РОСЛИННИЦТВО

УДК 633.174: 631.86 DOI: https://doi.org/10.47414/np.33.2025.346088

Вплив обробки насіння біологічними препаратами на продуктивність рослин *Sorghum bicolor* (L.) Moench. в умовах Правобережного Лісостепу України

І. І. Злиденний

Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН, вул. Клінічна, 25, м. Київ, 03110, Україна, e-mail: lpv197528@gmail.com

Мета. Установити оптимальні норми витрати біочару та мікоризоутворювального біопрепарату за передпосівної обробки насіння сорго звичайного (двокольорового), які забезпечують підвищення продуктивності й виходу біопалива з біомаси культури в умовах нестійкого зволоження Правобережного Лісостепу України. **Методи.** Польові дослідження проводили у 2023–2024 рр. на базі Білоцерківської дослідно-селекційної станції ІБКіЦБ НААН (Київська обл.) на чорноземах типових. Використано схему двофакторного досліду: фактор А – Біочар (0, 4 та 8 г/кг), фактор В – біопрепарат Мікофренд (0, 4 та 8 г/кг насіння). Висівали ранньостиглий гібрид сорго 'СВАТ'. Оцінювали польову схожість насіння, біометричні параметри рослин (висоту, діаметр стебла, кількість листків), урожайність зеленої та сухої біомаси, вихід насіння. Розрахунковим методом визначали вихід твердого біопалива, біоетанолу та загальний вихід енергії. Статистичну обробку даних здійснювали методами дисперсійного аналізу. **Результати.** Передпосівна обробка насіння мала виражений вплив на ріст і продуктивність рослин. Мікофренд у нормі 4 г/кг забезпечував інтенсивніше кущіння, збільшуючи кількість стебел на 27,5 % (до 3,25 шт.), а також сприяв потовщенню стебла на 11,9 %. Біочар у нормі 8 г/кг забезпечив максимальну висоту рослин (111,2 см), що на 16,9 % перевищувало контроль. Водночас найвищі показники продуктивності одержано у варіанті комплексної передпосівної обробки насіння Мікофрендом та біочаром (по 4 г/кг). Середня за два роки врожайність сухої біомаси становила 7,9 т/га, що на 31,7 % перевищувало контроль (6,0 т/га). Цей самий варіант забезпечив максимальний урожай насіння – 7,3 т/га (+23,7 %). Збільшення норми біочару до 8 г/кг без мікоризації не підвищувало продуктивність культури. Енергетичний аналіз підтвердив перевагу комплексного варіанта: вихід твердого біопалива становив 8,65 т/га (+32,0 %), потенційний вихід біоетанолу – 2,82 т/га (+23,7 %), загальний вихід енергії – 209,0 ГДж/га, що істотно перевищує показники не лише контролю (161,3 ГДж/га), а й варіантів із роздільною дією препаратів (171–183 ГДж/га). **Висновки.** Комплексна передпосівна обробка насіння сорго звичайного біочаром і Мікофрендом,

Як цитувати: 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. Вип. 33. С. 8–18. https://doi.org/10.47414/np.33.2025.346088

© The Author(s) 2025. Published by Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet of the NAAS of Ukraine. This is an open access article distributed under the terms of the license CC BY-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/), which permits use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

передусім за норми їх витрати 4 г/кг, забезпечує істотне підвищення врожайності біомаси, насіння та енергетичної продуктивності культури. Застосування біопрепаратів оптимізує реалізацію біоенергетичного потенціалу рослин і може бути рекомендоване як ефективний елемент технології вирощування сорго в умовах нестійкого зволоження.

Ключові слова: *продуктивність; біочар; біопаливо; біомаса; мікоризоутворювальні препарати; норма витрати.*

Вступ

У сучасних умовах рослинництво розглядається як провідний напрям у переході на зелену енергетику за рахунок формування великої кількості біомаси, що переробляється для виробництва біопалива [1]. Україна має природні можливості для нарощування виробництва до 49 млн тонн умовного палива (ум. п.) на рік [2]. Це дать змогу частково забезпечити потреби країни в паливі та підтримати курс на екологізацію виробництва і зменшення викидів в атмосферу.

Екологізація рослинництва дає змогу досягнути підвищення якості продукції, стабільності, зменшення ресурсовитрат в агровиробництві і глобальних процесах кругообігу основних біогенних елементів в агроценозах [3]. За впровадження екологізації, зменшується деградація ґрунтів і покращується родючість.

Раціональне природокористування покращується екологічне становище в світі і країні, при цьому зменшує енергоємність виробленої продукції за рахунок науково обґрунтованих застосувань біопрепаратів і методів на покращення екології [4, 5].

В Україні протягом років спостерігається позитивна динаміка по збільшення обсягів виробництва біомаси для отримання енергії, що свідчить про важливість ролі біоенергетики в енергетичний безпеці, стабільності і розвитку країни [6–8].

Біопрепарати дають можливість покращити стійкість рослин до умов навколишнього середовища, що в умовах клімату є суттєвою перевагою [9, 10]. Застосування біологічних препаратів, що в своїй основі складаються з мікроорганізмів, покращує показники якості насіння і зменшує вміст в них концерагенних речовин і хімікатів, які накопичуються шляхом внесення хімічних препаратів [11, 12]. Окрім покращення якості самого насіння, також спостерігається збільшення активності біоти в навколишньому середовищі [12].

Мікоризувальні біопрепарати, які застосовуються в сільському господарстві позитивно впливають на стійкість до умов навколишнього середовища і знижує ураження хворобами, покращує якісні показники насіння завдяки утворенню симбіозу між рослиною і мікроорганізмами [13, 14]. Біопрепарати також покращують розвиток кореневої системи в рослині, що покращує поглинання поживних речовин [15, 16]. У зоні Правобережного Лісостепу України проведена обмежена кількість досліджень впливу мікоризувальних біопрепаратів на розвиток кореневої системи рослин, тому необхідно збільшувати кількість таких дослідів.

У цьому досліді застосувався мікоризоутворювальний біопрепарат «Мікофренд». Цей біопрепарат в основі своїй несе мікоризоутворювальні гриби *Glomus* VS та *Trichoderma harzianum* та мікроорганізми *Streptomyces* sp., *Pseudomonas*, *Fluorescens*. Після застосування даного препарату на поверхню ґрунту чи насіння, починається активний розвиток і заселення мікроорганізмами навколишнього середовища. Цей препарат покращує розвиток кореневої системи, пригнічує кореневі гнилі. І за покращення стану кореневої системи йде краще поглинання поживних речовин та води з ґрунту, забезпечення амінокислотам та фітогормонами.

Біочар – це речовина, отримана в спеціальних умовах з низьким вмістом кисню і високими температурами, з вмістом чистого вуглецю близько 99 % [17, 18]. Порівняно з деревним вугіллям, велика пористість та сорбційні властивості біочару дають змогу краще утримувати вологу, сприяють фіксації поживних речовин та гумусоутворенню [19]. Крупніші фракції краще затримуються у ґрунті і значно довше справляють ефект удобрення [20]. У порах активно заселяються мікроорганізми, що утворюють симбіотичний зв'язок з корінням рослин, що робить біочар більш ефективним у використанні його з мікоризоутворювальними

препаратами. Тому на даний момент є доцільним проведення досліджень для виявлення впливу комплексу мікоризоутворювальних біопрепаратів та біочару.

Мета досліджень – установити оптимальні норми витрати біочару та мікоризоутворювального біопрепарату за передпосівної обробки насіння сорго звичайного (двокольорового), які забезпечують підвищення продуктивності й виходу біопалива з біомаси культури в умовах нестійкого зволоження Правобережного Лісостепу України

Матеріали та методика дослідження

Польові дослідження у 2023–2024 рр. проводили в зоні нестійкого зволоження Правобережного Лісостепу України на землях Білоцерківської дослідно-селекційної станції (БЦДСС) Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН за схемою двофакторного досліду (табл. 1).

Таблиця 1

Схема досліду

Фактор А – норма обробки насіння препаратом Біочар	*Фактор В* – норма обробки насіння препаратом Мікофренд
А1 – контроль; А2 – 4 г/кг; А3 – 8 г/кг	В1 – контроль; В2 – 4 г/кг; В3 – 8 г/кг

Площа посівної ділянки – 50 м^2 , облікової – 25 м^2. Повторність досліду – чотириразова. Загальна площа досліду – 0,18 га. Дослід закладається за методом систематичних повторювань: в кожному повторенні варіанти досліду розміщуються на ділянках послідовно. Сівбу проводили на глибину 4–6 см із шириною міжрядь 45 см та нормою висіву насіння 150 тис. шт./га (6–7 схожих насінин на 1 м рядка).

У ході досліджень польову схожість насіння визначали після повних сходів, обчислюючи відсоткове відношення кількості пророслого насіння до висіяного. Висоту рослин вимірювали від поверхні ґрунту до верхівки головного стебла у відповідні фази росту і розвитку за допомогою мірної лінійки. Діаметр стебла визначали штангенциркулем на висоті скошування рослин під час збирання. Урожайність з облікових ділянок визначали шляхом зважування зерна та біомаси з кожної ділянки з подальшим перерахунком на гектар.

У досліді використовували насіння сорго звичайного (двокольорового) ранньостиглого гібрида 'СВАТ' селекції Інституту зернових культур НААН. Маса 1000 насінин становила 28,2 ± 0,4 г за вологості насіння 14,1 ± 0,3 %.

Мікоризоутворювальний біопрепарат Мікофренд (ТУ У 24.1-30165603-020:2010), виготовлений на основі грибів *Glomus* sp. з додаванням мікроорганізмів, що підтримують утворення мікоризи та ризосфери рослин, а також фосфатмобілізувальних бактерій і біологічно активних речовини. Біопрепарат БМ-нанобіочар (ТУ У 20.1-2571100774-001:2021) отриманий термохімічним перетворенням біомаси з розміром часточок менше 5 мкм, загальною площею поверхні 864 м^2/г та вмістом вуглецю 95 %.

Отримані експериментальні дані обробляли методами описової статистики та дисперсійним аналізами з використанням програмного середовища Statistica 6.0.

Дослідне поле БЦДСС розміщене на чорноземах типових крупнопилуватого середньо-суглинкового механічного складу, з глибиною гумусового шару від 100 до 120 см з вмістом гумусу в орному шарі (0–30 см) – 3,05 %, що характерно для малогумусних чорноземів

Кількість опадів за вегетаційний період 2023 року склала 303,8 мм, що нижче середньої багаторічної норми на 10,6 %. Причому їх розподіл був вкрай нерівномірним як за місяцями, так і за декадами – від 253,3–127,0 % місячної норми у квітні, липні і жовтні до 9,8–33,0 % місячної норми у травні – червні та 20,8–34,7 % – у серпні – вересні. Кількість опадів за рік – 538 мм. Температура повітря за місяцями, окрім квітня і травня, була вищою за середньобагаторічні показники і, в середньому, перевищувала їх на 2,1 ºС.

Погодні умови 2023 р. в цілому був сприятливим для росту та розвитку буряків цукрових. Зокрема, за даними метеорологічних спостережень 2023 року Білоцерківської ДСС. За даними метеорологічних спостережень кількість опадів, що випала в цілому за вегетаційний період 2023 року була на 36,2 мм менша (рис. 1) за середні багаторічні значення, проте температура повітря була більшою на 14,9 °С (рис. 2).

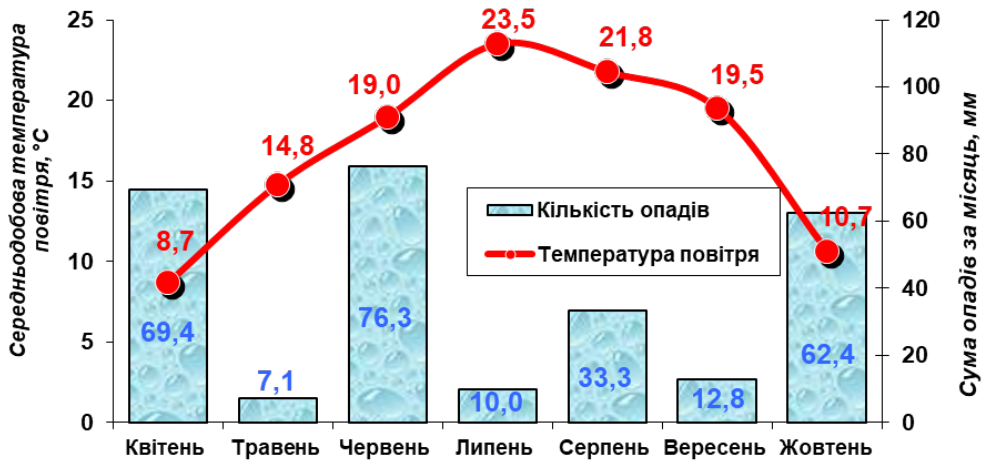

Рис. 1. Середньодобова температура повітря та кількість опадів за вегетаційний період (БЦДСС, 2023 р.)

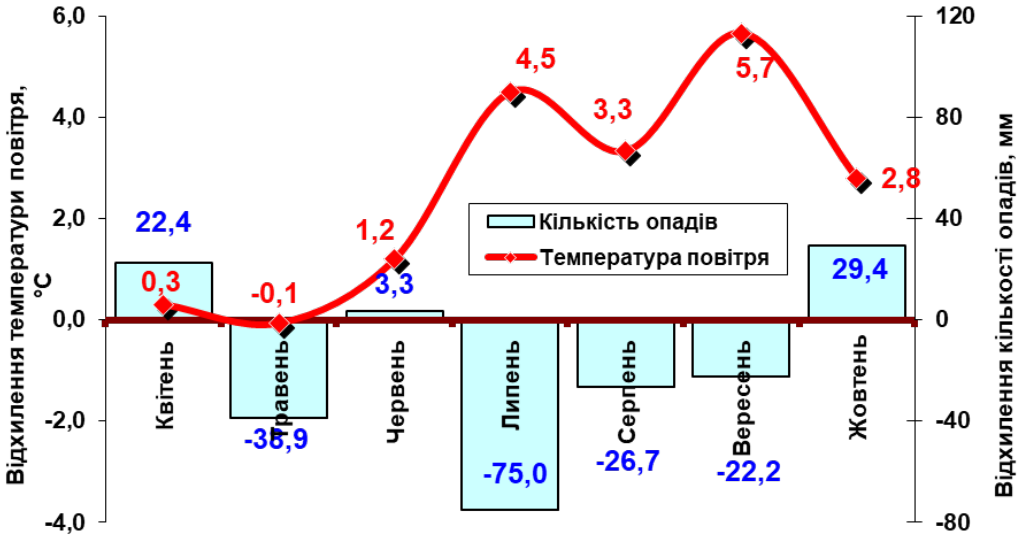

Рис. 2. Коливання середніх кліматичних значень за вегетаційний період (БЦДСС, 2023 р.)

Метеорологічні умови, що склалися впродовж вегетаційного періоду 2024 року на Білоцерківській дослідно-селекційній станції відмічались підвищеним температурним режимом (рис. 3) та дефіцитом вологи (рис. 4). Квітень місяць відмічався підвищеною температурою повітря, яка становила 12,4 °С, що на 4,0 °С вище ніж середні багаторічні значення. Це сприяло швидкому прогріванню ґрунту. У травні місяці температура повітря була більш близькою до багаторічних значень склала у середньому за місяць 15,7 °С. Літні місяці характеризувались значним підвищенням температури повітря на 3,0; 4,5 та 3,3 °С відповідно у червні, липні та серпні. Найбільше відхилення температури повітря від середніх багаторічних значень (+5,7 °С) відмічалось у вересні місяці, коли середньомісячна

температура становила 19,5 °С. У кінці вегетації (жовтень) температура повітря склала 10,7 °С, що на 2,8 °С перевищує багаторічні значення. Отже, впродовж усього вегетаційного періоду спостерігалось перевищення температури повітря на 3,5 °С у порівняні з середніми багаторічними значеннями.

Опади впродовж вегетаційного періоду надходили не регулярно. Найбільша кількість опадів випала в квітні (69,4 мм), червні (76,3 мм) та жовтня (62,4 мм), водночас найбільший дефіцит вологи відмічався в травні (7,1 мм), липні (10,0 мм) та вересні (12,8 мм). Найбільше перевищення кількості опадів порівняно з середніми багаторічними значеннями спостерігали у квітні (+22,4 мм) та жовтні (+29,4 мм), водночас у липні випало на 75 мм менше опадів порівняно з середнім багаторічним значенням (рис. 4). В цілому за період вегетації рослин випало на 107,7 мм менше опадів порівняно з середніми багаторічними значеннями.

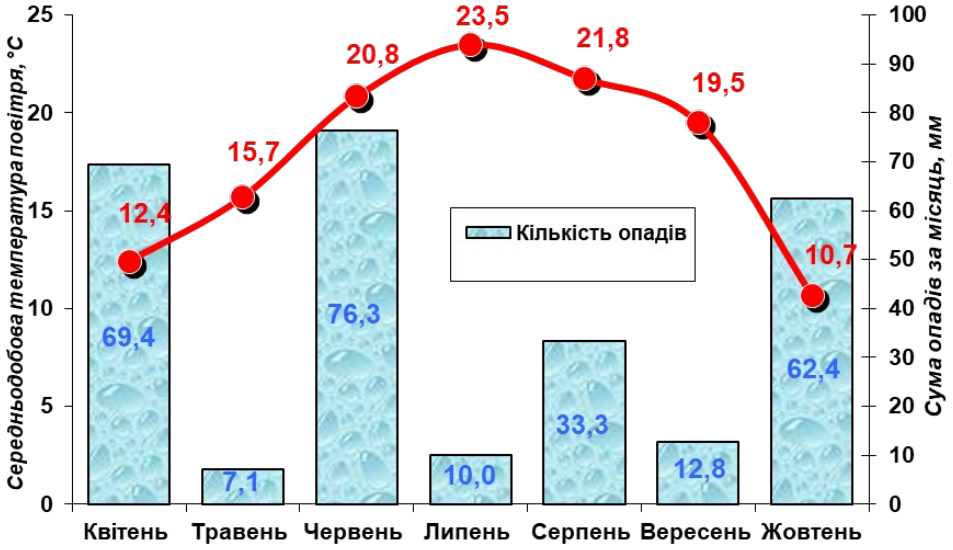

Рис. 3. Середньодобова температура повітря та кількість опадів за вегетаційний період (БЦДСС, 2024 р.)

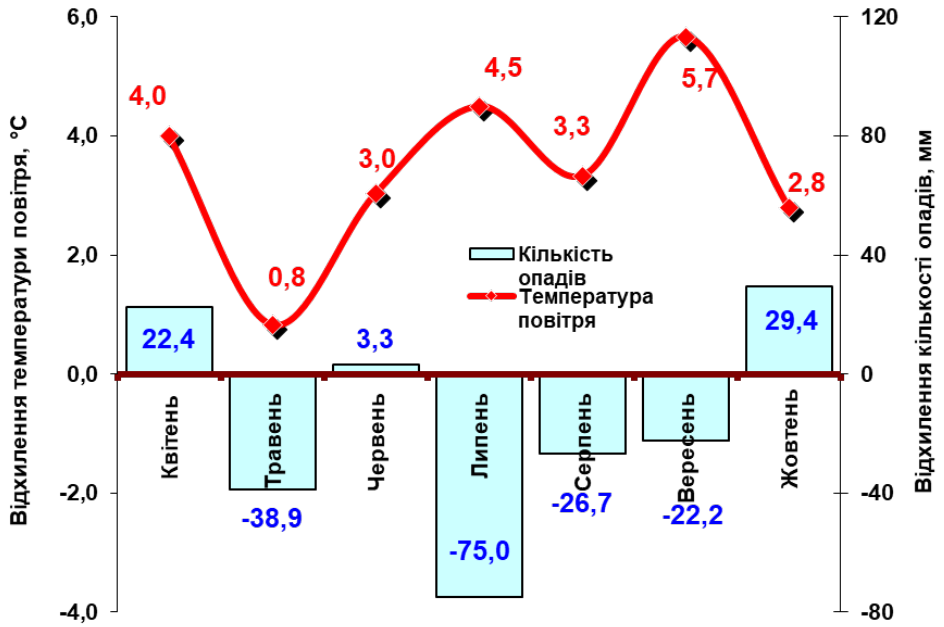

Рис. 4. Коливання середніх кліматичних значень за вегетаційний період (БЦДСС, 2024 р.)

Опади, що випали у квітні місяці за нормою більше ніж у 2,5 раза більше від середньо-багаторічних, дало змогу створити значний запас вологи в посівному шарі ґрунту та отримати дружні сходи сорго звичайного (двокольорового).

Результати досліджень

За результатами досліджень, проведених у зоні нестійкого зволоження на дослідних ділянках Білоцерківської ДСС встановлено, що обробка насіння сорго звичайного (двокольорового) препаратами біологічного походження не суттєво впливала на біометричні показники сорго звичайного (двокольорового) (табл. 2.).

Таблиця 2

Середні біометричні показники рослин сорго звичайного (двокольорового) залежно від обробки насіння біопрепаратами (2023–2024 рр.)

Варіант	Норма, г/кг		Кількість стебел, шт.	Висота рослин, см	Діаметр стебел, мм	Кількість листя, шт.
	Мікофренд	біочар				
1	0	0	2,55	95,80	15,55	7,75
2	0	4	2,75	90,95	15,40	7,45
3	0	8	3,05	111,20	14,35	8,00
4	4	0	3,25	102,40	17,40	7,20
5	4	4	2,75	94,30	15,95	7,05
6	4	8	2,95	103,90	17,15	7,30
7	8	0	2,92	91,70	16,55	6,75
8	8	4	3,05	87,40	16,65	7,35
9	8	8	3,05	98,50	15,80	6,85
$НІР_{0,05}$			0,16	5,73	0,73	0,31

Найвищий показник кількості стебел за два роки (3,25 шт.) спостерігався у варіанті, де насіння оброблялося біопрепаратом Мікофренд у нормі 4 г/кг насіння. Цей показник був більший за контрольний варіант на 27,5 %. Це свідчить про те, що Мікофренд може стимулювати ріст додаткових стебел, що може бути корисним для збільшення врожайності. Найменша кількість стебел спостерігалася у контрольному варіанті, де насіння не оброблялося, що підкреслює важливість обробки насіння для покращення біометричних показників.

Висота рослин є важливим показником, який впливає на загальну врожайність та стійкість рослин до вилягання. Найвищий показник висоти рослин за два роки досліджень (111,2 см) був отриманий у варіанті, де насіння оброблялося біочаром у нормі 8 г/кг насіння. Це на 16,9 % більше за контрольний варіант (95,8 см). Такий результат може свідчити про те, що біочар сприяє покращенню росту рослин, можливо, завдяки покращенню структури ґрунту та збільшенню доступності поживних речовин.

Діаметр стебла є важливим показником міцності рослин. Найкращий результат за показником діаметра стебла (17,4 мм) був отриманий у варіанті, де насіння оброблялося біопрепаратом Мікофренд у нормі 4 г/кг насіння. Це на 11,9 % більше за контрольний варіант. Такий результат може свідчити про те, що Мікофренд сприяє зміцненню стебел, що може бути важливим для стійкості рослин до вилягання та інших стресових факторів.

Кількість листя є важливим показником, який впливає на фотосинтетичну активність рослин. Кількість листя коливалася від 6,75 до 8,0 шт. Найкращий результат (8,0 шт.) був отриманий у варіанті, де насіння оброблялося біочаром у нормі 8 г/кг насіння, що на 3,2 % більше за контрольний варіант. Це може свідчити про те, що біочар сприяє збільшенню кількості листя, що може позитивно впливати на загальну продуктивність рослин.

За результатами досліджень, проведених у зоні нестійкого зволоження Правобережного Лісостепу України встановлено, що обробка насіння сорго звичайного (двокольорового) препаратами біологічного походження впливала на показники продуктивності (табл. 3).

Таблиця 3

Показники продуктивності сорго звичайного (двокольорового) залежно від обробки насіння біопрепаратами

Вар.	Норма витрати, г/кг		Урожайність, т/га								
			сирої біомаси			сухої біомаси			насіння		
	Міко-френд	біо-чар	2023	2024	сер.	2023	2024	сер.	2023	2024	сер.
1	0	0	12,9	10,2	11,6	6,6	5,3	6,0	6,3	5,4	5,9
2	0	4	13,5	12,4	13,0	6,8	6,4	6,6	5,6	5,8	5,7
3	0	8	13,6	12,1	12,9	6,5	6,2	6,4	6,1	5,5	5,8
4	4	0	13,1	12,2	12,7	7,2	6,1	6,7	5,9	6,0	6,0
5	4	4	15,5	13,9	14,7	8,2	7,5	7,9	7,7	6,8	7,3
6	4	8	16,3	12,7	14,5	8,1	6,8	7,5	7,5	6,1	6,8
7	8	0	14,3	13,0	13,7	7,1	6,7	6,9	6,4	6,3	6,4
8	8	4	16,0	14,3	15,2	7,7	7,4	7,6	6,1	6,0	6,1
9	8	8	14,5	12,7	13,6	7,5	6,5	7,0	6,4	6,3	6,4
$НІР_{0,05}$			0,92	0,89	0,91	0,68	0,59	0,64	0,60	0,5	0,6

За показником урожайності сухої біомаси вираженої в одиницях виміри т/га, найкращий результат отримано у варіанті, в якому насіння було оброблене біопрепаратами Мікофренд і біочар з нормою 4 г/кг – у 2024 становив 7,5 т/га, що більший за контроль на 41,5 %, у 2023 році 8,2 т/га, що більший за контроль на 24,2 %, а в середньому за два роки цей варіант більший за контроль на 31,7 %. За показником урожайності сухої біомаси, вираженої в одиницях виміру т/га, найгірший результат серед варіантів з обробкою насіння біопрепаратами був отриманий у варіанті, де насіння оброблялося біочаром у нормі 8 г/кг. У 2024 році цей варіант становив 6,2 т/га, що на 1,1 т/га менше за контроль, а у 2023 році – 6,5 т/га, що на 0,1 т/га менше за контроль. У середньому за два роки цей варіант менший за контроль на 0,4 т/га.

Урожайність вологої біомаси найвища у 2023 була отримана у варіанті, де насіння сорго звичайного (двокольорового) оброблялося біопрепаратами нормою по 4 г/кг біочаром та 8 г/кг Мікофрендом і становила 16,3 т/га, що на 26,4 % більше за контроль. У 2024 році найбільшу врожайність вологої біомаси отримано у варіанті, в якому насіння оброблялось Мікофрендом 8 г/кг та біочаром 4 г/кг і становила 14,3 т/га, що більший за контроль 40,1 %. За показником урожайності вологої біомаси, вираженої в одиницях виміру т/га, найгірший результат серед варіантів з обробкою насіння біопрепаратами був отриманий у варіанті, де насіння оброблялося біочаром у нормі 8 г/кг. У 2024 році цей варіант становив 12,1 т/га, що на 1,9 т/га менше за контроль, а у 2023 році – 13,6 т/га, що на 0,7 т/га більше за контроль. У середньому за два роки цей варіант менший за контроль на 0,2 т/га.

Урожайність насіння у 2024 та 2023 роках було отримано у варіанті де насіння оброблялось нормою біопрепратів 4 г на кілограм та становила 6,8 т/га, що на 25,9 % більше контролю, та 7,7 т/га, що на 22,2 % більше за контроль. У середньому за два роки цей варіант більший за контроль на 23,7 %. Найгірший показник спостерігався в варіантах де насіння оброблено біочаром нормою 4 г/кг, що в середньому за два роки становило 5,7 т/га, що менший за контроль на 3,4 %.

Установлено, що обробка насіння сорго звичайного (двокольорового) препаратами біологічного походження суттєво впливала на кількість отриманого біопалива та вихід енергії (табл. 4).

За показником вихід твердого біопалива найвищий результат за два роки було отримано 8,65 т/га, що порівняно з контролем вищий на 32,0 %. Насіння сорго звичайного (двокольорового) у цьому варіанті було оброблено двома біопрепаратами з такими нормами –

Мікофренд 4 г/кг, біочар 4 г/га. Найгірший результат 6,55 т/га спостерігався у варіанті, де насіння не було оброблено біопрепаратами.

Таблиця 4

Середній вихід біопалива та енергії з біомаси сорго звичайного (двокольорового) за два роки

Вар.	Норма витрати, г/кг		Вихід біопалива, т/га		Вихід енергії, ГДж/га		
	Мікофренд	біочар	тверде біопаливо	біоетанол	тверде біопаливо	біоетанол	разом
1	0	0	6,55	2,28	104,50	56,80	161,30
2	0	4	7,25	2,22	115,85	55,45	171,30
3	0	8	7,00	2,26	111,60	56,35	170,45
4	4	0	7,30	2,32	116,95	57,90	174,85
5	4	4	8,65	2,82	123,55	70,45	209,00
6	4	8	8.20	2,65	131,30	66,10	197,35
7	8	0	7,60	2,47	121,70	61,65	183,35
8	8	4	8,30	2,36	132,55	58,85	191,40
9	8	8	7,70	2,47	122,80	61,70	184,50

За вмістом біоетанолу найвищий результат (2,82 т/га), що на 23,7 % більший за контроль насіння сорго звичайного (двокольорового) яке було оброблено двома біопрепаратами з нормою 4 г/га насіння. У варіанті 2, у якому насіння оброблялось Мікофрендом нормою 4 г/кг, було отримано меншу кількість біоетанолу на 2,7 % порівняно з контролем.

За показником загальний вихід енергії за два роки найвищий показник (209,00 ГДж/га), що на 29,6 % більший за контроль було отримано у варіанті, насіння якого було оброблено двома біопрепаратами з нормами 4 г/кг.

Висновки

Найкращі показники біометричних характеристик рослин, зокрема кількість стебел (3,25 шт.), висота (111,2 см), діаметр стебла (17,4 мм) та кількість листків (8,0 шт.), були досягнуті у варіантах у яких обробка була при нормах 4–8 г/кг.

Урожайність насіння у варіантах із одночасним внесенням Мікофренду та біочару в нормі 4 г/кг досягала 8,2 т/га у 2023 році та 7,5 т/га у 2024 році, що в середньому на 31,7 % вище за контроль.

Найбільший вихід біомаси для твердого біопалива (8,65 т/га), біоетанолу (2,82 т/га) та загальної енергії (209,0 ГДж/га) також отримано у варіантах з комбінованим застосуванням біопрепаратів у нормі 4 г/кг, що відповідно на 32,0; 23,7 та 29,6 % перевищувало контрольні значення.

Загалом обробка насіння сорго біопрепаратами, особливо у варіантах з поєднанням Мікофренду та біочару, сприяє поліпшенню росту й розвитку рослин, підвищенню врожайності, а також збільшенню енергетичного потенціалу культури. Це дозволяє рекомендувати їх використання як ефективний елемент біотехнологічного підходу до вирощування сорго в умовах нестійкого зволоження.

Використана література

1. Пащенко Ю. Перспектива вирощування сорго. *Агроперспектива*. 2009. № 12. С. 57–60. URL: http://agro.web-archive.in.ua/archive/2009/12/57-60.pdf

2. Роїк М. В., Сінченко В. М., Бондар В. С. та ін. Концепція розвитку біоенергетики в Україні на період до 2035 року. *Біоенергетика*. 2019. № 2. С. 4–9. https://doi.org/10.47414/be.2.2019.229304

3. Горщар О. А., Горщар В. І., Окселенко О. М. Вплив біопрепарату Альбіт на розвиток хвороб в період вегетації ячменю ярого та його врожайність. *Таврійський науковий вісник*. 2015. № 92. С. 9–14. https://doi.org/10.32857/2663-0870.2015.92.2

4. Виробництво енергії з біомаси в Україні: технології, розвиток, перспективи / за ред. Г. Гелетухи. Київ : Академперіодика, 2022. 373 с. https://doi.org/10.15407/akademperiodyka.464.373

5. Гончарук Т. Розвиток та ефективність виробництва сільськогосподарської продукції – сировини для переробки на біопаливо. *Економіка АПК*. 2013. № 8. С. 128–133. URL: https://eapk.com.ua/uk/journals/tom-20-8-2013/rozvitok-ta-efektivnist-virobnitstva-silskogospodarskoyi-produktsiyi-sirovini-dlya-pererobki-na-biopalivo

6. Іванюк О. Перспективи енергетичного використання біомаси. *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування*. 2009. Вип. 1 : Економіка. С. 83–88. URL: http://ir.nuwm.edu.ua/jspui/handle/123456789/10842

7. Фізіологія рослин / за ред. М. М. Макрушина. Вінниця : Нова Книга, 2006. 416 с.

8. Калетник Г. М. Біопаливна галузь і енергетична та продовольча безпека України. *Вісник аграрної науки*. 2009. № 8. С. 62–64. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Van_2009_8_18

9. Дубровін В. О. Розвиток технологій використання рослинницької продукції на енергетичні потреби в Україні. *Аграрна наука і освіта*. 2004. Т. 5, № 1–2. С. 86–91. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ano_2004_5_1-2_19

10. Відновлювані джерела енергії / за заг. ред. С. О. Кудрі. 2-ге вид., допов. Київ : Інститут відновлюваної енергетики НАНУ, 2024. 492 с.

11. Застосування біопрепаратів в технології вирощування зернових культур за умов природного зволоження та зрошення зони Південного Степу України : наук.-практ. рек. / О. А. Коваленко та ін. Миколаїв : МНАУ, 2019. 48 с. URL: https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/7266

12. Вирощування біоенергетичних культур / за ред. М. Я. Гументика. Київ : Компринт, 2018. 179 с.

13. Lewis D. H. Symbiosis and mutualism: crisp concepts and soggy semantics. *The Biology of Mutualism, Ecology and Evolution* / edited by D. H. Boucher. London, UK : Croom Helm, 1985. P. 29–38. https://doi.org/10.1007/978-1-4757-0740-0_2

14. Копилов Є. П. Ґрунтові гриби як біотичний чинник впливу на рослини. *Сільськогосподарська мікробіологія*. 2012. № 15–16. С. 7–28. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/smik_2012_15-16_3

15. Гуральчук Ж. З. Дія арбускулярних мікориз на надходження елементів живлення і стійкість рослин до несприятливих чинників довкілля. *Сільськогосподарська мікробіологія*. 2011. Т. 12. С. 7–26. https://doi.org/10.35868/1997-3004.12.7-26

16. Екологія мікроорганізмів / за ред. В. П. Патики. Київ : Основа, 2007. 192 с.

17. Нурмухаммедов А. К., Ганженко О. М. Застосування біочару в сільському господарстві (огляд літератури). *Біоенергетика*. 2022. № 1–2. С. 19–21. https://doi.org/10.47414/be.1-2.2022.271345

18. Palviainen M., Berninger F., Bruckman V. J. et al. Effects of biochar on carbon and nitrogen fluxes in boreal forest soil. *Plant Soil*. 2018. Vol. 424, Iss. 1–2. P. 71–85. https://doi.org/10.1007/s11104-018-3568-y

19. Sagrilo E., Jeffery S., Hoffland E., Kuyper T. W. Emission of CO_2 from biochar-amended soils and implications for soil organic carbon. *GCB Bioenergy*. 2014. Vol. 7, Iss. 6. P. 1294–1304. https://doi.org/10.1111/gcbb.12234

20. Мандро Ю. Н., Давидова І. В. Перспективи застосування деревного вугілля (біочару) як ефективного контрзаходу для радіоактивно забруднених і деградованих лісових екосистем. *Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України*. 2020. Т. 30, № 4. С. 92–98. https://doi.org/10.36930/40300416

Referenses

1. Pashchenko, Yu. (2009). Prospect of sorghum cultivation. *Agroperspectiva*, *12*, 57–60. http://agro.web-archive.in.ua/archive/2009/12/57-60.pdf [In Ukrainian]

2. Roik, M. V., Sinchenko, V. M., Bondar, V. S., Fursa, A. V., & Humentyk, M. Ya. (2019). Concept of bioenergy development in Ukraine for the period up to 2035. *Bioenergy*, *2*, 4–9. https://doi.org/10.47414/be.2.2019.229304 [In Ukrainian]

3. Horshchar, O. A., Horshchar, V. I., & Okselenko, O. M. (2015). The influence of biopreparation Albit on the development of diseases during the vegetation period of spring barley and its yield. *Tavrian Scientific Herald*, *92*, 9–14. [In Ukrainian]

4. Geletukha, H. (Ed.). (2022). *Energy production from biomass in Ukraine: technologies, development and prospects*. Akademperiodyka. https://doi.org/10.15407/akademperiodyka.464.373 [In Ukrainian]

5. Honcharuk, T. (2013). Development and effectiveness of agricultural products production – raw materials for biofuel processing. *The Economy of Agro-Industrial Complex*, *20*(8), 128–133. https://eapk.com.ua/uk/journals/tom-20-8-2013/rozvitok-ta-efektivnist-virobnitstva-silskogospodarskoyi-produktsiyi-sirovini-dlya-pererobki-na-biopalivo [In Ukrainian]

6. Ivaniuk, O. (2009). Prospects for energy use of biomass. *Bulletin of the National University of Water and Environmental Engineering*, *1*, 83–88. [In Ukrainian]

7. Makrushyn, M. M. (Ed.). (2006). *Plant physiology*. Nova Knyha. [In Ukrainian]

8. Kaletnik, H. M. (2009). Biofuel industry and energy and food security of Ukraine. *Bulletin of Agricultural Science*, *8*, 62–64. http://nbuv.gov.ua/UJRN/Van_2009_8_18 [In Ukrainian]

9. Dubrovin, V. O. (2004). Development of technologies for using crop production for energy needs in Ukraine. *Agrarian Science and Education*, *5*(1–2), 86–91. [In Ukrainian]

10. Kudria, S. O. (Ed.). (2024). *Renewable energy sources* (2nd ed., rev.). Institute of Renewable Energy of the National Academy of Sciences of Ukraine. [In Ukrainian]

11. Kovalenko, O. A., et al. (2019). *Application of biological preparations in the technology of growing grain crops under natural moisture and irrigation conditions in the Southern Steppe zone of Ukraine*. MNAU. https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/7266 [In Ukrainian]

12. Humentyk, M. Ya. (Ed.). (2018). *Cultivation of bioenergy crops*. Komprint. [In Ukrainian]

13. Lewis, D. H. (1985). Symbiosis and mutualism: Crisp concepts and soggy semantics. In D. H. Boucher (Ed.), *The Biology of Mutualism, Ecology and Evolution* (pp. 29–38). Croom Helm. https://doi.org/10.1007/978-1-4757-0740-0_2

14. Kopilov, E. (2012). Soil fungi as biotic factor of influence on plants. *Agricultural Microbiology*, *15*, 7–28. https://doi.org/10.35868/1997-3004.15.7-28 [In Ukrainian]

15. Guralchuk, Z. (2011). Effect of arbuscular mycorrhiza on the uptake of nutrients and plant tolerance to unfavorable environmental factors. *Agricultural Microbiology*, *12*, 7–26. https://doi.org/10.35868/1997-3004.12.7-26 [In Ukrainian]

16. Patyka, V. P. (Ed.). (2007). *Ecology of microorganisms*. Osnova. [In Ukrainian]

17. Nurmuhammedov, A. K., & Hanzhenko, O. M. (2022). Application of biochar in agriculture (literature review). *Bioenergy*, *1–2*, 19–21. https://doi.org/10.47414/be.1-2.2022.271345 [In Ukrainian]

18. Palviainen, M., Berninger, F., Bruckman, V. J., Vesterlund, N., & Rautio, P. (2018). Effects of biochar on carbon and nitrogen fluxes in boreal forest soil. *Plant and Soil*, *424*(1–2), 71–85. https://doi.org/10.1007/s11104-018-3568-y

19. Sagrilo, E., Jeffery, S., Hoffland, E., & Kuyper, T. W. (2014). Emission of CO_2 from biochar-amended soils and implications for soil organic carbon. *GCB Bioenergy*, *7*(6), 1294–1304. https://doi.org/10.1111/gcbb.12234

20. Mandro, Y. N., & Davydova, I. V. (2020). Some prospects for the use of charcoal (biochar) as an effective countermeasure for radioactively contaminated and degraded forest ecosystems. *Scientific Bulletin of UNFU*, *30*(4), 92–98. https://doi.org/10.36930/40300416 [In Ukrainian]

UDC 633.174: 631.86

Zlydennyi, I. I. (2025). Effect of Seed Treatment with Bioreparation on the Sorghum bicolor (L.) Moench Productivity in the Right-Bank Forest Steppe of Ukraine. *Scientific Papers of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet*, *33*, 8–18. https://doi.org/10.47414/np.33.2025.346088 [In Ukrainian]

Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet, NAAS of Ukraine, 25 Klinichna St., Kyiv, 03110, Ukraine, e-mail: lpv197528@gmail.com

Purpose. To establish the optimal application rates of biochar and a mycorrhiza-forming biopreparation for seed treatment of sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench], ensuring increased productivity and biofuel yield from crop biomass under unstable moisture conditions of the Right-Bank Forest Steppe of Ukraine. **Methods.** Field experiments were carried out in 2023–2024 at the Bila Tserkva Experimental Breeding Station of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet NAAS (Kyiv region) on typical chernozem soils. A two-factor experimental design was used: factor A – biochar (0, 4, and 8 g/kg) and factor B – biopreparation Mycofriend (0, 4, and 8 g/kg of seed). An early-maturing sorghum hybrid 'Svat' was used in the study. Field germination of seeds, biometric parameters of plants (height, stem diameter, number of leaves), yield of green and dry biomass, and seed yield were evaluated. The yield of solid biofuel, bioethanol, and total energy output was determined by calculation. Statistical data processing was performed using analysis of variance methods. **Results.** Seed treatment positively affected plant growth and productivity. Mycofriend at a rate of 4 g/kg ensured more intensive tillering, increasing the number of stems by 27.5% (up to 3.25 per plant), and contributed to stem thickening by 11.9%. Biochar at an application rate of 8 g/kg provided the maximum plant height (111.2 cm), which exceeded the control by 16.9%. At the same time, the highest productivity indicators were obtained in the seed treatment with Mycofriend combined with the application of biochar (4 g/kg each). The average dry biomass yield over two years was 7.9 t/ha, which exceeded the control (6.0 t/ha) by 31.7%. This treatment also ensured the maximum seed yield of 7.3 t/ha (+23.7%). Increasing the biochar rate to 8 g/kg without mycorrhisation did not improve crop productivity. Energy analysis confirmed the advantage of the combined treatment: solid biofuel yield was 8.65 t/ha (+32.0%), potential bioethanol yield was 2.82 t/ha (+23.7%), and total energy output was 209.0 GJ/ha, which significantly exceeded not only the control (161.3 GJ/ha) but also the treatments with separate application of the biopreparation (171–183 GJ/ha). **Conclusions.** Seed treatment of sorghum seeds combined with the application of biochar and Mycofriend, especially at an application rate of 4 g/kg, ensures a significant increase in biomass yield, seed yield, and energy productivity of the crop. The application of biopreparation optimises the realisation of the bioenergy potential of plants and can be recommended as an effective practice for sorghum cultivation under unstable moisture conditions.

Keywords: *productivity; biochar; biofuel; biomass; mycorrhiza-forming preparations; application rate.*

Надійшла / Received 18.09.2025
Погоджено до друку / Accepted 11.10.2025
Опубліковано онлайн / Published online 29.12.2025