

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
БІЛОЦЕРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Агробіотехнологічний факультет

Спеціальність: 201 «Агрономія»

Допускається до захисту
завідувач кафедри рослинництва та
цифрових технологій в агрономії,
доцент _____ Панченко Т.В.
«__» _____ 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

ФОРМУВАННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ СОРГО ЗВИЧАЙНОГО ДВОКОЛЬОРОВОГО ЗАЛЕЖНО ВІД ЗАБУР'ЯНЕНOSTІ ПОСІВІВ В УМОВАХ ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ

Рівень вищої освіти: другий (освітній рівень)

Кваліфікація: «Магістр з агрономії»

Виконав: Жицький Захарій Олегович _____

Керівник: професор Вахній С.П. _____

Я, Жицький Захарій Олегович, засвідчую, що кваліфікаційну роботу виконано з дотриманням принципів академічної доброчесності

Біла Церква – 2025

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Білоцерківський національний аграрний університет

Агробіотехнологічний факультет
 Спеціальність: 201 «Агрономія»

Затверджую
 Гарант ОП «Агрономія»
 професор _____ Грабовський М.Б.
 «__» _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу здобувачу
Жицькому Захарію Олеговичу

Тема: «Формування продуктивності сорго звичайного двокольорового залежно від забур'яненості посівів в умовах Лісостепу України»

Затверджено наказом ректора № 607/С від 24.12.2024 р.

Термін здачі студентом готової кваліфікаційної роботи в деканат: до 12.12.2025 р.

Перелік питань, що розробляються в роботі. Вихідні дані отримані в результаті дворічних досліджень в умовах Білоцерківської дослідно-селекційної станції. У відповідності до сформульованої мети роботи і перерахованих для виконання завдань необхідно було розробити схему досліду, вибрати відповідні методи і методика досліджень, проаналізувати літературні джерела з вибраного напрямку досліджень, провести фенологічні спостереження, обліки, обрахунки, аналіз отриманих даних в узгодженні з агротехнічними заходами, сформулювати і проаналізувати табличні дані, на цій основі зробити висновки, дати рекомендації виробництву, скласти список літератури, яка використана для аналізу стану вивченості досліджуваної проблеми, обрахувати достовірність приростів урожайності за допомогою прийнятих методик.

Календарний план виконання роботи

Етап виконання	Дата виконання етапу	Відмітка про виконання
Огляд літератури	до 06.10.2025	виконано
Методична частина	до 17.10.2025	виконано
Дослідницька частина	до 25.11.2025	виконано
Оформлення роботи	до 12.12.2025	виконано
Перевірка на плагіат	до 05.12.2025	виконано
Подання на рецензування	до 05.12.2025	виконано
Попередній розгляд на кафедрі	05.12.2025	виконано

Керівник кваліфікаційної роботи _____ професор Вахній С.П.

Здобувач _____ Жицький З.О.

Дата отримання завдання «10» вересня 2024 р.

РЕФЕРАТ

Жицький З.О. «Формування продуктивності сорго звичайного двокольорового залежно від забур'яненості посівів в умовах Лісостепу України»

Досліджено теоретичне обґрунтування і узагальнено експериментальні та лабораторні дані щодо розроблення адаптивних сортових технологій вирощування сортів сорго звичайного двокольорового. В основу технологій закладено вивчення такого чинника як сортові особливості та способи контролювання чисельності бур'янів.

Використано теоретичні (теорії, гіпотези) та емпіричні (експерименти, наукові дослідження, спостереження, вимірювання тощо) наукові методи досліджень.

Визначено вплив елементів технології вирощування сорго на ріст, розвиток та продуктивність рослин. Встановлено найбільш оптимальні способи контролювання чисельності бур'янів та вивчено сортові особливості.

Зроблено висновок, що найкращі результати продуктивності сорго звичайного двокольорового та економічна ефективність вирощування спостерігається за оптимального способу контролювання чисельності бур'янів.

Одержані результати можуть бути використані у виробництві будь яких господарств чи підприємств, що знаходяться у зоні Правобережного Лісостепу України.

Кваліфікаційна робота магістра містить 55 сторінок, 4 таблиць, 27 рисунків, список використаних джерел із 82 найменування.

Ключові слова: сорго звичайне двокольорове, способи контролювання чисельності бур'янів, сортові особливості, продуктивність, економічна ефективність.

ABSTRACT

Zhytskyi Z.O. The formation of the productivity sorghum bicolor depending on the weediness of the crops in the conditions of the Forest Steppe of Ukraine

The theoretical justification was studied and experimental and laboratory data were summarized regarding the development of adaptive varietal technologies for the cultivation sorghum bicolor varieties. The basis of technologies is the study of such factors as varietal characteristics and methods of controlling the number of weeds.

Theoretical (theories, hypotheses) and empirical (experiments, scientific studies, observations, measurements, etc.) scientific research methods are used.

The influence of elements of sorghum cultivation technology on the growth, development and productivity of plants has been determined. The most optimal methods of controlling the number of weeds were established and varietal features were studied.

It was concluded that the best productivity results sorghum bicolor and the economic efficiency of cultivation are observed with the optimal way of controlling the number of weeds.

The obtained results can be used in the production of any farms or enterprises located in the zone of the Right Bank Forest-Steppe of Ukraine.

The master's thesis contains 55 pages, 4 tables, 27 figures, a list of used sources with 82 names.

Key words: sorghum bicolor, methods of controlling the number of weeds, varietal characteristics, productivity, economic efficiency.

Зміст

	Ст.
ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1 ОСОБЛИВОСТІ ВИРОЩУВАННЯ СОРГО ЗЕРНОВОГО	7
1.1. Ботанічна та біологічна характеристика сорго	7
1.2. Методи контролювання чисельності бур'янів в посівах сорго зернового	13
РОЗДІЛ 2 УМОВИ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА МЕТОДИКА	18
2.1 Кліматичні умови проведення досліджень і ґрунтова характеристика	18
2.2. Мета досліджень і завдання	22
2.3. Схема досліду та методика закладання досліджень	22
РОЗДІЛ 3 ВПЛИВ МЕТОДІВ КОНТРОЛЮВАННЯ БУР'ЯНІВ У ПОСІВАХ СОРГО ЗЕРНОВОГО НА РІСТ І РОЗВИТОК РОСЛИН	25
3.1 Біометричні показники й ефективність впливу методів контролювання бур'янів	25
3.2. Продуктивність фотосинтезу рослин сорго зернового залежно від методів догляду за посівами	30
3.3. Врожайність сорго зернового залежно від контролювання чисельності сегетальної рослинності	34
3.4. Вихід біопалива та енергії з сорго залежно від методів контролювання чисельності бур'янів	41
3.5. Енергетична та економічна ефективність вирощування сорго зернового залежно від елементів технології вирощування	43
ВИСНОВКИ	46
РЕКОМЕНДАЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ	48
ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА	49

ВСТУП

Сорго зернове стає все більш актуальною і важливою злаковою культурою не тільки в світі, а й в Україні, враховуючи його здатність адаптуватися до різних ґрунтових умов вирощування. Лісостеп України, має відповідний клімат і ґрунт, що є важливим для культивування цієї культури.

В умовах змін клімату й посилення важливості забезпечення безпеки продовольства, розробки та запровадження певних технологій вирощування сорго зернового стає абсолютною необхідністю.

Урожайність його в Україні залишається на значно низькому рівні. Тому слід оптимізувати технологію вирощування сорго, за рахунок вивчення певних факторів впливу на рослини сорго зернового.

Дослідження з впровадження й оптимізації агротехнологічних заходів вирощування сорго зернового можна побачити у працях Лариси Сторожик, Джамала Рахметова, Karol Wajszczuk, Олега Присяжнюка, та ін.

Враховуючи умови навколишнього середовища й екологічні чинники, вивчення сортових особливостей розвитку й росту рослин, необхідність в контролюванні чисельності бур'янів у посівах дозволить визначити універсальні підходи до вирощування гібридів і сортів сорго в умовах Лісостепу України.

Тому, актуальність і перспективність наукової роботи зосереджене у вивченні практичних питань й теоретичних знань щодо вирощування сорго зернового, у розробленні заходів контролювання чисельності бур'янів з метою підвищення продуктивності та якості сорго, з підвищенням стресостійкості та адаптивності в умовах Лісостепу України.

РОЗДІЛ 1

ОСОБЛИВОСТІ ВИРОЩУВАННЯ СОРГО ЗЕРНОВОГО

1.1. Ботанічна та біологічна характеристика сорго

Виробництво зерна за несприятливих дій біотичних і абіотичних чинників є основним завданням для сільськогосподарських підприємств, що можливе за рахунок впровадження стійких сортів культур і розробка інноваційних елементів технологій чи вдосконалення технологій вирощування сільськогосподарських культур. Однією з таких культур є сорго, яке має універсальність з технологічної та господарської точки зору за вирощування, збирання, зберігання та використання зерна. Сорго звичайне двокольорове характеризується невибагливістю до ґрунтів, високою посухостійкістю, та ефективним використанням запасів вологи на формування сухої речовини одиниці маси порівняно з іншими культурами. Крім того, зерно сорго має значний спектр використання в різних сферах, через те культура має перспективи щодо збільшення обсягів виробництва у сучасному ринку України.

Сорго – це кормова, продовольча і енергетична культура у світі і Україні. Сорго вирощують скрізь на великих орних землях у всьому світі.

Сорго зернове – рослина (*Sorghum bicolor*), яка відноситься до родини (*Poaceae*) тонконогових. Характеризується своїми особливостями та ботанічною структурою, які викликають зацікавленість для сільськогосподарського вирощування та наукових досліджень.

Ботанічна характеристика.

Сорго має глибоку кореневу систему, яка є міцною та стійкою до десикації, може проростати на глибину більше 1 м [1]. Така особливість системи кореня забезпечує культури стійкість до сухості й низької родючості ґрунтів [2; 3].

Сорго зернове це трав'яниста однорічна рослина, яка має висоту від 1 до 5 м. Пряме стебло знаходиться у центральній частині рослини, яка складається з «міжвузлів», що забезпечують ріст та стійкість рослини [1].

Функціональними частинами сорго є листки для здійснення фотосинтезу й забезпечення росту рослини [4; 5]. Листки мають широку та плоску форму, довгі жилки, які формують сітчасту структуру. Пластинки листків розташовані на протилежних сторонах стебла, і утворюють листкове розміщення [6; 7].

Формування колосків це одна з ознак сорго зернового, які мають зернинки. Колоски мають різну форму і розміри, все залежить від сортів та гібридів. Зернини зернового сорго мають різний колір, та білу, червону, жовту, фіолетову та коричневу гаму [8; 9].

Біологічні особливості.

Висока стійкість до посухи є основною біологічною властивістю сорго зернового. Воно росте в умовах високих температур і низького рівня опадів. Коренева система сорго дозволяє йому з глибоких шарів ґрунту отримувати вологу. Це характеризує цінність цієї культури, а саме у регіонах де обмежений доступ до ресурсів води [10].

Також цікавим є те, що сорго зернового здатне рости на різних ґрунтах. Проростає на піщаних, легких ґрунтах, та на бідних ґрунтах що мають низький вміст поживних елементів– речовин. Сорго характеризується високим вмістом кремнію, а це вказує на його стійкості до стресових умов та солоних ґрунтів [11].

Авторами відмічено [12; 13; 14], що сорго має високу продуктивність та стійкість до стресових факторів зовнішнього середовища, а саме посухостійкість і засоленість. В регіонах з високими температурами середньодобовими та дефіциту вологи, сорго це пластична культура за вирощування, в порівнянні з кукурудзою [15; 16; 17].

Крім того, сорго зернове це культура яка має короткий період вегетації, та робить його цікавим варіантом для умов з короткими літніми сезонами. Що дозволяє збільшити зернове виробництво за певний час та знижує через негативні погодні умови ризик втрат врожаю [18].

Сорго зернове має велику широку різноманітність, що дозволяє розвитку нових сортів з різноманітними особливостями, а саме стійкість до посухи,

шкідників, хвороб та адаптації до певних умов клімату та покращеної якості врожаю. Це надзвичайно цінною робить культуру для сільського господарства [9].

Така цінність сорго зосереджена в особливостях біологічних, що забезпечує збереження зібраного врожаю в період високих температур й посухи, вкінці літнього періоду економне використання опадів і відновлення процесів росту і розвитку після тривалих періодів посухи. [19-23].

Сорго відмінно пристосовується до ґрунтово-кліматичних умов вирощування. Тому загальний вплив таких факторів, як вологість ґрунту й повітря, температура повітря та ґрунту, кількість сонячної радіації, встановлюють рівень ефективності росту і розвитку культури та діапазон поширення на великих площах посіву [24].

Сорго - недовговічна тепло та світлолюбна культура [25]. Сорго відноситься до типу фотосинтезу C₄, тобто сильна радіація сонця не зашкодить рослині порівнюючи з типом C₃ [26, 27], що дає йому без великих втрат переносити періоди посухи, тоді ріст продовжувати та економно використовувати воду на формування одиниці сухої речовини [28, 29, 30].

Встановлено, що вцілому сорго відноситься до культур, що люблять тепло. Пов'язано з тим, що для проростання насіння, росту і розвитку рослин оптимальною вважається температура – 25-30°C, проте насіння проростає вже за 10°C. Тому рекомендовано висівати сорго, при середньодобовій температурі на глибині 10 см ґрунту 14–16°C [31, 32, 33, 34, 35].

Якщо сорго посіяти в недостатньо (7–8°C) прогрітий ґрунт, то це може призвести до багатьох негативних наслідків, таких як: пліснявіння насіння, зниження повної схожості, зріджених сходів та затримки росту рослин. Культура ранньою весною та взимку не може конкурувати з бур'янами, а це робить її більш вразливою до хвороб. А також, впродовж першої половини вегетації сорго зернове більш чутливе до низьких температур та приморозків, а саме в період цвітіння, й сходи також можуть загинути при температурі 2–3°C [36].

У період з 30 по 40 день після появи повних сходів сорго демонструє високу інтенсивність розвитку кореневої системи, щоденно збільшуючи її довжину на 3-4

см. Проте ріст надземної частини в цей час є уповільненим, через що рослина стає менш конкурентоспроможною у боротьбі з бур'янами за ресурси та простір в агроценозі [37].

Надмірне підвищення температури може суттєво пригнічувати ріст сорго, особливо на ранніх етапах розвитку – від сходів до проростків, коли коренева система ще недостатньо сформована. В умовах високих температур, що супроводжуються дефіцитом ґрунтової та повітряної вологи, сорго здатне входити в так званий "анабіотичний" стан. У цьому стані життєві процеси рослини призупиняються, але вона зберігає здатність швидко їх відновити одразу після нормалізації навколишніх умов. З іншого боку, на пізніх етапах вегетації, зокрема під час дозрівання волоті, сорго виявляє високу толерантність до спеки, витримуючи температуру 40-45 градусів сельсія без шкоди. Загалом, наприкінці циклу росту оптимальні температурні показники для сорго становлять 27-30, що значно вище, ніж для кукурудзи –20-23 [39; 40; 41].

Сорго є культурою, що вимагає значної кількості тепла. Для проходження повного циклу вегетації (від сівби до дозрівання) рослині необхідна загальна сума активних температур у межах 2480-2680 °С.

Більша частина цієї потреби припадає на ключові фази росту: від сходів до формування волоті 1200-1300 °С та від появи волоті до досягнення молочно-воскової стиглості 850-900 °С [42; 43].

Водночас, існують дані інших дослідників [44], які вказують на менші потреби сорго у теплі. За їхніми розрахунками, необхідна сума активних температур для окремих фаз становить: 200-250 °С (сівба – сходи), 1100-1200 °С (сходи – викидання волоті). Загалом, для досягнення воскової стиглості насіння сорго потребує 2100-2200 °С тепла.

Особливості анатомічної будови сорго, зокрема наявність воскового нальоту на поверхні листків та стебел, значно підвищують його ефективність використання вологи. Завдяки цьому захисному шару сорго здатне зменшувати транспірацію, що, своєю чергою, дозволяє в 1,5-2 рази збільшити обсяг утвореної сухої речовини на одиницю спожитої води. Цей високий рівень адаптації дає змогу рослині

мінімізувати загальне водоспоживання, успішно переносити екстремальні умови та, дочекавшись сприятливого періоду, формувати високий урожай [45–47].

Було встановлено, що сорго споживає воду дуже нерівномірно. Майже половина (близько 50%) всієї необхідної вологи засвоюється рослинами протягом критичного 25-30-денного періоду. Цей пік водоспоживання відбувається навколо фази цвітіння та викидання волоті (від 10 днів до появи волоті до 10 днів після цвітіння). Зазначений критичний період складає лише 20-25% від усього вегетаційного часу.

Полеві дослідження підтверджують, що сорго є лідером серед зернових культур за ефективністю використання води (ЕВВ). Для отримання 2,45 т/га насіння цієї культури потрібно лише близько 100 мм ґрунтової вологи. Порівняно з іншими культурами, сорго вимагає лише 300 частин води на одиницю сухої речовини, тоді як пшениця потребує 515 частин, овес – 600, а соняшник – 895 частин [48, 49]. Цей високий рівень адаптації дозволяє сорго забезпечувати врожай зерна 1,0-2,0 т/га та 8,0-12,0 т/га сидератів навіть у посушливих регіонах (з опадами 200-300 мм) та на низьких, засолених чи солонцюватих ґрунтах [50–52].

У регіонах з середнім рівнем опадів (300-450 мм) сорго демонструє стабільну продуктивність: 2,0-2,5 т/га зерна та 20,0-25,0 т/га кормової маси. Однак у зонах із нестабільним зволоженням (де, ймовірно, випадає більше опадів або застосовується зрошення), врожайність істотно зростає, сягаючи 5,0-7,0 т/га зерна та 42,0-55,0 т/га корму [53–56]. Завдяки цій високій продуктивності сорго є цінною культурою, здатною компенсувати дефіцит у виробництві фуражних зернових та сидеральних культур.

Сорго є невибагливою культурою до типу ґрунту і може успішно вирощуватися на піщаних, глинистих, а також на сильно засолених ґрунтах. Разом з тим, спостерігається пряма залежність: чим вища родючість та ступінь окультуреності ґрунту, тим, відповідно, вищою буде врожайність сорго, подібно до інших сільськогосподарських культур [57–62].

Сорго має високу здатність відновлюватися при вирощуванні на засолених ґрунтах [63]. Проте воно має певні обмеження: культура є чутливою до хлоридів та

надмірного зволоження, а також погано розвивається на кислих ґрунтах. Найкращий ріст сорго спостерігається, коли кислотність ґрунтового розчину (рН) близька до нейтральної, хоча рослина здатна витримувати лужні умови до рівня рН 8,5-9,5 [64; 65].

Для оптимального розвитку кореневої системи сорго ідеальною є щільність ґрунту в межах 1,18-1,26 г/см³ [61]. Водночас, рослини сорго активно сприяють поліпшенню структури ґрунту, зменшуючи щільність кореневмісного шару до 0,99-1,16 г/см³ [66]. Цей позитивний ефект досягається завдяки формуванню потужної та розгалуженої кореневої системи [67–70]. Така коренева система не лише покращує ґрунт, але й забезпечує потреби рослини у воді та поживних речовинах навіть в умовах, які є критичними для інших культур. Завдяки цій високій толерантності до посухи та засолення, сорго вирізняється стабільністю врожайності [74], забезпечуючи високі показники зерна та зеленої маси навіть у несприятливі роки [71–73].

Підсумовуючи, перспективи культивування зернового сорго (*Sorghum bicolor*) в Україні визначаються комплексом ключових чинників, серед яких: кліматичні умови, ефективність агротехнологій, ринковий потенціал та можливі напрями використання культури.

Щодо клімату, то, будучи теплолюбною рослиною, сорго добре підходить для вирощування в умовах помірного та континентального клімату. Зокрема, південні регіони України мають найбільш сприятливі умови для успішної культивуації зернового сорго.

Успішне вирощування зернового сорго вимагає суворого дотримання агротехнічних вимог [75]. Це включає:

Вибір оптимальних сортів

Якісну підготовку ґрунту

Своєчасну сівбу

Належний догляд за посівами

Ефективний збір урожаю

Ефективне застосування цих технологій є прямим шляхом до забезпечення високої врожайності сорго в умовах України.

Ринкові можливості та застосування

Сорго звичайне двокольорове (*Sorghum bicolor*) має широкий спектр застосувань, що забезпечує значний ринковий потенціал.

Напрями використання:

Харчова промисловість.

Виробництво кормів.

Біопаливо та біоенергетика.

Сировина для хімічної промисловості.

Потенціал України: Країна має можливості для виробництва зерна сорго як для продовольчих потреб, так і для тваринництва.

Експортний потенціал: Ринок продуктів із сорго є перспективним, особливо у контексті експорту [76-77].

Екологічна вигода та сталість

Вирощування сорго зернового несе значні екологічні переваги, сприяючи сталому землеробству.

- Збереження ресурсів: Сорго допомагає зберігати природні ресурси, зокрема ґрунт та воду.
- Посухостійкість: Культура невимоглива до вологості і добре переносить посуху, що особливо цінно в умовах зміни клімату.
- Біологічне землеробство: Сорго (*Sorghum bicolor*) може бути успішно інтегроване в біологічне землеробство, оскільки його вирощування не вимагає великих обсягів хімічних добрив та пестицидів [78-79].

1.2. Методи контролювання чисельності бур'янів в посівах сорго зернового

Основні завдання догляду за посівами зернового сорго полягають у забезпеченні оптимальних умов росту. Це включає:

Створення сприятливих ґрунтових умов для отримання дружних і рівномірних сходів.

Утримання посівів вільними від бур'янів (чистий стан).

Забезпечення рослин достатньою кількістю вологи та поживних речовин.

Сорго є вразливим до конкуренції з бур'янами і потребує ефективного захисту від них [80]. Надмірна кількість бур'янів у посівах не лише знижує врожайність та якість кінцевої продукції, але й ускладнює впровадження інтенсивних технологій вирощування та підвищує собівартість продукції [81].

Дослідження показують, що при вирощуванні як кукурудзи, так і сорго в різних кліматичних зонах часто спостерігається негативний вплив факторів зовнішнього середовища. У таких умовах критично важливим стає контроль забур'яненості посівів [82]. Ефективна боротьба з бур'янами спрямована на поліпшення водного та поживного режимів ґрунту, що, своєю чергою, оптимізує ріст, розвиток рослин і підвищує їхню продуктивність.

Для зернового сорго характерне повільне зростання на ранніх етапах вегетації (перші 30 днів після сходів). У цей період бур'яни активно поглинають вологу та поживні речовини, що може призвести до пригнічення і навіть загибелі молодих рослин сорго. З огляду на це, особлива увага приділяється вибору попередника, обробітку ґрунту та догляду за посівами. Критичним періодом шкодочинності бур'янів для сорго є фаза від куціння до виходу в трубку, тому необхідно забезпечити чистоту посівів саме в цей час.

Догляд за посівами зернового сорго слід розпочинати ще до появи сходів. Він включає комплекс заходів: післяпосівне прикочування, міжрядні культивації, а також контроль бур'янів, шкідників та хвороб [81].

Комплекс догляду за зерновим сорго необхідно починати до сходів, включаючи прикочування, культивацію та захист від біотичних факторів [81]. Післяпосівне прикочування має ключове значення для мобілізації ґрунтової вологи та покращення контакту насіння з ґрунтом. Ребриста поверхня, створена кільчасто-шпоровими котками, запобігає формуванню кірки. Боронування проти бур'янів виконується до сходів (за 4-5 днів) та після сходів (у фазі 4-6 листків).

Паралельно з агротехнічними заходами, для контролю чисельності бур'янів у посівах сорго зернового застосовуються хімічні засоби – гербіциди. Поєднання цих методів (інтегрований підхід) дозволяє знищити значну кількість небажаної рослинності, що сприяє підвищенню продуктивності культури та одночасно скорочує додаткові витрати. Ефективне застосування гербіцидів вимагає попереднього вивчення видового складу бур'янів, що значно знижує засміченість полів. Як результат, підвищується не лише врожайність самого сорго, але й продуктивність усєї сівозміни [81]

Існує думка, що гербіциди можуть чинити інгібуючий (пригнічувальний) вплив не лише на бур'яни, але й на культурні рослини. Однак, за даними інших науковців, висока ефективність гербіцидів у знищенні бур'янів у поєднанні з їхньою незначною негативною дією на сорго призвела до формування вищої врожайності порівняно з варіантами без обробки. Вчені також встановили, що внесення гербіцидів по сходах сорго не мало негативного впливу на його ріст і розвиток. Це підтверджується тим, що такі показники, як кількість рослин на 1 м², кількість листя, довжина волоті та ширина листка, були вищими у варіантах із застосуванням гербіцидів, ніж у контрольних групах.

За результатами досліджень, Інститут сільського господарства степової зони рекомендує застосовувати інтегрований підхід до боротьби з бур'янами, поєднуючи хімічні засоби (гербіциди) з агротехнічними заходами. Ця синергія методів дозволяє суттєво знизити забур'яненість, сприяючи підвищенню рівня врожайності сорго та скороченню додаткових витрат на його вирощування. Таким чином, висока чистота посівів досягається виключно за умови комбінування агротехніки та гербіцидного захисту.

Для контролю чисельності шкідників у посівах сорго необхідно вживати комплекс заходів, який включає див. рисунок 1.1:



Рис. 1.1. Комплекс заходів контролювання чисельності сегетальної рослинності

Для контролювання шкідників сорго зернового рекомендують застосування інсектицидів Децис, 2,5% к.е. (0,5...0,7 л/га), Енжіо 247 SC (0,18 л/га), Карате 050 ЕС, к.е. (0,2 л/га), Децис Форте, 12,5% к.е. (0,05...0,08 л/га), Штефесін, 2,5% к.е. (0,5–0,7 л/га), Карате Зеон 050 CS, м.к.с. (0,2 л/га), Бі-58 новий, Фастак (0,1-0,15 л/га), Актелік (0,5-1,0 л/га) та ін. [80].

Розрізняють основні хвороби сорго: летюча та тверда сажка, іржа пліснявіння насіння, кореневі і стеблові гнилі.

Заходи контролю хвороб сорго базуються на інтегрованому підході: використанні стійких сортів і гібридів, а також оптимальній агротехніці (дотримання сівозмін, глибока оранка та збалансоване живлення). Ключовим елементом захисту є обов'язкове протруювання насіння препаратами, такими як Вітавакс 200 з.п. (2 л/т) або Максим 0,25 Р8 т. к. с. (1 л/т), згідно з рекомендованими нормами витрати води [80].

Підсумовуючи огляд літературних джерел, варто зазначити, що елементи технології вирощування сорго звичайного двокольорового (*Sorghum bicolor*) не є універсальними і суттєво залежать від конкретної агротехніки та ґрунтово-кліматичних умов регіону. З огляду на це, набуває актуальності вивчення специфічних методів контролю бур'янів сорго саме в умовах Лісостепу України. Таке дослідження є доцільним для розробки рекомендацій, спрямованих на підвищення продуктивності та якості цієї культури в регіоні.

РОЗДІЛ 2

УМОВИ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА МЕТОДИКА

Дипломна робота з дослідження заходів контролювання чисельності бур'янів на врожайність сорго зернового в Лісостепу України базується на отриманні результатів у польових дослідах, що проводилися у 2024–2025 рр. на БЦ ДСС.

2.1 Кліматичні умови проведення досліджень і ґрунтова характеристика

Дослідження проводили в центральному Лісостепу України на Білоцерківській дослідно-селекційній станції, що знаходиться у центральній частині Лісостепу України. Це зона нестійкого зволоження. Розташування складає 49°43' північної широти та 30°06' західної довготи.

Досліди були закладені на чорноземі. Рельєф рівнинний Крупного пилу в орному шарі ґрунту становить до 54,4 %, мулуватих частинок до 17 %, піску до 8,2–17,5 %, фіз.глини до 30,1 %. На глибині 65 см є карбонати Ca і Mg. Ґрунтові води залягають на глибині до 8 м.

Характеристика орного шару ґрунту має наступні властивості: гумус – 3,5 %, кислотність – 2,41 мг-екв./100 г ґрунту, лужногідролізованого азоту (N) – 134 мг, рухомих форм фосфору – 276 мг, обмінного калію – 98 мг на 1 кг ґрунту. Ступінь насиченості основами 90 %.

Гігроскопічність ґрунту – 5,5 %; питома маса твердої фази ґрунту – 2,61; польова вологоємність за об'ємної маси 1,2 г/см³ – близько 26 %, а за 1,3 г/см³ біля 18 %. Ґрунт дослідницької ділянки вважається типовим для Білоцерківського агроґрунтового району центральної частини Лісостепу та придатний для вирощування сорго зернового.

Продуктивність сільськогосподарських культур вважається, що залежить від погодних умов на 15 %, а можливо і на 100 %.

Негативно впливають на інтенсивність росту й розвиток рослин сорго зернового нестача або відсутність опадів і наявність навесні заморозків [28, 29].

За даними БЦ метеостанції за рік сума ефективних температур дорівнює 2450–2850 °С, та 535 мм кількість опадів, Середня багаторічна температура повітря склала 6,9 °С.

За даними метеостанції температурний режим 2024 і 2025 років характеризувався деякими коливаннями, та з перевищенням багаторічних показників (рис. 2.1, 2.2), що позитивно впливало на ріст та розвиток сорго.

У 2024 році вегетаційний період відзначився суттєвим перевищенням температури влітку, особливо у липні, коли показники були вищими за середні багаторічні дані на 4,0 °С. У червні, серпні та вересні також фіксувалося потепління на 2,1 °С та 1,4 °С та 0,7 °С відповідно. На противагу цьому, початок вегетації був прохолоднішим: у квітні та травні (а також у вересні) середня температура була нижчою за норму на 1,0 °С.

У 2025 році температура повітря в травні та квітні була майже близькою з середньо багаторічними даними, у літні місяці значно вища температура спостерігається – на 3,7 °С, 2,8 °С, 5,1 за середні багаторічні показники, а у вересні близько на 5,4 °С.

Відмічена нерівномірність кількості випадання опадів (рис. 2.3, 2.4).

Аналіз опадів за два роки виявив значні відмінності у вологозабезпеченні, що вплинуло на умови вирощування. 2024 рік: нерівномірне зволоження. 2024 рік загалом характеризувався нерівномірним розподілом опадів: квітень, липень та серпень відповідали середнім багаторічним показникам, забезпечуючи нормальне зволоження на ключових етапах розвитку. Травень відзначився надлишком вологи, перевищивши норму на значні 78,0 мм. Це могло спричинити затримку сівби або погіршення аерації ґрунту. Натомість, червень та вересень були посушливими, із дефіцитом опадів на 22,7 мм та 27,4 мм відповідно. Дефіцит у червні міг негативно позначитися на формуванні вегетативної маси. 2025 рік спостерігається виражена посуха. 2025 рік був значно складнішим і загалом класифікується як посушливий. Хоча квітень та серпень мали перевищення норми опадів (на 36,8 мм та 30,4 мм відповідно), більшість місяців вегетації пройшла з критичним дефіцитом вологи. Травень, червень, липень та вересень мали значне недоотримання опадів: Травень:

23,9 мм (дефіцит 30,1 мм). Червень: 34,5 мм (дефіцит 34,5 мм). Липень: 38,7 мм (дефіцит 36,3 мм). Вересень: 4,0 мм (дефіцит 40,0 мм). Рік характеризувався посухостійкістю (тобто вимагав від рослин високої посухостійкості для виживання).

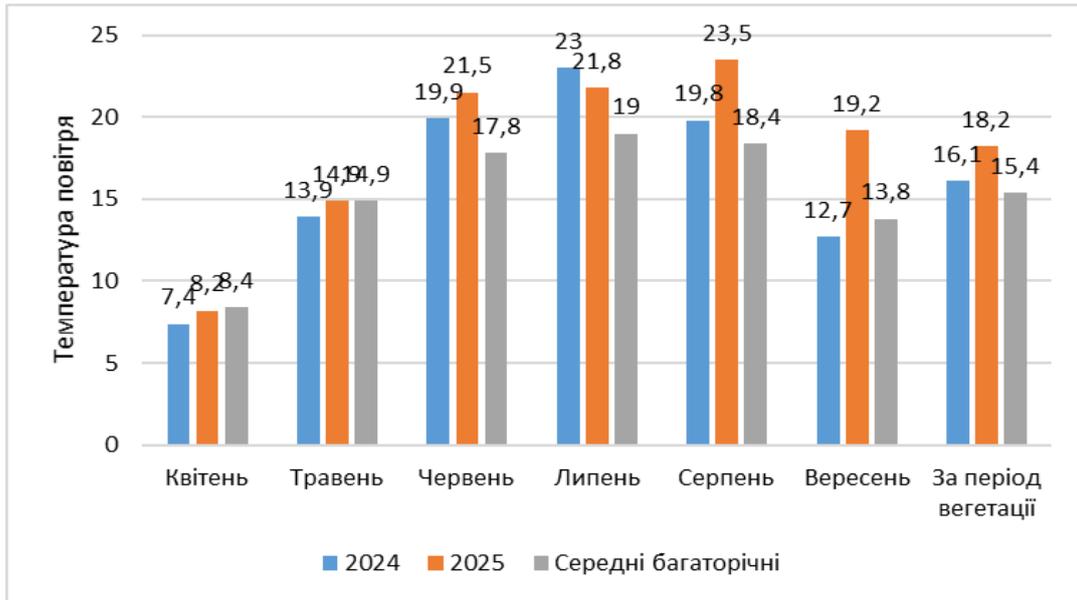


Рис. 2.1. Температура повітря та середньобагаторічні дані, °С

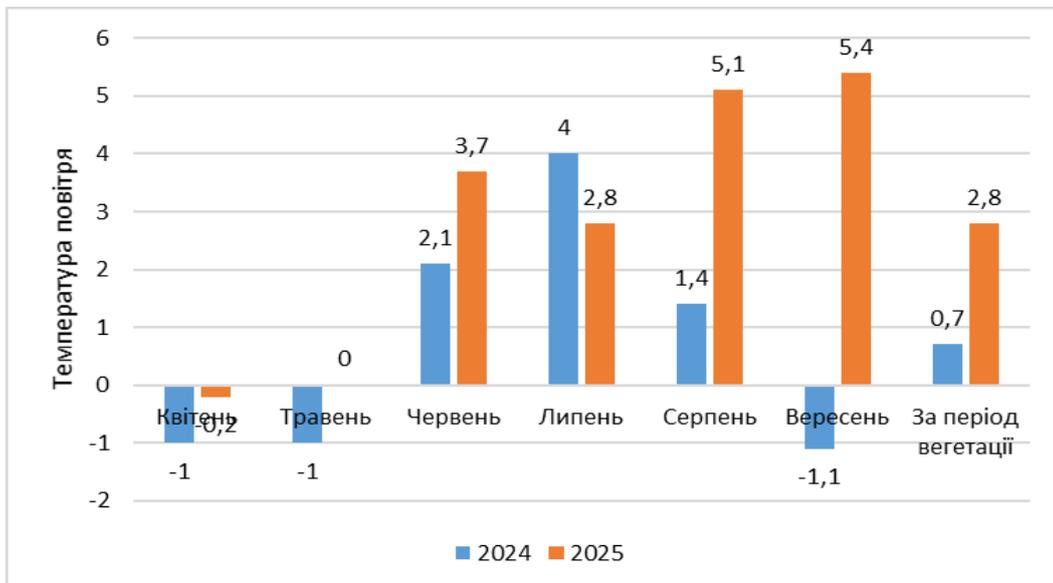


Рис. 2.2. Відхилення температури повітря від середньобагаторічних даних, °С

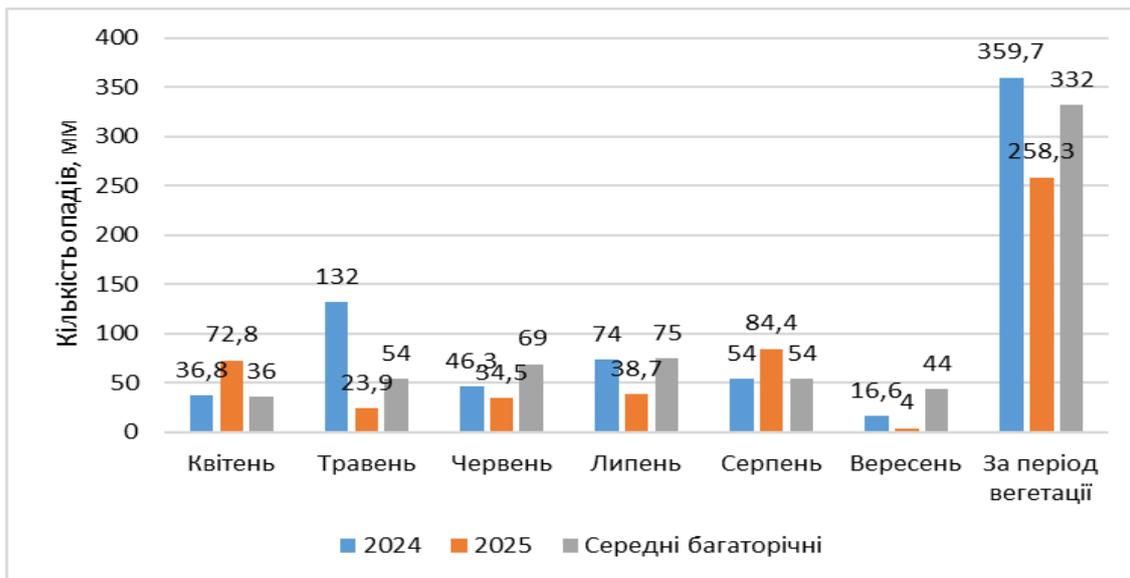


Рис. 2.3. Кількість опадів за період вегетації, мм

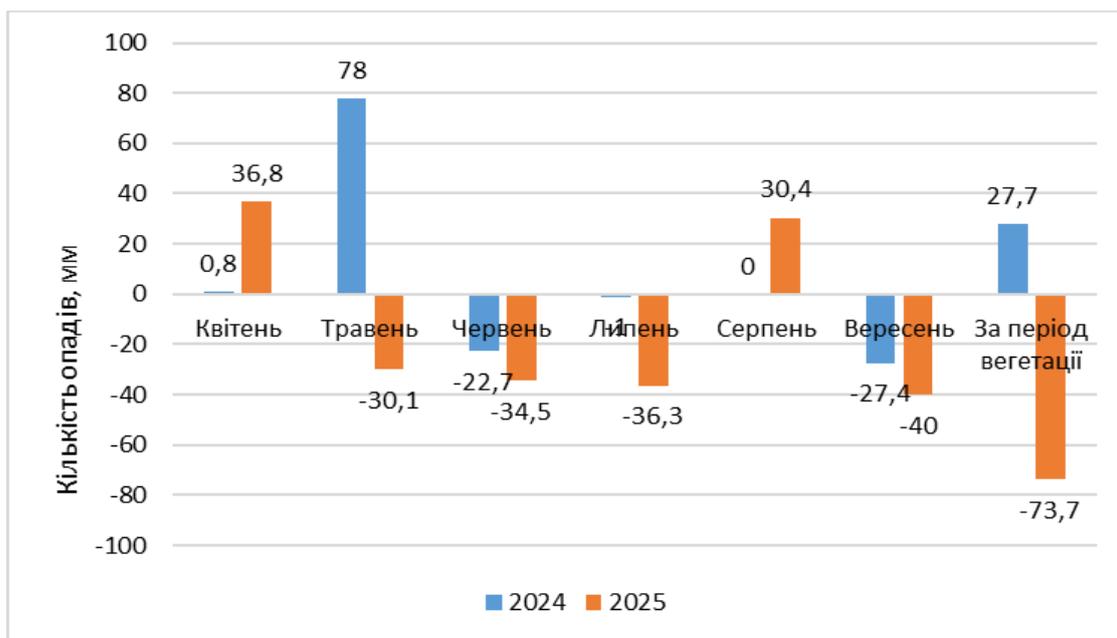


Рис. 2.4. Відхилення кількості опадів від середніх багаторічних даних, мм

Аналіз динаміки гідротермічного коефіцієнта Селянінова (ГТК) дозволяє оцінити забезпеченість сорго зернового теплом і вологою протягом вегетаційного періоду в досліджувані роки.

Згідно з розрахунками, у 2024 році ГТК становив 1,22, що відповідає достатньо вологим умовам вегетації. Проте, у 2025 році цей показник різко знизився до 0,45, свідчаючи про настання сильної посухи.

2.2. Мета досліджень і завдання

Мета досліджень полягала у визначенні ефективності методів контролювання чисельності бур'янів в посівах сорго на ріст, розвиток і продуктивність культури в умовах центрального Лісостепу України.

Передбачалося вирішення наступних завдань для поставленої мети:

- дослідити інтенсивний ріст і розвиток сорго залежно від сорту, та умов вирощування;
- визначити фактори формування продуктивності сорго зернового залежно від факторів вирощування;
- дослідити вплив сорту, методів контролювання чисельності бур'янів на морфологічні й фізіологічні процеси формування зернової та надземної маси;
- розрахувати енергетичну й економічну оцінку досліджуваних елементів технології вирощування сорго.

Об'єкт дослідження – процес утворення продуктивності зернового, та ріст і розвиток рослин залежно від технології вирощування в Лісостепу України.

Предмет дослідження – сорти сорго, елементи технології, а саме методи контролювання чисельності бур'янів.

2.3. Схема досліду та методика закладання досліджень

В дослідженнях проводили такі обліки й спостереження ґрунтових особливостей, умов вирощування та рослин:

- вологість визначали методом термостатно–ваговим (ДСТУ ISO 11465:2001);
- фіксували подекадно кількість опадів, температуру повітря порівнюючи із середніми багаторічними показниками. ГТК Селянінова розраховували на основі співвідношення подекадної температури повітря і кількості опадів;
- лабораторну схожість насіння та масу 1000 насінин, визначали за ДСТУ 4138-2002. Польову схожість вираховували після повних сходів відношенням числа насіння, що зійшло до висіяного, у %;

– спостереження фенології, візуально визначали початок фази росту рослин після настання її у 10–15 % рослин та у 70–75 % рослин повну фазу. У сорго відмічали фази повних сходів, кушіння, повного викидання волоті, початкового і повного цвітіння, молочно-воскової, воскової та повної стиглості зерна;

– після появи сходів і перед збиранням густоту стояння рослин досліджували шляхом підрахунку рослин на одному метрі рядка у п'яти місцях по діагоналі ділянки;

– висоту рослин й діаметр стебла у вегетаційний період рослин;

– площа листків визначалась за формулою (1):

$$S_n = 0,67ab, \quad (1)$$

де S_n – площа одного листка, см^2 ; a – широка частина листка, см ; b – довжина листка, см ; 0,67 – коефіцієнт конфігурації листка.

Фотосинтетичний потенціал визначали за формулою (2):

$$\Phi П = (Л_1 + Л_2) / (2 \times 1000) \times T, \quad (2)$$

де $Л_1$, $Л_2$ – площа листової поверхні в певні фази розвитку, $\text{тис. м}^2/\text{га}$;

T – тривалість міжфазного періоду, доба.

Чисту продуктивність фотосинтезу врахували за формулою (3):

$$\text{ЧПФ} = 2(B_1 - B_2) / n(L_1 + L_2), \quad (3)$$

де ЧПФ – чиста продуктивність фотосинтезу, $\text{г}/\text{м}^3$ за добу; B_1, B_2 – маса рослин в період обліків, м^2 ; n – кількість днів;

– у зерні та вегетативній масі визначали суху речовину;

– облік врожаю з облікової площі проводили суцільним способом відповідно до схеми досліджу;

– крохмаль у зерні визначали за допомогою поляриметричного методу; вміст сирої клейковини в зерні ваговим методом; методом знежиреного залишку вмісту жиру; вміст білка за методом Кьельдаля (ДСТУ 4117: 2007);

– розрахунок біопалива з зерна й біомаси та вихід енергії за методикою ІБКЩБ [78];

– економічну оцінку за методикою оцінки завершених наукових досліджень [79–82].

– енергетичну оцінку – за методикою О.К. Медведовського;
 – результати досліджень – за дисперсійним та кореляційно-регресійним методом, та методу кластеризації з застосуванням пакету «STATISTICA 12».

Дослід 1. Продуктивність сорго зернового залежно від методів контролювання чисельності бур'янів (табл. 2.3). Дослід проводили за двофакторною схемою впродовж 2024–2025 рр.

Таблиця 2.1

Схема дослідів 1:

<i>Фактор А:</i> Сорти	<i>Фактор В.</i> Методи контролювання чисельності бур'янів
Арігато	Конт. 1 без прополки
	Механічний метод
Понкі	Хімічний метод
	Конт. 2, прополка

Висів насіння на 4–6 см, ширина міжрядь 45 см, норма 220 тис. шт./га.

РОЗДІЛ 3

ВПЛИВ МЕТОДІВ КОНТРОЛЮВАННЯ БУР'ЯНІВ У ПОСІВАХ СОРГО ЗЕРНОВОГО НА РІСТ І РОЗВИТОК РОСЛИН

3.1 Біометричні показники й ефективність впливу методів контролювання бур'янів

Зважаючи на те, що бур'яни є серйозними конкурентами для культурних рослин, бо змагаються з ними за світло, вологу та поживні речовини, їхня роль у зниженні врожайності є критичною. Останнім часом, через загальне погіршення культури землеробства, забур'яненість сільськогосподарських площ значно зросла і набула загрозливого характеру.

Це робить питання ефективного контролю чисельності бур'янів надзвичайно актуальним. Зокрема, для досягнення високих і стабільних врожаїв зернових культур, як-от сорго звичайного двокольорового, життєво необхідним є застосування комплексу заходів, включно з хімічною боротьбою та механічним обробітком ґрунту. Оскільки на ранніх етапах росту сорго має повільний приріст вегетативної маси, його посіви легко пригнічуються швидкоростучими бур'янами.

Таким чином, актуальним завданням залишається розробка та вивчення оптимальних складових технології вирощування сорго, спрямованих на ефективне керування чисельністю бур'янів, що забезпечить максимальну продуктивність цієї культури.

Ефективне контролювання чисельності бур'янів є ключовим інструментом для підвищення врожайності високопродуктивних сортів та гібридів зернових культур. Це вважається найбільш раціональним способом збільшення ефективності ресурсозбереження у сільському господарстві, навіть порівняно з іншими технологіями обробітку ґрунту.

Оскільки бур'яни мають високу адаптивність і відмінно пристосовані до умов агроценозів, використання ресурсоощадних технологій обробітку ґрунту буде успішним лише на полях, чистих від бур'янів.

Проблема втрат врожаю від бур'янів має глобальне значення. За даними ФАО, світові щорічні втрати сільськогосподарської продукції через бур'яни становлять 20,4 мільярда, що дорівнює 14,5 % загальної вартості зібраного врожаю.

Досліджено, що у посівах сорго зернового чисельними були однорічні злакові бур'яни: 28,1–29,3 шт./м² мишій сизий (*Setaria glauca* L.), 23,8–25,5 шт./м² – плоскуха звичайна (*Echinochloa crusgalli* L.). Найчисельнішими з дводольних бур'янів відмічали 10,2–12,3 шт./м² щиріцю звичайну (*Amaranthus retroflexus* L.), 9,4–10,1 – лободу білу (*Chenopodium album* L.), 5,3–6,5, – гірчак березковидний (*Polygonum convolvulus* L.), 5,5–6,8 грицики звичайні (*Capsella bursa-pastoris* L.), 5,5–6,4 – талабан польовий (*Thlaspi arvense* L.), 2,8–3,0 – курячі очка польові (*Anagallis arvensis* L.), 3,1–4,6 шт./м² куколиця біла (*Melandrium album* Mill.) та ін. Відмічали меншу кількість коренепаросткових бур'янів це 1,8–2,0 шт./м² осот жовтий (*Sonchus arvensis* L.) (рис. 3.1). Всього бур'янів було 106,5 шт./м², повітряно-суха їх маса – 158,0 г/м² (рис. 3.1).

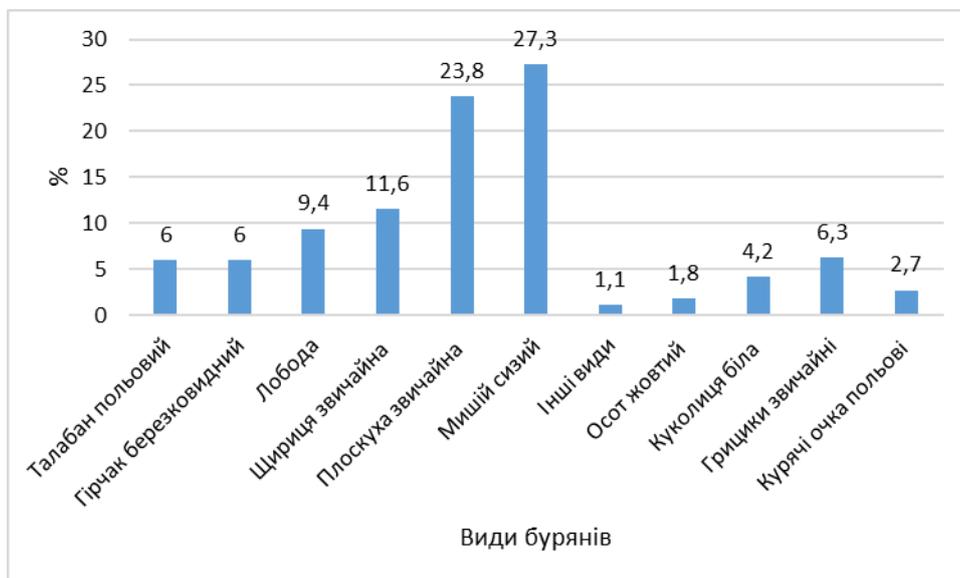


Рис. 3.1. Склад бур'янів у посівах сорго, за 2024–2025 рр.

Кількість бур'янів по сортах, на початку вегетації, була високою та становила від 109 до 120 шт./м², після застосування методів їх контролювання вона значно зменшилася (рис. 3.2). Висока ефективність знищення бур'янів відмічена за прополювання – на 97 %. Нижча ефективність контролювання чисельності бур'янів відмічена за механічного та хімічного способу – ефективність дії становила за

хімічного способу у середньому 77 % (бур'янів зменшується до 85 шт./м²), за механічного – 78–79 % (бур'янів зменшується на 87 шт./м²). У варіанті контрольному досліді збільшилась кількість бур'янів на 10 %, а це 11,2 шт./м².

У період росту і розвитку рослин сорго зернового сортів Арігато та Понкі відмічено збільшення вегетаційного періоду до 124 діб у контролі (рис. 3.2). Тоді як застосування інших способів хімічного і механічного контролювання чисельності бур'янів призвело до скорочення цього періоду у сорту Арігато – до 117 діб, у сорту Понкі до 115 діб. На контролі 2 – ручне прополовання вегетаційний період рослин становив 108 діб у сорту Арігато та 105 діб у сорту Понкі.

Висота рослин у сорту Арігато була в межах від 77 см у контролі 1 – без прополовання до 129 см за ручного прополовання – контроль 2, сорту Понкі – відповідно, від 72 до 126 см. За інших способів контролювання чисельності бур'янів висота у рослин становила 108 та 113 см сорту Арігато і 106 та 111 см сорту Понкі (рис. 3.3).

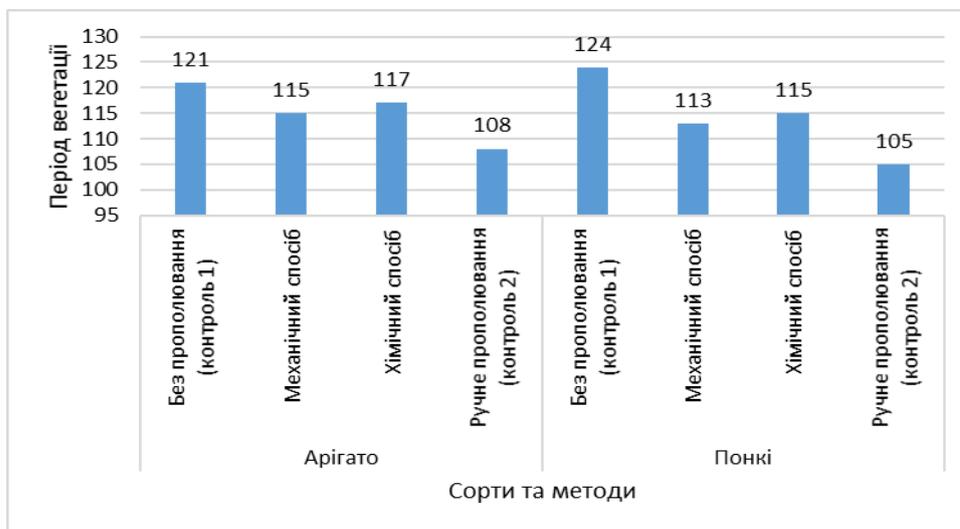


Рис. 3.2. Вегетаційний період сортів сорго залежно від досліджуваних факторів

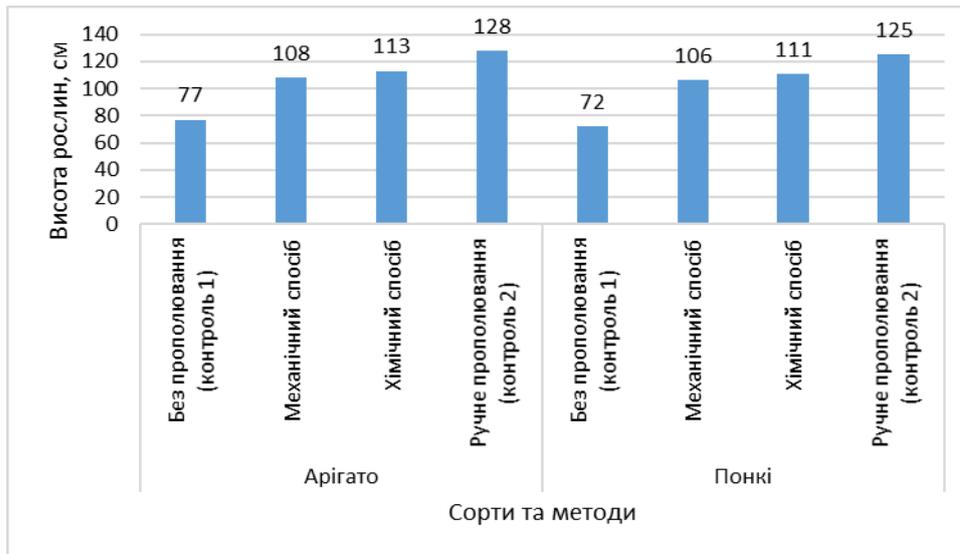


Рис. 3.3. Висота сортів сорго залежно від досліджуваних факторів

На варіанті без прополовання кількість продуктивних стебел, площа листової поверхні й маса рослин відмічали низькі показники у двох сортів, а за прополовання – високі, це пояснюється високою доступністю рослинам вологи, світлом та елементів живлення, а також забезпечення основними чинниками життя (рис. 3.4–3.6).

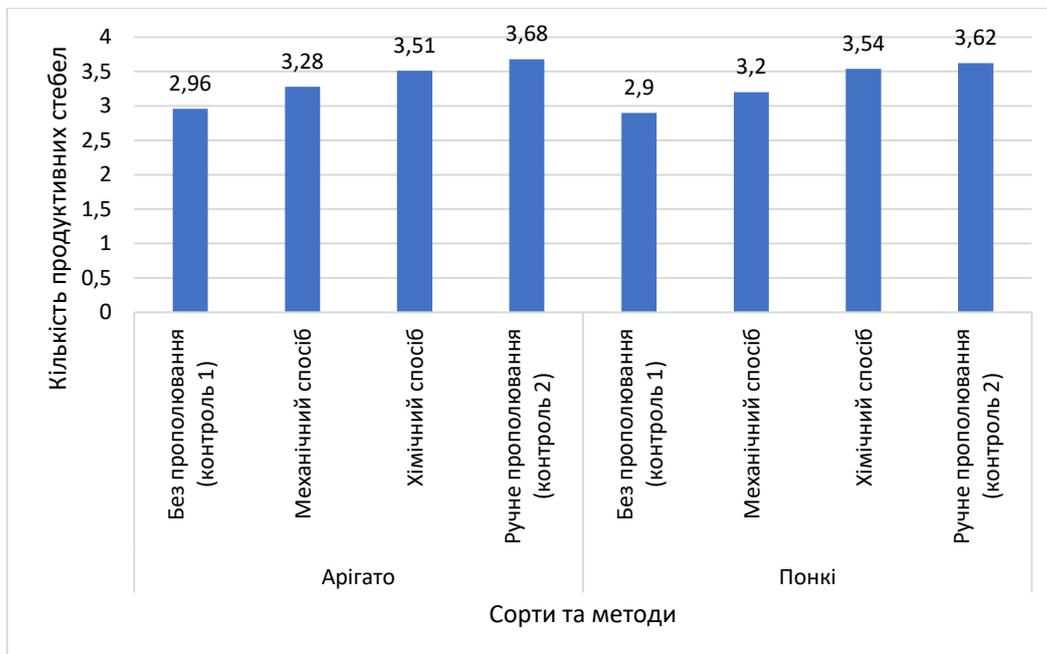


Рис. 3.4. Кількість продуктивних стебел сорго залежно від досліджуваних факторів

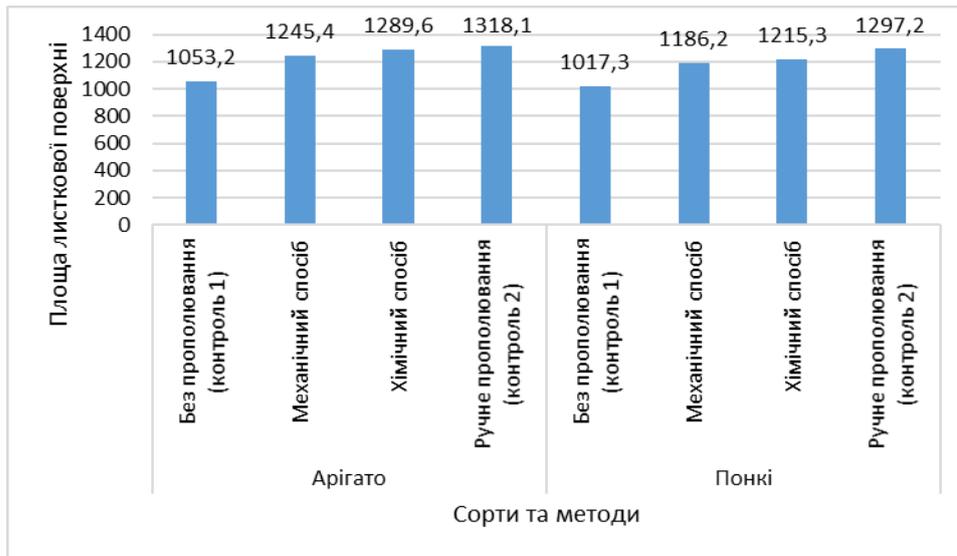


Рис. 3.5. Площа листкової поверхні сорго залежно від досліджуваних факторів

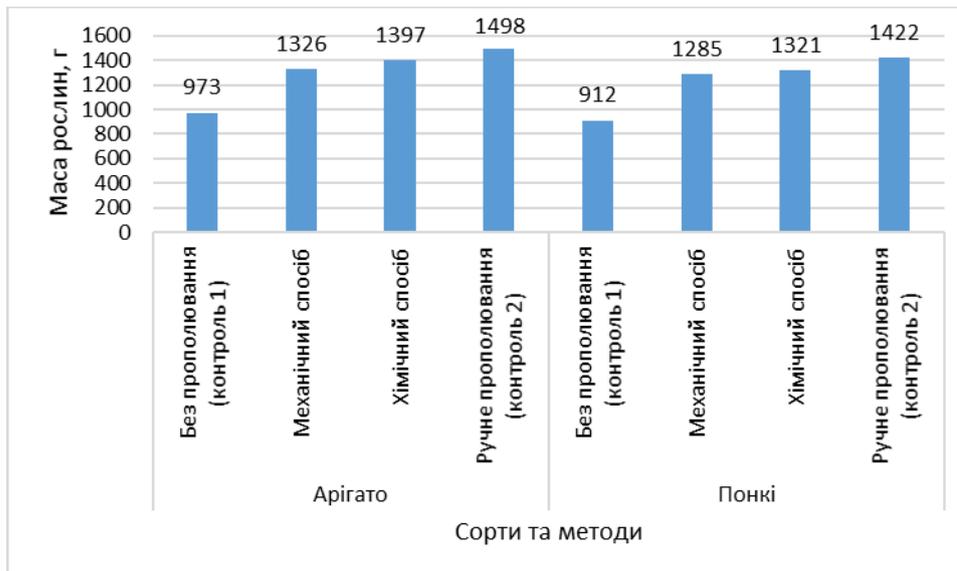


Рис. 3.6. Маса рослин сорго залежно від досліджуваних факторів, г

За механічного та хімічного методів контролювання чисельності бур'янів кількість продуктивних стебел становила майже 16,0 та 16,4 штук/м² у сорту Арігато й 15,4 та 16 штук/м² у сорту Понкі. Площа листкової поверхні у сорту Арігато була 1245,4 та 1289,6 см² й у сорту Понкі 1186,2 та 1215,3 см². Так, визначено, що за рахунок знищення бур'янів у посівах сорго зернового з 1 м² маса рослин у сорту Арігато підвищувалась за механічного способу на 353 г, за хімічного на 424 г, за прополовання на 525 г –. У сорту Понкі відповідно на 373, 409 та 510 г.

3.2. Продуктивність фотосинтезу рослин сорго зернового залежно від методів догляду за посівами

Інтенсивність фотосинтетичної продуктивності посівів сорго безпосередньо залежить від застосованих технологій догляду за ними.

Зокрема, у контрольному варіанті (де догляд за посівами повністю був відсутній), були зафіксовані значно нижчі ключові показники, що характеризують ефективність фотосинтезу:

- Площа листової поверхні (менша кількість листя для поглинання світла).
- Фотосинтетичний потенціал (нижча загальна здатність посівів до фотосинтезу протягом вегетації).
- Чиста продуктивність фотосинтезу (менший чистий приріст сухої речовини на одиницю площі за одиницю часу).

Таким чином, належний догляд є критично важливим для максимізації поглинання сонячної енергії та накопичення біомаси сорго рис. 3.7.–3.10.

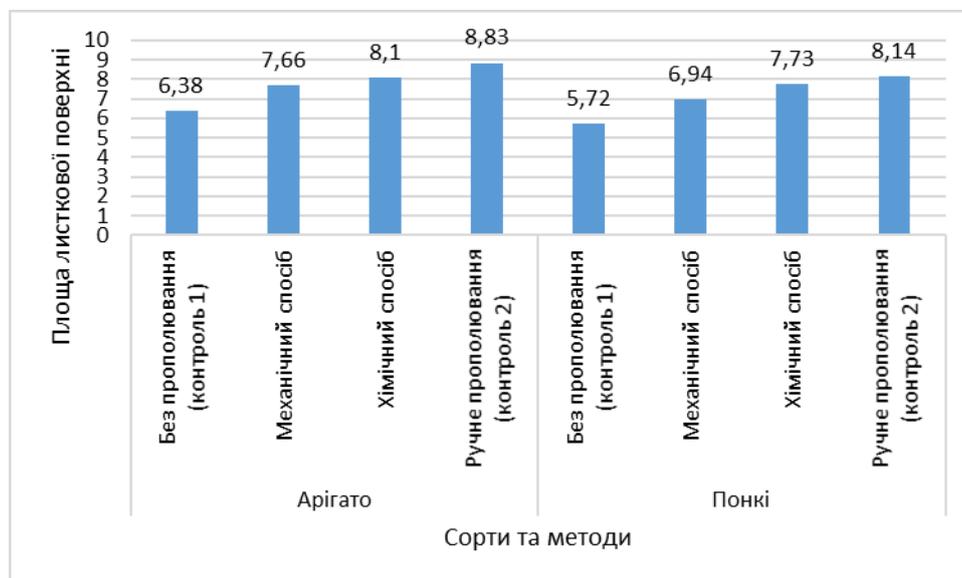


Рис. 3.7. Площа листової поверхні рослин сорго у фазу кушіння, залежно від досліджуваних факторів, за 2024–2025 р.

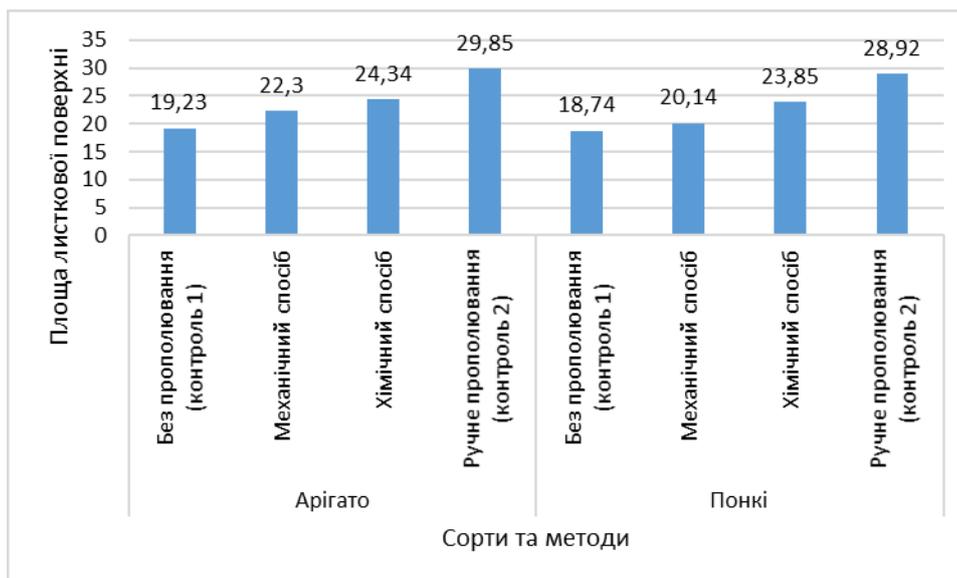


Рис. 3.8. Площа листкової поверхні рослин сорго у фазу вихід в трубку, залежно від досліджуваних факторів, за 2024–2025 р.

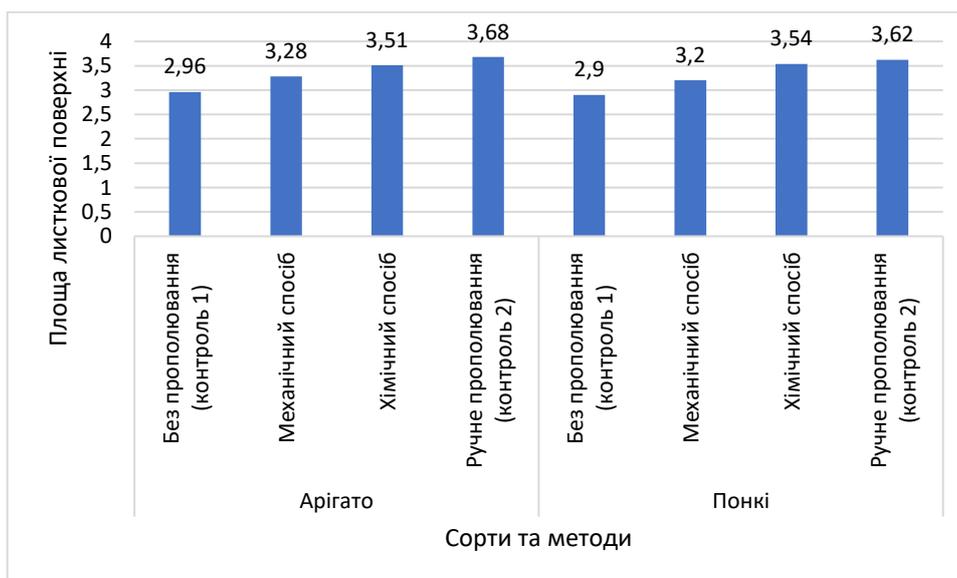


Рис. 3.9. Площа листкової поверхні рослин сорго у фазу цвітіння, залежно від досліджуваних факторів, за 2024–2025 р.

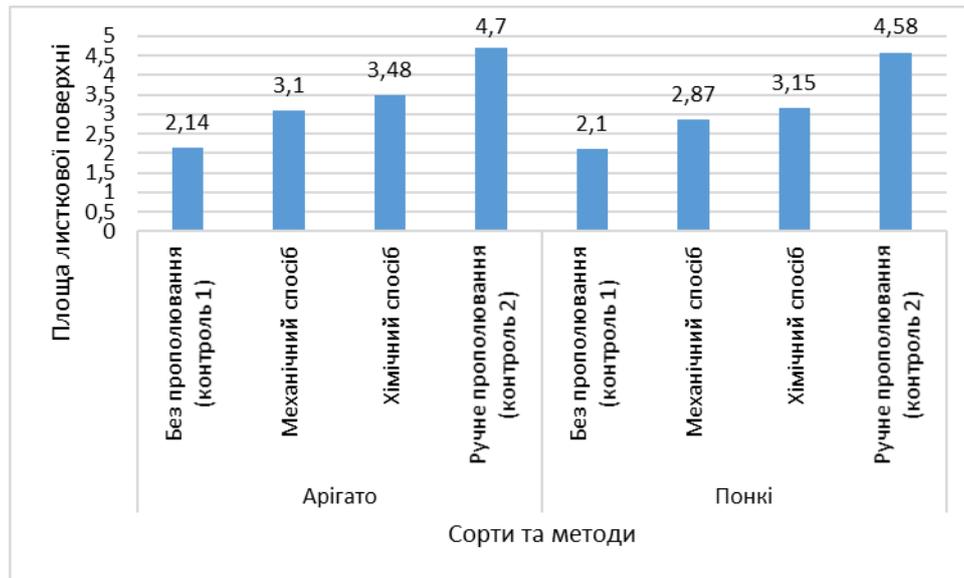


Рис. 3.10. Площа листової поверхні рослин сорго у фазу повної стиглості зерна, залежно від досліджуваних факторів, за 2024–2025 р.

У варіанті контроль 2 відмічається висока площа листків досліджуваних сортів (35,24 та 34,87 в період «викидання волоті – цвітіння»), що вище ніж на контролі 1 – 34,2 та 35,8 %, у варіанті де застосовувався механічний метод захисту на 23,9 та 27,3% і за хімічного методу на 12,5 та 12,8 %.

Фотосинтетичний потенціал найвищий та чиста продуктивність фотосинтезу (1,44 і 1,37 млн.м²/га×діб/га) та (3,68 та 3,62 г/м² за добу) відмічені за прополовання бур'янів. Ці показники були дещо меншими на інших варіантах досліді (рис. 3.11, 3.12).

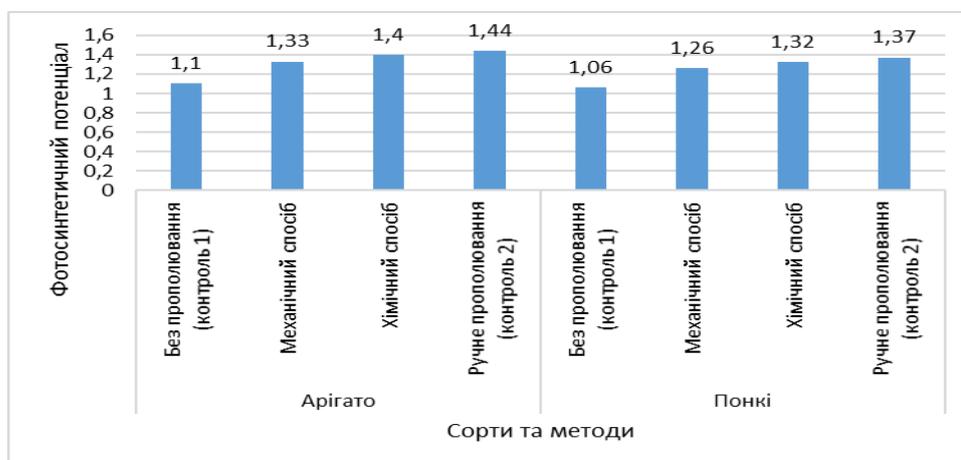


Рис. 3.11. Фотосинтетичний потенціал сорго залежно від досліджуваних факторів, за 2024–2025 р.

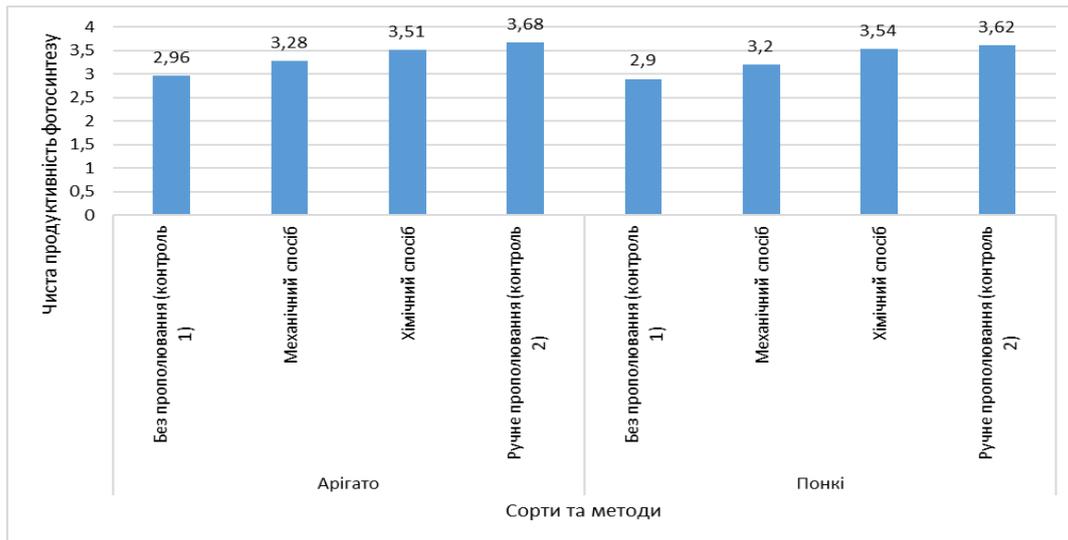


Рис. 3.12. Чиста продуктивність фотосинтезу сорго залежно від досліджуваних факторів, за 2024–2025 р.

Вміст хлорофілу в рослинах сорго зростає в міру їхнього розвитку і досить швидко стабілізується на певному рівні. Цей рівень є генетично детермінованим і водночас залежить від впливу численних зовнішніх та внутрішніх факторів.

Високий вміст хлорофілу у фазі викидання волоті пояснюється тим, що оптимальні умови розвитку і, відповідно, ефективний догляд (особливо ручне прополювання) стимулюють діяльність протопласту. Це призводить до інтенсивного росту пластидоносних клітин та збільшення кількості хлоропластів, що є джерелом нового хлорофілу.

Проте, після періоду цвітіння відбувається природне зниження концентрації хлорофілу. Це пов'язано із завершенням активного процесу росту, припиненням утворення нових листків та початком їхнього дозрівання (старіння).

3.3. Врожайність сорго зернового залежно від контролювання чисельності сегетальної рослинності

Забур'яненість посівів це одна із найбільш значних обмежувальних факторів у технології вирощування сільськогосподарських культур. Незважаючи на впровадження високоефективних систем захисту, бур'яни залишаються серйозною загрозою:

Вони значно знижують ефективність будь-яких агротехнічних заходів, спрямованих на підвищення врожайності.

Бур'яни здатні знизити продуктивність культури на 30% і більше (на третину). Взаємодія Культурної та Сегетальної Рослинності.

Культурні рослини та бур'яни (сегетальна рослинність) утворюють тісний взаємозв'язок у посівах. Вони є рівнозначними конкурентами, а їхній кількісний та видовий склад формується під впливом: екологічних змін у навколишньому середовищі. Особливостей технології вирощування, зокрема якості догляду за посівами.

Таким чином, розробка та постійне вдосконалення елементів технології вирощування сорго звичайного двокольорового, особливо у частині контролю бур'янів, є пріоритетним завданням для забезпечення та максимального збільшення його врожайності.

Врожайність сорго зернового— це головний чинник, що визначає доцільність та ефективність застосування прийомів агротехніки. Висока врожайність біомаси та зерна сорго отримана на ділянках де здійснювали ручне прополювання, яка становила 6,40 та 29,7 т/га у сорту Арігато і 6,20 та 29,3 т/га у сорту Понкі, що вище за показник контролю 1 на 3,6 та 6,7 в першому випадку та 3,8 та 6,5 т/га в другому випадку (рис. 3.13).

За хімічного і механічного методів контролювання чисельності бур'янів врожайність була істотно нижчою порівняно з прополюванням й істотно вищою за варіант без прополювання контроль 2.



Рис. 3.13. Врожайність зерна та надземної маси сорго залежно від методів контролювання чисельності бур'янів, за 2024–2025 рр.

Методи регулювання забур'яненості безпосередньо впливали на накопичення сухої речовини в зерні та вегетативній масі рослин (рис. 3.14).

Зокрема, на контрольних ділянках (без прополовання) цей показник у зерні становив 84,8–85,5 %. Застосування механічних заходів контролю сприяло зростанню вмісту сухої речовини до 85,5–86,9 %, тоді як за хімічного методу він сягав 86,0–87,0 %. У разі використання ручного прополовання значення зафіксовані в межах 85,9–86,1 %.

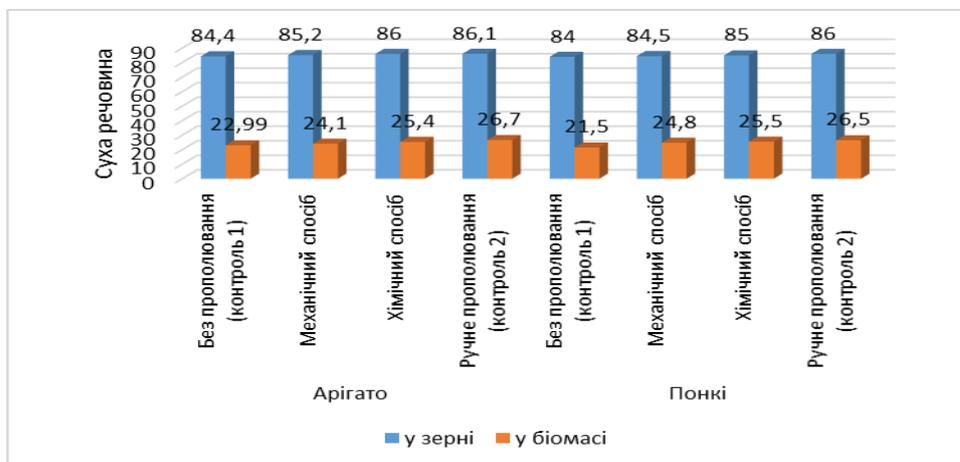


Рис. 3.14. Вміст сухої речовини у сорго залежно від досліджуваних факторів, %, за 2024–2025 р.

Результати досліджень свідчать про поступове зменшення чисельності небажаної рослинності в посівах сорго впродовж етапів органогенезу. Ця динаміка зумовлена як проведенням агротехнічних заходів, так і природною елімінацією (відмиранням) бур'янів.

Водночас частина бур'янів продовжувала вегетацію та нарощування фітомаси аж до моменту збирання культури. Попри те, що через місяць після сівби рослини сорго створювали значне затінення, механічні та хімічні обробки не забезпечили повної чистоти посівів.

Зокрема, у фазу виходу культури в трубку було зафіксовано появу другої хвилі забур'яненості. Мінімальні показники накопичення сирої маси бур'янів (217 г/м²) в умовах нестійкого зволоження Правобережного Лісостепу зафіксовано на варіантах із використанням ручного прополювання (рис. 3.15).

У варіанті з хімічним обприскуванням посівів спостерігається вища вегетативна маса бур'янів яка становить, відповідно, 636, а за механічного способу контролювання 956.

Розрізняючи різновидності бур'янів варто зазначити, що кількість однорічних злакових переважала дводольні малорічні та коренепаросткові.

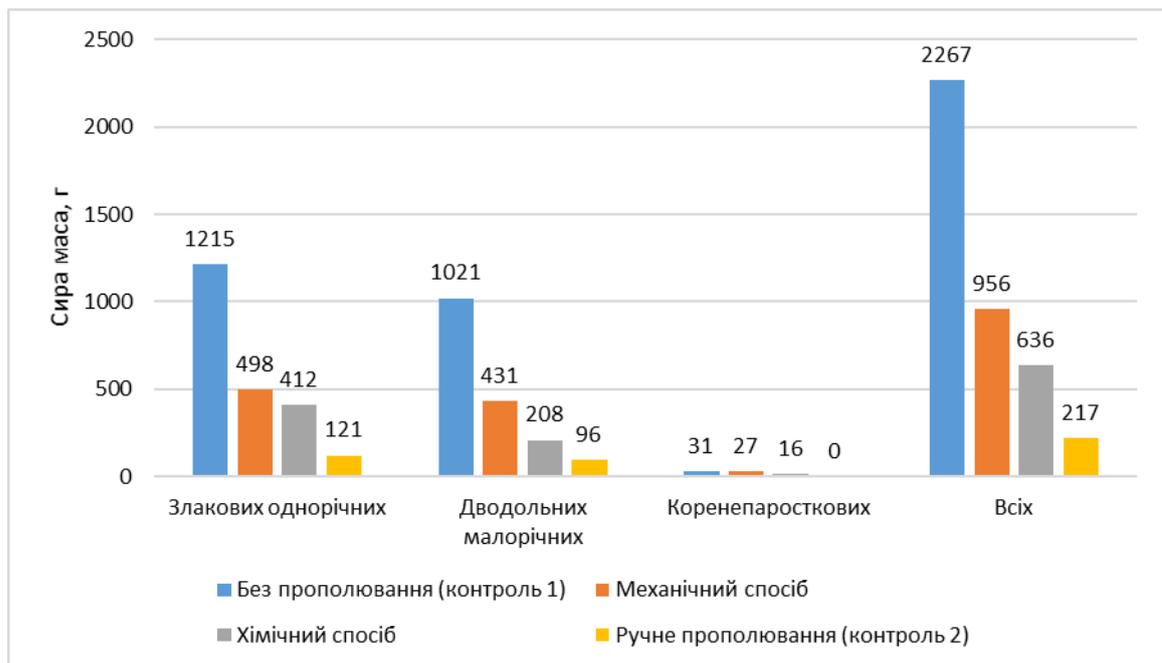


Рис. 3.15. Вегетативна маса бур'янів у сорго зернового, г/м², за 2024–2025 рр.

Аналіз елементів структури врожаю дає змогу детально оцінити вплив різних методів боротьби з бур'янами на зернову продуктивність сорго.

Зокрема, найвищі показники було зафіксовано на ділянках із застосуванням ручного прополювання. У сорту Арігато за такого догляду довжина волоті досягала 22,8 см, а її маса — 36,9 г. Кількість зерен у волоті становила 1236 шт. при масі зерна 27,1 г; показник маси 1000 насінин дорівнював 21,7 г (рис. 3.16–3.20).

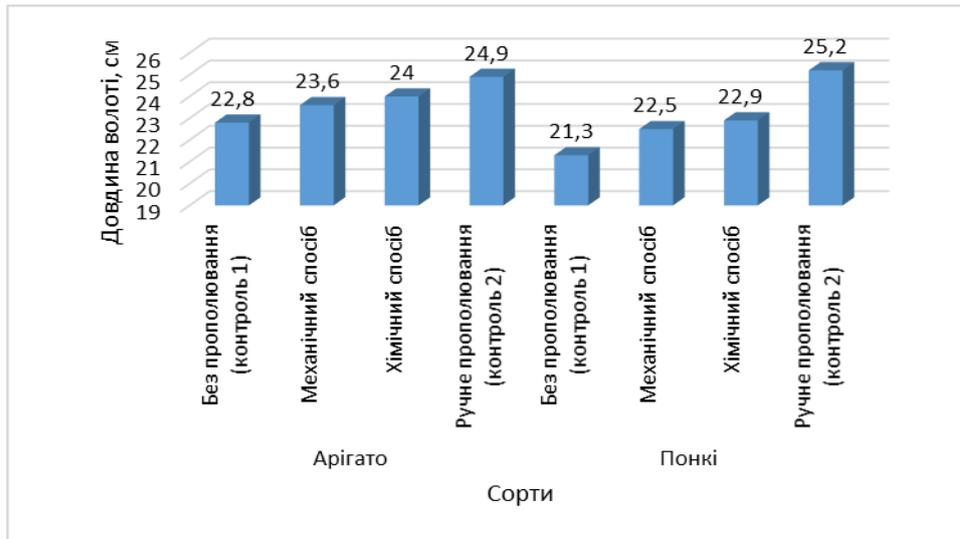


Рис. 3.16. Довжина волоті рослин сорго зернового залежно від досліджуваних факторів, середнє за 2024–2025 рр.

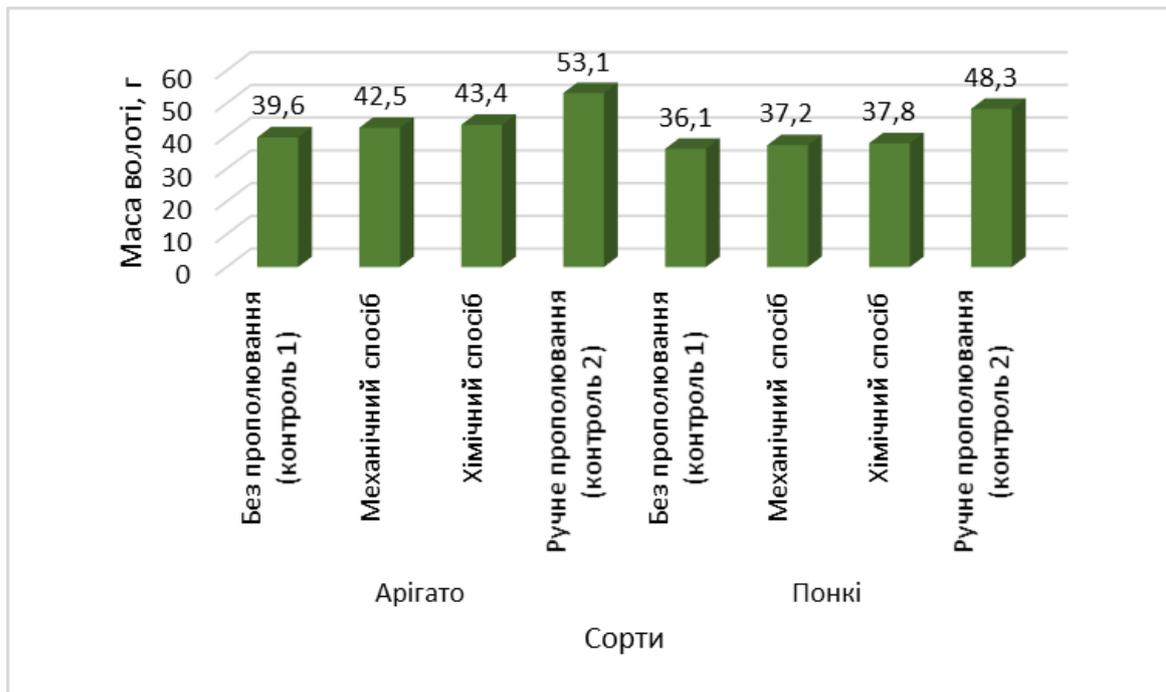


Рис. 3.17. Маса волоті рослин сорго зернового залежно від досліджуваних факторів, середнє за 2024–2025 рр.

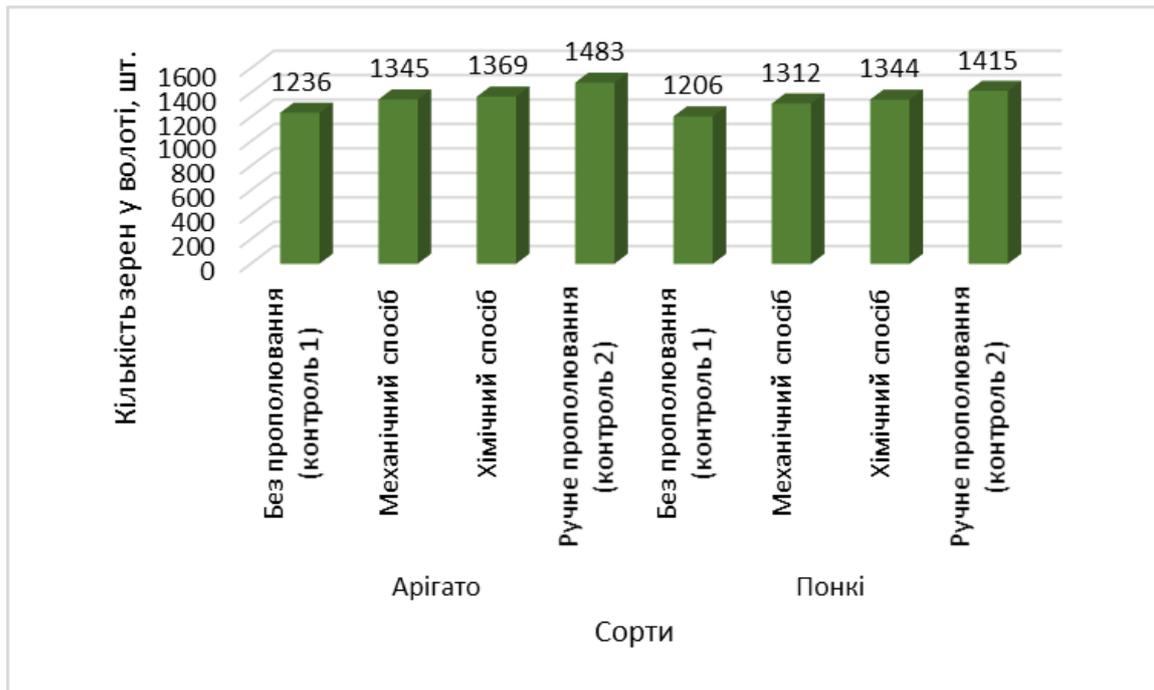


Рис. 3.18. Кількість зерен у волоті рослин сорго зернового залежно від досліджуваних факторів, середнє за 2024–2025 рр.

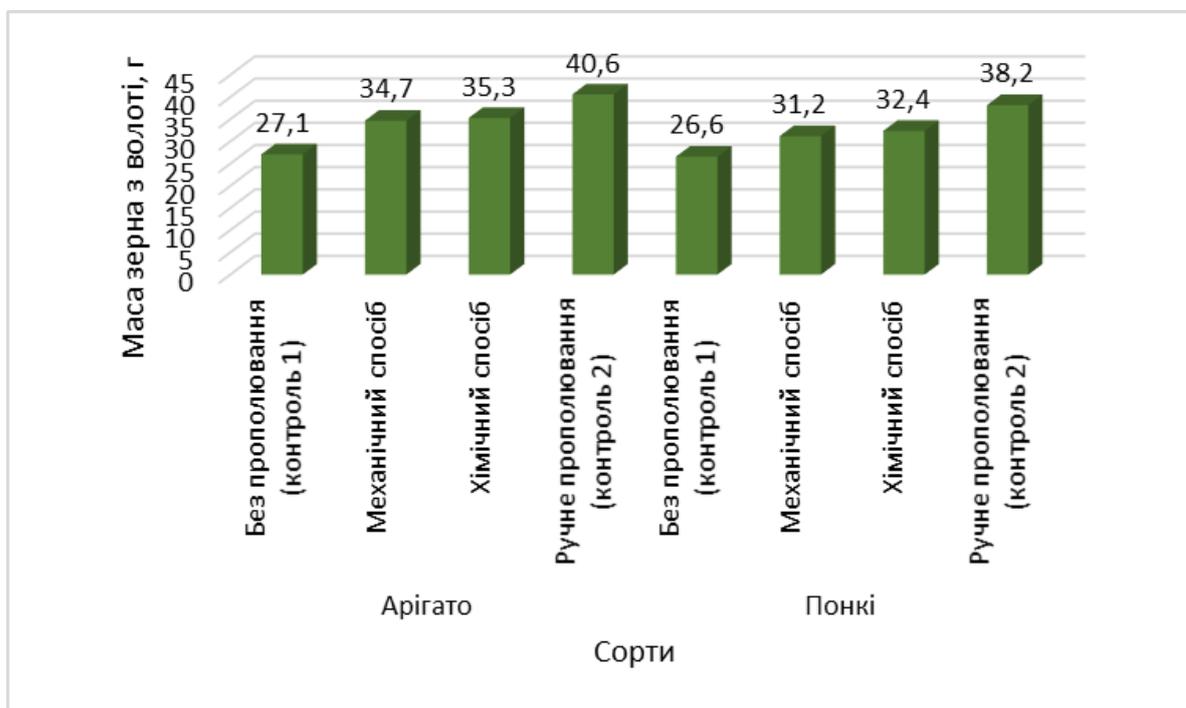


Рис. 3.19. Маса зерна з волоті сорго зернового залежно від досліджуваних факторів, середнє за 2024–2025 рр.

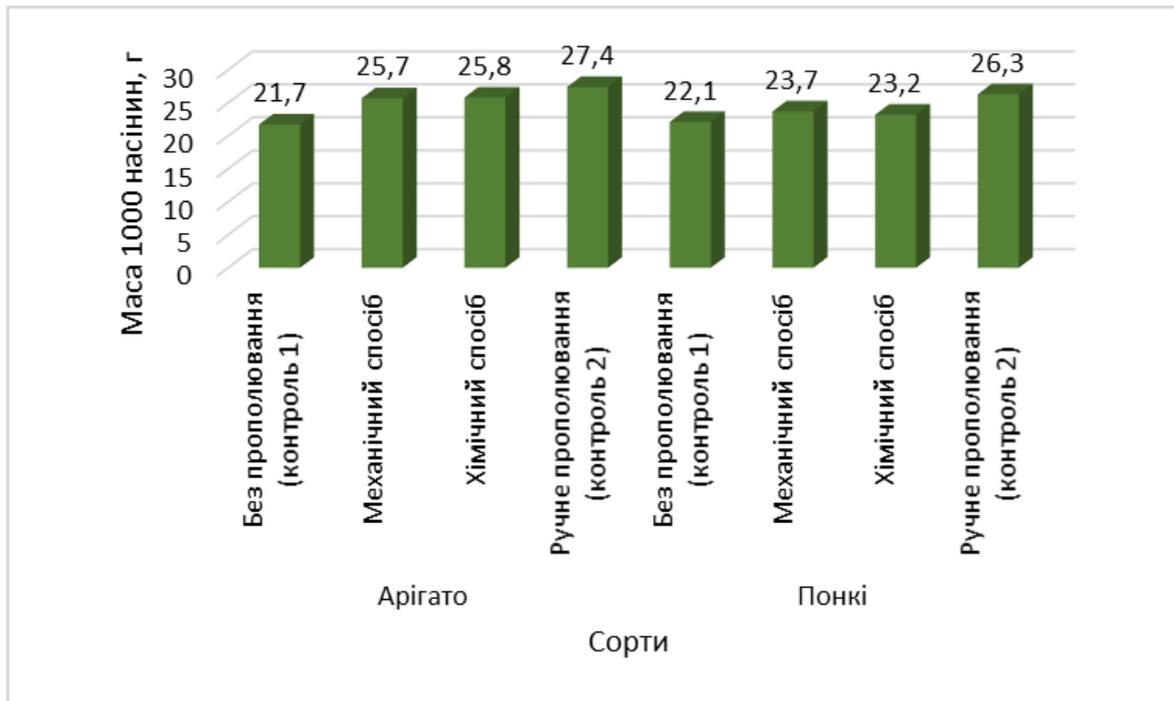


Рис. 3.20. Маса 1000 насінин сорго зернового залежно від досліджуваних факторів, середнє за 2024–2025 рр.

Застосування механічного та хімічного методів контролю забур'яненості забезпечило вищі показники структури врожаю порівняно з першим контролем (без прополовання). Зокрема, довжина та маса волоті зросли на 5,31–5,26% та 7,3–9,59% відповідно, кількість зерен — на 8,81–10,76%, маса зерна — на 28,0–30,2%, а маса 1000 насінин — на 18,4–18,9%.

Аналогічна тенденція спостерігалася у сорту Понкі: максимальні значення зафіксовано за ручного прополовання (довжина волоті — 21,3 см, маса — 36,1 г, кількість зерен — 1206 шт., маса зерна з волоті — 26,6 г, маса 1000 насінин — 22,1 г). При механічному та хімічному способах обробітку ці показники перевищували контрольні значення на 5,6–7,5%; 3,04–4,7%; 8,78–11,4%; 17,3–21,8% та 7,23–4,97% відповідно.

Мінімальні значення елементів структури врожаю зафіксовано у варіанті без прополовання (контроль 1). Зокрема, у сортів Арігато та Понкі довжина волоті становила 22,8 та 21,3 см, її маса — 39,6 та 36,1 г, кількість зерен — 1236 та 1206 шт., маса зерна з волоті — 27,1 та 26,6 г, а маса 1000 насінин — 21,7 та 22,1 г відповідно.

Оскільки сорго зернове характеризується високим вмістом крохмалю, воно має значну енергетичну цінність. Дослідженнями доведено, що якісні характеристики зерна суттєво варіювали залежно від застосованих заходів контролю забур'яненості (рис. 3.21).

Дослідження впливу заходів із контролю забур'яненості на якісні характеристики зерна показало, що найнижчі показники продуктивності та якості спостерігалися у контрольному варіанті (без прополювання). Застосування хімічного та механічного способів забезпечило зростання вмісту білка в середньому по досліді на 6,1–10,3%, жиру — на 6,03–7,6%, попелу (золи) — на 5,3–9,5%. Вміст клітковини та крохмалю при цьому збільшився на 5,1–6,6% та 1,4–4,2% відповідно.

Максимальна концентрація основних поживних речовин у зерні була зафіксована у варіанті з ручним прополюванням.

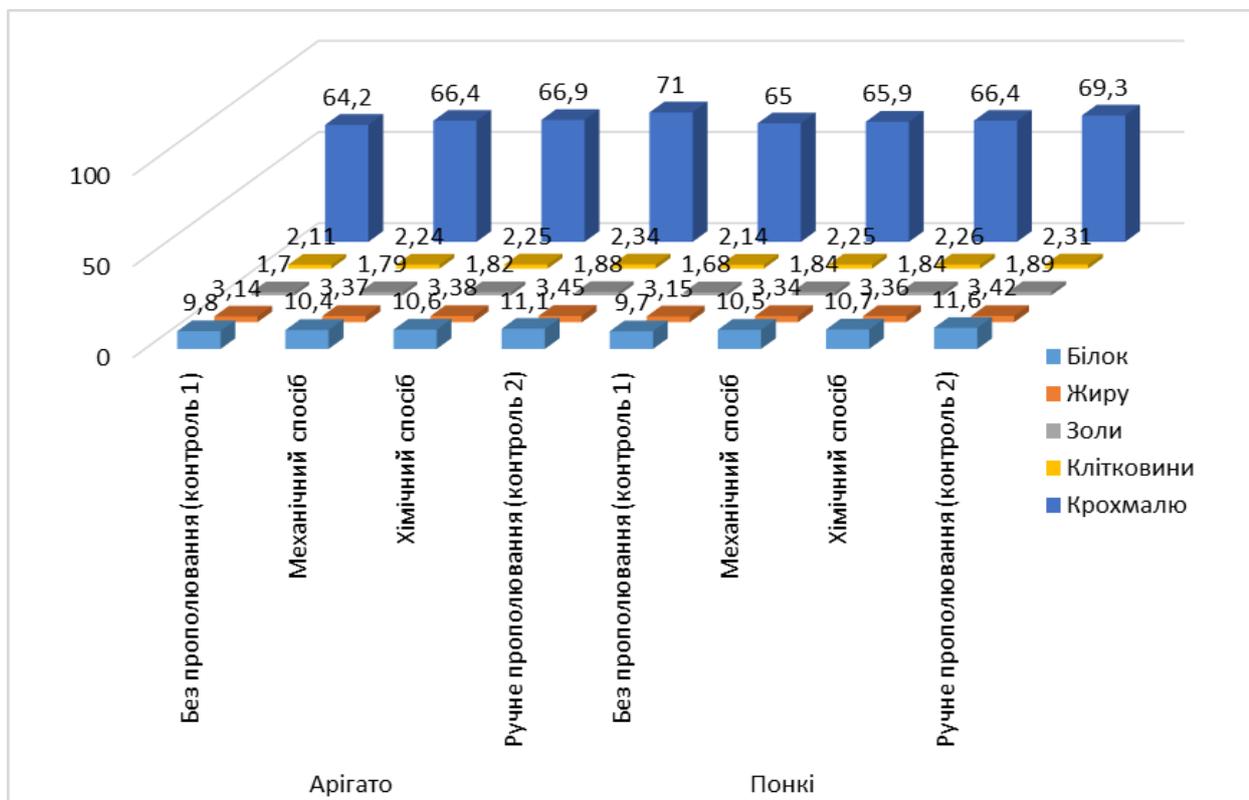


Рис. 3.21. Якісні показники насіння сорго зернового залежно від способу контролювання чисельності бур'янів, % на суху речовину, середнє за 2024–2025 рр.

3.4. Вихід біопалива та енергії з сорго залежно від методів контролювання чисельності бур'янів

Бур'яни виступають потужними конкурентами культурних рослин у боротьбі за світлову енергію, вологу та поживні речовини. Стримуючи ріст і розвиток агрофітоценозів, вони спричиняють втрати врожаю понад 30–50 %, а також погіршують якість рослинної сировини та продуктів її переробки.

Дослідження, проведені в умовах нестійкого зволоження Лісостепу України, підтвердили, що найвищу ефективність забезпечують хімічний метод (обприскування посівів) та ручне прополювання. Саме ці варіанти гарантували максимальний вихід біопалива та енергії (табл. 3.1).

Таблиця 3.1

Вихід біопалива, та загальний вихід енергії з нього залежно від методів контролювання чисельності бур'янів, 2024–2025 рр.

Сорт	Методи контролювання бур'янів	Вихід		Енергія, ГДж/га		
		біоетано-лу т/га	твердого палива, т/га	з біоетанолу	з твердого палива	загальний
Арігато	Без прополювання (конт.1)	0,90	5,61	22,64	91,55	114,20
	Механічний спосіб	1,43	6,64	35,92	108,45	144,38
	Хімічний спосіб	1,74	7,39	43,67	120,689	164,36
	Ручне прополювання (конт. 2)	2,10	8,51	52,80	138,82	191,63
Понкі	Без прополювання (конт. 1)	0,76	5,31	19,31	86,73	106,05
	Механічний спосіб	1,21	6,76	29,95	110,27	140,23
	Хімічний спосіб	1,51	7,14	37,46	116,58	154,05
	Ручне прополювання (конт. 2)	2,05	8,47	51,09	138,25	189,36
НІР _{0,05}		0,28	1,13	5,62	9,85	10,20

Аналіз енергетичної продуктивності сорту Арігато показав, що вихід біоетанолу варіював у межах 1,75–2,11 т/га, а твердого палива — 7,40–8,52 т/га. Відповідно, енергетичний вихід із рідкого палива становив 43,68–52,81 ГДж/га, а з

твердого — 120,69–138,83 ГДж/га, за загального показника енергії 164,37–191,64 ГДж/га. У сорту Понкі дані результати були дещо нижчими порівняно з сортом Арігато: вихід біоетанолу склав 1,50–2,04 т/га, твердого палива — 7,15–8,48 т/га, а сумарна енергопродуктивність — 154,06–189,37 ГДж/га.

Застосування механічного способу догляду призвело до зниження енергетичних показників в обох сортів, тоді як у контрольному варіанті зафіксовано мінімальні значення виходу біопалива та енергії.

3.5. Енергетична та економічна ефективність вирощування сорго зернового залежно від елементів технології вирощування

Варто оцінити економіку вирощування сорго за різних методів захисту посівів від бур'янів (табл. 3.2).

Таблиця 3.2

Економічні показники вирощування сорго зернового за методів захисту від бур'янів, за цінами 2024 року

Сорт	Варіант	Вартість добрив, грн.		Вартість зерна, грн.	Собівартість 1 т зерна, грн.		Рівень рентабельності, %	
		N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀		N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀
Арігато	Без прополювання (контроль 1)	19070	12910	11220	6826	4618	59	87
	Механічний спосіб	19530	13352	17620	4448	3022	90	132
	Хімічний спосіб	20271	14087	21220	3844	2638	105	150
	Ручне прополювання (контроль 2)	21090	14912	25630	3255	2348	121	172
Понкі	Без прополювання (контроль 1)	19090	12912	9610	7962	5356	50	74
	Механічний спосіб	19530	13322	14820	5287	3666	76	111
	Хімічний спосіб	20271	14057	18500	4486	3072	91	131
	Ручне прополювання (контроль 2)	21090	14922	24500	3481	2484	118	166

Застосування гербіциду Гвардіан Тетра є перспективною альтернативою препарату Примекстра TZ Голд, оскільки останній потребує попередньої обробки насіння антидотом Концеп III. Гвардіан Тетра вже має у своєму складі антидот, що надійно захищає посіви сорго від фітотоксичного впливу діючих речовин.

З огляду на вдвічі меншу вартість, цей препарат є економічно конкурентоспроможним, за умови його офіційної реєстрації для використання на сорго. У результаті досліджень, проведених на базі БЦДСС, встановлено, що за використання Гвардіан Тетра рівень рентабельності сорту Арігато на фоні повного мінерального живлення N60P60K60 склав 105 %, а за внесення половинної дози добрив зріс до 150 %. Натомість механічний спосіб догляду, крім значних витрат пально-мастильних матеріалів, призводив до травмування рослин і зниження врожайності. Його застосування виявилось рентабельним лише за половинної дози добрив для обох досліджуваних сортів.

Таблиця 3.3

Енергетична оцінка вирощування сорго зернового залежно від методів контролювання чисельності бур'янів

Сорт	Варіант	Витрати енергії сукупної на 1 га, ГДж	Загальний вихід енергії (тверде+ біостанол), ГДж/га	К _{еє}
Арігато	Без прополювання (конт. 1)	16,1	114,21	7,09
	Механічний метод	18,8	144,39	7,68
	Хімічний метод	18,7	164,37	8,79
	Ручне прополювання (конт. 2)	17,2	191,64	11,14
Понкі	Без прополювання (конт. 1)	16,1	106,06	6,59
	Механічний метод	18,8	140,24	7,46
	Хімічний метод	18,7	154,06	8,24
	Ручне прополювання (конт. 2)	17,2	189,37	11,01

Максимальний коефіцієнт енергетичної ефективності К_{еє} зафіксовано у

варіанті з ручним прополюванням (контроль 2) — від 10,29 до 11,86. Такі високі значення зумовлені поєднанням високої продуктивності культури та мінімальних технологічних енерговитрат. Проте цей метод є лише еталоном для порівняння, оскільки його масштабування на великі площі неможливе. Оптимальні показники Кеє серед виробничо придатних методів забезпечив хімічний спосіб (8,13–9,09), тоді як за механічного обробітку цей показник був нижчим і коливався в межах 7,46–7,69 (див. табл. 3.3)

ВИСНОВКИ

Наукове обґрунтування формування продуктивності сорго зернового залежно від рівня забур'яненості в умовах Лісостепу України.

1. Встановлено, що найвищий рівень елімінації бур'янів забезпечує ручне прополовання (97%). Хімічний та механічний методи демонструють дещо нижчу ефективність — на рівні 76–77% та 78–79% відповідно. Водночас на контрольних ділянках без догляду засміченість зростає в середньому на 10%. Мінімальна конкуренція з боку бур'янів у варіанті з ручним прополованням сприяла оптимізації умов живлення, зволоження та освітлення, що забезпечило отримання максимальних біометричних показників рослин.

2. Доведено пряму залежність між чистотою посівів та інтенсивністю фотосинтетичних процесів. У варіанті без прополовання зафіксовано найнижчі показники фотосинтезу. Натомість ручне видалення бур'янів забезпечило сорту Арігато максимальні параметри: площа листової поверхні досягала 34,54–35,10 тис. м²/га, фотосинтетичний потенціал — 1,35–1,38 млн м²/га×діб, а чиста продуктивність фотосинтезу — 3,55–3,57 г/м² за добу.

3. Встановлено погіршення якісного складу зерна за відсутності контролю бур'янів. Застосування гербіцидів та механічних обробітків дозволило підвищити вміст білка на 6,1–10,3%, жиру — на 6,03–7,6%, золи — на 5,3–9,5%, а також вміст клітковини (на 5,1–6,6%) і крохмалю (на 1,4–4,2%). Найвищу концентрацію поживних речовин у зерні отримано за умов ручного прополовання.

4. Визначено, що хімічний метод захисту та ручне прополовання є найбільш ефективними для отримання максимального виходу енергії та біопалива. Кореляційно-регресійний аналіз підтвердив сильний поліноміальний зв'язок між урожайністю зерна сорту Арігато та виходом біоетанолу, що описується рівнянням: $y = -0,0286x^2 + 0,4155x - 0,1579$. Також виявлено високу щільність зв'язку між масою біомаси та виходом твердого палива ($R^2 = 0,995$; $R = 0,926$).

5. Обґрунтовано доцільність впровадження гербіциду Гвардіан Тетра у технологію вирощування сорго (за умови його офіційної реєстрації для даної

культури). Економічні розрахунки на базі БЦДСС показали, що рентабельність вирощування сорту Арігато за використання цього гербіциду становить 105% при повній нормі добрив та зростає до 150% за умови внесення половинної дози.

РЕКОМЕНДАЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ

В умовах Лісостепу України для отримання високої урожайності зерна та надземної маси для біоенергетичних цілей варто для обмеження чисельності бур'янів використовувати гербіцид з д. р. Ацетохлор, 450 г/л + Тербутилазин, 214 г/л + Фурилазол, 15 г/л, та з нормою 3,5 л/га (до появи сходів або у фазі 1–3 листки).

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Kamala Venkateswaran, M. Elangovan, N. Sivaraj, Chapter 2 - Origin, Domestication and Diffusion of Sorghum bicolor, Editor(s): C. Aruna, K.B.R.S. Visarada, B. Venkatesh Bhat, Vilas A. Tonapi, In Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition, Breeding Sorghum for Diverse End Uses, Woodhead Publishing, 2019, P. 15-31. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-101879-8.00002-4>.
2. Mirón I. J., Linares C., Diaz J. The influence of climate change on food production and food safety. Environmental Research. 2023. 216 (3). 114674. doi: 10.1016/j.envres.2022.114674.
3. Deep Roots in Plants Driven by Soil Hydrology. Internet source : <https://www.rutgers.edu/news/deep-roots-plants-driven-soil-hydrology>.
4. Yuko Togawa-Urakoshi, Osamu Ueno. Photosynthetic nitrogen- and water-use efficiencies in C3 and C4 subtype grasses grown under two nitrogen supply levels. Plant Production Science, 2022. 25:2, pages 183-194.
5. Osamu Ueno, Yuhei Fuchikami. Structure and photosynthetic metabolism in green prop roots of C4 sorghum. Plant Production Science. 2020. 23:2, pages 182-190.
6. Deepak Raj Prajapati, S.K. Pahuja, N.K. Verma and Shalu Chaudhary. 2018. Morphological Characterization of Sorghum [Sorghum bicolor (L.) Moench] Germplasm for DUS Traits. Int.J.Curr.Microbiol.App.Sci. 7(2): 2058-2071. doi: <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.702.246>.
7. Yutaro Makino & Osamu Ueno Structural and physiological responses of the C4 grass Sorghum bicolor to nitrogen limitation, Plant Production Science, 2018. 21:1, 39-50, DOI: 10.1080/1343943X.2018.1432290.
8. Gomez, F.E., Muliana, A.H. and Rooney, W.L. (2018), Predicting Stem Strength in Diverse Bioenergy Sorghum Genotypes. Crop Science, 58: 739-751. <https://doi.org/10.2135/cropsci2017.09.0588>.,
9. Enyew Muluken, Feyissa Tileye, Carlsson Anders S., Tesfaye Kassahun, Hammenhag Cecilia, Geleta Mulatu. Genetic Diversity and Population Structure of Sorghum [Sorghum Bicolor (L.) Moench] Accessions as Revealed by Single Nucleotide Polymorphism Markers. Frontiers in Plant Science. Volume 12 – 2021.

<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2021.799482>

<https://doi.org/10.3389/fpls.2021.799482>.

10. Behera, P. P., Saharia, N., Borah, N., Devi, S. H., & Sarma, R. N. (2022). Sorghum Physiology and Adaptation to Abiotic Stresses. *International Journal of Environment and Climate Change*, 12(10), 1005–1022. <https://doi.org/10.9734/ijecc/2022/v12i1030891>.

11. Kumar, R., Mishra, J.S., Dwivedi, S.K. et al. Nutrient uptake and content in sorghum cultivars (*Sorghum bicolor* L) under summer environment. *Ind J Plant Physiol.* 22, 309–315 (2017). <https://doi.org/10.1007/s40502-017-0306-z>.

12. Демиденко, Я. В., & Петриченко, О. В. Технології вирощування сорго зернового в умовах лісостепу України. *Зернові та кормові культури*, 2017. 1(21), 15-22.

13. Забарний, Б. М., & Власенко, О. О. Особливості вирощування сорго зернового на зрошуваних землях Лісостепу України. *Агроекологічний журнал*, 2016. 3, 61-66.

14. Zhatova, H., & Kovalenko, M. Biological characteristics of sorghum crop. *Bulletin of Sumy National Agrarian University. The Series: Agronomy and Biology*, 2020. 40(2), 14-22. <https://doi.org/10.32782/agrobio.2020.2.2>

15. Ходаніч, О. Я., & Кравченко, В. П. Адаптованість сортів сорго зернового до умов Лісостепу України. *Селекція і насінництво*, 2019. 111, 36-41.

16. Поліщук, О. В., Кравченко М.П. Особливості вирощування сорго зернового в умовах Лісостепу України з урахуванням кліматичних змін. *Наукові записки Національного університету біоресурсів і природокористування України*. 2018. Т. 2. С. 63-68.

17. Коваленко В. М. Фізіологія рослин / В.В. Коваленко. К.: Наукова думка, 2009. 328 с.

18. Shahina B. Maqbool, Prathibha Devi, & Sticklen, M. B. Biotechnology: Genetic Improvement of Sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). *In Vitro Cellular & Developmental Biology. Plant*, 2001. 37(5), 504–515. <http://www.jstor.org/stable/4293504>.

19. Іванченко, О. В. Ботанічна характеристика та біологічні особливості сорго зернового. Науковий вісник НУБіП України, 2019. 1(85), 59-63.
20. Макаренко, В. І. Біологічні особливості сорго зернового та їх значення для практики вирощування. Науково-технічний бюлетень Інституту зернових, 2016. 1(22), 16-21.
21. Кравчук О.І., Семенова С.В. Ботанічна характеристика та розведення рослин сорго / Зб. наук. пр. Таврійського нац. ун-ту ім. В.І. Вернадського. Серія: Біологія, 2018, вип. 31, с. 60-65.
22. Бабенко О.М., Підгайний Д.І. Біологічні особливості рослин сорго / Наукові записки Житомирського державного університету імені Івана Франка. Серія: Біологічна, 2019, т. 1, №1, с. 55-58.
23. Singh, S., Singh, O. P., Singh, P. K., & Singh, R. K. Influence of plant population on growth, yield and quality of sorghum under different agroclimatic conditions. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, 2018. 7(11), 121-127.
24. Scafetta N. Impacts and risks of “realistic” global warming projections for the 21st century. Geoscience Frontiers. 2024. 15 (2). 101774. doi:10.1016/j.gsf.2023.101774.
25. Чернова А. В., Коваленко О. А., Корхова М. М. Урожайність зеленої маси сорго цукрового залежно від сортових особливостей, норм висіву, біопрепарату та мікродобрив за різних років дослідження. Аграрні інновації. 2020. Вип. 4. С. 136-142.
26. Курило В.Л., Герасименко Л.А. Продуктивність сорго цукрового для виробництва біопалива залежно від строків сівби та глибини загортання насіння / Цукрові буряки. 2012. №1. С.14-15 с.
27. Дяченко, О. В. Особливості вирощування сорго зернового в умовах лісостепу України / О.В. В. Дяченко, Т. М. Сологуб // Науковий журнал "Агроекологічний журнал". 2018. Т. 3. С. 69-75.
28. Гавриленко, М. І. Вплив режимів поливу на урожайність сорго зернового на лісостепу України / М.В. І. Гавриленко, В. В. Михайленко. Аграрна наука. 2020. Т. 2. С. 27-32.

29. Богданова Н. ф. Сорго зернове: біологія, агротехніка, виробництво /Н. ф. Богданова, В. І. Левчук, О. С. Муха та ін. К.: Аграр Медіа Груп, 2016. 360 с.
30. Науменко В. С. Рослинництво / В. С. Науменко. К.: Аграр Медіа Груп, 2009. 432 с.
31. Бойко М. О. Сорго як харчовий продукт : перспективи та нові можливості. Таврійський науковий вісник. 2024. № 138. С. 15-21.
32. Kumar, A., Kumar, S., Singh, R. K., & Singh, O. P. Influence of sowing time and plant population on growth, yield and quality of sorghum. *International Journal of Agriculture, Environment and Biotechnology*, 2017. 10(3), 249-254.
33. Бойко М. О. Сорго як харчовий продукт : перспективи та нові можливості. Таврійський науковий вісник. 2024. № 138. С. 15-21.
34. Проведення передпосівного обробітку ґрунту і сівби насіння цукрового сорго: метод. реком. [за ред. Роїка М.В.]. Київ: ІБКіЦБ, 2012. 15 с.
35. Федорович Г.Т. Урожайність і якість сориту залежно від ланки сівозміни, строку сівби та системи живлення в умовах Півдня України : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. с.-г. наук: спец. 06.01.09«Рослинництво» / Г.Т.Федорович. Х., 2010. 20 с.
36. Reddy, M. S., Ramaiah, M. S., & Ramu, G. Influence of sowing time and fertilizer management on growth, yield and quality of sorghum. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 2019. 8(5), 120-124.
37. S. Singla and S. R Sharmawho Effect of sowing depth and spacing on growth, development and yield of grain sorghum [*Sorghum bicolor*]. *Journal of Agricultural Science & Technology*, 2018. 18(1), 83-89
38. Безсонова В.П. Практикум з фізіології рослин. Дніпропетровськ: РВВ ДДАУ, 2006. 316 с.
39. Гунчак Т.І. Особливості вирощування сорго цукрового в якості сировини для виробництва біопалива в умовах Південно-Західного Лісостепу України / Наук. пр. Ін-ту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН. 2014. Вип.21. С.240-244.

40. Карпенко О.В. Вирощування сорго зернового в умовах правобережних районів України // Зернові культури: наука і практика: зб. наук. праць. К., 2016. С. 182-185.
41. Васильченко, Л.М., & Денисенко, О.С. Розвиток сорго зернового за різними умовами вирощування. Агрономічний часопис, 2017. 1, 10-15.
42. Korkhova M., Mykolaichuk V. Influence of weather conditions on the duration of interphysical periods and yield of durum winter wheat. *Scientific Horizons*. 2022. 25(2). 36-46. DOI: 10.48077/scihor.25(2).2022.36-46.
43. Бакланова Т. В., Гамаюнова В. В., Сидякіна О. В. Сучасні тенденції вирощування сорго в Україні та світі. *Таврійський науковий вісник*. 2023. № 134. С. 9-17. DOI 10.32782/2226-0099.2023.134.2
44. Васильченко Ю. П. Сорго – зернова культура майбутнього / Ю. Сорго. п. Васильченко, Л. І. Мілованова, О. А. Мальований та ін. К.: Аграр Медіа Груп, 2014. 224 с.
45. Aulakh, MS, Khera, KL, Aggarwal, RK, and Sandhu, KS Impact of different irrigation levels and nitrogen on growth, yield, and quality of sorghum (*Sorghum bicolor* L.). *Indian Journal of Agronomy*, 2014. 59(2), 215-221.
46. Mahajan, R.K., Singh, V.P., and Singh, R.K. Impact of irrigation levels and nitrogen doses on growth, yield, and quality of sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] in the arid region of Rajasthan. *Indian Journal of Agronomy*, 2014. 59(2), 293-298.
47. Singh, V. P., & Boote, K. J. Water use and yield of maize, sorghum, and pearl millet in the Sahel. *Agricultural Water Management*, 2015. 152, 167-175.
48. Leffler, A. J., & Mitchell, C. A. Water use by corn and grain sorghum in response to planting date, hybrids, and drought stress. *Transactions of the ASABE*, 2012. 55(3), 1045-1056.
49. Steduto, P., Hsiao, T. C., Fereres, E., & Raes, D. Crop yield response to water. *FAO Irrigation and Drainage Paper 66*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2012.
50. Матвеева В. І. Сорго зернове: технології вирощування та переробки / В.С. І. Матвеева, О. В. Шевченко, І. В. Костишин та ін. К.: Фітосоціоцентр, 2018. 368 с.

51. Стрельникова Л. М., Литвиненко В. В. Формування врожайності сорго зернового в умовах Лісостепу України. Вісник сумського національного аграрного університету. Серія: Агронімія та біологія, 2010. 4, 82-86.

52. Правдива Л. А., Доронін В. А., Ганженко О. М. Формування продуктивності сорго зернового та соризу залежно від строків сівби в умовах східної частини Лісостепу України. Новітні агротехнології. 2021. № 9. doi: 10.47414/na.9.2021.253364

53. Литвиненко, В. В., Лобода, В. М., & Лобода, М. В. Вплив доз мінеральних добрив та системи обробітку ґрунту на урожайність сорго зернового в умовах Лісостепу України. Вісник аграрної науки, 2011. (7), 26-29.

54. Дубина, І. П., Білий, В. О., & Єлісеєв, М. В. Оцінка сорго зернового за врожайністю в умовах Лісостепу України. Вісник аграрної науки, 2014. 4, 3-6.

55. Науменко В. С. Рослинництво / В. С. Науменко. К.: Аграр Медіа Груп, 2009. 432 с.

56. Остапенко М.А., Самойленко А.Т., Самойленко В.В., Пергаєв О.А. Сорго на зерно в умовах Присивашся // Бюлетень інституту зернового господарства. 2005. №26-27. С. 104 – 109.

57. Хоменко, І. В., Єрошенко, О. М., Лобода, В. М., & Пилипенко, В. І. Вплив типу ґрунту на вирощування сорго зернового у Лісостепу України. Наукові праці Вінницького національного аграрного університету. Сільськогосподарські науки, 2020. (3), 18-22.

58. Пилипенко, В. І., Лобода, В. М., & Єрошенко, О. М. Особливості технології вирощування сорго зернового на чорноземах Лісостепу України. Наукові праці Вінницького національного аграрного університету. Сільськогосподарські науки, 2019. (1), 10-14.

59. Лобода, В. М., Єрошенко, О. М., Хоменко, І. В., & Пилипенко, В. І. Вплив структури ґрунту на врожайність сорго зернового у Лісостепу України. Вісник аграрної науки, 2018. (12), 42-47.

60. Бережний, Є. Є., & Хоменко, І. В. Вплив різних ґрунтів на урожайність та якість сорго зернового у Лісостепу України. Науковий вісник НЛТУ України, 2017. (27.11), 93-98.
61. Щербанюк, М. О., & Кривенко, В. В. Вплив засолення ґрунту на фізіологічні показники та урожайність сорго зернового. Вісник аграрної науки, 2011. (2), 37-42.
62. Єрошенко, О. М., Хоменко, І. В., & Лобода, В. М. Вплив кислотності ґрунту на урожайність сорго зернового у Лісостепу України. Науковий вісник НУБіП України. Серія: Агрономія, 2013. (196), 147-152.
63. Лобода, В. М., Хоменко, І. В., & Пилипенко, В. І. Вплив мінерального живлення та ґрунтових розчинів на урожайність сорго зернового на різних ґрунтах Лісостепу України. Вісник аграрної науки, 2014. (4), 17-21.
64. Харченко, Л. П., Єрошенко, О. М., & Лобода, В. М. Вплив фізико-хімічних властивостей ґрунту на урожайність сорго зернового у Лісостепу України. Вісник Дніпропетровського державного аграрно-економічного університету, 2016. 4, 68-75.
65. Smith, M., Heng, L. K., & Barlow, K. M. Crop yield response to deficit irrigation implemented by surface drip and subsurface drip systems. *Agricultural Water Management*, 2014. 134, 29-37.
66. Siddique, K. H., Regan, K. L., Tennant, D., & Thomson, B. D. Water use and water-use efficiency of cool season grain legumes in low rainfall Mediterranean-type environments. *European Journal of Agronomy*, 2001. 15(4), 267-280.
67. Пилипенко, В. І., Лобода, В. М., & Лобода, М. В. Вплив агротехніки на формування урожайності сорго зернового в умовах Лісостепу України. Вісник Дніпропетровського державного аграрно-економічного університету, 2013. 1, 62-68.
68. Глушкова, О. В., & Жукова, О. В. Урожайність та економічна ефективність вирощування сорго зернового у Лісостепу України. *Аграрна наука*, 2012. (4), 54-58.

69. Стельмашук, О. В., Горбач, І. В., & Бойко, О. О. Формування врожайності сорго зернового на засолених ґрунтах. Наукові праці Національного університету біоресурсів і природокористування України. Сільськогосподарські науки, 2014. (197), 148-155.

70. Yarmolenko, N., & Melnyk, A. Formation of yield and quality of grain sorghum under different tillage systems in the Forest-steppe of Ukraine. *Plant Breeding and Seed Production*, 2015. 102, 263-268.

71. Nosko, V., Boyko, I., Kamyshanov, V., & Leshuk, U. Perspective of energy crops in Ukraine. *Науковий журнал «Біологічні системи: теорія та інновації»*, 2016. 214, 216-222. Отримано з

<http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Biologiya/article/view/6230>.

72. Demchuk N.I. Sorghum market development in Ukraine under the impact of global trends [Електронний ресурс] / Natalia Demchuk, Oleh Okselenko // Соціально-економічні проблеми і держава. 2015. Вип. 2 (13). С. 88-96. Режим доступу до журн.: <http://sepd.tntu.edu.ua/images/stories/pdf/2015/15dniogt.pdf>.

73. Bezuhla, L. Economic aspect of territorial production of amaranth, hemp and sorgho in Ukraine. *Economy and Society*, 2021. (25). <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2021-25-79>.

74. Kalenska S., Rakhmetov D.B., Kalenskiy V. et al. Prospects of sorghum (*sorghum moench*) bioenergetic potential in Ukraine. *International Scientific Conference «Rural Development: Innovations and Sustainability»*. Proceedings., Kaunas, Akademija. 2013, Vol. 6. P. 60–64.

75. Бикін А. В., Антал В. М., Найдено В. М. Фенологічні особливості сорго зернового залежно від впливу елементів технології вирощування Таврійський науковий вісник. 2019. № 107. С. 12-21 DOI <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2019.107.2>.

76. Роїк М. В., Правдива Л. А., Ганженко О. М. та ін. Методичні рекомендації з технології вирощування сорго зернового як сировини для харчової промисловості та виробництва біопалива. Київ : Компринт, 2020. 21 с.

77. Примак І. Д., Манько Ю. П., Танчик С. П. та ін. Бур'яни в землеробстві України: прикладна гербологія. Біла Церква : БДАУ, 2005. 664 с.
78. Grabovskyi M., Lozinskyi M., Grabovska T., Roubík H. Green mass to biogas in Ukraine – bioenergy potential of corn and sweet sorghum. *Biomass Conversion and Biorefinery*. 2023. Vol. 13, Iss. 4. P. 3309–3317. <https://doi.org/10.1007/s13399-021-01316-0>
79. Біоенергія: минуле, сьогодення і майбутнє. URL: <https://avenston.com/articles/bioenergy-through-years/> Гументик М. Я. Альтернативні види палива. *Міське господарство України*. 2007. № 3. С. 9–11.
80. Кириченко А., Клименко В., Роженко В. та ін. Біогаз і паливні брикети із субстрату цукрового сорго стають чим далі перспективнішими енергоносіями. *Зерно і хліб*. 2012. № 2. С. 54–55.
81. Крайсвітній П. А., Рій О. В., Кулик М. І. Енергетичні культури для отримання біопалива: додатковий прибуток для господарств. *Хімія. Агрономія. Сервіс*. 2010. № 12. С. 40–43.
82. Сторожик Л. І. Перспективи вирощування сорго цукрового, як альтернативного джерела енергії. *Цукрові буряки*. 2011. № 2. С. 20–21.