

УДК 633.174: 631.86

## Вплив обробки насіння біологічними препаратами на формування продуктивності рослин сорго звичайного (двокольорового) на малопродуктивних землях

О. М. Ганженко\* , І. І. Злиденний 

Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН, вул. Клінічна, 25, м. Київ, 03110, Україна

\*Автор для листування: Олександр Ганженко, [ganzhenko74@gmail.com](mailto:ganzhenko74@gmail.com)

**Цитування:** Ганженко О. М., Злиденний І. І. Вплив обробки насіння біологічними препаратами на формування продуктивності рослин сорго звичайного (двокольорового) на малопродуктивних землях. *Біоенергетика*. 2025. № 2. С. 15–24. <https://doi.org/10.47414/be.2025.No2.pp15-24>

**Мета.** Установити закономірності формування продуктивності сорго звичайного (двокольорового) за комбінованої передпосівної обробки насіння різними нормами біопрепаратів на малопродуктивних ґрунтах у зоні нестійкого зволоження Правобережного Лісостепу України. **Методи.** Польові дослідження виконано у 2023–2025 рр. на Ялтушківській дослідно-селекційній станції Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН (Вінницька обл.) у двофакторному досліді: фактор А – мікоризоутворювальний препарат Мікофренд (0, 4, 8 г/кг), фактор В – вуглецевмісний адсорбент БМ-нанобіочар (0, 4, 8 г/кг). Висівали ранньостиглий гібрид ‘СВАТ’. Обліковували польову схожість, біометричні показники (кущистість, висоту, діаметр стебла, кількість листків), урожайність сухої біомаси та насіння. **Результати.** Комбінована інокуляція насіння достовірно активізувала початкові етапи органогенезу та подальше формування врожаю. Польова схожість зросла з 74,9% у контролі до 82,7% за сумісного внесення обох препаратів у нормі 4 г/кг (+7,8% до контролю;  $НІР_{0,05} = 3,6\%$ ). Посилення ростових процесів проявилось у збільшенні кущистості на 36,3%, висоти рослин – на 41,0%, діаметра стебла – на 43,9% порівняно з контролем. Найвища урожайність сухої біомаси (8,16 т/га) отримана за поєднання препаратів по 4 г/кг, що на 30,1% перевищувало контрольний варіант (6,27 т/га;  $НІР_{0,05} = 1,06$  т/га). Підвищення норм до 8 г/кг не забезпечувало додаткового приросту, що свідчить про дозозалежний ефект із вираженим біологічним оптимумом. Аналогічна тенденція встановлена для насінневої продуктивності: максимальний показник 7,41 т/га перевищував контроль (6,23 т/га) на 18,9% ( $НІР_{0,05} = 0,73$  т/га). У формуванні врожайності сухої біомаси домінував фактор БМ-нанобіочару (57,9%), тоді як внесок Мікофренду становив 31,8%. Варіювання насінневої продуктивності найбільше залежало від погодних умов року (35,2%) і застосування БМ-нанобіочару (32,2%), що підкреслює адаптивну роль обробки насіння в різних гідротермічних режимах. **Висновки.** Установлено наявність оптимуму норми витрати для комбінованої обробки насіння сорго – 4 г/кг кожного препарату, що забезпечує статистично підтвержене зростання морфоструктурних показників і врожайності в умовах малопродуктивних сірих лісових ґрунтів. Отримані результати доводять доцільність включення досліджених біопрепаратів до адаптивних технологій вирощування сорго звичайного (двокольорового) в умовах кліматичної мінливості.

**Ключові слова:** висота рослин; діаметр стебла; кущистість; нанобіочар; мікоризоутворювальний препарат; польова схожість насіння; урожайність насіння; урожайність сухої біомаси.

Одержано 21.11.2025 • Погоджено 18.12.2025 • Опубліковано онлайн 29.12.2025

© Автор(и), 2025. Видавець Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України. Це стаття відкритого доступу, що розповсюджується на умовах ліцензії CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>), яка дозволяє використання, розповсюдження та відтворення на будь-яких носіях за умови належного цитування оригінальної роботи.



## Вступ

Сорго звичайне (двокольорове) [*Sorghum bicolor* (L.) Moench.] на сучасному етапі розвитку агрономії розглядається як одна з найбільш перспективних культур для адаптації рослинництва до глобальних екологічних викликів. Завдяки низькому коефіцієнту транспірації та винятковій посухостійкості, сорго стає стратегічним ресурсом для сільськогосподарських виробників в умовах прогресуючого дефіциту вологи та підвищення середньорічних температур. Універсальність цієї культури дає змогу комплексно використовувати її біомасу (як зерно, так і стебла) для продовольчих потреб, створення високоякісної кормової бази та як сировину для біоенергетичної галузі [1].

Посилення інтересу до сорго тісно пов'язане з трансформацією світової економіки в напрямку циркулярних моделей та кліматичної нейтральності. Це корелює з положеннями Паризької Кліматичної Угоди [2] та стратегічними цілями Зеленого Європейського Курсу [3]. У межах цих ініціатив особливе значення має впровадження ресурсоефективних технологій, які мінімізують антропогенне навантаження на екосистеми. Зокрема, йдеться про поступову відмову від надмірного застосування синтетичних добрив та пестицидів на користь препаратів біологічного походження, що дає змогу зберегти біорізноманіття ґрунту та підвищити екологічність кінцевої продукції сорго.

На сьогодні наукова спільнота накопичила значний масив даних щодо оптимізації типових технологій вирощування сорго звичайного (двокольорового) у різноманітних ґрунтово-кліматичних зонах України [4–8]. Окремі дослідження присвячені інноваційним методам передпосівної підготовки, зокрема вивченню впливу нанобіочару та Мікофренду на посівні якості насіння [9]. Проте, попри наявність бази щодо агротехніки, у науковій літературі спостерігається певний дефіцит системних досліджень, спрямованих на вивчення комплексного впливу сучасних біопрепаратів на процеси формування продуктивності рослин сорго звичайного (двокольорового) на малопродуктивних землях.

Одним із найперспективніших напрямів інтенсифікації вирощування сорго є застосування біочару. Цей меліорант не лише сприяє зростанню врожайності та поліпшенню агрофізичних показників ґрунту, а й виконує важливу функцію депонування вуглецю, зменшуючи емісію парникових газів [10, 11]. Особливий науковий інтерес викликає синергетичний ефект від поєднання біочару з мікоризоутворювальними біопрепаратами [12, 13]. Така комбінація стимулює активне заселення кореневої системи мікоризними грибами, а також оптимізацію водного режиму рослин, що критично важливо в умовах змін клімату [14–16].

Ураховуючи доведену ефективність обробки насіння мікоризувальними препаратами для підвищення енергії проростання та схожості насіння різних культур [17, 18], актуальним завданням постає глибше вивчення цих механізмів саме для сорго звичайного (двокольорового) як ключового елемента сталого агроценозу.

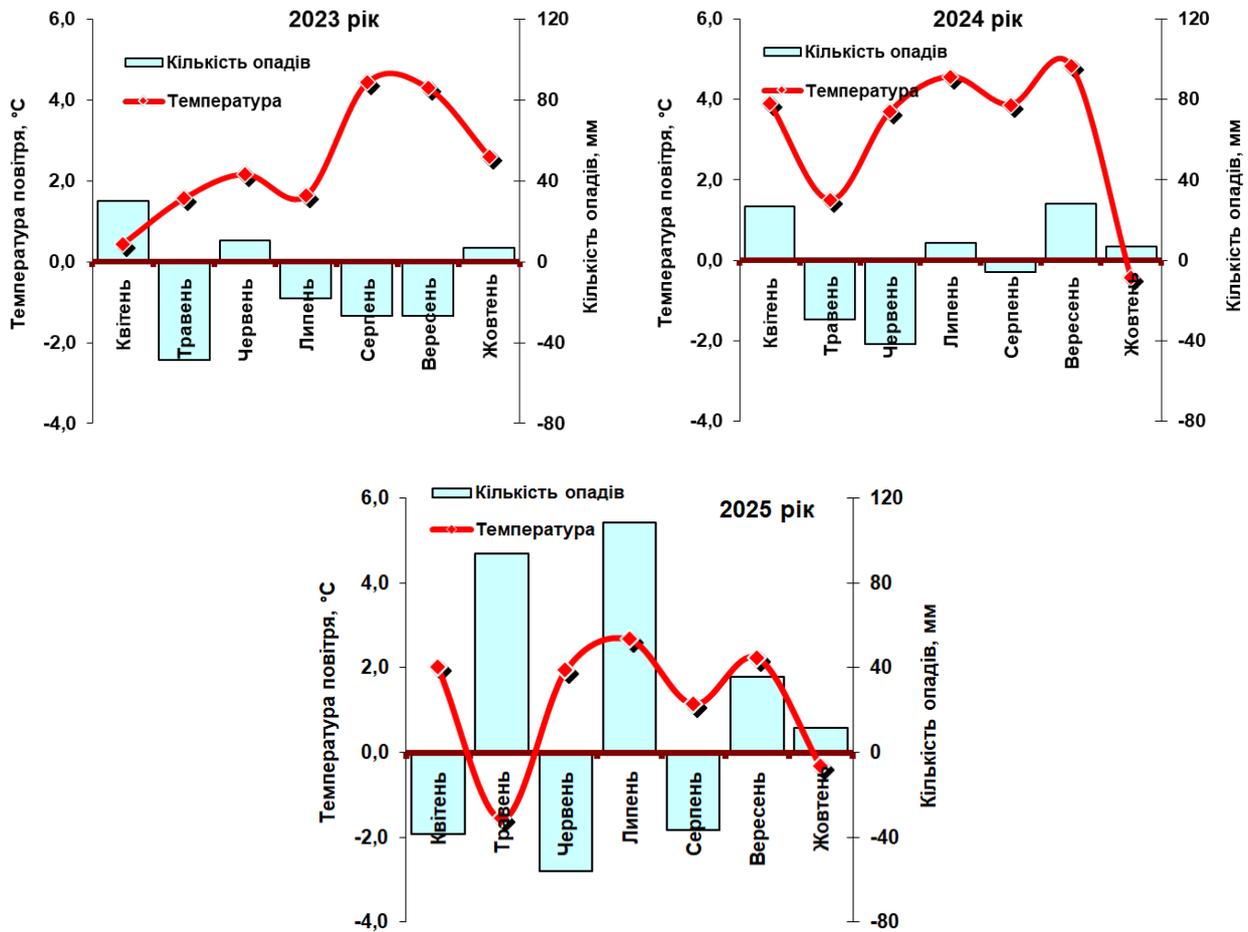
*Мета дослідження* – установити закономірності формування продуктивності сорго звичайного (двокольорового) за комбінованої передпосівної обробки насіння різними нормами біопрепаратів на малопродуктивних ґрунтах у зоні достатнього зволоження Правобережного Лісостепу України.

## Матеріали та методи дослідження

Польові дослідження виконували впродовж 2023–2025 рр. на Ялтушківській дослідно-селекційній станції (ЯДСС) Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН (Вінницька обл.), що розташована в умовах нестійкого зволоження Правобережного Лісостепу України.

Ґрунт дослідного поля – сірий лісовий легкосуглинковий. Агрохімічні показники орного шару (0–30 см) характеризувалися такими значеннями: вміст гумусу (за Тюрнімом) – 0,86%; лужногідролізованого азоту (за Корнфілдом) – 63,0 мг/кг; рухомого фосфору та калію (за Чириковим) – 109 і 119 мг/кг ґрунту відповідно; рН сольове – 5,3; гідролітична кислотність (за Каппеном) – 2,9 мг-екв/100 г ґрунту; сума ввібраних основ – 22,4 мг-екв/100 г ґрунту; ступінь насичення основами – 80–83%.

Погодні умови 2023 року характеризувалися підвищеним температурним фоном і дефіцитом опадів порівняно із середніми багаторічними показниками (рис. 1). Упродовж усього вегетаційного періоду середньомісячна температура повітря перевищувала кліматичну норму. Найменше відхилення зафіксовано у квітні (0,4 °C), найбільше – у серпні та вересні (4,4 і 4,3 °C відповідно). У середньому за вегетаційний період температура повітря перевищувала норму на 2,4 °C, а дефіцит опадів становив 73,5 мм. За ГТК (0,77) умови 2023 року відповідали слабкій посусі.



**Рис. 1.** Відхилення від середніх багаторічних значень температури повітря та кількості опадів (2023–2025 рр.)

У 2024 р. температурний режим упродовж вегетаційного періоду характеризувався перевищенням середніх багаторічних значень, за винятком жовтня. Найменше відхилення від кліматичної норми зафіксовано у жовтні (–0,4 °C) та травні (+1,5 °C), найбільше – у квітні (+3,9 °C), серпні (+3,7 °C) і вересні (+4,8 °C). У середньому за вегетаційний період температура повітря перевищувала норму на 3,1 °C. Дефіцит опадів становив 6,6 мм. За гідротермічним коефіцієнтом (ГТК = 1,1) умови 2024 року оцінювалися як достатньо вологі.

Метеорологічні умови 2025 року відзначалися значною строкатістю та відхиленнями від типових для зони показників, насамперед за режимом зволоження. За винятком травня та жовтня, середньомісячна температура повітря перевищувала середні багаторічні значення. У середньому за вегетаційний період перевищення становило 1,2 °C, що є меншим порівняно з 2023–2024 рр.

Надходження опадів у період вегетації рослин сорго звичайного (двокольорового) характеризувалося вираженою нерівномірністю. Значний надлишок вологи зафіксовано у травні (+94,0 мм) і липні (+108,7 мм), а також у вересні (+35,5 мм) та жовтні (+11,5 мм). Водночас у квітні, червні та серпні спостерігався дефіцит опадів, який становив відповідно 38,5; 55,9 і

36,7 мм відносно середніх багаторічних показників. Загалом за вегетаційний період кількість опадів перевищила норму на 118,6 мм, а значення ГТК дорівнювало 1,7, що відповідає надмірно вологим умовам.

Узагальнений аналіз метеорологічних показників за 2023–2025 рр., що склалися впродовж вегетації на ЯДСС, свідчить про стійку тенденцію до підвищення середньодобової температури повітря порівняно з багаторічними нормами. Рівень перевищення варіював від 1,2 °С у 2025 році до 2,4–3,1 °С у 2023–2024 рр. Режим зволоження характеризувався значною міжрічною мінливістю: у 2023 році відзначено дефіцит опадів і прояви слабкої посухи (ГТК = 0,77), у 2024 році – достатнє зволоження (ГТК = 1,1), тоді як у 2025 році сформувалися надмірно вологі умови з профіцитом опадів 118,6 мм за період вегетації рослин сорго звичайного (двокольорового) (ГТК = 1,7).

Насіння сорго звичайного (двокольорового) безпосередньо перед сівбою обробляли мікоризоутворювальним біопрепаратом Мікофренд (фактор А) та вуглецевмісним адсорбентом БМ-нанобіочар (фактор В) у нормах кожного 0, 4 і 8 г на 1 кг насіння (табл. 1).

**Таблиця 1.** Схема двофакторного польового досліджу

Фактор А – норма застосування БМ-нанобіочар	Фактор В – норма застосування Мікофренд
А1 (контроль)	В1 (контроль)
А2 – 4 г/кг	В2 – 4 г/кг
А3 – 8 г/кг	В3 – 8 г/кг

Площа посівної ділянки становила 50 м<sup>2</sup>, облікової – 25 м<sup>2</sup>. Повторність досліджу – чотириразова. Загальна площа досліджу – 0,18 га.

Дослід закладено за методом систематичних повторювань, згідно з яким у межах кожного повторення варіанти розміщували послідовно. Сівбу проводили на глибину 4–6 см із шириною міжрядь 45 см та розрахунковою густиною стояння 150 тис. шт./га (6–7 схожих насінин на 1 м рядка). У досліді використовували насіння сорго звичайного (двокольорового) ранньостиглого гібрида ‘Сват’ селекції Інституту зернових культур НААН [19]. Маса 1000 насінин становила 28,2 ± 0,4 г за вологості 14,1 ± 0,3 %.

Мікоризоутворювальний біопрепарат Мікофренд (ТУ У 24.1-30165603-020:2010) виготовлено на основі грибів роду *Glomus* із додаванням мікроорганізмів, що стимулюють формування мікоризи та розвиток ризосфери, а також фосфатмобілізуювальних бактерій і біологічно активних речовин.

Біопрепарат БМ-нанобіочар (ТУ У 20.1-2571100774-001:2021) отримано шляхом термохімічного перетворення біомаси; розмір частинок становить менше ніж 5 мкм, загальна площа поверхні – 864 м<sup>2</sup>/г, уміст вуглецю – 95%.

Експериментальні дані опрацьовано методами описової статистики із застосуванням регресійного та дисперсійного аналізу (ANOVA) у програмному середовищі Statistica [20].

## Результати досліджень

Аналіз результатів польових досліджень засвідчив позитивний вплив передпосівної обробки насіння сорго звичайного (двокольорового) біопрепаратами на показники польової схожості. У контрольному варіанті без застосування препаратів схожість становила 74,9% (табл. 2).

Найвище значення показника – 82,7% – зафіксовано за поєднання обох біопрепаратів у нормі 4 г/кг насіння. Самостійне застосування БМ-нанобіочару в нормі 4 г/кг забезпечило підвищення польової схожості до 78,4%, тоді як використання Мікофренду в аналогічній нормі сприяло зростанню показника до 81,2%.

Збільшення норми БМ-нанобіочару до 8 г/кг за відсутності мікоризації супроводжувалося незначним зниженням схожості до 77,2% порівняно з варіантом 4 г/кг. Подібна тенденція відмічалася і за сумісного внесення обох препаратів у максимальній нормі (8 г/кг), де польова схожість становила 77,9%, що лише на 3,0% перевищувало контроль (НІР<sub>0,05</sub> = 3,6%). Водночас застосування Мікофренду в нормах 4 і 8 г/кг без додавання БМ-нанобіочару забезпечило однаковий рівень схожості – 81,2%.

Статистичний аналіз підтвердив достовірність виявлених відмінностей, оскільки різниця між найефективнішими варіантами та контролем перевищувала  $HP_{0,05}$  (3,6%). Отже, найдоцільнішою для стимулювання початкових етапів росту й розвитку сорго на малопродуктивних ґрунтах є комбіноване оброблення насіння препаратами в помірних нормах (4 г/кг).

**Таблиця 2.** Польова схожість насіння, біометричні показники та елементи продуктивності рослин сорго звичайного (двокольорового) залежно від норм застосування біопрепаратів Мікофренд і БМ-нанобіочар

Фактор А – норма Мікофренду, г/кг	Фактор В – норма БМ-нанобіочару, г/кг	Польова схожість насіння, %	Кількість стебел, шт.	Висота рослин, см	Діаметр стебел, мм	Кількість листя, шт.	Урожайність біомаси (волога), т/га	Уміст сухої речовини, %	Урожайність сухої біомаси, г/га	Урожайність насіння, г/га
0*	0	74,9	2,15	79,4	15,5	6,47	11,9	52,7	6,27	6,23
0	4	78,4	2,73	100,7	18,9	6,38	13,3	54,8	7,30	6,15
0	8	77,2	2,58	100,8	19,3	6,39	13,4	52,5	7,01	6,07
4	0	81,2	2,64	98,9	18,9	6,65	13,3	52,5	6,99	6,13
4	4	82,7	2,93	110,8	21,3	7,16	14,7	55,6	8,16	7,41
4	8	79,1	2,75	105,2	20,3	7,01	14,3	55,2	7,87	6,30
8	0	81,2	2,84	104,5	20,1	6,78	13,6	50,5	6,83	5,75
8	4	81,1	2,93	112,0	22,3	6,86	15,1	52,7	7,90	6,77
8	8	77,9	2,75	105,0	21,1	6,62	13,6	52,6	7,12	6,20
HP <sub>0,05</sub>		3,6	0,30	8,1	1,6	0,72	1,6	4,6	1,06	0,73

\* контрольний варіант.

Результати досліджень засвідчили, що передпосівна обробка насіння біопрепаратами істотно стимулювала процеси кущення сорго звичайного (двокольорового). У контрольному варіанті без обробки коефіцієнт кущистості був мінімальним і становив 2,15 стебла на рослину. Найінтенсивніше формування стеблостою відмічено за сумісного застосування БМ-нанобіочару в нормі 4 г/кг із Мікофрендом у нормах 4–8 г/кг, де кількість стебел досягала 2,93 шт. Використання лише БМ-нанобіочару (4 г/кг) підвищувало показник до 2,73 шт., тоді як ізольоване застосування Мікофренду в аналогічній нормі – до 2,64 шт. Поєднання обох факторів забезпечувало виражений синергетичний ефект. Відмінності у кращих варіантах істотно перевищували  $HP_{0,05} = 0,30$ , що підтверджує їх статистичну достовірність.

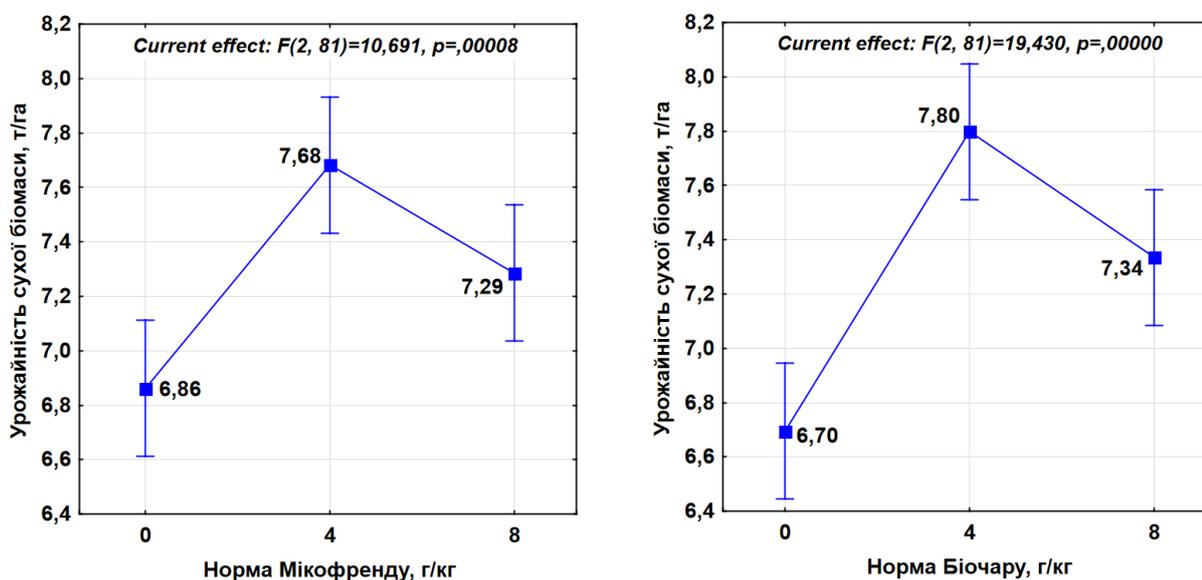
Аналіз біометричних показників виявив суттєвий вплив препаратів на формування висоти рослин і діаметра стебла. У контролі ці показники були найнижчими – 79,4 см і 15,5 мм відповідно. Застосування БМ-нанобіочару (4 г/кг) сприяло зростанню висоти до 100,7 см, діаметра стебла – до 18,9 мм. Найвищі показники розвитку вегетативної маси отримано за поєднання Мікофренду (8 г/кг) із БМ-нанобіочаром (4 г/кг): висота рослин становила 112,0 см, діаметр стебла – 22,3 мм, що на 43,9% перевищувало контрольні значення за діаметром. Підвищення норми БМ-нанобіочару до 8 г/кг за високого рівня мікоризації (8 + 8 г/кг) супроводжувалося незначним, у межах  $HP_{0,05}$ , зменшенням висоти до 105,0 см і діаметра стебла до 21,1 мм. Варіанти з окремим застосуванням Мікофренду також стабільно перевищували контроль, забезпечуючи висоту рослин у межах 98,9–104,5 см. Отримані прирости перевищували  $HP_{0,05}$ , що становив 8,1 см для висоти та 1,6 мм для діаметра стебла.

Формування асиміляційної поверхні також залежало від передпосівної обробки, однак цей показник виявився менш варіабельним. У контролі кількість листків становила 6,47 шт. на рослину. Максимальне значення – 7,16 шт. – зафіксовано за сумісного внесення обох препаратів у нормі 4 г/кг, що на 0,69 шт. більше порівняно з контролем ( $HP_{0,05} = 0,72$  шт.). Самостійне застосування БМ-нанобіочару в різних нормах істотно не впливало на кількість лист-

ків. Отже, достовірне збільшення листкового апарату забезпечувалося переважно за комбінованої дії мікоризації та вуглецевого адсорбенту.

Формування врожайності сухої листково-стеблової біомаси на малопродуктивних землях також суттєво залежало від обробки насіння. У контрольному варіанті врожайність становила 6,27 т/га. Найвищий показник – 8,16 т/га – отримано за сумісного застосування Мікофренду та БМ-нанобіочару в помірних нормах (по 4 г/кг), що забезпечило приріст 1,89 т/га відносно контролю ( $НІР_{0,05} = 1,06$  т/га). Використання максимальних норм обох препаратів (8 г/кг) виявилось менш ефективним – 7,12 т/га. Окреме застосування БМ-нанобіочару (4 г/кг) та Мікофренду (4 г/кг) забезпечило врожайність 7,30 і 6,99 т/га відповідно.

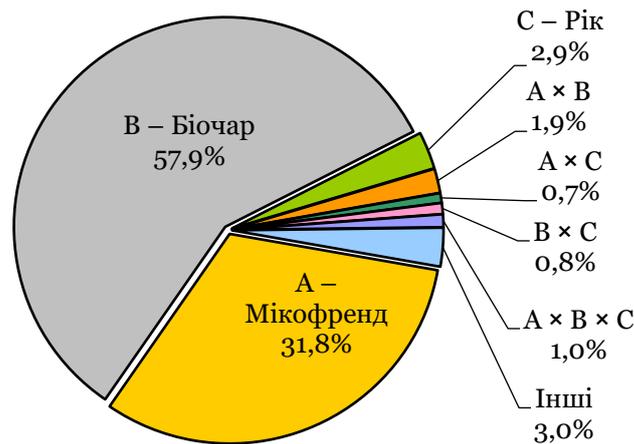
У середньому по досліді внесення Мікофренду в нормі 4 г/кг забезпечувало найвищий середній рівень урожайності сухої біомаси – 7,68 т/га (рис. 2). Підвищення дози до 8 г/кг зумовлювало зниження показника до 7,29 т/га, хоча він залишався вищим за варіант без обробки (6,86 т/га). Аналогічна закономірність встановлена для БМ-нанобіочару: оптимальною виявилася доза 4 г/кг із середнім рівнем продуктивності 7,80 т/га, тоді як 8 г/кг забезпечувало 7,34 т/га, що істотно перевищувало контроль (6,70 т/га). Конфігурація довірчих інтервалів на графічному матеріалі свідчить про стабільність позитивного ефекту застосування помірних норм обох біопрепаратів.



**Рис. 2.** Залежність урожайності сухої біомаси сорго звичайного (двокольорового) від обробки насіння біопрепаратами

Аналіз частки впливу досліджуваних факторів на формування сухої біомаси сорго звичайного (двокольорового) підтвердив провідну роль вуглецевого адсорбенту. За результатами дисперсійного аналізу найбільший внесок у загальну варіабельність ознаки забезпечував фактор В (БМ-нанобіочар) – 57,9% (рис. 3). Суттєвий вплив спостерігався також з боку фактора А (Мікофренд) – 31,8%, тоді як роль погодних умов (фактор С) була відносно незначною – 2,9%. Взаємодія факторів між собою (А × В, А × С, В × С) та їх сумісна дія мали мінімальний вплив у межах 0,7–1,9%, що свідчить про стабільну та самостійну ефективність обраних біопрепаратів незалежно від року вирощування.

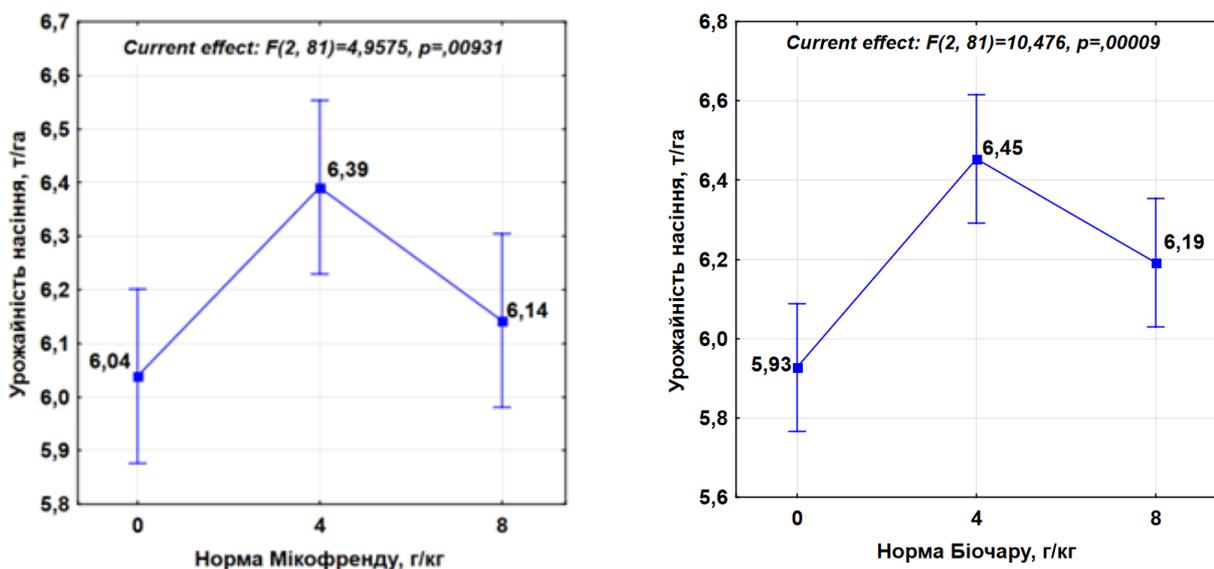
Обробка насіння біопрепаратами сприяла підвищенню врожайності насіння сорго звичайного (двокольорового). У контрольному варіанті без обробки врожайність становила 6,23 т/га (див. табл. 2). Найвищий показник – 7,41 т/га – зафіксовано за комбінованого застосування Мікофренду та БМ-нанобіочару в помірних нормах (по 4 г/кг), що забезпечило приріст 1,18 т/га порівняно з контролем ( $НІР_{0,05} = 0,73$  т/га). Самостійне застосування препаратів або збільшення їхньої норми до 8 г/кг не давало додаткового позитивного ефекту: зокрема, у варіанті з максимальною нормою обох компонентів (8 г/кг) урожайність становила 6,20 т/га, що фактично відповідало рівню контролю.



**Рис. 3.** Вплив факторів досліджу на врожайність сухої біомаси сорго звичайного (двокольорового)

У середньому за фактором А (норма Мікофренду) найвища врожайність насіння (6,39 т/га) забезпечувалася в разі застосування препарату в нормі 4 г/кг (рис. 4). Підвищення норми до 8 г/кг зменшувало врожай до 6,14 т/га, що все ж залишалося вищим за контроль (6,04 т/га). Конфігурація довірчих інтервалів свідчить, що саме середня доза Мікофренду забезпечує найбільш стабільний та достовірний приріст урожаю на малопродуктивних ґрунтах.

За фактором В (норма БМ-нанобіочару) максимальна насіннева продуктивність (6,45 т/га) досягається в разі застосування адсорбенту в нормі 4 г/кг. Збільшення норми до 8 г/кг знижувало врожайність до 6,19 т/га, що залишалося вищим за контрольний варіант (5,93 т/га). Розташування довірчих інтервалів підтверджує високу стабільність та достовірність позитивного ефекту БМ-нанобіочару саме в помірній нормі.



**Рис. 4.** Залежність врожайності насіння сорго звичайного (двокольорового) від обробки насіння біопрепаратами

Результати дисперсійного аналізу показали, що на формування насінневої продуктивності сорго звичайного (двокольорового) найбільший вплив мали погодні умови років вирощування (фактор С) – 35,2% (рис. 5). Важливим чинником також виявився вуглецевий адсорбент БМ-нанобіочар (фактор В) із часткою впливу 32,2%, тоді як внесок мікоризоутворювального препарату Мікофренд (фактор А) був дещо меншим – 15,2%.

Суттєву роль відіграла взаємодія мікоризації з погодними умовами (А × С), частка якої становила 7,9%, що свідчить про адаптивну дію біопрепарату за мінливих гідротермічних умов.

Інші комбінації факторів та похибка дослідів мали мінімальний вплив у межах 1,2–3,1%, підтверджуючи високу достовірність отриманих результатів.

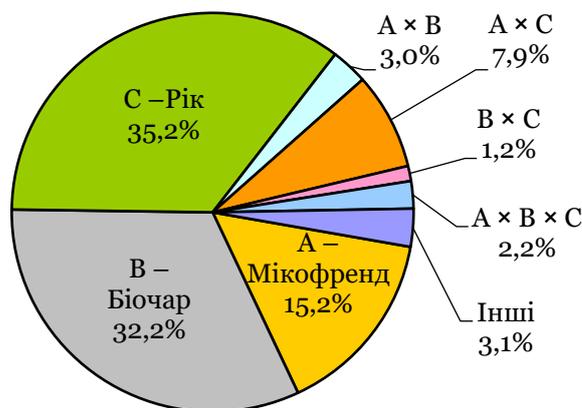


Рис. 5. Вплив факторів дослідів на врожайність насіння сорго звичайного (двокольорового)

## Висновки

Передпосівна обробка насіння біопрепаратами істотно покращує стартові умови розвитку сорго звичайного (двокольорового), підвищуючи польову схожість до 82,7% порівняно з контролем – 74,9%. Комплексне застосування Мікофренду та БМ-нанобіочару стимулює лінійний ріст і розвиток рослин, забезпечуючи висоту до 112,0 см та діаметр стебла – до 22,3 мм.

Максимальна продуктивність культури спостерігалася за поєднання помірних норм обох біопрепаратів (4 г/кг), що забезпечило 8,16 т/га сухої біомаси та 7,41 т/га насіння. Це відповідає достовірному приросту порівняно з контролем, де врожайність сухої маси становила 6,27 т/га, а насіння – 6,23 т/га.

Для стабільного підвищення продуктивності сорго на малопродуктивних землях (сірих лісових ґрунтах із низьким вмістом гумусу 1,86%) рекомендовано проводити передпосівну обробку насіння комбінацією Мікофренду та БМ-нанобіочару в нормі 4 г на 1 кг насіння.

## Список використаних джерел

- Hossain, Md. S., Islam, Md. N., Rahman, Md. M., Mostofa, M. G., & Khan, Md. A. R. (2022). Sorghum: A prospective crop for climatic vulnerability, food and nutritional security. *Journal of Agriculture and Food Research*, 8, Article 100300. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2022.100300>
- Bombelli, A., Di Paola, A., Chiriaco, M. V., Perugini, L., Castaldi, S., & Valentini, R. (2019). Climate change, sustainable agriculture and food systems: The world after the Paris Agreement. In *Achieving the Sustainable Development Goals through sustainable food systems* (pp. 25–34). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-23969-5\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-030-23969-5_2)
- Kanatas, P., Travlos, I., Gazoulis, I., Antonopoulos, N., Tataridas, A., Mpechliouli, N., & Petraki, D. (2023). Biostimulants and herbicides: A promising approach towards Green Deal implementation. *Agronomy*, 12(12), Article 3205. <https://doi.org/10.3390/agronomy12123205>
- Ivanina, V. V., Pashynska, K. L., & Smirnykh, V. M. (2021). Removal and balance of nutritional elements in the agrocenosis of sorghum for grain depending on fertilizer system. *Bulletin of Agricultural Science*, 12(99), 28–32. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202112-03> [In Ukrainian]
- Pravdyva, L. A., & Yalanskyi, O. V. (2022). Productivity and yield structure elements of different varieties of ordinary two-color sorghum (*Sorghum bicolor* L.). *Advanced Agritechnologies*, 10(3). <https://doi.org/10.47414/na.10.3.2022.270497> [In Ukrainian]
- Pravdyva, L. A. (2022). Influence of crops mineral nutrition on the biometric indicators of grain sorghum formation. *Agrobiology*, 1, 43–52. <https://doi.org/10.33245/2310-9270-2022-171-1-43-52> [In Ukrainian]
- Titarenko, O. S., & Karpuk, L. M. (2022). Yield and energy efficiency of sorghum grain under different crop care measures. *Agrobiology*, 1, 145–151. <https://doi.org/10.33245/2310-9270-2022-171-1-145-151> [In Ukrainian]
- Ivanina, V., Ionitsoi-Dotsenko, Ye., Strilets, O., Orlov, S., Zinchenko, O., Hanzhenko, O., Khivrych, O., & Mazur, G. (2025). Effect of fertilisers on yield, water consumption and energy capacity of grain sorghum (*Sorghum bicolor* L.). *Acta Agriculturae Slovenica*, 121(1), 1–9. <https://doi.org/10.14720/aas.2025.121.1.18753>

9. Hanzhenko, O. M., & Zlydennyi, I. I. (2025). Sowing qualities of sorghum seeds depending on treatment with biological preparations. *Bioenergy*, 1, 11–14. <https://doi.org/10.47414/be.2025.No1.pp11-14> [In Ukrainian]
10. Kavitha, B., Reddy, P. V. L., Kim, B., Lee, S. S., Pandey, S. K., & Kim, K. H. (2018). Benefits and limitations of biochar amendment in agricultural soils: A review. *Journal of Environmental Management*, 227, 146–154. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.08.082>
11. Panahi, H. K. S., Dehghani, M., Ok, Y. S., Nizami, A. S., Khoshnevisan, B., Mussatto, S. I., Aghbashlo, M., Tabatabaei, M., & Lam, S. S. (2020). A comprehensive review of engineered biochar: Production, characteristics, and environmental applications. *Journal of Cleaner Production*, 270, Article 122462. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122462>
12. Bhandana, P., Rana, M. S., Sun, X., Moussa, M. G., Saleem, M. H., Syaifudin, M., Shah, A., Poudel, A., Pun, A. B., Bhat, M. A., Mandal, D. L., Shah, S., Zhihao, D., Tan, Q., & Hu, C.-X. (2021). Arbuscular mycorrhizal fungi and its major role in plant growth, zinc nutrition, phosphorous regulation and phytoremediation. *Symbiosis*, 84(1), 19–37. <https://doi.org/10.1007/s13199-021-00756-6>
13. Smith, S. E., & Smith, F. A. (2011). Roles of arbuscular mycorrhizas in plant nutrition and growth: New paradigms from cellular to ecosystem scales. *Annual Review of Plant Biology*, 62, 227–250. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-042110-103846>
14. Auge, R. M. (2001). Water relations, drought and vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Mycorrhiza*, 11(1), 3–42. <https://doi.org/10.1007/s005720100097>
15. Jones, D. L., Hodge, A., & Kuzyakov, Y. (2004). Plant and mycorrhizal regulation of rhizodeposition. *New Phytologist*, 163(3), 459–480. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2004.01130.x>
16. Smith, S. E., Jakobsen, I., Gronlund, M., & Smith, F. A. (2011). Roles of arbuscular mycorrhizas in plant phosphorus nutrition: Interactions between pathways of phosphorus uptake in arbuscular mycorrhizal roots have important implications for understanding and manipulating plant phosphorus acquisition. *Plant Physiology*, 156(3), 1050–1057. <https://doi.org/10.1104/pp.111.174581>
17. Dymytov, S. H., Sabluk, V. T., Tyshchenko, M. V., & Smirnykh, V. M. (2019). Mycorrhizal preparations and their symbiosis with soft winter wheat plants (*Triticum aestivum* L.). *Scientific Papers of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet*, 27, 51–61. <https://doi.org/10.47414/np.27.2019.211138> [In Ukrainian]
18. Khomenko, T., Datsko, A., & Kvasnitska, L. (2019). Influence of seed treatment with complex mycorrhizal product Mycofriend on soybean productivity in conditions of right-bank Forest-Steppe of Ukraine. *Technical and Technological Aspects of Development and Testing of New Machinery and Technologies for Agriculture of Ukraine*, 24(38), 260–267. [https://doi.org/10.31473/2305-5987-2019-1-24\(38\)-27](https://doi.org/10.31473/2305-5987-2019-1-24(38)-27) [In Ukrainian]
19. Kulyk, I. O. (Ed.). (2020). *Catalog of varieties and hybrids of the SI Institute of Grain Crops of the NAAS of Ukraine*. SI IGC NAAS. [In Ukrainian]
20. Ermantraut, E. R., Prysiazhniuk, O. I., & Shevchenko, I. L. (2007). *Statistical analysis of agronomic research data in package Statistica 6.0*. PolihrafConsaltnh. [In Ukrainian]

## Influence of seed treatment with biological preparations on the *Sorghum bicolor* productivity on low-fertility soils

O. M. Hanzhenko\*, I. I. Zlydennyi

Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet, NAAS of Ukraine, 25 Klinichna St., Kyiv, 03110, Ukraine

\*Corresponding author: Oleksandr Hanzhenko, ganzhenko74@gmail.com

---

**Citation:** Hanzhenko, O. M., & Zlydennyi, I. I. (2025). Influence of seed treatment with biological preparations on the *Sorghum bicolor* productivity on low-fertility soils. *Bioenergy*, 2, 15–24. <https://doi.org/10.47414/be.2025.No2.pp15-24>

---

**Aim.** To establish the patterns of *Sorghum bicolor* productivity formation under combined seed treatment with different rates of biological preparations cultivated on low-fertility soils in the zone of unstable moisture of the Right-Bank Forest Steppe of Ukraine. **Methods.** Field experiments were conducted in 2023–2025 at the Yaltushkiv Experimental Breeding Station of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet NAAS (Vinnytsia region), using a two-factor design. Factor A: the mycorrhiza-forming preparation Mycofriend (0, 4, 8 g/kg), and factor B: the carbon-containing adsorbent BM-nanobiochar (0, 4, 8 g/kg). The early-maturing hybrid ‘Svat’ was used. Field germination, biometric parameters (tillering, plant height, stem diameter, and number of leaves), dry biomass yield, and seed yield were estimated. **Results.** Combined seed inoculation significantly stimulated the initial stages of organogenesis and subsequent yield formation. Field germination increased from 74.9% in the control to 82.7% with the combined application of both

preparations at 4 g/kg (+7.8% compared with the control;  $LSD_{0.05} = 3.6\%$ ). Enhanced growth processes were manifested in increased tillering (+36.3%), plant height (+41.0%), and stem diameter (+43.9%) compared with the control. The highest dry biomass yield (8.16 t/ha) was obtained with the combination of preparations (4 g/kg), exceeding the control (6.27 t/ha;  $LSD_{0.05} = 1.06$  t/ha) by 30.1%. Increasing the rates to 8 g/kg did not provide additional gains, indicating a dose-dependent effect with a pronounced biological optimum. A similar trend was observed for seed productivity: the maximum yield of 7.41 t/ha exceeded the control (6.23 t/ha) by 18.9% ( $LSD_{0.05} = 0.73$  t/ha). In dry biomass yield formation, the dominant factor was BM-nanobiochar (57.9%), while the contribution of Mycofriend was 31.8%. Variation in seed productivity depended most on annual weather conditions (35.2%) and BM-nanobiochar application (32.2%), highlighting the adaptive role of seed treatment under different hydrothermal regimes. **Conclusions.** An optimum application rate for combined seed treatment of sorghum (4 g/kg of each preparation) ensures statistically confirmed increases in morphostructural parameters and yield in low-fertility grey forest soils. The results demonstrate the feasibility of including the studied biological preparations in adaptive technologies for cultivating sorghum under conditions of climatic variability.

**Keywords:** plant height; stem diameter; tillering; nanobiochar; mycorrhiza-forming preparation; field germination; seed yield; dry biomass yield.

---

#### ORCID

Олександр Ганженко / Oleksandr Hanzhenko <https://orcid.org/0000-0002-8118-1645>  
Ілля Злиденний / Illia Zlydennyi <https://orcid.org/0009-0004-2787-2287>