МОН УКРАЇНИ
УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
(УНУ)

Факультет агрономії
Кафедра агрохімії і ґрунтознавства

Допущено до захисту

«____» _____ 20__ р.

Зав. кафедри к. с.-г. н., доцент

_____ Олена ЧЕРНО

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ступеня вищої освіти магістр

ЕФЕКТИВНІСТЬ ПОЗАКОРЕНЕВИХ ПІДЖИВЛЕНЬ МАРГАНЦЕМ ЯЧМЕНЮ ЯРОГО В ПРАВОБЕРЕЖНОМУ ЛІСОСТЕПУ

Виконав: студент 2 курсу, групи 24 м-а
спеціальності 201 «Агрономія»
БАРАНОВСЬКИЙ Владислав Михайлович

Керівник: СТАСІНЄВИЧ Олександр

Умань – 2025

ЗМІСТ

ВСТУП …… 3
РОЗДІЛ 1. НАУКОВІ ОСНОВИ МІКРОЕЛЕМЕНТНОГО ЖИВЛЕННЯ ЯЧМЕНЮ ЯРОГО ТА РОЛЬ ПОЗАКОРЕНЕВИХ ПІДЖИВЛЕНЬ МАРГАНЦЕМ (огляд літератури)…… 6
1.1. Біологічні особливості ячменю ярого та його вимоги до умов мінерального живлення …….. 6
1.2. Мікроелементи в системі живлення зернових культур і роль марганцю …… 7
РОЗДІЛ 2. ОБ'ЄКТ ДОСЛІДЖЕННЯ (особливості сорту Гармонія)……. 10
2.1. Ботанічна та біологічна характеристика ячменю ярого…. 10
2.2. Господарсько-біологічна характеристика сорту ячменю ярого Кріссі…….. 12
РОЗДІЛ 3. УМОВИ ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ…. 14
3.1. Характеристика ґрунту під дослідом……. 14
3.2. Кліматичні та погодні умови в період проведення досліджень..... 14
3.3. Схема досліду та розміщення варіантів…… 19
3.4. Агротехнологія вирощування ячменю ярого в досліді.... 20
3.5. Програма досліджень і методика проведення обліків ….. 21
РОЗДІЛ 4. ФОРМУВАННЯ БІОМЕТРИЧНИХ ТА ФІЗІОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКИ ЯЧМЕНЮ ЗАЛЕЖНО ВІД ПОЗАКОРЕНЕВОГО ПІДЖИВЛЕННЯ МІКРОЕЛЕМЕНТАМИ……. 22
РОЗДІЛ 5. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ПОЗАКОРЕНЕВОГО ПІДЖИВЛЕННЯ ЯЧМЕНЮ ЯРОГО МІКРОЕЛЕМЕНТАМИ 43
РОЗДІЛ 6. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО ПРИРОДНОГО СЕРЕДОВИЩА……. 46
6.1. Охорона праці під час позакореневого внесення мікроелеементів у посівах ячменю ярого…….. 46
6.2. Вплив позакореневих підживлень мікродобривами на якість продукції та навколишнє природне середовище…… 49
ВИСНОВКИ…….. 52
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ…… 53
ДОДАТКИ……. 58

ВСТУП

Ячмінь ярий є однією з провідних зернових культур України, що відіграє важливу роль у формуванні продовольчого, кормового та експортного потенціалу держави. Його цінність зумовлена високою скоростиглістю, універсальністю використання зерна, доброю реакцією на удобрення та відносною стійкістю до несприятливих умов довкілля [1]. Водночас стабільність і рівень урожайності ячменю ярого значною мірою залежать від забезпеченості рослин елементами живлення, у тому числі мікроелементами, серед яких особливе місце займає марганець [2].

Чорноземи опідзолені Правобережного Лісостепу України, незважаючи на високий природний потенціал родючості, нерідко характеризуються обмеженою доступністю марганцю для рослин унаслідок нейтральної або близької до нейтральної реакції ґрунтового розчину, високого вмісту органічної речовини та кальцію [3]. За таких умов ефективність ґрунтового надходження марганцю різко знижується, що зумовлює необхідність застосування позакореневих підживлень як найбільш оперативного способу корекції мікроелементного живлення рослин.

Марганець є важливим структурним і функціональним компонентом ферментативних систем, бере активну участь у процесах фотосинтезу, дихання, синтезу хлорофілу, засвоєння азоту, а також у формуванні стійкості рослин до стресових факторів. Його дефіцит у критичні фази органогенезу ячменю ярого призводить до зниження інтенсивності фотосинтетичних процесів, пригнічення росту, зрідження посівів, погіршення структури врожаю та зменшення маси 1000 зерен [1, 4].

Актуальність даної теми зумовлена також сучасними тенденціями ресурсозбереження, екологізації землеробства та підвищення ефективності удобрення, які передбачають не лише оптимізацію доз макроелементів, а й цілеспрямоване коригування мікроелементного живлення з урахуванням ґрунтово-кліматичних умов вирощування культури [2]. Позакореневі

підживлення марганцем належать до маловитратних, технологічно простих та водночас високоефективних агрозаходів, здатних істотно підвищити продуктивність ячменю ярого без додаткового антропогенного навантаження на ґрунт.

Попри наявність значної кількості наукових досліджень щодо ролі мікроелементів у живленні зернових культур, питання ефективності позакореневих підживлень ячменю ярого марганцем у специфічних умовах чорноземів опідзолених Правобережного Лісостепу залишається недостатньо вивченим, що й зумовлює наукову та практичну доцільність проведення даних досліджень [3, 4].

Метою досліджень було встановити ефективність позакореневих підживлень марганцем у технології вирощування ячменю ярого на чорноземі опідзоленому Правобережного Лісостепу України та визначити їх вплив на ріст, розвиток, елементи структури врожаю й рівень урожайності культури.

Для досягнення поставленої мети передбачалося виконання таких завдань: проаналізувати сучасні наукові джерела щодо ролі марганцю в живленні ячменю ярого; дати характеристику ґрунтово-кліматичних умов та об’єкта досліджень; встановити вплив позакореневих підживлень марганцем на ріст і розвиток рослин ячменю ярого; визначити вплив марганцю на формування елементів структури врожаю; оцінити врожайність зерна залежно від застосування марганцевих підживлень; провести статистичну, економічну та енергетичну оцінку ефективності досліджуваного агрозаходу; розробити практичні рекомендації для виробництва.

Наукова новизна. Вперше на чорноземі опідзоленому Уманського національного університету встановлено закономірності впливу позакореневих підживлень марганцем на формування елементів структури врожаю та продуктивність ячменю ярого сорту Кріссі з урахуванням попередника — буряка цукрового у 10-пільній польовій сівозміні.

Практичне значення. Результати досліджень можуть бути використані у виробничих умовах господарств Правобережного Лісостепу з метою:

- підвищення урожайності ячменю ярого;
- оптимізації мікроелементного живлення;
- зниження собівартості виробництва зерна;
- підвищення економічної та енергетичної ефективності технології вирощування культури.

Апробація результатів досліджень. Основні результати досліджень були апробовані на наукових семінарах кафедри агрохімії і грунтознавства Уманського НУ, а також оприлюднені у матеріалах студентських науково-практичних конференцій.

РОЗДІЛ 1

НАУКОВІ ОСНОВИ МІКРОЕЛЕМЕНТНОГО ЖИВЛЕННЯ ЯЧМЕНЮ ЯРОГО ТА РОЛЬ ПОЗАКОРЕНЕВИХ ПІДЖИВЛЕНЬ МАРГАНЦЕМ

(огляд літератури)

1.1. Біологічні особливості ячменю ярого та його вимоги до умов мінерального живлення

Ячмінь ярий (*Hordeum vulgare L.*) є однією з провідних зернових культур України, яка широко використовується у продовольстві, кормовиробництві та переробній промисловості. Він характеризується коротким вегетаційним періодом, високою скоростиглістю, пластичністю до умов вирощування та здатністю формувати стабільну врожайність у різних ґрунтово-кліматичних зонах [5–7].

За даними В. В. Романюка [5], потенціал продуктивності сучасних сортів ячменю ярого у Правобережному Лісостепу може перевищувати 6,0–7,0 т/га, однак реалізація цього потенціалу можлива лише за умов оптимізованого мінерального живлення. Панчишин В. З. [6] зазначає, що сортові особливості істотно впливають на реакцію культури на підживлення та елементи живлення. Кравченко В. С. [7] встановив, що врожайність ячменю ярого безпосередньо корелює з рівнем забезпечення ґрунту доступними формами азоту, фосфору та калію.

Ячмінь ярий є чутливим до умов живлення у фазах кущення — виходу в трубку — колосіння. Найбільше засвоєння азоту припадає на період інтенсивного наростання вегетативної маси. Фосфор відіграє ключову роль у розвитку кореневої системи та формуванні генеративних органів, а калій підвищує посухостійкість і зменшує ризик вилягання [8–11].

Важливе значення у мінеральному живленні ячменю ярого мають мікроелементи, зокрема марганець, бор, мідь і цинк. Кравченко М. М. та Лісовий М. В. [12] довели, що мікроелементи підвищують ефективність

використання макроелементів на 12–18 %. Шувар І. А. і Корпіта Г. М. [13] зазначають, що дефіцит марганцю порушує синтез хлорофілу та фотосинтетичну діяльність рослин.

Системи мінерального удобрення є визначальним чинником регулювання рівня продуктивності посівів ячменю ярого. За результатами досліджень Іщенка В. А. [14], застосування мінеральних добрив після різних попередників сприяло підвищенню врожайності зерна на 0,8–1,5 т/га порівняно з неудобреним фоном.

Вега Н. [15] встановила, що поєднання основного мінерального удобрення з позакореневим підживленням забезпечує істотний приріст врожайності у Західному Лісостепу — до 18–22 %.

За результатами багаторічних досліджень Щерби М. М. та співавторів [16], застосування доз мінеральних добрив N60P60K60 у короткоротаційних сівозмінах сприяє не лише зростанню врожайності, а й підвищенню вмісту білка у зерні.

Цилюрик О. І. та Шапка В. П. [17] встановили, що на фоні оптимального обробітку ґрунту ефективність удобрення ячменю ярого зростає на 16–21 %.

Маслійов С. В. та ін. [18] довели, що різні форми азотного живлення по-різному впливають на динаміку ростових процесів і формування продуктивного стеблостою.

Загалом, більшість дослідників сходяться на думці, що оптимальне співвідношення азоту, фосфору і калію є ключовою умовою реалізації потенціалу ячменю ярого [8, 9, 11, 19, 20].

1.2. Мікроелементи в системі живлення зернових культур і роль марганцю

Мікроелементи у системі живлення ячменю ярого мають важливе фізіолого-біохімічне значення. Марганець бере участь у фотосинтезі, синтезі білків, вуглеводному обміні та активації ферментних систем [12, 13].

За даними Господаренка Г. М. [8], у більшості ґрунтів Лісостепу України доступність марганцю значною мірою залежить від реакції середовища та вмісту гумусу.

Медведєв В. В. і Пліско І. В. [26] вказують, що поєднання макро- та мікродобрив забезпечує стабілізацію родючості ґрунтів та підвищення коефіцієнта використання поживних речовин.

Позакореневе підживлення є ефективним агротехнічним прийомом оперативного коригування мінерального живлення рослин. П’ятенко Д. О. [121] встановив, що застосування мікродобрив у фазі виходу в трубку підвищує врожайність ячменю ярого на 9–14 %.

Паламарчук В. В. [22] довів, що позакореневі підживлення позитивно впливають на крупність зерна та масу 1000 зерен.

Панчишин В. З. [6] показав, що реакція сортів ячменю на підживлення є істотно диференційованою, що зумовлює потребу у сортоспецифічних схемах живлення.

Формування структури врожаю ячменю ярого залежить від кількості продуктивних стебел, довжини колоса, кількості зерен у колосі та маси 1000 зерен. Іщенко В. А. [14] встановив, що мінеральне удобрення підвищує густоту продуктивного стеблостою на 14–22 %.

За даними Щерби М. М. та ін. [16], поліпшення живлення сприяє зростанню маси зерна з колоса та підвищенню вирівняності зернівок.

Якість зерна ячменю ярого визначається вмістом білка, крупністю, склоподібністю та вмістом крохмалю. Романюк В. В. [5] встановив, що інтенсифікація удобрення підвищує вміст білка на 1,2–1,8 %.

Кузьменко Н. В. [23] довела, що удобрення також позитивно впливає на фітосанітарний стан посівів, зменшуючи втрати врожаю від шкідників.

Ефективність удобрення ячменю ярого значною мірою залежить від попередників та системи обробітку ґрунту. Кирилюк В. П. та ін. [24] встановили, що при оптимальному обробітку ґрунту ефективність добрив зростає на 18–25 %.

Цвей Ю. П. та Іщенко В. А. [27] довели, що розміщення ячменю після просапних культур суттєво підвищує окупність мінеральних добрив.

Сайко В. Ф. [25] та Наджгірняк О. В. [11] наголошують, що застосування оптимізованих систем удобрення забезпечує не лише приріст урожайності, а й підвищення рентабельності виробництва.

Бойко П. І. та Літвінов Д. В. [30] підкреслюють, що раціональні сівозміни у поєднанні з удобренням є основою екологічно безпечного землеробства.

Аналіз літературних джерел свідчить, що питання мінерального живлення та удобрення ячменю ярого в Україні вивчене досить ґрунтовно. Докладно досліджено вплив макроелементів, форм азоту, строків та способів внесення добрив на врожайність і якість зерна.

Водночас ефективність саме позакореневого підживлення марганцем на чорноземах опідзолених Правобережного Лісостепу залишається недостатньо вивченою**,** особливо з урахуванням сучасних сортів, кліматичних змін і рівня техногенного навантаження.

У зв’язку з цим проведення досліджень на базі ННВВ Уманського НУ є науково обґрунтованим, актуальним та практично значущим**.**

РОЗДІЛ 2
ОБ'ЄКТ ДОСЛІДЖЕНЬ

Об'єктом досліджень у даній кваліфікаційній роботі є посіви ячменю ярого сорту Кріссі, які вирощувалися в умовах навчально-науково-виробничого відділу (ННВВ) Уманського національного університету в зоні Правобережного Лісостепу України.

Предметом досліджень є процеси росту, розвитку та формування продуктивності ячменю ярого під впливом позакореневих підживлень марганцем.

2.1. Ботанічна та біологічна характеристика ячменю ярого

Ячмінь ярий (*Hordeum vulgare L.*) належить до родини тонконогових (Poaceae), роду *Hordeum*. Це одна з найдавніших культурних рослин, яку людина використовує понад 10 тис. років. У сучасному землеробстві України ячмінь ярий має важливе продовольче, кормове та технічне значення і використовується для виробництва комбікормів, круп, солоду та пивоварної продукції [19, 35].

За морфологічною будовою ячмінь ярий є однорічною трав'янистою рослиною з мичкуватою кореневою системою**.** Коріння проникає у ґрунт на глибину 100–120 см, однак основна маса розміщується в орному шарі до 30–40 см, що зумовлює високу чутливість культури до забезпеченості вологою та елементами мінерального живлення у верхніх горизонтах ґрунту [35].

Стебло ячменю ярого — соломина, порожниста, розділена на 5–7 міжвузлів, висотою в середньому 60–90 см. Сила росту та висота рослин суттєво залежать від сортових особливостей, погодних умов вегетаційного періоду, рівня мінерального живлення.

Листки — лінійні, з добре розвинутими вушками та язичком, зеленого або світло-зеленого забарвлення. Саме листкова поверхня є головним органом

фотосинтезу, тому її розвиток безпосередньо впливає на формування врожаю [19].

Суцвіття — колос, який за будовою може бути дворядним, шестирядним і проміжним.

У виробництві найбільш поширені дворядні форми, що характеризуються кращою вирівняністю зерна та вищими пивоварними якостями. Озерненість колоса становить у середньому 18–30 зерен [35].

Плід — зернівка, плівчаста, рідше голозерна. Маса 1000 зерен варіює в межах 38–52 г залежно від сорту та умов вирощування.

Ячмінь ярий належить до ранніх ярих культур, характеризується:

- коротким вегетаційним періодом — 75–110 діб;
- швидкими темпами початкового росту;
- підвищеною холодостійкістю на ранніх етапах органогенезу.

Насіння починає проростати вже за температури +1…+3 °С, а сходи здатні витримувати короткочасні заморозки до –5 °С [19].

Найвищі вимоги до температури ячмінь ярий проявляє у фазах: виходу в трубку, колосіння, наливу зерна.

Оптимальна температура повітря в цей період становить 18–22 °С.

Ячмінь ярий належить до культур помірно посухостійких, однак найбільш критичними до нестачі вологи є фази: кущіння, виходу в трубку, формування зернівки.

Недостатнє зволоження ґрунту в ці періоди призводить до зменшення кількості продуктивних стебел, скорочення зернин у колосі, зниження маси 1000 зерен [35].

Ячмінь ярий характеризується високою інтенсивністю поглинання поживних речовин на початкових етапах росту. Для формування 1 т зерна з відповідною кількістю соломи рослини в середньому виносять із ґрунту: азоту — 25–30 кг, фосфору — 10–12 кг, калію — 20–25 кг.

Найбільші потреби в азоті спостерігаються у фазі кущення, фосфорі — у фазі розвитку кореневої системи, калії — у період наливу зерна [19].

Окрім макроелементів, важливу роль відіграють мікроелементи**,** особливо марганець, який активізує фотосинтез, регулює азотний обмін, підвищує стійкість рослин до стресових умов.

Врожайність ячменю ярого формується за рахунок таких елементів структури: кількість продуктивних стебел, кількість зерен у колосі, маса 1000 зерен.

Усі ці показники значною мірою залежать від погодних умов року, рівня мінерального живлення і застосування позакореневих підживлень [19, 35].

2.2. Господарсько-біологічна характеристика сорту ячменю ярого Кріссі

Сорт ячменю ярого Кріссі належить до інтенсивного типу використання, рекомендований для вирощування в умовах Лісостепу та Полісся України. За ботанічною класифікацією належить до виду *Hordeum vulgare L.*, різновид — *nutans*. Сорт формує добре вирівняні рослини середньої висоти з прямостоячим стеблом.

Основні господарсько-біологічні ознаки сорту Кріссі:

- група стиглості — середньостиглий;
- тривалість вегетаційного періоду — 85–100 діб;
- висота рослин — 65–85 см;
- тип кущіння — інтенсивний;
- форма колоса — дворядний;
- озерненість колоса — висока;
- маса 1000 зерен — 42–48 г;
- потенційна врожайність — 6,5–8,0 т/га.

Сорт характеризується:

- підвищеною стійкістю до вилягання, що є важливою ознакою для інтенсивних технологій вирощування;
- доброю адаптивністю до різних ґрунтово-кліматичних умов;

- відносною стійкістю до основних грибних хвороб, зокрема борошнистої роси та сітчастої плямистості;
- високою реакцією на покращення мінерального живлення.

Зерно сорту Кріссі відзначається доброю вирівняністю, високими посівними та технологічними показниками якості, що дає можливість використовувати його як у кормовому, так і у продовольчому напрямах.

Ярий ячмінь КВС Кріссі (KWS Krissi) — це високоврожайний, середньостиглий, дворядний сорт, розроблений німецькими селекціонерами компанії KWS SAAT SE & Co. KGaA. Він підходить як для пивоварних, так і для фуражних потреб.

Основні характеристики сорту КВС Кріссі:

- Призначення: пивоварний та фуражний.
- Врожайність: забезпечує стабільно високу врожайність.
- Якість зерна: має відмінні пивоварні якості, високий рівень калібрування зерна.
  - Стійкість: стійкий до вилягання та ламкості колосу, має підвищену стійкість до хвороб.
- Технологічність: сорт відрізняється технологічністю, втрати при збиранні мінімальні.
- Особливості: характеризується раннім колосінням і, як наслідок, раннім дозріванням.

Цей сорт добре адаптований для вирощування в різних регіонах України [36].

РОЗДІЛ 3
УМОВИ ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДУ

3.1. Характеристика ґрунту під дослідом

Польові дослідження проводилися на дослідному полі навчально-науково-виробничого відділу (ННВВ) Уманського національного університету, розташованого в зоні Правобережного Лісостепу України**.**

Ґрунтовий покрив дослідної ділянки представлений чорноземом опідзоленим середньосуглинковим**,** який є типовим для даного регіону. Потужність гумусового горизонту становить у середньому 30–40 см**.** Вміст гумусу в орному шарі перебуває в межах 3,0–3,5 %**.** Реакція ґрунтового розчину **—** слабокисла – близька до нейтральної (pH 5,8–6,6).

Забезпеченість ґрунту рухомими формами фосфору та калію — середня**,** азотом — обмежена, що є характерною ознакою опідзолених чорноземів. За вмістом мікроелементів, зокрема марганцю, ґрунти даного типу часто характеризуються потенційною недостатністю його засвоюваних форм, особливо за нейтральної реакції середовища.

Такі ґрунтові умови є сприятливими для дослідження ефективності позакореневих підживлень марганцем, оскільки дозволяють простежити його дію за умов обмеженої ґрунтової доступності.

3.2. Кліматичні та погодні умови в період проведення досліджень

Клімат зони Правобережного Лісостепу України — помірно континентальний, із теплим літом та помірно холодною зимою. Середньорічна кількість опадів становить 586 мм, з яких близько 65–70 % припадає на теплий період року.

Середньорічна температура повітря — +8,5…+9,5 °C, середня температура вегетаційного періоду — +16…+18 °C.

Для ячменю ярого найбільш важливими є погодні умови квітня–червня, коли відбуваються формування сходів, кущення, вихід у трубку, формування генеративних органів.

Погодні умови року (рис. 1-3) проведення досліду загалом були типовими для регіону, що забезпечило об’єктивність оцінки впливу позакореневого підживлення марганцем на ріст і продуктивність культури. Коливання температур та рівномірний розподіл опадів у критичні фази розвитку створили сприятливі умови для формування врожаю.

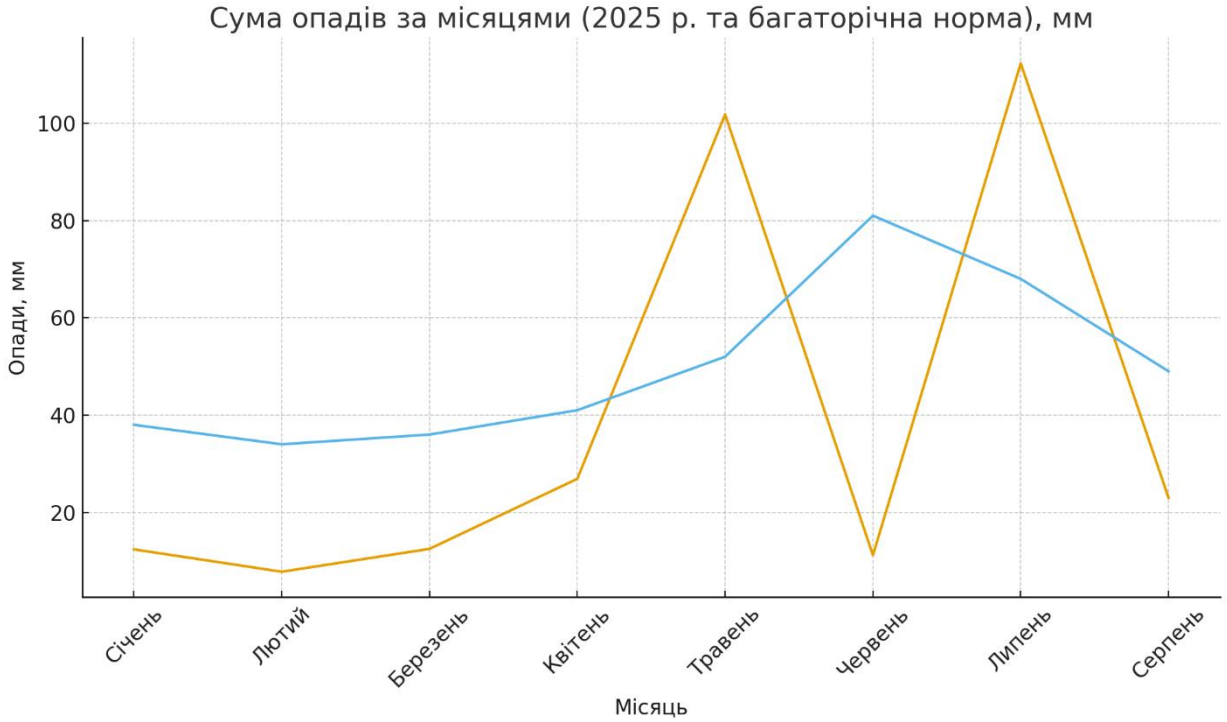


Рис. 1 Сума опадів за даними метеостанції Умань, мм

Погодні умови вегетаційного періоду 2025 року для ячменю ярого в зоні Правобережного Лісостепу України характеризувалися значною нерівномірністю розподілу опадів, що чітко простежується на побудованому графіку місячних сум опадів у порівнянні з багаторічною нормою.

Посів ячменю ярого, як правило, припадає на кінець березня — початок квітня. У березні 2025 року кількість опадів становила лише 12,5 мм, що майже утричі менше за середньобагаторічну норму (36 мм). Такий дефіцит вологи

негативно впливав на вологозабезпечення верхнього шару ґрунту, який є критично важливим для набубнявіння та проростання насіння.

У квітні сума опадів склала 26,9 мм, що також було нижче норми (41 мм). Таким чином, у період формування сходів ячмінь ярий розвивався в умовах помірного водного стресу, що могло призводити до зниження польової схожості, нерівномірності сходів, ослаблення первинної кореневої системи.

Водночас, відсутність надлишку вологи сприяла доброму повітрообміну ґрунту та активізації мікробіологічних процесів у верхньому шарі.

Фаза кущення є однією з найважливіших у формуванні майбутньої врожайності, оскільки саме в цей період закладається кількість продуктивних стебел.

У травні 2025 року сума опадів становила 101,8 мм, що майже вдвічі перевищило багаторічну норму (52 мм). Така кількість вологи забезпечила активний ріст вторинних пагонів, інтенсивне формування вузлових коренів, посилене засвоєння елементів мінерального живлення.

Водночас надмірні опади в окремі декади травня могли спричиняти перезволоження орного шару, що створювало ризики ущільнення ґрунту, тимчасового дефіциту кисню в ризосфері, зниження активності ґрунтової мікрофлори.

Проте загалом умови травня були сприятливими для кущення ячменю ярого та формування високого потенціалу продуктивного стеблостою.

Червень є критичним періодом для формування колоса, кількості квіток та потенційної озерненості. У 2025 році в червні випало лише 11,2 мм опадів, що є вкрай низьким показником порівняно з середньобагаторічною нормою 81 мм. Такий різкий дефіцит вологи у фазі виходу в трубку міг негативно позначитися на диференціації квіткових зачатків, довжині колоса, потенційній кількості зерен у колосі.

Саме в цей період проводилося позакореневе підживлення марганцем, яке за умов нестачі ґрунтової вологи набуває особливого значення, оскільки забезпечує швидке надходження мікроелемента безпосередньо через листкову

поверхню, підтримує фотосинтетичну активність, підвищує стійкість рослин до абіотичного стресу.

Липень 2025 року відзначався надзвичайно високою кількістю опадів — 112,3 мм, що істотно перевищило норму (68 мм). Такі умови були надзвичайно сприятливими для процесів наливу зерна, оскільки забезпечили інтенсивне транспортування асимілянтів до зернівки, формування великої маси 1000 зерен, нагромадження крохмалю.

Водночас надлишок вологи у поєднанні з підвищеними температурами створював потенційну небезпеку розвитку грибних захворювань, зниження фотосинтетичної активності за тривалої хмарності, часткового вилягання посівів.

Проте для озерненості та виповненості зернівки липневі опади відіграли переважно позитивну роль.

Погодні умови вегетаційного періоду 2025 року характеризувалися контрастністю водного режиму: дефіцит вологи навесні та в червні, надлишкове зволоження у травні та липні.

Така нестабільність могла обмежувати реалізацію біологічного потенціалу ячменю ярого, особливо у фазі формування генеративних органів. Водночас рясні опади в період наливу зерна частково компенсували негативний вплив посушливих періодів, сприяючи формуванню достатньої маси зернівки.

У цих умовах позакореневе підживлення марганцем набуває особливої агрономічної доцільності, оскільки дозволяє оперативно коригувати мінеральне живлення, підвищувати стійкість рослин до абіотичних стресів, стабілізувати процеси фотосинтезу та наливу зерна.

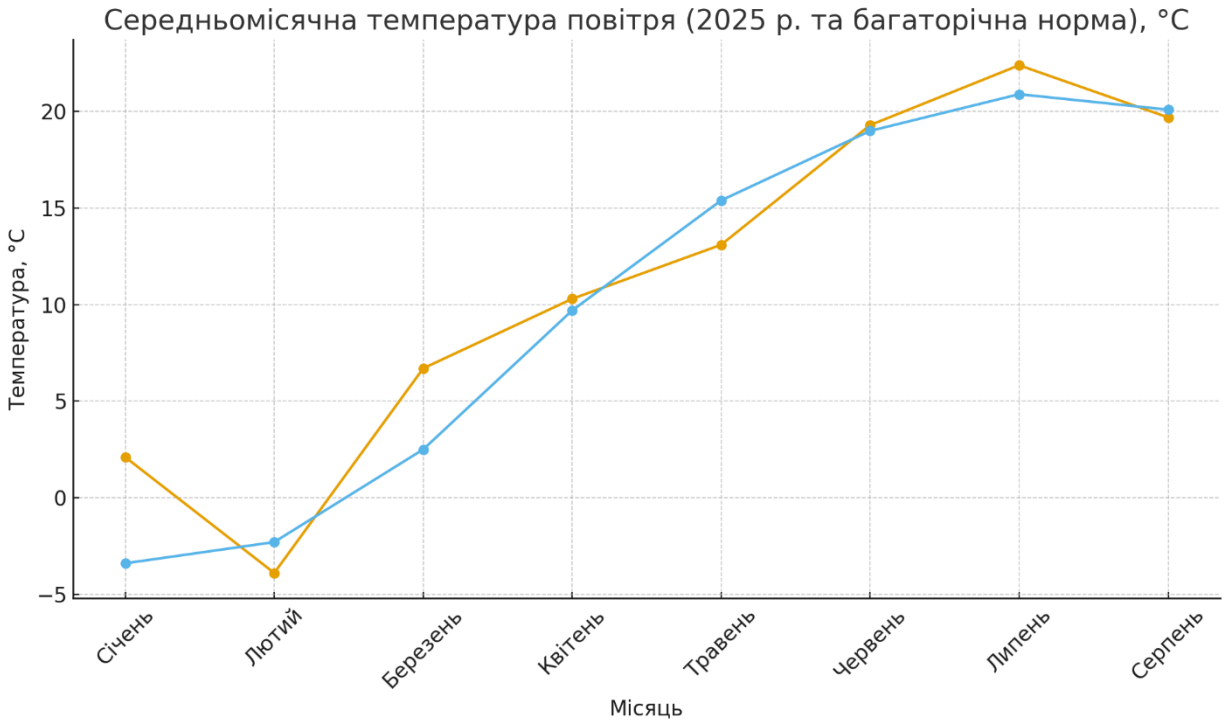


Рис. 2 Середньомісячна температура повітря за даними метеостанції Умань, ^{0}C

У березні 2025 року середня місячна температура становила 6,7 °C, що на 4,2 °C вище за багаторічну норму (2,5 °C). Таке раннє і стійке потепління сприяло швидкому достиганню ґрунту до фізичної стиглості, можливості проведення ранніх строків сівби, активізації мікробіологічних процесів у ґрунті. Підвищений температурний фон забезпечив сприятливі умови для проростання насіння та появи дружних сходів, за умови наявності вологи в верхньому шарі ґрунту.

У квітні середня температура повітря становила 10,3 °C, що дещо перевищувало багаторічний показник (9,7 °C). Такі умови є оптимальними для формування кореневої системи та початкового розвитку рослин ячменю ярого. Інтенсивність фотосинтезу у цей період перебувала на задовільному рівні, що сприяло формуванню листкової поверхні.

У травні 2025 року зафіксовано зниження середньомісячної температури до 13,1 °C, тоді як багаторічна норма становить 15,4 °C. Отже, травень характеризувався помірним температурним дефіцитом (–2,3 °C). Це могло

дещо уповільнювати темпи кущення, однак у поєднанні з достатнім зволоженням ґрунту створювало сприятливі умови для формування потужної кореневої системи та продуктивного стеблостою.

У червні середня температура повітря становила 19,3 °С, що практично відповідало багаторічній нормі (19,0 °С). Такий температурний режим є близьким до оптимального для проходження фаз виходу в трубку, формування колоса та цвітіння ячменю ярого. Таким чином, температурні умови червня були сприятливими для реалізації потенціалу озерненості колоса.

Липень 2025 року характеризувався підвищеним температурним режимом. Середньомісячна температура досягла 22,4 °С, що на 1,5 °С перевищувало багаторічну норму (20,9 °С). Такі умови є загалом сприятливими для процесів наливу зерна. В цілому температурний режим липня сприяв формуванню повноцінної й виповненої зернівки.

Отже, сума опадів та температурний фон 2025 року можна оцінити як загалом сприятливий для формування врожайності ячменю ярого, що дозволяє обґрунтовано інтерпретувати результати продуктивності культури у досліді з позакореневими підживленнями марганцем**.**

3.3. Схема досліду та розміщення варіантів

Тимчасовий дослід проводили за однофакторною схемою з вивченням впливу позакореневого підживлення марганцем на продуктивність ячменю ярого сорту Кріссі:

1. Без добрив – контроль;
2. $N_{50}P_{50}K_{50}$ – фон;
3. Фон + (Mn_1);
4. Фон + (Mn_1) + (Mn_2)

Примітки: (1) - позакореневе підживлення у фазу початку кущіння (II етап органогенезу ячменю ярого за шкалою Ф.М. Куперман);

(2) – позакореневе підживлення у фазу початку виходу в трубку (IV етап органогенезу ячменю ярого за Ф.М. Куперман).

Загальна площа дослідної ділянки − 72 м , облікова − 40 м. Повторення досліду триразове, розміщення варіантів послідовне.

3.4. Агротехнологія вирощування ячменю ярого в досліді

Агротехніка вирощування ячменю ярого була загальноприйнятою для Правобережного Лісостепу України. Вирощували ячмінь ярий сорту Кріссі зернового напряму використання, попередником якого був буряк цукровий. Після його збирання проводили основний обробіток ґрунту шляхом оранки на глибину 25–27 см.

Норма висіву насіння 4,5 млн. шт./га. В досліді для створення оптимального агрофону з мінеральних добрив використовували аміачну селітру (34%) (ГОСТ 2-85), суперфосфат гранульований (19,5%) (ГОСТ 5956-78), калій хлористий (60%) (ГОСТ 4568-95), які вносили восени під зяблевий обробіток ґрунту.

Навесні виконували ранньовесняне боронування, передпосівну культивацію на глибину 6–8 см.

Сівбу ячменю ярого сорту Кріссі проводили у ранні строки, коли ґрунт досяг фізичної стиглості. Норма висіву − 4,0–4,5 млн схожих насінин на 1 га. Спосіб сівби − рядковий. Глибина загортання насіння 4–5 см.

Позакореневі підживлення згідно схеми досліду проводили хелатом марганцю виробництва компанії «Реаком», доза кожного добрива в одне підживлення становила 2,0 л/га відповідно схеми досліду. Хелатуючий агент − етилендіамінтетраоцтова кислота (ЕДТА). Вміст марганцю − 40 г/л. На контрольній і фоновій ділянках обробку посівів проводили лише водою із розрахунку 250 л/га.

Збирання врожаю здійснювали комбайновим способом у фазі повної стиглості зерна.

Площа посівної ділянки – 60 м², облікової − 40 м². Повторність досліду − триразова. Розміщення варіантів − послідовне.

Схема досліду передбачає рівномірний розподіл варіантів у кожному повторенні для мінімізації впливу ґрунтової строкатості.

3.5. Програма досліджень і методика проведення обліків

Збирання врожаю ячменю ярого проводили поділяночно методом прямого комбайнування. Урожайність соломи визначали методом пробного снопа. Визначення структури врожаю проводили за методом Майсуряна. Здатність зерна до проростання визначали за ГОСТ 10968-88, масу 1000 зерен - за ГОСТ 10842-89 [96], натуру зерна - за ГОСТ 10840-64 [37], вміст білка - методом інфрачервоної спектроскопії на приладі Infratek 1225 за ДСТУ 4117:29 [38], вміст крохмалю -поляриметрично - за ГОСТ 10840-76 [39].

Статистичну обробку результатів проводили методом дисперсійного аналізу з визначенням середніх значень, стандартних відхилень, $НІР_{05}$ для оцінки істотності різниці між варіантами.

РОЗДІЛ 4
ФОРМУВАННЯ БІОМЕТРИЧНИХ ТА ФІЗІОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКИ ЯЧМЕНЮ ЗАЛЕЖНО ВІД ПОЗАКОРЕНЕВОГО ПІДЖИВЛЕННЯ МІКРОЕЛЕМЕНТАМИ

Густота рослин є одним із найважливіших показників, що визначає рівень продуктивності посівів ячменю ярого, оскільки саме вона формує потенціал продуктивного стеблостою та безпосередньо впливає на рівень урожайності. Впродовж вегетації густота змінюється під впливом як погодних умов, так і особливостей мінерального та позакореневого живлення. У зв'язку з цим особливу наукову цінність має аналіз динаміки виживання рослин ячменю ярого за різних варіантів удобрення та застосування мікродобрив упродовж основних фаз росту і розвитку.

Таблиця 1

Вплив мікродобрив на густоту рослин ячменю ярого (2025 р.), шт./м

Варіант досліду	Фаза росту і розвитку рослин				Загальне виживання, %
	Сходи	Кущіння	Вихід у трубку	Повна стиглість	
Без добрив - контроль	287	270	244	201	69
$N_{50}P_{50}K_{50}$ - фон	326	301	282	245	74
Фон + $(Mn)_1$	329	315	303	258	78
Фон + $(Mn)_1$ + $(Mn)_2$	320	306	296	262	82

Як свідчать дані таблиці 1, найменша густота рослин у всі фази вегетації спостерігалася на контрольному варіанті без внесення добрив. У фазі сходів густота становила 287 шт./м², у фазі кущіння — 270 шт./м², на виході в трубку — 244 шт./м², а у фазі повної стиглості — лише 201 шт./м². Загальне виживання рослин на цьому варіанті становило 69 %, що є найнижчим показником серед усіх досліджуваних варіантів. Це свідчить про обмежений

рівень мінерального живлення та знижену життєстійкість рослин упродовж вегетації.

Внесення лише мінеральних добрив у дозі N50P50K50 (фон) забезпечило істотне покращення густоти рослин у всі фази розвитку. У фазі сходів густота зросла до 326 шт./м², що на 39 шт./м² більше порівняно з контролем. У фазі кущіння різниця з контролем становила вже +31 шт./м², на виході в трубку +38 шт./м², а у фазі повної стиглості +44 шт./м². Загальне виживання рослин на цьому варіанті зросло до 74 %, тобто на 5 % більше, ніж на контролі. Це підтверджує фундаментальну роль мінерального живлення у підтриманні життєздатності посівів.

Застосування мікродобрив на фоні $N_{50}P_{50}K_{50}$ (Фон + (Мп)1) забезпечило подальше зростання густоти рослин у всі фази розвитку ячменю ярого. У фазі сходів густота досягла 329 шт./м², що на 43 шт./м² більше контрольного варіанта та на 4 шт./м² більше, ніж на фоні без мікродобрив. У фазі кущіння густота становила 315 шт./м², що на 45 шт./м² перевищувало контроль. На виході в трубку показник досяг 303 шт./м², а у фазі повної стиглості — 258 шт./м², що на 57 шт./м² більше, ніж на варіанті без добрив. Загальне виживання рослин за цього варіанта становило 78 %, що свідчить про істотне підвищення стійкості рослин під впливом мікроелементного живлення.

Найвищі показники густоти та виживання рослин зафіксовано за комплексного застосування двох мікродобрив — Фон + (Мп)1 + (Мп)2. У фазі сходів густота становила 320 шт./м², що дещо поступалося варіанту з одним мікродобривом, однак у подальші фази розвитку відмічалося стабільніше збереження рослин. У фазі кущіння густота дорівнювала 306 шт./м², на виході в трубку − 296 шт./м², а у фазі повної стиглості − 262 шт./м², що є найвищим показником серед усіх досліджуваних варіантів. Загальне виживання рослин на цьому варіанті досягло 82 %.

Отримані результати переконливо свідчать, що застосування мікродобрив на фоні мінерального живлення істотно підвищує стійкість рослин ячменю ярого упродовж усього вегетаційного періоду. Особливо

важливим є той факт, що різниця між варіантами поступово зростає від фази сходів до повної стиглості, що вказує на пролонговану захисно-стимулюючу дію мікроелементів.

Особливо цінним є те, що максимальне виживання (82 %) забезпечила саме комбінована дія двох підживлень мікродобривами, що свідчить про доцільність комплексного мікроелементного підживлення ячменю ярого в інтенсивних технологіях вирощування.

Ефективність мінерального живлення та застосування мікродобрив у технології вирощування ячменю ярого безпосередньо проявляється через інтенсивність формування сухої речовини на різних етапах органогенезу. Саме цей показник найбільш повно відображає потенціал ростових процесів, рівень фотосинтетичної діяльності рослин та їхню здатність формувати врожай. Динаміка накопичення сухої речовини за фазами розвитку дозволяє встановити вплив базового живлення NPK та позакореневого внесення марганцю на загальну продуктивність агроценозу ячменю ярого. Дані, наведені у таблиці, демонструють істотні відмінності між варіантами та чітко окреслюють приріст біомаси під дією специфічних факторів живлення (таблиця 2).

Таблиця 2

Динаміка накопичення сухої речовини рослинами ячменю ярого (2025 р.), т/га

Варіант досліду	Фаза росту і розвитку рослин				
	Кущіння	Вихід у трубку	Колосіння	Повна стиглість	
				Солома	Зерно
Без добрив - контроль	0,72	1,23	4,72	2,51	2,54
$N_{50}P_{50}K_{50}$ - фон	0,98	1,84	7,12	3,83	3,82
Фон + $(Mn)_1$	1,13	2,27	8,30	4,71	4,28
Фон + $(Mn)_1$ + $(Mn)_2$	1,14	2,34	8,74	4,69	4,36

У фазі кущення накопичення сухої речовини мало низькі значення у всіх варіантах, що відповідає біологічним особливостям культури, яка на ранніх етапах росту розвиває переважно вегетативні органи та кореневу систему. На контролі без добрив показник становив 0,72 т/га.

Застосування фонового удобрення $N_{50}P_{50}K_{50}$ забезпечило суттєве збільшення накопичення сухої речовини — до 0,98 т/га, тобто на 36 % більше порівняно з контролем. Це свідчить про активізацію ростових процесів за умов покращеного азотного та фосфорно-калійного живлення.

Позакореневе внесення марганцю забезпечило додатковий приріст: варіант Фон + $(Mn)_1$ досяг 1,13 т/га, а Фон + $(Mn)_1$ + $(Mn)_2$ — 1,14 т/га. Приріст відносно контролю сягає 57–58 %, а відносно фону — 15–16 %, що свідчить про суттєве значення марганцю у активації фотосинтезу в стартові фази вегетації.

У цій ключовій фазі, коли рослина формує стебло та закладає генеративні органи, інтенсивність накопичення сухої речовини значно зростає. Контрольний варіант забезпечив 1,23 т/га.

На фоні NPK цей показник збільшився до 1,84 т/га, тобто на 49 %. Застосування марганцю посилило ріст: 2,27 т/га у варіанті $(Mn)_1$ та 2,34 т/га у подвійній обробці, що відповідно на 85 % і 90 % перевищує контроль. Така динаміка підтверджує підвищення активності ферментативних процесів і покращення засвоєння азоту під впливом марганцю, який є ключовим мікроелементом у фотосинтетичному апараті.

Ця фаза характеризується максимальним приростом біомаси, що пов’язано з високою активністю фотосинтезу. У контролі значення становило 4,72 т/га, що є типовим рівнем для умов середньої забезпеченості елементами живлення.

На фоні NPK накопичення сухої речовини різко збільшилося до 7,12 т/га, тобто на 51 % порівняно з контролем. Підживлення марганцем підсилювало цей ефект: 8,30 т/га у варіанті $(Mn)_1$ та 8,74 т/га при комбінованому внесенні.

Таким чином, сумарний приріст становив 76–85 % відносно контролю. Це свідчить про значне покращення продуктивної здатності посіву, зумовленої підсиленням як асиміляційної поверхні, так і інтенсивності обміну речовин.

Накопичення сухої речовини соломи в кінці вегетаційного періоду також відображає інтенсивність росту вегетативної маси. Контрольний варіант забезпечив 2,51 т/га.

Фон $N_{50}P_{50}K_{50}$ підвищив цей показник до 3,83 т/га, а позакореневе внесення марганцю — до 4,71 т/га та 4,69 т/га відповідно. Таким чином, максимальний ефект зареєстровано у варіанті з одноразовим внесенням марганцю $(Mn)_1$. Збільшення накопичення сухої речовини соломи на 87 % у порівнянні з контролем свідчить про краще забезпечення потреб у поживних елементах та оптимізацію їхнього використання рослинами.

Формування сухої речовини зерна є ключовим показником, що визначає врожайність культури. На контролі утворилося 2,54 т/га сухої речовини зерна.

На фоні $N_{50}P_{50}K_{50}$ значення становило 3,82 т/га, що на 50 % більше за контроль. Варіант Фон + $(Mn)_1$ забезпечив 4,28 т/га, а Фон + $(Mn)_1$ + $(Mn)_2$ — 4,36 т/га. Приріст маси сухої речовини зерна становив +68–72 % відносно контролю.

Марганець позитивно вплинув на активність ферментів фотосинтезу, синтез вуглеводів, швидкість транспорту асимілянтів до зернівки, рівень виповненості зерна.

Позакореневі підживлення марганцем суттєво посилили процеси нагромадження сухої речовини у зерні, забезпечивши перевагу над фоновим варіантом $N_{50}P_{50}K_{50}$ на 12–14 %.

Отже, динаміка накопичення сухої речовини свідчить про чітку залежність інтенсивності ростових процесів від системи живлення. Застосування мінеральних добрив NPK значно підвищувало утворення біомаси у всіх фазах вегетації, проте найбільш вагомий ефект забезпечили позакореневі підживлення марганцем. На фоні мінерального живлення марганець сприяв прискоренню росту, збільшенню асиміляційної поверхні,

посиленню фотосинтезу та активнішому нагромадженню сухої речовини у соломі та зерні. У результаті варіант Фон + $(Mn)_1$ + $(Mn)_2$ показав максимальні значення у фазах виходу в трубку, колосіння та при формуванні урожаю, підтверджуючи ефективність комплексного застосування мікродобрив у технології вирощування ячменю ярого.

Висота рослин є важливим біометричним показником, що відображає інтенсивність ростових процесів, рівень забезпечення рослин елементами живлення та загальний стан агроценозу. Вона тісно пов’язана з розвитком листкової поверхні, інтенсивністю фотосинтезу та формуванням продуктивного стеблостою. Зміни висоти рослин ячменю ярого під впливом мінерального живлення та позакореневого внесення марганцю дозволяють оцінити реакцію культури на досліджувані агротехнічні прийоми на різних етапах онтогенезу (таблиця 3).

Таблиця 3

Вплив мікродобрив на висоту рослин ячменю ярого (2025 р.), см

Варіант досліду	Фаза росту і розвитку рослин			
	Кущіння	Вихід у трубку	Колосіння	Повна стиглість
Без добрив - контроль	23	52	74	88
$N_{50}P_{50}K_{50}$ - фон	28	71	81	97
Фон + $(Mn)_1$	30	76	87	102
Фон + $(Mn)_1$ + $(Mn)_2$	29	78	86	105

У фазі кущіння найменшу висоту рослин відмічено на контрольному варіанті без добрив − 23 см, що свідчить про обмежений рівень живлення та помірні темпи початкового росту.

На фоні внесення мінеральних добрив $N_{50}P_{50}K_{50}$ висота рослин зросла до 28 см, тобто на 5 см або 22 % порівняно з контролем. Це підтверджує

активізуючу роль азотного та фосфорно-калійного живлення у формуванні вегетативної маси на ранніх етапах розвитку.

Додаткове застосування марганцю ще більше посилило ріст рослин. У варіанті Фон + $(Mn)_1$ висота становила 30 см, що на 7 см більше, ніж у контролі, а у варіанті Фон + $(Mn)_1$ + $(Mn)_2$ — 29 см. Таким чином, марганець у поєднанні з мінеральним живленням забезпечував додатковий приріст висоти на 1–2 см відносно фону, що є наслідком посилення фотосинтетичних процесів та активізації ферментативних систем рослин.

У фазі виходу в трубку відбулося різке зростання висоти рослин у всіх варіантах, що є біологічно закономірним, адже в цей період інтенсивно видовжується міжвузля стебла.

На контролі висота ячменю ярого становила 52 см**.** Застосування NPK підвищило цей показник до 71 см, тобто на 19 см або 37 %. Це свідчить про суттєвий вплив мінерального живлення на інтенсивність стеблоутворення.

Позакореневе підживлення марганцем значно посилило цей ефект: Фон + $(Mn)_1$ − 76 см, Фон + $(Mn)_1$ + $(Mn)_2$ − 78 см.

Отже, внесення марганцю забезпечило додатковий приріст висоти рослин на 5–7 см у порівнянні з фоновим варіантом та на 24–26 см відносно контролю. Це свідчить про істотне посилення ростових процесів у критичну для формування врожайності фазу.

У фазі колосіння ріст рослин продовжувався, проте його інтенсивність поступово знижувалася. Найменша висота рослин залишалася на контролі − 74 см.

На фоні NPK висота зросла до 81 см, що на 7 см перевищувало контроль. При застосуванні марганцю показники були ще вищими: Фон + $(Mn)_1$ − 87 см, Фон + $(Mn)_1$ + $(Mn)_2$ − 86 см.

Таким чином, марганець забезпечив приріст висоти рослин у цій фазі на 5–6 см відносно фону та на 12–13 см порівняно з варіантом без добрив. Це підтверджує його позитивний вплив на активність фотосинтезу, синтез білків та енергетичний обмін у рослинах.

У фазі повної стиглості остаточно сформувалася висота рослин, що є інтегральним показником сумарної дії факторів живлення протягом усього вегетаційного періоду.

На контролі висота рослин становила 88 см. Внесення $N_{50}P_{50}K_{50}$ підвищило її до 97 см, що на 9 см більше, ніж без добрив.

Найвищі рослини сформувалися у варіантах із застосуванням марганцю: Фон + $(Mn)_1$ − 102 см**,** Фон + $(Mn)_1$ + $(Mn)_2$ − 105 см**.**

Таким чином, комбіноване внесення двох форм марганцю забезпечило максимальний приріст висоти − на 17 см (19 %) порівняно з контролем і на 8 см відносно фону. Отримані дані свідчать про тривалу пролонговану дію мікроелемента на фізіологічні процеси росту впродовж усього періоду вегетації.

Отже, результати досліджень свідчать, що висота рослин ячменю ярого істотно залежала від системи живлення. Мінеральні добрива $N_{50}P_{50}K_{50}$ забезпечували значне посилення росту в усі фази розвитку, однак застосування марганцю на цьому фоні сприяло додатковому стимулюванню стеблоутворення. Найвищі показники висоти рослин у всі фази, зокрема у фазі повної стиглості, зафіксовано у варіанті Фон + $(Mn)_1$ + $(Mn)_2$, що підтверджує доцільність комплексного використання макро- і мікродобрив у технології вирощування ячменю ярого. Збільшення висоти рослин під впливом марганцю є важливою передумовою для формування більшої асиміляційної поверхні та, відповідно, вищої продуктивності посівів.

Густота стеблостою та коефіцієнт кущіння належать до ключових показників, що формують продуктивність ячменю ярого, оскільки саме вони визначають потенційну кількість колосків на одиниці площі. Ці показники інтегрують у собі дію погодних умов, забезпеченість рослин елементами живлення та ефективність застосованих агротехнічних заходів. Особливо важливим є співвідношення загального і продуктивного стеблостою, оскільки лише продуктивні стебла беруть безпосередню участь у формуванні врожаю зерна. Дані таблиці 4 дозволяють об’єктивно оцінити вплив фону

мінерального живлення та позакореневого внесення марганцю на процеси кущіння і формування стеблостою ячменю ярого у 2025 році.

Таблиця 4

Вплив мікродобрив на густоту стеблостою і кущистість ячменю ярого, 2025 р.

Варіант досліду	Кількість стебел у кінці вегетації, шт./м^2		Коефіцієнт кущіння	
	загальна	продуктивних	загальний	продуктивний
Без добрив − контроль	383	297	1,8	1,4
$N_{5O}P_{50}K_{50}$ - фон	581	492	2,2	1,8
Фон + $(Mn)_1$	649	597	2,4	2,2
Фон + $(Mn)_1$ + $(Mn)_2$	688	635	2,5	2,3

У варіанті без добрив (контроль) кількість загальних стебел у кінці вегетації становила 383 шт./м². Такий рівень густоти свідчить про обмежений потенціал кущіння за умов природної родючості ґрунту без додаткового мінерального живлення.

Застосування фонової дози $N_{50}P_{50}K_{50}$ суттєво підвищило цей показник — до 581 шт./м², що на 198 шт./м² (52 %) більше, ніж на контролі. Це чітко відображає стимулюючий вплив макроелементів, насамперед азоту, на формування вторинних пагонів.

Позакореневе внесення марганцю на фоні NPK забезпечило ще більший приріст густоти у варіанті Фон + $(Mn)_1$ сформувалося 649 шт./м², у варіанті Фон + $(Mn)_1$ + $(Mn)_2$ — 688 шт./м².

Таким чином, додатковий ефект від марганцю відносно фону становив 68–107 шт./м², а відносно контролю − 266–305 шт./м² (69–80 %). Це свідчить про активну участь марганцю у регуляції росту бічних пагонів та інтенсифікації метаболічних процесів.

Найважливішим показником, що безпосередньо визначає урожайність, є кількість продуктивних стебел. На контролі вона становила лише 297 шт./м², що обмежує потенціал формування високого врожаю зерна.

Фонове внесення мінеральних добрив забезпечило різке зростання цього показника до 492 шт./м², тобто приріст склав 195 шт./м² або 66 %. Це підтверджує високу ефективність NPK у стимулюванні продуктивного кущіння.

Найкращі результати зафіксовано у варіантах із застосуванням марганцю: Фон + $(Mn)_1$ − 597 шт./м² та Фон + $(Mn)_1$ + $(Mn)_2$ − 635 шт./м².

Порівняно з фоном приріст становив 105–143 шт./м², а порівняно з контролем − 300–338 шт./м², тобто кількість продуктивних стебел збільшилася більш ніж у 2 рази. Особливо показовим є варіант із дворазовим внесенням марганцю, який забезпечив максимальну продуктивну густоту.

Загальний коефіцієнт кущіння на контролі становив 1,8, що є відносно низьким показником для інтенсивних посівів ячменю ярого.

На фоні $N_{50}P_{50}K_{50}$ він зріс до 2,2, тобто на 0,4 одиниці. Це свідчить про позитивний вплив мінерального живлення на інтенсивність утворення бічних пагонів.

Застосування марганцю забезпечило подальше зростання цього показника: Фон + $(Mn)_1$ − 2,4, Фон + $(Mn)_1$ + $(Mn)_2$ − 2,5.

Таким чином, у варіанті з подвійним внесенням марганцю загальний коефіцієнт кущіння був на 0,7 вищим, ніж на контролі, що свідчить про стабільний пролонгований вплив мікродобрива на процеси пагоноутворення.

Найбільш об’єктивним показником ефективності кущіння є продуктивний коефіцієнт, оскільки він відображає співвідношення між кількістю колосоносних стебел і числом рослин.

На контролі він становив лише 1,4, що свідчить про значну частку непродуктивних пагонів.

На фоні мінеральних добрив показник зріс до 1,8, тобто на 0,4. Застосування марганцю дозволило досягти ще вищих значень: Фон + $(Mn)_1$ − 2,2, Фон + $(Mn)_1$ + $(Mn)_2$ − 2,3.

Таким чином, продуктивний коефіцієнт кущіння у найефективнішому варіанті перевищував контрольний на 0,9 одиниці, що означає істотне підвищення частки колосоносних стебел у загальній структурі посіву.

Отже, дані таблиці 4 переконливо свідчать, що густота стеблостою та інтенсивність кущіння ячменю ярого значною мірою залежать від системи живлення. Мінеральні добрива $N_{50}P_{50}K_{50}$ різко підвищували як загальну, так і продуктивну густоту стебел, проте застосування марганцю на цьому фоні забезпечувало ще більш виражений позитивний ефект. Найвищі значення кількості загальних і продуктивних стебел, а також коефіцієнтів кущіння отримано у варіанті Фон + $(Mn)_1$ + $(Mn)_2$, що підтверджує доцільність комплексного застосування мікродобрив у технології вирощування ячменю ярого.

Посилення продуктивного кущіння під впливом марганцю створює надійну морфологічну основу для підвищення врожайності зерна, оскільки прямо визначає кількість колосків на одиницю площі та ефективність використання поживних речовин рослинами.

Структура врожаю є одним із найважливіших інтегральних показників, що характеризує продукційний процес у рослин ячменю ярого. До основних структурних елементів урожаю належать озерненість колоса та маса зерен з одного колоса, які безпосередньо визначають рівень урожайності. Ці показники формуються під впливом погодних умов, рівня мінерального живлення та застосування мікроелементів у критичні фази органогенезу. Дані таблиці 5 дозволяють оцінити вплив фону мінеральних добрив та позакореневих підживлень марганцем на формування генеративних органів і потенціал продуктивності ячменю ярого у 2025 році.

Таблиця 5

Формування структурних елементів урожаю ячменю ярого за позакореневих підживлень мікродобривами, 2025 р.

Варіант досліду	Озерненість колоса, шт.	Маса зерен з одного колоса, г
Без добрив – контроль	20,4	1,04
$N_{50}P_{50}K_{50}$ – фон	21,6	1,10
Фон + Mn_1	21,7	1,15
Фон + Mn_1 + Mn_2	22,0	1,13

Озерненість колоса є базовою складовою структури врожаю, оскільки вона відображає кількість продуктивних квіток, які реалізувалися у зернівки. У варіанті без добрив (контроль) кількість зерен у колосі становила 20,4 шт. Такий показник є типовим для умов вирощування культури без додаткового мінерального та позакореневого живлення.

Застосування фонової дози мінеральних добрив $N_{50}P_{50}K_{50}$ забезпечило підвищення озерненості до 21,6 шт.**,** що на 1,2 зернини або 5,9 % більше порівняно з контролем. Це свідчить про позитивний вплив повноцінного макроелементного живлення на диференціацію генеративних органів.

Позакореневе підживлення марганцем на цьому фоні сприяло подальшому, хоча й помірному, зростанню кількості зерен у колосі. У варіанті Фон + Mn_1 озерненість становила 21,7 шт.**,** а у варіанті Фон + Mn_1 + Mn_2 – 22,0 шт. Таким чином, максимальний показник озерненості перевищував контроль на 1,6 зернини або 7,8 %**.** Це свідчить про стабілізуючий вплив марганцю на процеси цвітіння, запліднення та розвиток зав’язі, особливо в умовах неоднорідного зволоження вегетаційного періоду.

Маса зерен з колоса є інтегральним показником, що характеризує як кількість зернівок, так і ступінь їх виповненості. На варіанті без добрив цей

показник становив лише 1,04 г, що відповідає середньому рівню продуктивності за обмеженого живлення.

Фонове внесення мінеральних добрив сприяло зростанню маси зерен з одного колоса до 1,10 г, тобто на 0,06 г або 5,8 % порівняно з контролем. Це свідчить про покращення умов живлення під час формування та наливу зерна.

Найбільшу масу зерен з колоса забезпечив варіант із одноразовим внесенням марганцю − Фон + Mn_1**,** де показник досяг 1,15 г. Приріст відносно контролю становив 0,11 г або 10,6 %, а відносно фону − 0,05 г або 4,5 %**.** Це вказує на вагому роль марганцю в активації фотосинтезу, синтезі вуглеводів і транспорті асимілянтів у зернівку.

У варіанті Фон + Mn_1 + Mn_2 маса зерен з колоса становила 1,13 г, що дещо менше, ніж у варіанті з одноразовим підживленням, але все ж на 0,09 г або 8,7 % більше, ніж на контролі. Незначне зниження цього показника порівняно з варіантом Mn_1 може бути наслідком перерозподілу асимілянтів за підвищеної густоти та кущистості посіву, коли зростає конкуренція між стеблами за пластичні речовини.

Таким чином, формування структурних елементів урожаю ячменю ярого у 2025 році істотно залежало від системи живлення. Фонове внесення мінеральних добрив $N_{50}P_{50}K_{50}$ забезпечувало помірне підвищення як озерненості колоса, так і маси зерен з одного колоса. Позакореневі підживлення марганцем на цьому фоні сприяли подальшому покращенню цих показників, що свідчить про позитивний вплив мікроелемента на процеси формування генеративних органів і наливу зерна.

Максимальну озерненість колоса забезпечив варіант Фон + Mn_1 + Mn_2**,** тоді як найбільшу масу зерен з одного колоса отримано у варіанті Фон + Mn_1**.** Це свідчить про диференційований вплив марганцю на окремі елементи структури врожаю та підтверджує доцільність оптимізації кількості й строків позакореневих підживлень мікродобривами у технології вирощування ячменю ярого.

Урожайність зерна є інтегральним показником, що відображає сукупний вплив ґрунтово-кліматичних умов, забезпеченості рослин елементами живлення та особливостей технології вирощування. Вона формується через реалізацію всіх попередніх елементів продуктивності − густоти стеблостою, кущистості, кількості зерен у колосі та їх маси. Дані таблиці 6 комплексно демонструють, як різні системи живлення, зокрема позакореневе застосування мікродобрив на основі марганцю, впливають на продуктивність ячменю ярого у 2025 році.

Таблиця 6

Урожайність зерна ячменю ярого залежно від позакореневих підживлень мікродобривами, 2025 р.

Варіант досліду	Урожайність, т/га	Приріст до контролю
Без добрив – контроль	3,68	–
$N_{50}P_{50}K_{50}$ – фон	4,79	1,11
Фон + Mn_1	5,27	1,59
Фон + Mn_1 + Mn_2	5,40	1,72
$НІР_{05}$	0,24	

У варіанті без добрив (контроль) урожайність становила 3,68 т/га, що відповідає середньому рівню продуктивності культури в умовах чорнозему опідзоленого за обмеженої доступності макро- та мікроелементів. Така врожайність, як правило, обумовлена недостатньою кількістю доступного азоту, фосфору та мікроелементів у період активного росту і формування колосу.

Внесення фонової дози мінеральних добрив забезпечило істотне підвищення врожайності — до 4,79 т/га, що становить приріст 1,11 т/га або 30,2 % порівняно з контролем.

Таке підвищення пояснюється покращенням азотного та фосфорного живлення, формуванням більш продуктивного стеблостою, збільшенням озерненості колоса та маси зерна, що простежувалося у попередніх таблицях.

Таким чином, вже сам фон мінерального живлення створив потужну базу для реалізації потенціалу врожайності.

Застосування першого позакореневого обприскування марганцем на фоні NPK дало приріст урожайності до 5,27 т/га, що на 1,59 т/га більше контролю та на 0,48 т/га (10,0 %) більше фону.

Це зростання зумовлене активізацією ферментативних процесів, пов’язаних із фотосинтезом, посиленням синтезу хлорофілу під дією марганцю, покращенням використання азоту, підвищенням маси зерен з колоса (табл. 5).

Одноразове внесення Mn виявилося високоефективним у фазу виходу в трубку, коли формується потенціал врожайності.

Найвищу врожайність отримано на варіанті з дворазовим застосуванням марганцю − 5,40 т/га, що забезпечило приріст 1,72 т/га (46,7 %) відносно контролю та 0,61 т/га (12,7 %) відносно мінерального фону.

Позитивний ефект пояснюється, стабілізацією фотосинтетичної активності у другій половині вегетації, покращенням наливу зерна в умовах нерівномірного зволоження, оптимізацією співвідношення між генеративними та вегетативними органами, збереженням більшої кількості продуктивних стебел до збирання.

Водночас приріст урожайності порівняно з варіантом Mn_1 був помірним, що свідчить про зниження маржинальної віддачі за повторного внесення мікроелементу. Проте абсолютний рівень урожайності був найвищим.

Результати дослідження свідчать, що врожайність ячменю ярого істотно залежала від системи живлення та застосування мікроелементів. Найбільший вклад у підвищення продуктивності забезпечили:

1. Фонове внесення $N_{50}P_{50}K_{50}$, що створює базовий рівень забезпечення рослин елементами живлення.

2. Позакореневі обробки марганцем, які додатково активують фізіолого-біохімічні процеси, підвищують озерненість і масу зерна.

Максимальна врожайність − 5,40 т/га − була отримана за умов дворазового позакореневого внесення марганцевого мікродобрива, що підтверджує високу ефективність такого заходу у Правобережному Лісостепу України.

Підживлення Mn є доцільним елементом технології вирощування ячменю ярого, особливо в умовах дефіциту мікроелементів у чорноземах опідзолених.

Якість зерна ячменю ярого визначається комплексом біохімічних і морфоструктурних показників, серед яких ключовими є вміст білка, вміст крохмалю та маса 1000 зерен. Рівень цих показників залежить не лише від генетичних особливостей сорту, а й від умов мінерального живлення та забезпеченості рослин мікроелементами протягом вегетації. Марганець відіграє суттєву роль у функціонуванні ферментативних систем, фотосинтезі та накопиченні органічних речовин, що може істотно змінювати якість урожаю. Дані таблиці 7 дають можливість оцінити реакцію ячменю ярого на внесення мікродобрив у системі позакореневого живлення.

На контролі вміст білка становив 11,1 %, що відповідає середньому рівню для ячменю ярого за достатнього забезпечення вологою, але обмеженої кількості доступного азоту та мікроелементів.

На фоні мінеральних добрив ($N_{50}P_{50}K_{50}$) вміст білка підвищився до 11,6 %, що свідчить про поліпшення азотного живлення рослин. Підвищення на 0,5 відсоткового пункту є типовим ефектом внесення помірних доз NPK.

Таблиця 7

Якість зерна ячменю ярого залежно від позакореневих підживлень мікродобривами, 2025 р.

Варіант досліду	Вміст білка, %	Вміст крохмалю, %	Маса 1000 зерен, г
Без добрив – контроль	11,1	61,4	52,2
$N_{50}P_{50}K_{50}$ – фон	11,6	59,3	52,4
Фон + $(Mn)_1$	12,2	56,7	53,5
Фон + $(Mn)_1$ + $(Mn)_2$	12,5	56,2	52,3

Застосування однієї позакореневої обробки марганцем забезпечило ще більш помітний приріст — до 12,2 %, що на 1,1 п.п. перевищувало контроль і на 0,6 п.п. — мінеральний фон. Це свідчить про підсилення азотного метаболізму рослин у фазу активного росту під дією Mn.

Максимальне значення отримано на варіанті з дворазовим внесенням мікродобрива − 12,5 %, що на 1,4 п.п. більше контролю. Результат свідчить, що марганець значно активізує ферментативні процеси, відповідальні за синтез білків, особливо у фазах виходу в трубку − колосіння.

Тенденція для крохмалю має зворотній характер, що є закономірним, оскільки підвищення білковості часто супроводжується зменшенням частки вуглеводів. У контролі вміст крохмалю становив 61,4 %. У варіанті $N_{50}P_{50}K_{50}$ − фон цей показник знизився до 59,3 %, що пояснюється перерозподілом асимілянтів на користь білкового синтезу.

За внесення одного підживлення марганцем крохмаль знизився до 56,7 %, а при повторному застосуванні − до 56,2 %. Така динаміка чітко демонструє зміщення метаболізму в бік інтенсивнішого білкового синтезу, підсиленого марганцем, тоді як накопичення резервного крохмалю обмежується.

Зниження вмісту крохмалю при зростанні білка є типовою реакцією зернових культур за умов підвищеної ферментативної активності й достатнього азоту, що підтверджує фізіологічну узгодженість даних.

Маса 1000 зерен є ключовим показником натури зерна і відображає завершальний етап формування врожаю − налив зерна. У контролі маса 1000 зерен становила 52,2 г. У варіанті $N_{50}P_{50}K_{50}$ цей показник майже не змінився − 52,4 г, що свідчить про відсутність істотного впливу базової дози добрив на структуру зернівки.

Більш помітні зміни спостерігалися на варіанті з одним підживленням марганцем, де показник зріс до 53,5 г, що вказує на кращий фотосинтетичний потенціал та підсилений транспорт асимілянтів у зернівку.

У варіанті з дворазовим підживленням Mn маса 1000 зерен була 52,3 г, що менше, ніж на варіанті Mn_1. Це може бути пов’язано із зростанням кількості продуктивних стебел та підвищеним навантаженням на рослину (табл. 4), із перерозподілом ресурсів між більшою кількістю генеративних органів, зумовленими погодою умовами наливу зерна.

Загалом маса 1000 зерен варіювала в межах, характерних для сорту, і лише частково реагувала на марганець.

Позакореневе внесення мікродобрив на основі марганцю мало виражений позитивний вплив на протеїнову якість зерна ячменю ярого. Вміст білка зростав пропорційно кількості обробок, досягаючи максимуму 12,5 % на варіанті з дворазовим внесенням Mn. Водночас спостерігалося закономірне зниження вмісту крохмалю, що пов’язано з перерозподілом асимілянтів на користь білкового синтезу. Маса 1000 зерен реагувала слабше, проте одноразове внесення марганцю сприяло її зростанню.

Отже, марганцеві мікродобрива в системі позакореневого підживлення підвищують харчову цінність зерна, зокрема його білковість, що є важливим для пивоварного та комбікормового напрямів використання ячменю ярого.

Одним із показників якості зерна ячменю, що визначає його товарну та посівну придатність, є крупність, а також важливі біологічні характеристики −

енергія та здатність проростання. Ці показники формуються під впливом умов мінерального живлення, забезпеченості рослин мікроелементами, інтенсивності фотосинтезу та повноти наливу зерна. Марганець виконує ключову роль у ферментативних процесах, що відповідають за синтез вуглеводів, активацію дихання та життєздатність зародка, тому застосування мікродобрив на його основі здатне істотно покращувати посівні та технологічні властивості зерна.

Дані таблиці 8 дозволяють простежити закономірний вплив позакореневих підживлень на формування крупності та біологічних показників якості зерна ячменю ярого у 2025 році.

Таблиця 8

Вплив позакореневих підживлень мікродобривами на крупність зерна ячменю ярого та показники його проростання, 2025 р.

Варіант досліду	Крупність, %	Енергія проростання, %	Здатність проростання, %
Без добрив – контроль	86	91	89
$N_{50}P_{50}K_{50}$ – фон	90	93	90
Фон + $(Mn)_1$	91	95	91
Фон + $(Mn)_1$ + $(Mn)_2$	92	94	92

Крупність є важливим структурним показником, що визначає фракційний склад урожаю та відображає рівень забезпеченості рослин пластичними речовинами під час наливу зерна.

У контролі показник становив 86 %, що відповідає середньому рівню та свідчить про формування зерна нормальної повноти за умов природного живлення.

На фоні удобрення $N_{50}P_{50}K_{50}$ відмічено чітке підвищення крупності до 90 %, що зумовлено кращим забезпеченням рослин макроелементами та збільшенням кількості асимілянтів, які направляються у генеративні органи.

Одноразове позакореневе підживлення марганцем сприяло подальшому зростанню показника − до 91 %, а за дворазового внесення Mn крупність становила 92 %, що є найвищим значенням серед варіантів.

Така тенденція свідчить, що марганець стимулював фотосинтетичний апарат рослин, підвищував інтенсивність ферментативних реакцій, поліпшував засвоєння азоту та вуглеводів, що позитивно позначалося на наливі зернівки.

Енергія проростання визначає життєздатність насіння на ранніх етапах розвитку та є важливим показником для оцінки посівних партій. У контролі вона становила 91 %, що можна вважати достатньо високим значенням для ячменю ярого. На фоні внесення NPK цей показник зріс до 93 %, що свідчить про покращення біологічної активності зародка та підвищення енергії обміну речовин.

Одноразове оброблення посівів марганцем забезпечило ще виразніший ефект − 95 %, тобто на 4 пункти більше контролю. Це пояснюється участю Mn у процесах дихання та активації ферментів, що відповідають за реакції раннього проростання.

У варіанті з дворазовим внесенням мікродобрив енергія проростання становила 94 %, що дещо нижче, ніж при Mn_1, але вище контролю. Ймовірно, максимум ефекту був досягнутий уже після першого внесення.

Здатність проростання відображає частку насіння, здатного сформувати нормальні проростки, і є основним нормативним показником якості посівного матеріалу.

У контролі вона становила 89 %. Застосування NPK підвищило її до 90 %, що свідчить про поліпшення фізіологічної зрілості зерна за рахунок кращих умов живлення рослин.

Після внесення мікродобрив на основі марганцю показник зріс до 91 % (Mn_1) та 92 % ($Mn_1 + Mn_2$). Таким чином, максимальна лабораторна схожість була досягнута при дворазовій обробці марганцевими препаратами.

Це підтверджує позитивну роль марганцю у формуванні життєздатного насіння, що має сильні проростки й достатній запас пластичних речовин для розвитку стартової кореневої системи.

Позакореневі підживлення мікродобривами на основі марганцю сприяли поліпшенню крупності та біологічної якості насіння ячменю ярого. Найвищі показники спостерігалися за дворазового внесення Mn, де крупність досягла 92 %, енергія проростання − 94 %, здатність проростання − 92 %.

Марганець стимулював інтенсивність обміну речовин, посилював ферментативну активність і забезпечував краще формування запасних речовин у зерні, що відобразилося на високій енергії та здатності проростання.

Таким чином, включення марганцевих мікродобрив у систему позакореневого живлення ячменю ярого не лише підвищує урожайність, але й забезпечує формування повноцінного насіннєвого матеріалу з високими біологічними властивостями.

РОЗДІЛ 5
ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ПОЗАКОРЕНЕВОГО ПІДЖИВЛЕННЯ ЯЧМЕНЮ ЯРОГО МІКРОЕЛЕМЕНТАМИ

Економічна оцінка агрозаходів є завершальним етапом наукового аналізу результатів досліджень, оскільки саме вона дозволяє з'ясувати доцільність упровадження технологічних прийомів у виробництво. Поряд із біологічною ефективністю важливе значення мають показники приросту урожайності, вартості додатково одержаної продукції, рівня витрат на застосування добрив, величини умовно чистого прибутку та рентабельності. Дані таблиці 9 відображають економічні результати застосування мінерального фону та позакореневих підживлень мікродобривами на основі марганцю в посівах ячменю ярого у 2025 році.

Таблиця 9

Економічна ефективність застосування позакореневих підживлень мікродобривами ячменю ярого.

Варіант досліду	Приріст урожайності зерна, т/га	Вартість приросту врожаю, грн/га	Витрати на добрива, грн/га	Додатковий умовно чистий прибуток, грн/га	Рівень рентабельності, %
$N_{50}P_{50}K_{50}$ – фон	1,11	10545	10056	489	5
Фон + $(Mn)_1$	1,59	15105	10500	4605	44
Фон + $(Mn)_1$ + $(Mn)_2$	1,72	16340	10944	5396	49

Застосування мінерального фону забезпечило приріст урожайності 1,11 т/га, що у грошовому еквіваленті відповідає 10545 грн/га вартості додатково одержаного зерна. Водночас витрати на мінеральні добрива становили 10056 грн/га, що є досить високим показником з огляду на їх ринкову вартість у 2025 році.

У результаті додатковий умовно чистий прибуток становив лише 489 грн/га, а рівень рентабельності − 5 %. Це свідчить про те, що застосування лише фонових доз мінеральних добрив за даних економічних умов забезпечило мінімальну окупність витрат і знаходиться на межі економічної доцільності. Такий результат зумовлений значними витратами на добрива при відносно помірному прирості врожайності.

Поєднання мінерального фону з одноразовим внесенням мікродобрива на основі марганцю забезпечило суттєво вищий економічний ефект. Приріст урожайності становив 1,59 т/га, а вартість приросту врожаю − 15105 грн/га, що на 4560 грн/га більше, ніж за фоновим удобренням.

При цьому витрати на добрива зросли лише до 10500 грн/га, тобто збільшилися незначно порівняно з фоном. У результаті додатковий умовно чистий прибуток досяг 4605 грн/га, що у 9 разів більше, ніж за внесення лише $N_{50}P_{50}K_{50}$.

Рівень рентабельності зріс до 44 %, що свідчить про високу економічну ефективність одноразового позакореневого підживлення марганцем. Такий результат підтверджує, що витрати на мікродобриво повністю компенсуються приростом урожайності та забезпечують значний фінансовий виграш.

Найвищі економічні показники отримано за умов дворазового позакореневого внесення мікродобрив на фоні мінерального живлення. Приріст урожайності становив 1,72 т/га, а вартість додатково одержаної продукції − 16340 грн/га, що є максимальним показником серед усіх варіантів.

Водночас витрати на добрива склали 10944 грн/га, що лише на 444 грн/га більше, ніж за одноразового внесення марганцю. Попри це, додатковий

умовно чистий прибуток зріс до 5396 грн/га, перевищивши варіант з Mn_1 на 791 грн/га.

Рівень рентабельності досяг 49 %, що є найвищим показником серед досліджуваних варіантів. Це свідчить про максимальну економічну доцільність дворазового застосування марганцевих мікродобрив у технології вирощування ячменю ярого.

Порівнюючи всі досліджувані варіанти, можна відзначити чітку закономірність:

- фонове внесення NPK забезпечує біологічний ефект, але економічно малоефективне;
- одноразове позакореневе підживлення марганцем різко підвищує економічні показники виробництва;
- дворазове внесення Mn забезпечує максимальний прибуток і найвищий рівень рентабельності.

Зростання витрат на підживлення марганцем є незначним порівняно з фінансовим ефектом від приросту врожайності, що формує стійкий позитивний економічний баланс.

Таким чином, результати економічних розрахунків свідчать, що застосування лише мінерального фону $N_{50}P_{50}K_{50}$ є економічно малоефективним (5 % рентабельності). Натомість включення позакореневих підживлень мікродобривами з марганцем суттєво підвищує прибутковість технології вирощування ячменю ярого.

Найефективнішим з економічної точки зору є варіант Фон + (Mn_1 + Mn_2), який забезпечив:

- максимальний приріст урожайності (1,72 т/га),
- найвищий умовно чистий прибуток (5396 грн/га),
- найвищий рівень рентабельності (49 %).

Отримані результати підтверджують високу виробничу доцільність застосування марганцевих мікродобрив у позакореневому підживленні ячменю ярого в умовах Правобережного Лісостепу України.

РОЗДІЛ 6
ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО ПРИРОДНОГО СЕРЕДОВИЩА

6.1. Охорона праці під час позакореневого внесення мікроелеементів у посівах ячменю ярого

Охорона праці є одним із пріоритетних напрямів державної політики України у сфері агропромислового виробництва та регламентується Законом України «Про охорону праці» [37]. Вирощування ячменю ярого та проведення позакореневих підживлень мікродобривами супроводжується дією комплексу небезпечних і шкідливих виробничих факторів, які можуть негативно впливати на здоров'я працівників. Тому важливим етапом є моделювання виробничих небезпек, визначення рівня ризиків та розроблення ефективних профілактичних заходів.

Згідно з державними санітарними правилами під час роботи з агрохімікатами і мікродобривами необхідно суворо дотримуватися вимог безпеки, оскільки навіть мало токсичні речовини при порушенні регламентів можуть спричиняти професійні захворювання [38].

До найбільш поширених механічних небезпек у технології вирощування ячменю ярого належать рухомі частини тракторів, обприскувачів і ґрунтообробних машин, карданні вали, причіпні механізми та робочі органи агрегатів. Основними небезпечними ситуаціями є затискання, зачеплення одягом, травмування при агрегатуванні техніки та наїзди [39].

Найвищий рівень механічної небезпеки виникає під час:

- агрегатування обприскувачів;
- технічного обслуговування машин;
- виконання ремонтних робіт у польових умовах.

Під час приготування робочих розчинів мікродобрив і проведення позакореневих підживлень існує ризик потрапляння хімічних речовин на шкіру, слизові оболонки та у дихальні шляхи. Встановлено, що вплив

аерозолів агрохімікатів може викликати подразнення, алергічні реакції, захворювання органів дихання та інтоксикації різного ступеня тяжкості [40].

Згідно з ДСП 8.8.1.2.001–98 забороняється допуск до роботи з агрохімікатами осіб, які не пройшли спеціальне навчання, медичний огляд та інструктаж із техніки безпеки [38].

До фізичних небезпечних факторів належать:

- підвищений рівень шуму й вібрації від роботи тракторів і обприскувачів;
- несприятливі метеорологічні умови (висока температура, сонячна радіація, вітер);
- запиленість повітря при пересуванні техніки.

Тривала дія зазначених факторів сприяє розвитку професійної втоми, перегріванню організму, зниженню концентрації уваги та підвищенню ймовірності травмування [41].

До цієї групи належать: фізичне перенапруження, нервово-емоційне напруження, монотонність роботи, відповідальність за управління технікою. Доведено, що перевтома значно підвищує ризик виробничого травматизму [42].

На основі аналізу технологічних операцій і вимог охорони праці можна змоделювати такі типові небезпечні ситуації:

1. Порушення герметичності системи обприскувача → потрапляння мікродобрива на шкіру → хімічне ураження.
2. Очищення форсунок при ввімкненому агрегаті → травмування кистей рук.
3. Робота без респіратора → інгаляційне отруєння аерозолями марганцю.
4. Робота в умовах високої температури → тепловий удар.
5. Невикористання захисного одягу → підвищений ризик хронічних захворювань шкіри.

Організаційні заходи

- проведення вступних, первинних і повторних інструктажів;
- допуск до роботи лише осіб, що пройшли медогляд;
- дотримання технологічних регламентів застосування мікродобрив;
- заборона перебування сторонніх осіб у зоні обробки [37, 38].

Технічні заходи

- використання справної техніки;
- контроль герметичності бака та комунікацій обприскувача;
- оснащення машин захисними кожухами;
- застосування сигнальних засобів [39].

Засоби індивідуального захисту

Працівники повинні бути забезпечені:

- спеціальним одягом;
- гумовими рукавицями;
- захисними окулярами;
- респіраторами;
- спеціальним взуттям [38].

Санітарно-гігієнічні заходи

- заборона приймання їжі та паління під час роботи;
- обов’язкове миття рук після завершення робіт;
- санітарна обробка техніки та інвентарю;
- утилізація залишків робочих розчинів відповідно до нормативів [40, 41].

Отже, під час вирощування ячменю ярого та проведення позакореневих підживлень мікродобривами на працівників впливають механічні, хімічні, фізичні та психофізіологічні небезпечні фактори. Своєчасне моделювання ризиків, дотримання вимог законодавства України з охорони праці, використання засобів індивідуального захисту та правильна організація технологічних процесів забезпечують мінімізацію виробничого травматизму та збереження здоров’я працівників.

6.2. Вплив позакореневих підживлень мікродобривами на якість продукції та навколишнє природне середовище

В умовах інтенсифікації землеробства особливої актуальності набуває проблема екологічної безпеки застосування добрив, зокрема мікродобрив, а також їх впливу на якість сільськогосподарської продукції та стан навколишнього природного середовища. Позакореневі підживлення мікроелементами, у тому числі марганцем, розглядаються як ефективний і водночас екологічно доцільний захід оптимізації мінерального живлення рослин [43].

Марганець належить до життєво необхідних мікроелементів, що входить до складу багатьох ферментів, бере участь у процесах фотосинтезу, дихання, синтезу білків і вуглеводів. Його дефіцит у ґрунті призводить до зниження врожайності та погіршення якості продукції [44]. Водночас надлишкове накопичення марганцю може мати токсичний ефект як для рослин, так і для елементів біоценозу, тому застосування мікродобрив повинно здійснюватися у науково обґрунтованих дозах.

Дослідженнями українських учених доведено, що позакореневі підживлення марганцевими мікродобривами сприяють:

- підвищенню вмісту білка в зерні;
- покращенню виповненості та маси 1000 зерен;
- зростанню енергії проростання і схожості насіння;
- підвищенню крохмалистості, що має важливе значення для пивоварного та комбікормового використання зерна [45, 46].

Оптимізація марганцевого живлення сприяє активізації ферментативних систем, що беруть участь у синтезі амінокислот і білкових сполук. У результаті формується продукція з покращеними харчовими та посівними показниками, що підвищує її економічну цінність.

Згідно з даними Інституту ґрунтознавства та агрохімії ім. О. Н. Соколовського НААН, при застосуванні мікродобрив у фізіологічно

обґрунтованих нормах не відбувається перевищення гранично допустимих концентрацій важких металів у зерні, у тому числі марганцю [44].

Позакореневий спосіб внесення мікродобрив є екологічно безпечнішим порівняно з ґрунтовим, оскільки:

- мінімізує накопичення мікроелементів у ґрунті;
- зменшує ризик порушення мікробіологічної активності ґрунту;
- не спричиняє вторинного забруднення орного шару [47].

Дослідження свідчать, що при дотриманні рекомендованих норм внесення марганцевих мікродобрив не відбувається пригнічення ґрунтової мікрофлори, а навпаки – спостерігається певна стимуляція мікробіологічних процесів, пов’язаних із трансформацією органічної речовини та елементів живлення [48].

Особливо важливо це для умов чорноземів опідзолених Правобережного Лісостепу, де збереження біологічної активності ґрунту є ключовим чинником підтримання родючості.

Позакореневі підживлення істотно зменшують міграцію мікроелементів у ґрунтові та поверхневі води, оскільки робочий розчин поглинається безпосередньо листковим апаратом рослин. Це суттєво знижує ризик вторинного забруднення водних екосистем, яке можливе при надмірному ґрунтовому внесенні добрив [43, 46].

Викиди шкідливих речовин у повітря при застосуванні мікродобрив у вигляді водних розчинів є мінімальними й не перевищують гігієнічних нормативів за умови дотримання технологічних вимог [48].

Застосування мікродобрив у системі живлення ячменю ярого з екологічної точки зору має такі переваги:

- скорочення загальних норм мінеральних добрив;
- зниження антропогенного навантаження на агроекосистему;
- підвищення коефіцієнта використання поживних речовин рослинами;

- стабілізація якості продукції та зменшення ризиків забруднення довкілля [45, 49].

Таким чином, рекомендований захід — позакореневе підживлення ячменю ярого марганцевими мікродобривами на фоні оптимального мінерального живлення — є не лише агрономічно та економічно обґрунтованим, а й екологічно безпечним і доцільним.

Отже, впровадження позакореневих підживлень ячменю ярого мікродобривами на основі марганцю позитивно впливає на якість зерна, зокрема на вміст білка, масу 1000 зерен, енергію проростання та схожість, не викликаючи при цьому негативних змін у стані ґрунтового середовища, водних ресурсів і атмосферного повітря. За дотримання науково обґрунтованих норм і технологічних регламентів даний агрозахід відповідає принципам екологічно безпечного та сталого землеробства.

ВИСНОВКИ

1. Умови вегетаційного періоду 2025 року в Правобережному Лісостепу загалом були сприятливими для росту та розвитку ячменю ярого**,** хоча відзначалися нерівномірним розподілом опадів та підвищеними температурами у літні місяці, що зумовило підвищену роль оптимізованого мінерального й мікроелементного живлення.

2. Застосування фону мінерального удобрення $N_{50}P_{50}K_{50}$ істотно покращувало умови живлення рослин, сприяло зростанню густоти посіву, підвищенню біометричних показників та формуванню продуктивного стеблостою.

3. Позакореневі підживлення марганцевими мікродобривами на фоні $N_{50}P_{50}K_{50}$ суттєво посилили ріст і розвиток рослин, зумовивши збільшення виживаності, висоти рослин, коефіцієнта кущіння, накопичення сухої речовини та покращення структури врожаю.

4. Найвищі показники елементів структури врожаю (озерненість колоса − до 22,0 зерен, маса зерна з колоса − до 1,15 г, коефіцієнт продуктивного кущіння − до 2,3) сформувалися за дворазового позакореневого підживлення марганцем.

5. Урожайність зерна ячменю ярого за фоновим удобренням становила 4,79 т/га, тоді як застосування одного марганцевого підживлення підвищувало її до 5,27 т/га, а дворазового — до 5,40 т/га, що перевищувало контроль відповідно на 1,59 та 1,72 т/га.

6. Позакореневі підживлення позитивно впливали на якість зерна, забезпечивши підвищення вмісту білка до 12,5 %, маси 1000 зерен − до 53,5 г, збільшення крупності зерна, енергії проростання та схожості насіння без перевищення гранично допустимих концентрацій марганцю.

7. Економічний аналіз показав, що найефективнішим варіантом є Фон + (Mn_1 + Mn_2), за якого одержано додатковий умовно чистий прибуток 5396 грн/га та рівень рентабельності 49 %**,** що у 9–10 разів перевищує ефективність застосування лише мінерального фону.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Молдован Ж., Молдован В. Ефективність використання мікроелементів у позакореневому підживленні сої в умовах Лісостепу Західного. *Вісник аграрної науки*, 2023. DOI:10.31073/agrovisnyk 2023 12-05.

2. Гавриленко В. С. Баланс основних елементів живлення у ґрунті: особливості живлення зернових культур. *Подільський аграрний вісник*, 2023.

3. Науково-практична публікація «Підвищення продуктивності ячменю ярого шляхом оптимізації мінерального живлення» — аналізує вплив мінерального й мікродобрив на продуктивність ячменю. 2019. agroelita.info

4. Tobiasz-Salach R., Jańczak-Pieniążek M., Bobrecka-Jamro D. *Assessing the impact of foliar fertilization with manganese and copper on the yield and chemical composition of spring barley*. Polish Journal of Agronomy, 2018, № 35, 59–64.

5. Романюк В. В. Формування високопродуктивних посівів ячменю ярого залежно від факторів інтенсифікації в умовах Правобережного Лісостепу. Вісник аграрної науки. 2018. № 6. С. 47–52.

6. Панчишин В. З. Продуктивність ячменю ярого (Hordeum vulgare L.) залежно від сорту та підживлення. Український журнал природничих наук. 2024. № 3. С. 42–49.

7. Кравченко В. С. Формування врожайності ярих зернових культур у Правобережному Лісостепу України. Збірник наукових праць Уманського НУС. 2020. Вип. 94. С. 56–63.

8. Господаренко Г. М. Удобрення сільськогосподарських культур. Київ : ТОВ «Сік груп Україна», 2016. 276 с.

9. Любич В. В. Вплив мінерального живлення на врожайність зернових культур у сівозміні. Вісник аграрної науки. 2015. № 4. С. 35–40.

10. Шевченко М. С., Бондаренко Н. І. Азотне живлення ярих зернових культур у Лісостепу України. Агрохімія і ґрунтознавство. 2011. Вип. 74. С. 59–64.

11. Наджгірняк О. В., Сайко В. Ф. Системи удобрення в сучасному землеробстві України. Землеробство. 2006. Вип. 78. С. 25–31.

12. Кравченко М. М., Лісовий М. В. Мікроелементи в живленні зернових культур. Агробіологія. 2010. № 4. С. 90–95.

13. Шувар І. А., Корпіта Г. М. Агроекологічні аспекти застосування мінеральних добрив. Львів : ЛАУПБ, 2012. 196 с.

14. Іщенко В. А. Вплив мінерального живлення на продуктивність агроценозу ячменю ярого після різних попередників. Таврійський науковий вісник. 2021. Вип. 119. С. 72–79.

15. Вега Н. Агрохімічна оцінка впливу мінеральних добрив та позакореневого підживлення на врожайність ячменю ярого в умовах Західного Лісостепу. Вісник Львівського національного аграрного університету. Серія: Агрономія. 2022. Вип. 26. С. 45–53.

16. Щерба М. М., Качмар О. Й., Дубицька А. О., Вавринович О. В. Вплив удобрення на формування продуктивності ячменю ярого в короткоротаційних сівозмінах. Передгірне та гірське землеробство і тваринництво. 2023. Вип. 74. Ч. 1. С. 98–106.

17. Цилюрик О. І., Шапка В. П. Вплив обробітку ґрунту та удобрення на ріст і розвиток рослин ячменю ярого в Північному Степу України. Таврійський науковий вісник. 2016. Вип. 95. С. 120–127.

18. Маслійов С. В., Коржова Н. О., Ярчук І. І., Люклянчук В. Ф. Вплив різних видів мінерального живлення на ріст і розвиток ячменю ярого в степовій зоні України. Вісник Полтавської державної аграрної академії. 2019. № 4. С. 25–32.

19. Єщенко В. О., Копитко П. Г., Опришко В. П., Костогриз П. В. Загальне землеробство. Київ : Вища освіта, 2004. 376 с.

20. Крамарьов С. М., Циганков В. С. Удобрення зернових культур в інтенсивних технологіях вирощування. Вісник аграрної науки. 2008. № 7. С. 18–23.

21. П’ятенко Д. О. Оптимізація агротехніки вирощування ячменю ярого за рахунок застосування мікродобрив у зоні Лісостепу України. Науковий вісник ДДАЕУ. 2022. № 1. С. 88–95.

22. Паламарчук В. В. Вплив системи удобрення на продуктивність ячменю ярого. Grain and Crops. 2013. № 2. С. 21–26.

23. Кузьменко Н. В. Вплив удобрення на пошкодження рослин ячменю ярого внутрішньостебловими шкідниками та врожайність зерна. Захист і карантин рослин. 2022. Вип. 68. С. 112–119.

24. Кирилюк В. П., Тимощук Т. В., Миколаївна Г. М. Вплив систем основного обробітку ґрунту та удобрення на продуктивність ячменю ярого. Science and Innovation. 2019. № 9 (82). С. 98–105.

25. Сайко В. Ф. Системи землеробства в Україні. Київ : Аграрна наука, 2003. 216 с.

26. Медведєв В. В., Пліско І. В. Агрохімічні основи підвищення родючості ґрунтів України. Харків : Стильна типографія, 2014. 280 с.

27. Цвей Ю. П., Іщенко В. А. Продуктивність зернових культур залежно від попередників і систем удобрення. Вісник аграрної науки. 2009. № 5. С. 27–32.

28. Полупан М. І., Соловей В. Б., Величко В. А. Класифікація ґрунтів України. Київ : Аграрна наука, 2005. 300 с.

29. Коваленко О. А., Дмитренко П. М. Удобрення та продуктивність зернових культур у сівозміні. Збірник наукових праць Вінницького НАУ. 2016. Вип. 8. С. 44–50.

30. Бойко П. І., Літвінов Д. В. Сівозміни та удобрення в сучасних агротехнологіях. Агроекологічний журнал. 2014. № 3. С. 36–42.

31. Шаповал І. С., Кравченко В. С., Бойко О. В. Продуктивність ячменю ярого залежно від агротехнічних факторів у Правобережному Лісостепу. Збірник наукових праць Уманського НУС. 2025. Вип. 104. С. 56–64.

32. Гамаюнова В. В., Панфілова А. В. Формування надземної маси та врожайності ячменю ярого залежно від оптимізації живлення в умовах Південного Степу України. Science and Innovation. 2019. Т. 15, № 2. С. 45–53.

33. Панфілова А. В., Гамаюнова В. В. Продуктивність сортів ячменю ярого залежно від оптимізації живлення. Plant Varieties Studying and Protection. 2018. Т. 14, № 3. С. 310–315.

34. Саблук П. Т., Лузан Ю. Я. Інноваційні підходи до систем удобрення в зерновому виробництві. Економіка АПК. 2011. № 10. С. 3–10.

35. Зінченко О. І. Рослинництво. Київ : Аграрна освіта, 2010. 384 с.

36. Огляд сортів ячменю https://www.kws.com/ua/uk/produkty/yachmin/sorty-yachmenyu

37. Про охорону праці : Закон України від 14.10.1992 № 2694-XII (зі змінами). Київ : Верховна Рада України, 1992.

38. ДСП 8.8.1.2.001–98. Державні санітарні правила транспортування, зберігання та застосування пестицидів і агрохімікатів. Київ : МОЗ України, 1998. 56 с.

39. НПАОП 01.0-1.02-18. Правила охорони праці у сільськогосподарському виробництві. Київ : Мінсоцполітики України, 2018. 112 с.

40. Березовський А. П. Охорона праці в агропромисловому виробництві. Київ : Центр учбової літератури, 2019. 320 с.

41. Кундієв Ю. І., Нагорна А. М. Професійне здоров'я в Україні. Київ: Авіцена, 2015. 384 с.

42. Колесник Л. М., Шевчук О. П. Управління охороною праці в сільському господарстві. Вінниця : ФОП О. Кушнір, 2017. 256 с.

43. Балюх А. А., Скрильник Є. В. Мікроелементи в землеробстві України. Харків : ННЦ «ІҐА ім. О. Н. Соколовського», 2016. 220 с.

44. Надежкіна Є. С. Вплив мікродобрив на продуктивність і якість зерна ячменю ярого. Вісник аграрної науки. 2019. № 6. С. 32–38.

45. Прокопчук І. В., Лісовий М. М. Якість зерна ячменю залежно від мінерального живлення. Зб. наук. пр. Уманського НУС. 2020. Вип. 94. С. 87–94.

46. Синиця Л. І., Кравченко В. І. Екологічні аспекти застосування мікродобрив у землеробстві. Агроекологічний журнал. 2018. № 2. С. 41–47.

47. Медвідь М. М. Ґрунтова біологія та екологія. Київ : Аграрна наука, 2015. 348 с.

48. ДСП 8.8.1.2.001–98. Державні санітарні правила транспортування, зберігання та застосування пестицидів і агрохімікатів. Київ : МОЗ України, 1998. 56 с.

49. Ткачук О. П. Екологічна безпека застосування добрив у сучасному землеробстві. Вісник НААН. 2021. № 3. С. 24–31.