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

Допускається до захисту
завідувач кафедри рослинництва та
цифрових технологій в агрономії
доцент_____ Панченко Т.В.
«__» _____ 2026 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

ФОРМУВАННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ТА ЯКОСТІ НАСІННЯ СОРГО ЗЕРНОВОГО В ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ

Рівень вищої освіти: другий (освітній рівень)
Кваліфікація: «Магістр з агрономії»
Форма навчання: очна

Виконав: Медяник Данило Олегович _____

Керівник: доцент Правдива Л.А. _____

Біла Церква – 2026

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
БІЛОЦЕРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Агробіотехнологічний факультет
Спеціальність Н1 Агрономія

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

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу здобувачу
Медяника Данила Олеговича

Тема: «Формування продуктивності та якості насіння сорго зернового в Лісостепу України»
Затверджено наказом ректора №496/С від 04.11.2025 р.

Термін здачі студентом готової кваліфікаційної роботи до 17.11.2026 р.

Перелік питань, що розробляються в роботі. Вихідні дані: огляд наукової літератури щодо особливостей сорго зернового та його потреби в основних чинниках росту й розвитку, та впливу біопрепаратів на його продуктивність; ґрунтово-кліматичні та погодні умови проведення досліджень; методика проведення досліджень; аналіз результатів досліджень з вивченню агробіологічних особливостей взаємодії сорго зернового з підземною мікробіотою; економічна та енергетична оцінка результатів досліду.

Календарний план виконання роботи

Етап виконання	**Дата виконання етапу**	**Відмітка про виконання**
Огляд літератури	до 14.09.2026	виконано
Методична частина	до 21.09.2026	виконано
Дослідницька частина	до 25.10.2026	виконано
Оформлення роботи	до 17.11.2026	виконано
Перевірка на плагіат	до 01.11.2026	виконано
Подання на рецензування	до 09.11.2026	виконано
Попередній розгляд на кафедрі	05.11.2026	виконано
Розміщення в репозитарії БНАУ з накладанням КЕП	до 19.11.2026	виконано

Керівник кваліфікаційної роботи _____ доцент Правдива Л.А.

Здобувач _____ Медяник Д.О.

Дата отримання завдання «08» вересня 2025 р.

ДЕКЛАРАЦІЯ
про дотримання академічної доброчесності під час виконання кваліфікаційної роботи

Я, Медяник Данило Олегович здобувач другого рівня вищої освіти за освітньою програмою Н1 Агрономія, підтверджую, що кваліфікаційну роботу з теми:

«Формування продуктивності та якості насіння сорго зернового в Лісостепу України»

виконано мною з дотриманням принципів і правил академічної доброчесності.

Підтверджую, що:

- роботу виконано особисто на основі власних розробок і суджень;
- у роботі належним чином зазначено авторство та джерела використаних текстів, ідей, даних, зображень та інших матеріалів;
- наведені результати дослідження, дані та висновки є достовірними;
- робота не містить свідомо сфабрикованої чи сфальсифікованої інформації.

Під час виконання кваліфікаційної роботи ChatGPT (OpenAI) застосовувався як допоміжний інструмент для мовного та стилістичного вдосконалення тексту, уточнення формулювань, а також створення й графічного оформлення діаграм за наданими результатами досліджень. Усі підготовлені матеріали перевірялися на відповідність фактичним даним і результатам проведених досліджень. Використання штучного інтелекту не передбачало створення вигаданих експериментальних даних або заміни ним наукових результатів, отриманих у ході дослідження.

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

Дата: 19.11.2026

РЕФЕРАТ

Медяник Д.О. **Формування продуктивності та якості насіння сорго зернового в Лісостепу України**

Досліджено теоретичне обґрунтування і узагальнено експериментальні та лабораторні дані щодо розроблення елементів технології вирощування сорго зернового (звичайне двокольорове). В основу технологій закладено вивчення такого чинника як застосування передпосівної обробки насіння сорго зернового (двокольорового) мікоризовмісним препаратом і природним адсорбентом.

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

Визначено вплив елементів технології вирощування сорго зернового на ріст, розвиток та продуктивність рослин. Встановлено найбільш оптимальний варіант вирощування, за рахунок якого підвищувалась продуктивність культури.

Зроблено висновок, що найкращі результати продуктивності сорго та економічна ефективність вирощування спостерігається за оптимального варіанту досліду.

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

Кваліфікаційна робота магістра містить 59 сторінок, 10 таблиць, 2 рисунків, список використаних джерел із 80 найменувань.

Ключові слова: сорго зернове, передпосівна обробка насіння, урожайність, біопаливо, економічна та енергетична ефективність.

ANNOTATION

Medianyk D.O. **Formation of Productivity and Seed Quality of Grain Sorghum in the Forest-Steppe Zone of Ukraine**

This study provides a theoretical rationale and synthesizes experimental and laboratory data regarding the development of cultivation techniques for grain sorghum (*Sorghum bicolor*). The core of the proposed technology involves the pre-sowing treatment of grain sorghum seeds using a mycorrhiza-based preparation combined with a natural adsorbent.

The research employed both theoretical methods (theories, hypotheses) and empirical methods (experiments, scientific studies, observations, measurements, etc.).

The study determined the impact of specific cultivation techniques on the growth, development, and productivity of the plants. The optimal cultivation variant–which resulted in the highest crop productivity–was identified.

It is concluded that the best productivity outcomes for sorghum, as well as the highest economic efficiency, are achieved using the optimal experimental variant.

The findings can be applied in the production practices of agricultural holdings or enterprises located within the Forest-Steppe zone of Ukraine.

This Master's thesis consists of 59 pages, 10 tables, 2 figures, and a bibliography containing 80 references.

Key words: grain sorghum, pre-sowing seed treatment, yield, biofuel, economic and energy efficiency.

ЗМІСТ

Вступ 7

Розділ 1. ОТРИМАННЯ БІОПАЛИВА ІЗ СИРОВИНИ СОРГО ЗЕРНОВОГО (Огляд літератури) 10

1.1. Особливості сорго зернового, морфологічні та біологічні 10

1.2. Особливості використання біочару під час вирощування сорго 15

1.3. Особливості мікоризи у вирощуванні сорго 22

Розділ 2. Ґрунтово-кліматичні умови проведення досліджень 27

2.1. Ґрунтово-кліматичні умови проведення досліджень 27

2.2. Погодні умови в роки проведення досліджень 28

2.3. Мета та завдання, методика проведення досліджень, схема досліду 30

Розділ 3. ВПЛИВ ОБРОБКИ НАСІННЯ СОРГО БІОПРЕПАРАТАМИ НА РІСТ Й РОЗВИТОК РОСЛИН 33

3.1. Особливості формування польової схожості насіння сорго зернового (двокольорового) 34

3.2. Кущіння сорго зернового (двокольорового) залежно від елементів технології вирощування 35

3.3. Біометричні показники рослин сорго залежно від біопрепаратів Мікофрендмі БМ-нанобіочар 36

Розділ 4. ПРОДУКТИВНІСТЬ ТА ЯКІСТЬ СОРГО ЗАЛЕЖНО ВІД ЗАСТОСУВАННЯ МІКОФРЕНДУ та БМ-НАНОБІОЧАР 41

4.1. Врожайність біомаси сорго зернового 41

4.2. Урожайність зерна сорго 42

4.3. Економічна та енергетична оцінка вирощування сорго залежно від досліджуваних чинників 43

Висновки 48

Рекомендації виробництву 50

Список використаних джерел 51

ВСТУП

Україна має обмежені власні запаси викопних енергетичних ресурсів, тому значною мірою залежить від імпорту енергоносіїв, на закупівлю яких щороку спрямовуються значні фінансові кошти – від 10 до 15 млрд дол. США. За таких умов розвиток відновлюваної енергетики є важливим чинником зміцнення енергетичної незалежності держави, підвищення її економічної стійкості та посилення національної безпеки. Водночас потенціал нетрадиційних і відновлюваних джерел енергії в Україні використовується недостатньо: за наведеними даними, у 2025 році їхня частка становила близько 10 %, що є нижчим показником порівняно з низкою європейських країн. Серед напрямів відновлюваної енергетики в Україні помітного розвитку набуло виробництво та використання біопалива, яке розглядається як один із перспективних шляхів диверсифікації енергопостачання й раціонального використання біологічних ресурсів.

Актуальність. Подальше становлення та розвиток біоенергетичної галузі потребують створення надійної сировинної бази, основу якої становить біомаса рослинного походження. Одним із перспективних напрямів забезпечення виробництва біопалива сировиною є вирощування спеціалізованих біоенергетичних культур, здатних формувати значну кількість біомаси. До таких культур належить сорго зернове (двокольорове) (Sorghum bicolor), яке вирізняється цінними біологічними властивостями та високим господарським потенціалом. Зміни кліматичних умов, що спостерігаються в останні роки, впливають на функціонування агрофітоценозів, перебіг ростових і фізіологічних процесів рослин, а також на реалізацію їхнього продуктивного потенціалу. Важливе значення у формуванні продуктивності сорго має передпосівна підготовка насіння, оскільки вона впливає на початкові етапи проростання й органогенезу, подальший розвиток рослин і формування врожаю. У зв’язку з цим удосконалення технології вирощування сорго зернового (двокольорового) для отримання біомаси як сировини для виробництва біопалива в ґрунтово-

кліматичних умовах Правобережного Лісостепу України є актуальним напрямом наукових досліджень.

Метою дослідження є підвищення продуктивності сорго зернового (двокольорового) як сировини для виробництва біопалива залежно від обробки насіння біопрепаратами в умовах Правобережного Лісостепу України.

Для досягнення поставленої мети передбачалося вирішити **такі завдання**:

- оцінити вплив передпосівної обробки насіння сорго зернового (двокольорового) мікоризовмісним препаратом і природним адсорбентом на формування його посівних властивостей;
- дослідити особливості формування біометричних параметрів, росту, розвитку та продуктивності рослин залежно від застосування різних норм мікоризовмісного препарату й природного адсорбенту;
- встановити вплив досліджуваних елементів технології вирощування на якісні характеристики зерна та листково-стеблової маси сорго, а також визначити потенційний вихід біопалива й енергії;
- провести комплексну економічну та енергетичну оцінку ефективності застосування мікоризовмісного препарату Мікофренд і природного адсорбенту БМ-нанобіочар під час вирощування сорго зернового (двокольорового) для енергетичного використання.

Об’єкт дослідження. Процеси росту, розвитку та формування продуктивності рослин сорго зернового (двокольорового) за використання різних елементів технології вирощування, зокрема мікоризовмісного препарату Мікофренд і природного адсорбенту БМ-нанобіочар, за вирощування культури як сировини для виробництва біопалива.

Предмет дослідження. Біометричні особливості росту й розвитку рослин сорго зернового (двокольорового), закономірності формування їх продуктивності, якісні показники зерна та листково-стеблової біомаси, вихід біопалива й енергії, а також економічна та енергетична ефективність досліджуваних елементів технології вирощування.

Наукова новизна. Встановлено особливості формування продуктивності

сорго зернового (двокольорового) залежно від застосування різних норм мікоризовмісного препарату Мікофренд і БМ-нанобіочару за передпосівної обробки насіння в умовах Правобережного Лісостепу України.

Практичне значення. Обґрунтовано ефективні норми застосування Мікофренду та БМ-нанобіочару для передпосівної обробки насіння сорго, використання яких сприяє підвищенню польової схожості, продуктивності рослин і якості культури.

РОЗДІЛ 1
ОТРИМАННЯ БІОПАЛИВА ІЗ СИРОВИНИ СОРГО ЗЕРНОВОГО

(огляд літератури)

1.1. Особливості сорго зернового, морфологічні та біологічні

Сорго зернове (Sorghum bicolor (L.) Moench) належить до родини тонконогових (Poaceae) та характеризується високою теплолюбністю і значною посухостійкістю. В умовах сучасних кліматичних змін, які супроводжуються нерівномірним розподілом опадів і дефіцитом вологи впродовж літнього періоду, особливого значення набуває пошук сільськогосподарських культур, здатних забезпечувати стабільне формування врожаю за обмеженого водозабезпечення. У зв'язку з цим сорго розглядають як перспективну альтернативу традиційним зерновим і технічним культурам, а також як цінне джерело рослинної сировини для потреб біоенергетики [1-3].

Високий потенціал продуктивності сорго навіть за несприятливих умов навколишнього середовища зумовлений комплексом його біологічних і фізіологічних властивостей. Важливу роль у цьому відіграють C_4-тип фотосинтезу, потужна коренева система та особливості анатомічної будови листків, які сприяють ефективному використанню вологи й обмеженню її надмірних втрат [4-6]. З огляду на це, вивчення морфологічних ознак і біологічних особливостей сорго має важливе наукове та практичне значення, оскільки створює передумови для вдосконалення технологій його вирощування відповідно до ґрунтово-кліматичних умов України [7, 8].

Сорго зернове є однорічною трав'янистою рослиною, повний цикл розвитку якої завершується протягом одного вегетаційного періоду. Його тривалість визначається генетичними особливостями сорту або гібрида, температурним режимом, рівнем зволоження та іншими чинниками середовища. За наведеними в літературі даними, у зоні Лісостепу України вегетаційний період сорго в середньому становить 110–125 діб, тоді як у Степу він може скорочуватися приблизно до 100 діб [9-11]. Культура характеризується

підвищеними вимогами до тепла: проростання насіння розпочинається за температури ґрунту близько +10 °С, а найбільш сприятливі умови для росту й розвитку рослин формуються за температури +25…+30 °С [12, 13].

Посухостійкість сорго зумовлена не лише здатністю кореневої системи проникати в глибокі шари ґрунту, а й наявністю фізіологічних механізмів регуляції водного обміну. За недостатнього зволоження рослини здатні знижувати інтенсивність транспірації, пристосовуватися до тимчасового дефіциту вологи та відновлювати водний баланс після короткочасного в’янення [14, 15]. Крім того, сорго характеризується достатньою здатністю засвоювати елементи мінерального живлення за різних ґрунтових умов, що розширює можливості його вирощування на ґрунтах із порівняно невисоким рівнем родючості [16, 17]. Сукупність цих властивостей забезпечує адаптивність культури до посушливих регіонів, зокрема південних областей України, де дефіцит опадів у період вегетації є одним із чинників, що обмежують продуктивність сільськогосподарських рослин [18].

Коренева система сорго стрижневого типу, добре розгалужена та характеризується значною глибиною проникнення, яка за сприятливих умов може перевищувати 1,5 м. Завдяки цьому рослини використовують запаси ґрунтової вологи, недоступні для культур із менш розвиненою кореневою системою [19, 20]. Важливим елементом її будови є також додаткові вузлові корені, які сприяють міцному закріпленню рослин у ґрунті та підвищують стійкість стеблостою до вилягання. Отже, особливості формування й розвитку кореневої системи є однією з ключових передумов високої адаптивності сорго до посушливих умов вирощування [21, 22].

Стебло сорго прямостояче, циліндричне та достатньо міцне. Залежно від сортових особливостей і напряму господарського використання воно може відрізнятися за ступенем соковитості, товщиною та висотою. У зернових форм висота рослин зазвичай становить близько 1 м, тоді як окремі високорослі енергетичні форми можуть досягати 4–5 м [23, 24]. За результатами досліджень, проведених в умовах Правобережного Лісостепу України, рослини сорту

«Дніпровський 39» за густоти стояння 200 тис. рослин/га та ширини міжрядь 45 см формували стебла заввишки понад 130 см із діаметром близько 1,7 см [25, 26]. У високорослих форм значну частку загальної біомаси становить стеблова фракція, яка може містити істотну кількість розчинних цукрів. Ця особливість підвищує цінність таких форм як сировини для виробництва біоетанолу та інших видів біоенергетичної продукції [27-29].

Листки сорго розміщуються на стеблі почергово, мають лінійно-ланцетну форму та можуть характеризуватися наявністю воскового нальоту на поверхні. Він сприяє зменшенню втрат води й підвищує пристосованість рослин до посушливого середовища. Залежно від генотипу та умов вирощування на одній рослині формується приблизно 8–15 листків, а площа листкової поверхні може становити 1,5–2,3 тис. см². Завдяки особливостям фотосинтетичного апарату та ефективному використанню сонячної енергії сорго здатне інтенсивно накопичувати суху речовину, зберігаючи відносно високу продуктивність навіть за недостатнього зволоження [30, 31].

Суцвіття сорго представлене волоттю, морфологічні характеристики якої, зокрема щільність і ступінь розгалуження, залежать від сортових особливостей. Квітки зібрані в колоски, розміщені попарно, причому один із них є сидячим, а інший – розташованим на ніжці. Плід сорго – зернівка, забарвлення якої залежно від генотипу змінюється від світло-жовтого до темно-червоного. Маса 1000 зернин зазвичай перебуває в межах 20–35 г [32, 33]. Зерно культури містить до 70 % крохмалю, тоді як у стеблах накопичуються цукри та інші вуглеводні сполуки. Такий хімічний склад визначає можливість комплексного використання рослинної сировини для одержання біоетанолу та інших продуктів біоенергетичного призначення [34-36].

Онтогенез сорго охоплює послідовні фази проростання насіння, появи сходів, кущіння, викидання волоті, цвітіння, формування й наливу зерна та достигання. Проходження цих фаз залежить від генотипу, температурних умов, забезпеченості вологою та рівня мінерального живлення. Найбільш критичними щодо водозабезпечення є періоди викидання волоті й цвітіння, коли дефіцит

вологи може негативно позначатися на процесах запилення, формуванні зернівок і подальшому накопиченні ними сухої речовини [37, 38]. Несприятливі умови в зазначені фази здатні спричиняти зменшення кількості сформованих зерен і зниження їхньої індивідуальної маси, що зрештою призводить до втрат урожайності.

Формування оптимальної густоти стояння рослин є важливою складовою технології вирощування сорго, оскільки цей показник безпосередньо залежить від напряму використання культури та визначає особливості формування її продуктивності. Для зернових посівів рекомендована густота, відповідно до наведених у літературі даних, становить 150–200 тис. рослин/га, тоді як для енергетичних форм може перебувати в межах 80–120 тис. рослин/га [39, 40]. Зменшення густоти посіву створює сприятливіші умови для індивідуального розвитку рослин, зокрема формування товстіших стебел і збільшення їхньої соковитості. Такі характеристики є бажаними під час вирощування сорго для одержання біомаси з подальшим використанням у біоенергетичних технологіях [41, 42].

Перспективним напрямом удосконалення технології вирощування сорго є використання біологічних препаратів, здатних позитивно впливати на фізіологічний стан рослин і перебіг основних ростових процесів. За даними вітчизняних дослідників, застосування таких засобів може сприяти зміні площі листкової поверхні, підвищенню фотосинтетичного потенціалу та ефективності накопичення органічної речовини [43-45]. Особливого значення цей напрям набуває за умов обмеженого водозабезпечення, коли підвищення адаптивності рослин і ефективності використання ресурсів може сприяти стабілізації їхньої продуктивності. Водночас результативність застосування біопрепаратів залежить від їхнього складу, способу використання, особливостей сорту та конкретних ґрунтово-кліматичних умов.

В Україні сорго зернове дедалі частіше розглядають як перспективне джерело відновлюваної сировини для виробництва біопалива. Зацікавленість цією культурою зумовлена її здатністю формувати значну кількість рослинної

маси, відносно стабільною продуктивністю за посушливих умов і наявністю вегетативних органів, придатних для енергетичного використання [4, 140, 136]. За результатами польових досліджень, проведених у південних регіонах України, потенційний енергетичний вихід із посівів сорго може перевищувати 100 ГДж/га, що свідчить про його конкурентоспроможність порівняно з іншими біоенергетичними культурами, зокрема енергетичною кукурудзою [46-48].

Додатковою перевагою окремих форм сорго є здатність відновлювати вегетативний ріст після скошування та формувати повторний урожай зеленої маси за сприятливих умов. Така властивість розширює можливості використання культури у виробництві біомаси та створює передумови для її включення до короткоротаційних енергетичних сівозмін. Водночас ефективність повторного використання посівів залежить від біологічних особливостей сорту, строків скошування, тривалості вегетаційного періоду й забезпеченості рослин вологою. Поєднання високої біомасової продуктивності, посухостійкості та здатності до відростання робить сорго перспективною культурою для розвитку біоенергетичного виробництва в Україні [49].

Технологія вирощування сорго зернового для енергетичних потреб передбачає забезпечення оптимальної густоти посіву на рівні 160–180 тис. рослин/га за ширини міжрядь 45 см [50]. Дотримання таких параметрів сприяє формуванню значного обсягу біомаси та водночас зменшує ймовірність вилягання рослин. Відтермінування сівби може негативно позначатися на накопиченні цукрів і знижувати загальну енергетичну продуктивність культури. Тому одним із важливих агротехнічних заходів є своєчасне проведення сівби після прогрівання ґрунту до температури 14–16 °C.

Під час оцінювання придатності сорго до виробництва біопалива особливу увагу приділяють співвідношенню сирої та сухої маси рослин. Найбільший вихід сухої речовини, що перевищував 22 %, відзначено у фазі воскової стиглості зерна. Це обґрунтовує доцільність збирання культури саме на цьому етапі розвитку, оскільки він забезпечує сприятливе поєднання вологості рослинної сировини та вмісту цукрів [51].

Вагомим напрямом використання сорго є виробництво біогазу. Згідно з наведеними даними, з однієї тонни сирої біомаси цієї культури можна отримати до 80 м³ біогазу. За врожайності зеленої маси на рівні 60 т/га потенційний вихід біогазу може перевищувати 4800 м³/га. За цим показником сорго належить до перспективних біоенергетичних культур і може конкурувати з такими видами сировини, як енергетична кукурудза та цукрові буряки [52-54].

Вирощування сорго має не лише виробниче, а й екологічне значення. Розгалужена коренева система рослин сприяє поліпшенню структурного стану ґрунту, підвищенню його здатності утримувати вологу та зменшенню небезпеки розвитку ерозійних процесів [55]. Водночас залучення соргової біомаси до виробництва біопалива створює передумови для скорочення використання традиційних викопних енергоресурсів і потенційного зменшення викидів парникових газів [56].

З економічної позиції сорго розглядають як перспективну культуру для біоенергетичного виробництва завдяки потенційно високій рентабельності вирощування. За результатами регіональних досліджень, проведених у Херсонській та Миколаївській областях, рентабельність виробництва сорго для енергетичних потреб перевищувала 60 %. Такий рівень економічної ефективності дослідники пов’язують, зокрема, з відносно невисокими витратами на насіннєвий матеріал, обробіток ґрунту та зрошення [57].

1.2. Особливості використання біочару під час вирощування сорго

Біочар (biochar) являє собою тверду вуглецевмісну речовину, яку одержують у процесі термічного розкладання біомаси за обмеженого доступу кисню або за його повної відсутності. Такий спосіб перероблення, відомий як піроліз, дає змогу запобігти звичайному горінню органічної сировини та сприяє утворенню стабільної вуглецевої структури. Хімічний склад і властивості кінцевого продукту визначаються температурним режимом, тривалістю термічної обробки та характеристиками вихідної сировини. За високотемпературного піролізу, зокрема за температури близько 800 °C,

частка вуглецю в матеріалі може досягати 93–99 %. Натомість біовугілля (biocoal), отримане за нижчої температури термічної обробки, орієнтовно 300 °C, характеризується нижчим ступенем карбонізації, а вміст вуглецю в ньому, за наведеними даними, не перевищує 65 % [58].

Властивості біочару визначаються сукупністю чинників, серед яких особливе значення мають походження вихідної біомаси, технологія її термічного перетворення та параметри виробничого процесу. Фізико-хімічні характеристики цього матеріалу залежать від співвідношення вуглецевої складової та мінерального залишку, а також від особливостей його внутрішньої будови. Для комплексної оцінки біочару враховують елементний склад, зокрема вміст вуглецю, водню, азоту, сірки й кисню, а також параметри поверхні: її питому площу, розподіл пор за розмірами та хімічні властивості. Саме поєднання цих характеристик значною мірою визначає потенціал використання біочару в сільському господарстві, екологічних технологіях і виробництві енергії.

Внесення біочару до ґрунту розглядають як один із перспективних способів поліпшення його фізичних, хімічних і біологічних властивостей. Залежно від характеристик матеріалу та ґрунтових умов він може сприяти підвищенню родючості, створенню сприятливіших умов для проростання насіння, активізації ростових процесів і поліпшенню водного режиму. Завдяки сорбційним властивостям біочар також здатний зв’язувати окремі токсичні сполуки та забруднювачі, зменшуючи їхню рухливість у ґрунтовому середовищі. Крім агрономічного застосування, цей матеріал становить інтерес як потенційний засіб тривалого утримання вуглецю та як компонент окремих енергетичних технологій [59].

Серед найважливіших властивостей біочару дослідники виокремлюють його здатність впливати на водоутримувальні характеристики ґрунту, переміщення поживних елементів і формування сприятливого середовища для розвитку рослин [60]. Пориста структура матеріалу забезпечує утримання води та сприяє сорбції певних хімічних сполук. Залежно від виду біочару, його

дози й властивостей ґрунту внесення може змінювати реакцію ґрунтового розчину, впливати на доступність елементів живлення та сприяти зменшенню втрат нітратів із ґрунтової системи. Крім того, біочар здатний змінювати агрегатний склад ґрунту, його пористість і характеристики поверхні твердої фази. Взаємодія біочару з компостом та іншими органічними матеріалами може підвищувати ефективність використання поживних речовин і створювати передумови для збільшення врожайності сільськогосподарських культур. Водночас спрямованість і вираженість цих ефектів залежать від властивостей конкретного матеріалу та умов його застосування.

Важливим аспектом використання біочару є його взаємодія з ґрунтовими мікроорганізмами. За результатами низки досліджень, внесення цього матеріалу може супроводжуватися збільшенням мікробної біомаси, змінами видового та функціонального складу мікробних угруповань, а також регулюванням активності ґрунтових ферментів. Такі зміни мають значення для перебігу біогеохімічних процесів, трансформації поживних елементів, функціонування ґрунтової екосистеми та взаємодії рослин із патогенними й корисними мікроорганізмами. Проте механізми впливу біочару на чисельність, структуру та метаболічну активність мікробних угруповань залишаються недостатньо вивченими. Ще менше відомостей накопичено щодо його взаємодії з ґрунтовими безхребетними, хоча окремі дослідження присвячені реакції дощових черв’яків на внесення цього матеріалу [61].

Вплив біочару на ґрунтову біоту формується внаслідок взаємодії декількох чинників. До них належать сорбційні характеристики матеріалу, кислотність, мінеральний склад, площа поверхні та особливості порового простору. Ці властивості можуть змінювати доступність води й поживних речовин, створювати додаткові мікросередовища для мікроорганізмів і впливати на переміщення хімічних сполук у ґрунті. Пориста структура біочару також може забезпечувати утримання окремих ресурсів у безпосередній близькості один до одного, сприяючи їх ефективнішому використанню ґрунтовими організмами. Іншим можливим механізмом є

адсорбція речовин, які за певних концентрацій пригнічують ріст і життєдіяльність мікроорганізмів.

Водночас реакція ґрунтової біоти на внесення біочару не завжди є однозначною. У короткостроковій перспективі свіжоотриманий матеріал може вивільняти органічні сполуки, які залежно від хімічного складу здатні як стимулювати, так і пригнічувати активність окремих груп організмів. Прямі негативні ефекти щодо кореневої системи рослин не можна вважати універсально встановленими, оскільки реакція залежить від властивостей біочару та умов його використання. Зменшення чисельності мікоризних грибів, зафіксоване в окремих дослідженнях, може бути пов’язане з підвищенням доступності мінеральних елементів живлення, унаслідок чого потреба рослин у симбіотичному забезпеченні певними ресурсами знижується. Однак таке пояснення потребує перевірки для різних ґрунтових умов і типів біочару. Тому подальші дослідження мають передбачати систематичне порівняння матеріалів різного походження та проведення контрольованих експериментів, які дозволять встановити механізми їхньої взаємодії з ґрунтовими мікроорганізмами, безхребетними й кореневими системами рослин [62].

Підвищення продуктивності сільськогосподарських культур є одним із найчастіше досліджуваних результатів застосування біочару. Проте величина ефекту суттєво варіює залежно від властивостей ґрунту, походження та характеристик матеріалу, норми його внесення, вирощуваної культури й умов проведення експерименту. Для узагальнення результатів окремих досліджень було проведено статистичний метааналіз, у якому оцінювали вплив біочару на врожайність і формування надземної біомаси рослин. Отримані результати засвідчили загальну позитивну тенденцію: у середньому внесення біочару забезпечувало підвищення продуктивності культур приблизно на 10 %, причому виявлений ефект був статистично значущим. Водночас результати окремих груп досліджень істотно відрізнялися й охоплювали діапазон від зниження продуктивності на 28 % до її збільшення на 39 % [63].

Результативність застосування біочару значною мірою залежала від властивостей ґрунту. Найвиразніші позитивні зміни врожайності в межах відповідних порівнянь спостерігали на ґрунтах із кислою та нейтральною реакцією, де приріст становив відповідно близько 14 і 13 %. За гранулометричним складом позитивний ефект також відзначали на ґрунтах із грубішою та середньою текстурою – приблизно 10 і 13 % відповідно [64]. Це дає підстави припускати, що одним із механізмів підвищення продуктивності є коригування кислотності ґрунту, зокрема внаслідок вапнувального ефекту окремих видів біочару. Іншим важливим чинником може бути поліпшення водоутримувальної здатності та доступності елементів мінерального живлення. Проте внесок кожного механізму залежить від конкретних умов і не може бути однаковим для всіх ґрунтів та культур.

Узагальнені результати метааналізу також засвідчили залежність ефективності біочару від норми внесення та виду вихідної сировини. Найбільше позитивне відхилення в окремих порівняннях, яке сягало 39 %, було зафіксовано за норми внесення 100 т/га. Серед досліджених видів сировини найвиразніший позитивний ефект пов’язували з біочаром, виготовленим із пташиного посліду, – близько 28 %. Натомість матеріал із твердої рослинної біомаси в окремій групі досліджень продемонстрував статистично значуще зниження продуктивності на 28 % [65]. Ці результати підкреслюють, що ефективність біочару визначається не лише фактом його внесення, а й фізико-хімічними характеристиками, походженням і дозою застосування.

Водночас наявні результати потребують обережного тлумачення. Неповнота інформації про супутні змінні, неоднорідність ґрунтово-кліматичних умов і відмінності в технологіях вирощування обмежують можливості перенесення отриманих висновків на всі агроекосистеми. Крім того, значна частина експериментальних даних стосується короткострокового періоду спостережень, переважно протягом одного-двох років. Це ускладнює оцінювання довготривалого впливу біочару на родючість ґрунту, стабільність

урожайності, функціонування ґрунтової біоти та накопичення вуглецю. З огляду на це, подальші наукові дослідження мають бути спрямовані на встановлення механізмів взаємодії біочару з різними типами ґрунтів, оцінювання впливу агротехнологічних прийомів і погодних чинників, а також визначення наслідків його систематичного використання в багаторічній перспективі [66].

Окремим перспективним напрямом сучасних досліджень є використання нанобіочару (NBC) – матеріалу на основі біочару, частинки якого мають нанорозмірні характеристики. Його отримують із біомаси за допомогою термічних методів, зокрема піролізу, а потім піддають додатковому подрібненню або модифікуванню для формування частинок малого розміру. Порівняно зі звичайним біочаром нанорозмірні форми можуть характеризуватися більшою питомою площею поверхні, особливостями порової структури та підвищеною реакційною здатністю поверхневих ділянок. Відмінності за цими параметрами залежать від способу одержання, складу вихідної сировини й методів подальшої обробки [67].

Завдяки розвиненій поверхні та особливостям пористої структури нанобіочар становить інтерес як сорбційний матеріал для вилучення з води й ґрунтових розчинів нітратів, важких металів та органічних забруднювачів. У літературі наведено дані про отримання частинок розміром приблизно від 13–17 до 69 нм, хоча фактичні значення залежать від технології синтезу й методики вимірювання [68]. Додаткове модифікування нанобіочару дає змогу змінювати його функціональні властивості, зокрема створювати матеріали з поліпшеною електропровідністю або магнітними характеристиками. Такі розробки розширюють можливості використання біочару не лише в агрономії, а й у природоохоронних і біотехнологічних системах.

У сільському господарстві нанобіочар досліджують як потенційний засіб поліпшення фізичного стану ґрунту й ефективності використання ресурсів рослинами. Його внесення за відповідних умов може сприяти зміцненню ґрунтових агрегатів, регулюванню водного режиму та утриманню

елементів живлення в зоні кореневого поглинання. Особливий інтерес становить можливість застосування нанобіочару як носія поживних речовин, що забезпечує їх поступове вивільнення та потенційно знижує втрати внаслідок вимивання [69]. Однак ефективність таких технологій залежить від властивостей наноматеріалу, його концентрації, способу внесення та характеристик ґрунтового середовища.

Ще одним напрямом досліджень є вплив нанобіочару на біологічну активність ґрунту. За даними окремих наукових праць, його застосування може супроводжуватися змінами вмісту вуглецю мікробної біомаси та активності ферментів, зокрема дегідрогенази й каталази. Ці показники використовують для оцінювання інтенсивності мікробіологічних процесів і функціонального стану ґрунтової системи, що особливо важливо під час відновлення деградованих земель [70]. Крім того, у дослідженнях розглядають можливість використання нанобіочару для підвищення продуктивності таких культур, як ріпак і рис, а також для вдосконалення систем удобрення.

Екологічний потенціал нанобіочару пов’язаний і з можливістю зменшення втрат поживних речовин та скорочення викидів окремих парникових газів. Зокрема, у науковій літературі досліджують його вплив на емісії закису азоту (N_2O) і втрати аміаку (NH_3) з удобрених ґрунтів. За належного підбору матеріалу та технології його застосування такі ефекти можуть сприяти підвищенню ефективності використання азотних добрив і зменшенню екологічного навантаження на агроекосистеми. Додаткове значення має потенційна здатність біочару сприяти довготривалому утриманню вуглецю в ґрунті, що розглядається як один із можливих напрямів пом’якшення наслідків кліматичних змін [71]. Водночас застосування нанобіочару потребує подальшого вивчення, зокрема щодо його довготривалої поведінки в ґрунті, впливу на нецільові організми та безпечності для навколишнього середовища.

1.3. Особливості мікоризи у вирощуванні сорго

Сучасне сільськогосподарське виробництво функціонує в умовах необхідності поєднання високої продуктивності культур із дотриманням принципів екологічної безпеки та раціонального використання природних ресурсів. Традиційні системи інтенсивного землеробства значною мірою орієнтовані на максимізацію врожайності, однак надмірна залежність від мінеральних добрив і хімічних засобів захисту рослин може супроводжуватися негативними екологічними наслідками. Зокрема, інтенсивне використання агрохімікатів за недотримання науково обґрунтованих норм і технологій здатне спричиняти порушення ґрунтових процесів, забруднення підземних вод, погіршення якості сільськогосподарської продукції та негативно впливати на стан довкілля й добробут населення. За таких обставин особливої актуальності набуває біологізація землеробства, яка передбачає ширше використання природних механізмів регулювання агроекосистем і біологічних засобів підвищення продуктивності рослин.

Застосування біологічних підходів у землеробстві має тривалу історію. Ще в попередні століття дослідники та практики сільського господарства розробляли прийоми, спрямовані на збереження родючості ґрунту й зменшення негативного впливу виробничої діяльності на навколишнє середовище. До таких заходів належали скорочення інтенсивності механічного обробітку ґрунту, використання сидеральних культур і органічних добрив, а також застосування механічних і біологічних методів контролювання бур’янів, шкідників та збудників хвороб. На сучасному етапі одним із пріоритетних напрямів біологізації агровиробництва є пошук і відбір мікроорганізмів, здатних позитивно впливати на ріст, розвиток і продуктивність різних сільськогосподарських культур. Особливу увагу приділяють штамам із вираженими властивостями стимулювання ростових процесів, поліпшення мінерального живлення та підвищення адаптаційного потенціалу рослин [72].

Важливе місце серед біологічних засобів у рослинництві посідають корисні бактерії та гриби, які використовують для створення мікробних препаратів різного функціонального призначення. До досліджуваних і застосовуваних у сільському господарстві мікроорганізмів належать представники родів Azotobacter, Lactobacillus, Bradyrhizobium, Bacillus, Rhizobium, Pseudomonas та інших таксономічних груп. В агротехнологіях також використовують мікоризоутворюючі гриби, зокрема представників роду Glomus, а в окремих системах вирощування – інші корисні грибні організми, здатні взаємодіяти з коренями рослин або впливати на стан ґрунтового середовища. Водночас придатність конкретного штаму до практичного застосування визначається його біологічними властивостями, ефективністю, безпечністю та відповідністю встановленим вимогам [73].

На основі відібраних мікроорганізмів розробляють біологічні препарати, які використовують для оброблення насіння, інокуляції кореневої зони, прискорення розкладання органічних решток і поліпшення забезпечення рослин елементами живлення. Ефективність таких засобів значною мірою пов’язана зі здатністю мікроорганізмів колонізувати ризосферу, взаємодіяти з кореневою системою та змінювати біологічні процеси в прикореневому середовищі. У результаті може поліпшуватися доступність води й поживних речовин, активізуватися формування коренів і підвищуватися стійкість рослин до окремих ґрунтових патогенів. Одним із препаратів, створених для стимулювання розвитку мікоризної системи рослин, є Мікофренд [74].

Мікофренд позиціонується як мікоризоутворюючий біопрепарат, призначений для активізації взаємодії кореневої системи рослин із корисними ґрунтовими мікроорганізмами. Згідно з наведеними в літературі відомостями, до його складу входять мікоризоутворюючі гриби, зокрема Glomus VS, та грибні компоненти, пов’язані з видом Trichoderma harzianum [75]. Також у складі препарату зазначають мікроорганізми, які беруть участь у формуванні ризосферного угруповання, зокрема представників родів Streptomyces, Pseudomonas і фосфатмобілізуючих бактерій. Серед останніх називають

Bacillus megaterium var. phosphaticum, Bacillus subtilis, Bacillus mucilaginosus та представників роду Enterobacter. Крім мікроорганізмів, у його складі можуть бути присутні біологічно активні сполуки, зокрема амінокислоти, вітаміни, фітогормони та речовини з потенційною антагоністичною дією щодо окремих фітопатогенів.

Механізм дії Мікофренду пов'язують із формуванням сприятливого мікробіологічного середовища в зоні контакту коренів із ґрунтом. За належних умов застосування компоненти препарату можуть сприяти колонізації кореневої поверхні корисними мікроорганізмами, активізації росту коренів і розширенню зони поглинання води та мінеральних елементів. Важливу роль у цьому процесі відіграє утворення мікоризних асоціацій, завдяки яким рослина отримує доступ до додаткових об'ємів ґрунту через розгалужену мережу грибних гіф. Окремі мікроорганізми можуть також продукувати метаболіти, які впливають на розвиток рослин і взаємодію між компонентами ризосферного угруповання. Крім того, за певних умов корисні мікроорганізми здатні обмежувати розвиток окремих збудників кореневих захворювань [76].

Мікоризні взаємодії мають значення для росту й розвитку багатьох видів сільськогосподарських і плодових рослин. Утворення симбіотичних асоціацій між коренями та грибами може сприяти поліпшенню приживлюваності саджанців після пересаджування, активнішому формуванню кореневої системи та ефективнішому використанню ресурсів ґрунту. У разі успішного формування мікоризи рослини можуть отримувати більше води й окремих елементів живлення порівняно з рослинами, у яких така взаємодія відсутня або недостатньо розвинена. Це створює передумови для поліпшення росту, розвитку та формування врожаю, хоча фактична вираженість ефекту залежить від виду рослини, властивостей ґрунту, наявності поживних речовин і умов навколишнього середовища [77].

Функціональне значення мікоризи насамперед пов'язане з розширенням простору, з якого рослина може поглинати воду та поживні елементи. Гіфи

гриба проникають у ґрунтові мікропростори, які недоступні для значної частини кореневих волосків, і беруть участь у перенесенні до рослини окремих мінеральних сполук, особливо фосфору. За певних умов мікоризні асоціації також можуть впливати на засвоєння інших елементів живлення та водозабезпечення рослин. Водночас характер обміну ресурсами між партнерами симбіозу визначається фізіологічним станом рослини, активністю гриба та умовами середовища. Тому мікоризу доцільно розглядати не просто як додатковий канал живлення, а як складну біологічну взаємодію, що регулює обмін речовинами між рослиною та ґрунтовою екосистемою [78].

Поліпшення мінерального живлення та водозабезпечення внаслідок утворення мікоризи може позитивно позначатися на формуванні вегетативних і генеративних органів. За сприятливих умов це сприяє активнішому росту рослин, формуванню листкової поверхні та створенню передумов для кращого цвітіння й утворення плодів або насіння. Крім того, мікоризні асоціації можуть брати участь у формуванні адаптаційних реакцій рослин на несприятливі чинники, зокрема нестачу вологи, температурні коливання та підвищений інфекційний фон. Окремі види корисних грибів також досліджують через їхню здатність пригнічувати розвиток певних фітопатогенів, зокрема збудників фузаріозу та фітофторозу. Проте рівень захисного ефекту залежить від конкретного мікроорганізму, культури й умов вирощування, тому його не можна вважати універсальним для всіх патогенів [79].

Формування арбускулярної мікоризи починається з проростання спор сумісних грибів у ґрунті. Цей процес може стимулюватися хімічними сполуками, які виділяються коренями рослин. Після проростання грибні гіфи ростуть у напрямку кореневої системи, контактують із нею та проникають у відповідні тканини, утворюючи структури, характерні для симбіотичної взаємодії. Зокрема, арбускули беруть участь в обміні речовинами між грибом і рослиною, тоді як позакоренева мережа гіф розширює доступ до ресурсів ґрунту. У сформованій мікоризній системі гриб отримує від рослини органічні

сполуки, а натомість сприяє надходженню води та доступних мінеральних елементів. Завдяки цьому мікориза може підвищувати ефективність використання ґрунтових ресурсів і підтримувати нормальний перебіг фізіологічних процесів у рослині [80].

Отже, застосування мікоризоутворюючих біопрепаратів, зокрема Мікофренду, розглядають як один із можливих елементів біологізованих технологій вирощування сільськогосподарських культур. Потенційна дія таких препаратів охоплює стимулювання розвитку кореневої системи, поліпшення поглинання води та мінеральних елементів, формування сприятливого мікробіологічного середовища в ризосфері й підвищення адаптаційних можливостей рослин. Додатковий інтерес становить здатність окремих мікроорганізмів продукувати біологічно активні речовини та обмежувати розвиток певних ґрунтових патогенів. За належних умов застосування ці механізми можуть сприяти кращому проростанню насіння, приживлюваності розсади й саджанців, а також оптимізації росту та розвитку культурних рослин. Водночас ефективність препарату необхідно оцінювати з урахуванням особливостей культури, властивостей ґрунту, погодних умов, способу застосування та результатів польових досліджень.

РОЗДІЛ 2
ГРУНТОВО-КЛІМАТИЧНІ УМОВИ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

Кваліфікаційна робота з формування продуктивності сорго, залежно від біопрепаратів – обробки насіння проводились на БЦДСС НААН в Правобережному Лісостепу України у 2025–2026 рр.

2.1. Ґрунтово-кліматичні умови проведення досліджень

Білоцерківська дослідно-селекційна станція розташована в частині Лісостепу України, у зоні нестійкого зволоження. Її географічне положення визначається координатами 49°43′ північної широти та 30°06′ східної довготи.

Ґрунтовий покрив дослідного поля представлений чорноземом вилугуваним середньосуглинкового гранулометричного складу. Потужність гумусового горизонту становить 100–120 см, а вміст гумусу в орному шарі ґрунту (0–30 см) досягає 3,9 %. Реакція ґрунтового середовища наближена до нейтральної, про що свідчить значення pH сольової витяжки на рівні 6,4. Ємність катіонного обміну перебуває в межах 24,8–25,4 мг-екв./100 г ґрунту, а ступінь насичення ґрунтового вбирного комплексу основами становить 82–87 %. Забезпеченість орного шару лужногідролізованим азотом, визначеним за методом Корнфільда, дорівнює 124 мг/кг ґрунту. Вміст рухомих сполук фосфору та обмінного калію, встановлений за методом Чирікова, становить відповідно 160 і 96 мг/кг ґрунту.

Важливою особливістю природних умов району проведення досліджень є залежність водозабезпечення рослин від атмосферних опадів, розподіл яких упродовж року характеризується значною нерівномірністю. Основна їх кількість випадає протягом теплого періоду року, причому найбільше зволоження зазвичай спостерігається в середині літа. Водночас в окремі роки весняний період може супроводжуватися тривалою відсутністю опадів, що створює дефіцит вологи в ґрунті та може обмежувати ріст і розвиток сорго зернового (двокольорового), а також інших сільськогосподарських культур.

Теплові ресурси території характеризуються сумою ефективних температур понад 10 °С за вегетаційний період у межах 2500–2800 °С. За багаторічними спостереженнями Білоцерківської метеорологічної станції, середньорічна кількість атмосферних опадів становить близько 538 мм, а середньорічна температура повітря – +6,9 °С. Наведені ґрунтово-кліматичні умови визначають особливості формування продуктивності сільськогосподарських культур у регіоні та є важливими чинниками під час розроблення й оцінювання технологічних елементів вирощування сорго.

2.2. Погодні умови в роки проведення досліджень

За даними графічного відображення температурного режиму повітря в районі Білоцерківської дослідно-селекційної станції, упродовж 2025–2026 рр. спостерігалися відмінності в динаміці середньомісячних температур. У 2025 році найнижчу температуру зафіксовано в лютому (–2,1 °С), тоді як найвищі її значення припадали на липень (23,8 °С) та серпень (22,4 °С). У 2026 році найхолоднішими місяцями були січень (–7,8 °С) і лютий (–6,7 °С), що свідчить про прохолодніші зимові умови порівняно з попереднім роком.

Навесні 2025 року відбувалося поступове підвищення температури повітря: від 7,9 °С у березні до 13,4 °С у травні. У 2026 році температурний режим весняного періоду характеризувався нижчими показниками в березні та квітні – 5,6 і 7,9 °С відповідно, проте в травні середньомісячна температура досягла 15,3 °С. У літній період температурні показники обох років були достатньо високими для активного росту й розвитку сорго. Зокрема, у червні 2026 року середня температура становила 19,4 °С, у липні – 20,3 °С, а в серпні зросла до 23,4 °С. У вересні відбулося її зниження до 16,9 °С.

Отже, температурні умови 2025 і 2026 років відрізнялися насамперед характером зимового та весняного періодів, тоді як упродовж літа спостерігалися сприятливі для вегетації культури температурні показники. Такі коливання теплового режиму могли впливати на інтенсивність проходження окремих фаз розвитку сорго та формування його продуктивності.

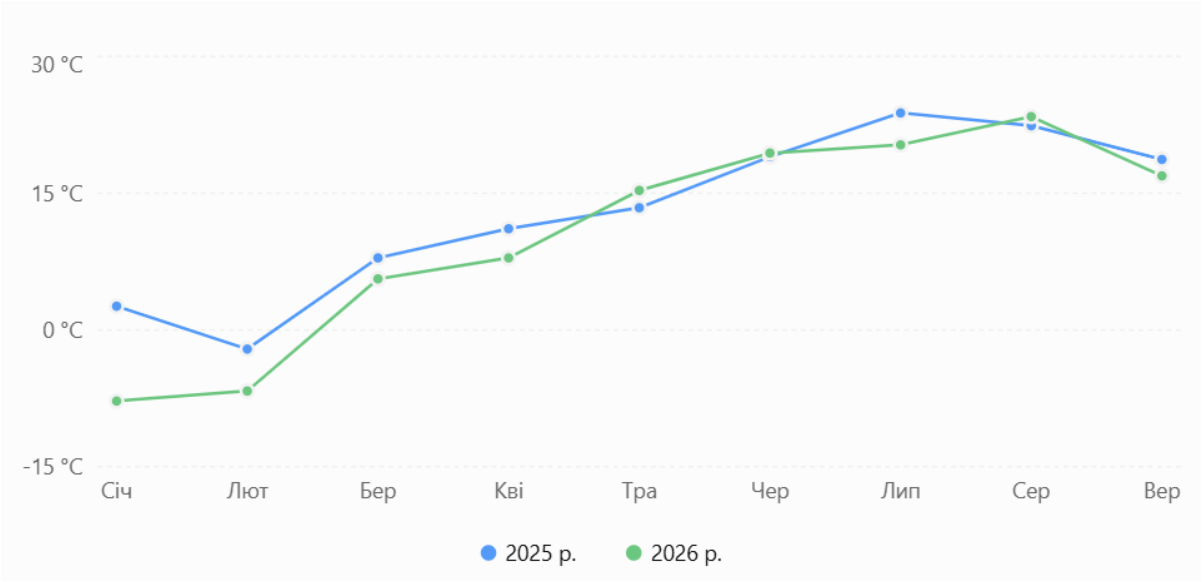


Рис. 2.1. Показники температури у 2025 та 2026 роках за період вегетації сорго зернового, БЦДСС

Розподіл атмосферних опадів у районі проведення досліджень у 2025–2026 рр. характеризувався значною нерівномірністю як за місяцями, так і між роками. У 2025 році найбільшу кількість опадів зафіксовано в травні – 48,8 мм. В інші місяці їх надходження було значно меншим: у червні випало 9,4 мм, у липні – 15,9 мм, у серпні – лише 1,7 мм, а у вересні – 11,0 мм. Такий розподіл свідчить про недостатнє зволоження в окремі періоди літньої вегетації, особливо в серпні.

У 2026 році характер випадання опадів був дещо іншим. У зимові місяці їх кількість становила 26,2 мм у січні та 21,0 мм у лютому. У березні спостерігався різкий дефіцит опадів – лише 0,4 мм. У квітні та травні випало відповідно 14,1 і 20,1 мм. Найбільшу кількість опадів зафіксовано в червні – 34,5 мм. У липні цей показник становив 17,0 мм, у серпні знизився до 4,7 мм, а у вересні збільшився до 23,5 мм.

Таким чином, у 2025 році основна частина опадів припадала на травень, тоді як у 2026 році найбільш зволоженим місяцем був червень. Водночас для обох років характерним було істотне зменшення кількості опадів у серпні, що могло обмежувати вологозабезпечення рослин у період активного формування біомаси. Нерівномірність атмосферного зволоження є важливим чинником, який

необхідно враховувати під час оцінювання росту, розвитку та продуктивності сорго зернового.

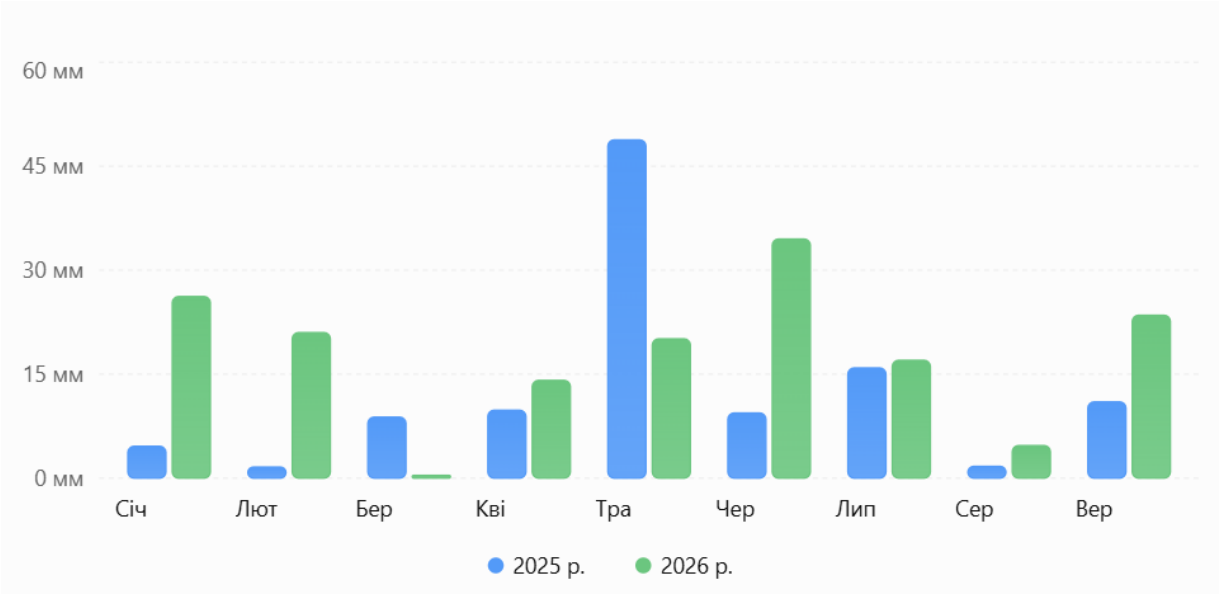


Рис. 2.2. Показники кількості опадів у 2025 та 2026 роках за період вегетації сорго зернового, БЦДСС

2.3. Мета та завдання, методика проведення досліджень, схема досліду

Метою дослідження є підвищення продуктивності сорго зернового (двокольорового) як сировини для виробництва біопалива залежно від обробки насіння біопрепаратами в умовах Правобережного Лісостепу України

Завдання дослідження

Для досягнення поставленої мети передбачалося вирішити такі завдання:

- оцінити вплив передпосівної обробки насіння сорго зернового (двокольорового) мікоризовмісним препаратом і природним адсорбентом на формування його посівних властивостей;
- дослідити особливості формування біометричних параметрів, росту, розвитку та продуктивності рослин залежно від застосування різних норм мікоризовмісного препарату й природного адсорбенту;
- встановити вплив досліджуваних елементів технології вирощування на якісні характеристики зерна та листково-стеблової маси сорго, а також

визначити потенційний вихід біопалива й енергії;

- провести комплексну економічну та енергетичну оцінку ефективності застосування мікоризовмісного препарату Мікофренд і природного адсорбенту БМ-нанобіочар під час вирощування сорго зернового (двокольорового) для енергетичного використання.

Об'єкт дослідження. Процеси росту, розвитку та формування продуктивності рослин сорго зернового (двокольорового) за використання різних елементів технології вирощування, зокрема мікоризовмісного препарату Мікофренд і природного адсорбенту БМ-нанобіочар, за вирощування культури як сировини для виробництва біопалива.

Предмет дослідження. Біометричні особливості росту й розвитку рослин сорго зернового (двокольорового), закономірності формування їх продуктивності, якісні показники зерна та листково-стеблової біомаси, вихід біопалива й енергії, а також економічна та енергетична ефективність досліджуваних елементів технології вирощування.

Схема досліду: фактор А – Препарати: Мікофренд, природний абсорбент БМ-нанобіочар, фактор Б – норма застосування (контроль, 4 г/кг, 8 г/кг).

Площа однієї посівної ділянки становила 50 м², облікової – 25 м². Дослід проводили у чотирьохразовій повторності, його загальна площа дорівнювала 0,18 га. Розміщення варіантів здійснювали відповідно до методу систематичних повторювань, за якого в межах кожного повторення дослідні варіанти розташовували послідовно.

Сівбу сорго проводили на глибину 4–6 см із шириною міжрядь 45 см. Запланована густота стояння рослин становила 150 тис. шт./га, що відповідало висіву 6–7 схожих насінин на один погонний метр рядка.

Систему удобрення формували з урахуванням основного та передпосівного обробітку ґрунту. Восени під час основного обробітку вносили нітроамофоску з розрахунку $N_{60}P_{60}K_{60}$, а навесні, під час передпосівної культивації, застосовували аміачну селітру в дозі N_{30}. Таким чином, загальний рівень мінерального удобрення становив $N_{90}P_{60}K_{60}$.

У польових експериментах як посівний матеріал використовували насіння сорго зернового (двокольорового) ранньостиглого гібрида «СВАТ», створеного селекціонерами Інституту зернових культур НААН. Маса 1000 насінин становила 28,2 ± 0,4 г, а їхня вологість – 14,1 ± 0,3 %. Перед закладанням дослідів насіння обробляли відповідно до передбачених схемами варіантів із використанням мікоризоутворювального біопрепарату Мікофренд та препарату БМ-нанобіочар.

Біопрепарат Мікофренд (ТУ У 24.1-30165603-020:2010) є мікробіологічним засобом, основу якого становлять гриби роду Glomus sp. До його складу також входять мікроорганізми, що сприяють формуванню мікоризних асоціацій і підтриманню функціонування ризосфери, фосфатмобілізувальні бактерії та біологічно активні сполуки.

Препарат БМ-нанобіочар (ТУ У 20.1-2571100774-001:2021) отримують у результаті термохімічного перетворення біомаси. Він характеризується розміром частинок менше 5 мкм, питомою площею поверхні 864 м²/г та вмістом вуглецю на рівні 95 %.

Визначення посівних властивостей насіння, зокрема енергії проростання та лабораторної схожості, проводили згідно з вимогами ДСТУ 4138 [84]. Енергію проростання встановлювали на четверту добу після закладання насіння на пророщування, а лабораторну схожість оцінювали на десяту добу. Усі лабораторні дослідження виконували в чотириразовій повторності.

РОЗДІЛ 3
ВПЛИВ ОБРОБКИ НАСІННЯ СОРГО БІОПРЕПАРАТАМИ НА РІСТ Й РОЗВИТОК РОСЛИН

Оцінювання біометричних характеристик сорго зернового є важливим етапом дослідження ефективності передпосівної обробки насіння біологічними препаратами. Такі морфологічні показники, як висота рослин, діаметр стебла та ступінь розвитку листкового апарату, дають змогу простежити особливості реакції культури на застосування досліджуваних засобів і визначити характер їхнього впливу на формування рослинного організму. За вирощування сорго на чорноземах вилугуваних, що характеризуються сприятливими природними властивостями, використання біопрепаратів може сприяти поліпшенню засвоєння елементів живлення та активізації ростових процесів на початкових етапах органогенезу.

Інтенсивність росту й розвитку рослин значною мірою визначається перебігом фізіологічних процесів, на які можуть впливати корисні мікроорганізми, що входять до складу біопрепаратів. Передпосівна обробка насіння створює передумови для активнішого розвитку кореневої системи, що, своєю чергою, може позитивно позначатися на формуванні надземних органів. Зокрема, це проявляється у збільшенні товщини стебла, інтенсивнішому наростанні листкової поверхні та загальному поліпшенні морфологічного розвитку рослин. Для сорго такі зміни мають особливе значення, оскільки сформований листковий апарат забезпечує ефективніше використання сонячної енергії, інтенсивніше накопичення асимілятів і сухої речовини, що є важливим для отримання біомаси як енергетичної сировини.

Отже, результати біометричних обліків, проведених у польових умовах Білоцерківської дослідно-селекційної станції, дають змогу оцінити вплив біологізованих елементів технології вирощування на особливості формування надземної частини сорго зернового. Перевага окремих дослідних варіантів за показниками росту й розвитку порівняно з контролем може свідчити про

позитивну реакцію культури на застосування біопрепаратів та підвищення її здатності адаптуватися до умов вирощування. Водночас сформованість вегетативної маси є однією з важливих передумов реалізації продуктивного потенціалу сорго, зокрема накопичення біомаси для подальшого використання у виробництві біопалива.

3.1. Особливості формування польової схожості насіння сорго зернового (двокольорового)

Польова схожість насіння сорго зернового залежала від виду препарату та норми його застосування. В обидва роки передпосівна обробка насіння сприяла підвищенню польової схожості порівняно з контролем.

За використання Мікофренду найвищий показник отримано за норми 4 г/кг – у середньому 80,3 %, що на 4,8 % перевищувало контроль. Збільшення норми до 8 г/кг не забезпечувало додаткового підвищення схожості, яка становила 79,0 % (табл. 3.1).

Застосування БМ-нанобіочару також позитивно впливало на появу сходів. Найкращим виявилося внесення препарату в нормі 4 г/кг, за якого середня польова схожість становила 78,7 %, або на 3,2 % більше порівняно з контролем. За норми 8 г/кг ефективність була нижчою.

Таблиця 3.1

Польова схожість насіння сорго зернового, %, по роках

Препарати	Норма, г/кг	2025 р.	2026 р.	Середнє
Мікофренд	Контроль	75,6	75,3	75,5
	4	81,4	79,1	80,3
	8	80,1	77,8	79,0
БМ-нанобіочар	Контроль	75,6	75,3	75,5
	4	80,1	77,2	78,7
	8	78,1	75,4	76,8

Серед досліджуваних норм окремого застосування препаратів найбільш ефективною була норма Мікофренду 4 г/кг, яка забезпечувала найвищу польову схожість насіння сорго зернового.

3.2. Кущіння сорго зернового (двокольорового) залежно від елементів технології вирощування

Аналіз показників кущистості сорго зернового (двокольорового) свідчить про позитивний вплив передпосівної обробки насіння Мікофрендом і БМ-нанобіочаром на формування продуктивних пагонів рослин. Упродовж обох років досліджень спостерігалася тенденція до збільшення кількості пагонів порівняно з контрольним варіантом, де насіння не обробляли жодним із препаратів (табл. 3.2).

У середньому за два роки в контрольному варіанті кількість пагонів становила 1,5 шт./росл. За застосування Мікофренду в нормі 4 г/кг цей показник зростав до 2,0 шт./росл., що на 0,5 шт./росл., або 33,3 %, більше порівняно з контролем. Збільшення норми препарату до 8 г/кг забезпечувало дещо нижчий результат – 1,9 шт./росл., що свідчить про відсутність додаткової переваги від підвищення норми його використання.

За передпосівної обробки насіння БМ-нанобіочаром у нормі 4 г/кг середня кількість пагонів становила 1,7 шт./росл., перевищуючи контроль на 0,2 шт./росл., або 13,3 %. Застосування підвищеної норми 8 г/кг забезпечувало формування 1,6 шт./росл., що також було дещо вищим за контрольний показник.

Таблиця 3.2

Кущіння сорго зернового, шт./росл., по роках

Препарати	Норма, г/кг	2025 р.	2026 р.	Середнє
Мікофренд	Контроль	1,4	1,6	1,5
	4	1,9	2,1	2,0
	8	1,8	2,0	1,9
БМ-нанобіочар	Контроль	1,4	1,6	1,5
	4	1,6	1,8	1,7
	8	1,5	1,7	1,6

Варто відзначити, що у 2026 р. інтенсивність кущіння була дещо вищою порівняно з 2025 р. за всіма досліджуваними варіантами. Зокрема, за внесення Мікофренду в нормі 4 г/кг кількість пагонів становила 2,1 шт./росл., тоді як у

2025 р. – 1,9 шт./росл. Подібна тенденція спостерігалася і за застосування БМ-нанобіочару.

Отже, за результатами досліджень, найбільш ефективним серед окремих способів передпосівної обробки насіння виявився Мікофренд у нормі 4 г/кг, який забезпечував найвищу інтенсивність кущіння сорго зернового. Збільшення норми до 8 г/кг не супроводжувалося подальшим підвищенням цього показника, що свідчить про доцільність використання нижчої норми препарату.

3.3. Біометричні показники рослин сорго залежно від біопрепаратів Мікофренд і БМ-нанобіочар

Кількість листків на рослині є важливим морфологічним показником росту й розвитку сорго зернового, який характеризує формування асиміляційного апарату культури. Листки відіграють ключову роль у процесах фотосинтезу, накопиченні органічної речовини та забезпеченні рослин поживними сполуками, необхідними для формування продуктивності. Тому оцінювання впливу передпосівної обробки насіння біологічними препаратами на формування листкового апарату має важливе значення для визначення ефективності досліджуваних агротехнологічних заходів.

У 2025 році за використання Мікофренду кількість листків становила 1,4 шт./росл. у контрольному варіанті, тоді як за норми 4 г/кг цей показник зростав до 1,9 шт./росл., а за норми 8 г/кг – до 1,8 шт./росл. За застосування БМ-нанобіочару відповідні значення становили 1,4; 1,6 та 1,5 шт./росл. Отже, найбільшу кількість листків у 2025 році сформовано за передпосівної обробки насіння Мікофрендом у нормі 4 г/кг.

У 2026 році спостерігалася аналогічна закономірність. За використання Мікофренду кількість листків збільшувалася з 1,6 шт./росл. у контролі до 2,1 шт./росл. за норми 4 г/кг та 2,0 шт./росл. за норми 8 г/кг. За внесення БМ-нанобіочару цей показник становив відповідно 1,6; 1,8 та 1,7 шт./росл. Таким чином, і в цьому році найкращий результат отримано за застосування Мікофренду в нормі 4 г/кг.

Таблиця 3.3

Кількість листків на рослині сорго зернового, шт., по роках

Препарати	Норма, г/кг	2025 р.	2026 р.	Середнє
Мікофренд	Контроль	1,4	1,6	1,5
	4	1,9	2,1	2,0
	8	1,8	2,0	1,9
БМ-нанобіочар	Контроль	1,4	1,6	1,5
	4	1,6	1,8	1,7
	8	1,5	1,7	1,6

У середньому за два роки найбільшу кількість листків на рослині сорго зернового (2,0 шт./росл.) забезпечила передпосівна обробка насіння Мікофрендом у нормі 4 г/кг, що на 0,5 шт./росл., або 33,3 %, перевищувало контрольний варіант. За норми 8 г/кг середня кількість листків становила 1,9 шт./росл., що на 0,4 шт./росл. більше за контроль. Застосування БМ-нанобіочару забезпечило менш виражений ефект: за норм 4 і 8 г/кг показник становив відповідно 1,7 та 1,6 шт./росл.

Висота рослин сорго зернового є одним із основних морфометричних показників, що відображає інтенсивність росту та розвитку культури впродовж вегетаційного періоду. Вона формується під впливом генетичних особливостей гібриду, забезпеченості рослин елементами живлення, вологозабезпечення та погодних умов. Інтенсивність росту стебла й формування надземної біомаси мають важливе значення для реалізації продуктивного потенціалу культури. Тому дослідження впливу передпосівної обробки насіння Мікофрендом і БМ-нанобіочаром на висоту рослин дає змогу оцінити їхню ефективність у стимулюванні ростових процесів сорго зернового.

У 2025 році висота рослин сорго зернового за використання Мікофренду становила 112 см у контрольному варіанті. Передпосівна обробка насіння препаратом у нормі 4 г/кг сприяла збільшенню цього показника до 126 см, тоді як за норми 8 г/кг висота рослин становила 122 см. За застосування БМ-нанобіочару висота рослин дорівнювала 118 см за норми 4 г/кг та 115 см за норми 8 г/кг (табл. 3.4).

У 2026 році спостерігалася аналогічна закономірність. У контрольному варіанті висота рослин становила 118 см, тоді як за використання Мікофренду в нормах 4 і 8 г/кг вона зростала відповідно до 133 і 129 см. За застосування БМ-нанобіочару відповідні показники становили 124 та 121 см.

Таблиця 3.4

Висота рослин сорго зернового, см, по роках

Препарати	Норма, г/кг	2025 р.	2026 р.	Середнє
Мікофренд	Контроль	112,0	118,0	115,0
	4	126,0	133,0	129,5
	8	122,0	129,0	125,5
БМ-нанобіочар	Контроль	112,0	118,0	115,0
	4	118,0	124,0	121,0
	8	115,0	121,0	118,0

У середньому за два роки найвищі рослини сформувалися за передпосівної обробки насіння Мікофрендом у нормі 4 г/кг – 129,5 см, що на 14,5 см, або 12,6 %, перевищувало контроль. За норми 8 г/кг середня висота становила 125,5 см. Застосування БМ-нанобіочару забезпечило висоту рослин на рівні 121 см за норми 4 г/кг та 118 см за норми 8 г/кг.

Площа листкової поверхні є важливим показником формування продуктивності сорго зернового, оскільки характеризує розвиток фотосинтетичного апарату рослин та їхню здатність акумулювати сонячну енергію. Від величини листкової поверхні значною мірою залежить інтенсивність фотосинтезу, накопичення сухої речовини та забезпечення процесів формування врожаю. Застосування біологічних препаратів для передпосівної обробки насіння може позитивно впливало на розвиток листкового апарату, сприяючи збільшенню його асиміляційної поверхні.

У 2025 році площа листкової поверхні рослин сорго зернового в контрольних варіантах становила 420 см²/росл. За передпосівної обробки насіння Мікофрендом у нормі 4 г/кг цей показник збільшувався до 510 см²/росл., а за норми 8 г/кг – до 490 см²/росл. Застосування БМ-нанобіочару забезпечило

площу листкової поверхні на рівні 470 см²/росл. за норми 4 г/кг та 450 см²/росл. за норми 8 г/кг (табл. 3.5).

У 2026 році спостерігалася аналогічна тенденція. У контрольних варіантах площа листкової поверхні становила 450 см²/росл. Найвищі значення отримано за використання Мікофренду в нормі 4 г/кг – 550 см²/росл., тоді як за норми 8 г/кг показник становив 530 см²/росл. За застосування БМ-нанобіочару площа листкової поверхні дорівнювала відповідно 510 і 490 см²/росл.

Таблиця 3.5

Площа листкової поверхні 1 рослини сорго зернового, см^2, по роках

Препарати	Норма, г/кг	2025 р.	2026 р.	Середнє
Мікофренд	Контроль	420	450	435
	4	510	550	530
	8	490	530	510
БМ-нанобіочар	Контроль	420	450	435
	4	470	510	490
	8	450	490	470

У середньому за два роки досліджень найбільшу площу листкової поверхні сформували рослини за передпосівної обробки насіння Мікофрендом у нормі 4 г/кг – 530 см²/росл., що на 95 см²/росл., або 21,8 %, перевищувало контроль. За норми 8 г/кг цей показник становив 510 см²/росл. Застосування БМ-нанобіочару забезпечило збільшення площі листкової поверхні до 490 см²/росл. за норми 4 г/кг та 470 см²/росл. за норми 8 г/кг.

У 2025 році чиста продуктивність фотосинтезу сорго зернового в контрольному варіанті становила 4,8 г/(м²·добу). За передпосівної обробки насіння Мікофрендом у нормі 4 г/кг цей показник зростав до 5,7 г/(м²·добу), а за норми 8 г/кг – до 5,4 г/(м²·добу). За використання БМ-нанобіочару чиста продуктивність фотосинтезу становила відповідно 5,2 та 5,0 г/м²·добу (табл. 3,6).

У 2026 році показники були дещо вищими. У контрольному варіанті чиста продуктивність фотосинтезу становила 5,1 г/(м²·добу). Найвищого значення

досягнуто за використання Мікофренду в нормі 4 г/кг – 6,0 г/(м²·добу), тоді як за норми 8 г/кг показник становив 5,8 г/(м²·добу). За застосування БМ-нанобіочару відповідні значення дорівнювали 5,5 та 5,3 г/(м²·добу).

Таблиця 3.6

Чиста продуктивність фотосинтезу сорго зернового, г/м², по роках

Препарати	Норма, г/кг	2025 р.	2026 р.	Середнє
Мікофренд	Контроль	4,8	5,1	4,95
	4	5,7	6,0	5,85
	8	5,4	5,8	5,60
БМ-нанобіочар	Контроль	4,8	5,1	4,95
	4	5,2	5,5	5,35
	8	5,0	5,3	5,15

У середньому за два роки найбільшу чисту продуктивність фотосинтезу забезпечив Мікофренд у нормі 4 г/кг – 5,85 г/(м²·добу), що на 0,90 г/(м²·добу), або 18,2 %, перевищувало контроль. За норми 8 г/кг показник становив 5,60 г/(м²·добу). Застосування БМ-нанобіочару в нормах 4 і 8 г/кг забезпечило відповідно 5,35 та 5,15 г/(м²·добу).

РОЗДІЛ 4
ПРОДУКТИВНІСТЬ ТА ЯКІСТЬ СОРГО ЗАЛЕЖНО ВІД ЗАСТОСУВАННЯ МІКОФРЕНДУ ТА БМ-НАНОБІОЧАР

Формування врожайності сорго зернового на чорноземних ґрунтах Білоцерківської дослідно-селекційної станції (БЦ ДСС) визначається сукупною дією ґрунтових, біологічних та агротехнологічних чинників. Реалізація продуктивного потенціалу культури на вилугуваних чорноземах зумовлена не лише високим рівнем природної родючості ґрунту, а й створенням сприятливих умов для росту та розвитку рослин упродовж вегетації, особливо на початкових етапах органогенезу. Застосування біологічних препаратів у технології вирощування сприяє поліпшенню умов функціонування кореневої системи, активізації фізіологічних процесів та ефективнішому використанню рослинами ґрунтових ресурсів, що створює передумови для повнішої реалізації генетично зумовленого потенціалу продуктивності сорго.

4.1. Врожайність біомаси сорго зернового

У 2025 році врожайність біомаси сорго зернового в контрольному варіанті становила 32,5 т/га. За передпосівної обробки насіння Мікофрендом у нормі 4 г/кг врожайність підвищувалася до 38,2 т/га, тоді як за норми 8 г/кг становила 36,5 т/га. Застосування БМ-нанобіочару забезпечило врожайність 35,0 т/га за норми 4 г/кг та 33,8 т/га за норми 8 г/кг.

У 2026 році спостерігалася аналогічна закономірність. У контрольному варіанті було отримано 35,0 т/га біомаси. Найвищу врожайність зафіксовано за використання Мікофренду в нормі 4 г/кг – 41,0 т/га, що перевищувало контроль на 6,0 т/га. За норми 8 г/кг врожайність становила 39,2 т/га. За застосування БМ-нанобіочару показники дорівнювали 37,8 та 36,5 т/га відповідно за норм 4 і 8 г/кг.

У середньому за два роки досліджень найбільшу врожайність біомаси отримано за передпосівної обробки насіння Мікофрендом у нормі 4 г/кг –

39,6 т/га, що на 5,85 т/га, або 17,3 %, перевищувало контрольний варіант. За збільшення норми препарату до 8 г/кг врожайність становила 37,85 т/га, або на 4,10 т/га більше порівняно з контролем.

Таблиця 4.1

Врожайність біомаси сорго зернового, т/га, по роках

Препарати	Норма, г/кг	2025 р.	2026 р.	Середнє
Мікофренд	Контроль	32,5	35,0	33,75
	4	38,2	41,0	39,60
	8	36,5	39,2	37,85
БМ-нанобіочар	Контроль	32,5	35,0	33,75
	4	35,0	37,8	36,40
	8	33,8	36,5	35,15

Застосування БМ-нанобіочару також позитивно впливало на формування біомаси. За норми 4 г/кг середня врожайність становила 36,4 т/га, що на 2,65 т/га перевищувало контроль. За норми 8 г/кг отримано 35,15 т/га.

4.2. Урожайність зерна сорго

Урожайність зерна сорго зернового є основним інтегральним показником продуктивності культури, який відображає реалізацію її генетичного потенціалу за певних умов вирощування. На формування зернової продуктивності впливають густота продуктивного стеблостою, кількість і виповненість зерен у волоті, маса 1000 зерен, умови живлення та вологозабезпечення. Передпосівна обробка насіння біологічними препаратами може сприяти покращенню росту й розвитку рослин, формуванню генеративних органів та підвищенню зернової продуктивності.

У 2025 році урожайність зерна сорго зернового в контрольному варіанті становила 4,20 т/га. За передпосівної обробки насіння Мікофрендом у нормі 4 г/кг цей показник зростав до 5,05 т/га, а за норми 8 г/кг – до 4,85 т/га. Застосування БМ-нанобіочару забезпечило урожайність 4,65 т/га за норми 4 г/кг та 4,45 т/га за норми 8 г/кг (табл. 4.2).

У 2026 році спостерігалася аналогічна тенденція. У контрольному варіанті урожайність зерна становила 4,55 т/га. Найвищий показник отримано за використання Мікофренду в нормі 4 г/кг – 5,45 т/га. За норми 8 г/кг урожайність становила 5,20 т/га. За застосування БМ-нанобіочару відповідні показники дорівнювали 4,98 та 4,78 т/га.

Таблиця 4.2

Врожайність зерна сорго зернового залежно від елементів технології вирощування, т/га

Препарати	Норма, г/кг	2025 р.	2026 р.	Середнє
Мікофренд	Контроль	4,20	4,55	4,38
	4	5,05	5,45	5,25
	8	4,85	5,20	5,03
БМ-нанобіочар	Контроль	4,20	4,55	4,38
	4	4,65	4,98	4,82
	8	4,45	4,78	4,62

У середньому за два роки досліджень найбільшу урожайність зерна сорго зернового отримано за передпосівної обробки насіння Мікофрендом у нормі 4 г/кг – 5,25 т/га, що на 0,87 т/га, або 19,9 %, перевищувало контрольний варіант. За норми 8 г/кг урожайність становила 5,03 т/га, що на 0,65 т/га більше порівняно з контролем.

Застосування БМ-нанобіочару також позитивно впливало на зернову продуктивність. За норми 4 г/кг середня урожайність становила 4,82 т/га, що на 0,44 т/га перевищувало контроль. За норми 8 г/кг отримано 4,62 т/га.

4.3. Економічна та енергетична оцінка вирощування сорго залежно від досліджуваних чинників

Результати досліджень, наведені у таблиці 4.2, демонструють вплив передпосівного застосування біологічних препаратів Мікофренд та БМ-нанобіочар на енергетичну продуктивність біомаси. У межах експерименту оцінювалися два варіанти дозування кожного препарату (4 та 8 г/кг) у порівнянні з контрольним варіантом без обробки. Головними критеріями оцінки виступали

фізичний вихід біопалива з одиниці площі (твердого палива та біоетанолу), валовий вихід енергії в гігаджоулях на гектар, сукупні витрати енергії на вирощування, а також інтегральний показник результативності – коефіцієнт енергетичної ефективності (КЕЕ).

Аналіз контрольного варіанту, де біопрепарати не застосовувалися, слугує базовою точкою відліку. Без додаткової стимуляції вихід твердого палива з одного гектара становить 10,13 тонни, а вихід біоетанолу – 1,66 тонни. У перерахунку на енергетичний еквівалент це забезпечує отримання 177,19 ГДж/га енергії з твердого палива та 44,61 ГДж/га з біоетанолу. При сукупних технологічних витратах енергії на рівні 24,50 ГДж/га коефіцієнт енергетичної ефективності на контролі фіксується на позначці 4,48, що свідчить про базову рентабельність технології, але залишає значний потенціал для її інтенсифікації (табл. 4.3).

Застосування мікоризного біопрепарату Мікофренд забезпечило найбільш суттєвий приріст усіх досліджуваних показників. Найвищу ефективність зафіксовано за норми внесення 4 г/кг: вихід твердого палива зріс до 11,88 т/га (на 17,3% більше порівняно з контролем), а виробництво біоетанолу досягло максимуму в 2,0 т/га. Це дозволило акумулювати 207,19 ГДж/га енергії у вигляді твердого біопалива та 53,47 ГДж/га у вигляді біоетанолу. Збільшення дози препарату вдвічі – до 8 г/кг – не призвело до подальшого зростання продуктивності, а навпаки, спричинило незначне зниження показників (вихід твердого палива склав 11,36 т/га, біоетанолу – 1,91 т/га, а вихід енергії – 198,71 та 51,23 ГДж/га відповідно), хоча отримані результати все одно суттєво перевищували контрольні значення.

Дещо стриманішу, але стабільно позитивну динаміку продемонстрував препарат БМ-нанобіочар. Як і у випадку з попереднім засобом, оптимальною виявилася менша доза – 4 г/кг. За такого дозування вихід твердого палива збільшився до 10,92 т/га, що забезпечило отримання 191,10 ГДж/га енергії. Водночас вихід енергії з біоетанолу зріс до 49,09 ГДж/га. Підвищення норми БМ-нанобіочару до 8 г/кг також виявилося менш доцільним: вихід твердого

палива знизився до 10,55 т/га (185,54 ГДж/га), а біоетанолу – до 1,76 т/га (47,05 ГДж/га).

Таблиця 4.3

Енергетична ефективність вирощування сорго зернового

Препарати	Норма, г/кг	Вихід, т/га		Енергії, ГДЖ/га		Витрати енергії, ГДж/га	КЕЕ
		Твердого палива	Біоетанолу	Твердого палива	Біоетанолу		
Мікофренд	Контроль	10,13	1,66	177,19	44,61	24,50	4,48
	4	11,88	2,0	207,19	53,47	24,50	5,28
	8	11,36	1,91	198,71	51,23	24,50	5,04
БМ-нанобіочар	Контроль	10,13	1,66	177,19	44,61	24,50	4,48
	4	10,92	1,83	191,10	49,09	24,50	4,85
	8	10,55	1,76	185,54	47,05	24,50	4,67

Важливою особливістю досліджуваних елементів є незмінність енергетичних витрат на вирощування та переробку сировини, які в усіх без винятку варіантах становлять 24,50 ГДж/га. Це означає, що інтеграція біопрепаратів у технологічний процес практично не обтяжує його додатковими енерговитратами, але завдяки приросту врожайності значно покращує енергетичний баланс. Як наслідок, коефіцієнт енергетичної ефективності (КЕЕ) зростає у всіх дослідних варіантах. Найвищого рівня він досягає при використанні Мікофренду в нормі 4 г/кг – 5,28 проти 4,48 на контролі (за дози 8 г/кг КЕЕ становить 5,04). Для препарата БМ-нанобіочар максимальний КЕЕ зафіксовано також при нормі 4 г/кг на рівні 4,85, тоді як збільшення дози до 8 г/кг знижує цей показник до 4,67.

Економічна ефективність вирощування сільськогосподарських культур значною мірою залежить від удосконалення технологічних прийомів, зокрема застосування сучасних біологічних препаратів. Аналіз результатів економічних досліджень засвідчив, що передпосівна обробка насіння та внесення біопрепаратів Мікофренд і БМ-нанобіочар справляють істотний вплив на

продуктивність насаджень та фінансові результати господарювання. У контрольному варіанті, де біопрепарати не використовувалися, врожайність біомаси становила 33,75 т/га, а зерна – 4,38 т/га. За базових витрат на рівні 35,0 тис. грн/га це забезпечило отримання виручки 73,4 тис. грн/га та чистого прибутку 38,4 тис. грн/га, при цьому рівень рентабельності склав 109,6%, що свідчить про наявність значного резерву для підвищення ефективності виробництва.

Найвищі економічні показники серед досліджуваних варіантів продемонстрував біопрепарат Мікофренд. Найбільш ефективною виявилася норма внесення 4 г/кг, за якої врожайність біомаси зросла до 39,60 т/га, а зерна – до 5,25 т/га. Це дозволило збільшити виручку до 86,9 тис. грн/га. Незважаючи на незначне зростання виробничих витрат до 36,2 тис. грн/га через вартість препарату та збирання додаткового врожаю, чистий прибуток досяг максимального значення у 50,7 тис. грн/га, а рентабельність виробництва підвищилася до 140,1%. Збільшення норми Мікофренду до 8 г/кг дещо знизило результативність (прибуток становив 46,7 тис. грн/га за рентабельності 127,8%), проте ці показники все одно суттєво перевищували контрольні дані.

Таблиця 4.4

Економічна оцінка вирощування зернового соргозалежно від застосування біопрепаратів

Препарати	Норма, г/кг	Врожайність, т/га		Виручка, тис. грн./га	Витрати, тис. грн./га	Прибуток, тис. грн./га	Рентабельність, %
		біомаси	зерна				
Мікофренд	Контроль	33,75	4,38	73,4	35,0	38,4	109,6
	4	39,60	5,25	86,9	36,2	50,7	140,1
	8	37,85	5,03	83,2	365	46,7	127,8
БМ-нанобіочар	Контроль	33,75	4,38	73,4	35,0	38,4	109,6
	4	36,40	4,82	79,8	36,1	43,7	121,1
	8	35,15	4,62	76,8	36,6	40,2	109,9

Дещо нижчу, але стабільно позитивну економічну віддачу зафіксовано при застосуванні препарату БМ-нанобіочар. За оптимальної норми 4 г/кг врожайність біомаси збільшилася до 36,40 т/га, а зерна – до 4,82 т/га, що забезпечило виручку на рівні 79,8 тис. грн/га. За витрат 36,1 тис. грн/га чистий прибуток склав 43,7 тис. грн/га, а рівень рентабельності зріс до 121,1%. Підвищення дози БМ-нанобіочару до 8 г/кг виявилося економічно менш доцільним: витрати зросли до 36,6 тис. грн/га, тоді як прибуток зменшився до 40,2 тис. грн/га, а рентабельність знизилась до 109,9%, практично наблизившись до показників контролю.

ВИСНОВКИ

1. Передпосівна обробка насіння сорго зернового біологічними препаратами справляє позитивний вплив на польову схожість насіння. Встановлено, що в середньому за роки досліджень найвищу польову схожість забезпечило застосування Мікофренду в нормі 4 г/кг – 80,3%, що перевищує контрольний показник на 4,8%. За використання БМ-нанобіочару в оптимальній дозі (4 г/кг) польова схожість становила 78,7%. Збільшення норм внесення обох препаратів до 8 г/кг не супроводжувалося подальшим зростанням цього показника.

2. Застосування досліджуваних біопрепаратів активізує ростові та формоутворювальні процеси рослин сорго зернового. Використання Мікофренду (4 г/кг) сприяло збільшенню кількості пагонів кущіння до 2,0 шт./росл. (проти 1,5 шт./росл. у контролі) та кількості листків до 2,0 шт./росл. Водночас зафіксовано суттєве збільшення висоти рослин (до 129,5 см, що на 12,6% більше за контроль) та площі листкової поверхні однієї рослини (до 530 см², або на 21,8% вище від контролю). Чиста продуктивність фотосинтезу за цього варіанту досягала 5,85 г/м²·добу. Препарат БМ-нанобіочар також забезпечував позитивну динаміку біометричних показників, проте його ефект був дещо нижчим.

3. Передпосівна обробка насіння біопрепаратами забезпечує суттєве підвищення продуктивності насаджень сорго зернового. У середньому за роки досліджень максимальну врожайність біомаси (39,60 т/га, що на 17,3% перевищує контроль) та зерна (5,25 т/га, приріст 19,9%) отримано за використання Мікофренду в нормі 4 г/кг. Застосування БМ-нанобіочару в аналогічній дозі забезпечувало врожайність біомаси на рівні 36,40 т/га та зерна – 4,82 т/га.

4. Енергетична оцінка вирощування сорго зернового свідчить про високу ефективність біологізації технології. За незмінних сукупних енергетичних витрат на рівні 24,50 ГДж/га, внесення Мікофренду (4 г/кг) дозволило збільшити

вихід твердого палива до 11,88 т/га (енергетичний еквівалент 207,19 ГДж/га) та біоетанолу до 2,0 т/га (53,47 ГДж/га). При цьому коефіцієнт енергетичної ефективності (КЕЕ) зріс до 5,28 проти 4,48 у контролі. Максимальний КЕЕ для БМ-нанобіочару становив 4,85.

5. Економічний аналіз підтверджує повну виробничу доцільність та рентабельність досліджуваних прийомів. Найвищі економічні результати забезпечує передпосівна обробка насіння Мікофрендом у нормі 4 г/кг: за виручки 86,9 тис. грн/га та виробничих витрат 36,2 тис. грн/га чистий прибуток сягає 50,7 тис. грн/га, а рівень рентабельності становить 140,1% (проти 109,6% на контролі). Застосування БМ-нанобіочару (4 г/кг) забезпечує прибуток на рівні 43,7 тис. грн/га за рентабельності 121,1%.

РЕКОМЕНДАЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ

Для досягнення максимальної енергетичної (КЕЕ 5,28) та економічної ефективності (рентабельність 140,1% і прибуток 50,7 тис. грн/га) виробництву рекомендується застосовувати передпосівну обробку насіння біопрепаратом Мікофренд у нормі 4 г/кг, оскільки подвоєння дози до 8 г/кг або заміна на БМ-нанобіочар є менш рентабельними.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Аверчев О.В., Осінній О.А. Науково-виробничі рекомендації з технології вирощування сорго, проса і гречки в агромеліоративному полі рисової сівозміни. М-во аграрної політики та продовольства України, Ін-т післядипломної освіти та дорадництва, ДВНЗ «Херсонський державний аграрний ун-т». Херсон: Видавець Грінь Д. С. 2015, 98 с.

2. Агротехнологічні аспекти вирощування енергетичних культур в умовах півдня України: навчальний посібник. – Херсон, 2017р. – 160 с. 56. Архипенко Ф.М., Слюсар С.М. Сорго – перспективи вирощування. Агроном 2006, 4(14), с. 82-83. 176

3. Базалій В.В., Бойко М.О., Алмашова В.С., Онищенко С.О. Рослинницькі аспекти та агроекологічні засади вирощування сорго зернового на Півдні України. Таврійський науковий вісник 2015, 91, с. 3-6.

4. Бакланова Т. В., Савченко І. П., Гамаюнова В.В, Сучасні тенденції вирощування сорго в Україні. Таврійський науковий вісник – 2023. – № 134. С. 9 – 17. DOI https://doi.org/10.32782/2226-0099.2023.134.2

5. Барановський О.В., Трофименко М.М., Вечеров В.І., Кузьменко О.М., Шумська Г.М. Продуктивність зернового сорго ультраранньостиглого гібриду Прайм в залежності від допосівного внесення азотних добрив. Науковий вісник Луганського національного аграрного університету 2009, 12, с. 39-42.

6. Безручко О.І. Сорго набуває популярності. Agroexpert 2012, 5, с.36-38.

7. В. О. Дубровін та ін. Біопалива (ресурси, технології, обладнання): Посібник. Київ: ЦП «Компринт», 2022. 380 с.

8. Бойко М. О. Агробіологічне обґрунтування елементів технології вирощування гібридів сорго зернового в Південному Степу України : дис. канд. с.-г. наук : 06.01.09. Херсон, 2017. 185 с.

9. Бойко М.О. Аналіз структури врожаю гібридів сорго зернового при різних густотах посівів за двох строків сівби. Онтогенез – стан проблеми та

перспективи вивчення рослин в культурних та природних ценозах: Збірник тез міжнародної конференції. Херсон: РВЦ «Колос»; 2016, с. 79-80.

10. Бойко М.О. Перспективи виробництва сорго зернового на Півдні України. Modem scientific researches and developments: theoretical value and practical results – 2016: materials of international scientific and practical conference (Bratislava, 15-18 March 2016). K.: LLC «NVP» Interservise»; 2016, с. 23-24.

11. Бойко М.О. Сорго зернове – гарант стабілізації зерновиробництва. Актуальні питання сучасної аграрної науки: Збірник тез IV міжнародної науковопрактичної конференції. Умань; 2016, с. 25-26. 177

12. Бойко П. І., Мартинюк І. В., Цимбал Я. С. Становлення сівозмінних принципів у системах землеробства. Вісник аграрної науки. 2021. Т. 99 С. 5 – 12. DOI: https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202103-01

13. Бунецький В. А., Ганженко О. М., Роїк М. В. Біочар – висококалорійне паливо та запорука великої врожайності! Біоенергетика. 2018. № 2. С. 8 – 12.

14. Василенко Р. Агротехнологічні прийоми збільшення продуктивності сорго на півдні України. Пропозиція 2017, 6, с. 82-85.

15. Гументик М. Я. та ін. Вирощування біоенергетичних культур : посібник. Київ : ЦП «Компринт», 2018. 179 с.

16. Волкогон В. В. Мікроорганізми в процесах трансформації органічної речовини ґрунту. Вісник аграрної науки. 2025. Т. 103, № 7. С. 27 – 38. DOI: https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202507-03

17. Гавран І., Прокіпець С., Єзерковська Л…Чемерис М. (2022). Перелік допоміжних продуктів та методів дозволених для використання в органічному виробництві з врахуванням вимог органічних стандартів Європейського союзу. 72-92

18. Ганженко О. М. Енергетична продуктивність сорго цукрового залежно від строків збирання урожаю в умовах Лісостепу України. Агробіологія. 2021. № 2. С. 23 – 31.

19. Ганженко О. М., Злиденний І. І. Посівні якості насіння сорго звичайного (двокольорового) залежно від обробки біопрепаратами. Біоенергетика. 2025. № 1. С. 11 – 14. DOI: 10.47414/be.2025.No1.pp.11-14

20. Ганженко О.М. Агроекологічні основи формування продуктивності цукроносних культур для біопалива: монографія. Вінниця, ТОВ «НіланЛТД», 2023. 320 с.

21. Ганженко, О. М., Гончарук, Г. С., & Правдива, Л. А. (2025). Формування продуктивності рослин сорго цукрового на ґрунтах з низьким рівнем родючості. Біоенергетика, (1-2), 20 – 24. https://doi.org/10.47414/be.12.2023.290630

22. Гелетуха Г. Г., Желєзна Т. А. Стан та перспективи розвитку біоенергетики в Україні. Теплофізика та теплоенергетика. 2017. Т. 39, № 2. С. 60 – 64. DOI: https://doi.org/10.31472/ihe.2.2017.09

23. Гудзь В. П., Примак І. Д., Будьонний Ю. В., Танчик С. П. Землеробство: Підручник. 2-ге вид. перероб. та доп. За ред. В. П. Гудзя. К.: Центр учбової літератури, 2010. 464 с.

24. Гнатенко О. Ф. та ін. Ґрунтознавство з основами геології : навч. Посібник. Київ : Оранта, 2005. 648 с.

25. Димитров С. Г., Саблук В. Т. Збільшення маси кореневої системи сільськогосподарських культур за їх мікоризації. Таврійський науковий вісник. Серія: Сільськогосподарські науки. 2022. Вип. 127. С. 41 – 47. DOI: https://doi.org/10.32851/2226-0099.2022.127.5

26. Димитров С. Г., Саблук В. Т., Танчик С. П. Зниження ураженості рослин сільськогосподарських культур хворобами за мікоризації грибами та симбіозу з азотфіксуючими бактеріями їх кореневої системи. Аграрні інновації. 2021. № 10. С. 29 – 33. https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2021.10.5

27. Димитров С., Саблук В. Підвищення врожайності сільськогосподарських культур за мікоризації кореневої системи. Вісник Львівського національного університету природокористування. Серія

Агрономія. 2022. № 26. С. 142 – 145. DOI: https://doi.org/10.31734/agronomy2022.26.142

28. Гелетуха Г. Г., Желєзна Т. А., Матвєєв Ю. Б. та ін. Дорожня карта розвитку біоенергетики України до 2050 року : аналіт. зап. UABIO № 26. Київ : Біоенергетична асоціація України, 2020. 52 с. URL: https://uabio.org/wpcontent/uploads/2020/12/uabio-position-paper-26.pdf

29. Києнко З. Б., Дутова Г. А., Руденко О. А. та ін. Дослідження стабільності показника продуктивності сортів сорго зернового (Sorghum bicolor L.) в умовах Лісостепу. Plant Varieties Studying and Protection. 2024. Т. 20, № 1. С. 45 – 50. DOI: https://doi.org/10.21498/2518-1017.20.1.2024.297222

30. ДСТУ 4138 Насіння сільськогосподарських культур. Методи визначення якості. Держспоживстандарт України. 2003. 148 с.

31. ДСТУ 4962:2008. Сорго. Технічні умови. [Чинний від 2010-07-01]. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2010. 10 с.

32. Ткачук В., Кільніцька О., Яремова М., Лавринюк О.. Екологізація аграрного виробництва в умовах сталого розвитку. Аграрна економіка. 2024. Т. 17, № 1. С. 17 – 26. DOI: https://doi.org/10.31734/agrarecon2024.01.017

33. Екологічна безпека агропромислового виробництва : монографія. за наук. ред. О. І. Фурдичка. Київ : ДІА, 2013. 416 с.

34. Рожков А. О. та ін. Екологічне рослинництво : навч. посіб. Полтава ; Харків : ДБТУ : Астрая. 2024. 176 с.

35. Клименко М. О., Прищепа А. М., Вознюк Н. М., Бєдункова О. О.. Екологічний моніторинг агросфери зони впливу урбосистеми як засіб управління її сталістю. Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. Сільськогосподарські науки. 2020. Т. 2, № 90. С. 50 – 59. DOI: https://doi.org/10.31713/vs220205

36. Фурдичко О.І., Дребот О.І., Екологія агросфери: підручник. Е45 О.С.

37. Дем’янюк, Є.Д. Ткач, А.А. Бунас. Київ: ДІА, 2022. 336 с. ISBN 978-617-778530-8 DOI: https://doi.org/10.33730/978-617-7785-30-8

38. Енергетичні культури: сортимент, біологія, екологія, агротехнологія: колективна монографія. за ред. М. І. Кулика. Полтава : Астрая, 2023. 220 с.

39. Ермантраут Е. Р., Присяжнюк О. І., Шевченко І. Л. Статистичний аналіз агрономічних дослідних даних в пакеті Statistica 6.0. Київ: ПоліграфКонсалтинг, 2007. 55 с.

40. Задорожня Г., Паладченко О., Новіцька Г. Наукове забезпечення сільського господарства в Україні. Вісник аграрної науки. 2015. Т. 93, № 2. С. 74 – 77. DOI: https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201502-16

41. Злиденний, І. І. Вплив обробки насіння біологічними препаратами на продуктивність рослин Sorghum bicolor (L.) Moench. в умовах Правобережного Лісостепу України. Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків, 2025. (33), 8 – 18. https://doi.org/10.47414/np.33.2025.346088

42. Іваніна В. В., Пашинська К. Л., Смірних В. М. Винос і баланс елементів живлення в агроценозі сорго зернового залежно від удобрення. Вісник аграрної науки. 2021. № 12. С. 28 – 32. DOI: 10.31073/agrovisnyk202112-03

43. Іутинська Г. О. Шляхи регулювання функцій мікробних угруповань ґрунту в аспекті біологізації землеробства і стійкого розвитку агроекосистем. Сільськогосподарська мікробіологія. 2006. Вип. 3. С. 7 – 18. DOI: https://doi.org/10.35868/1997-3004.3.7-18

44. Каражбей Г.М., Тегун С.В. Продуктивність сорго звичайного двокольорового (Sorghum bicolor L.) залежно від рівня мінерального живлення та густоти стояння. Збірник наукових праць Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків 2012, 14, с. 67-70.

45. Кисіль В. І. Біологічне землеробство в Україні: проблеми і перспектива. Харків : Штрих, 2000. 162 с.

46. Кієнко З. Б., Дутова Г. А., Руденко О. А. та ін. Стабільність показників продуктивності сортів сорго (Sorghum bicolor L.) за умов Лісостепу

України. Plant Varieties Studying and Protection. – 2024. – Т. 20, № 1. – С. 45 – 50. DOI: 10.21498/2518-1017.20.1.2024.297222.

47. Климович П.В. Ефективність доз і строків застосування добрив під сорго зернове на чорноземі опідзоленому Правобережного Лісостепу України: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. с.-г. наук: спец. 06.01.04. ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського. Харків: 2007. 23 с.

48. Кравець І.С. Зміни в азотному фонді та баланс азоту чорнозему опідзоленого Правобережного Лісостепу України після тривалого застосування добрив у польовій сівозміні: автореф. дис. кандидата с.-г. наук: 06.01.04. Інститут агрохімії та ґрунтознавства ім. О. Н. Соколовського. Харків, 2001. 23 с. 181

49. Кравченко Ю.С. Відтворення родючості чорноземів України за ґрунтозахисного землеробства. Збірник наукових праць «Агробіологія», 2020. № 1. С. 67 – 79. DOI: 10.33245/2310-9270-2020-157-1-67-79

50. Крайсвітній П.А., Рій О.В., Кулик М.І. Енергетичні культури для отримання біопалива: додатковий прибуток для господарств. Хімія. Агрономія. Сервіс 2010, 12, с. 40-43.

51. Криницька Л.А., Рось В.І. Стан і перспективи світового виробництва сорго (огляд іноземної літератури). Таврійський науковий вісник 2000, 15, с. 20-25.

52. Кулічкова Г. А., Савицька Н. В., Володько О. І., Іванова Т. С., Циганков С. О. Перспективи отримання біогазу з цукрового сорго в Україні. Наукові доповіді НУБіП України. 2022. № 5 (99). DOI: https://doi.org/10.31548/dopovidi2022.05.001

53. Курило В.Л., Яланський О.В., Гамандій В.Л. та ін. Біоенергетична оцінка соргових культур. Збірник наукових праць Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків 2012, 14, с. 554-558.

54. Курільченко І. Ю., Маслова Ю., Лещенко І. А. Вплив біостимуляторів на ріст і розвиток сільськогосподарських культур. Актуальні

проблеми фізичного виховання та здоров’я людини : матеріали VI Міжнародної заочної науково практичної конференції (м. Слов’янськ, 7 – 8 грудня 2020 р.) / за ред. В. В. Дичка. Слов’янськ : ДДПУ, 2020. С. 112 – 119

55. Лапа О.М., Фарафонов В.А. Вирощування зернового сорго в умовах України. Посібник українського хлібороба 2008, 6, с. 72-76.

56. Луцько Г., Кранда Т. Сорго − відповідь екстремальній посусі. Пропозиція 2013, 1, с. 44-46.

57. Любич В. В., Пясецький П. І., Моргун А. В. Формування показників біоенергетики сортів сорго цукрового за різних строків сівби і збирання. Вісник Уманського національного університету садівництва. 2022. № 2. С. 85 – 90. DOI: https://doi.org/10.32782/2310-0478-2022-2-85-90

58. Любич В. В., Сторожик Л. І., Войтовська В. І. Агробіологічні параметри різних сортів і гібридів сорго цукрового. Plant Varieties Studying and Protection. 2021. Т. 17, № 3. С. 193 – 198.

59. Макаров Л. Х. Соргові культури: монографія. Л. Х. Макаров. Херсон: Айлант, 2006. 263 с.

60. Малярчук Н.П., Малярчук А.С., Лужанский И.Ю., Марковская Е.Е., Малярчук В.Н. Вплив систем основного обробітку та удобрення на гумусовий стан ґрунту і продуктивність сорго зернового у сівозміні та зрошенні. Біоресурси і природокористування 2019, 11(1-2), с.98-107. https://doi.org/10.31548/bio2019.01.011

61. Методика державного сортовипробування сільськогосподарських культур: за ред. В. В. Волкодава. Київ, 2000, 100 с.

62. Димитров С. Г. та ін. Мікоризоутворюючі препарати та їхній симбіоз із рослинами пшениці м’якої озимої (Triticum aestivum L.). Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків. 2019. № 27. С. 51 – 61. DOI: https://doi.org/10.47414/np.27.2019.211138

63. Моргун А. В., Любич В. В. Технологічні параметри біоенергетики різних культиварів сорго цукрового залежно від умов вирощування. Аграрні

інновації. 2024. № 27. DOI:https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2024.27.10 С. 69 – 73.

64. Морозова Л. Європейські перспективи сорго. Farmer 2017, 11, с. 88-89.

65. Музиченко Ф. Сорго в Україні: лише переваги. Пропозиція 2010, 3, с. 42.

66. Балюк С. А., Носко Б. С., Шимель В. В. та ін. Оптимізація живлення рослин у системі факторів ефективної родючості ґрунтів. Вісник аграрної науки. 2019. Т. 97, № 3. С. 12 – 19. DOI: https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201903-02

67. Пащенко Ю. Перспектива вирощування сорго. Агроперспектива 2009, 12, с. 57-60.

68. Петриченко В.Ф., Лихочвор В.В. Рослинництво. Нові технології вирощування польових культур: підручник.- 5-те вид., виправ., допов. Львів: НВФ "Українські технології", 2020. 806 с.

69. Полевой А. М., Божко Л. Є., Вольвач О. В. та ін. Агроекологічні умови формування продуктивності сорго в південних регіонах України в умовах змін клімату. Scientific Progress & Innovations. 2020. № 4. С. 61 – 68. DOI: 10.31210/visnyk2020.04.07.

70. Попова О. П., Кулик М. І. Вплив позакореневої обробки посівів на врожайність біомаси сорго цукрового. Аграрні інновації. 2024. № 24. С. 123 – 134. DOI: https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2024.24.18

71. Попова О. П., Кулик М. І. Формування врожайності та енергетичний потенціал біомаси Sorghum saccharatum (L.) Moench в умовах Центрального Лісостепу України. Plant Varieties Studying and Protection. 2023. Т. 19, № 3. С. 168 – 175. DOI: https://doi.org/10.21498/2518-1017.19.3.2023.287640

72. Л. І. Сторожик, В. І. Войтовська, В. В. Любич, С. В. Рогальський. Посівні властивості зерна сорго цукрового залежно від тривалості його зберігання та оброблення препаратами. Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків. 2020. Вип. 28. С. 129 – 139. DOI: https://doi.org/10.47414/np.28.2020.211064

73. Правдива Л. А. Вплив елементів технології вирощування на продуктивність сорго зернового та вихід біопалива. Вісник аграрної науки. 2021. Т. 99, № 5. С. 22 – 29. DOI: https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202105-03

74. Правдива Л. А. Вплив мінерального живлення рослин на формування біометричних показників сорго зернового. Агробіологія. 2022. № 1. С. 43 – 52. DOI: 10.33245/2310-9270-2022-171-1-43-52

75. Правдива Л. А. Енергетична продуктивність сорго звичайного двокольорового (Sorghum bicolor (L.) Moenh) та соризу (Sorghum orysoidum) залежно від норм висіву насіння. Зернові культури. 2023. Т. 7, № 1. С. 106 – 112. DOI: https://doi.org/10.31867/2523-4544/0265

76. Правдива Л. А. Особливості росту рослин сорго зернового (Sorghum bicolor (L.) Moench) залежно від ширини міжрядь та норми висіву насіння в умовах Правобережного Лісостепу України // Plant Varieties Studying and Protection. 184 – 2021. – Т. 17, № 2. – С. 139 – 145. DOI: 10.21498/25181017.17.2.2021.236521.

77. Правдива Л. А., Гончарук Г. С. Вплив строків сівби на біоенергетичну продуктивність сорго зернового та соризу. Біоенергетика. 2022. № 1-2. С. 51 – 52. DOI: https://doi.org/10.47414/be.1-2.2022.271365

78. Правдива Л. А., Яланський О. В. Продуктивність та елементи структури врожайності різних сортів сорго звичайного двокольорового (Sorghum bicolor L.). Новітні агротехнології. Т. 10, № 3. DOI: 10.47414/na.10.3.2022.270497 2022.

79. Правдива Л., Присяжнюк О., Хахула В. та ін. Особливості росту і розвитку сорго під впливом регулятора росту. Scientific Horizons. 2023. Т. 26, № 9. С. 120 – 130. DOI: 10.48077/scihor9.2023.120.

80. Правдива Л.А., Яланський О.В. Продуктивність та елементи структури врожайності різних сортів сорго звичайного двокольорового (Sorghum bicolor L.). Новітні агротехнології. Т. 10. Вип. 3. DOI: 10.47414/na.10.3.2022.270497 2022.