Центральноукраїнський національний технічний університет
Агротехнічний факультет

Кафедра загального землеробства

«Допущено до захисту»
Зав. кафедрою загального землеробства, к.б.н., професор
_____Микола Мостіпан
«___»_____2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

за другим (магістерським) рівнем вищої освіти
на тему:

Розробка елементів технології вирощування сорго зернового в умовах Лісостепу України

Виконав здобувач вищої освіти
ІІ курсу, групи АГ 24М
ОПП «Агрономія»
спеціальності 201«Агрономія»
_____ Ткаченко В. В.
«___»_____2025 р.

Керівник, доцент, к. г. н.
_____Ольга Гелевера
«___»_____2025 р.

Рецензент, доцент, к. б. н.
_____Марія Казначеєва
«___»_____2025 р.

м. Кропивницький

Центральноукраїнський національний технічний університет

Агротехнічний факультет
Кафедра загального землеробства
Рівень вищої освіти: другий (магістерський)
Галузь знань: 20 Аграрні науки та продовольство
Спеціальність: 201-Агрономія
Освітньо-професійна програма: Агрономія

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри загального землеробства
_____Микола Мостіпан
"____"_____2025 року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗА ДРУГИМ (МАГІСТЕРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Ткаченко Владислав Вікторович

1.Тема роботи_Розробка елементів технології вирощування сорго зернового в умовах Лісостепу України

2. Керівник роботи Гелевера О.Ф, кандидат кандидат наук, доцент
затверджений наказом ЦНТУ "__" вересня 2025 року №

3. Строк подання роботи до захисту_____2025 року__

4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи – удосконалення технології вирощування сорго зернового шляхом визначення ефективності застосування мікродобрив і регуляторів росту для підвищення врожайності в умовах Лісостепу України.

Завдання:

– проаналізувати особливості росту й розвитку рослин сорго зернового під впливом досліджуваних чинників;
– встановити вплив мікродобрив і регуляторів росту на продуктивність гібридів;
– з'ясувати роль гібридних особливостей у формуванні врожаю;
– здійснити економічну оцінку результатів дослідження.

5.Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Економічне обґрунтування результатів досліджень	Малаховська В.А., викладач		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ П/П	Строк виконання етапів роботи	Назва етапів кваліфікаційної роботи
Перший	15.10.2025 року	Розділ 1.Огляд літератури, Розділ 5 Охорона праці та довкілля
Другий	22.10.2025 року	Розділ 2. Місце та умови проведення досліджень
Третій	14.11.2025 року	Розділ 3. Спеціальна частина
Четвертий	20.11.2025 року	Розділ 4. Економічне обґрунтування результатів досліджень
П’ятий	25.11.2025 року	Висновки, список літератури, вступ

Дата видачі завдання
«_17_»___вересня_2025 р.

Підпис керівника
_____Ольга Гелевера
Завдання прийнято до виконання
«_17_»_вересня__2025 р.

Підпис здобувача
_____ Ткаченко В. В.

ЗМІСТ

		Стор.
	Вступ	5
РОЗДІЛ1. БІОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ, АГРОТЕХНІКА ТА УДОБРЕННЯ СОРГО ЗЕРНОВОГО (огляд літератури)		7
1.1.	Ботанічна характеристика, біологічні особливості та перспективи вирощування сорго зернового в Україні	7
1.2.	Вплив елементів агротехніки на ріст, розвиток та врожайність сорго зернового	9
1.3.	Ріст та розвиток сорго зернового за застосування позакореневого удобрення	14
РОЗДІЛ 2. ХАРАКТЕРИСТИКА МІСЦЯ ТА УМОВ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ		16
2.1.	Організаційно-економічні умови проведення досліджень	16
2.2.	Грунтово-кліматичні та погодні умови місця проведення досліджень	21
РОЗДІЛ 3. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА		27
3.1.	Методика проведення досліджень	27
3.2.	Особливості технології вирощування сорго зернового на дослідних ділянках	32
3.3.	Урожайність зерна сорго зернового залежно від факторів досліду	40
РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА РЕЗУЛЬТАТІВДОСЛІДЖЕНЬ		54
РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ДОВКІЛЛЯ ПРИ ВИРОЩУВАННІ СОРГО ЗЕРНОВОГО		57
	ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ	61
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	63
	ДОДАТКИ	69

ВСТУП

Актуальність теми. У сучасних умовах нестабільного клімату та зростаючої потреби у продовольчій безпеці особливої уваги набувають культури, здатні забезпечувати стабільні врожаї за різних екологічних умов, зокрема, сорго зернове. З огляду на кліматичні зміни, дефіцит вологи та необхідність диверсифікації зернового виробництва, актуальним завданням є розроблення науково обґрунтованих елементів технології вирощування сорго зернового, які б забезпечували високу продуктивність і економічну ефективність. Особливо важливим є визначення впливу регуляторів росту та мікродобрив на формування врожаю сучасних гібридів цієї культури в умовах Лісостепу України.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Магістерська робота базується на результатах науково-дослідної роботи автора, що виконувалась протягом 2024–2025 років на території ФГ Губівка «Прометей» і була складовою частиною тематики досліджень загального землеробства «Дослідження природно-антропогенних ландшафтів центральної України для цілей збалансованого розвитку» (ДР № 0124U001006).

Метою магістерської роботи є удосконалення технології вирощування сорго зернового шляхом визначення ефективності застосування мікродобрив і регуляторів росту для підвищення врожайності в умовах Лісостепу України. Для досягнення поставленої мети передбачено виконання таких **завдань**:

- проаналізувати особливості росту й розвитку рослин сорго зернового під впливом досліджуваних чинників;
- встановити вплив мікродобрив і регуляторів росту на продуктивність гібридів;
- з'ясувати роль гібридних особливостей у формуванні врожаю;
- здійснити економічну оцінку результатів дослідження.

Об'єктом дослідження є процеси росту, розвитку та формування врожайності гібридів сорго зернового в умовах Лісостепу України.

Предметом дослідження виступають гібриди сорго зернового та чинники впливу на їх продуктивність — зокрема мікродобрива й регулятори росту.

Наукова новизна отриманих результатів. Вперше для умов Лісостепу України проведено комплексне оцінювання впливу мікродобрив і регуляторів росту на формування врожаю нових перспективних гібридів сорго зернового. Визначено оптимальні комбінації препаратів, що забезпечують підвищення адаптивності та стійкості рослин до несприятливих чинників середовища, удосконалено технологічні підходи до вирощування сорго зернового.

Практичне значення отриманих результатів. Розроблені елементи технології вирощування гібридів сорго зернового апробовано у виробничих умовах. Оптимальні варіанти застосування мікродобрив і регуляторів росту забезпечили підвищення врожайності та прибутковості вирощування культури. Запропоновані рекомендації можуть бути використані у сільськогосподарських підприємствах зони Лісостепу для раціонального використання ресурсів і стабілізації зернового виробництва.

Особистий внесок здобувача. Автором самостійно проведено аналіз літературних джерел, розроблено схему експерименту, здійснено польові дослідження, статистичну обробку отриманих даних, узагальнення результатів, підготовлено висновки та рекомендації для виробництва.

Апробація результатів і публікації: результати досліджень, що включені до роботи, оприлюднено на Міжнародній науково-практичній інтернет конференції «Інноваційні підходи ведення аграрного виробництва в умовах євроінтеграції».

Публікації: Гелевера Ольга, Ткаченко Владислав. Розробка елементів технології вирощування сорго зернового в умовах лісостепу України / Інноваційні підходи ведення аграрного виробництва в умовах євроінтеграції. Міжнародна науково-практична інтернет конференція. м. Кам’янець-Подільський, 2025**.**

РОЗДІЛ 1. БІОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ, АГРОТЕХНІКА ТА УДОБРЕННЯ СОРГО ЗЕРНОВОГО (огляд літератури)

1.1. Ботанічна характеристика, біологічні особливості та перспективи вирощування сорго зернового в Україні

Сорго зернове (*Sorghum bicolor*) є представником родини тонконогових (*Poaceae*) і займає провідні позиції серед стратегічних культур світового значення, використовуючись у продовольчому, кормовому та енергетичному секторах. Унікальні морфологічні й фізіологічні властивості цієї рослини визначають її високий потенціал для культивування в умовах обмеженої вологозабезпеченості та підвищених температурних режимів.

Економне водоспоживання досягається за рахунок воскового покриття епідермальних тканин листків і стебел, що скорочує транспіраційні втрати у півтора-два рази порівняно з іншими зерновими культурами. Для формування одиниці сухої речовини сорго потребує лише 300 частин води, тоді як пшениця витрачає 515, овес – 600, а соняшник – 895 частин. У критичних ситуаціях, коли ґрунтова волога та атмосферна вологість досягають мінімальних показників, рослина здатна входити в стан фізіологічного спокою, призупиняючи ростові процеси з можливістю швидкої реактивації після відновлення сприятливих умов [1, 2].

Найбільша потреба у водопостачанні припадає на обмежений двадцятиденний період – десять діб до появи суцвіття та десять після цвітіння, що становить лише 20-25% загальної тривалості вегетації. Експериментальні дані свідчать, що для отримання 2,45 т/га зерна достатньо 100 мм ґрунтової вологи, що підтверджує рекордну ефективність водокористування цієї культури [3].

Сорго класифікується як теплолюбна культура з оптимальним температурним діапазоном 25-30°C для проростання насіння та вегетативного росту. Хоча мінімальна температура ініціації проростання становить 10°C, агрономічно обґрунтованим є проведення сівби після прогрівання ґрунту на

глибині 10 см до 14-16°С. Недотримання термічних вимог призводить до ураження патогенною мікофлорою, зрідження посівів та уповільнення початкових стадій онтогенезу [4, 5].

У ранні фази розвитку рослини виявляють підвищену чутливість до заморозків – сходи гинуть за температури мінус 2-3°С [6]. Початковий період вегетації характеризується інтенсивним розвитком підземної частини при уповільненому рості надземних органів: між 30-40 добою після появи сходів добовий приріст коренів досягає 3-4 см, тоді як пагонова система розвивається значно повільніше. Така онтогенетична асиметрія створює тимчасову конкурентну вразливість до бур'янової рослинності [7].

На пізніх репродуктивних стадіях, зокрема у фазу достигання суцвіть, сорго толерує екстремально високі температури 40-45°С без втрати продуктивного потенціалу [8]. Оптимальний термічний режим наприкінці вегетації становить 27-30°С, що на 5-7 градусів вище порівняно з кукурудзою [9, 10]. Сумарна потреба в активних температурах для повного вегетаційного циклу коливається від 2100 до 2680°С залежно від скоростиглості культи вару [11].

Сорго демонструє широку екологічну пластичність щодо типів ґрунтів, успішно вегетуючи на піщаних, глинистих, солонцюватих та засолених субстратах. Рослина толерує реакцію ґрунтового розчину в діапазоні pH 8,5-9,5, хоча оптимальні продуктивні показники досягаються за нейтральної кислотності. Культура чутлива до хлоридного засолення та надмірного перезволоження, тому не рекомендується для кислих ґрунтів.

Оптимальна щільність ґрунтового середовища для нормального функціонування кореневої системи становить 1,18-1,26 г/см³ [12]. Потужний кореневий апарат сорго здійснює природне розпушування, знижуючи щільність кореневмісного горизонту до 0,99-1,16 г/см³ [13]. Високий вміст кремнію в тканинах підвищує стійкість до солонцюватості та інших стресових едафічних факторів. Ефективність мінерального живлення забезпечується здатністю

коренів освоювати поживні елементи з глибоких шарів, недоступних для інших зернових культур [14, 15].

У посушливих зонах з річною сумою опадів 200-300 мм на засолених та низькородючих ґрунтах сорго забезпечує врожайність зерна 1,0-2,0 т/га та 8,0-12,0 т/га зеленої маси. За опадів 300-450 мм продуктивність зростає до 2,0-2,5 т/га зерна і 20,0-25,0 т/га кормової маси. В зонах нестабільного зволоження культура формує 5,0-7,0 т/га зерна та 42,0-55,0 т/га вегетативної маси. Така продуктивна стабільність робить сорго незамінною культурою для компенсації дефіциту фуражних зернових та кормів у регіонах з обмеженою вологозабезпеченістю [17, 18].

1.2. Вплив елементів агротехніки на ріст, розвиток та врожайність сорго зернового

В умовах дефіцитного водопостачання рівномірність розміщення рослин набуває особливого значення, оскільки від цього залежить ефективність використання обмежених вологозапасів. Просторова структура агроценозу істотно модифікує мікрокліматичні параметри посіву, впливаючи на температурний режим, освітленість у межах фітоценозу, інтенсивність транспірації та, як наслідок, на розвиток патогенної мікробіоти, популяції фітофагів та конкурентну спроможність щодо сегетальної рослинності [19, 20].

Розріджені агроценози створюють сприятливі умови для механічного контролю бур'янів міжрядним обробітком, тоді як загущені посіви фактично виключають можливість культивації. Недостатня освітленість у щільних агрофітоценозах негативно впливає на азотний метаболізм рослин, знижуючи інтенсивність акумуляції органічної речовини. Вузькорядні схеми сівби з міжряддями 15-30 см забезпечують високу якість продукції, проте поступаються за рівнем урожайності широкорядним варіантам. Післязбиральний аналіз водного режиму ґрунту демонструє більш глибоке виснаження вологозапасів метрового шару за вузькорядного розміщення порівняно з 45-сантиметровими міжряддями.

Дослідницькі дані підтверджують ефективність широкорядної технології в посушливі періоди вегетації, тоді як за оптимального гідротермічного режиму перевага цього способу нівелюється. У південних регіонах України та Автономній Республіці Крим традиційно практикується широкорядна сівба з міжряддями 70 см. Водночас експериментальні розробки свідчать про вищу продуктивність при звуженні міжрядь до 60 і особливо до 45 см, що пояснюється більш рівномірним розподілом рослин у просторі та оптимізацією використання ресурсів середовища [21, 22].

Регіональна специфіка вимагає диференційованого підходу до параметрів посіву. Експериментальні результати для сорту Степовий 5 в Одеській області виявили максимальну врожайність за ширини міжрядь 60-70 см при густоті 120 тисяч рослин на гектар. Генотип Єфремівське 2 оптимально реалізував продуктивний потенціал за міжрядь 45-60 см та густоти 160 тисяч на гектар, тоді як сорт Горизонт потребував найщільнішого стояння – 200 тисяч рослин за 45-сантиметрових міжрядь. У правобережній частині Лісостепу на незабур'янених полях найефективнішим виявився вузькорядний посів з міжряддями 15 см, тоді як на полях із бур'яновим тиском оптимальною була густота п'ять рослин на погонний метр рядка [21].

Мікроелементи, хоча й потрібні в невеликих кількостях, виконують критичні функції у фізіолого-біохімічних процесах. Магній як центральний атом молекули хлорофілу та активатор понад трьохсот ферментативних систем є незамінним для фотосинтезу, дихання та білкового синтезу. Марганець активує ферментні комплекси фотосинтетичного апарату та каталізує біосинтез хлорофілу. Залізо необхідне для нормального функціонування електронтранспортних ланцюгів, а його дефіцит провокує хлоротичні симптоми та депресію врожайності. Листкове підживлення залізовмісними препаратами або ґрунтове внесення його доступних форм ефективно коригує недостатність цього елемента [23, 24].

Молібден забезпечує функціонування азотфіксуючих симбіотичних систем, стимулюючи активність бактеріальних угруповань у кореневій зоні та

покращуючи азотне забезпечення рослин. Цинк критично важливий для ростових процесів та фотосинтетичної активності – його нестача спричиняє пригнічення росту, дисфункцію хлоропластів та зниження продуктивності. Додаткове внесення цинку оптимізує засвоєння та утилізацію азоту й фосфору, забезпечуючи синергетичний ефект у формуванні врожаю. Застосування мікроелементів у хелатованій формі або інших легкодоступних модифікаціях покращує фізіологічний стан агроценозу, проте конкретні рекомендації повинні враховувати едафічні характеристики, кліматичні параметри та генотипові особливості [25].

Дослідження демонструють суттєвий внесок мінеральних добрив у структуру врожайності – від 30 до 60% залежно від інших технологічних факторів. Незважаючи на репутацію сорго як культури з низькими вимогами до родючості завдяки потужній екстрактивній здатності кореневої системи, воно позитивно реагує на внесення добрив. Для продукування однієї тонни зерна з ґрунту виноситься 17-36 кг азоту, 4,5-9,5 кг фосфору в перерахунку на P_2O_5 та 18-26 кг калію як K_2O, що зумовлює значну загальну потребу в поживних елементах. Аграрна практика показує, що добрива забезпечують 37-42% приросту врожайності, тоді як природна родючість ґрунтів регіонів вирощування покриває лише 45-55% потреби, вимагаючи зовнішнього внесення решти елементів [26, 27].

Темпоральна динаміка поглинання елементів живлення протягом онтогенезу сорго характеризується нерівномірністю, що визначає стратегію удобрення. Азот найінтенсивніше споживається у фази активного вегетативного росту, тоді як потреба у фосфорі та калії зростає під час формування кореневого апарату та репродуктивних структур. Період максимального засвоєння азоту припадає на десятиденний інтервал до появи суцвіття та аналогічний проміжок після цвітіння, коли рослини поглинають основну частку сезонної потреби в цьому елементі [28, 29].

Фосфорно-калійне удобрення акселерує онтогенез, скорочуючи вегетаційний період на шість діб, тоді як азотне живлення у поєднанні з

фосфорним та калійним уповільнює розвиток рослин, одночасно інтенсифікуючи ростові процеси. Азотні добрива затримують настання фаз викидання волоті, цвітіння та достигання на дві-три доби порівняно з неудобреними варіантами. Азот як найвпливовіший елемент живлення стимулює вегетативний ріст, збільшує асиміляційну поверхню та загальні розміри рослин. Водночас надлишкове азотне живлення не забезпечує пропорційного збільшення зернової продуктивності, натомість може спровокувати погіршення посухостійкості, подовження вегетації, надмірне кущення та гілкування, акумуляцію нітратних і нітритних форм у тканинах [30, 31].

Фосфор відіграє ключову роль на початкових етапах розвитку, каталізуючи гідроліз крохмалю та прискорюючи проростання насіння. Вміст рухомих форм фосфору в чорноземах і каштанових ґрунтах південної України коливається від 8 до 12 мг на 100 г, що забезпечує рослинам доступ лише до 65% необхідної кількості для досягнення врожайності 5,0 т/га. Тому норма фосфорних добрив зазвичай у півтора-два рази перевищує азотні: 45-60 кг діючої речовини на гектар на богарі та 90-100 кг за зрошення. Локальне внесення 10-15 кг фосфору при сівбі оптимізує забезпечення проростків цим елементом у критичну фазу початкового розвитку [32, 33].

Активне поглинання фосфору кореневою системою ініціюється через декілька діб після початку росту сходів, проте загальна потреба в цьому елементі нижча порівняно з азотом. На початку вегетації низька мобільність фосфору в ґрунті обмежує його доступність, тоді як у період викидання волоті рослини засвоюють близько половини сезонної потреби, формуючи лише 30-32% загальної сухої біомаси. За дефіциту фосфору на фоні надлишкового азоту спостерігається гіпертрофований розвиток вегетативної маси, пролонгація вегетації та затримка дозрівання. Експериментальні дані фіксують приріст урожаю 0,6 т/га від застосування фосфорних добрив, тоді як збільшення дози з 30 до 90 кг діючої речовини на гектар дає додаткові лише 0,2 т/га [34].

Калій локалізується в меристематичних тканинах і позитивно впливає на накопичення крохмалю та цукрів у зерні. Поглинання калію відбувається відносно рівномірно протягом усієї вегетації, хоча вміст елемента в рослинах варіює залежно від генотипу, ґрунтово-кліматичних умов та режиму удобрення. Оптимальне калійне живлення підвищує водоутримувальну здатність клітин, посилюючи посухостійкість агроценозу. Комбіноване застосування азотних і фосфорних добрив покращує якісні параметри зерна та зеленої маси, підвищуючи вміст білка, ліпідів, фосфору та вуглеводів. Використання фосфорно-калійної системи забезпечує прирости 0,24-0,51 т/га залежно від норм внесення [35].

Комбінована органо-мінеральна система удобрення демонструє вищу агроекологічну ефективність порівняно з моносистемами, особливо при внесенні понад 100 кг азоту на гектар у поєднанні з якісною органічною речовиною. Високоефективні органічні добрива підвищують урожайність без деградації ґрунтової родючості, забезпечуючи сталість продовольчої безпеки та екологічну стабільність агроекосистем. Застосування компостів збільшує врожайність зернового сорго від 2,7 до 3,5 т/га, що еквівалентно 29,6% приросту. Правильна інтеграція органіки з мінеральними туками забезпечує 10-20% підвищення продуктивності завдяки покращенню структури ґрунту та його вологоакумулюючої здатності [36].

Комплексне мінеральне удобрення в поєднанні з органікою підвищує врожайність на 20-25% в оптимальних умовах, на 15-20% в умовах посушливого стресу та на 10-15% за низької ґрунтової вологості. Збалансоване співвідношення азоту, фосфору та калію забезпечує 12-15% приріст урожайності. Органо-мінеральні системи гарантують стабільно високі врожаї навіть у зонах ризикованого землеробства, а за оптимального водозабезпечення забезпечують 20-30% збільшення продуктивності [37].

Для досягнення прогнозованої врожайності 5,0 т/га необхідне внесення понад 150 кг діючої речовини азоту на гектар при передполивному пороговому вмісті азоту в орному шарі 70%, тоді як збільшення норм понад цей рівень не

забезпечує додаткового приросту. В умовах Херсонської області врожайність 4,5 т/га на богарі при внесенні $N_{45}P_{45}K_{45}$ зросла в 1,8 рази до 8,0 т/га за зрошення, що підтверджує синергетичний ефект удобрення та водопостачання [38].

1.3. Ріст та розвиток сорго зернового за застосування позакореневого удобрення

Інтенсифікація сільськогосподарського виробництва в сучасних умовах передбачає використання широкого спектру біологічно активних речовин, здатних модулювати метаболічні процеси рослинного організму та оптимізувати фізіологічний стан агроценозів. Ці хімічні сполуки, ефективні в мікроконцентраціях, включають ферментативні комплекси, біостимулятори різної природи, феромони, гормональні препарати, вітамінні композиції та інші функціонально активні субстанції, що цілеспрямовано впливають на швидкість та спрямованість метаболічних перетворень у рослинах [39].

Ендогенні рослинні гормони синтезуються безпосередньо фітоорганізмом і здійснюють тонку регуляцію онтогенетичних процесів. Основні класи фітогормонів представлені цитокінінами, етиленом, ауксинами, гіберелінами, брасиностероїдами та абсцизовою кислотою, кожен з яких володіє специфічним спектром регуляторної активності. Сучасні наукові розробки створили розширений арсенал синтетичних аналогів природних гормональних субстанцій, що демонструють високу фізіологічну ефективність при застосуванні в агротехнологіях. Ці синтетичні регулятори структурно та функціонально подібні до ендогенних фітогормонів, цілеспрямовано модифікуючи гормональний баланс рослинного організму без токсичного впливу за умови дотримання рекомендованих концентрацій [40].

Паралельно з регуляторами гормональної природи в аграрній практиці широко використовуються мікроелементні композиції, що можуть застосовуватися як самостійно, так і в комбінації з рістстимулюючими препаратами, забезпечуючи оптимальне мінеральне живлення через листкову

поверхню. Застосування регуляторних субстанцій у критичні фази активного росту та морфогенезу спрямоване на координацію процесів поглинання мінеральних компонентів, водного обміну, акумуляції резервних речовин та оптимізації фотосинтетичної активності [41].

Аналіз сучасних досліджень демонструє, що більшість біологічних препаратів забезпечують високу продуктивність рослинних організмів виключно за умови оптимального гідрологічного режиму, тоді як в екстремальних умовах їхня ефективність значно знижується або елімінується повністю. Це положення підтверджується результатами експериментальних робіт широкого кола дослідників, що вивчали фізіологічні відповіді різних культур на застосування біостимуляторів за варіабельних умов водопостачання [42, 43].

Ефективність позакореневого удобрення визначається не лише складом препаратів, але й технологічними параметрами застосування – фазою розвитку, метеорологічними умовами обробки, концентрацією робочих розчинів та якістю покриття листкової поверхні. Оптимальні умови для листкової аплікації включають помірну температуру повітря, відсутність інтенсивної інсоляції та підвищену відносну вологість, що мінімізує швидкість випаровування та максимізує абсорбцію активних компонентів через кутикулярний шар та продихові отвори [44].

РОЗДІЛ 2. ХАРАКТЕРИСТИКА МІСЦЯ ТА УМОВ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1.Організаційно-економічні умови проведення досліджень

Експериментальна база для реалізації дослідницької програми магістерської роботи була організована на виробничих площах фермерського господарства «Прометей», розташованого в межах Кропивницького району Кіровоградської області. Географічне розміщення підприємства в зоні Правобережного Лісостепу України визначає специфіку його виробничої діяльності та створює типові для регіону умови господарювання, що дозволяє екстраполювати результати досліджень на аналогічні ґрунтово-кліматичні умови.

Господарство функціонує як спеціалізоване аграрне підприємство з виразною орієнтацією на виробництво товарної продукції рослинництва. Основним напрямом діяльності є культивування зернових культур різних родин, за винятком рису, вирощування зернобобових культур та продукування насіннєвого матеріалу олійних культур. Диверсифікація виробничої програми забезпечує економічну стабільність підприємства та оптимальне використання ресурсного потенціалу господарства.

Паралельно з основним виробничим профілем господарство здійснює супутню комерційну діяльність, що включає оптову реалізацію агрохімічної продукції, надання автотранспортних послуг, здійснення науково-технічного консалтингу, торгівлю зерновими та насіннєвими матеріалами, інформаційне обслуговування та послуги з оренди транспортних засобів. Така багатовекторність діяльності сприяє підвищенню рентабельності бізнесу та створює додаткові джерела фінансування виробничих процесів.

Структура земельних ресурсів та організація території

Загальна площа земельних угідь, що перебувають у власності фермерського господарства «Прометей», становить 419 гектарів. Структура землекористування характеризується високою часткою продуктивних

сільськогосподарських угідь з раціональним розподілом площ відповідно до функціонального призначення та агроекологічних можливостей території.

Орна земля складає 392,5 га, що еквівалентно 93,7% від загальної площі господарства, демонструючи високий рівень сільськогосподарської освоєності території. У структурі ріллі виділяються два основні сівозмінні масиви: польова сівозміна займає 375,5 га (89,6% загальної площі), тоді як плодоовочева сівозміна представлена на 17,5 га (4,2%). Така організаційна структура дозволяє реалізувати науково обґрунтовані сівозміни з оптимальним чергуванням культур, що є фундаментальною умовою підтримання родючості ґрунтів та фітосанітарної стабільності агроценозів.

Таблиця 2.1

Структура земельних угідь фермерського господарства «Прометей»

Кропивницький район, Кіровоградська область

Назва угідь	Площа, га	%
Рілля:	392,5	93,7
Польова Сівозміна	375,5	89,6
Плодоовочева Сівозміна	17,5	4,2
Багаторічні Насадження	15,0	3,6
Перелоги	5,0	1,2
Пасовища	2,0	0,4
Інші землі	4,0	1,0
Всього угідь	419,0	100

Багаторічні насадження, представлені переважно садовими культурами, займають 15,0 га (3,6% території), забезпечуючи диверсифікацію продуктивної бази господарства та створення додаткового джерела доходів. Перелогові землі площею 5,0 га (1,2%) виконують функцію екологічних буферних зон та резервного фонду для можливого розширення посівних площ. Пасовищні угіддя, хоча й представлені мінімальною площею 2,0 га (0,4%), забезпечують

можливість утримання обмеженого поголів'я худоби або використання для інших господарських потреб.

Інші землі категорії, що займають 4,0 га (1,0%), включають площі під господарськими будівлями, інфраструктурними об'єктами, внутрішньогосподарськими дорогами та іншими елементами виробничої інфраструктури, необхідними для безперебійного функціонування аграрного підприємства.

Територіальна організація сільськогосподарських угідь здійснена за принципом раціонального землекористування з урахуванням агротехнічних, економічних та екологічних критеріїв. Господарство розділене на чотири виробничі відділення, що забезпечує ефективну координацію агротехнологічних операцій та оптимізацію логістичних процесів. Проєктування полів сівозміни виконане з дотриманням вимог компактності конфігурації, що мінімізує витрати на внутрішньогосподарські переміщення техніки та забезпечує зручність механізованого обробітку.

Принцип еквівалентності площ полів дотримується наскільки це можливе з урахуванням природних обмежень, що спрощує планування виробничих процесів та раціональне використання машинно-тракторного парку. Поля формуються на едафічно однорідних масивах з подібними агрохімічними властивостями та гідрологічним режимом, що дозволяє застосовувати уніфіковані технологічні підходи в межах окремих виробничих контурів.

Орієнтація довгих сторін полів враховує мікрорельєф території та напрямок домінуючих вітрових потоків, що має критичне значення для мінімізації вітрової ерозії та оптимізації технологічних операцій. Така просторова організація території відповідає сучасним вимогам адаптивно-ландшафтного землеробства та створює передумови для сталого використання земельних ресурсів.

Виробнича потужність господарства визначається наявністю відповідної матеріально-технічної бази, здатної забезпечити повний технологічний цикл вирощування сільськогосподарських культур від підготовки ґрунту до збирання

та первинної обробки врожаю. Машинно-тракторний парк господарства сформований відповідно до виробничих потреб та площі оброблюваних угідь.

Тракторний парк представлений шістьма одиницями колісних тракторів різної потужності, що забезпечує виконання широкого спектру агротехнічних операцій протягом вегетаційного сезону. Номенклатура тракторів дозволяє реалізувати диференційований підхід до технологічних операцій залежно від їх енергонасиченості та агротехнічних вимог. Усі трактори консолідовані в спеціалізовані тракторні бригади, що забезпечує оптимальну організацію виробничих процесів та ефективне використання техніки.

Таблиця 2.2

Склад сільськогосподарської техніки фермерського господарства «Прометей» Кропивницького району Кіровоградської області

Марка машини	Кількість, шт.	Марка машини	Кількість, шт.
Трактори-всього в т.ч. колісні: Борона БДМ 4×4 Борона БЗСТ-1,0 Зерно-мийна машина ОВС-25 Зерно-мийна машина ОВП-20А	6 6 2 2 1 1	Сівалки-всього УПС-8 СЗУ-3,6	2 1 1
		Ґрунтообробні знаряддя в т.ч.: культиватор КПС-5у культиватор КРН-5,6	2 1 1 1

Комплекс ґрунтообробних знарядь включає сучасні технічні засоби для різних видів механічної обробки ґрунту. Дискові борони БДМ 4×4 у кількості двох одиниць забезпечують якісне подрібнення рослинних решток, вирівнювання поверхні та поверхневий обробіток ґрунту. Борони БЗСТ-1,0 у кількості двох одиниць призначені для передпосівної підготовки ґрунту, закриття вологи та знищення сходів бур'янів. Культиватори КПС-5у та КРН-5,6,

представлені відповідно однією одиницею кожний, забезпечують міжрядний обробіток просапних культур та суцільне культивування під різні сільськогосподарські культури.

Посівний комплекс господарства включає дві сівалки різного призначення. Універсальна пневматична сівалка УПС-8 забезпечує якісний посів зернових та дрібнонасіннєвих культур з точним дозуванням норм висіву. Зернова сівалка СЗУ-3,6 призначена для сівби зернових культур звичайним рядковим способом. Наявність двох типів сівалок дозволяє оптимізувати якість посівних робіт залежно від біологічних особливостей культур та агротехнічних вимог.

Для післязбиральної обробки зерна господарство використовує мобільні зерноочисні машини ОВС-25 та ОВП-20А, що забезпечують первинне та вторинне очищення зернової маси від домішок, підвищуючи якісні параметри товарної продукції. Мобільність цих агрегатів дозволяє здійснювати очищення зерна безпосередньо в польових умовах або на стаціонарних майданчиках, оптимізуючи логістику післязбиральних робіт.

Автотранспортний парк господарства представлений вантажними та спеціалізованими автомобілями різної вантажопідйомності, що забезпечує внутрішньогосподарські перевезення матеріалів, добрив, засобів захисту рослин, а також транспортування товарної продукції до місць реалізації або зберігання. Наявність власного автотранспорту знижує логістичні витрати та забезпечує оперативність виконання транспортних операцій.

Господарство демонструє відкритість до науково-виробничої кооперації, що створило передумови для організації експериментальних досліджень на його виробничій базі. Зацікавленість керівництва у впровадженні результатів наукових розробок та готовність надати необхідні ресурси для проведення польових дослідів є важливим чинником успішної реалізації дослідницької програми.

Економічна стабільність підприємства гарантує своєчасне забезпечення дослідів необхідними матеріальними ресурсами та виключає ризики

припинення експериментальних робіт з фінансових причин. Таким чином, сукупність організаційно-економічних умов фермерського господарства «Прометей» повністю відповідає вимогам для проведення якісних наукових досліджень у галузі агрономії та забезпечує репрезентативність отриманих результатів для умов Правобережного Лісостепу України.

2.2. Ґрунтово-кліматичні та погодні умови місця проведення досліджень

Експериментальні роботи в межах кваліфікаційного дослідження реалізовувалися на виробничих угіддях ФГ Губівка "Прометей", розташованого в Кропивницькому районі Кіровоградської області. Топографічна специфіка експериментального масиву представлена помірно хвилястою рівниною з незначним ухилом поверхні у південному та південно-західному напрямках. Гідрогеологічні умови характеризуються глибоким заляганням ґрунтових вод на позначці 57 метрів, що виключає їх безпосередній вплив на водне постачання кореневмісного шару та водоспоживання культивованих рослин.

Едафічний покрив експериментальної території сформований чорноземом типовим вилугуваним середньої потужності з низькими показниками вологозабезпечення, представленим грубопилувато-легкосуглинковою текстурою, сформованою на карбонатних лесових відкладах. Гранулометрична структура верхнього родючого горизонту характеризується наступним розподілом фракцій: грубий пил становить 49,9-58,3% від загальної маси, природна глина представлена в межах 30,6-34,4%, мулиста фракція складає 18,7-24,2%, тоді як піщані частинки займають 9,9-19,4% гранулометричного складу.

Агрохімічна характеристика ґрунтового середовища виявила вміст гумусу на рівні 3,5%, визначений за модифікованими методиками Тюріна та Кононової, що свідчить про середню забезпеченість органічною речовиною. Концентрація легкогідролізованого азоту, встановлена за методикою Корнфілда, коливається в діапазоні 90-120 мг/кг ґрунту. Вміст рухомих форм

фосфору та калію, визначених за методикою Чирікова, становить відповідно 130-160 і 120-130 мг/кг, що характеризує середню забезпеченість цими макроелементами. Нітрифікаційна активність ґрунтової мікробіоти класифікується як середня з показниками 2-3,5 мг на 100 г абсолютно сухої ґрунтової маси. Коефіцієнти утилізації фосфорних та калійних сполук рослинами знаходяться на середньому рівні, становлячи відповідно 0,06% для P_2O_5 та 1,44% для K_2O.

Морфологічна будова профілю характеризується потужністю гумусових горизонтів у межах 50-60 см, тоді як карбонатні акумуляції кальцію та магнію фіксуються на глибині 50-65 см від поверхні. Гідролітична кислотність, визначена за методикою Капена, становить 1,5-1,8 мг-екв на 100 г ґрунту, що свідчить про слабокислу реакцію середовища. Актуальна кислотність ґрунтового розчину, виміряна потенціометричним методом у KCl витяжці, знаходиться в межах pH 6,5-6,9, характеризуючи реакцію як близьку до нейтральної, що є сприятливим для більшості сільськогосподарських культур.

Ємність катіонного обміну ґрунтового поглинаючого комплексу оцінюється в 25-28 мг-екв на 100 г ґрунту. У складі обмінних катіонів домінуючу позицію займає кальцій з концентрацією 16,5-22,1 мг-екв на 100 г, тоді як магній представлений у значно меншій кількості – лише 2,4-4,01 мг-екв на 100 г ґрунту. Таке співвідношення обмінних основ є типовим для чорноземних ґрунтів регіону та забезпечує сприятливі умови для мінерального живлення рослин.

Узагальнюючи едафічну характеристику, можна констатувати, що ґрунтовий покрив експериментального масиву за сукупністю агрохімічних властивостей та водно-фізичних параметрів відповідає агротехнічним вимогам культивування сорго зернового, забезпечуючи необхідні умови для реалізації продуктивного потенціалу культури в умовах регіону досліджень.

Агрокліматичні ресурси та їх вплив на вегетацію сорго

Кліматична специфіка регіону досліджень визначається як помірно-континентальна з характерними сезонними контрастами температурного

режиму та нерівномірним розподілом атмосферних опадів. За багаторічними даними метеорологічної станції Кропивницького, середньорічний температурний фон становить +7°C з міжрічною варіабельністю 5-8°C. Максимальні літні температури досягають екстремальних значень 35-37°C, тоді як зимові мінімуми опускаються до -22°C, створюючи значну річну амплітуду термічного режиму.

Тривалість вегетаційного періоду сорго зернового в регіональних умовах складає 90-115 діб, протягом яких рослини перебувають переважно в сприятливих для онтогенезу умовах. Сума активних температур вище +10°C акумулюється в межах 2610-2650°C, що повністю забезпечує термічні вимоги культури для завершення повного циклу розвитку. Середньорічні показники відносної вологості повітря складають 77%, демонструючи сезонну динаміку зі зниженням до 50% у літні місяці та підвищенням до 85% в зимовий період, що відображає континентальність клімату.

Ризик кріогенного ушкодження рослин сорго пов'язаний з весняними та осінніми заморозками, хронологічно приуроченими відповідно до кінця квітня (26-28 число) та початку жовтня (6-7 число). Безморозний період характеризується значною варіабельністю від 137 до 198 діб з середнім багаторічним значенням близько 160 днів, що визначає календарні рамки можливого культивування теплолюбних рослин.

Режим атмосферного зволоження регіону характеризується середньорічною сумою опадів 498 мм з широкою міжрічною амплітудою від 330 до 820 мм, що свідчить про нестабільність гідрологічного режиму. За період активної вегетації з температурами вище +10°C в середньому випадає 298 мм опадів. Внутрішньорічний розподіл опадів демонструє виразну нерівномірність з максимумом у літній період при домінуванні вологих північно-західних повітряних мас і мінімумом у зимові місяці. Весняний період акумулює близько 127 мм опадів, літній сезон характеризується максимальною кількістю – 191 мм, тоді як осінь отримує приблизно 110 мм атмосферної вологи.

Метеорологічна характеристика вегетаційних періодів 2024-2025 років

Аналіз погодних умов експериментальних років виявив істотні відхилення від середньобагаторічних кліматичних норм, що визначило специфіку росту та розвитку досліджуваної культури. Вегетаційний період 2024 року характеризувався значною метеорологічною варіабельністю з чергуванням контрастних погодних фаз.

Квітень 2024 року розпочався теплою та посушливою погодою. Перша декада відзначалася перевищенням температурного фону на 2,6°C порівняно з багаторічною нормою, проте була холоднішою на 0,7°C відносно аналогічного періоду попереднього року. Атмосферні опади були повністю відсутні, що спричинило редукцію запасів продуктивної вологи в ґрунтовому профілі. Друга декада характеризувалася прохолодною погодою з випаданням 14,2 мм опадів, що складало 82% норми, при температурі на 0,5°C нижче багаторічної. Заключна декада місяця була теплою з температурою на 2,8°C вище норми, а випадання 31,3 мм опадів (194% норми) наприкінці декади забезпечило 28% приріст вологозапасів у поверхневих горизонтах (Додаток А, Б).

Травень розпочався прохолодною вологою погодою з температурою на 1,2°C нижче норми та кількістю опадів 26,7 мм (169% норми), створивши задовільні умови для культурних рослин. Друга декада була теплішою на 3,0°C з випаданням 15,3 мм опадів (125% норми), забезпечивши добрі вологозапаси. Третя декада характеризувалася подальшим підвищенням температури на 3,5°C вище норми при зменшенні опадів до 12,0 мм (67% норми).

Червневий період демонструював чергування помірних та високих температур. Перша декада була теплою з температурою на 3,8°C вище норми та випаданням 35,3 мм опадів (152% норми). Друга декада відзначалася спекотною бездощовою погодою з середньою температурою 23,6°C. Заключна декада місяця була жаркою (21,4°C) з інтенсивними опадами 43,9 мм, що становило 191% норми.

Липень характеризувався помірно теплим і вологим режимом з середньомісячною температурою 19,4°C, максимумом 32,4°C та мінімумом 9,6°C. Сумарне випадання опадів склало 41,2 мм при відносній вологості повітря 68%. Серпневий період був помірно жарким і майже бездощовим. Перша декада з температурою на 1,0°C нижче норми принесла 16,0 мм опадів. Друга декада з температурою на 2,1°C вище норми (20,7°C) отримала лише 1,1 мм опадів (4% норми). Третя декада була жаркою і посушливою з температурою на 4,0°C вище норми (21,0°C) без опадів, що призвело до критичного зниження ґрунтових вологозапасів (Додаток А, Б).

Вересень виявився мінливим з середньою температурою 15,3°C, максимумом 31,4°C та мінімумом -2,5°C. Відносна вологість повітря становила 62%, а загальна кількість опадів досягла лише 19,2 мм. За весь вегетаційний період 2024 року випало 132 мм опадів при середній температурі 16,84°C, що значно нижче багаторічних показників.

Вегетаційний сезон 2025 року також характеризувався суттєвою метеорологічною варіабельністю. Квітень був посушливим з температурними коливаннями. Перша декада демонструвала помірно тепле бездощове настання з температурою на 0,9°C вище норми при відсутності опадів та критично низьких вологозапасах. Друга декада з частими заморозками та сильними вітрами отримала лише 5,5 мм опадів (35% норми) при температурі на 0,2°C вище норми. Третя декада з температурою на 1,3°C вище багаторічної принесла 7,7 мм опадів (50% норми), залишаючи вологозапаси низькими (Додаток А, Б).

Травень характеризувався прохолодною дощовою погодою. Перша декада з температурою 12,8°C (на 0,5°C нижче норми) отримала 30,8 мм опадів (194% норми), створивши сприятливі умови. Друга декада була прохолодною (13,2°C, на 2,1°C нижче норми) з 17,6 мм опадів (150% норми) та відносною вологістю 64%. Третя декада виявилася найпрохолоднішою (11,5°C, на 4,3°C нижче норми) з інтенсивними опадами 53,4 мм (300% норми) (Додаток А, Б).

Червень 2025 року відзначався чергуванням температурних режимів. Перша декада була прохолодною з переходом до спекотної погоди, середня

температура 18,5°С (на 1,2°С вище норми) при 7,1 мм опадів. Друга декада демонструвала теплу дощову погоду з температурою на 5,8°С вище норми та випаданням 50,4 мм опадів. Третя декада була теплою і сухою з температурою 22,0°С та мінімальними опадами 3,2 мм (Додаток А, Б).

Липень був жарким і вологим з середньомісячною температурою 20,6°С, максимумом 32,2°С та мінімумом 9,5°С. Випало 79,2 мм опадів при відносній вологості 68%. Серпень характеризувався жаркою погодою з нерівномірним розподілом опадів. Перша декада з температурою на 0,5°С вище норми принесла 7,4 мм опадів. Друга декада (18,8°С, на 0,2°С вище норми) була бездощовою з критично низькими вологозапасами. Третя декада виявилася жаркою (20,4°С, на 3,4°С вище норми) з інтенсивними опадами 37,5 мм (200% норми), що відновило вологозапаси до задовільного рівня.

Вересень розпочався жаркою малодощовою погодою з 2,7 мм опадів. Друга декада з температурою 16,3°С була бездощовою. Третя декада демонструвала теплу погоду з 24,0 мм опадів наприкінці періоду. За вегетаційний період 2025 року випало 175 мм опадів при середній температурі 15,52°С (Додаток А, Б).

Узагальнюючи метеорологічну характеристику експериментальних років, можна констатувати, що агрокліматичні умови 2024-2025 років виявилися в цілому сприятливими для культивування сорго зернового, незважаючи на істотні відхилення від багаторічних норм. Нестабільність гідротермічного режиму з чергуванням посушливих та зволожених періодів створила типові для регіону умови, що дозволило адекватно оцінити адаптивний потенціал досліджуваної культури та ефективність технологічних прийомів її вирощування.

РОЗДІЛ 3. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

3.1. Методика проведення досліджень

Експериментальні дослідження реалізовувалися на полях фермерського господарства «Прометей», розташованого в межах Кропивницького району Кіровоградської області протягом 2024-2025 років у типових ґрунтово-кліматичних умовах Правобережного Лісостепу України. Об'єктом наукового вивчення слугували рекомендовані для регіону гібриди сорго зернового та технологічні елементи їх культивування, зокрема системи позакореневого удобрення мікроелементними композиціями та застосування регуляторів ростових процесів.

Таблиця 3.1

Схема досліду вивчення впливу мікродобрив та регуляторів росту на продуктивність гібридів сорго зернового

Гібрид	Мікродобрива	Регулятори росту
Брігга	Без мікродобрив	Без регулятору росту
		Регоплант, 50 мл/га в фазу 5 листків
		Стимпо, 20 мл/га в фазу 5 листків
	Альфа-Гроу-Екстра 2 л/га (1 обробка 5 листків, 2 – 9 листків, 3 – викидання волоті)	Без регулятору росту
		Регоплант, 50 мл/га в фазу 5 листків
		Стимпо, 20 мл/га в фазу 5 листків
	Інтермаг – Кукурудза, 2 л/га (1 обробка в фазі 5 листків, 2 та 3-тя – з інтервалом в 7 діб)	Без регулятору росту
		Регоплант, 50 мл/га в фазу 5 листків
		Стимпо, 20 мл/га в фазу 5 листків
Ютамі	Без мікродобрив	Без регулятору росту
		Регоплант, 50 мл/га в фазу 5 листків
		Стимпо, 20 мл/га в фазу 5 листків
	Альфа-Гроу-Екстра, 2 л/га (1 обробка 5 листків, 2 – 9 листків, 3 – викидання волоті)	Без регулятору росту
		Регоплант, 50 мл/га в фазу 5 листків
		Стимпо, 20 мл/га в фазу 5 листків
	Інтермаг – Кукурудза 2 л/га (1 обробка в фазі 5 листків, 2 та 3-тя – з інтервалом в 7 діб)	Без регулятору росту
		Регоплант, 50 мл/га в фазу 5 листків
		Стимпо, 20 мл/га в фазу 5 листків

Дослідна програма передбачала комплексне вивчення впливу двох факторів на продуктивність і якісні параметри урожаю сорго зернового (табл. 3.1). Перший фактор представлений генотиповою варіабельністю через використання двох контрастних за біологічними характеристиками гібридів: Брігга та Ютамі. Другий фактор структурований трьома типами мікроелементних добрив (контроль без внесення, Альфа-Гроу-Екстра, Інтермаг-Кукурудза) та трьома варіантами регуляторів росту (контроль без застосування, Регоплант, Стимпо) (табл. 3.1).

Мікродобриво Альфа-Гроу-Екстра застосовувалося триразово позакоренево в дозі 2 л/га за схемою: перша обробка у фазу п'яти листків, друга – у фазу дев'яти листків, третя – на початку викидання волоті. Препарат Інтермаг-Кукурудза також вносився триразово в нормі 2 л/га: початкова обробка у фазу п'яти листків, наступні дві аплікації проводилися з семиденним інтервалом. Регулятор росту Регоплант застосовувався одноразово у фазу п'яти листків у дозі 50 мл/га, тоді як Стимпо вносився в аналогічну фенологічну фазу нормою 20 мл/га.

Загальна кількість експериментальних варіантів у досліді становила 18 (2 гібриди × 3 варіанти мікродобрив × 3 варіанти регуляторів росту). Польовий експеримент закладався за методом розщеплених ділянок з чотириразовою повторністю, що забезпечує статистично достовірну оцінку ефектів досліджуваних факторів. Площа посівної ділянки становила 45 м², облікової – 35 м², що відповідає вимогам методики польового досліду для зернових культур. Розміщення варіантів у повторностях здійснювалося методом рандомізації для виключення систематичних помилок, пов'язаних з просторовою неоднорідністю експериментального поля.

Експериментальні роботи виконувалися з дотриманням загальноприйнятих наукових принципів та спеціалізованих агрономічних методик, адаптованих для умов польового експерименту. Закладання, проведення та облік результатів польового досліду здійснювалися відповідно до методичних вказівок з польового досліду та методології Державного

сортовипробування сільськогосподарських культур, що гарантує репрезентативність і достовірність експериментальних даних.

Опрацювання та статистичний аналіз експериментальних результатів проводилися з використанням сучасних комп'ютерних технологій, що забезпечує високу точність математичної обробки та об'єктивність інтерпретації отриманих даних. Застосування прикладного програмного забезпечення дозволило здійснити багатофакторний дисперсійний аналіз, кореляційно-регресійний аналіз та інші статистичні процедури для виявлення закономірностей і встановлення достовірності різниць між варіантами.

Комплексна оцінка ґрунтових умов експериментального поля включала визначення типової приналежності ґрунту, його морфологічної будови та агрохімічних властивостей. Вміст гумусу як інтегрального показника родючості визначався за класичною методикою Тюріна, що базується на окисненні органічної речовини хромовою сумішшю з подальшим фотометричним визначенням. Концентрація рухомих форм фосфору та калію встановлювалася за методикою Чирікова, яка передбачає екстракцію доступних форм цих елементів розчином вугільної кислоти з наступним колориметричним (для фосфору) або полум'яно-фотометричним (для калію) визначенням.

Актуальна кислотність ґрунтового розчину оцінювалася потенціометричним методом, що дозволяє встановити реакцію середовища та її відповідність біологічним вимогам культури. Додатково визначалися інші едафічні параметри, що можуть впливати на ріст і розвиток рослин, включаючи гранулометричний склад, структурний стан, щільність будови та інші фізичні властивості.

Режим ґрунтової вологи контролювався протягом усього вегетаційного періоду з визначенням запасів продуктивної вологи по шарах ґрунтового профілю термостатно-ваговим методом. Відбір ґрунтових зразків для визначення вологості проводився перед виконанням основних технологічних операцій (сівба, обробка регуляторами, збирання) на фіксованих глибинах 0-10, 10-20, 20-40, 40-60, 60-100 см. Розрахунок запасів доступної вологи

здійснювався з урахуванням щільності будови ґрунту в кожному шарі та виражався в міліметрах водного стовпа, що дозволяє порівнювати гідрологічні умови різних років досліджень.

Агрометеорологічні параметри реєструвалися протягом усього періоду вегетації сорго з декадною та місячною дискретністю. До переліку контрольованих показників входили температура повітря (середньодобова, максимальна, мінімальна), кількість атмосферних опадів, відносна вологість повітря, інтенсивність сонячної радіації та інші елементи, що визначають гідротермічний режим вегетаційного періоду. Порівняльний аналіз фактичних метеорологічних умов років досліджень проводився відносно середніх багаторічних значень, що дозволяє оцінити типовість або аномальність погодних умов експериментальних сезонів.

Фенологічний моніторинг проводився згідно методичних вказівок Державного сортовипробування сільськогосподарських культур з реєстрацією настання основних фенологічних фаз: сходи, кущення, вихід у трубку, викидання волоті, цвітіння, молочна стиглість, воскова стиглість, повна стиглість. Датою настання фенологічної фази вважався день, коли відповідні морфологічні ознаки виявлялися у 75% рослин на обліковій ділянці. Тривалість міжфазних періодів та загального вегетаційного циклу розраховувалася як різниця дат настання відповідних фаз [45].

Паралельно з фенологічними спостереженнями проводилася оцінка етапів органогенезу за методикою Ф.М. Куперман [46], що передбачає мікроскопічне дослідження апексів пагонів для визначення стадій диференціації конуса наростання. Ця методика дозволяє встановити критичні періоди формування елементів продуктивності та оптимізувати строки застосування регуляторів росту та мікродобрив відповідно до фізіологічних потреб рослин.

Густота стояння рослин визначалася двічі за вегетацію: після повних сходів (початкова густота) та перед збиранням врожаю (кінцева густота). Підрахунок рослин проводився на трьох фіксованих облікових майданчиках площею 1 м² кожний, розташованих по діагоналі облікової ділянки у першій та

третій повторностях [47]. Різниця між початковою та кінцевою густотою характеризує виживаність рослин протягом вегетації, що є важливим показником адаптивності гібридів та ефективності застосованих агротехнологічних прийомів.

Фотосинтетична активність агроценозів оцінювалася за комплексом показників, що характеризують асиміляційну поверхню, інтенсивність та продуктивність фотосинтетичних процесів. Площу листкової поверхні визначали методом висічок, що передбачає відбір листкових проб з модельних рослин, вирізання калібрувальних дисків відомої площі та встановлення питомої листкової поверхні через співвідношення маси цілих листків і висічок. Обліки проводилися в основні фенологічні фази з розрахунком площі листкової поверхні на одиницю земельної площі ($м^2/м^2$ або $м^2/га$)) [48].

Фотосинтетичний потенціал посіву розраховувався за методикою А.О. Ничипоровича як інтегральний показник площі асиміляційної поверхні за певний період часу, що виражається добутком середньої площі листків на тривалість періоду (тис. $м^2$×діб/га). Чиста продуктивність фотосинтезу визначалася як приріст сухої біомаси за одиницю часу на одиницю асиміляційної поверхні (г/$м^2$×добу) і характеризує ефективність роботи фотосинтетичного апарату.

Фактична врожайність зерна встановлювалася суцільним методом з облікових ділянок кожного варіанта в усіх повторностях. Збирання проводилося в фазу повної стиглості зерна з наступним зважуванням валової продукції та перерахунком на стандартну вологість 14%. Урожайність виражалася в тоннах на гектар з точністю до 0,01 т/га [47].

Структурний аналіз урожаю виконувався на снопових зразках, відібраних з фіксованих облікових площадок перед збиранням. Визначалися наступні елементи структури врожаю: кількість продуктивних стебел на одиницю площі, довжина волоті, кількість зерен у волоті, маса зерна з волоті, маса 1000 зерен, озерненість волоті. Ці параметри дозволяють встановити, через які компоненти

структури реалізується вплив досліджуваних факторів на продуктивність посівів.

Математична обробка результатів польового експерименту здійснювалася на персональному комп'ютері з використанням спеціалізованого статистичного програмного забезпечення Statistica-6. Дисперсійний аналіз дозволив виявити достовірність впливу досліджуваних факторів та їх взаємодії на контрольовані показники. Розрахунок найменшої істотної різниці ($НІР_{05}$) дав можливість встановити мінімальну різницю між варіантами, яка є статистично достовірною на 5% рівні значущості [49].

Економічна ефективність технологічних варіантів оцінювалася за показниками собівартості продукції, умовно чистого доходу, рівня рентабельності та окупності витрат. Розрахунок витрат на вирощування сорго за різними варіантами досліду проводився методом складання технологічних карт з урахуванням фактичних цін на матеріально-технічні ресурси та нормативів витрат праці [50, 51].

3.2 Особливості технології вирощування сорго зернового на дослідних ділянках

Сорго зернове характеризується високою адаптивністю до різноманітних попередників у сівозміні, успішно культивуючись після озимих зернових культур, ярих хлібів, зернобобових (квасолі), гречки, коренеплодів, картоплі та післяжнивних посівів. Унікальною особливістю культури є здатність до багаторічного безперервного вирощування на одних і тих самих площах протягом чотирьох-п'яти сезонів без зниження продуктивності, що пояснюється специфікою кореневих виділень та відсутністю накопичення специфічних патогенів. В умовах експериментальних досліджень попередником сорго зернового виступала пшениця озима, що є типовим рішенням для зернових сівозмін регіону та забезпечує сприятливі агрофізичні умови для наступної культури.

Система основного обробітку ґрунту під посів сорго розроблялася з урахуванням біологічних особливостей культури, стану поля після збирання попередника та необхідності створення оптимального посівного шару. Первинна обробка післяжнивних решток здійснювалася дисковими агрегатами AMAZONE Catros 9000 на глибину 6-8 см, що забезпечило подрібнення соломи, часткову мобілізацію насіннєвого банку бур'янів та створення умов для провокації проростання падалиці попередника. Ця операція виконує подвійну функцію: механічне подрібнення рослинних решток для прискорення їх мінералізації та стимуляція появи небажаної рослинності для її подальшої елімінації.

Після появи масових сходів падалиці та бур'янів проводилася хімічна десикація посівної площі застосуванням гербіциду суцільної дії Раундап Енерджі в нормі 3,0-4,0 л/га. Використання глифосатвмісного препарату забезпечує тотальне знищення вегетуючої рослинності незалежно від видового складу, створюючи чисте від бур'янів поле на момент входження в зиму. Передзимовий період характеризувався проведенням культиваційної обробки культиватором Case Tiger MATE 255 на глибину 5-8 см з метою вирівнювання поверхні, закриття вологи в ґрунті та створення оптимальної структури орного шару для максимальної акумуляції зимово-весняних опадів.

Реалізація продуктивного потенціалу сучасних гібридів сорго неможлива без науково обґрунтованої системи мінерального живлення, що забезпечує 35-40% загального приросту врожайності. Біологічний винос елементів живлення сорго зернового на формування однієї тонни зерна з еквівалентною кількістю вегетативної маси становить 23-25 кг азоту, 9-10 кг фосфору та 28-30 кг калію. Розрахунок норм внесення добрив здійснювався балансовим методом з урахуванням фактичного вмісту доступних форм елементів живлення в ґрунті, коефіцієнтів їх утилізації рослинами та запланованого рівня врожайності.

Основне удобрення передбачало внесення комплексного мінерального добрива Polifoska з формулою NPK 9:24:24 у нормі 250 кг/га під передпосівний обробіток ґрунту. Вибір препарату з підвищеним вмістом фосфору та калію

відповідає фізіологічним потребам сорго на початкових етапах розвитку, коли інтенсивно формується коренева система та закладаються репродуктивні органи. Внесення добрив під культивацію забезпечує їх розміщення в зоні активного освоєння кореневою системою та мінімізує втрати поживних елементів від поверхневого стоку та вимивання.

Весняний комплекс агротехнічних операцій спрямовувався на вирішення декількох взаємопов'язаних завдань: консервацію зимових запасів вологи в ґрунтовому профілі, підтримання поверхні дослідного поля в розпушеному структурованому стані, превентивний контроль ранньовесняної бур'янової рослинності та створення оптимальних умов для проростання насіння й початкового розвитку проростків. Ранньовесняне боронування здійснювалося комплексом важких і середніх зубових борін (БПГ-12), штригельних агрегатів (STRIEGEL-PRO PN 9000) та шлейфових борін (MCFARLANE WDL 2050) на глибину до 5 см під кутом до напрямку основного обробітку для максимального вирівнювання мікрорельєфу та руйнування капілярів.

Передпосівна культивація виконувалася культиватором Case Tiger MATE 255 на глибину загортання насіння безпосередньо перед сівбою, що забезпечує оптимальну щільність та структуру посівного шару, знищує проростки ранніх ярих бур'янів та створює сприятливе ложе для розміщення насіння.

Експериментальні дані свідчать про диференційовану реакцію генотипів на інтенсивність удобрення. Всі сорти забезпечили суттєве збільшення врожайності при внесенні NPK у дозах 45 і 90 кг діючої речовини на гектар, тоді як подальше підвищення до 135 кг виявилося ефективним лише для інтенсивних сортів і гібридів типу Степовий 5, Обрій та Хазіне 4. Застосування $N_{60}P_{60}K_{30}$ збільшило вегетативну масу на 19,3% за період обробітку ґрунту, що трансформувалося у приріст врожайності на 26,1% у фазу трубкування, 24,8% під час викидання волоті та 23,7% при дозріванні [52].

Внесення $N_{30}P_{60}K_{30}$ активізує формування асиміляційної поверхні та синтез хлорофілу в листках. Альтернативні дослідження визначають оптимум на рівні $N_{180}P_{90}$, що суттєво підвищує фотосинтетичну продуктивність

агроценозу. Максимальна врожайність 74,6 т/га зеленої маси гібриду Медовий досягнута при дробному внесенні азоту – N_{45} при сівбі та N_{45} у міжрядні підживлення на фоні $P_{60}K_{60}$ під основний обробіток ґрунту. Збільшення норм азоту та фосфору до 90 кг діючої речовини забезпечує незначний додатковий ефект, тому для південного сходу України рекомендується базовий рівень $N_{60}P_{60}K_{30}$ як для кормового, так і для зернового напрямів використання [53].

Для зон нестабільного зволоження оптимальні норми неорганічних добрив варіюють від $N_{60–90}P_{60}K_{30}$, тоді як помірні дози $N_{30–60}$ забезпечують середню врожайність 5,59-5,81 т/га. Ця варіабельність рекомендацій відображає необхідність регіональної адаптації систем удобрення до специфічних ґрунтово-кліматичних умов та економічної доцільності різних рівнів інтенсифікації. Інтегрований підхід до живлення, що поєднує мінеральні добрива з органікою та біологічними методами, забезпечує оптимальний баланс поживних елементів, покращує едафічні властивості та гарантує сталий розвиток агроекосистеми сорго [54].

Строк сівби сорго зернового визначався термічним режимом ґрунту з орієнтацією на прогрівання посівного шару до температури +10-12°C, що зазвичай відповідає другій-третій декадам квітня в умовах Правобережного Лісостепу. Дотримання температурного порогу є критично важливим для забезпечення дружного проростання насіння, оскільки посів у холодний ґрунт призводить до ураження патогенною мікофлорою, зрідження сходів та пролонгації ювенільного періоду з підвищеною вразливістю до бур'янової конкуренції.

Посівні роботи виконувалися пневматичною сівалкою John Deere DB55 з міжряддями 70 см, що забезпечує оптимальне співвідношення між індивідуальною площею живлення рослин та можливістю механізованого міжрядного обробітку. Норма висіву встановлювалася на рівні 160-170 тисяч схожих насінин на гектар, що за умови польової схожості 75-85% гарантує формування оптимальної густоти стояння 120-140 тисяч рослин на гектар. Така

густота відповідає біологічним особливостям сорго та забезпечує баланс між кущенням окремих рослин і загальною щільністю агроценозу.

Сортова та гібридна специфічність реакції на просторову конфігурацію посіву демонструє необхідність індивідуального підбору технологічних параметрів. Гібрид Лан 59 максимальну врожайність 5,40 т/га забезпечив за міжрядь 50 см, тоді як розширення до 70 см призвело до зниження на 0,45 т/га порівняно з 35-сантиметровим варіантом. Гібрид Бріґто F1 виявив меншу чутливість до ширини міжрядь: за 35 см урожайність становила 7,78 т/га, за 50 см – 8,48 т/га, а за 70 см – 7,93 т/га, демонструючи помірне зниження продуктивності при розширенні міжрядь без критичного падіння показників [55].

У степових регіонах України оптимальна норма висіву варіює від 140 до 160 тисяч схожого насіння на гектар. Південні та східні підзони степу вимагають зниження густоти до 60-100 тисяч, а в сприятливі за зволоженням роки допустиме збільшення до 140 тисяч. Посушливі умови визначають сортоспецифічні оптимуми густоти: для сорту Степовий максимальна врожайність досягнута за 118 тисяч рослин на гектар, тоді як Генічеське потребувало підвищення густоти до 140 тисяч. Ця варіабельність підкреслює необхідність експериментального визначення оптимальних параметрів посіву для конкретних генотипів у специфічних ґрунтово-кліматичних умовах регіону вирощування [56].

Післяпосівне прикочування кільчасто-шпоровими котками КЗК-9 є обов'язковим технологічним прийомом, що виконує множинні функції: ущільнення посівного шару для покращення капілярного підйому вологи до насіння, вирівнювання поверхні поля для забезпечення рівномірної глибини загортання, руйнування великих грудок та профілактика формування ґрунтової кірки. Якісне прикочування особливо критичне в посушливих умовах, коли дефіцит вологи в поверхневому шарі може затримувати або повністю блокувати проростання.

Система контролю сегетальної рослинності в посівах сорго зернового базувалася на інтеграції механічних та хімічних методів з урахуванням фенологічних фаз культури та видового складу бур'янового компонента. Досходове боронування агрегатом MCFARLANE WDL 2050 проводилося на 4-6 добу після сівби, коли насіння сорго перебуває в стадії проростання на глибині 5-7 см і механічно не ушкоджується боронами, тоді як проростки бур'янів, що знаходяться в поверхневому шарі 0-3 см, ефективно знищуються.

Міжрядні культивації виконувалися двічі протягом вегетації з використанням культиватора УСМК-5,4, обладнаного різними типами робочих органів залежно від мети обробки. Перша культивація на глибину 3-5 см здійснювалася в ранню фазу розвитку сорго для розпушування міжрядь, знищення нитковидних проростків бур'янів та провокації проростання насіння бур'янів з глибших шарів. Друга культивація в фазу 5-7 листків сорго виконувалася робочими органами з бритвоподібними та стрілчатими лапами, що забезпечують підрізання вегетуючих бур'янів і не пошкоджують кореневої системи культурних рослин.

Хімічний контроль бур'янів реалізувався диференційовано залежно від фенологічної фази сорго та спектру бур'янової рослинності. Ґрунтовий гербіцид Дуал Голд 960 ЕС вносився в нормі 1,6 л/га під передпосівну культивацію для створення гербіцидного екрану в поверхневому шарі, що блокує проростання однорічних злакових і деяких дводольних бур'янів. Після появи повних сходів застосовувався комбінований препарат Примекстра TZ Голд 500 SC у нормі 4,0-4,5 л/га, що забезпечує контроль широкого спектру однорічних дводольних і злакових видів у ранні фази їх розвитку.

Селективний гербіцид Агрітокс в.р. 50% вносився по вегетуючих рослинах у фазу 3-5 листків сорго в нормі 0,7-1,7 л/га залежно від щільності та видового складу дводольних бур'янів. Диференціація норми дозволяє оптимізувати співвідношення ефективності гербіцидної дії та безпеки для культурних рослин, оскільки надмірні дози можуть спричиняти фітотоксичний ефект навіть на селективних препаратах.

Використання широкого спектру стимуляторних препаратів у рослинництві дозволяє редукувати споживання класичних засобів захисту від інфекційних агентів. Завдяки імуномодулюючим властивостям окремих препаратів їх комбінація з фунгіцидами забезпечує зниження фунгіцидного навантаження на 22-28%, що сприяє екологізації, безпечності та економічній оптимізації аграрного виробництва. Прогресивною тенденцією є розширення використання біологічних препаратів, включаючи біопестициди та рістстимулятори. Фундаментальною відмінністю стимуляторів від токсичних пестицидів є відсутність негативного впливу на процеси клітинного поділу, тоді як класичні пестициди саме через це і чинять свою токсичну дію [55].

Сучасні гербіцидні препарати реалізують свою активність через блокування специфічних шляхів енергетичного метаболізму та трансдукції сигналів у рослинних клітинах, що виключає можливість класифікації пестицидів як екологічно безпечних продуктів, а їх використання становить потенційну небезпеку для здоров'я людини. Рістрегулюючі субстанції, переважна більшість яких є біологічно активними сполуками природного походження, виявляють суттєво вищий рівень екологічної безпеки порівняно з ксенобіотичними хімічними агентами, чужорідними для природних екосистем.

Ключовою особливістю біологічних факторів росту є швидка біодеградація поза межами рослинного організму, що унеможливлює їх персистенцію та кумуляцію в ґрунтовому середовищі. Препарати, що містять живі мікробні культури або екстраговані з них метаболіти, не синтезуються методами хімічного органічного синтезу, а виділяються з автентичних природних джерел, що принципово відрізняє їх від синтетичних пестицидів. Застосування хімічних засобів захисту часто є екологічно проблематичним, крім того, пестициди повністю виключаються з технологій органічного виробництва, у водоохоронних зонах та рекреаційних територіях [54].

Використання стимуляторів із вираженою інсектицидною активністю одночасно зменшує як фінансові витрати на пестицидну обробку, так і стресовий тиск абіотичних факторів на рослинні організми. Активація фізіологічних

процесів через застосування стимуляторів насамперед компенсує ендогенний дефіцит відповідних фітогормонів. Особливістю сучасних регуляторних препаратів є їхній внесок у подолання пролонгованого впливу високотемпературного стресу, водного дефіциту та недостатньої інсоляції, стимулюючи не лише ростові процеси, але й комплексну адаптивну стійкість агроценозів.

Інтегрована система захисту сорго від шкідливих організмів базувалася на моніторингу фітосанітарного стану посівів з прийняттям рішення про застосування пестицидів виключно за умови перевищення економічних порогів шкідливості. Попелиця, що колонізує молоді рослини сорго в ранні фази розвитку, контролювалася застосуванням інсектициду Енжіо 247 SC у нормі 0,18 л/га. Препарат належить до класу неонікотиноїдів і забезпечує швидку ліквідацію популяції шкідника з пролонгованим захисним періодом.

Кукурудзяний метелик як один з основних шкідників репродуктивної фази сорго контролювався внесенням інсектициду Ампліго 150 ZC у нормі 0,3-0,4 л/га в період викидання волоті. Своєчасність обробки є критичною, оскільки гусениці, що проникли всередину стебла або волоті, стають недосяжними для контактно-кишкових інсектицидів.

Профілактика грибкових захворювань розпочиналася з передпосівної обробки насіннєвого матеріалу фунгіцидним протруйником Гаучо Плюс у нормі 5 л/т безпосередньо в день сівби. Протруювання забезпечує захист проростків від ґрунтових патогенів у критичний період від набухання насіння до формування перших справжніх листків. Вегетаційна обробка фунгіцидом Тітул Дуо в нормі 0,25 л/га проводилася для контролю листкових плямистостей різної етіології, що можуть знижувати фотосинтетичну активність агроценозу та погіршувати якість зерна.

Збирання сорго зернового здійснювалося на початку вересня за досягнення зерном фізіологічної стиглості та зниження його вологості до 20% і нижче. Ці параметри є оптимальними для комбайнового обмолоту, оскільки вища вологість призводить до травмування зерна молотильним апаратом, а

надмірне пересихання спричиняє вилущування зернівок з волоті під час наливання бункера. Збиральні роботи виконувалися зерновим комбайном Challenger, обладнаним спеціальним жатковим пристроєм для високостеблових культур.

Комплексний підхід до технології вирощування, що інтегрує науково обґрунтовані агротехнічні прийоми на всіх етапах вегетації від обробітку ґрунту до збирання, забезпечив створення оптимальних умов для росту й розвитку рослин сорго зернового та формування високої продуктивності посівів на дослідних ділянках.

3.3. Урожайність зерна сорго зернового залежно від факторів досліду

Урожайність є інтегральним показником ефективності агротехнологічних рішень і відображає ступінь реалізації біологічного потенціалу культури в конкретних ґрунтово-кліматичних умовах. Оцінка продуктивності сорго зернового за різних технологічних варіантів дозволяє встановити оптимальні комбінації елементів живлення та регуляторних субстанцій для максимізації валових зборів зерна.

Мінеральне удобрення є потужним інструментом регулювання продуктивності сорго, забезпечуючи рослини потрібними макро- та мікроелементами для метаболічних процесів, ростових функцій та репродуктивного розвитку. Оптимізація системи живлення підвищує як кількісні, так і якісні параметри урожаю, створюючи сприятливий поживний фон для реалізації біологічного потенціалу культури. Основні макроелементи – азот, фосфор та калій – визначають темпи вегетативного росту, механічну міцність тканин та ефективність генеративних процесів.

Попередні уявлення про достатність внутрішніх ресурсів ґрунту для живлення сорго спростовані експериментальними даними, які підтверджують, що максимальна продуктивність досягається виключно за умови адекватного мінерального удобрення, особливо критичного в посушливих умовах. Міжнародні та вітчизняні дослідження фіксують високу ефективність органо-

мінеральних систем удобрення, хоча оптимальні дози та співвідношення елементів істотно варіюють залежно від едафічних та кліматичних умов конкретних регіонів.

Аналіз міжрічної варіабельності урожайності виявив суттєву залежність продуктивності від метеорологічних умов вегетаційного періоду. Сезон 2025 року характеризувався найсприятливішим поєднанням температурного режиму та водозабезпечення, що дозволило культурі реалізувати максимальний генетичний потенціал. Середня врожайність по досліду в цьому році досягла 9,89 т/га, що значно перевищує регіональні показники та підтверджує високу відгук сорго на оптимізацію умов вирощування. На противагу цьому, 2024 рік виявився найменш продуктивним з середнім показником 5,39 т/га, що пояснюється несприятливим гідротермічним режимом критичних фаз розвитку.

Експериментальні дані підтверджують, що максимальна інтенсивність фотосинтетичних реакцій досягається лише за умови оптимальної концентрації поживних елементів і достатнього водопостачання, що дозволяє безперешкодно протікати всім ключовим біохімічним трансформаціям. Дефіцит або повна відсутність одного чи декількох елементів живлення інваріантно призводить до суттєвого зниження фотосинтетичної активності. Численні органічні кислоти, функціонуючи як ростові фактори, в низьких молярних концентраціях стимулюють та активізують природну резистентність рослин до патогенних агентів, чинячи системний вплив на весь організм без локалізованої специфічності дії.

Багато стимуляторних препаратів, що володіють антистресовими властивостями, паралельно з активацією ростових процесів підвищують толерантність рослин до комплексу біотичних та абіотичних стресорів, включаючи посушливі умови, низькотемпературний стрес, гіпертермію та інші несприятливі фактори довкілля. Група синтетичних фітогормонів зі стимулюючою активністю включає аналоги ауксинового ряду, представлені масляною та оцтовою кислотами, натрієві солі гібереліновоі кислоти як гібереліноміметики, цитокінінові аналоги та брасиностероїдні похідні.

Протилежну функціональну спрямованість демонструють ростові інгібітори, до яких належать сполуки триметиламонійної групи, хлормекватхлорид, трінексапак-етил, 2-хлоретилфосфонова кислота, гідразинові похідні та інші ретардантні препарати. Окрему категорію регуляторів становлять метаболіти мікробного походження, продуковані штамами Pseudomonas aureofaciens, Cylindrocarpon magnusianum, Acremonium lichenicola та Pseudomonas fluorescens. Ці препарати належать до комбінованих формуляцій, оскільки містять комплекс стимулюючих субстанцій як результат життєдіяльності мікроорганізмів-продуцентів.

Використання широкого спектру стимуляторних препаратів у рослинництві дозволяє зменшувати споживання класичних засобів захисту від інфекційних агентів. Завдяки імуномодулюючим властивостям окремих препаратів їх комбінація з фунгіцидами забезпечує зниження фунгіцидного навантаження на 22-28%, що сприяє екологізації, безпечності та економічній оптимізації аграрного виробництва. Прогресивною тенденцією є розширення використання біологічних препаратів, включаючи біопестициди та рістстимулятори. Фундаментальною відмінністю стимуляторів від токсичних пестицидів є відсутність негативного впливу на процеси клітинного поділу, тоді як класичні пестициди саме через це і чинять свою токсичну дію.

Комплексний аналіз наукових публікацій вітчизняних та зарубіжних дослідників виявив, що в умовах нестабільного зволоження центральної частини Правобережного Лісостепу фрагментарно досліджувалися питання реакції зареєстрованих гібридів сорго зернового на варіації умов вирощування та систем живлення. Культура сорго володіє комплексом цінних господарсько-агрономічних характеристик, проте технологія його культивування залишається недостатньо адаптованою до специфічних умов нестійкого гідрологічного режиму центральної частини Правобережного Лісостепу України.

Особливо відчутною є відсутність систематизованих даних щодо комплексного поєднання впливу регуляторів росту та мікроелементних композицій на ростові процеси, морфогенез та продуктивні параметри

культури. Аналіз літературних джерел переконливо демонструє необхідність проведення розширених експериментальних досліджень для виявлення синергетичних ефектів сумісного застосування регуляторів росту та мікродобрив у технології вирощування сорго зернового в умовах Правобережної частини Лісостепу.

Такі дослідження повинні охоплювати оцінку впливу різних класів біостимуляторів на темпи початкового росту, розвиток кореневої системи, формування асиміляційного апарату, інтенсивність фотосинтетичних процесів, водний режим рослин, стійкість до стресових факторів та, зрештою, на структуру врожаю та його якісні характеристики. Особлива увага має приділятися ідентифікації оптимальних комбінацій препаратів, строків та кратності їх застосування, концентрацій робочих розчинів та технологічних параметрів обробок.

Результати таких комплексних досліджень дозволять розробити науково обґрунтовані регіональні рекомендації щодо інтеграції біостимуляторів та мікроелементних добрив у технологію вирощування сорго зернового, адаптовані до специфічних ґрунтово-кліматичних умов Правобережного Лісостепу. Це сприятиме підвищенню продуктивності культури, стабілізації врожайності в умовах кліматичної варіабельності, покращенню якості продукції та економічної ефективності виробництва при одночасному зниженні екологічного навантаження через редукцію застосування синтетичних пестицидів та оптимізацію систем мінерального живлення.

Порівняльний аналіз продуктивності досліджуваних гібридів виявив чіткі закономірності, пов'язані з їхніми біологічними особливостями. Гібрид Ютамі демонструє на 10-15 діб довший вегетаційний період порівняно з Брігга, що забезпечує більш тривале накопичення фотосинтетичних асимілятів і, як наслідок, вищу потенційну продуктивність. Ця онтогенетична характеристика дозволяє Ютамі ефективніше утилізувати сонячну енергію літнього періоду та формувати більшу біомасу (табл. 3.2).

Таблиця 3.2

Урожайність зерна сорго зернового за застосування різних елементів технології вирощування

Гібрид	Мікродобриво	Регулятор росту	Урожайність, т/га		
			2024	2025	середнє
Брігга	Без мікродобрив	Без регулятора	4,56	8,29	6,43
		Регоплант	4,63	8,40	6,52
		Стимпо	4,67	8,36	6,52
	Альфа-Гроу-Екстра	Без регулятора	4,88	9,37	7,13
		Регоплант	4,96	9,48	7,22
		Стимпо	5,00	9,43	7,22
	Інтермаг	Без регулятора	4,80	9,31	7,06
		Регоплант	4,88	9,41	7,15
		Стимпо	4,91	9,37	7,14
Ютамі	Без мікродобрив	Без регулятора	5,63	9,77	7,70
		Регоплант	5,73	9,88	7,81
		Стимпо	5,76	9,83	7,80
	Альфа-Гроу-Екстра	Без регулятора	6,00	11,14	8,57
		Регоплант	6,14	11,25	8,70
		Стимпо	6,17	11,21	8,69
	Інтермаг	Без регулятора	6,00	11,11	8,56
		Регоплант	6,12	11,22	8,67
		Стимпо	6,14	11,17	8,66
НІР$_{0,05}$			0,11	0,16	0,14

У сезоні 2024 року перевага Ютамі над Брігга становила 1,16 т/га, тоді як у найсприятливішому 2025 році різниця зросла до 1,68 т/га. Така динаміка свідчить, що пізньостиглий гібрид здатний повніше реалізувати продуктивний потенціал за оптимальних умов, тоді як раннестиглий Брігга демонструє більшу стабільність за варіабельних погодних умов. Вибір між цими генотипами

повинен базуватися на специфіці конкретного господарства, тривалості безморозного періоду та стратегії ризик-менеджменту.

Контрольні варіанти без застосування мікродобрив і регуляторів росту демонстрували мінімальні показники урожайності для обох гібридів, що підтверджує необхідність інтенсифікації технології для реалізації генетичного потенціалу сучасних гібридів. Базова агротехнологія без додаткових стимулюючих заходів не забезпечує повної експресії продуктивних ознак, особливо в умовах лімітуючих факторів.

Вплив позакореневого живлення на продуктивність гібриду Брігга

Для гібриду Брігга максимальна урожайність 7,71 т/га була досягнута за комплексного застосування мікродобрива Альфа-Гроу-Екстра в нормі 2 л/га з триразовою аплікацією (фаза п'яти листків, дев'яти листків, викидання волоті) у поєднанні з регулятором росту Стимпо в дозі 20 мл/га в фазу п'яти листків. Ця технологічна комбінація забезпечила приріст до контролю на 1,06 т/га, або 15,9%, що економічно виправдовує додаткові інвестиції в позакореневе удобрення.

Вибір методу внесення добрив та їх розподіл у часі є критично важливими для ефективності удобрення. Сорго позитивно реагує на органічні добрива як окремо, так і в комбінації з мінеральними. Внесення 10-20 т органіки на гектар під зяблевий обробіток або весняну передпосівну підготовку може підвищити врожайність насіння на 0,4-1,0 т/га. Добрива не лише збільшують валовий збір, але й покращують якісні параметри продукції – вміст білка, ліпідів, сухої речовини та кормову цінність [55].

У посушливих зонах повну норму мінеральних добрив доцільно вносити під зяблеву оранку, хоча передпосівне внесення можливе за достатнього весняного зволоження. Весняне поверхневе внесення менш ефективне через швидке висихання верхнього шару та неможливість використання добрив кореневою системою. Експериментальні дані для середньосуглинкових ґрунтів виявили максимальну врожайність 4,9 т/га за повного осіннього внесення добрив під зяблеву оранку проти 4,2 т/га на контролі[56].

Ефективність варіанта пояснюється синергетичною взаємодією мікроелементної композиції Альфа-Гроу-Екстра, що оптимізує мінеральне живлення на критичних етапах органогенезу, та біостимулюючого комплексу Стимпо, що містить біологічно активні метаболіти грибів-мікроміцетів. Концентрація продуктів життєдіяльності мікроорганізмів у Стимпо становить 1 г/л і включає насичені та ненасичені жирні кислоти (С14-С28), полісахариди, п'ятнадцять амінокислот, аналоги фітогормонів цитокінінової та ауксинової природи.

Триразова схема внесення мікродобрива Альфа-Гроу-Екстра відповідає ключовим фазам формування елементів продуктивності: перша обробка в фазу п'яти листків активізує розвиток вегетативної маси та кореневої системи, друга в період дев'яти листків співпадає з початком закладання генеративних структур, третя на початку викидання волоті підтримує оптимальне живлення під час інтенсивного формування зернівок. Така часова диференціація забезпечує максимальну ефективність використання мікроелементів.

Альтернативні варіанти з мікродобривом Інтермаг-Кукурудза також демонстрували високу ефективність, проте дещо поступалися оптимальній комбінації. Варіанти з ізольованим застосуванням регуляторів росту без мікроелементної підтримки виявилися малоефективними, що підкреслює необхідність комплексного підходу до позакореневого живлення.

Продуктивність гібриду Ютамі за різних систем удобрення

Гібрид Ютамі демонстрував дещо іншу реакцію на технологічні варіанти порівняно з Брігга. Максимальна урожайність 8,89 т/га була отримана за застосування мікродобрива Альфа-Гроу-Екстра в комбінації з регулятором росту Регоплант у дозі 50 мл/га. Практично ідентичний результат 8,88 т/га забезпечила заміна Регопланту на Стимпо, що свідчить про еквівалентність цих препаратів для даного генотипу за оптимальних умов вирощування.

Високоефективним виявився також варіант із застосуванням Інтермаг-Кукурудза в нормі 2 л/га з триразовою обробкою (фаза п'яти листків і дві наступні з семиденним інтервалом) у поєднанні з Регоплантом, що забезпечило

врожайність 8,87 т/га. Мінімальна різниця між цими варіантами знаходиться в межах статистичної похибки, що дозволяє рекомендувати обидва препарати як взаємозамінні для даного гібриду.

Абсолютні значення урожайності Ютамі у всіх технологічних варіантах перевищували відповідні показники Брігга, що підтверджує вищий продуктивний потенціал пізньостиглого гібриду. Проте відносний приріст від застосування позакореневого удобрення виявився дещо меншим для Ютамі порівняно з Брігга, що може пояснюватися вищою природною адаптивністю та ефективнішим використанням ґрунтових ресурсів пізньостиглим генотипом.

Компаративний аналіз ефективності регуляторів росту за контрастних погодних умов виявив цікаві закономірності їхньої адаптивної дії. У несприятливому 2024 році з екстремальними стресовими факторами переважну ефективність демонстрував Стимпо, тоді як за оптимальних умов кращі результати забезпечував Регоплант.

Ця диференційна реакція пояснюється відмінностями в біохімічному складі препаратів. Стимпо містить вищу концентрацію природних фітогормональних аналогів цитокінінової та ауксинової природи (1 г/л біологічно активних метаболітів), що забезпечує потужнішу антистресову дію за несприятливих умов. Регоплант поряд із базовим комплексом біологічно активних сполук мікроміцетів (0,3 г/л) містить також калієву сіль альфа-нафтилоцтової кислоти (1 мг/л) – синтетичний аналог ауксинів.

За екстремальних умов вища концентрація природних фітогормональних субстанцій виявилася ефективнішою для активації захисних механізмів рослинного організму порівняно з синтетичними аналогами. Природні метаболіти мікроміцетів володіють комплексною біологічною активністю та здатні стимулювати множинні адаптивні шляхи одночасно, тоді як синтетичні компоненти діють більш специфічно.

За сприятливих умов, коли стресові фактори мінімізовані, синергізм між природними та синтетичними компонентами Регопланту забезпечує більш збалансовану регуляцію ростових процесів. Синтетичні ауксини

характеризуються вищою стабільністю та пролонгованою дією, що може бути перевагою за відсутності сильних стресорів.

Сорго, аналогічно багатьом іншим культурам, потребує достатніх запасів капілярної вологи в поверхневих горизонтах ґрунту на початкових етапах розвитку. Одним із пріоритетних завдань є селекція відповідних стимуляторних препаратів, орієнтованих на активацію розвитку кореневого апарату та оптимізацію водокористування рослинним організмом. Уповільнений та пролонгований вегетативний ріст упродовж перших 30-40 діб після появи сходів підкреслює критичну важливість топографічних умов та санітарного стану посівів щодо забур'янення [53].

На ранніх онтогенетичних стадіях споживання води та поживних речовин сорго є лімітованим, що визначає доцільність застосування в цей період стимуляторних препаратів у комбінації з мікроелементними добривами. Така стратегія забезпечує надходження необхідних регуляторних субстанцій для стимуляції формування додаткової листкової поверхні та реалізацію науково обґрунтованих методів контролю сегетальної рослинності. Критичним є вибір препаратів, що не лише активують ріст надземної частини, але й посилюють розвиток кореневої системи, що особливо важливо в умовах водного дефіциту.

Позакореневе внесення біостимуляторів та мікроелементів у ранні фази розвитку дозволяє швидко коригувати фізіологічний стан рослин, оминаючи можливі обмеження ґрунтового поглинання. Листкова абсорбція забезпечує оперативне надходження активних субстанцій безпосередньо до метаболічно активних тканин, що особливо ефективно за несприятливих едафічних умов або низької мобільності окремих елементів у ґрунтовому розчині.

Сучасні гербіцидні препарати реалізують свою активність через блокування специфічних шляхів енергетичного метаболізму та трансдукції сигналів у рослинних клітинах, що виключає можливість класифікації пестицидів як екологічно безпечних продуктів, а їх використання становить потенційну небезпеку для здоров'я людини. Рістрегулюючі субстанції, переважна більшість яких є біологічно активними сполуками природного

походження, виявляють суттєво вищий рівень екологічної безпеки порівняно з ксенобіотичними хімічними агентами, чужорідними для природних екосистем.

Ключовою особливістю біологічних факторів росту є швидка біодеградація поза межами рослинного організму, що унеможливлює їх збереження та кумуляцію в ґрунтовому середовищі. Препарати, що містять живі мікробні культури або екстраговані з них метаболіти, не синтезуються методами хімічного органічного синтезу, а виділяються з автентичних природних джерел, що принципово відрізняє їх від синтетичних пестицидів. Застосування хімічних засобів захисту часто є екологічно проблематичним, крім того, пестициди повністю виключаються з технологій органічного виробництва, у водоохоронних зонах та рекреаційних територіях.

Використання стимуляторів із вираженою інсектицидною активністю одночасно зменшує як фінансові витрати на пестицидну обробку, так і стресовий тиск абіотичних факторів на рослинні організми. Активація фізіологічних процесів через застосування стимуляторів насамперед компенсує ендогенний дефіцит відповідних фітогормонів. Особливістю сучасних регуляторних препаратів є їхній внесок у подолання пролонгованого впливу високотемпературного стресу, водного дефіциту та недостатньої інсоляції, стимулюючи не лише ростові процеси, але й комплексну адаптивну стійкість агроценозів.

Дисперсійний аналіз дозволив кількісно оцінити відносний внесок різних факторів у формування продуктивності сорго зернового. Найбільший вплив на урожайність мав фактор гібриду – 35%, що підтверджує визначальну роль генетичної компоненти в реалізації продуктивного потенціалу. Вибір адаптованого до регіональних умов генотипу є фундаментальним рішенням, що визначає верхню межу можливої продуктивності (рис. 3.1).

Мікродобрива забезпечували 14% загальної варіації урожайності, демонструючи суттєвий, хоча й вторинний вплив порівняно з генотипом. Регулятори росту характеризувалися відносно невеликою часткою впливу, що пояснюється їхньою модулюючою, а не детермінуючою роллю в

продукційному процесі. Ці препарати оптимізують фізіологічні процеси, проте не можуть компенсувати генетичні обмеження або дефіцит базових елементів живлення (рис. 3.1).

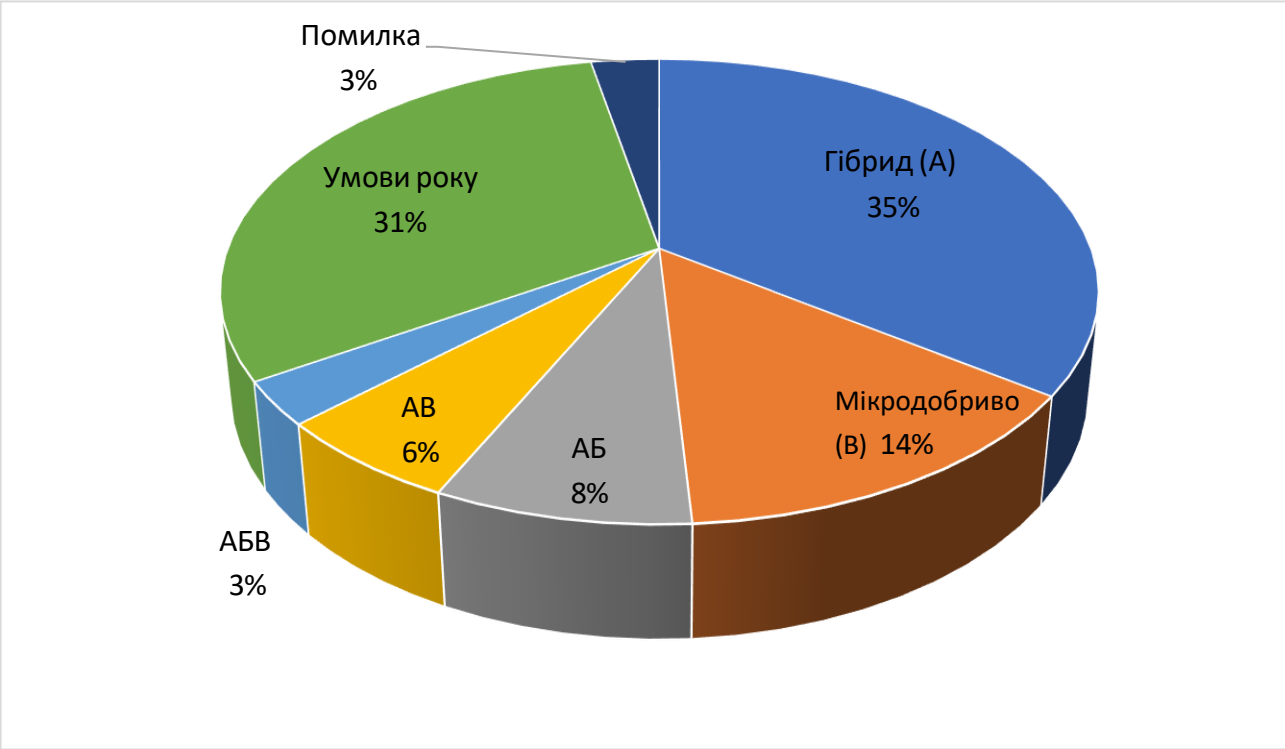

Рис. 3.1. Частка впливу факторів на формування урожайності сорго зернового

Значну частку варіації – 31% – забезпечував фактор року, що відображає потужний вплив погодних умов на продуктивність культури. Ця висока чутливість до метеорологічних відхилень підкреслює актуальність розробки адаптивних технологій, здатних стабілізувати врожайність за варіабельних умов. Контрастність гідротермічних режимів років досліджень у Кіровоградській області створює типову ситуацію для Лісостепової зони з її нестабільним зволоженням.

Взаємодія факторів також вносила помітний вклад у загальну дисперсію, що свідчить про нелінійність відгуку культури на комбінації технологічних прийомів. Оптимальна комбінація елементів технології залежить від

конкретного генотипу та погодних умов, що вимагає гнучкого підходу до формування агротехнологічних рішень.

Компаративний аналіз економічної ефективності гібридів виявляє чіткі закономірності їхньої конкурентоспроможності. Ютамі демонструє вищу продуктивність, нижчу собівартість продукції, більший прибуток порівняно з Брігга в абсолютному вираженні. Перевага за прибутком становить 8000-9000 гривень на гектар, за собівартістю – 300-400 гривень на тонну.

Проте відносна ефективність додаткових агрозаходів виявляється дещо вищою для Брігга. Приріст прибутку від застосування оптимальної комбінації мікродобрив і регуляторів для цього генотипу становить 7700 гривень на гектар (24% до контролю), тоді як для Ютамі – 7400 гривень (18%).

Ця диференціація пояснюється вищим базовим рівнем продуктивності Ютамі, що ускладнює подальше підвищення через наближення до біологічного максимуму. Брігга з нижчою стартовою продуктивністю має більший резерв для інтенсифікації через додаткові агрозаходи. Абсолютна перевага Ютамі робить його оптимальним вибором для максимізації валового прибутку, тоді як Брігга привабливий для господарств, що орієнтуються на відносну віддачу від додаткових інвестицій.

Вибір між генотипами повинен враховувати не лише економічні параметри, але й ризики, пов'язані з тривалістю вегетації. Ютамі з довшим періодом розвитку має вищу ймовірність потрапляння під ранні осінні заморозки, що може повністю анулювати економічні переваги через втрату врожаю. Брігга з коротшою вегетацією забезпечує вищу надійність дозрівання в зонах з обмеженим безморозним періодом.

Синтез економічних показників дозволяє сформувати інтегральний рейтинг технологічних варіантів. Для гібриду Брігга оптимальною комбінацією є Альфа-Гроу-Екстра зі Стимпо, що забезпечує максимальний прибуток та найнижчу собівартість. Цей варіант доцільний за усіх економічних сценаріїв незалежно від коливань цін на продукцію та ресурси.

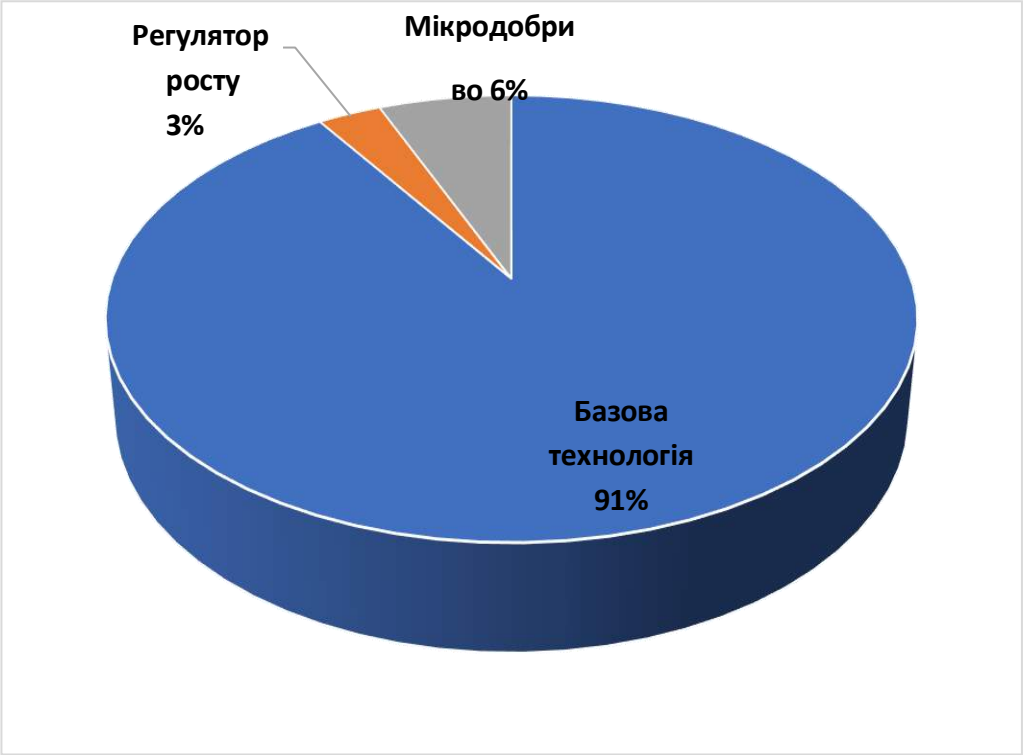

Рис. 3.2. Частка додаткових елементів технології порівняно з базовою агротехнікою

Альтернативою є комбінація того самого мікродобрива з Регоплантом, що поступається на 1900 гривень за прибутком при практично ідентичних інших параметрах. Вибір між регуляторами може визначатися їхньою доступністю на ринку або специфічними преференціями виробника. За несприятливих погодних умов перевага Стимпо стає більш вираженою завдяки його антистресовим властивостям.

Для гібриду Ютамі оптимальними є дві практично еквівалентні комбінації: Альфа-Гроу-Екстра з Регоплантом або зі Стимпо. Різниця в 72 гривні за прибутком знаходиться в межах похибки варіювання цін та урожайності. Вибір між цими варіантами може базуватися на вторинних критеріях, таких як зручність застосування або доступність препаратів.

Інтермаг-Кукурудза демонструє дещо нижчу ефективність порівняно з Альфа-Гроу-Екстра для обох генотипів, проте залишається економічно виправданим варіантом. Перевага в 1500-2500 гривень за прибутком для

Альфа-Гроу може не компенсувати можливі ризики, пов'язані з дефіцитом препарату на ринку, що робить Інтермаг надійною альтернативою.

Варіанти без мікродобрив, включаючи контроль та ізольоване застосування регуляторів, демонструють найнижчу економічну ефективність. Відмова від позакореневого удобрення призводить до втрати 6000-7000 гривень прибутку на гектар при незначній економії 600-900 гривень витрат, що є економічно нераціональним рішенням за будь-яких умов господарювання.

Стабільність ефективності оптимальних варіантів підтверджується їхньою перевагою в усіх роках досліджень незалежно від метеорологічних умов. Це свідчить про універсальність рекомендацій та їхню застосовність у широкому діапазоні агрокліматичних сценаріїв від посушливих до зволожених сезонів.

РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

Достовірна оцінка економічної ефективності вимагає визначення реального паритету цін, тому розрахунки здійснювалися на основі технологічних карт у цінах 2024 року з урахуванням фактичних затрат ресурсів. Первинним етапом аналізу є калькуляція базових витрат, що формують фундамент технологічного процесу культивування сорго зернового [50].

Структура базових витрат включала наступні компоненти. Насіннєвий матеріал коштував 1983,6 гривень на гектар при нормі висіву 6,8 кг за ціни 290 гривень за кілограм для обох генотипів. Мінеральне удобрення нітроамофоскою в дозі $N_{60}P_{60}K_{60}$ становило 8925 гривень на гектар, тоді як додаткове азотне підживлення аміачною селітрою N_{60} для Ютамі додавало 4637,5 гривень (Додаток В).

Сумарні витрати на технологію для Брігга при урожайності 6,65 т/га становили 30246,9 гривень на гектар, що визначало собівартість тонни зерна 4653,4 гривні. З урахуванням витрат на реалізацію 413,7 гривень за тонну повна собівартість досягала 5067,1 гривні. Для Ютамі при урожайності 7,88 т/га загальні витрати становили 35940,4 гривні на гектар, собівартість тонни – 4792 гривні, повна собівартість з витратами на збут 357,9 гривень – 5149,9 гривень.

Диференціація вартості насіннєвого матеріалу між гібридами зумовлювалася морфометричними характеристиками зернівок. Для Брігга вартість насіння становила 1984 гривні на гектар, тоді як для Ютамі з меншою масою тисячі зерен – лише 1357 гривень. За фіксованої ціни кілограму насіння менша маса індивідуальної зернівки дозволяє збільшити посівну площу за еквівалентних фінансових витрат (Додаток В).

Варіанти позакореневого удобрення мікродобривами різнилися згідно експериментальної схеми та були ідентичними для обох досліджуваних генотипів. Мікродобриво Альфа-Гроу-Екстра при триразовому внесенні коштувало 667,2 гривні на гектар, Інтермаг-Кукурудза – 875,2 гривні. Регулятори росту додавали 70 гривень (Регоплант) або 46 гривень (Стимпо) до загальних витрат на варіант.

Загальна вартість технології варіювала від 21322 до 22697 гривень на гектар залежно від комбінації факторів. Вартість виробленої продукції за ціни реалізації 8000 гривень за тонну коливалася від 53227 до 70921 гривень на гектар, що однозначно фіксує економічну доцільність культивування сорго навіть за сучасних умов господарювання з підвищеними виробничими витратами (Додаток В).

Для гібриду Брігга оптимальні показники врожайності 7,71 т/га були досягнуті за комплексного застосування Альфа-Гроу-Екстра зі Стимпо. Ця комбінація забезпечила вартість продукції 61673 гривні при сумарних витратах 22035 гривень, що визначило прибуток 39638 гривень на гектар. Собівартість тонни зерна становила 2858 гривень, що є найнижчим показником серед усіх варіантів з мікродобривами для цього генотипу.

Альтернативні варіанти для Брігга демонстрували дещо нижчу економічну ефективність. Комбінація Альфа-Гроу-Екстра з Регоплантом забезпечила прибуток 37773 гривні при собівартості 2949 гривень за тонну. Інтермаг-Кукурудза з Регоплантом дав прибуток 37010 гривень при собівартості 3005 гривень, зі Стимпо – 36963 гривні та 3006 гривень відповідно.

Контрольний варіант без мікродобрив і регуляторів забезпечив мінімальний прибуток 31905 гривень при найвищій собівартості 3205 гривень за тонну. Ізольоване застосування регуляторів без мікроелементної підтримки давало 32547 гривень (Регоплант) та 32478 гривень (Стимпо) прибутку, що підтверджує необхідність комплексного підходу до позакореневого живлення.

Гібрид Ютамі демонстрував вищу абсолютну економічну ефективність завдяки підвищеній продуктивності. Максимальний прибуток 48622 гривні на гектар був отриманий за застосування Альфа-Гроу-Екстра з Регоплантом при врожайності 8,89 т/га. Практично ідентичний результат 48550 гривень забезпечила заміна Регопланту на Стимпо при врожайності 8,88 т/га. Собівартість тонни в цих варіантах становила 2530-2531 гривню (Додаток Г).

Комбінація Інтермаг-Кукурудза з Регоплантом для Ютамі забезпечила прибуток 48224 гривні при собівартості 2560 гривень, зі Стимпо – 48099

гривень та 2563 гривні відповідно. Контроль без додаткових агрозаходів дав 41262 гривні прибутку при собівартості 2762 гривні за тонну. Варіанти з ізольованим застосуванням регуляторів забезпечили 41980 гривень (Регоплант) та 41865 гривень (Стимпо) (Додаток Г).

Собівартість продукції Ютамі виявилася нижчою порівняно з Брігга завдяки вищій урожайності за приблизно еквівалентних витрат на технологію. Діапазон собівартості для Ютамі становив 2530-2762 гривні за тонну проти 2858-3205 гривень для Брігга. Ця перевага робить пізньостиглий генотип економічно привабливішим за умови достатньої тривалості безморозного періоду для завершення вегетації.

Аналіз структури виробничих витрат виявляє основні статті, що формують собівартість продукції. Насіннєвий матеріал становить 6,6-9,3% загальних витрат залежно від генотипу. Мінеральні добрива як найвитратніша стаття досягають 29,5-38,1% для Брігга та 38,1-45,6% для Ютамі з урахуванням додаткового азотного підживлення.

Засоби захисту рослин складають 17,9-18,6% витрат, демонструючи відносну стабільність незалежно від варіанту. Паливно-мастильні матеріали та ремонтний фонд займають 22,4-26,7%, відображаючи енергонасиченість технології. Орендна плата за землю становить стабільні 23,8-25,3% витрат як фіксована компонента.

Позакореневе удобрення мікродобривами додає лише 3,0-4,0% до загальних витрат, тоді як регулятори росту – менше 0,3%. Ця мінімальна частка додаткових агрозаходів при суттєвому прирості врожайності визначає їх високу економічну ефективність. Співвідношення витрат на мікродобрива до додаткового прибутку становить 1:8-10, що є вкрай привабливим показником окупності інвестицій.

РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ДОВКІЛЛЯ ПРИ ВИРОЩУВАННІ СОРГО ЗЕРНОВОГО

Вирощування сорго зернового як інтегральний технологічний процес передбачає виконання комплексу польових робіт з використанням сільськогосподарської техніки, хімічних засобів захисту рослин, мінеральних добрив та інших потенційно небезпечних компонентів. Забезпечення безпечних умов праці на всіх етапах технологічного циклу є пріоритетним завданням організації виробничого процесу, що регламентується національним законодавством у сфері охорони праці.

Основні нормативно-правові акти, що визначають вимоги до безпеки праці в аграрному секторі, включають Закон України "Про охорону праці", Кодекс законів про працю України, галузеві стандарти безпеки технологічних процесів, санітарні норми та правила [57]. Роботодавець зобов'язаний створити на робочих місцях умови праці відповідно до нормативно-правових актів, а також забезпечити дотримання вимог законодавства щодо прав працівників у галузі охорони праці.

Виробнича діяльність у рослинництві характеризується впливом комплексу потенційно шкідливих та небезпечних факторів: механічних (рухомі частини обладнання, транспортні засоби), хімічних (пестициди, добрива), біологічних (мікроорганізми, алергени рослинного походження), фізичних (шум, вібрація, мікроклімат), психофізіологічних (фізичні перевантаження, монотонність праці). Комплексна система управління охороною праці повинна враховувати всі ці чинники та передбачати заходи щодо їх мінімізації.

Підготовка ґрунту під сорго зернове включає комплекс механізованих операцій: оранку, культивацію, боронування, прикочування. Оранка дисковими агрегатами на глибину 6-8 см вимагає дотримання правил безпечної експлуатації тракторів та начіпних знарядь. Перед початком роботи необхідно перевірити технічний стан машинно-тракторного агрегату, справність систем управління, гальм, освітлення та сигналізації. Робоча зона навколо агрегату повинна бути вільною від сторонніх осіб на відстані не менше 10 метрів.

Культивація та боронування потребують особливої уваги до регулювання робочих органів та дотримання швидкісного режиму. Максимально допустима швидкість руху агрегатів під час обробітку ґрунту не повинна перевищувати 12 км/год для забезпечення керованості та запобігання перекиданню техніки на нерівних ділянках. Повороти агрегату здійснюються плавно з попереднім підняттям робочих органів у транспортне положення.

Посів сорго пневматичними сівалками вимагає контролю тиску в пневмосистемі, справності висівних апаратів та транспортних пристроїв. Завантаження насіннєвого бункера здійснюється при повній зупинці агрегату з двигуном, що працює на холостому ходу. Персонал, що виконує завантаження, повинен використовувати респіратори для захисту органів дихання від пилу протруєного насіння та захисні рукавички.

Збирання урожаю зерновими комбайнами є найбільш травмонебезпечною операцією в технологічному циклі. Перед початком роботи проводиться інструктаж операторів комбайнів щодо особливостей збирання високостеблових культур, налаштування жаткової частини та молотильного апарату. Категорично заборонено перебування людей у робочій зоні жатки, вивантаження бункера під час руху комбайна, очищення робочих органів без повної зупинки двигуна та блокування пускових пристроїв.

Обслуговування та ремонт сільськогосподарської техніки здійснюється виключно кваліфікованим персоналом з використанням справного інструменту та підйомних пристроїв. Роботи під піднятими вузлами та агрегатами виконуються лише після надійної фіксації їх у верхньому положенні спеціальними упорами. Категорично заборонено використання саморобних пристроїв для фіксації піднятих частин обладнання.

Технологія вирощування сорго передбачає використання комплексу пестицидів: гербіцидів (Дуал Голд 960 ЕС, Естерон 600 ЕС, Цитадель 25 OD), інсектицидів (Карате Зеон 050 CS, Енжіо 247 SC, Ампліго 150 ZC), фунгіцидів (Тітул Дуо, Гаучо Плюс). Усі препарати належать до хімічних речовин різних

класів небезпеки та вимагають суворого дотримання регламентів застосування і заходів безпеки.

Приготування робочих розчинів здійснюється на спеціальних заправних майданчиках, обладнаних навісами, водопостачанням, каналізацією та засобами для нейтралізації розлитих препаратів. Персонал, що виконує приготування розчинів, забезпечується засобами індивідуального захисту: респіратором з протиаерозольним фільтром, захисними окулярами, гумовим фартухом, рукавичками з ПВХ, гумовими чоботами. Тривалість роботи з концентрованими препаратами не повинна перевищувати 6 годин на добу з обов'язковими перервами кожні 2 години.

Внесення пестицидів штанговими обприскувачами проводиться за швидкості вітру не більше 3-4 м/с для запобігання знесенню препаратів на суміжні ділянки та населені пункти. Обробки виконуються в ранкові або вечірні години за температури повітря не вище +25°C для зниження випаровування робочих розчинів і підвищення ефективності препаратів. Заборонено проведення обробок за температури вище +30°C, під час дощу, туману або очікуванні опадів протягом найближчих 2-3 годин.

Санітарно-захисні зони навколо оброблюваних площ встановлюються залежно від класу небезпеки препаратів: для пестицидів II класу небезпеки – 300 м від населених пунктів, 150 м від водойм; III класу – 200 м та 100 м відповідно. У межах цих зон під час обробок заборонено перебування людей та тварин. Після завершення робіт персонал проходить санітарну обробку зі зміною одягу та миттям відкритих ділянок тіла з милом.

Застосування мінеральних добрив (нітроамофоска, аміачна селітра) та мікроелементних композицій (Альфа-Гроу-Екстра, Інтермаг-Кукурудза) вимагає дотримання специфічних заходів безпеки. Аміачна селітра як окисник належить до вибухонебезпечних речовин за умови контакту з органічними матеріалами або нагрівання. Зберігання цього добрива організовується окремо від пального, мастил, органічних добрив та легкозаймистих матеріалів на відстані не менше 50 метрів.

Завантаження добрив у розкидачі здійснюється механізованим способом з використанням норій, транспортерів або навантажувачів для мінімізації ручної праці та утворення пилу. За необхідності ручного завантаження персонал забезпечується протипиловими респіраторами, захисними окулярами та рукавичками. Тривалість безперервної роботи в умовах підвищеного пилоутворення обмежується 50 хвилинами з наступною 10-хвилинною перервою на свіжому повітрі.

Внесення добрив відцентровими розкидачами проводиться за швидкості вітру не більше 5 м/с для запобігання нерівномірності розподілу та втратам препаратів. Кабіна трактора повинна бути герметизованою з системою фільтрації повітря для захисту оператора від пилу мінеральних добрив. Після завершення робіт техніка проходить обов'язкове миття для видалення залишків добрив з поверхонь і запобігання корозії металевих деталей.

Позакореневе підживлення мікродобривами та регуляторами росту здійснюється аналогічно внесенню пестицидів з використанням тих самих засобів індивідуального захисту та дотриманням санітарно-гігієнічних вимог. Хоча більшість мікродобрив відносяться до III-IV класу небезпеки (малонебезпечні та практично нешкідливі речовини), базові заходи безпеки залишаються обов'язковими для запобігання дермальним та інгаляційним впливам.

Застосування біологічних препаратів (Стимпо, Регоплант) на основі метаболітів мікроорганізмів замість синтетичних стимуляторів росту підвищує екологічну безпечність технології. Ці препарати характеризуються швидкою біодеградацією у навколишньому середовищі без акумуляції токсичних метаболітів у ґрунті або рослинах. Позакореневе внесення мікродобрив забезпечує точкове надходження елементів живлення безпосередньо в метаболічно активні тканини, виключаючи ґрунтову фіксацію та втрати у довкілля.

ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ

1. Оптимальні параметри стояння рослин Брігга перед збиранням (152,8 тисячі рослин на гектар) забезпечувалися комбінацією Інтермаг-Кукурудза 2 л/га з Регоплантом 50 мл/га при виживаності 94,0%. Для Ютамі максимальну густоту 152,6 тисячі на гектар з виживаністю 94,6% гарантувала система Альфа-Гроу-Екстра 2 л/га плюс Регоплант 50 мл/га. Альтернативна комбінація Інтермаг-Кукурудза зі Стимпо 20 мл/га підтримувала густоту 152,4 тисячі рослин при виживаності 94,1%.

2. Брігга характеризувався меншою кількістю зернівок при вищій їх масі, Ютамі демонстрував протилежну тенденцію. Оптимальна для Брігга комбінація Альфа-Гроу-Екстра 2 л/га зі Стимпо 20 мл/га забезпечила формування 1325 зерен на рослину масою 51,3 грами. Для Інтермаг-Кукурудза обидва регулятори виявилися еквівалентними. Ютамі за обробки Альфа-Гроу-Екстра 2 л/га формував максимальну кількість 2179 зернівок на рослину.

3. Встановлено оптимальні технологічні варіанти для максимізації врожайності. Брігга досягав найвищої продуктивності 7,71 т/га за системи Альфа-Гроу-Екстра 2 л/га плюс Стимпо 20 мл/га. Ютамі забезпечував практично ідентичну врожайність 8,89 та 8,88 т/га за застосування Альфа-Гроу-Екстра 2 л/га в комбінації з Регоплантом або Стимпо відповідно, що свідчить про еквівалентність регуляторів для пізньостиглого генотипу.

4. Максимальний прибуток від культивування Брігга 39638 гривень на гектар забезпечувала система Альфа-Гроу-Екстра 2 л/га зі Стимпо 20 мл/га. Ютамі демонстрував вищу абсолютну економічну ефективність: комбінація Альфа-Гроу-Екстра 2 л/га з Регоплантом 50 мл/га давала 48622 гривні на гектар, зі Стимпо 20 мл/га – 48550 гривень.

Пропозиції виробництву

1. Для господарств, орієнтованих на максимізацію валового прибутку та енергетичної ефективності за наявності достатньої тривалості безморозного періоду (понад 120 діб), рекомендується гібрид Ютамі. Для підприємств зон

ризикованого землеробства з обмеженим безморозним періодом або при пріоритеті стабільності урожайності оптимальним є гібрид Брігга з коротшою вегетацією та меншою залежністю від погодних умов заключних фаз розвитку.

2. **Система позакореневого удобрення для гібриду Брігга**: застосування мікродобрива Альфа-Гроу-Екстра в нормі 2 л/га за схемою триразового внесення (фаза п'яти листків, дев'яти листків, викидання волоті) в комбінації з регулятором росту Стимпо 20 мл/га в фазу п'яти листків. Ця система забезпечує врожайність 7,71 т/га, максимальний прибуток 39638 гривень на гектар та найвищий коефіцієнт енергетичної ефективності 2,65. Альтернативним варіантом за обмеженої доступності Альфа-Гроу-Екстра може бути Інтермаг-Кукурудза 2 л/га з Регоплантом 50 мл/га або Стимпо 20 мл/га.

3. **Система позакореневого удобрення для гібриду Ютамі**: рекомендується мікродобриво Альфа-Гроу-Екстра 2 л/га за триразовою схемою внесення в комбінації з регулятором росту Регоплант 50 мл/га або Стимпо 20 мл/га в фазу п'яти листків. Обидва регулятори забезпечують практично ідентичну ефективність з врожайністю 8,88-8,89 т/га, прибутком 48550-48622 гривні на гектар та коефіцієнтом енергетичної ефективності 3,05.

4. **Строки та техніка застосування позакореневих обробок**: перша обробка мікродобривом проводиться у фазу п'яти справжніх листків одночасно з регулятором росту в ранкові або вечірні години за температури повітря 15-25°C та швидкості вітру не більше 3-4 м/с. Друга та третя обробки мікродобривом виконуються у фази дев'яти листків та початку викидання волоті відповідно за аналогічних метеорологічних умов. Норма витрати робочого розчину – 200-300 л/га залежно від розвитку вегетативної маси.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ходаніч, О. Я., Кравченко, В. п. (2019). Адаптованість сортів сорго зернового до умов Лісостепу України. Селекція і насінництво, 111, 36-41.

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

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

4. Красненков С.В. Реакція сорго на зміну температурного режиму // Матеріали республіканської коорд.-метод. Ради з проблем кормових ресурсів і кормовиробництва „Зернофуражні, зернобобові і кормові культури”. – Вінниця, 1997. С. 26 – 27.

5. Kumar, A., Kumar, S., Singh, R. K., & Singh, O. P. (2017). Influence of sowing time and plant population on growth, yield and quality of sorghum. International Journal of Agriculture, Environment and Biotechnology, 10(3). P. 249-254.

6. Reddy, M. S., Ramaiah, M. S., & Ramu, G. (2019). Influence of sowing time and fertilizer management on growth, yield and quality of sorghum. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry, 8(5). P. 120-124.

7. S. Singla and S. R Sharmawho (2018). Effect of sowing depth and spacing on growth, development and yield of grain sorghum [Sorghum bicolour]. Journal of Agricultural Science & Technology, 18(1). P. 83-89

8. Бессонова В.П. Практикум з фізіології рослин. Дніпропетровськ: РВВ ДДАУ, 2006. 316 с.

9. 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.

10. Карпенко О.В. Вирощування сорго зернового в умовах правобережних районів України // Зернові культури: наука і практика: зб. наук. праць. – К., 2016. С. 182-185.

11. 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.

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

13. Харченко, Л. П., Єрошенко, О. М., & Лобода, В. М. (2016). Вплив фізико-хімічних властивостей грунту на урожайність сорго зернового у Лісостепу України. Вісник Дніпропетровського державного аграрно-економічного університету, (4), 68-75.

14. Smith, M., Heng, L. K., & Barlow, K. M. (2014). Crop yield response to deficit irrigation implemented by surface drip and subsurface drip systems. Agricultural Water Management, 134, 29-37.

15. Steiner J.L. Dryland grain sorghum water use, light interception, and growth responses to planting geometry / Agron. J. 1986. T. 78. №4. P. 720-726.

16. Siddique, K. H., Regan, K. L., Tennant, D., & Thomson, B. D. (2001). Water use and water-use efficiency of cool season grain legumes in low rainfall Mediterranean-type environments. European Journal of Agronomy, 15(4), 267-280.

17. Андрусенко І.І. Сорго на зерно як проміжна культура для ланки озимої пшениці // Зрошуване землеробство. К.: Урожай, 1979. Вип.25. 19 с.

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

19. Євтушенко В.І., Петрова І.В. Сорго в Україні: стан вирощування та перспективи розвитку / Аграрна наука та харчові технології, 2017, №1, с. 5-9.

20. Бойко О.В., Ковальова Л.І. Особливості вирощування сорго зернового в умовах України / Науковий журнал «Аграрна наука та харчові технології», 2016, №4, с. 8-12.

21. Євтушенко В.І., Петрова І.В. Сорго в Україні: стан вирощування та перспективи розвитку / Аграрна наука та харчові технології, 2017, №1, с. 5-9.

22. Бойко О.В., Ковальова Л.І. Особливості вирощування сорго зернового в умовах України / Науковий журнал «Аграрна наука та харчові технології», 2016, №4, с. 8-12.

23. Kutman, U. B., Yildiz, B., & Cakmak, I. (2011). Effect of nitrogen on uptake, remobilization and partitioning of zinc and iron throughout the development of durum wheat. Plant and Soil, 342(1-2), 149-164.

24. Jayaraj, D., & Subramanian, P. (2020). Effect of micronutrients on growth and yield of sorghum (Sorghum bicolor L.) under rainfed condition. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, 9(10), 2571-2576.

25. Kutman, U. B., Yildiz, B., & Cakmak, I. (2011). Effect of nitrogen on uptake, remobilization and partitioning of zinc and iron throughout the development of durum wheat. Plant and Soil, 342(1-2), 149-164.

26. Jayaraj, D., & Subramanian, P. (2020). Effect of micronutrients on growth and yield of sorghum (Sorghum bicolor L.) under rainfed condition. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, 9(10), 2571-2576.

27. Vargas, E.F., Manrique, Y.J., Pacheco, D.P., Torres, N.S., Martínez, F., 2007. Desviaciones al modelo logarítmico-lineal en la solubilidad de ibuprofén y naproxén en mezclas cosolventes propilenoglicol-agua. Química Nova 30, 1945–1950.. https://doi.org/10.1590/s0100-40422007000800028

28. Гончаренко В.М., Фурса Т.А. (2010). Вплив різних доз азоту на ріст та розвиток сорго зернового. Зернові культури. №5. С. 32-35.

29. Suresh, K., Srinivas, T. (2019). Influence of irrigation and nutrient management on yield and quality of sorghum. International Journal of Pure and Applied Bioscience, 7(3), 121-128.

30. Калініченко В.В., Кондратенко І.І., Кондратенко Ю.І. (2015). Сорго зернове: ботанічна характеристика, сортові особливості, вирощування та використання. Вісник Харківського національного аграрного університету. № 6. С. 195-203.

31. Wang, C., Zhou, L., Gao, J., Zhang, G., Peng, F., Zhang, C., Zhao, Q., Peng, Q., Shao, M. (2022). Changes in Nutrient Accumulation and Transportation of Waxy Sorghum in Waxy Sorghum-Soybean Intercropping Systems Under Different Row Ratio Configurations. Frontiers in plant science, 13, 921860. https://doi.org/10.3389/fpls.2022.921860.

32. Jones, J.B.; Eck, H.V.; Voss, R. Plant analysis as an aid in fertilizing corn and grain sorghum. In Soil Testing and Plant Analysis, 3rd ed.; Westerman, R.L., Ed.; Soil Science Society of America: Madison, WI, USA, 1990; pp. 521–527.

33. Gupta, P. K., Kumar, A. (2016). Effect of phosphorus and potassium nutrition on growth, yield, and nutrient uptake of sorghum (Sorghum bicolor). Journal of Plant Nutrition, 39(13), 1821-1830.

34. Pandey, A. N., & Rai, M. (2016). Effect of potassium nutrition on growth and yield of sorghum (Sorghum bicolor L. Moench) genotypes. Indian Journal of Plant Physiology, 21(3), 268-275.

35. Каражбей Г.М., Тегун С.В. Продуктивність сорго звичайного двокольорового (Sorghum bicolor L.) залежно від рівня мінерального живлення та густоти стояння. Зб. наук. пр. Ін–ту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН. 2012. № 14. С. 67–70.

36. Pessi V., Vlanen V., Syvalahti J. The effect of ferilisation the grain crop of cereals, primarily on the proteun content / Suomem maatoustic teell seuran juek. 1971. №123. P. 206-216.

37. Sarig S., Kapubinik G., Nur I. Response of non-irrigated Sorghum bicolor of asospirillum inokulations / Expl. Agr. 1984. v. 20. P. 59-66.

38. Каражбей Г.М., Шпак П.І., Козловська М.С., Мельниченко Т.П., Карпич М.К. Формування продуктивності залежно від стабільності та пластичності сортів сорго зернового. Сортовивчення та охорона прав на сорти рослин. 2017. № 2. С. 150-154.

39. Бессонова В.П. Практикум з фізіології рослин. Дніпропетровськ: РВВ ДДАУ, 2006. 316 с.

40. Ковальов, Ю. Ф., Чайка, В. В. (2014). Фізіологія рослин сорго зернового при випуску позакореневих удобрень. Наукові доповіді НУБіП України, 2(54). С. 1-7.

41. Секрети мікродобрив та регуляторів росту рослин. Джерело доступу: https://agrosfera.ua/ua/articles/microdobruva-regulyatoru.

42. Писаренко В. М., Писаренко В.В., Писаренко П. В. Управління агротехнологіями за умов посух. ПДАА. Полтава, 2020. 161 с.

43. Домарацький Є.О. Агроекологічне обґрунтування системного застосування багатофункціональних рістрегулюючих препаратів при вирощуванні польових культур у Південному Степу. Автореф. дис. докт. с.-г. н. Херсонський державний аграрний університет. 2019. 47 с.

44. Іващенко О.О. Бур'яни в агрофітоценозах. К.: Світ, 2001. 234 с.

45. Методика державного випробування сортів сільськогосподарських культур. Вид. 2, вип. 7. Методи визначення показників якості продукції рослинництва. Державна служба з охорони прав на сорти рослин. Український інститут експертизи сортів рослин. К.: Арефа, 2000.

46. Куперман Ф.М. Морфофізіологія рослин. Морфофізіологічний аналіз етапів органогенезу різних життєвих форм покритонасінних рослин. Вища школа, 1984. 240 с.

47. Мойсейченко В.Ф., Єщенко В.О. Основи наукових досліджень в агрономії. Київ: Вища школа, 1994. 334 с.

48. Ничипорович, А. О. (1982) Фізіологія фотосинтезу і продуктивність. С. 7–38.

49. Ермантраут Е. Р., Присяжнюк О. І., Шевченко І. Л. Статистичний аналіз агрономічних дослідних даних в пакеті Statistica – 6: Методичні вказівки. Київ, 2007. 55 с.

50. Методика визначення економічної ефективності використання в сільському господарстві результатів науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт, нової техніки, винаходів і раціоналізаторських пропозицій. [Баланюк И. Ф. , Барило С. И., Басун С. Р. та ін.] К.: Урожай. 1986. С. 32.

51. Медведовський О.К., Іваненко П.І. Енергетичний аналіз інтенсивних технологій в сільськогосподарському виробництві. К.: Урожай, 1988. 205 с.

52. Несміян І.Н. Однорічні кормові культури. К.: Урожай, 1972. 304 с.

53. Гелевера Ольга, Ткаченко Владислав. Розробка елементів технології вирощування сорго зернового в умовах лісостепу України / Інноваційні підходи ведення аграрного виробництва в умовах євроінтеграції. Міжнародна науково-практична інтернет конференція. м. Кам'янець-Подільський, 2025.

54. Каленська С. М., Найденко В. М. Урожайність сорго зернового залежно від ширини міжрядь та системи удобрення. Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків. 2018. №26. С. 67–75. DOI: https://doi.org/10.47414/np.26.2018.211203.

55. Сторожик Л.І., Музика О.В. (2019). Ефективність вирощування сорго цукрового для переробки на біопаливо. Таврійський науковий вісник № 108. С. 100-109. DOI https://doi.org/10.32851/2226-0099.2019.108.14.

56. Тітаренко О. С., Карпук Л. М. Урожайність та енергетична ефективність сорго зернового за різних заходів догляду за посівами. Агробіологія. 2022. № 1. С. 145–151. DOI: 10.33245/2310-9270-2022-171-1-145-151.

57. Закон України «Про охорону праці» / Відомості Верховної Ради України (ВВР), 1992, № 49, ст.668. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12#Text

Додатки

Додаток А

Таблиця 1

Кількість атмосферних опадів у період вегетації у роки проведення польових дослідів, мм (за даними метеостанції Кропивницький)

Рік	Місяць					За період вегетації
	III	IV	V	VI	VII	
Середньо-багаторічне значення	31	35	47	62	61	236
2024	54	52	6	17	3	132
2025	26	18	29	82	20	175

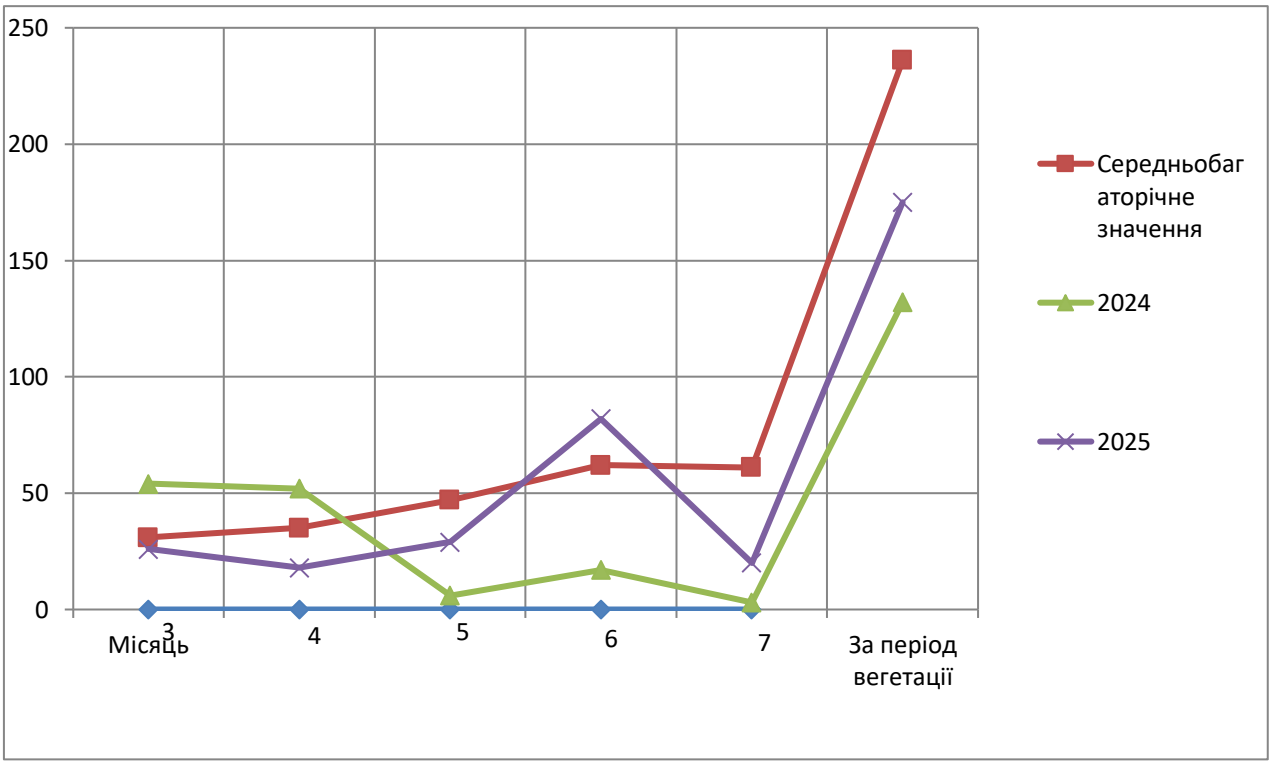

Рис. 1 Кількість атмосферних опадів у період вегетації у роки проведення польових дослідів, мм (за даними метеостанції Кропивницький)

Додаток Б

Таблиця 2

Температура повітря у період вегетації у роки проведення польових дослідів, °С (за даними метеостанції Кропивницький)

Рік	Місяць					Середнє значення за період вегетації
	III	IV	V	VI	VII	
Середньо-багаторічне значення	3,0	10,3	16,1	20,0	22,2	14,32
2024	4,7	14,4	16,2	22,7	26,2	16,84
2025	7,3	11,0	14,6	20,2	24,5	15,52

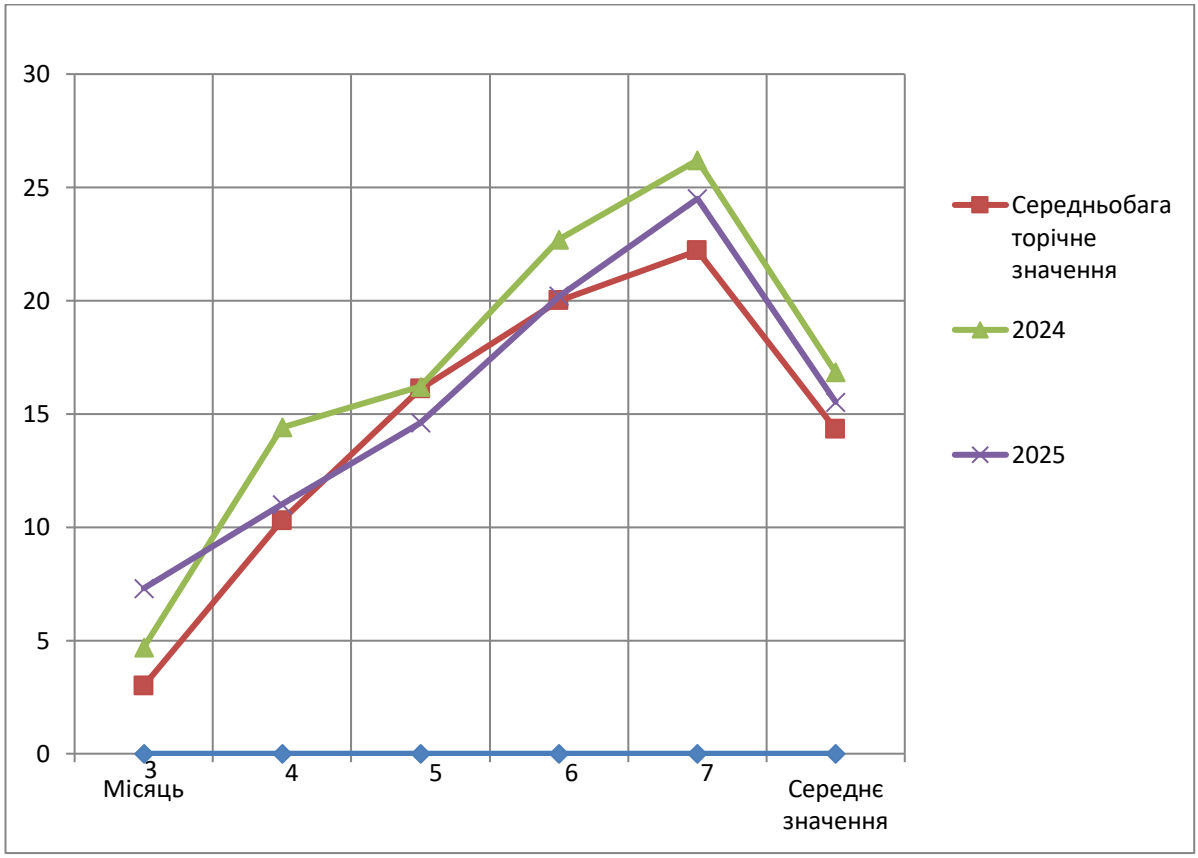

Рис. 1 Температура повітря у період вегетації у роки проведення польових дослідів, °С (за даними метеостанції Кропивницький)

Додаток В

Таблиця 3

Базові витрати на технологію вирощування сорго зернового

Показник		при урожайності 6,65 т/га			при урожайності 7,88 т/га		
		кількість	ціна за одиницю, грн	вартість-всього, грн	кількість	ціна за одиницю, грн	вартість-всього, грн
Виробничі витрати:							
Насіння	кг	6,8	290,0	1983,6	6,8	290,0	1983,6
Міндобрива:	нітроамофоска	N60P60 K60	23,8	8925,0	N60P60K60	23,8	8925,0
	селітра аміачна	N0	26,5	0,0	N60	26,5	4637,5
Засоби захисту рослин:	гербіциди: Дуал Голд 960 + антидот	1,2	675,3	810,4	1,2	675,3	810,4
	Естерон 600 ЕС	0,6	359,0	215,4	0,6	359,0	215,4
	Цитадель 25 OD	1,0	1900,0	1900,0	1,0	1900,0	1900,0
	інсектицид: Карате Зеон 050 CS	0,2	621,0	124,2	0,2	621,0	124,2
	фунгіциди:	0,8	956,0	764,8	0,8	956,0	764,8
Пальне	кг	70,0	65,0	4550,0	83,0	65,0	5395,0
Мастила				278,0			278,0
Ремонт				1456,0			1456,0
Загально-виробничі витрати				1523,0			1523,0
Амортизація				1278,0			1278,0
Заробітна плата:							
механізовані роботи	люд/год	7,8	110,0	858,0	9,2	110,0	1012,0
ручні роботи	люд/год	1,9	95,0	180,5	2,5	95,0	237,5
Орендна плата за землю				5400,0			5400,0
Разом витрат на 1 га	грн			30246,9			35940,4
Собівартість 1 т.	грн			4653,4			4792,0
Витрати на збут 1 т.	грн			413,7			357,9
Повна собівартість 1 т.	грн			5067,1			5149,9

Додаток Г

Таблиця 4

Економічна ефективність вирощування сорго зернового

Гібрид	Мікродобриво	Регулятор росту	Вартість насіння, грн./га	Вартість позакореневого	Засоби захисту рослин, грн./га	Пальне, грн./га	Заробітна плата, грн./га	Інші витрати, грн./га	Всього витрат, грн./га	Вартість продукції, грн.	Собівартість, грн./т	Прибуток, грн./га
Брігга	Без мікродобрив	Без регулятора	1984	0,0	3815	4828	1039	9657	21322	53227	3205	31905
		Регоплант	1984	70,0	3815	4828	1039	9657	21392	53939	3173	32547
		Стимпо	1984	46,0	3815	4828	1039	9657	21368	53846	3175	32478
	Альфа-Гроу-Екстра	Без регулятора	1984	667,2	3815	4828	1039	9657	21989	59037	2980	37048
		Регоплант	1984	737,2	3815	4828	1039	9657	22059	59832	2949	37773
		Стимпо	1984	713,2	3815	4828	1039	9657	22035	61673	2858	39638
	Інтермаг	Без регулятора	1984	875,2	3815	4828	1039	9657	22197	58507	3035	36310
		Регоплант	1984	945,2	3815	4828	1039	9657	22267	59277	3005	37010
		Стимпо	1984	921,2	3815	4828	1039	9657	22243	59206	3006	36963
Ютамі	Без мікродобрив	Без регулятора	1357	0,0	3815	5673	1250	9657	21752	63013	2762	41262
		Регоплант	1357	70,0	3815	5673	1250	9657	21822	63802	2736	41980
		Стимпо	1357	46,0	3815	5673	1250	9657	21798	63663	2739	41865
	Альфа-Гроу-Екстра	Без регулятора	1357	667,2	3815	5673	1250	9657	22419	70174	2556	47755
		Регоплант	1357	737,2	3815	5673	1250	9657	22489	71111	2530	48622
		Стимпо	1357	713,2	3815	5673	1250	9657	22465	71015	2531	48550
	Інтермаг	Без регулятора	1357	875,2	3815	5673	1250	9657	22627	70000	2586	47373
		Регоплант	1357	945,2	3815	5673	1250	9657	22697	70921	2560	48224
		Стимпо	1357	921,2	3815	5673	1250	9657	22673	70772	2563	48099