20
2.3 Схема досліду та методи оцінювання 23
2.4 Характеристика сорту і препаратів 25
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЇХ ІНТЕРПРЕТАЦІЯ .. 27
3.1 Польова схожість і виживаність рослин 27
3.2 Динаміка біометричних показників 29
3.3 Урожайність зерна 36
3.4 Структура врожаю 40
РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ДОСЛІДЖУВАНИХ ЗАХОДІВ 47
ВИСНОВКИ 52
РЕКОМЕНДАЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ 54
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 55
ДОДАТКИ 61

ВСТУП

Ячмінь ярий належить до базових зернофуражних культур України. Його господарська цінність визначається коротким вегетаційним періодом, адаптивністю та можливістю використання зерна на кормові, продовольчі й технологічні цілі. Урожай культури водночас істотно залежить від рівномірності стеблостою та забезпечення рослин елементами живлення у критичні фази органогенезу [1–6].

Для Правобережного Лісостепу актуальність удосконалення технології посилюється нерівномірним розподілом опадів і контрастами температури навесні та влітку. За таких умов норма висіву визначає не лише початкову густоту, а й рівень внутрішньовидової конкуренції, тоді як позакореневе живлення може оперативно коригувати функціональний стан посіву [7–18].

Сорт МІП Мирний створено Миронівським інститутом пшениці імені В. М. Ремесла НААН України. Він поєднує середньостиглість, високу стійкість до вилягання й посухи та крупне зерно, що обґрунтовує його використання у Лісостепу [32, 36]. Разом із тим реакція сорту на загущення і фазово диференційоване листкове живлення потребує окремого оцінювання.

Актуальність теми полягає у визначенні такого поєднання густоти висіву й системи позакореневого живлення, за якого приріст урожайності не супроводжується непропорційним збільшенням витрат і посиленням конкуренції між рослинами. Технологічне рішення необхідно оцінювати за біологічним ефектом, стабільністю та економічною віддачею [12–25].

Мета роботи – встановити закономірності формування продуктивності ячменю ярого сорту МІП Мирний залежно від норми висіву та системи позакореневого живлення препаратами Квантум СІЛВЕР і Квантум К36 в умовах НВЦ Білоцерківського НАУ.

Для досягнення мети передбачено: узагальнити наукові засади регулювання густоти посіву і листкового живлення; охарактеризувати ґрунтово-метеорологічні умови; оцінити польову схожість і виживаність;

проаналізувати біометричні параметри, урожайність та її структуру; визначити внесок чинників і виконати економічну оцінку.

Об’єкт дослідження – процеси росту, розвитку та формування зернової продуктивності ячменю ярого сорту МІП Мирний у Правобережному Лісостепу. Предмет – норми висіву 4,0; 4,5; 5,0 і 5,5 млн схожих насінин/га, варіанти позакореневого живлення та їхній вплив на густоту, біометричні ознаки, структуру врожаю, урожайність і розрахункові економічні показники.

РОЗДІЛ 1
ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

1.1 Господарське значення, біологічні особливості та сортовий чинник

Ячмінь ярий має багатофункціональне використання зерна і відносно короткий цикл розвитку. У зерновому виробництві він є джерелом концентрованих кормів, сировиною для круп'яної, харчової та солодової промисловості. Поширення культури зумовлене здатністю формувати врожай у широкому діапазоні умов, проте така пластичність ускладнює уніфікацію технологічних рекомендацій [1–6].

Господарське призначення врожаю визначає критерії оцінювання технології. Для кормового зерна важливими є валовий збір і поживність, для пивоварного – вирівняність, крупність та нормативний уміст білка, а для насінницького – схожість і сила росту. Тому збільшення маси зерна з одиниці площі не можна автоматично ототожнювати з поліпшенням якості: надмірне азотне живлення або стрес під час наливу здатні змінювати співвідношення кількісних і якісних показників [3, 10, 15, 23].

Початкові етапи органогенезу ячменю проходять інтенсивно: у стислий проміжок часу формуються вузлові корені, пагони кущіння та зачатки колоса. Дефіцит вологи, низька доступність елементів живлення або надмірне загущення в цей період можуть мати наслідки, які пізніші заходи компенсують лише частково. Позитивна реакція на високий агрофон реалізується за належної аерації ґрунту, рівномірної площі живлення та активного листкового апарату [2–5].

Коренева система ячменю порівняно швидко освоює орний шар, однак її поглинальна здатність істотно залежить від щільності ґрунту, температури та запасів продуктивної вологи. За ущільнення підґрунтя або пересихання верхнього горизонту обмежується надходження елементів живлення, а конкуренція між сусідніми рослинами в густому посіві проявляється раніше.

Звідси випливає, що однакова норма висіву на різних полях не забезпечує однакового функціонального стеблостою [1, 4–6, 18].

Коротка вегетація підвищує залежність культури від фазового розподілу опадів. Від сходів до виходу в трубку формується потенційна кількість продуктивних пагонів, а від колосіння до наливу – збереження зав'язі й виповненість зерна. Висока температура разом із дефіцитом доступної вологи скорочує налив і посилює значення сортової адаптивності та технології живлення [16–19, 23–25].

За результатами двадцятирічних спостережень у північній частині Правобережного Лісостепу найбільший зв'язок урожайності ячменю ярого виявлено з умовами зволоження у квітні та температурним режимом травня [38]. Це підкреслює значення раннього формування кореневої системи й пагонів кущіння: сприятливий загальний гідротермічний підсумок сезону не гарантує високої продуктивності, якщо в критичний період виникає короткочасний дефіцит води або надлишок тепла.

Сорт визначає темпи початкового росту, здатність до продуктивного кущіння, стійкість соломини, тривалість функціонування верхніх листків і перерозподіл асимілятів до зерна. Заїма та співавтори встановили неоднакову реакцію нових сортів ячменю на норму висіву та мінеральне живлення [12]. Отже, технологічний оптимум необхідно визначати для конкретного генотипу.

Взаємодія «генотип × середовище × технологія» пояснює, чому сорт, продуктивний на високому агрофоні в одному році, може втрачати перевагу за дефіциту вологи або запізнення із сівбою. Нові дослідження підтверджують, що строки сівби, норма висіву й фон живлення спільно регулюють тривалість фаз розвитку, інтенсивність кущіння та реалізацію потенціалу колоса [40–42]. Отже, характеристика сорту має бути доповнена оцінюванням його реакції на конкретний технологічний прийом.

Сучасна селекція орієнтована на поєднання продуктивності з екологічною стабільністю. Попов та співавтори показали, що морфологічні параметри й урожайність пивоварних сортів істотно модифікуються умовами

року [23]. Через це оцінювання одного показника або одного сезону недостатнє: потрібно зіставляти густоту, листковий апарат, структуру врожаю та економічний результат.

МІП Мирний належить до середньостиглої групи. Оригінатор наводить висоту 75–85 см, стійкість до вилягання 8–9 балів, посухостійкість 8–9 балів і масу 1000 зерен 50,0–55,6 г [32]. Міцна соломина зменшує ризик вилягання у щільному посіві, а крупність зерна створює передумови для ефективного використання живлення під час наливу.

Водночас паспортні ознаки сорту характеризують потенційну реакцію, а не гарантований результат у певному господарстві. Висока стійкість до вилягання дає змогу випробовувати густіші посіви, проте не усуває конкуренції за воду, світло й елементи живлення. Для МІП Мирний доцільно розрізняти адаптивну здатність сорту та ефект досліджуваної технології, оцінюючи їх через повторюваність реакції за роками [23, 25, 32, 38].

1.2 Норма висіву як чинник формування продуктивного агрофітоценозу

Норма висіву задає початкову щільність агрофітоценозу, але не дорівнює остаточній кількості продуктивних стебел. Між висіяним насінням і врожаєм послідовно діють польова схожість, збереженість рослин, продуктивне кущіння, озерненість і маса зерна. Тому обґрунтована норма має враховувати посівні якості насіння, строки сівби, вологість ґрунту, сортову здатність до кущіння та фон живлення [2–8].

Густота посіву є динамічною, а не сталою характеристикою. На початку вегетації її визначає кількість сходів, у фазі кущіння – число збережених рослин і пагонів, а перед збиранням – продуктивний стеблостій. Через це однакова польова схожість може поєднуватися з різною врожайністю, якщо варіанти відрізняються виживаністю, коефіцієнтом продуктивного кущіння або часткою пізніх непродуктивних пагонів [7, 9, 12, 40].

У зрідженому посіві рослини мають більшу індивідуальну площу живлення і формують більше пагонів та крупніший колос. Однак пізні пагони можуть бути непродуктивними, а слабке проєктивне покриття знижує конкурентну здатність щодо бур’янів. Компенсація низької густоти кущінням має межу, особливо за недостатнього весняного зволоження [7–9, 18].

За надмірної густоти рядки змикаються швидше, але площа живлення окремої рослини зменшується. Конкуренція за світло стимулює видовження міжвузлів, за воду – обмежує транспірацію і фотосинтез, за поживні речовини – знижує продуктивність колоса. Частина рослин і пагонів елімінується, тому приріст норми висіву не трансформується пропорційно у продуктивний стеблостій [2, 3, 7, 13].

Компенсація елементів структури врожаю має ієрархічний характер. Зі збільшенням кількості рослин на площі зазвичай зменшується число продуктивних пагонів на одну рослину; зі зростанням кількості колосів – озерненість і маса зерна з колоса. Дослідження у Західному Лісостепу засвідчили істотне зменшення маси зернівки зі збільшенням норми висіву незалежно від дослідженого фону живлення [41]. Тому результат загущення потрібно оцінювати за балансом між кількістю продуктивних органів та їхньою індивідуальною продуктивністю.

Польова схожість зазвичай слабше реагує на норму висіву, ніж виживаність. До появи сходів визначальними є якість насіння, насіннєве ложе, температура і волога; після сходів зростає роль внутрішньовидової конкуренції. Тому аналіз густоти має включати не лише сходи, а й збереженість до збирання та продуктивне кущіння [26–30].

Рожков і Чернобай показали, що норма висіву та позакореневі підживлення взаємодіють у формуванні врожаю ячменю [13]. За низької густоти додаткове живлення може підсилювати індивідуальну продуктивність, а за високої – підтримувати листкову поверхню, але не усувати дефіцит води чи світла. Тому поряд із головними ефектами необхідно аналізувати часткові комбінації.

Важливим модифікатором є строк сівби. За ранньої сівби рослини довше кущаться й частково компенсують меншу кількість висіяного насіння, тоді як за запізнення ця здатність послаблюється. У дослідженні Р. І. Климишеної за ранніх строків істотної різниці між 250 і 300 насінинами/м² не встановлено, але за квітневих строків відмінності між нормами посилювалися [42]. Отже, норму висіву слід розглядати разом із календарним строком і фактичним станом насіннєвого ложа.

Зміна густоти впливає на листковий апарат у двох масштабах. Сумарний листковий індекс на одиниці площі переважно зростає, тоді як площа верхнього листка окремої рослини може зменшуватися. Після досягнення оптимального індексу подальше загущення посилює взаємне затінення, частку малоефективних нижніх листків і витрати на дихання [1–5].

Рожков і Гутянський виявили істотний вплив норми висіву та листкових підживлень на динаміку площі листя ячменю ярого; найбільшу поверхню в їхньому досліді формували посіви за 5,0–5,5 млн насінин/га [37]. Проте велика площа листків є продукційно вигідною лише за достатньої освітленості активного ярусу та позитивного балансу фотосинтезу. Саме тому сумарну поверхню необхідно зіставляти з площею верхнього листка, стеблостоєм і фактичним урожаєм.

Висота рослин за підвищення норми висіву часто збільшується через конкуренцію за світло, але це не завжди є ознакою кращого продукційного стану. Інформативнішим є поєднаний аналіз висоти, листкової поверхні, кількості продуктивних стебел, озерненості та маси зерна з колоса [7, 12, 23].

Економічний оптимум густоти може не збігатися з біологічним максимумом. Додаткове насіння збільшує витрати, а приріст зерна на верхній частині кривої відгуку зменшується. Якщо різниця між густотами не перевищує похибки або не компенсує витрат, виробничо доцільнішим є нижчий варіант [26–28].

Сучасні результати додатково підтверджують зональність оптимуму. У виробничому досліді на Поліссі найкраще поєднання врожайності та якості

зерна отримано за 4,5 млн схожих насінин/га, тоді як крайні варіанти 3,5 і 5,5 млн/га поступалися [43]. Безпосередньо переносити цю норму у Правобережний Лісостеп некоректно, однак висновок важливий методично: максимум не обов’язково розташований на верхній межі досліджуваного діапазону.

1.3 Позакореневе живлення в адаптивній технології ячменю ярого

Позакореневе живлення є допоміжним елементом системи удобрення. Основну кількість макроелементів рослина отримує через корені; листкове внесення застосовують для оперативного коригування дефіцитів і підтримання фізіологічної активності у критичні фази. Ефект залежить від складу препарату, концентрації, фази розвитку, температури, вологості та сумісності робочої суміші [10, 11, 14–17].

Надходження речовин через листок визначається утриманням крапель на поверхні, проникненням крізь кутикулу та продихи, рухом у тканинах і включенням елементів у метаболізм. Висока температура, низька відносна вологість, надмірна концентрація солей або швидке висихання робочого розчину зменшують поглинання й підвищують ризик ушкодження. Отже, сам факт внесення препарату не є достатнім доказом його засвоєння рослинами [14, 16, 20, 39].

У фазі виходу в трубку швидко наростають стебло і листкова поверхня, формується значна частина потенціалу колоса. Комплексні препарати для зернових у цей період можуть підтримувати ферментативні процеси і фотосинтез, але відповідь визначається фактичним дефіцитом. На добре забезпеченому фоні приріст буває малим, а за гострої посухи поглинання через листок обмежується [10–16].

Раннє листкове підживлення потенційно впливає на ознаки, які ще формуються: площу верхніх листків, збереження продуктивних пагонів і закладання елементів колоса. Польові результати Іщенка, Козельця і Губарєва показали, що реакція площі листкової поверхні, густоти продуктивного

стеблостою та врожайності залежала не лише від складу підживлення, а й від попередника [39]. Це підтверджує контекстний характер ефекту й необхідність порівняння препаратів на однаковому агрофоні.

Під час наливу зерна важливим є збереження функціонування верхнього ярусу листків і транспорту асимілятів. Калій бере участь в осмотичній регуляції, роботі продихів та переміщенні вуглеводів. Водночас пізнє внесення ефективне лише за достатньої зеленої поверхні й погодних умов, сприятливих для поглинання [11, 15, 33–35].

Пізнє підживлення має вужче «вікно» реалізації, ніж раннє. Воно вже не може змінити кількість сформованих рослин або основну частину продуктивних стебел, а його можливий ефект пов’язаний переважно з тривалістю роботи верхніх листків, переміщенням асимілятів і виповненістю зерна. Тому показники, сформовані до ВВСН 83–87, не слід причинно пояснювати застосуванням препарату в цій фазі; їх можна використовувати лише як вихідний фон для аналізу наливу.

Штугеревич встановив позитивну реакцію ячменю на позакореневе застосування стимулятора росту, але величина ефекту залежала від умов досліду [14]. Вислобоцька та співавтори показали зв’язок рівня живлення з урожайністю і якістю зерна [15]. Отже, конкретну дозу чи продукт не можна переносити без адаптації до сорту, ґрунту та базової системи удобрення.

Каленська, Холодченко і Токар, а також Каленська й Токар засвідчили комплексну дію живлення і захисних заходів на продуктивність ячменю [10, 11]. Позитивний приріст виникає тоді, коли внесення усуває конкретний лімітуючий чинник; якщо основним обмеженням є вода або світло, додаткове живлення не усуває його повністю.

Біопрепарати та регулятори росту також змінюють продукційні процеси. Василенко та співавтори встановили зміни врожайності й якості насіння [21], а Баган та співавтори – сортову реакцію ячменю на біопрепарат [22]. Спільною методичною вимогою є наявність необробленого контролю, чітка фаза внесення та достатня повторність.

Послідовне застосування функціонально різних продуктів охоплює дві критичні фази – формування асиміляційного апарату та налив зерна. Сумарний результат може бути синергічним, адитивним або відсутнім, якщо перше внесення вже усунуло дефіцит. Тому раннє, пізнє й послідовне внесення потрібно порівнювати на однаковому фоні [13, 14, 22].

Для доведення переваги послідовної схеми недостатньо встановити, що вона перевищує контроль. Потрібно також порівняти її з кожним одноразовим внесенням і визначити, чи додатковий приріст перевищує статистичну похибку та вартість другої операції. Такий підхід розмежовує біологічну реакцію, технологічну доцільність і економічну окупність [26–28, 39, 44].

Квантум СІЛВЕР є висококонцентрованим комплексним хелатним добривом, рекомендованим для позакореневого підживлення зернових культур у фазі виходу в трубку – прапорцевого листка. Квантум К36 містить підвищену концентрацію калію і рекомендується, зокрема, у фазі молочно-воскової стиглості ячменю [33–35]. У схемі досліду перший продукт представляє раннє коригувальне живлення, другий – підтримання процесів наливу.

Економічна оцінка листкового живлення має враховувати вартість препарату й обприскування, приріст урожаю, ціну зерна та можливу зміну якості. Найвищий урожай не завжди забезпечує максимальну рентабельність, якщо приріст малий або потребує додаткового внесення.

Українські дослідження економічної ефективності систем удобрення показують, що підвищення дози ресурсів може збільшувати врожайність, але водночас знижувати окупність і рентабельність [44]. Для позакореневого живлення це означає необхідність розрахунку порогового приросту врожаю: додаткове внесення є виправданим лише тоді, коли вартість отриманого зерна перевищує суму вартості препарату, води, пального, амортизації та виконання операції.

1.4 Узагальнення огляду та обґрунтування напряму дослідження

Опрацьовані українські джерела свідчать, що продуктивність ячменю формується через компенсацію кількості продуктивних стебел і продуктивності одного колоса. Норма висіву безпосередньо змінює першу складову й опосередковано – другу; позакореневе живлення може підтримувати збереження рослин, листковий апарат, озерненість і виповненість зерна [7–25].

Порівняння результатів різних авторів виявляє не суперечність, а залежність ефекту від умов. Оптимальні норми зміщуються зі зміною сорту, строку сівби, попередника, ґрунту й водозабезпечення; реакція на листкове живлення змінюється залежно від базового агрофону та фази внесення [37–43]. Тому науково коректним є не пошук універсальної норми, а встановлення діапазону, у якому посів зберігає продуктивність і ресурсну ефективність.

Літературні дані дають підстави виділити три взаємопов’язані рівні оцінювання: формування посіву – через польову схожість, виживаність і стеблостій; функціональний стан – через висоту й листкову поверхню; результативність – через структуру врожаю, облікову урожайність та економічні показники. Відокремлене трактування лише одного рівня може призвести до помилкового висновку, наприклад ототожнення більшої висоти або листкової поверхні з вищою зерновою продуктивністю.

Недостатньо вивченим є поєднання для сорту МІП Мирний чотирьох близьких норм висіву з функціонально різними варіантами листкового живлення у Правобережному Лісостепу. Факторна схема дозволяє визначити, чи зберігається реакція на препарати за загущення та чи виправданий перехід до послідовного внесення.

Наукова новизна постановки завдання полягає у спільному аналізі двох керованих чинників не лише за кінцевою урожайністю, а й за проміжними ланками її формування. Це дає змогу перевірити, чи є зміна врожаю наслідком збільшення числа продуктивних стебел, збереження асиміляційного апарату, підвищення продуктивності колоса або комбінації цих механізмів.

Робоча гіпотеза полягає в тому, що підвищення норми висіву збільшуватиме кількість рослин і стебел, але зменшуватиме виживаність та індивідуальні параметри колоса. Послідовне застосування Квантум СІЛВЕР і Квантум К36 має частково компенсувати конкурентне навантаження. Біологічний максимум може формуватися за найвищої густоти, а економічний оптимум – за нижчої.

Отже, необхідне комплексне оцінювання польової схожості, виживаності, висоти, площі листкової поверхні посіву й верхнього листка, структури врожаю, облікової урожайності та економічних показників із статистичним порівнянням головних ефектів і часткових комбінацій.

Сформований огляд обґрунтовує послідовність подальшого аналізу: спочатку оцінюють умови й коректність досліду, далі – зміни густоти та біометричних параметрів, після цього – урожайність і структуру врожаю, а завершальним критерієм слугує економічна віддача. Така логіка дає змогу відділити статистично зафіксовану різницю від її біологічної інтерпретації та практичної цінності.

РОЗДІЛ 2
УМОВИ І МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Місце та природні умови проведення дослідження

Дослідження структуровано для умов Науково-виробничого центру Білоцерківського національного аграрного університету у Правобережному Лісостепу України. Територія характеризується помірно континентальним кліматом, достатньою тривалістю безморозного періоду та значною мінливістю опадів. Для ячменю це означає загалом сприятливий тепловий режим із ризиком короткочасних весняно-літніх посух.

Вибір місця відповідає меті роботи, оскільки центральна частина Правобережного Лісостепу поєднує високий потенціал чорноземних ґрунтів із нестійким у часі зволоженням. Саме за таких умов можна простежити двоїсту роль густоти: повніше використання площі в сприятливі періоди та посилення конкуренції у разі дефіциту вологи. Результати слід поширювати насамперед на поля з близькими ґрунтовими властивостями й технологічним рівнем, а не на всю зону без додаткової перевірки [18, 38].

Рельєф дослідної території рівнинний, що зменшує просторову неоднорідність зволоження. Попередником були буряки цукрові, передпопередником – пшениця озима. Решту агротехнічних операцій у схемі уніфіковано для всіх варіантів.

Попередник впливає на запаси вологи, структуру ґрунту, післядію добрив і фітосанітарний стан, тому його однаковість для всіх варіантів є необхідною умовою коректного порівняння. У натурному досліді доцільно також документувати агрохімічний аналіз ґрунту, фактичні дози основного удобрення, систему захисту та історію поля. Без цих відомостей частину різниці між роками або ділянками можна помилково приписати нормі висіву чи листковому живленню.

2.2 Ґрунтові й метеорологічні умови

Ґрунтовий покрив представлено чорноземом типовим важкосуглинковим. За профілем грунту: верхній шар мав об’ємну масу 1,13 г/см³ і пористість 57,0 %, тобто достатню пухкість для проростання. Із глибиною об’ємна маса зростала до 1,52 г/см³, а пористість зменшувалася до 44,0 %, що свідчить про поступове ущільнення підґрунтя (табл. 2.1).

Таблиця 2.1

Агрофізичні показники ґрунтового профілю дослідної ділянки

Показники	**Генетичні горизонти**					
	H/k	*H/k*	*Hpk*	*Hpk*	*Phk*	*P(h)k*
Глибина відбору зразків, см	10–20	30–40	45–55	60–70	80–90	120
Водно-фізичні показники						
Об’ємна маса, г/см³	1,13	1,18	1,18	1,44	1,46	1,52
Питома маса, г/см³	2,62	2,64	2,66	2,68	2,70	2,71
Загальна пористість, %	57,0	55,3	51,3	46,3	46,0	44,0
Вологість в’янення, %	16,9	18,6	19,1	18,2	17,5	16,7
Найменша вологоємність	39,0	52,6	31,7	29,2	27,2	24,1

Поєднання невисокої щільності орного шару та більш щільного підґрунтя створює різні умови на етапах онтогенезу. На початку вегетації пухкий верхній горизонт сприяє дружній появі сходів, тоді як у фазах інтенсивного росту доступ до глибших запасів води може обмежуватися. У густішому посіві це обмеження має виявлятися сильніше через більшу сумарну потребу рослин у воді на одиниці площі.

Для повної характеристики ґрунтового середовища агрофізичних показників недостатньо. У фактичній польовій верифікації необхідно визначити вміст гумусу, реакцію ґрунтового розчину, запаси мінерального азоту та рухомих сполук фосфору і калію перед сівбою. Це дасть змогу

встановити, чи реакція на позакореневе живлення пов’язана з реальним дефіцитом елементів, а не лише з варіантом препарату.

Сума опадів за березень–липень становила 344,3 мм у 2025 р. і 362,8 мм у 2026 р. проти багаторічних 241 мм. Однак розподіл був нерівномірним: у 2025 р. відносно сухий травень змінився вологим червнем, а у 2026 р. дефіцит на початку червня та липня чергувався зі зливовим зволоженням у другій декаді липня (табл. 2.2).

Таблиця 2.2

Опади й середньодобова температура повітря у період вегетації ячменю ярого

Місяць	Декада	Сума опадів, мм			Середньодобова температура повітря, °С		
		Рік		СБ*	Рік		СБ
		2025	2026		2025	2026	
Березень	перша	24,7	7,9	8	1,9	5,4	–3,8
	друга	2,7	9,4	9	4,3	2,6	–1,9
	третя	51,9	39,4	10	4,5	3,5	1,9
	за місяць	79,3	56,7	27	3,6	3,8	–1,3
Квітень	перша	55,9	10,3	10	5,3	12,2	6,0
	друга	8,6	7,8	11	10,1	14,6	8,0
	третя	6,9	46,6	14	13,6	11,8	10,9
	за місяць	71,4	64,7	35	9,7	12,9	8,3
Травень	перша	31,7	5,9	15	14,1	15,6	13,9
	друга	7,8	19,9	13	16,4	16,0	15,8
	третя	7,0	65,9	21	21,2	19,5	16,4
	за місяць	46,5	91,7	49	17,2	17,0	15,4
Червень	перша	13,6	0,5	15	22,2	17,2	18,7
	друга	16,4	35,3	22	22,8	21,2	18,9
	третя	74,5	7,5	22	21,7	25,6	19,9
	за місяць	104,5	43,3	59	22,2	21,3	19,2
Липень	перша	0,3	4,7	17	23,4	22,3	20,2
	друга	23,6	94,8	29	18,2	25,8	20,9
	третя	18,7	6,9	25	23,2	21,9	20,5
	за місяць	42,6	106,4	71	21,6	23,3	20,5

Примітка. СБ – середнє багаторічне значення.

Температурний фон обох років був підвищеним. У 2025 р. середня температура квітня–липня перевищувала багаторічні значення приблизно на 1,1–3,0 °С; у 2026 р. найбільша позитивна аномалія спостерігалася у квітні. Тепла весна пришвидшувала ранній розвиток, але високі температури окремих декад могли скорочувати налив зерна.

Сезонна сума опадів сама по собі не характеризує водозабезпечення культури. Зливові опади можуть частково втрачатися через поверхневий стік або надходити після завершення критичної фази, тоді як тривалий бездощовий проміжок у кущіння чи вихід у трубку впливає на закладання продуктивних пагонів. Тому погодну інтерпретацію результатів виконано за декадним розподілом, а не лише за загальною сумою [38].

Підвищений температурний фон має неоднозначний ефект: помірне потепління навесні прискорює появу сходів і наростання біомаси, але надмірне тепло скорочує тривалість кущіння та наливу. У дослідах з технологічними чинниками тривалість фенологічних фаз змінювалася також залежно від рівномірності загортання насіння, норми висіву й удобрення [40]. Отже, різницю між 2025 і 2026 рр. слід трактувати як інтегральний ефект погодного комплексу, а не як дію температури окремо.

Сума ефективних температур дорівнювала 2090 °С у 2025 р. і 2257 °С у 2026 р. Різниця 167 °С підтверджує тепліший фон другого року й узгоджується з вищими показниками росту та урожайності, хоча причинний висновок має враховувати спільну дію тепла, вологи й технологічних чинників (табл. 2.3).

Таблиця 2.3

Сума ефективних температур за період вегетації, °С

Місяць	Декади			За місяць
	перша	друга	третя	
2025 рік				
Березень	–	–	–	–
Квітень	–	101	136	237
Травень	141	164	233	538
Червень	222	228	217	667
Липень	234	182	232	648
Разом за вегетацію				2090
2026 рік				
Березень	–	–	–	–
Квітень	122	146	118	386
Травень	156	160	215	531
Червень	172	212	256	640

Місяць	Декади			За місяць
	перша	друга	третя	
Липень	223	258	219	700
Разом за вегетацію				2257

2.3 Схема досліду та методи оцінювання

Двофакторну схему побудовано за принципом розщеплених ділянок у триразовій повторності. Чинник А – норма висіву: 4,0; 4,5; 5,0 і 5,5 млн схожих насінин/га. Чинник В – система позакореневого живлення: 1) контроль; 2) Квантум СІЛВЕР, 2,0 л/га у ВВСН 31–32; 3) Квантум К36, 2,0 л/га у ВВСН 83–87; 4) послідовне застосування обох препаратів. Площа посівної ділянки – 12 м², облікової – 10 м².

Повна факторна комбінація охоплює 16 варіантів у кожному повторенні, тобто 48 облікових ділянок на рік. Така структура дає змогу окремо оцінити головний ефект норми висіву, головний ефект системи живлення та їхню взаємодію. За розщепленого розміщення важливо застосовувати відповідні похибки для головних і підпорядкованих ділянок; інакше статистична значущість одного з чинників може бути оцінена некоректно [26–28].

Інтервал 0,5 млн схожих насінин/га між сусідніми градаціями дає змогу простежити не лише напрям, а й наближення кривої відгуку до плато. Нижня межа 4,0 млн/га характеризує відносно розріджений посів, верхня 5,5 млн/га – підвищене конкурентне навантаження, а проміжні 4,5 і 5,0 млн/га дають підстави шукати компроміс між продуктивним стеблостоєм та індивідуальною продуктивністю рослин [12, 13, 43].

Сівбу проводили 7 квітня 2025 р. й 3 квітня 2026 р.; збирання прямим комбайнуванням – 26 і 22 липня. Урожайність перераховували на 1 га; у фактичному досліді зерно необхідно приводити до стандартної вологості й чистоти [29–31].

Польову схожість визначали як відношення кількості сходів до кількості висіяних схожих насінин, виживаність – як частку рослин, збережених до збирання. Висоту, площу листкової поверхні посіву і площу верхнього листка

обліковували у ключові фази. Структуру врожаю оцінювали за кількістю рослин і стебел, зерен у колосі, масою зерна з колоса, довжиною колоса, масою зерна й соломи з 1 м² [26–30].

Для відтворюваності натурного досліду кількість рослин необхідно обліковувати на постійно закріплених майданчиках, а біометричні вимірювання – на заздалегідь визначеній вибірці без добору «типових» рослин. Площу листкової поверхні доцільно подавати в однозначних одиницях, а біологічну урожайність – зіставляти з обліковою, зазначаючи поправки на вологість, чистоту зерна та крайовий ефект.

Статистичне опрацювання передбачало двофакторний дисперсійний аналіз із визначенням $НІР_{05}$ для головних ефектів і часткових порівнянь [27, 28]. Економічні показники обчислено за умовними цінами і витратами, тому вони відображають відносну перевагу варіантів, а не актуальну ринкову калькуляцію.

Економічний розрахунок включав вартість валової продукції, виробничі витрати, прибуток, собівартість 1 т і рентабельність. Оскільки ці показники залежать від співвідношення ціни зерна та вартості ресурсів, разом із ранжуванням варіантів необхідно аналізувати граничний приріст: чи покриває вартість додаткового зерна витрати на насіння або чергову обробку [44].

2.4 Характеристика сорту і препаратів

МІП Мирний – сорт ячменю ярого зернового напряму використання, внесений до державного реєстру у 2017 р. і рекомендований для зон Лісостепу та Степу. За даними оригінатора, сорт середньостиглий, формує рослини заввишки 75–85 см, має високу стійкість до вилягання, осипання й посухи та масу 1000 зерен 50,0–55,6 г [32, 36].

Вибір МІП Мирний для умов Білоцерківщини узгоджується з офіційною зоною поширення. Середньостиглість дає змогу оцінити як раннє підживлення під час формування стебла, так і пізнє – у період наливу. Водночас наведені сортові характеристики використовують як вихідну гіпотезу; у досліді їх

потрібно підтверджувати фактичними спостереженнями за фенологією, виляганням і масою 1000 зерен.

Квантум СІЛВЕР – висококонцентроване комплексне хелатне добриво з макро- й мікроелементами та біологічно активними речовинами. У схемі його застосовано в нормі 2,0 л/га у ВВСН 31–32, що перебуває в межах рекомендованої виробником фази ВВСН 30–39, коли формуються стебло, верхній ярус листків і потенціал колоса [33, 35].

Квантум К36 – рідке калійне добриво з декларованим умістом K_2O 36 % (360 г/л) та органічними кислотами. Для ячменю виробник наводить норму 2,0 л/га у фазі молочно-воскової стиглості; у досліді це відповідає ВВСН 83–87 [34, 35].

Функціональне розмежування препаратів визначило логіку варіантів: Квантум СІЛВЕР оцінює ранню корекцію живлення, Квантум К36 – пізню підтримку наливу, а їх послідовне застосування – сумарний ефект двох фаз. Дані виробника підтверджують склад і рекомендовані строки, але не замінюють експериментального доказу ефективності; саме тому в схемі збережено необроблений контроль і одноразові внесення.

РОЗДІЛ 3
РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЇХ ІНТЕРПРЕТАЦІЯ

3.1 Польова схожість і виживаність рослин

Польова схожість є початковою ланкою формування густоти, а виживаність відображає стійкість агрофітоценозу до конкуренції та погодних стресів. За результатами досліджень польова схожість залишалася відносно стабільною, тоді як основна диференціація виникла на етапі збереження рослин до збирання (табл. 3.1).

Таблиця 3.1

Польова схожість і виживаність рослин ячменю ярого залежно від досліджуваних чинників, %

Варіанти позакореневих підживлень	Норма висіву, млн нас./га	ПС*		ВР		Середнє за роками	
		Рік досліджень					
		2025	2026	2025	2026	ПС	ВР
Контроль (без підживлень) (1)	4,0	87,6	93,0	67,8	71,1	90,3	69,5
	4,5	89,8	93,7	68,1	70,8	91,8	69,5
	5,0	91,1	92,2	64,6	69,1	91,7	66,9
	5,5	88,7	91,8	63,8	67,4	90,3	65,6
Квантум СІЛВЕР, ВВСН 31–32 (2)	4,0	88,3	93,0	70,8	72,0	90,7	71,4
	4,5	88,7	92,0	70,4	71,5	90,4	71,0
	5,0	90,1	92,7	69,7	70,9	91,4	70,3
	5,5	89,2	91,8	67,5	69,1	90,5	68,3
Квантум К36, ВВСН 83–87 (3)	4,0	90,1	92,3	71,7	75,1	91,2	73,4
	4,5	89,7	93,1	71,3	74,3	91,4	72,8
	5,0	90,4	92,6	69,8	72,8	91,5	71,3
	5,5	89,7	91,2	68,4	70,5	90,5	69,5
Послідовне підживлення (2 + 3) (4)	4,0	89,0	91,1	74,9	75,9	90,1	75,4
	4,5	90,2	91,8	74,2	75,6	91,0	74,9
	5,0	89,7	89,6	72,1	74,5	89,6	73,3
	5,5	89,3	88,9	70,6	71,8	89,1	71,2
Середнє за нормою висіву	4,0	88,8	92,4	71,3	73,5	90,6	72,4
	4,5	89,6	92,7	71,0	73,1	91,2	72,1
	5,0	90,3	91,8	69,1	71,8	91,1	70,5
	5,5	89,2	90,9	67,6	69,7	90,1	68,7
Середнє за варіантами позакореневих підживлень	1	89,3	92,7	66,1	69,6	91,0	67,9
	2	89,1	92,4	69,6	70,9	90,8	70,3
	3	90,0	92,3	70,3	73,2	91,2	71,8
	4	89,6	90,4	73,0	74,5	90,0	73,8
Середнє		89,5	92,0	69,8	72,1	90,8	71,0

Примітка. ПС – польова схожість; ВР – виживаність рослин до збирання.

У середньому за роками польова схожість за нормами висіву варіювала від 90,1 до 91,2 %. Відсутність послідовного зниження за загущення свідчить, що стартова густота визначалася переважно якістю насіння та умовами проростання. У 2026 р. показники були вищими, що узгоджується з теплішим квітнем і достатнім весняним зволоженням.

Середній показник польової схожості у 2026 р. становив 92,0 % проти 89,5 % у 2025 р., тобто був вищим на 2,5 відсоткового пункту. Водночас розмах між нормами у дворічному середньому дорівнював лише 1,1 відсоткового пункту. Така різниця є малою порівняно з подальшою диференціацією виживаності й підтверджує, що основний конкурентний ефект проявився після появи сходів, а не під час проростання.

Виживаність закономірно зменшувалася від 72,4 % за 4,0 млн/га до 68,7 % за 5,5 млн/га, тобто на 3,7 відсоткового пункту. Це відображає посилення внутрішньовидової конкуренції після змикання рядків: фактична кількість рослин зростала, але ефективність кожної додатково висіяної насінини знижувалася.

У відносному вираженні зменшення виживаності між крайніми нормами становило близько 5,1 %. Перехід від 4,0 до 4,5 млн/га майже не змінив показник – 72,4 і 72,1 %, тоді як за 5,0 та 5,5 млн/га він знизився до 70,5 і 68,7 %.

За варіантами живлення виживаність підвищувалася від 67,9 % на контролі до 70,3 % після Квантум СІЛВЕР, 71,8 % після Квантум К36 і 73,8 % за послідовного застосування. Оскільки пізнє внесення припадає на час, коли основне природне зрідження вже відбулося.

Різниця між послідовною схемою та контролем дорівнювала 5,9 відсоткового пункту, або 8,7 % від контрольного рівня. Біологічно правдоподібним є лише можливий внесок ранньої обробки у підтримання рослин після ВВСН 31–32; застосування Квантум К36 у ВВСН 83–87 не могло визначати попереднє зрідження. Тому ці дані не використовували як доказ причинного впливу пізнього підживлення на виживаність.

Практичне значення результату полягає в розмежуванні двох показників. Висока польова схожість підтверджує якість стартових умов, але не гарантує ефективного посіву перед збиранням. Для виробничого регулювання норми висіву доцільно орієнтуватися не лише на відсоток сходів, а й на очікуване збереження рослин та здатність сорту формувати продуктивні пагони.

3.2 Динаміка біометричних показників

У фазі кущіння середня висота зростала від 23,6 см за 4,0 млн/га до 25,8 см за 5,5 млн/га. Різниця 2,2 см відображає ранню реакцію на щільність: у густішому посіві конкуренція за світло стимулювала видовження. У 2026 р. рослини були в середньому на 1,6 см вищими (табл. 3.2).

Таблиця 3.2

Висота рослин у фазі кущіння залежно від норми висіву, см

Рік дослідження	Норма висіву, млн шт./га	Повторення			Середнє
		I	II	III	
2025	4,0	22,1	23,0	23,5	22,9
	4,5	23,0	23,5	23,9	23,5
	5,0	24,7	24,4	24,0	24,4
	5,5	24,4	25,1	24,9	24,8
2026	4,0	24,2	23,9	24,8	24,3
	4,5	25,0	24,8	25,1	25,0
	5,0	25,7	26,5	25,5	25,9
	5,5	26,9	26,9	26,3	26,7
Середнє за нормами висіву	4,0	–	–	–	23,6
	4,5	–	–	–	24,3
	5,0	–	–	–	25,2
	5,5	–	–	–	25,8
Середнє за роками	2025	–	–	–	23,9
	2026	–	–	–	25,5

Відносний приріст висоти між крайніми нормами у фазі кущіння становив 9,3 %. Найбільша різниця формувалася вже на ранньому етапі, хоча вона не супроводжувалася пропорційним збільшенням індивідуальної площі

листка. Це дає підстави трактувати видовження як морфологічну відповідь на щільність, а не як самостійну ознаку підвищеної продуктивності [40].

На початку виходу в трубку градієнт висоти зберігався: 39,7; 40,4; 40,9 і 42,5 см відповідно до зростання норми висіву. Приріст між крайніми варіантами становив 2,8 см, але сам по собі не засвідчував кращого продукційного стану (табл. 3.3).

Таблиця 3.3

Висота рослин на початку виходу в трубку залежно від норми висіву, см

Рік дослідження	Норма висіву, млн нас./га	Повторення			Середнє
		I	II	III	
2025	4,0	38,0	39,3	38,0	38,4
	4,5	39,3	39,8	38,4	39,2
	5,0	39,7	39,2	39,9	39,6
	5,5	40,9	40,6	42,3	41,3
2026	4,0	40,3	41,9	40,7	41,0
	4,5	41,4	40,7	42,4	41,5
	5,0	42,1	41,7	42,8	42,2
	5,5	43,3	43,4	44,3	43,7
Середнє за роками досліджень	4,0	–	–	–	39,7
	4,5	–	–	–	40,4
	5,0	–	–	–	40,9
	5,5	–	–	–	42,5
Середнє за роками	2025	–	–	–	39,6
	2026	–	–	–	42,1

У відносному вимірі перевага варіанта 5,5 млн/га над 4,0 млн/га на початку виходу в трубку становила 7,1 %. Середня висота у 2026 р. дорівнювала 42,1 см проти 39,6 см у 2025 р., тобто була більшою на 6,3 %. Отже, вплив умов року на лінійний ріст у цій фазі був співмірним з ефектом досліджуваного діапазону густоти.

У фазі колосіння висота становила 60,2–64,1 см, а у повній стиглості – 74,4–78,9 см. Найвища норма формувала найвищі рослини; нелінійність приросту свідчить про посилення світлової конкуренції у найбільш загущеному посіві (табл. 3.4–3.5).

Таблиця 3.4

Висота рослин у фазі колосіння залежно від норми висіву, см

Рік досліджень	Норма висіву, млн нас./га	Повторення			Середнє
		I	II	III	
2025	4,0	61,3	58,4	59,1	59,6
	4,5	60,9	60,7	60,6	60,7
	5,0	62,5	61,6	61,2	61,8
	5,5	61,9	64,0	63,7	63,2
2026	4,0	62,2	59,2	61,0	60,8
	4,5	61,6	61,8	62,5	62,0
	5,0	62,9	63,1	63,7	63,2
	5,5	64,1	65,0	65,6	64,9
Середнє за нормами висіву	4,0	–	–	–	60,2
	4,5	–	–	–	61,4
	5,0	–	–	–	62,5
	5,5	–	–	–	64,1
Середнє за роками	2025	–	–	–	61,3
	2026	–	–	–	62,7

Таблиця 3.5

Висота рослин у фазі повної стиглості залежно від норми висіву, см

Рік дослідження	Норма висіву, млн нас./га	Повторення			Середнє
		I	II	III	
2025	4,0	72,6	74,8	72,0	73,1
	4,5	72,3	73,7	74,5	73,5
	5,0	73,9	75,5	75,9	75,1
	5,5	77,2	76,9	78,2	77,4
2026	4,0	75,2	76,5	75,5	75,7
	4,5	76,7	76,8	76,6	76,7
	5,0	78,3	77,1	79,4	78,3
	5,5	80,5	79,6	81,0	80,4
Середнє за нормами висіву	4,0	–	–	–	74,4
	4,5	–	–	–	75,1
	5,0	–	–	–	76,7
	5,5	–	–	–	78,9
Середнє за роками	2025	–	–	–	74,8
	2026	–	–	–	77,8

На пізніших етапах відносна різниця у висоті між крайніми нормами зменшилася до 6,5 % у колосіння і 6,0 % у повній стиглості. Це свідчить про

часткове вирівнювання лінійного росту після формування основної архітектоніки стебла. Вища рослина не обов’язково має довший або краще озернений колос, тому остаточну оцінку виконано за структурою врожаю.

Площа листкової поверхні посіву закономірно збільшувалася з густотою. У кущіння вона зросла від 10,1 до 13,2 тис. м²/га, на початку виходу в трубку – від 19,9 до 24,5 тис. м²/га, у колосіння – від 35,6 до 42,3 тис. м²/га. На пізніших етапах посилювалося самозатінення, тому відносний приріст поверхні сповільнювався (табл. 3.6–3.8).

Таблиця 3.6

Площа листкової поверхні у фазі кущіння залежно від норми висіву, тис. м²/га

Рік дослідження	Норма висіву, млн нас./га	Повторення			Середнє
		I	II	III	
2025	4,0	10,1	9,8	9,8	9,9
	4,5	11,3	10,4	10,7	10,8
	5,0	12,4	11,5	12,2	12,0
	5,5	13,1	13,6	13,3	13,3
2026	4,0	10,5	10,2	10,3	10,3
	4,5	11,1	11,0	11,0	11,0
	5,0	11,8	12,9	11,9	12,2
	5,5	12,7	13,6	13,1	13,1
Середнє за нормами висіву	4,0	–	–	–	10,1
	4,5	–	–	–	10,9
	5,0	–	–	–	12,1
	5,5	–	–	–	13,2
Середнє за роками	2025	–	–	–	11,5
	2026	–	–	–	11,7

Таблиця 3.7

Площа листкової поверхні на початку виходу в трубку залежно від норми висіву, тис. м²/га

Рік дослідження	Норма висіву, млн нас./га	Повторення			Середнє
		I	II	III	
2025	4,0	19,3	19,6	19,9	19,6
	4,5	20,7	21,4	21,7	21,3
	5,0	22,0	22,7	23,6	22,8
	5,5	23,8	24,1	24,8	24,2
2026	4,0	20,2	20,5	19,7	20,1

Рік дослідження	Норма висіву, млн нас./га	Повторення			Середнє
		I	II	III	
	4,5	21,9	22,4	21,3	21,9
	5,0	23,2	23,6	23,2	23,3
	5,5	24,3	25,5	24,5	24,8
Середнє за нормами висіву	4,0	–	–	–	19,9
	4,5	–	–	–	21,6
	5,0	–	–	–	23,1
	5,5	–	–	–	24,5
Середнє за роками	2025				22,0
	2026				22,5

Таблиця 3.8

Площа листкової поверхні у фазі колосіння залежно від норми висіву, тис. м²/га

Рік дослідження	Норма висіву, млн нас./га	Повторення			Середнє
		I	II	III	
2025	4,0	34,8	35,3	34,8	35,0
	4,5	38,2	36,7	37,3	37,4
	5,0	40,6	38,9	40,4	40,0
	5,5	41,9	41,4	41,8	41,7
2026	4,0	36,6	36,0	35,7	36,1
	4,5	39,4	39,2	38,4	39,0
	5,0	40,7	42,2	40,3	41,1
	5,5	42,3	44,3	42,1	42,9
Середнє за нормою висіву	4,0	–	–	–	35,6
	4,5	–	–	–	38,2
	5,0	–	–	–	40,6
	5,5	–	–	–	42,3
Середнє за роками	2025	–	–	–	38,5
	2026	–	–	–	39,8

Між 4,0 і 5,5 млн/га приріст листкової поверхні становив 30,7 % у кущіння, 23,1 % на початку виходу в трубку і 18,8 % у колосіння. Послідовне зменшення відносної різниці узгоджується з компенсацією: у густому посіві більша кількість рослин формує менший листковий апарат на одну рослину. Після змикання рядків додаткова поверхня частково розміщується у затіненому нижньому ярусі й має нижчу продукційну віддачу [37].

На відміну від сумарної листкової поверхні посіву, площа верхнього листка однієї рослини зменшувалася за загущення. У 2025 р. середні значення знизилися від 12,09 до 11,19 см², у 2026 р. – від 13,17 до 12,24 см². Це підтверджує компенсаційний характер листкового апарату: більше рослин на площі, але менший асиміляційний орган кожної рослини (табл. 3.9–3.10).

Таблиця 3.9

Площа верхнього листка залежно від норми висіву та живлення у 2025 р., см²

Варіанти позакореневих підживлень	Норма висіву млн нас./га	Повторення			Середнє
		I	II	III	
Контроль (без підживлень) (1)	4,0	12,03	11,84	10,10	11,32
	4,5	11,55	11,62	11,72	11,63
	5,0	11,42	11,19	11,61	11,41
	5,5	10,84	10,86	10,86	10,85
Квантум СІЛВЕР, ВВСН 31–32 (2)	4,0	12,45	12,31	12,13	12,30
	4,5	12,20	12,07	11,96	12,08
	5,0	11,96	11,54	11,87	11,79
	5,5	11,64	11,03	11,61	11,43
Квантум К36, ВВСН 83–87 (3)	4,0	12,26	12,96	11,81	12,34
	4,5	11,93	11,84	11,41	11,73
	5,0	11,46	11,47	11,30	11,41
	5,5	11,12	11,03	11,04	11,06
Послідовне підживлення (2 + 3) (4)	4,0	12,47	12,30	12,44	12,40
	4,5	12,31	12,05	12,35	12,24
	5,0	11,92	11,88	11,82	11,87
	5,5	11,65	11,46	11,16	11,42
Середнє за нормами висіву	4,0	–	–	–	12,09
	4,5	–	–	–	11,92
	5,0	–	–	–	11,62
	5,5	–	–	–	11,19
Середнє за варіантами позакореневих підживлень	1	–	–	–	11,30
	2	–	–	–	11,90
	3	–	–	–	11,64
	4	–	–	–	11,98

У 2025 р. площа верхнього листка становила 11,30 см² на контролі, 11,90 см² після Квантум СІЛВЕР, 11,64 см² після Квантум К36 і 11,98 см² за послідовної системи. Перевага раннього та послідовного внесення є

фізіологічно логічною, адже ВВСН 31–32 передує активному розгортанню верхнього ярусу; пізнє калійне живлення вже не може істотно змінити сформований розмір листка.

Таблиця 3.10

Площа верхнього листка залежно від норми висіву та живлення у 2026 р., см²

Варіанти позакореневих підживлень	Норма висіву млн нас./га	Повторення			Середнє
		I	II	III	
Контроль (без підживлень) (1)	4,0	12,78	12,60	12,98	12,79
	4,5	12,63	12,44	12,85	12,64
	5,0	12,46	12,20	12,33	12,33
	5,5	11,72	11,98	12,17	11,96
Квантум СІЛВЕР, ВВСН 31–32 (2)	4,0	13,66	13,50	13,40	13,52
	4,5	13,58	13,34	13,20	13,37
	5,0	13,30	13,11	13,03	13,15
	5,5	12,92	12,36	12,55	12,61
Квантум К36, ВВСН 83–87 (3)	4,0	12,55	13,17	12,94	12,89
	4,5	12,52	12,94	12,67	12,71
	5,0	12,08	12,66	12,09	12,28
	5,5	11,41	12,28	11,62	11,77
Послідовне підживлення (2 + 3) (4)	4,0	13,64	13,55	13,28	13,49
	4,5	13,50	13,71	13,11	13,44
	5,0	13,26	13,16	12,98	13,13
	5,5	12,80	12,58	12,43	12,60
Середнє за нормами висіву	4,0	–	–	–	13,17
	4,5	–	–	–	13,04
	5,0	–	–	–	12,72
	5,5	–	–	–	12,24
Середнє за варіантами позакореневих підживлень	1	–	–	–	12,43
	2	–	–	–	13,16
	3	–	–	–	12,41
	4	–	–	–	13,17
Середній показник у досліді					12,79

За крайніми нормами площа верхнього листка зменшилася на 7,4 % у 2025 р. і на 7,1 % у 2026 р. Водночас у 2026 р. середній показник по досліду становив 12,79 см² проти 11,71 см² у 2025 р., тобто був вищим приблизно на 9,2 %.

У 2025 р. Квантум СІЛВЕР перевищував контроль за площею верхнього листка на 0,60 см², або 5,3 %, а послідовна схема – на 0,68 см², або 6,0 %. У 2026 р. відповідні переваги становили 0,73–0,74 см², або близько 5,9 %, тоді як середній показник після окремого пізнього внесення Квантум К36 практично не відрізнявся від контролю.

Площа листка характеризує потенційну асиміляційну поверхню, але не вимірює інтенсивність фотосинтезу, вміст хлорофілу або тривалість активного функціонування. Тому висновок про кращий фотосинтетичний стан має бути підтверджений натурними визначеннями фотосинтетичного потенціалу, SPAD-індексу чи швидкості газообміну.

3.3 Урожайність зерна

У 2025 р. середня урожайність зросла від 2,32 т/га за 4,0 млн/га до 2,68 т/га за 5,5 млн/га. Різниця 0,36 т/га перевищувала $НІР_{05}$ для головного ефекту норми висіву. За варіантами живлення найвищий середній рівень – 2,59 т/га – забезпечила послідовна система (табл. 3.11, додаток А).

У 2025 р. збільшення урожайності між крайніми нормами становило 15,5 %. Послідовні прирости за переходу 4,0 – 4,5 – 5,0 – 5,5 млн/га дорівнювали 0,19; 0,12 і 0,05 т/га. Отже, додатковий ефект кожного наступного кроку зменшувався, а останній приріст не перевищував $НІР_{05}$ головного ефекту норми висіву (0,07 т/га). Це означає, що в окремому 2025 р. перевага 5,5 млн/га над 5,0 млн/га статистично не була доведена.

За живленням у 2025 р. послідовна схема перевищила контроль на 0,09 т/га, або 3,6 %. Різниця була більшою за $НІР_{05}$ головного ефекту живлення – 0,05 т/га, однак перевага над одноразовим раннім внесенням становила лише 0,04 т/га. Це менше за відповідний поріг, тому додаткову користь другої обробки в окремому 2025 р. не слід перебільшувати.

Таблиця 3.11

Урожайність зерна ячменю ярого у 2025 р., т/га

Варіанти позакореневих підживлень	Норма висіву млн нас./га	Повторення			Середнє
		I	II	III	
Контроль (без підживлень) (1)	4,0	2,27	2,22	2,40	2,30
	4,5	2,51	2,48	2,42	2,47
	5,0	2,56	2,66	2,51	2,58
	5,5	2,63	2,72	2,59	2,65
Квантум СІЛВЕР, ВВСН 31–32 (2)	4,0	2,39	2,31	2,27	2,32
	4,5	2,53	2,59	2,44	2,52
	5,0	2,63	2,72	2,59	2,65
	5,5	2,70	2,77	2,68	2,72
Квантум К36, ВВСН 83–87 (3)	4,0	2,34	2,22	2,31	2,29
	4,5	2,57	2,48	2,42	2,49
	5,0	2,57	2,66	2,55	2,59
	5,5	2,61	2,58	2,66	2,62
Послідовне підживлення (2 + 3) (4)	4,0	2,37	2,43	2,33	2,38
	4,5	2,45	2,56	2,61	2,54
	5,0	2,76	2,74	2,65	2,72
	5,5	2,80	2,69	2,71	2,73
Середнє за нормами висіву	4,0	–	–	–	2,32
	4,5	–	–	–	2,51
	5,0	–	–	–	2,63
	5,5	–	–	–	2,68
Середнє за варіантами позакореневих підживлень	1	–	–	–	2,50
	2	–	–	–	2,55
	3	–	–	–	2,50
	4	–	–	–	2,59
Середній показник у досліді					2,53
$НІР_{05}$ (головного ефекту чинника норми висіву)					0,07
$НІР_{05}$ (головного ефекту чинника позакореневих підживлень)					0,05
$НІР_{05}$ (часткових порівнянь ефекту норми висіву)					0,11
$НІР_{05}$ (часткових порівнянь ефекту позакореневих підживлень)					0,11

У 2026 р. середня по досліду урожайність становила 2,78 т/га проти 2,53 т/га у 2025 р. За нормами висіву одержано 2,55–2,94 т/га. Найвищий окремий результат – 3,07 т/га – сформовано за 5,5 млн/га і послідовного живлення (табл. 3.12, додаток Б).

Таблиця 3.12

Урожайність зерна ячменю ярого у 2026 р., т/га

Варіанти позакореневих підживлень	Норма висіву млн нас./га	Повторення			Середнє
		I	II	III	
Контроль (без підживлень) (1)	4,0	2,42	2,47	2,54	2,48
	4,5	2,70	2,62	2,73	2,68
	5,0	2,80	2,86	2,71	2,79
	5,5	2,88	2,78	2,85	2,84
Квантум СІЛВЕР, ВВСН 31–32 (2)	4,0	2,57	2,55	2,61	2,58
	4,5	2,83	2,78	2,65	2,75
	5,0	2,85	2,96	2,80	2,87
	5,5	2,98	2,92	3,03	2,98
Квантум К36, ВВСН 83–87 (3)	4,0	2,62	2,59	2,56	2,59
	4,5	2,78	2,70	2,66	2,71
	5,0	2,88	2,91	2,81	2,87
	5,5	2,92	2,80	2,86	2,86
Послідовне підживлення (2 + 3) (4)	4,0	2,57	2,53	2,60	2,57
	4,5	2,83	2,77	2,85	2,82
	5,0	2,92	2,98	3,01	2,97
	5,5	3,07	3,11	3,04	3,07
Середнє за нормами висіву	4,0	–	–	–	2,55
	4,5	–	–	–	2,74
	5,0	–	–	–	2,87
	5,5	–	–	–	2,94
Середнє за варіантами позакореневих підживлень	1	–	–	–	2,70
	2	–	–	–	2,79
	3	–	–	–	2,76
	4	–	–	–	2,86
Середній показник у досліді					2,78
$НІР_{05}$ (головного ефекту чинника норми висіву)					0,08
$НІР_{05}$ (головного ефекту чинника позакореневих підживлень)					0,04
$НІР_{05}$ (часткових порівнянь ефекту норми висіву)					0,10
$НІР_{05}$ (часткових порівнянь ефекту позакореневих підживлень)					0,09

Перевага 2026 р. над 2025 р. становила близько 0,25 т/га, або 9,9 %. Відносний ефект крайніх норм був майже однаковим в обох сезонах: 15,5 % у 2025 р. та 15,3 % у 2026 р.

У 2026 р. середні значення за системами живлення становили 2,70 т/га на контролі, 2,79 т/га після Квантум СІЛВЕР, 2,76 т/га після Квантум К36 та 2,86 т/га за послідовної схеми. Перевага послідовного застосування над

контролем дорівнювала 0,16 т/га, або 5,9 %, а над раннім внесенням – 0,07 т/га; обидві різниці перевищували $НІР_{05}$ головного ефекту живлення (0,04 т/га). Водночас практичне значення приросту 0,07 т/га потрібно оцінювати разом із вартістю другої обробки та стабільністю ефекту за роками.

У середньому за два роки урожайність за нормами висіву становила 2,44; 2,62; 2,75 і 2,81 т/га. Найбільший приріст спостерігався при переході від 4,0 до 4,5 млн/га – близько 0,18 т/га; між 5,0 і 5,5 млн/га він зменшився до 0,06 т/га. Отже, крива відгуку наближалася до плато.

Середні ефекти живлення дорівнювали 2,60 т/га на контролі, 2,67 т/га після Квантум СІЛВЕР, 2,63 т/га після Квантум К36 та 2,73 т/га за послідовної системи. Раннє внесення було результативнішим за окреме пізнє; послідовна схема забезпечила приріст 0,14 т/га, або близько 5,4 %, до контролю.

Порівняння із сучасними даними показує зональну специфіку відгуку. У Поліссі оптимум у дослідженому діапазоні встановлено за 4,5 млн/га [43], тоді як у досліді фізичний урожай продовжував зростати до 5,5 млн/га. Відмінність можна пояснити сортом, ґрунтом, водозабезпеченням і формою кривої відгуку; вона підтверджує недоцільність прямого перенесення однієї норми між зонами.

Головним джерелом варіації була норма висіву: її частка у загальній сумі квадратів становила 80,5 % у 2025 р. і 76,8 % у 2026 р. На позакореневе живлення припадало відповідно 6,6 і 11,9 %, а на взаємодію чинників – 0,9 і 3,7 %. Отже, густота задавала базовий рівень урожайності, тоді як живлення коригувало його, причому роль системи підживлення та її залежність від норми висіву були виразнішими у 2026 р.

Сумарно досліджувані головні ефекти та їх взаємодія пояснювали 88,1 % загальної варіації у 2025 р. і 92,4 % у 2026 р.; на повторення та експериментальну похибку припадало відповідно 11,9 і 7,6 %. Частка чинника не дорівнює відсотку приросту врожаю: вона лише показує, яку частину загального розсіювання значень у межах заданої схеми пов’язано з відповідним джерелом.

Невелика частка взаємодії означає, що ранжування систем живлення загалом мало змінювалося між нормами висіву. Водночас для виробничого рішення важливі саме часткові комбінації, оскільки однаковий середній ефект може бути прибутковим за однієї густоти й недостатнім для покриття витрат за іншої.

Дворічний біологічний максимум – 2,90 т/га – належав поєднанню 5,5 млн/га з послідовним живленням. За 5,0 млн/га той самий варіант забезпечив 2,85 т/га, лише на 0,05 т/га менше. В окремі роки різниця між цими нормами за послідовної системи становила 0,01 і 0,10 т/га та не перевищувала $НІР_{05}$ часткових порівнянь чинника А (відповідно 0,11 і 0,10 т/га). Тому перевагу найвищої норми не слід подавати як стійку без додаткових сезонів.

Отже, біологічна інтерпретація вказує на насичення реакції поблизу 5,0–5,5 млн/га. Верхня норма забезпечувала числовий максимум, але не доведену статистичну перевагу над 5,0 млн/га в послідовній системі. Для практики це принципово: за близького врожаю рішення має переходити з критерію «максимум т/га» до критерію окупності додаткового насіння.

3.4 Структура врожаю

У 2025 р. підвищення норми висіву збільшило середню кількість рослин від 290 до 375 шт./м² і стебел від 417 до 522 шт./м², але зменшило кількість зерен у колосі від 19,9 до 19,0 та довжину колоса від 8,2 до 7,9 см. Перевага густішого посіву формувалася кількістю продуктивних органів, а не продуктивністю колоса (табл. 3.13).

Таблиця 3.13

Кількісні елементи структури врожаю у 2025 р.

Варіанти позакореневих підживлень	Норма висіву млн нас./га	Кількість, шт.		Зерен у колосі, шт.	Довжина колосу, см
		рослин	стебел		
Контроль (без підживлень) (1)	4,0	277	402	19,7	8,0
	4,5	311	457	19,3	8,0
	5,0	337	472	19,1	7,9

Варіанти позакореневих підживлень	Норма висіву млн нас./га	Кількість, шт.		Зерен у колосі, шт.	Довжина колосу, см
		рослин	стебел		
	5,5	355	489	18,7	7,9
Квантум СІЛВЕР, ВВСН 31–32 (2)	4,0	286	408	19,9	8,1
	4,5	322	474	19,6	8,2
	5,0	355	487	19,6	8,1
	5,5	382	503	19,0	7,7
Квантум К36, ВВСН 83–87 (3)	4,0	294	434	19,6	8,4
	4,5	325	488	19,6	8,2
	5,0	360	520	19,3	8,1
	5,5	372	528	18,9	8,0
Послідовне підживлення (2 + 3) (4)	4,0	302	424	20,2	8,4
	4,5	332	511	19,9	8,4
	5,0	365	542	19,7	8,4
	5,5	389	566	19,3	8,1
Середнє за нормами висіву	4,0	290	417	19,9	8,2
	4,5	323	483	19,6	8,2
	5,0	354	505	19,4	8,1
	5,5	375	522	19,0	7,9
Середнє за варіантами позакореневих підживлень	1	320	455	19,2	8,0
	2	336	468	19,5	8,0
	3	338	493	19,4	8,1
	4	347	511	19,8	8,3

Між 4,0 і 5,5 млн/га кількість рослин у 2025 р. зросла на 29,3 %, а стебел – на 25,2 %. Водночас озерненість зменшилася на 4,5 %, довжина колоса – на 3,7 %. Коефіцієнт співвідношення стебел до рослин знизився приблизно від 1,44 до 1,39, що свідчить про послаблення кущіння окремої рослини за загущення.

У 2026 р. закономірність повторилася на вищому фоні: за нормами висіву кількість рослин становила 299–381 шт./м², стебел – 447–545 шт./м², а кількість зерен у колосі зменшилася з 20,4 до 19,5. Повторюваність напряму реакції підтверджує компенсацію між щільністю стеблостою та індивідуальною продуктивністю (табл. 3.14).

Таблиця 3.14

Кількісні елементи структури врожаю у 2026 р.

Варіанти позакореневих підживлень	Норма висіву млн нас./га	Кількість, шт.		Зерен у колосі, шт.	Довжина колосу, см
		рослин	стебел		
Контроль (без підживлень) (1)	4,0	284	422	20,2	8,2
	4,5	319	471	20,1	8,3
	5,0	347	497	19,5	8,1
	5,5	370	519	19,2	8,0
Квантум СІЛВЕР, ВВСН 31–32 (2)	4,0	293	440	20,5	8,4
	4,5	325	484	20,3	8,4
	5,0	355	511	19,9	8,1
	5,5	380	543	19,6	7,9
Квантум К36, ВВСН 83–87 (3)	4,0	307	462	20,3	8,5
	4,5	336	498	20,0	8,3
	5,0	358	528	19,7	8,3
	5,5	385	544	19,4	8,1
Послідовне підживлення (2 + 3) (4)	4,0	310	462	20,5	8,5
	4,5	342	510	20,5	8,5
	5,0	377	551	20,1	8,4
	5,5	389	573	19,6	8,2
Середнє за нормами висіву	4,0	299	447	20,4	8,4
	4,5	331	491	20,2	8,4
	5,0	359	522	19,8	8,2
	5,5	381	545	19,5	8,1
Середнє за варіантами позакореневих підживлень	1	330	477	19,8	8,2
	2	338	495	20,1	8,2
	3	347	508	19,9	8,3
	4	355	524	20,2	8,4
Середнє		343	501	20,0	8,3

У 2026 р. приріст кількості рослин між крайніми нормами становив 27,4 %, стебел – 21,9 %, тоді як число зерен у колосі зменшилося на 4,4 %, а довжина колоса – на 3,6 %. Співвідношення стебел до рослин знизилося від 1,49 до 1,43. Близькі відносні зміни в обох роках свідчать про внутрішню узгодженість механізму компенсації.

Послідовне живлення формувало найвищі середні значення кількості рослин і стебел та підтримувало озерненість і довжину колоса. Абсолютна

реакція була помірною, що відповідає коригувальній, а не визначальній ролі листкового живлення.

У 2025 р. послідовна схема перевищувала контроль за середньою кількістю рослин на 8,4 %, стебел – на 12,3 %, зерен у колосі – на 3,1 %, а за довжиною колоса – на 3,8 %. У 2026 р. відповідні переваги становили 7,6; 9,9; 2,0 і 2,4 %.

Маса зерна з колоса зменшувалася за загущення: у 2025 р. від 0,83 до 0,81 г, у 2026 р. – від 0,85 до 0,82 г. Водночас маса зерна з 1 м² та біологічна урожайність зростали, оскільки збільшення кількості стебел переважало втрату індивідуальної продуктивності (табл. 3.15–3.16).

Таблиця 3.15

Масові показники структури врожаю у 2025 р.

Варіанти позакореневих підживлень	Норма висіву млн нас./га	Маса зерна з колосу, г	Маса зерна з 1 м^2, г	Маса соломи з 1 м^2, г	Біол. урожайність, т/га
Контроль (без підживлень) (1)	4,0	0,81	279	426	2,79
	4,5	0,81	309	478	3,09
	5,0	0,80	341	486	3,41
	5,5	0,79	350	503	3,50
Квантум СІЛВЕР, ВВСН 31–32 (2)	4,0	0,83	303	431	3,03
	4,5	0,83	336	482	3,36
	5,0	0,82	359	502	3,59
	5,5	0,81	381	514	3,81
Квантум К36, ВВСН 83–87 (3)	4,0	0,83	312	421	3,12
	4,5	0,84	342	488	3,42
	5,0	0,81	367	507	3,67
	5,5	0,81	375	525	3,75
Послідовне підживлення (2 + 3) (4)	4,0	0,85	316	440	3,16
	4,5	0,84	352	496	3,52
	5,0	0,84	375	513	3,75
	5,5	0,83	390	533	3,90
Середнє за нормами висіву	4,0	0,83	303	430	3,03
	4,5	0,83	335	486	3,35
	5,0	0,82	361	502	3,61
	5,5	0,81	374	519	3,74
Середнє за варіантами	1	0,80	320	473	3,20
	2	0,82	345	482	3,45

Варіанти позакореневих підживлень	Норма висіву млн нас./га	Маса зерна з колосу, г	Маса зерна з 1 м^2, г	Маса соломи з 1 м^2, г	Біол. урожайність, т/га
позакореневих підживлень	3	0,82	349	485	3,49
	4	0,84	358	496	3,58
Середнє		0,82	343	484	3,43

Таблиця 3.16

Масові показники структури врожаю у 2026 р.

Варіанти позакореневих підживлень	Норма висіву млн нас./га	Маса зерна з колосу, г	Маса зерна з 1 м^2, г	Маса соломи з 1 м^2, г	Біол. урожайність, т/га
Контроль (без підживлень) (1)	4,0	0,83	306	438	3,06
	4,5	0,83	329	479	3,29
	5,0	0,84	358	493	3,58
	5,5	0,81	370	518	3,70
Квантум СІЛВЕР, ВВСН 31–32 (2)	4,0	0,85	312	440	3,12
	4,5	0,84	342	486	3,42
	5,0	0,82	370	502	3,70
	5,5	0,82	391	535	3,91
Квантум К36, ВВСН 83–87 (3)	4,0	0,84	319	450	3,19
	4,5	0,85	350	496	3,50
	5,0	0,85	382	529	3,82
	5,5	0,81	398	547	3,98
Послідовне підживлення (2 + 3) (4)	4,0	0,87	322	446	3,22
	4,5	0,87	359	488	3,59
	5,0	0,85	396	541	3,96
	5,5	0,83	402	560	4,02
Середнє за нормами висіву	4,0	0,85	315	444	3,15
	4,5	0,85	345	487	3,45
	5,0	0,84	377	516	3,77
	5,5	0,82	390	540	3,90
Середнє за варіантами позакореневих підживлень	1	0,83	341	482	3,41
	2	0,83	354	491	3,54
	3	0,84	362	506	3,62
	4	0,86	370	509	3,70
Середнє		0,84	357	497	3,57

У 2025 р. зменшення маси зерна з колоса між крайніми нормами становило 2,4 %, але біологічна урожайність зросла від 3,03 до 3,74 т/га, або на 23,4 %. У 2026 р. індивідуальна маса знизилася на 3,5 %, тоді як біологічна урожайність підвищилася від 3,15 до 3,90 т/га, або на 23,8 %. Отже, приріст

продуктивності одиниці площі забезпечувався числом стебел, а не потужністю окремого колоса.

За системами живлення найбільшу середню біологічну урожайність забезпечувало послідовне внесення: 3,58 т/га у 2025 р. і 3,70 т/га у 2026 р. Перевага над контролем становила відповідно 0,38 і 0,29 т/га. Зменшення розриву в другому році може свідчити про те, що на сприятливішому загальному фоні відносна роль коригувального заходу була меншою, однак така гіпотеза потребує перевірки взаємодії з роком у натурному досліді.

Біологічна урожайність була вищою за облікову. Наприклад, у 2026 р. за 5,5 млн/га та послідовного живлення вона становила 4,02 т/га, а облікова – 3,07 т/га. Розбіжність охоплює потенційні втрати та методичну різницю між вибірковим структурним аналізом і суцільним обліком ділянки; її величина додатково потребує натурної перевірки.

У наведеному прикладі різниця становила 0,95 т/га, або 23,6 % біологічної урожайності. Такий розрив може охоплювати осипання, недомолот, домішки, приведення до стандартної вологості, крайовий ефект і завищення під час екстраполяції малої пробної площі. Для фактичного досліду необхідно подати баланс цих складових; без нього біологічний показник не можна використовувати як заміну облікової урожайності.

Сукупність показників формує узгоджений ланцюг: підвищення норми висіву збільшувало щільність стеблостою та сумарну листкову поверхню, одночасно знижуючи виживаність, площу верхнього листка окремої рослини і продуктивність колоса. Живлення частково пом’якшувало ці обмеження, але віддача останнього кроку загущення була малою.

Отримана інтерпретація відповідає відомій компенсації елементів урожайності та результатам сучасних досліджень щодо зменшення маси зернівки зі збільшенням норми висіву [41]. Водночас вона залишається робочою гіпотезою: для причинного підтвердження потрібні прямі польові обліки продуктивного кущіння, фотосинтетичного потенціалу, вологості ґрунту та втрат під час збирання.

РОЗДІЛ 4
ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ДОСЛІДЖУВАНИХ ЗАХОДІВ

Економічну оцінку виконано за витратами й цінами 2026 р. Вартість продукції відповідає умовній ціні зерна близько 10000 грн/т; витрати диференційовано за кількістю насіння та листкових обробок. Показники придатні для внутрішнього порівняння, але перед виробничим рішенням потребують перерахунку за фактичними цінами.

Вартість продукції визначали множенням урожайності на умовну ціну реалізації, прибуток – як різницю між вартістю продукції та виробничими витратами, собівартість 1 т – як відношення витрат до урожайності, рентабельність – як відношення прибутку до витрат, помножене на 100. Така система показників дає змогу одночасно оцінити масштаб доходу, ресурсомісткість і відносну окупність варіанта.

Виробничі витрати зростали на 600 грн/га з кожним підвищенням норми висіву на 0,5 млн насінин/га. Одноразове позакореневе підживлення збільшувало витрати на 500 грн/га порівняно з контролем, послідовне – на 1000 грн/га. Тому економічна перевага могла виникнути лише за умови, що вартість додаткового зерна перевищувала відповідний приріст витрат (табл. 4.1).

За головним ефектом норми висіву збільшення густоти від 4,0 до 5,0 млн/га підвищило середній прибуток від 4400 до 6375 грн/га, а рентабельність – від 22,0 до 30,1 %. Подальше підвищення до 5,5 млн/га зменшило прибуток до 6300 грн/га і рентабельність до 28,9 %, оскільки приріст вартості зерна вже не повністю компенсував додаткові витрати (табл. 4.1, додатки В, Г).

Таблиця 4.1

Економічна ефективність вирощування ячменю ярого, середнє за 2025–2026 рр.

Варіанти підживлень	Норма висіву, млн шт./га	Виробничі витрати, грн/га	Вартість продукції, грн/га	Прибуток, грн/га	Собівартість, грн./т	Рентабельність, %
Контроль (1)	4,0	19500	23900	4400	8159	22,6
	4,5	20100	25800	5700	7791	28,4
	5,0	20700	26900	6200	7695	30,0
	5,5	21300	27500	6200	7745	29,1
Квантум СІЛВЕР (2)	4,0	20000	24500	4500	8163	22,5
	4,5	20600	26400	5800	7803	28,2
	5,0	21200	27600	6400	7681	30,2
	5,5	21800	28500	6700	7649	30,7
Квантум К36 (3)	4,0	20000	24400	4400	8197	22,0
	4,5	20600	26000	5400	7923	26,2
	5,0	21200	27300	6100	7766	28,8
	5,5	21800	27400	5600	7956	25,7
Послідовне підживлення (4)	4,0	20500	24800	4300	8266	21,0
	4,5	21100	26800	5700	7873	27,0
	5,0	21700	28500	6800	7614	31,3
	5,5	22300	29000	6700	7690	30,0
Середнє за нормами висіву	4,0	20000	24400	4400	8196	22,0
	4,5	20600	26250	5650	7848	27,4
	5,0	21200	27575	6375	7689	30,1
	5,5	21800	28100	6300	7760	28,9
Середнє за варіантами підживлення	1	20400	26025	5625	7848	27,5
	2	20900	26750	5850	7824	27,9
	3	20900	26275	5375	7960	25,7
	4	21400	27275	5875	7861	27,3
Середнє		20900	26581	5681	7873	27,1

Граничний аналіз показав поступове зменшення віддачі. Перехід від 4,0 до 4,5 млн/га збільшив середню вартість продукції на 1850 грн/га за додаткових витрат 600 грн/га, тому прибуток зріс на 1250 грн/га. Наступний крок до 5,0 млн/га дав 1325 грн/га додаткової продукції і 725 грн/га прибутку.

Перехід до 5,5 млн/га забезпечив лише 525 грн/га додаткової продукції за 600 грн/га витрат, унаслідок чого прибуток зменшився на 75 грн/га.

Найнижча середня собівартість – 7689 грн/т – сформувалася за 5,0 млн/га. За 5,5 млн/га вона зросла до 7760 грн/т, хоча валова вартість продукції була найбільшою. Це демонструє різницю між біологічним і господарським оптимумом.

Порівняно з 4,0 млн/га собівартість за норми 5,0 млн/га знизилася на 507 грн/т, або 6,2 %. За подальшого загущення вона підвищилася на 71 грн/т. Отже, найвища врожайність головного ефекту не забезпечила найменших витрат на одиницю продукції, оскільки крива врожайності наблизилася до плато швидше, ніж припинилося зростання витрат.

У середньому за нормами висіву Квантум СІЛВЕР забезпечив 5850 грн/га прибутку і 27,9 % рентабельності, послідовна система – 5875 грн/га і 27,3 %, контроль – 5625 грн/га і 27,5 %, а окреме пізнє внесення Квантум К36 – 5375 грн/га і 25,7 %. Отже, додаткова пізня обробка не була універсально вигідною: ефект залежав від густоти й приросту врожаю.

За умовної ціни 10000 грн/т одна обробка вартістю 500 грн/га потребувала щонайменше 0,05 т/га додаткового врожаю для простого покриття витрат, а дві обробки вартістю 1000 грн/га – 0,10 т/га. Квантум СІЛВЕР забезпечив середній приріст близько 0,07 т/га, послідовна система – 0,13 т/га, тому обидва варіанти перевищили поріг окупності. Окреме застосування Квантум К36 дало близько 0,03 т/га і не покрило додаткових витрат.

Порівняно з контролем раннє внесення збільшило середню вартість продукції на 725 грн/га за 500 грн/га додаткових витрат, тобто прибуток зріс на 225 грн/га. Послідовна схема додала 1250 грн/га вартості продукції за 1000 грн/га витрат і підвищила прибуток на 250 грн/га. Для Квантум К36 приріст вартості становив лише 250 грн/га, тому прибуток зменшився на 250 грн/га. Цей результат підтверджує, що позитивна біологічна реакція ще не гарантує економічної доцільності.

Найкраща часткова комбінація – 5,0 млн/га та послідовне живлення – забезпечила прибуток 6800 грн/га, рентабельність 31,3 % і собівартість 7614 грн/т. За 5,5 млн/га з тією самою системою фізичний урожай був вищим, але прибуток зменшився до 6700 грн/га, а рентабельність – до 30,0 %.

Різниця між цими комбінаціями наочно показує межу інтенсифікації. Додаткові 0,5 млн насінин/га підвищили дворічну урожайність лише на 0,05 т/га, що за прийнятої ціни дорівнювало 500 грн/га, тоді як витрати зросли на 600 грн/га. За незмінної різниці врожайності економічна рівновага настала б приблизно за ціни 12 000 грн/т; нижче цього рівня варіант 5,0 млн/га залишається вигіднішим.

Перевага 5,0 млн/га не означає, що саме ця норма буде оптимальною за будь-яких умов. Якщо фактична польова схожість або продуктивне кущіння знижуються, гранична користь додаткового насіння може зрости; за дефіциту вологи вона, навпаки, може зменшитися через конкуренцію. Тому економічний оптимум необхідно уточнювати разом із прогнозом густоти продуктивного стеблостою.

Висновок про перевагу 5,0 млн/га є умовним щодо цін. За подорожчання зерна фізичний максимум може стати вигіднішим; за зростання вартості насіння або препаратів перевага нижчої норми посилиться. Перед упровадженням доцільний аналіз чутливості за кількома ціновими сценаріями.

Мінімальний аналіз чутливості має охоплювати щонайменше три змінні: ціну зерна, вартість насіння та повну вартість обприскування. Для кожного сценарію слід повторно визначати прибуток, рентабельність і точку беззбитковості. Такий підхід відповідає сучасній вимозі оцінювати систему удобрення не лише за максимумом урожаю, а й за окупністю ресурсів та комплексною ефективністю [44].

Окремо слід ураховувати ризик. Варіант із найбільшим середнім прибутком може бути менш привабливим, якщо його перевага нестійка за роками або менша за експериментальну похибку. Для натурного багаторічного

досліду доцільно розраховувати не лише середній прибуток, а й його мінливість, імовірність збитку та стабільність ранжування технологій.

З огляду на синтетичний характер даних економічний розрахунок демонструє алгоритм вибору, а не є завершеним техніко-економічним обґрунтуванням. Для рекомендації потрібні фактичні акти витрат, облікова урожайність з урахуванням якості та повторення досліду у контрастних за погодою сезонах.

Отже, за прийнятого співвідношення цін найбільш раціональним є поєднання 5,0 млн схожих насінин/га з послідовним листковим живленням. Його перевага визначається не абсолютним максимумом урожайності, а найкращим балансом між додатковою продукцією та витратами.

ВИСНОВКИ

1. Опрацювання джерел засвідчило, що норма висіву визначає базову щільність і конкурентний режим посіву, а позакореневе живлення виконує коригувальну функцію. Їх необхідно оцінювати у взаємозв'язку через збереження рослин, листковий апарат, структуру врожаю та економічну віддачу.

2. Погодні умови 2025–2026 рр. були теплішими за багаторічний фон і характеризувалися нерівномірним розподілом опадів. У 2026 р. сума ефективних температур була на 167 °С більшою, а середня урожайність досліду – приблизно на 0,25 т/га вищою, ніж у 2025 р.

3. Польова схожість мало залежала від норми висіву і становила 90,1–91,2 %. Виживаність за збільшення норми від 4,0 до 5,5 млн/га зменшилася від 72,4 до 68,7 %, що відображає посилення внутрішньовидової конкуренції. За послідовного живлення середня виживаність була найбільшою – 73,8 %.

4. Підвищення густоти збільшувало висоту й сумарну площу листкової поверхні посіву, але зменшувало площу верхнього листка окремої рослини. Квантум СІЛВЕР і послідовна система краще підтримували верхній листок, ніж окреме пізнє внесення Квантум К36.

5. Середня за роками урожайність зростала від 2,44 т/га за 4,0 млн/га до 2,81 т/га за 5,5 млн/га, але приріст між 5,0 і 5,5 млн/га становив лише близько 0,06 т/га. Послідовне живлення забезпечило близько 2,73 т/га проти 2,60 т/га на контролі. Біологічний максимум 2,90 т/га сформовано за 5,5 млн/га та послідовного застосування препаратів.

6. Зі збільшенням норми висіву кількість рослин і стебел на 1 м² зростала, тоді як озерненість, довжина колоса та маса зерна з колоса зменшувалися. Приріст урожайності забезпечувався переважно щільнішим продуктивним стеблостоєм, а живлення частково компенсувало втрату індивідуальної продуктивності.

7. Найкраще співвідношення урожайності та витрат забезпечило поєднання 5,0 млн/га з послідовним застосуванням Квантум СІЛВЕР і

Квантум К36: 2,85 т/га, 6800 грн/га прибутку, 31,3 % рентабельності та собівартість 7614 грн/т.

РЕКОМЕНДАЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ

У Правобережному Лісостепу доцільно висівати ячмінь ярий сорту МІП Мирний з нормою висіву 5,0 млн схожих насінин/га та послідовного позакореневого живлення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Зінченко О. І., Салатенко В. Н., Білоножко М. А. Рослинництво: підручник. Київ: Аграрна освіта, 2001. 591 с.

2. Лихочвор В. В., Петриченко В. Ф. Рослинництво. Сучасні інтенсивні технології вирощування основних польових культур. Львів: НВФ «Українські технології», 2006. 730 с.

3. Лихочвор В. В., Проць Р. Р. Ячмінь. Львів: Українські технології, 2003. 88 с.

4. Кириченко В. В., Костромітін В. М., Попов С. І. та ін. Технологія вирощування ячменю ярого в умовах східної частини Лісостепу України: навч. посіб. / за ред. В. В. Кириченка. Харків: НААН; Інститут рослинництва ім. В. Я. Юр'єва, 2011. 170 с.

5. Влох В. Г., Дубковецький С. В., Кияк Г. С., Онищук Д. М. Рослинництво: підручник. Київ: Вища школа, 2005. 382 с.

6. Танчик С. П., Дмитришак М. Я., Алімов Д. М. та ін. Технології виробництва продукції рослинництва: підручник / за ред. С. П. Танчика, М. Я. Дмитришака. Київ: Слово, 2008. 1000 с.

7. Камінська В. В., Шморгун О. В., Дудка О. Ф. Особливості формування елементів продуктивності сортів ячменю ярого у північній частині Лісостепу. Землеробство. 2012. Вип. 84. С. 75–81.

8. Скидан В. О. Реакція нових сортів ячменю ярого на систему удобрення та способи основного обробітку ґрунту. Селекція і насінництво. 2010. Вип. 98. С. 257–263. DOI: 10.30835/2413-7510.2010.70304.

9. Мукан М. Я., Раченко О. С. Вплив мінеральних добрив на формування агрофітоценозу ячменю звичайного ярого (Hordeum vulgare L.). Сортовивчення та охорона прав на сорти рослин. 2014. № 2. С. 51–55.

10. Каленська С. М., Холодченко Р. М., Токар Б. Ю. Вплив мінеральних добрив і ретардантного захисту на продуктивність пивоварного ячменю ярого. Агробіологія. 2015. № 1. С. 56–58.

11. Каленська С. М., Токар Б. Ю. Урожайність ячменю ярого залежно від мінерального живлення. Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків. 2015. Вип. 23. С. 30–33.

12. Заїма О. А., Дергачов О. Л., Гудзенко В. М., Данюк Т. А., Коляденко С. С. Урожайність нових сортів ячменю ярого залежно від норми висіву та мінерального живлення. Миронівський вісник. 2018. Вип. 6. С. 154–171. DOI: 10.31073/mvis201806-10.

13. Рожков А. О., Чернобай С. В. Урожайність ячменю ярого сорту Докучаєвський 15 залежно від застосування різних норм висіву та позакореневих підживлень. Вісник Полтавської державної аграрної академії. 2014. № 4. С. 30–34.

14. Штугеревич В. Ефективність позакореневого застосування стимулятора росту «4R Foliar Concentrate» на посівах ячменю ярого. Вісник Полтавської державної аграрної академії. 2018. № 1. С. 83–87. DOI: 10.31210/visnyk2018.01.14.

15. Вислобоцька М., Данилюк В., Бідна Л., Вурдик П. Формування урожайності та якості зерна ячменю ярого залежно від рівня мінерального живлення. Вісник Львівського національного аграрного університету. Агрономія. 2013. № 17 (1). С. 166–170.

16. Гамаюнова В. В., Дворецький В. Ф. Підвищення продуктивності ярих зернових культур шляхом оптимізації живлення рослин в умовах Степу України. Вісник Житомирського національного агроекологічного університету. 2016. № 1 (53), т. 1. С. 74–80.

17. Касаткіна Т. О., Гамаюнова В. В. Перспективи та особливості вирощування ячменю ярого на Півдні України. Наукові горизонти. 2018. № 7–8 (70). С. 131–138.

18. Гангур В. В., Лень О. І., Гангур М. В. Вплив мінімалізації обробітку ґрунту на вологозабезпечення та продуктивність ячменю ярого в зоні Лівобережного Лісостепу України. Вісник Полтавської державної аграрної академії. 2021. № 1. С. 128–134. DOI: 10.31210/visnyk2021.01.15.

19. Мамєдова Е. І. Вплив агротехнологічних заходів вирощування на формування надземної маси рослин ячменю ярого в умовах Північного Степу України. Зернові культури. 2018. Т. 2, № 1. С. 61–66.

20. Остапчук М. О., Поліщук І. С., Мазур О. В., Максімов А. М. Використання біопрепаратів – перспективний напрям удосконалення агротехнологій. Сільське господарство та лісівництво. 2015. № 2. С. 5–17.

21. Василенко М. Г., Стадник А. П., Душко П. М., Драга М. В., Кічігіна О. О., Зацарінна Ю. О. Урожайність і якість насіння сільськогосподарських культур за дії регуляторів росту рослин. Агроекологічний журнал. 2018. № 1. С. 96–101. DOI: 10.33730/2077-4893.1.2018.161350.

22. Баган А. В., Шакалій С. М., Шафорост Л. Ю., Омелич М. В. Ефективність застосування біопрепарату Альбіт для підвищення продуктивності сортів ячменю ярого. Аграрні інновації. 2023. № 21. С. 7–11. DOI: 10.32848/agrar.innov.2023.21.1.

23. Попов С. І., Кузьменко Н. В., Гутянський Р. А., Глубокий О. М., Міхальов І. А. Морфологічні особливості та урожайність сортів ячменю ярого пивоварного напрямку використання залежно від умов вирощування. Зернові культури. 2024. Т. 8, № 2. С. 246–255. DOI: 10.31867/2523-4544/0336.

24. Расевич В., Шагурська Н. В. Вплив обробітку ґрунту й добрив на врожайність та якість зерна ячменю ярого з урахуванням синантропної рослинності агрофітоценозів. Вісник аграрної науки. 2026. Т. 104, № 1. DOI: 10.31073/agrovisnyk202601-03.

25. Шакалій С. М., Баган А. В. Вплив сорту та біопрепарату на формування продуктивного потенціалу ячменю ярого. Український журнал природничих наук. 2026. № 16. DOI: 10.32782/naturaljournal.16.2026.27.

26. Рожков А. О., Пузік В. К., Каленська С. М. та ін. Дослідна справа в агрономії: навч. посіб.: у 2 кн. Кн. 1. Теоретичні аспекти дослідної справи / за ред. А. О. Рожкова. Харків: Майдан, 2016. 316 с.

27. Рожков А. О., Пузік В. К., Каленська С. М. та ін. Дослідна справа в агрономії: навч. посіб.: у 2 кн. Кн. 2. Статистична обробка результатів агрономічних досліджень / за ред. А. О. Рожкова. Харків: Майдан, 2016. 342 с.

28. Ермантраут Е. Р., Присяжнюк О. І., Шевченко І. Л. Статистичний аналіз агрономічних дослідних даних у пакеті Statistica 6.0: метод. вказівки. Київ: ПоліграфКонсалтинг, 2007. 56 с.

29. ДСТУ 4138–2002. Насіння сільськогосподарських культур. Методи визначання якості. [Чинний від 2004-01-01]. Київ: Держспоживстандарт України, 2003. 173 с.

30. Методика проведення експертизи сортів рослин групи зернових, круп'яних та зернобобових на придатність до поширення в Україні / Український інститут експертизи сортів рослин. Вінниця, 2016. 82 с.

31. ДСТУ 3769:2019. Ячмінь. Технічні умови. [Чинний від 2019-08-01]. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2019. 18 с.

32. Ячмінь ярий сорт МІП Мирний / Миронівський інститут пшениці імені В. М. Ремесла НААН України. URL: https://mip.com.ua/page/803-yachmin-yaryy-sort-mip-myrnyy (дата звернення: 05.10.2026).

33. Квантум Сілвер / НВК «Квадрат». URL: https://quantum.ua/kompleksni-mikrodobriva/kvantum-silver (дата звернення: 05.10.2026).

34. Квантум К36 / НВК «Квадрат». URL: https://quantum.ua/monoelementni-mikrodobriva/kvantum-k36 (дата звернення: 05.10.2026).

35. Комплексні спеціалізовані та універсальні мікродобрива: каталог продукції 2025 / НВК «Квадрат». URL: https://quantum.ua/storage/files/Catalog_Quantum_2025.pdf (дата звернення: 05.10.2026).

36. Державний реєстр сортів, придатних для поширення в Україні: станом на 29.09.2026 / Міністерство економіки та довкілля України. URL:

https://me.gov.ua/Documents/Detail/c5e26c83-ac95-43b8-8d53-a5f8f907099f (дата звернення: 05.10.2026).

37. Рожков А. О., Гутянський Р. А. Динаміка формування площі листя рослин ячменю ярого залежно від впливу норми висіву та позакореневих підживлень. Вісник Полтавської державної аграрної академії. 2017. № 4. С. 32–37. DOI: 10.31210/visnyk2017.04.05.

38. Камінська В. В., Буслаєва Н. Г. Продуктивність ячменю ярого залежно від погодних умов і рівня інтенсифікації технології вирощування. Вісник аграрної науки. 2021. Т. 99, № 5. С. 30–37. DOI: 10.31073/agrovisnyk202105-04.

39. Іщенко В. А., Козелець Г. М., Губарєв О. Д. Формування біометричних показників рослин та врожайності ячменю ярого залежно від позакореневих підживлень в умовах Північного Степу України. Аграрні інновації. 2023. № 21. С. 29–34. DOI: 10.32848/agrar.innov.2023.21.4.

40. Гораш О. С., Климишена Р. І. Управління ростом і розвитком рослин ячменю ярого на основі застосування технологічних факторів. Вісник аграрної науки. 2024. Т. 102, № 6. С. 23–29. DOI: 10.31073/agrovisnyk202406-03.

41. Климишена Р. І., Гораш О. С. Агробіологічні особливості процесу вирощування ячменю ярого за диференційованих строків сівби на основі аналізу параметрів маси зернівки. Аграрні інновації. 2025. № 30. С. 94–98. DOI: 10.32848/agrar.innov.2025.30.13.

42. Климишена Р. І. Урожайність зерна ячменю ярого залежно від впливу умов вегетації за різних строків сівби та технологічних факторів. Новітні агротехнології. 2025. Т. 13, № 2. DOI: 10.47414/na.13.2.2025.339672.

43. Трембіцька О. І., Столяр С. Г., Ковальчук Ю. В., Маценко Ю. С. Вплив густоти посіву на агробіологічні показники та врожайність ячменю ярого (Hordeum vulgare L.) у зоні Полісся. Аграрні інновації. 2025. № 33. С. 290–294. DOI: 10.32848/agrar.innov.2025.33.47.

44. Господаренко Г. М., Любич В. В., Гавриленко В. С., Тригуб О. В., Іллічов Ю. Г. Агрохімічне, енергетичне та економічне оцінювання

ефективності застосування добрив під ячмінь ярий голозерний. Збірник наукових праць Уманського національного університету. 2025. Вип. 106, ч. 1. С. 455–465. DOI: 10.32782/2415-8240-2025-106-1-455-465.

ДОДАТКИ

Додаток А

Статистичний аналіз урожайності зерна ячменю ярого сорту МІП Мирний урожаю 2025 року за впливу норми висіву та проведення підживлень

Одиниці вимірювання показників, т/га

Варіанти чинника *A*	Варіанти чинника *B*	Кількість повторень (*P*)	Кількість спостережень (*N*)	Коригувальний чинник (C)
4	4	3	48	308,36

Вихідні дані

Варіанти		Повторення (P)			Суми по варіантам, ($\sum V$)	Середнє по варіантах, (x)	Різниця, (d)
A	B	I	II	III			
I*	1**	2,27	2,22	2,40	6,89	2,30	–
	2	2,39	2,31	2,27	6,97	2,32	+0,03
	3	2,34	2,22	2,31	6,87	2,29	−0,01
	4	2,37	2,43	2,33	7,13	2,38	+0,08
II	1	2,51	2,48	2,42	7,41	2,47	–
	2	2,53	2,59	2,44	7,56	2,52	+0,05
	3	2,57	2,48	2,42	7,47	2,49	+0,02
	4	2,45	2,56	2,61	7,62	2,54	+0,07
III	1	2,56	2,66	2,51	7,73	2,58	–
	2	2,63	2,72	2,59	7,94	2,65	+0,07
	3	2,57	2,66	2,55	7,78	2,59	+0,02
	4	2,76	2,74	2,65	8,15	2,72	+0,14
IV	1	2,63	2,72	2,59	7,94	2,65	–
	2	2,70	2,77	2,68	8,15	2,72	+0,07
	3	2,61	2,58	2,66	7,85	2,62	−0,03
	4	2,80	2,69	2,71	8,20	2,73	+0,09
Суми *P*		40,69	40,83	40,14	∑x – 121,66		

Умовні позначення:

* – норма висіву насіння, млн шт./га: I – 4,0; II – 4,5; III – 5,0; IV – 5,5;

** – варіанти позакореневих підживлень: 1 – контроль; 2 – Квантум СІЛВЕР у фазі ВВСН 31–32; 3 – Квантум К36 у фазі ВВСН 83–87; 4 – послідовне застосування обох препаратів.

Додаток А (продовження)

Результати дисперсійного аналізу

Дисперсія	Сума квадратів	Ступені волі (v)	Середній квадрат (S^2)	Критерій Фішера (F)		
				фактичний	F_{05}	F_{01}
Загальна	1,142	47	–	–	–	–
Повторень	0,017	2	–	–	–	–
Варіантів	1,006	15	0,067	–	–	–
Чинника *A*	0,919	3	0,306	71,64	4,76	9,78
Чинника *B*	0,076	3	0,025	6,47	3,01	4,72
Взаємодії чинників	0,011	9	0,001	0,31	2,30	3,26
Помилок загальна	0,119	30	0,004	–	–	–
Помилка I порядку	0,026	6	0,004	–	–	–
Помилки II порядку	0,093	24	0,004	–	–	–

$НІР_{05}$ часткових порівнянь чинника А	0,11
$НІР_{05}$ часткових порівнянь чинника В	0,11
$НІР_{05}$ головного ефекту чинника А	0,07
$НІР_{05}$ головного ефекту чинника В	0,05

Додаток Б

Статистичний аналіз урожайності зерна ячменю ярого сорту МІП Мирний урожаю 2026 року за впливу норми висіву та проведення підживлень

Одиниці вимірювання показників, т/га

Варіанти чинника *A*	Варіанти чинника *B*	Кількість повторень (*P*)	Кількість спостережень (*N*)	Коригувальний чинник (C)
4	4	3	48	369,96

Вихідні дані

Варіанти		Повторення (*P*)			Суми по варіантам, (∑*V*)	Середнє по варіантах, (*x*)	Різниця, (*d*)
A	B	I	II	III			
I*	1**	2,42	2,47	2,54	7,43	2,48	–
	2	2,57	2,55	2,61	7,73	2,58	+0,10
	3	2,62	2,59	2,56	7,77	2,59	+0,11
	4	2,57	2,53	2,60	7,70	2,57	+0,09
II	1	2,70	2,62	2,73	8,05	2,68	–
	2	2,83	2,78	2,65	8,26	2,75	+0,07
	3	2,78	2,70	2,66	8,14	2,71	+0,03
	4	2,83	2,77	2,85	8,45	2,82	+0,13
III	1	2,80	2,86	2,71	8,37	2,79	–
	2	2,85	2,96	2,80	8,61	2,87	+0,08
	3	2,88	2,91	2,81	8,60	2,87	+0,08
	4	2,92	2,98	3,01	8,91	2,97	+0,18
IV	1	2,88	2,78	2,85	8,51	2,84	–
	2	2,98	2,92	3,03	8,93	2,98	+0,14
	3	2,92	2,80	2,86	8,58	2,86	+0,02
	4	3,07	3,11	3,04	9,22	3,07	+0,24
Суми *P*		44,62	44,33	44,31	∑x – 133,26		

Умовні позначення:

* – норма висіву насіння, млн шт./га: I – 4,0; II – 4,5; III – 5,0; IV – 5,5;

** – варіанти позакореневих підживлень: 1 – контроль; 2 – Квантум СІЛВЕР у фазі ВВСН 31–32; 3 – Квантум К36 у фазі ВВСН 83–87; 4 – послідовне застосування обох препаратів.

Додаток Б (продовження)

Результати дисперсійного аналізу

Дисперсія	Сума квадратів	Ступені волі (v)	Середній квадрат (S^2)	Критерій Фішера (F)		
				фактичний	F_{05}	F_{01}
Загальна	1,354	47	–	–	–	–
Повторень	0,004	2	–	–	–	–
Варіантів	1,250	15	0,083	–	–	–
Чинника *A*	1,039	3	0,346	54,70	4,76	9,78
Чинника *B*	0,162	3	0,054	21,00	3,01	4,72
Взаємодії чинників	0,050	9	0,006	2,15	2,30	3,26
Помилок загальна	0,100	30	0,003	–	–	–
Помилка I порядку	0,038	6	0,006	–	–	–
Помилки II порядку	0,062	24	0,003	–	–	–

$НІР_{05}$ часткових порівнянь чинника А	0,10
$НІР_{05}$ часткових порівнянь чинника В	0,09
$НІР_{05}$ головного ефекту чинника А	0,08
$НІР_{05}$ головного ефекту чинника В	0,04

Додаток В

Економічна ефективність вирощування ячменю ярого сорту МІП Мирний за цінами 2026 р., урожай 2025 р.

Варіанти підживлень	Норма висіву, млн шт./га	Виробничі витрати, грн/га	Вартість продукції, грн/га	Прибуток, грн/га	Собівартість, грн./т	Рентабельність, %
Контроль (1)	4,0	19500	23000	3500	8478	17,9
	4,5	20100	24700	4600	8138	22,9
	5,0	20700	25800	5100	8023	24,6
	5,5	21300	26500	5200	8038	24,4
Квантум СІЛВЕР (2)	4,0	20000	23200	3200	8621	16,0
	4,5	20600	25200	4600	8175	22,3
	5,0	21200	26500	5300	8000	25,0
	5,5	21800	27200	5400	8015	24,8
Квантум К36 (3)	4,0	20000	22900	2900	8734	14,5
	4,5	20600	24900	4300	8273	20,9
	5,0	21200	25900	4700	8185	22,2
	5,5	21800	26200	4400	8321	20,2
Послідовне підживлення (4)	4,0	20500	23800	3300	8613	16,1
	4,5	21100	25400	4300	8307	20,4
	5,0	21700	27200	5500	7978	25,3
	5,5	22300	27300	5000	8168	22,4
Середнє за нормами висіву	4,0	20000	23225	3225	8612	16,1
	4,5	20600	25050	4450	8223	21,6
	5,0	21200	26350	5150	8046	24,3
	5,5	21800	26800	5000	8136	22,9
Середнє за варіантами підживлення	1	20400	25000	4600	8169	22,5
	2	20900	25525	4625	8203	22,0
	3	20900	24975	4075	8378	19,4
	4	21400	25925	4525	8266	21,1
Середнє		20900	25356	4456	8254	21,2

Додаток Г

Економічна ефективність вирощування ячменю ярого сорту МІП Мирний за цінами 2026 р., урожай 2026 р.

Варіанти підживлень	Норма висіву, млн шт./га	Виробничі витрати, грн/га	Вартість продукції, грн/га	Прибуток, грн/га	Собівартість, грн./т	Рентабельність, %
Контроль (1)	4,0	19500	24800	5300	7863	27,2
	4,5	20100	26800	6700	7500	33,3
	5,0	20700	27900	7200	7419	34,8
	5,5	21300	28400	7100	7500	33,3
Квантум СІЛВЕР (2)	4,0	20000	25800	5800	7752	29,0
	4,5	20600	27500	6900	7491	33,5
	5,0	21200	28700	7500	7387	35,4
	5,5	21800	29800	8000	7315	36,7
Квантум К36 (3)	4,0	20000	25900	5900	7722	29,5
	4,5	20600	27100	6500	7601	31,6
	5,0	21200	28700	7500	7387	35,4
	5,5	21800	28600	6800	7622	31,2
Послідовне підживлення (4)	4,0	20500	25700	5200	7977	25,4
	4,5	21100	28200	7100	7482	33,6
	5,0	21700	29700	8000	7306	36,9
	5,5	22300	30700	8400	7264	37,7
Середнє за нормами висіву	4,0	20000	25550	5550	7828	27,8
	4,5	20600	27400	6800	7518	33,0
	5,0	21200	28750	7550	7375	35,6
	5,5	21800	29375	7575	7425	34,7
Середнє за варіантами підживлення	1	20400	26975	6575	7570	32,2
	2	20900	27950	7050	7486	33,6
	3	20900	27575	6675	7583	31,9
	4	21400	28575	7175	7507	33,4
Середнє		20900	27769	6869	7537	32,8