

УДК 633.174: 631.86 <https://doi.org/10.47414/be.2025.No1.pp.11-14>

ПОСІВНІ ЯКОСТІ НАСІННЯ СОРГО ЗВИЧАЙНОГО (ДВОКОЛЬОРОВОГО) ЗАЛЕЖНО ВІД ОБРОБКИ БІОПРЕПАРАТАМИ

ГАНЖЕНКО О.М.,

доктор с.-г. наук, orcid.org/0000-0002-8118-1645

ЗЛИДЕННИЙ І.І.,

аспірант, orcid.org/0009-0004-2787-2287Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН
Ganzhenko74@gmail.com

Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень. Подальший розвиток людської цивілізації передбачає перехід до циркулярної економіки, основою якої є кліматично нейтральні технології в усіх сферах діяльності людини. На це спрямовані глобальні екологічні ініціативи, серед яких найбільш вагомими є Паризька Кліматична Угода [3] та Зелений Європейський Курс [6]. У галузі аграрного виробництва особливої актуальності набувають ресурсоефективні технології, спрямовані на зменшення застосування синтетичних добрив та пестицидів під час вирощування сільськогосподарських культур, водночас, підвищується роль препаратів біологічного походження.

Глобальне підвищення температури повітря та дефіцит вологі спонукають сільськогосподарських виробників звертати більше уваги на теплолюбні рослини з низьким коефіцієнтом транспірації. До таких рослин відноситься сорго звичайне (двокольорове) (*Sorghum bicolor* (L.) Moench.), біомаса (зерно та стебла) якого може використовуватись для продовольчих, кормових та біоенергетичних цілей [4]. Сьогодні встановлено оптимальні параметри типової технології вирощування сорго звичайного (двокольорового) в різних ґрунтово-кліматичних зонах України [14, 16, 17, 18], проте відсутні дослідження, спрямовані на вивчення впливу біологічних препаратів, таких як “Біочар” та “Мікофренд”, на посівні якості насіння.

Застосування біочару дозволяє підвищити врожайність сільськогосподарських культур, покращити агрофізичні властивості ґрунту та зменшити викиди парникових газів [7, 8]. Сумісне використання біочару з мікоризоутворюючими біопрепаратами дає синергетичний ефект та сприяють

активному заселенню кореневої та прикореневої зони мікоризними грибами та сапрофітними ризосферними бактеріями [2]. Підвищення ролі мікоризи в контексті глобальних змін клімату обумовлене більш ефективним використанням вологі рослинами [1]. Водночас доведено позитивну роль обробки насіння різних сільськогосподарських культур мікоризоутворюючими препаратами, що підвищує їх посівні якості [11, 19].

Мета дослідження — підвищити посівні якості насіння сорго звичайного (двокольорового) шляхом його обробки мікоризоутворюючим біопрепаратом і біочаром та встановлення оптимальних доз застосування цих біопрепаратів.

Матеріали та методика дослідження. Лабораторні дослідження проводились у лабораторії насінництва, насінництва та розсадництва Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН впродовж 2023–2024 років. Насіння сорго зви-

чайного (двокольорового) обробляли мікоризоутворюючим біопрепаратом “Мікофренд” (фактор А) та вуглецево-містким адсорбентом “БМ-нанобіочар” (фактор В) в розрахунку 0, 3, 6 та 9 г препарату на 1 кг насіння.

Мікоризоутворюючий 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 фосфатмобілізуєчих бактерій і біологічно активних речовин. Біопрепарат “БМ-нанобіочар” (ТУ У 20.1–2571100774–001:2021) отриманий термохімічним перетворенням біомаси з розміром часточок менше 5 мкм, загальною площею поверхні 864 м²/г та вмістом вуглецю 95%.

У досліді використовували насіння сорго звичайного (двокольорового) ранньостиглого гібрида “Сват” селекції Інституту зернових культур НААН [15]. Маса 1000 насінин становила 28,2±0,4 г за вологості насін-

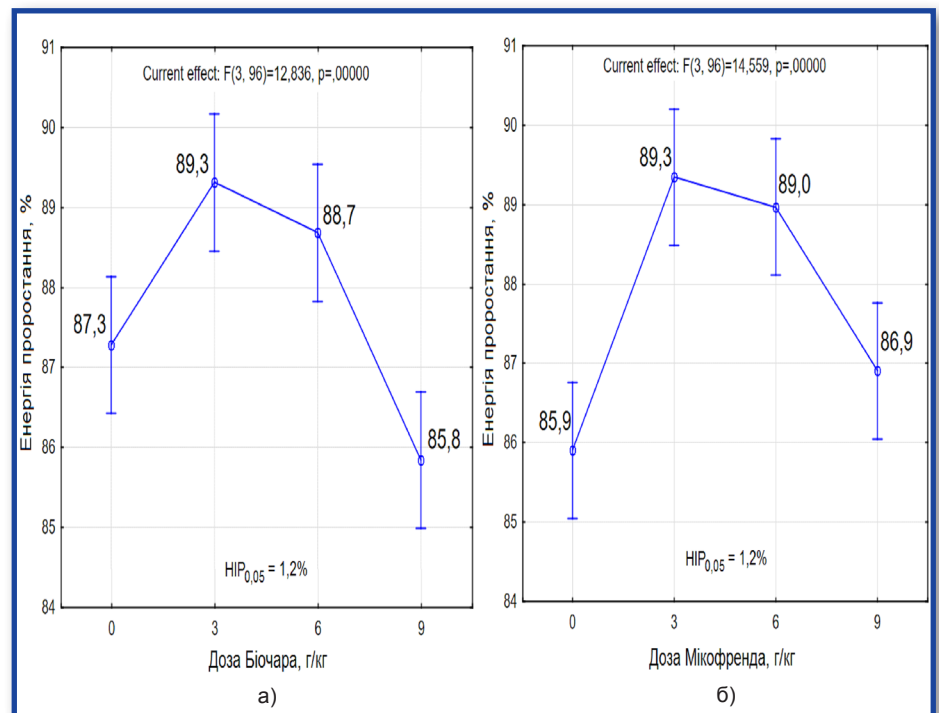


Рис. 1. Залежність енергії проростання насіння сорго звичайного (двокольорового) від його обробки біологічними препаратами: а) – БМ-нанобіочар; б) – Мікофренд

ня $14,1 \pm 0,3\%$.

Дослідження із визначення енергії проростання та лабораторної схожості насіння проводили відповідно до ДСТУ 4138 [12], при цьому облік енергії проростання здійснювали через 4 доби, лабораторної схожості — через 10 діб. Отримані експериментальні дані обробляли методами описової статистики, регресійним та дисперсійним (ANOVA) аналізами з використанням програмного середовища Statistica [13].

Результати дослідження та обговорення. За результатами досліджень встановлено, що застосування біопрепаратів “Мікофренд” і “БМ-нанобіочар” для обробки насіння сорго звичайного (двокольорового) має суттєвий вплив на його посівні якості. Так, за обробки насіння “БМ-нанобіочаром” у дозі 3 г/кг енергія проростання зростає від 87,3% (необроблений контроль) до 89,3% за найменшої істотної різниці $HIP_{0,05}=1,2\%$ (рис. 1а). Збільшення дози застосування “БМ-нанобіочар” до 6 г/кг призвело до незначного (в межах HIP) зменшення енергії проростання насіння до 88,7%. Подальше підвищення дози до 9 г/кг суттєво пригнічувало енергію проростання, яка на цьому варіанті досліджу була меншою ніж на контролі й становила 85,8%.

Аналогічним на енергію проростання насіння сорго звичайного (двокольорового) був вплив “Мікофренду”. Так, за обробки насіння “Мікофрендом” у дозі 3 г/кг енергія проростання зростає від 85,9% (контроль) до 89,3% (рис. 1б). Збільшення дози “Мікофренду” до 6 г/кг призвело до незначного (в межах HIP) зниження енергії проростання до 89,0%, а подальше підвищення дози до 9 г/кг — спричинило суттєве зменшення енергії проростання насіння до 86,9%. Таким чином, максимальні значення енергії проростання насіння сорго звичайного (двокольорового) досягаються за його обробки “БМ-нанобіочаром” та “Мікофрендом” у дозі 3 г на кілограм насіння.

Обробка насіння сорго звичайного (двокольорового) біопрепаратами істотно впливала на його лабораторну схожість. За результатами досліджень встановлено, що обробка насіння “БМ-нанобіочаром” у дозі 3 г/кг забезпечило підвищення лабораторної схожості від 89,8% (контроль) до 91,3%, водночас збільшення дози до 6 г/кг не вплинуло на лабораторну схожість насіння, яка на цьому варіанті досліджу залишалась на рівні 91,3% (рис. 2а). Подальше збільшення дози

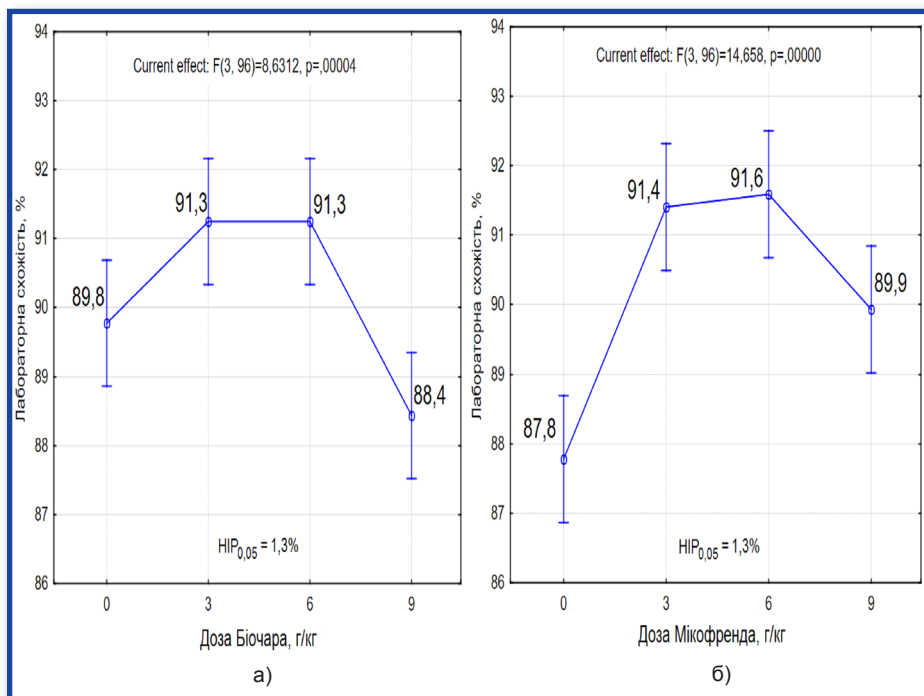


Рис. 2. Залежність лабораторної схожості насіння сорго звичайного (двокольорового) від його обробки біологічними препаратами: а) – БМ-нанобіочар; б) – Мікофренд

“БМ-нанобіочару” до 9 г/кг призвело до суттєвого зниження лабораторної схожості насіння до 88,4 відсотка.

Обробка насіння сорго звичайного (двокольорового) “Мікофрендом” також суттєво впливала на його лабораторну схожість (рис. 2б). Так, застосування “Мікофренду” у дозі 3 г/кг насіння підвищувало його лаборатор-

ну схожість на 3,6% порівняно з необробленим контролем (від 87,8 до 91,4%), при цьому найменша істотна різниця становила $HIP_{0,05}=1,3\%$. Збільшення дози “Мікофренду” до 6 г/кг несуттєво вплинуло на лабораторну схожість насіння, водночас подальше збільшення дози до 9 г/кг призвело до значного зменшення лаборатор-

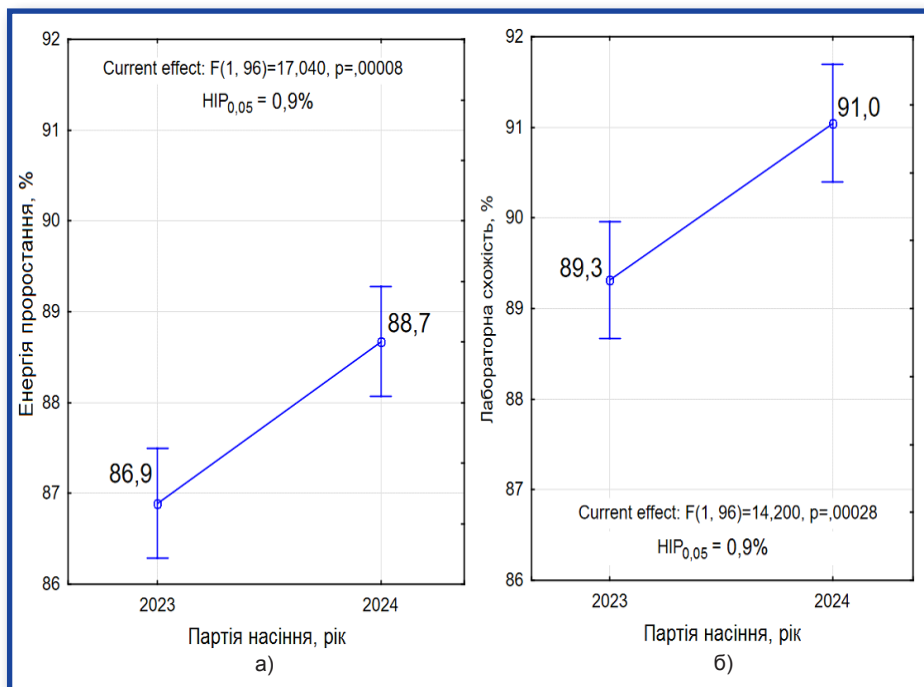


Рис. 3. Залежність посівних якостей насіння сорго звичайного (двокольорового) від партії насіння: а) – енергія проростання; б) – лабораторна схожість

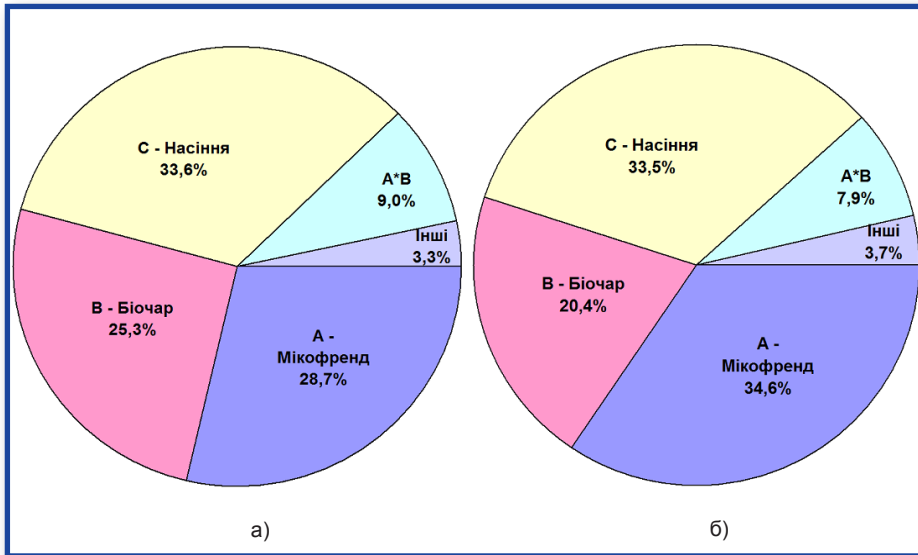


Рис. 4. Вплив факторів дослідження на посівні якості насіння: а) – енергія проростання; б) – лабораторна схожість

ної схожості до 89,9 відсотки. Таким чином, застосування біопрепаратів “БМ-нанобіочар” і “Мікофренд” у дозі 3–6 г/кг для обробки насіння сорго звичайного (двокольорового) сприяє підвищенню його лабораторної схожості на 1,5 і 3,6% відповідно.

Слід відмітити, що партія насіння сорго звичайного (двокольорового), яка використовувалась для проведення досліджень у 2024 році мала вищі показники посівної якості порівняно з партією насіння 2023 року (рис. 3).

Так, середні у досліді значення енергії проростання та лабораторної схожості насіння сорго звичайного (двокольорового) у 2023 році становили, відповідно, 86,9 і 89,3 відсотка, а у 2024 році — 88,7 і 91,0 відсоток.

За результатами дисперсійного аналізу встановлено, що досліджувані фактори суттєво впливали на посівні якості насіння сорго звичайного (двокольорового). Так, обробка насіння “Мікофрендом” була причиною 28,7% варіювання енергії проростання,

стання, “БМ-нанобіочаром” — 25,3%, а спільна дія обох препаратів впливала на 9,0 відсотка (рис. 4а). Найбільше на показник енергії проростання впливала партія насіння (33,6%). Вплив інших факторів і ефекту взаємодії був незначним і в сумі становив 3,3 відсотка. Варіювання показника лабораторної схожості найбільше залежало від застосування “Мікофренду”, частка впливу якого становила 34,6 відсотка (рис. 4б). Дещо меншим на лабораторну схожість насіння був вплив його обробки “БМ-нанобіочаром” (20,4%), при цьому частка впливу спільної дії обох біопрепаратів складала 7,9 відсотка. Вплив партії насіння на лабораторну схожість становив 33,5 відсотки.

За результатами регресійного аналізу встановлено тісну криволінійну залежність ($R^2=0,97-0,99$) між посівними якостями насіння сорго звичайного (двокольорового) та дозами застосування біопрепаратів “БМ-нанобіочар” та “Мікофренд”, яка описується поліномами другого порядку (рис. 5). Аналіз отриманих залежностей свідчить, що оптимальна доза “БМ-нанобіочару”, за якої досягається найвищий показник посівної якості насіння, становить 3,8–3,9 г/кг, “Мікофренду” — 4,5–5,2 г на кілограм насіння.

Висновки.

1. Обробка насіння сорго звичайного (двокольорового) біопрепаратами “БМ-нанобіочар” та “Мікофренд” у дозі 3 г на 1 кг насіння дозволяє підвищити його енергію проростання на 2,0 та 3,4% відповідно, за найменшої істотної різниці $HIP0,05=1,2\%$, водночас лабораторна схожість підвищується, відповідно, на 1,5 та 3,6 відсотка.

2. Найбільший вплив на енергію проростання насіння чинили партія насіння (33,6%), дози застосування “Мікофренду” (28,7%) та “БМ-нанобіочару” (25,3%), при цьому ефект спільної дії обох біопрепаратів впливав на 9,0 відсотка.

3. Варіювання показника лабораторної схожості найбільше залежало від застосування “Мікофренду” (34,6%), дещо нижчим був вплив партії насіння (33,5%) та “БМ-нанобіочару” (20,4%), при цьому частка впливу спільної дії обох біопрепаратів складала 7,9 відсотка.

4. Встановлено тісну криволінійну залежність ($R^2=0,97-0,99$) між посівними якостями насіння сорго звичайного (двокольорового) та дозами застосування біопрепаратів “БМ-нанобіочар” та “Мікофренд”, яка описується поліномами другого порядку.

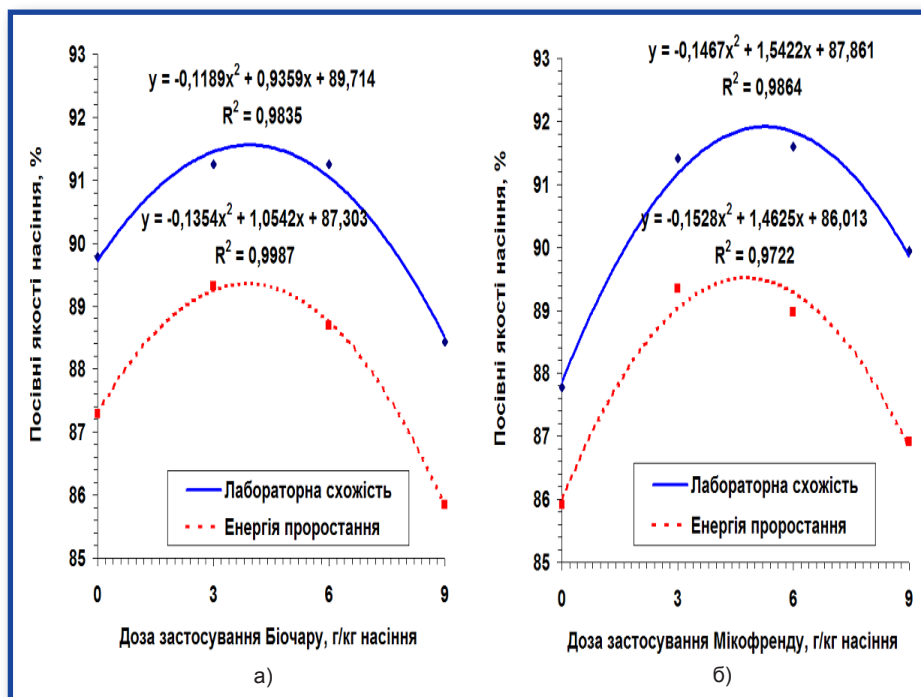


Рис. 4. Залежність посівних якостей насіння сорго звичайного (двокольорового) від доз застосування біопрепаратів: а) – БМ-нанобіочар; б) – Мікофренд

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Auge R.M. Water relations, drought and vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Mycorrhiza*. 2001. Vol. 11, Iss. 1. P. 3-42. Doi: 10.1007/s005720100097
2. Bhandana P., Rana M.S., Sun X.C., Moussa M.G., Saleem M.H. et. al. Arbuscular mycorrhizal fungi and its major role in plant growth, zinc nutrition, phosphorus regulation and phytoremediation. *Symbiosis*. 2021. Vol. 84, Iss. 1. P. 19-37. Doi: 10.1007/s13199-021-00756-6
3. Bombelli A., Di Paola A., Chiriac M.V., Perugini L. et. al. Climate Change, Sustainable Agriculture and Food Systems: The World After the Paris Agreement. Achieving the Sustainable Development Goals Through Sustainable Food Systems. 2019. P.25-34. Doi: 10.1007/978-3-030-23969-5_2
4. Hossain M.S., Islam M.N., Rahman M.M., Mostofa M.G. et. al. Sorghum: A prospective crop for climatic vulnerability, food and nutritional security. *Journal of Agriculture and Food Research*. 2022. Vol. 8. Article No100300. Doi: 10.1016/j.jafr.2022.100300
5. Jones D.L., Hodge A., Kuzyakov Y. Plant and mycorrhizal regulation of rhizodeposition. *New Phytologist*. 2004. Vol. 163, Iss. 3. P. 459-480. Doi: 10.1111/j.1469-8137.2004.01130.x
6. Kanatas P., Travlos I., Gazoulis I., Antonopoulos N. et. al. Biostimulants and Herbicides: A Promising Approach towards Green Deal Implementation. *Agronomy-Basel*. 2023. Vol. 12, Iss. 12. Article No3205. Doi: 10.3390/agronomy12123205
7. Kavitha B., Reddy P.V.L., Kim B., Lee S.S. et. al. Benefits and limitations of biochar amendment in agricultural soils: A review. *Journal of Environmental Management*. 2018. Vol. 227. P. 146-154. Doi: 10.1016/j.jenvman.2018.08.082
8. Panahi H.K.S., Dehghani M., Ok Y.S., Nizami A.S. et. al. A comprehensive review of engineered biochar: Production, characteristics, and environmental applications. *Journal of Cleaner Production*. 2020. Vol. 270. Article No122462. Doi: 10.1016/j.jclepro.2020.122462
9. Smith S.E., Jakobsen I., Gronlund M., Smith F.A. 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*. 2011. Vol. 156, Iss. 3. P. 1050-1057. Doi: 10.1104/pp.111.174581
10. Smith S.E., Smith F.A. Roles of Arbuscular Mycorrhizas in Plant Nutrition and Growth: New Paradigms from Cellular to Ecosystem Scales. *Annual Review of Plant Biology*. 2011. Vol. 62. P. 227-250. Doi: 10.1146/annurev-arplant-042110-103846
11. Димитров С. Г., Саблук В. Т., Тищенко М. В., Смірних В. М. Мікоризуючі препарати та їхній симбіоз із рослинами пшениці м'якої озимої (*Triticum aestivum* L.). Наукові праці інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків. 2019. Випуск 27. С. 51-61.
12. ДСТУ 4138 Насіння сільськогосподарських культур. Методи визначення якості. Держспоживстандарт України. 2003. 148 с.
13. Ермантраут Е. Р., Присяжнюк О. І., Шевченко І. Л. Статистичний аналіз агрономічних дослідних даних в пакеті Statistica 6.0. Київ: ПоліграфКонсалтинг, 2007. 55 с.
14. Іваніна В.В., Пашинська К.Л., Смірних В.М. Винос та баланс елементів живлення в агроценозі сорго зернового залежно від удобрення. Вісник аграрної науки. 2021. №12 (99). С. 28-32. doi.org/10.31073/agroviznyk202112-03
15. Науково-методичні рекомендації «Каталог сортів та гібридів ДУ Інститут зернових культур НААН України». Відповідальний за випуск: І. О. Кулик. Дніпро, ДУ ІЗК НААН. 2020. 132 с.
16. Правдива Л. А., Яланський О. В. Продуктивність та елементи структури врожайності різних сортів сорго звичайного двоколірного (*Sorghum bicolor* L.). Новітні агротехнології. 2022. Том 10, Вип. 3. Doi: 10.47414/na.10.3.2022.270497
17. Правдива Л.А. Вплив мінерального живлення рослин на формування біометричних показників сорго зернового. Збірник наукових праць «Агробіологія». 2022. № 1. С. 43-52. Doi: 10.33245/2310-9270-2022-171-1-43-52
18. Титаренко О.С., Карпук Л.М. Урожайність та енергетична ефективність сорго зернового за різних заходів догляду за посівами. Збірник наукових праць «Агробіологія». 2022. № 1. С. 145-151. Doi: 10.33245/2310-9270-2022-171-1-145-151
19. Хоменко Т., Дацько А., Квасніцька Л. Вплив обробки насіння комплексним мікоризотвірним препаратом мікофренд на продуктивність сої в умовах правобережного Лісостепу України. Новітні технології в АПК: дослідження та управління. 2019. Випуск 24 (38). С. 260-267. http://dx.doi.org/10.31473/2305-5987-2019-1-24(38)-27

АНОТАЦІЯ

Посівні якості насіння сорго звичайного (двоколірного) залежно від обробки біопрепаратами

О.М. Ганженко, І.І. Злиденний,

У статті наведено результати досліджень щодо залежності посівних якостей насіння сорго звичайного (двоколірного) (*Sorghum bicolor* (L.) Moench.) від його обробки біологічно активним адсорбентом "БМ-нанобіочар" та мікоризотвірним біопрепаратом "Мікофренд". Встановлено оптимальну дозу застосування біопрепаратів "БМ-нанобі-

очар" і "Мікофренд", за яких досягається максимальні значення енергії проростання та лабораторної схожості насіння сорго звичайного (двоколірного). **Мета роботи** – підвищити посівні якості насіння сорго звичайного (двоколірного) шляхом його обробки мікоризотвірним біопрепаратом і біочаром та встановлення оптимальних доз застосування біопрепаратів. **Предмет досліджень** – посівні якості насіння сорго звичайного (двоколірного), біочар та мікоризотвірний біопрепарат. **Методи досліджень** – біологічні (проведення лабораторного досліді) та статистичні (описова статистика, дисперсійний (ANOVA) та регресійний аналізи). **Результати досліджень** свідчать, що застосування для обробки насіння сорго звичайного (двоколірного) біопрепарату "БМ-нанобіочар" у дозі 3 г/кг дозволяє підвищити енергію проростання від 87,3 % (контроль) до 89,3 % ($HP_{0,05}=1,2$ %), при цьому лабораторна схожість зростала від 89,8 % (контроль) до 91,3 % ($HP_{0,05}=1,3$ %). Обробка насіння сорго звичайного (двоколірного) біопрепаратом "Мікофренд" у дозі 3 г/кг забезпечує підвищення енергії проростання від 85,9 % (контроль) до 89,3 % ($HP_{0,05}=1,2$ %), водночас лабораторна схожість насіння зростає від 87,8 % (контроль) до 91,4 % ($HP_{0,05}=1,3$ %). Збільшення дози застосування досліджуваних біопрепаратів до 6 г/кг несуттєво впливало на енергію проростання та лабораторну схожість, водночас, подальше збільшення дози "БМ-нанобіочару" і "Мікофренду" до 9 г/кг призводило до зниження посівних якостей насіння сорго звичайного (двоколірного). Найбільший вплив на енергію проростання насіння спричинили партія насіння (33,6 %), дози застосування біопрепаратів "Мікофренд" (28,7 %) та "БМ-нанобіочар" (25,3 %), при цьому ефект спільної дії обох біопрепаратів становив 9,0 відсотків. Варіювання показника лабораторної схожості найбільше залежало від застосування "Мікофренду" (34,6 %), дещо нижчим був вплив партії насіння (33,5 %) та "БМ-нанобіочару" (20,4 %), а ефект від спільної дії обох біопрепаратів склав 7,9 відсотка. Встановлено тісну кореляційну залежність ($R^2=0,97 - 0,99$) між посівними якостями насіння сорго звичайного (двоколірного) та дозами застосування біопрепаратів "БМ-нанобіочар" і "Мікофренд", яка описується поліномами другого порядку. Розраховано коефіцієнти рівнянь регресії та проведено їх оптимізацію.

Ключові слова: Біоенергетика, біочар, енергія проростання, зелений європейський курс, лабораторна схожість, мікоризотвірний препарат, сталий розвиток.

ANNOTATION

Sowing qualities of sorghum seeds depending on treatment with biological preparations

O.Hanzhenko, I.Zlydennyi

The article presents the results of research on the dependence of sowing qualities of sorghum seeds (*Sorghum bicolor* (L.) Moench.) on its treatment with the biologically active adsorbent BM-nanobiochar and the mycorrhiza-forming biopreparation Mycofriend. The optimal dose of biological preparations BM-nanobiochar and Mycofriend, which achieves the maximum values of germination energy and laboratory germination of sorghum seeds, has been established. The **purpose** of the work is to improve the sowing quality of sorghum seeds by treating them with a mycorrhiza-forming biopreparation and biochar and establishing optimal doses of biopreparations. The **subject** of research is the sowing qualities of the seeds of common (two-color) sorghum, biochar and mycorrhizal biopreparation. **Research methods** are biological (conducting a laboratory experiment) and statistical (descriptive statistics, variance (ANOVA) and regression analyses). The **results** of the research show that the use of the biopreparation BM-nanobiochar in a dose of 3 g/kg for the treatment of sorghum seeds allows to increase the energy of germination from 87.3% (control) to 89.3% ($LSD_{0.05}=1.2$ %), while laboratory similarity increased from 89.8% (control) to 91.3% ($LSD_{0.05}=1.3$ %). Treatment of sorghum seeds with the biological preparation Mycofriend at a dose of 3 g/kg provides an increase in the energy of germination from 85.9% (control) to 89.3% ($LSD_{0.05}=1.2$ %), while laboratory germination of seeds increases from 87.8% (control) to 91.4% ($LSD_{0.05}=1.3$ %). Increasing the dose of the tested biological preparations to 6 g/kg did not significantly affect germination energy and laboratory germination, while further increasing the dose of BM-nanobiochar and Mycofriend to 9 g/kg led to a decrease in the sowing qualities of sorghum seeds. The seed batch (33.6%), doses of Mycofriend (28.7%) and BM-nanobiochar (25.3%) biological preparations had the greatest influence on seed germination energy, while the combined effect of both biological preparations affected 9.0 percent. The variation of the laboratory germination indicator most depended on the use of Mycofriend (34.6%), the effect of the batch of seeds (33.5%) and BM-nanobiochar (20.4%) was slightly lower, and the effect of the combined effect of both biological preparations was 7.9 percent. A close correlation dependence ($R^2=0.97 - 0.99$) was established between the sowing qualities of sorghum seeds and the doses of biological preparations BM-nanobiochar and Mycofriend, which is described by second-order polynomials. The coefficients of the regression equations were calculated and their optimization was carried out.

Keywords: Bioenergetics, biochar, germination energy, green European course, laboratory germination, mycorrhizal preparation, sustainable development.