


АГРОНОМІЯ

УДК 633.174: 631.86

Вплив обробки насіння *Sorghum bicolor* (L.) Moench. біологічними препаратами на його посівні якостіГанженко О.М. , Злиденний І.І. 

Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН

 Ganzhenko74@gmail.com

Ганженко О.М., Злиденний І.І. Вплив обробки насіння *Sorghum bicolor* (L.) Moench. біологічними препаратами на його посівні якості. «Агробіологія», 2023. № 2. С. 13–20.

Hanzhenko O., Zlydennyi I. Influence of *Sorghum bicolor* (L.) Moench. seeds treatment with biological preparations on its sowing qualities. «Agrobiologia», 2023. no. 2, pp. 13–20.

Рукопис отримано: 04.10.2023 р.
Прийнято: 19.10.2023 р.
Затверджено до друку: 23.11.2023 р.

doi: 10.33245/2310-9270-2023-183-2-13-20

У статті наведено результати досліджень щодо впливу обробки насіння сорго звичайного (двокольорового) (*Sorghum bicolor* (L.) Moench.) сумішшю мікоризоутворювального біопрепарату Мікофренд та біологічно активного адсорбенту БМ-нанобіочар на енергію проростання та лабораторну схожість насіння. Встановлено оптимальні дози біопрепаратів Мікофренд та БМ-нанобіочар, що забезпечують максимальні посівні якості насіння. Мета роботи – встановити оптимальну дозу застосування біочару та мікоризоутворювального біопрепарату, яка забезпечує найвищі посівні якості насіння сорго звичайного (двокольорового). Предмет досліджень – посівні якості насіння сорго звичайного (двокольорового), мікоризоутворювальний біопрепарат та біочар. Методи досліджень – біологічні (проведення лабораторного дослідження) та статистичні (описова статистика, дисперсійний, кореляційний та регресійний аналізи). Результати досліджень свідчать, що застосування Мікофренду для обробки насіння сорго звичайного (двокольорового) у дозі 3–6 г/кг сприяє підвищенню енергії проростання насіння до 88,63–88,00 % (контроль – 84,81 %) та лабораторної схожості до 90,69 % (контроль – 86,69 %). Застосування біопрепарату БМ-нанобіочар у дозі 3–6 г/кг забезпечило підвищення енергії проростання насіння до 88,75–87,81 % (контроль – 86,31 %) та лабораторної схожості до 90,44–90,63 % (контроль – 88,94 %). Підвищення дози обох досліджуваних біопрепаратів до 9 г/кг призводило до погіршення посівних якостей насіння. Найвища у досліді енергія проростання (92,25 %) та лабораторна схожість (93,5 %) спостерігались за обробки насіння сорго звичайного (двокольорового) сумішшю препаратів Мікофренд та БМ-нанобіочар у дозі 6 та 3 г/кг, відповідно. Найнижче значення енергії проростання (81,75 %) відмічали на контрольному варіанті без обробки насіння біопрепаратами. Встановлено тісну криволінійну залежність ($R^2=0,81-0,98$) між посівними якістьми насіння сорго звичайного (двокольорового) та дозами застосування біопрепаратів Мікофренд та БМ-нанобіочар. Доведено наявність тісного множинного кореляційного зв'язку між посівними якістьми насіння та його обробкою біопрепаратами Мікофренд та БМ-нанобіочар ($R=0,867$).

Ключові слова: енергія проростання, лабораторна схожість, мікоризоутворювальний препарат, біочар, сталий розвиток, кліматична угода, зелений європейський курс, біоенергетика.

Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень. Побудова кліматично нейтральної економіки, як того вимагає Паризька кліматична угода [1, 2] та Європейський зелений курс [3, 4] передбачає перехід на ресурсоефективне сільське господарство на основі зменшення використання хімічних добрив та засобів захисту

під час вирощування сільськогосподарських культур. Водночас, підвищується значення препаратів біологічного походження, до яких належать біочар та мікоризоутворювальні препарати [5–9]. Крім того, рослинництво розглядають не лише як аграрну галузь, що забезпечує глобальну продовольчу безпеку, а також

формує потужний ресурс біомаси для виробництва біопалива [10].

Глобальні зміни клімату, що проявляються у підвищенні температури повітря та нерівномірності випадання опадів, спонукають аграріїв звертати більше уваги на рослини, толерантні до високих температур та здатні раціонально використовувати вологу. До таких рослин належить сорго звичайне (двокольорове) (*Sorghum bicolor* (L.) Moench.), біомасу якого можна використовувати для продовольчих та кормових цілей, а також для виробництва різних видів біопалива [11]. Дослідженнями, проведеними в різних регіонах України встановлено оптимальні параметри типової технології вирощування сорго звичайного (двокольорового) [12–16], водночас недостатньо інформації щодо ефективності застосування біологічних препаратів та їх впливу на посівні якості насіння.

Дотримання принципів сталого розвитку у аграрному секторі має вирішальне значення для захисту ґрунту, води та повітря [5]. Перспективним інструментом для екологізації сільськогосподарського виробництва може бути застосування біочару [6]. Біочар (*biochar*) – речовина, яку отримують за допомогою високотемпературного (близько 800 °C) піролізу біомаси в середовищі з низьким вмістом кисню або без нього, завдяки чому вміст вуглецю в кінцевому продукті становить 93–99 % [6, 17]. Згідно з даними літератури, застосування біочару дозволяє підвищити врожайність сільськогосподарських культур та покращити властивості ґрунту [5]. Крім того, біочар можна використовувати для усунення забруднення ґрунту, одночасно сприяючи зменшенню викидів парникових газів завдяки накопиченню запасів вуглецю в ґрунті [5, 8]. Водночас відсутня інформація щодо впливу обробки біочаром насіння сорго звичайного (двокольорового) на його посівні якості.

Ефективність біочару можна підвищити за сумісного його використання з мікоризоутворювальними біопрепаратами [6], які сприяють активному заселенню кореневої та прикореневої зони мікоризними грибами та сапрофітними ризосферними бактеріями [9]. Арбускулярні мікоризні гриби встановлюють симбіотичні асоціації з більшістю наземних рослин, в результаті чого покращується поглинання поживних речовин рослиною [18]. Мікоризні гриби беруть участь у покращенні водного режиму ґрунту та засвоєнні поживних речовин як у біотичних, так і абіотичних стресових ситуаціях, таких як посуха, екстремальні температури, важкі метали, солоність, забруд-

нення патогенами тощо [19]. Підвищення значення мікоризи в контексті глобальних змін клімату обумовлене більш ефективним використанням рослинами вологи [20]. Доведено, що утворення арбускулярної мікоризи активізує засвоєння поживних речовин рослинами, особливо фосфору [21, 22]. Іншим дослідженням відмічено, що мікориза забезпечує накопичення вуглецю у ґрунті, водночас, гіпотеза щодо посилення мобілізації та надходження поживних речовин із ґрунту до рослини не була підтверджена експериментально [23]. Водночас вітчизняні дослідження доводять позитивне значення обробки насіння різних сільськогосподарських культур комплексним мікоризоутворювальним препаратом [24, 25]. Проте, в літературі відсутня інформація щодо впливу мікоризи на посівні якості насіння сорго звичайного (двокольорового).

Мета дослідження – виявити оптимальну дозу застосування біочару та мікоризоутворювального біопрепарату, яка забезпечує найвищі посівні якості насіння сорго звичайного (двокольорового).

Матеріал та методи дослідження. Лабораторні дослідження проводили у контрольованих умовах лабораторії насіннезнавства, насінництва та розсадництва Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН за схемою двофакторного досліду з чотирма повтореннями. Насіння сорго звичайного (двокольорового) обробляли мікоризоутворювальним біопрепаратом Мікофренд (фактор А) та вуглецевмістким адсорбентом БМ-нанобіочар (фактор В) в розрахунку 3; 6 та 9 г препарату на 1 кг насіння. За контроль слугувало насіння, оброблене дистильованою водою без додавання препаратів.

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 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. Маса 1000 насінин становила 28,2±0,4 г за вологості насіння 14,1±0,3 %.

Дослідження із визначення енергії проростання та лабораторної схожості насіння про-

водили відповідно до ДСТУ 4138 [26], зокрема облік енергії проростання здійснювали через 4 доби, лабораторної схожості – через 10 діб.

Отримані експериментальні дані обробляли методами описової статистики, парним і множинним регресійним та дисперсійним аналізами з використанням програмного середовища Statistica [27].

Результати дослідження та обговорення.

Результати досліджень свідчать, що застосування біопрепаратів Мікофренд і БМ-нанобіочар для обробки насіння сорго звичайного (двокольорового) має суттєвий вплив на його енергію проростання. Зокрема, за дози Мікофренду 3–6 г/кг енергія проростання насіння сорго звичайного (двокольорового) становить 88,63–88,00 %, що суттєво перевищує показник на контролі – 84,81 % ($НІР_{0,05}=2,03$ %). За збільшення дози Мікофренду енергія проростання насіння має тенденцію до зниження і становить 86,13 % за дози 9 г/кг (табл. 1).

Застосування біопрепарату БМ-нанобіочар у дозі 3–6 г/кг забезпечило найвищі значення енергії проростання насіння – 88,75–87,81 %, що істотно перевищувало показник контролю – 86,31 %. За збільшення дози до 9 г/кг спостерігалось зниження енергії проростання насіння сорго звичайного (двокольорового) до 84,69 % ($НІР_{0,05}=2,03$ %).

Найвища у досліді енергія проростання (92,25 %) спостерігалась за обробки насіння

сорго звичайного (двокольорового) сумішшю препаратів Мікофренд та БМ-нанобіочар у дозі 6 та 3 г/кг, відповідно. Найнижче значення енергії проростання (81,75 %) відмічали на контрольному варіанті без обробки насіння біопрепаратами.

Застосування біопрепаратів Мікофренд та БМ-нанобіочар для обробки насіння сорго звичайного (двокольорового) впливало на його лабораторну схожість (табл. 2). Зокрема, обробка насіння Мікофрендом у дозі 3–6 г/кг сприяла підвищенню лабораторної схожості насіння до 90,69 %, водночас схожість необробленого насіння на контрольному варіанті становила 86,69 % ($НІР_{0,05}=2,07$ %). Збільшення дози Мікофренду до 9 г/кг призводило до незначного зниження лабораторної схожості насіння до 89,19 %.

Обробка насіння сорго звичайного (двокольорового) БМ-нанобіочаром у дозі 3–6 г/кг забезпечувала суттєве підвищення лабораторної схожості до 90,44–90,63 % порівняно з контролем (88,94 %). Водночас, підвищення дози до 9 г/кг призводило до суттєвого зменшення лабораторної схожості до 87,25 % ($НІР_{0,05}=2,07$ %).

Максимальну у досліді лабораторну схожість насіння сорго звичайного (двокольорового) (93,5 %) відмічали за його обробки Мікофрендом у дозі 6 г/кг та БМ-нанобіочаром у дозі 3 г/кг.

Таблиця 1 – Енергія проростання насіння сорго звичайного (двокольорового) залежно від дози Мікофренду та БМ-нанобіочару

Фактор А: Доза Мікофренду, г/кг	Фактор В: Доза БМ-нанобіочару, г/кг				Середнє за фактором А ($НІР_{0,05}=2,03$ %)
	0	3	6	9	
0	81,75	87,25	86,50	83,75	84,81
3	88,25	89,75	90,00	86,50	88,63
6	87,00	92,25	88,75	84,00	88,00
9	88,25	85,75	86,00	84,50	86,13
Середнє за фактором В ($НІР_{0,05}=2,03$ %)	86,31	88,75	87,81	84,69	86,89

Примітка: $НІР_{0,05}=4,06$ для порівняння часткових середніх.

Таблиця 2 – Лабораторна схожість насіння сорго звичайного (двокольорового) залежно від дози Мікофренду та БМ-нанобіочару

Фактор А: Доза Мікофренду, г/кг	Фактор В: Доза БМ-нанобіочару, г/кг				Середнє за фактором А ($НІР_{0,05}=2,07$ %)
	0	3	6	9	
0	83,75	88,00	89,50	85,50	86,69
3	90,25	92,00	92,50	88,00	90,69
6	91,00	93,50	90,75	87,50	90,69
9	90,75	89,00	89,00	88,00	89,19
Середнє за фактором В ($НІР_{0,05}=2,07$ %)	88,94	90,63	90,44	87,25	89,31

Примітка: $НІР_{0,05}=4,15$ для порівняння часткових середніх.

За результатами регресійного аналізу встановлено тісну криволінійну залежність ($R^2=0,81-0,98$) між посівними якостями насіння сорго звичайного (двокольорового) та дозами застосування окремо біопрепаратів Мікофренд та БМ-нанобіочар для обробки насіння, яка описується поліномами другого порядку (рис. 1). Аналіз отриманих залежностей свідчить, що оптимальна доза Мікофренду, за якої досягаються найвищі посівні якості насіння становить 6–7 г/кг, БМ-нанобіочару – 4–5 г/кг.

Застосування методу множинного регресійного аналізу виявило наявність тісного зв'язку між посівними якостями насіння та його обробкою біопрепаратами Мікофренд

та БМ-нанобіочар ($R=0,867$). Значення енергії проростання та лабораторної схожості насіння можна визначити скориставшись емпіричними залежностями (рис. 2):

$$E = 83,1875 + 1,8135 \cdot M + 1,4781 \cdot B - 0,158 \cdot M^2 - 0,0625 \cdot M \cdot B - 0,1546 \cdot B^2$$

$$C = 85,2112 + 1,885 \cdot M + 1,3038 \cdot B - 0,1528 \cdot M^2 - 0,0578 \cdot M \cdot B - 0,1354 \cdot B^2$$

де E та C – відповідно енергія проростання та лабораторна схожість насіння сорго звичайного (двокольорового), %;

M та B – відповідно дози застосування Мікофренду та БМ-нанобіочару для обробки насіння, г/кг.

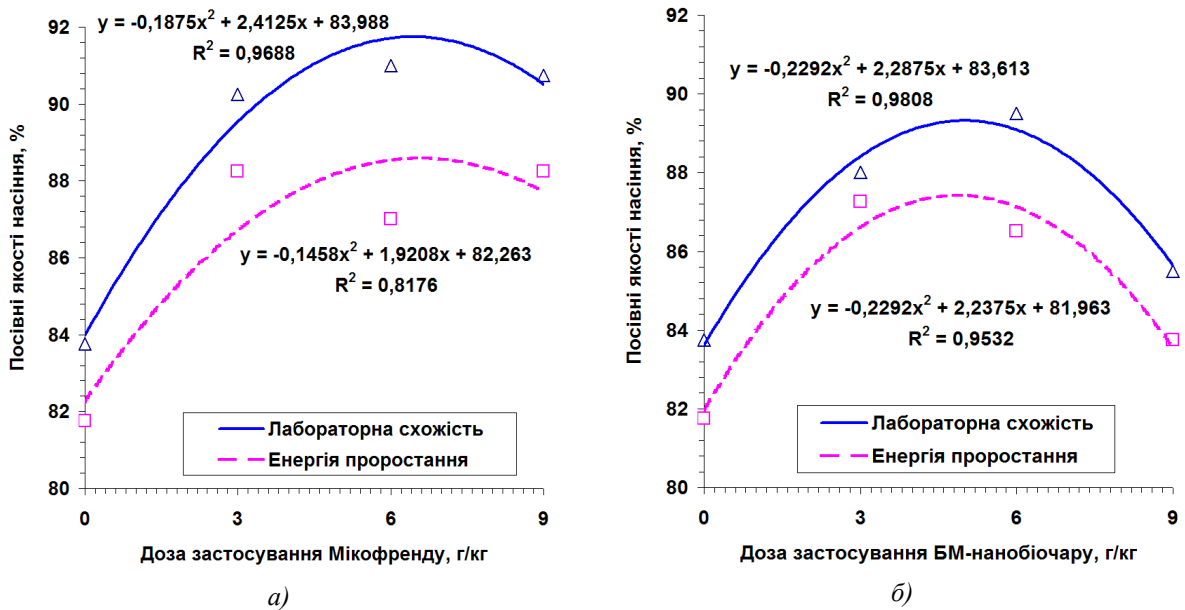


Рис. 1. Залежність посівних якостей насіння сорго звичайного (двокольорового) від доз застосування біопрепаратів: а) Мікофренд; б) БМ-нанобіочар.

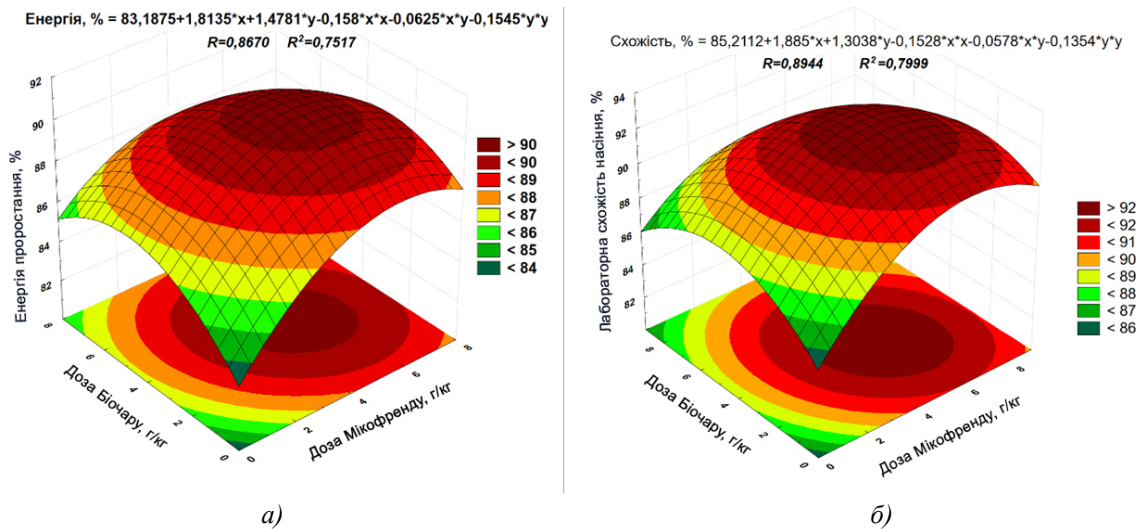


Рис. 2. Множинна регресійна залежність посівних якостей насіння від доз застосування Мікофренду та БМ-нанобіочару: а) енергія проростання; б) лабораторна схожість.

За результатами дисперсійного аналізу встановлено, що вплив обробки насіння сорго звичайного (двокольорового) двома досліджуваними біопрепаратами на енергію проростання був приблизно однаковим і становив для Мікофренд 40,0 % та БМ-нанобіочару – 41,6 % (рис. 3). Ефект від спільної дії двох біопрепаратів становив 11,7 %. Водночас, на лабораторну схожість насіння

Висновки. Застосування мікоризоутворювального біопрепарату Мікофренд для обробки насіння сорго звичайного (двокольорового) у дозі 3–6 г/кг забезпечує підвищення енергії проростання із 84,81 до 88,00–88,63 % ($HP_{0,05}=2,03$ %) та лабораторну схожість – із 86,69 до 90,69 % ($HP_{0,05}=2,07$ %). Використання біопрепарату БМ-нанобіочар дозволяє підвищити енергію проростання насіння із 86,31

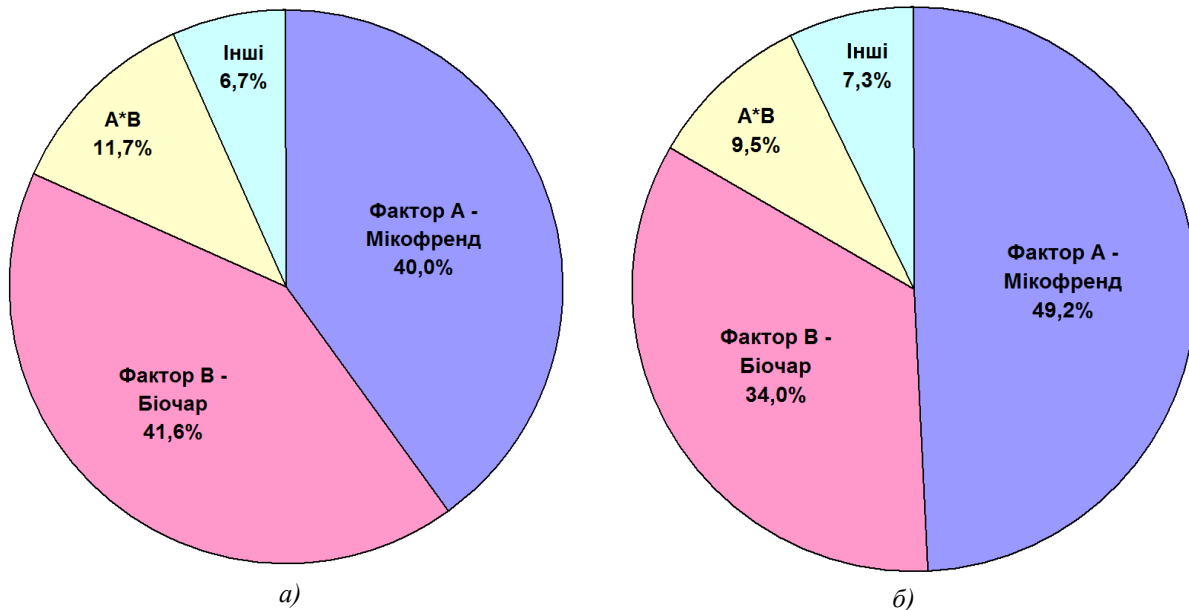


Рис. 3. Вплив факторів дослідження на посівні якості насіння: а) енергія проростання; б) лабораторна схожість.

сорго звичайного (двокольорового) більшою мірою впливала обробка насіння Мікофрендом (49,2 %), частка впливу БМ-нанобіочару становила 34,0 %, а спільна дія двох препаратів – 9,5 %.

Отже, отримані результати лабораторних досліджень свідчать про суттєвий вплив обробки насіння сорго звичайного (двокольорового) мікоризоутворювальним біопрепаратом та біочаром на його посівні якості. Встановлено синергетичний ефект від застосування суміші обох досліджуваних біопрепаратів, зокрема максимальні показники енергії проростання насіння сорго звичайного (двокольорового) та його лабораторна схожість досягається за обробки насіння Мікофрендом у дозі 6 г/кг та БМ-нанобіочаром у дозі 3 г/кг насіння.

Водночас, для вивчення впливу суміші Мікофренду та БМ-нанобіочару на продуктивність рослин сорго звичайного (двокольорового) необхідно провести додаткові дослідження у польових умовах.

до 87,81–88,75 % ($HP_{0,05}=2,03$ %), а його лабораторну схожість – із 88,94 до 90,44–90,63 % ($HP_{0,05}=2,07$ %).

Максимальні значення енергії проростання (88,75–92,25 %) та лабораторної схожості (90,75–93,50 %) насіння сорго звичайного (двокольорового) досягаються за спільного застосування двох препаратів Мікофренд та БМ-нанобіочар у дозі 3–6 г на кілограм насіння.

Частки впливу обробки насіння сорго звичайного (двокольорового) Мікофрендом та БМ-нанобіочаром на його енергію проростання становлять 40,0 та 41,6 % відповідно. Лабораторна схожість насіння сорго звичайного (двокольорового) на 49,2 % залежала від його обробки Мікофрендом і на 34,0 % – від обробки БМ-нанобіочаром.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Climate Change, Sustainable Agriculture and Food Systems: The World After the Paris Agreement / A. Bombelli et al. Achieving the Sustainable

Development Goals Through Sustainable Food Systems. 2019. P. 25–34. DOI: 10.1007/978-3-030-23969-5_2

2. Woodbury P.B. Agriculture Can Mitigate Climate Change at Low Cost to Help Meet Paris Climate Agreement Goals. *Bioscience*. 2018. Vol. 68, Issue 7. P. 485–486. DOI: 10.1093/biosci/biy053

3. Sustainable Crop and Weed Management in the Era of the EU Green Deal: A Survival Guide / A. Tataridas et al. *Agronomy-Basel*. 2022. Vol. 12. Issue 3. Article No 589. DOI: 10.3390/agronomy12030589

4. Biostimulants and Herbicides: A Promising Approach towards Green Deal Implementation / P. Kanatas et al. *Agronomy-Basel*. 2023. Vol. 12. Issue 12. Article No 3205. DOI: 10.3390/agronomy12123205

5. Benefits and limitations of biochar amendment in agricultural soils: A review / B. Kavitha et al. *Journal of Environmental Management*. 2018. Vol. 227. P. 146–154. DOI: 10.1016/j.jenvman.2018.08.082

6. A comprehensive review of engineered biochar: Production, characteristics, and environmental applications / H.K.S. Panahi et al. *Journal of Cleaner Production*. 2020. Vol. 270. Article No 122462. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.122462

7. Towards a carbon-negative sustainable bio-based economy / B. Vanholme et al. *Frontiers in Plant Science*. 2013. Vol. 4. DOI: 10.3389/fpls.2013.00174

8. Arora N.K., Kumar N. Natural and Artificial Soil Amendments for the Efficient Phytoremediation of Contaminated Soil. *Phyto and Rhizo Remediation*. 2019. Vol. 9. P. 1–32. DOI: 10.1007/978-981-32-9664-0_1

9. Rouphael Y., Colla G. Toward a Sustainable Agriculture Through Plant Biostimulants: From Experimental Data to Practical Applications. *Agronomy-Basel*. 2020. Vol. 10. Article No 1461. DOI: 10.3390/agronomy10101461

10. Biomass for a sustainable bioeconomy: An overview of world biomass production and utilization / M. Antar et al. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*. 2021. Vol. 139. Article No 110691. DOI: 10.1016/j.rser.2020.110691

11. Sorghum: A prospective crop for climatic vulnerability, food and nutritional security / M.S. Hossein et al. *Journal of Agriculture and Food Research*. 2022. Vol. 8. Article No 100300. DOI: 10.1016/j.jafr.2022.100300

12. Правдива Л.А., Гончарук Г.С. Особливості формування продуктивності сорго звичайного двокольорового (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) та соризу (*S. orysoidum*) залежно від строків сівби насіння в умовах західної частини Лісостепу України. *Новітні агротехнології*. 2023. Т. 11. Вип. 2. DOI: 10.47414/na.11.2.2023.285142

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

14. 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

15. 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

16. 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: 10.31073/agrovisnyk202112-03

17. Нурмухаммедов А.К., Ганженко О.М. Застосування біочару у сільському господарстві. *Біоенергетика/Bioenergy*. 2022. № 1–2 (19–20). С. 19–21. DOI: 10.47414/be.1-2.2022.271345

18. Roles of Arbuscular Mycorrhizal Fungi on Plant Growth and Performance: Importance in Biotic and Abiotic Stressed Regulation / N. Diagne et al. *Diversity-Basel*. 2020. Vol. 12. Issue 10. Article No 370. DOI: 10.3390/d12100370

19. Arbuscular mycorrhizal fungi and its major role in plant growth, zinc nutrition, phosphorous regulation and phytoremediation / P. Bhandana et al. *Symbiosis*. 2021. Vol. 84. Issue 1. P. 19–37. DOI: 10.1007/s13199-021-00756-6

20. Auge R.M. Water relations, drought and vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Mycorrhiza*. 2001. Vol. 11. Issue 1. P. 3–42. DOI: 10.1007/s005720100097

21. 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

22. 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. Issue 3. P. 1050–1057. DOI: 10.1104/pp.111.174581

23. Jones D.L., Hodge A., Kuzyakov Y. Plant and mycorrhizal regulation of rhizodeposition. *New Phytologist*. 2004. Vol. 163. Issue 3. P. 459–480. DOI: 10.1111/j.1469-8137.2004.01130.x

24. 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. Вип. 24 (38). С. 260–267. DOI: 10.31473/2305-5987-2019-1-24(38)-27

25. Димитров С.Г., Саблук В.Т., Тищенко М.В., Смірних В.М. Мікоризоутворюючі препарати та їхній симбіоз із рослинами пшениці м'якої озимої (*Triticum aestivum* L.). *Наукові праці інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків*. 2019. Вип. 27. С. 51–61.

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

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

REFERENCES

- Bombelli, A., Di Paola, A., Chiriaco, M.V., Perugini, L. (2019). Climate Change, Sustainable Agriculture and Food Systems: The World After the Paris Agreement. Achieving the Sustainable Development Goals Through Sustainable Food Systems. pp. 25–34. DOI: 10.1007/978-3-030-23969-5_2
- Woodbury, P.B. (2018). Agriculture Can Mitigate Climate Change at Low Cost to Help Meet Paris Climate Agreement Goals. *Bioscience*. Vol. 68 (7), pp. 485–486. DOI: 10.1093/biosci/biy053
- Tataridas, A., Kanatas, P., Chatzigeorgiou, A., Zannopoulos, S. (2022). Sustainable Crop and Weed Management in the Era of the EU Green Deal: A Survival Guide. *Agronomy-Basel*. Vol. 12 (3), no. 589. DOI: 10.3390/agronomy12030589
- Kanatas, P., Travlos, I., Gazoulis, I., Antonopoulos, N. (2023). Biostimulants and Herbicides: A Promising Approach towards Green Deal Implementation. *Agronomy-Basel*. Vol. 12 (12), no. 3205. DOI: 10.3390/agronomy12123205
- Kavitha, B., Reddy, P.V.L., Kim, B., Lee, S.S. (2018). Benefits and limitations of biochar amendment in agricultural soils: A review. *Journal of Environmental Management*. Vol. 227, pp. 146–154. DOI: 10.1016/j.jenvman.2018.08.082
- Panahi, H.K.S., Dehghani, M., Ok, Y.S., Nizami, A.S. (2020). A comprehensive review of engineered biochar: Production, characteristics, and environmental applications. *Journal of Cleaner Production*. Vol. 270, no. 122462. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.122462
- Vanholme, B., Desmet, T., Ronsse, F., Rabaey, K. (2013). Towards a carbon-negative sustainable bio-based economy. *Frontiers in Plant Science*. Vol. 4. DOI: 10.3389/fpls.2013.00174
- Arora, N.K., Kumar, N. (2019). Natural and Artificial Soil Amendments for the Efficient Phytoremediation of Contaminated Soil. *Phyto and Rhizo Remediation*. Vol. 9, pp. 1–32. DOI: 10.1007/978-981-32-9664-0_1
- Rouphael, Y., Colla, G. (2020). Toward a Sustainable Agriculture Through Plant Biostimulants: From Experimental Data to Practical Applications. *Agronomy-Basel*. Vol. 10, no. 1461. DOI: 10.3390/agronomy10101461
- Antar, M., Lyu, D.M., Nazari, M., Shah, A.T. (2021). Biomass for a sustainable bioeconomy: An overview of world biomass production and utilization. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*. Vol. 139, no. 110691. DOI: 10.1016/j.rser.2020.110691
- Hossain, M.S., Islam, M.N., Rahman, M.M., Mostofa, M.G. (2022). Sorghum: A prospective crop for climatic vulnerability, food and nutritional security. *Journal of Agriculture and Food Research*. Vol. 8, no. 100300. DOI: 10.1016/j.jafr.2022.100300
- Pravdyva, L.A., Honcharuk, H.S. (2023). Osoblyvosti formuvannya produktyvnosti sorgo zvyčajnogo dvokol'orovogo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) ta soryzu (*S. orysoïdum*) zalezno vid strokiv sivyby nasinnja v umovah zahidnoi' chastyny Lisostepu Ukrai'ny [Peculiarities of the *Sorghum bicolor* (L.) Moench and *S. orysoïdum* productivity formation under the effect of sowing timing in the western part of the Forest Steppe of Ukraine]. *Novitni agrotehnologii' [Advanced Agritechnologies]*. Vol. 11 (2). DOI: 10.47414/na.11.2.2023.285142.
- Pravdyva, L.A., Yalanskyi, O.V. (2022). Produktivnist' ta elementy struktury vrozhajnosti riznyh sortiv sorgo zvyčajnogo dvokol'orovogo (*Sorghum bicolor* L.) [Productivity and yield structure elements of different varieties of ordinary two-color sorghum (*Sorghum bicolor* L.)]. *Novitni agrotehnologii' [Advanced Agritechnologies]*. Vol. 10 (3). DOI: 10.47414/na.10.3.2022.270497.
- Pravdyva, L. (2022). Vplyv mineral'nogo zhyvlennja roslyn na formuvannya biometrychnyh pokaznykiv sorgo zernovogo [Influence of crops mineral nutrition on the biometric indicators of grain sorghum formation]. *Zbirnik naukovih prac' «Agrobiologija» [Agrobiology]*. no. 1, pp. 43–52. DOI: 10.33245/2310-9270-2022-171-1-43-52.
- Titarenko, O., Karpuk, L. (2022). Urozhajnist' ta energetychna efektyvnist' sorgo zernovogo za riznyh zahodiv dogljadu za posivamy [Yield and energy efficiency of sorghum grain under different crop care measures]. *Zbirnik naukovih prac' «Agrobiologija» [Agrobiology]*. no. 1, pp. 145–151. DOI: 10.33245/2310-9270-2022-171-1-145-151.
- Ivanina, V., Pashynska, K., Smirnykh, V. (2021). Vynos ta balans elementiv zhyvlennja v agrocenozi sorgo zernovogo zalezno vid udobrennja [Removal and balance of nutritional elements in the agrocenosis of sorghum for grain depending on fertilizer system]. *Visnik agrarnoi' nauki [Bulletin of Agricultural Science]*. Vol. 99, no. 12, pp. 28–32. DOI: 10.31073/agrovisnyk202112-03 [In Ukrainian]
- Nurmuhammedov, A.K., Hanzhenko, O.M. (2022). Zastosuvannja biocharu u sil'skomu gospodarstvi [Application of biochar in agriculture (literature review)]. *Bioenergetika [Bioenergy]*. no. 1–2 (19–20), pp. 19–21. DOI: 10.47414/be.1-2.2022.271345.
- Diagne, N., Ngom, M., Djighaly, P.I., Fall, D. (2020). Roles of Arbuscular Mycorrhizal Fungi on Plant Growth and Performance: Importance in Biotic and Abiotic Stressed Regulation. *Diversity-Basel*. Vol. 12 (10), no. 370. DOI: 10.3390/d12100370
- Bhantana, P., Rana, M.S., Sun, X.C., Mousa, M.G., Saleem, M.H. (2021). Arbuscular mycorrhizal fungi and its major role in plant growth, zinc nutrition, phosphorous regulation and phytoremediation. *Symbiosis*. Vol. 84 (1), pp. 19–37. DOI: 10.1007/s13199-021-00756-6
- Auge, R.M. (2001). Water relations, drought and vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Mycorrhiza*. Vol. 11 (1), pp. 3–42. DOI: 10.1007/s005720100097

21. 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*. Vol. 62, pp. 227–250. DOI: 10.1146/annurev-arplant-042110-103846

22. Smith, S.E., Jakobsen, I., Grønlund, 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*. Vol. 156 (3), pp. 1050–1057. DOI: 10.1104/pp.111.174581

23. Jones, D.L., Hodge, A., Kuzyakov, Y. (2004). Plant and mycorrhizal regulation of rhizodeposition. *New Phytologist*. Vol. 163 (3), pp. 459–480. DOI: 10.1111/j.1469-8137.2004.01130.x

24. Khomenko, O., Datsko, A., Kvasnytska, L. (2019). Vplyv obrobky nasinnja kompleksnym mikoryzotvornym preparatom mikofrend na produktyvnist' soi' v umovah pravoberezhnogo Lisostepu Ukrainy [Influence of seed treatment with complex mycorrhizal product mycofriend on soybean productivity in conditions of right-bank Forest-Steppe of Ukraine]. *Novitni tehnologii' v APK: doslidzhennja ta upravlinnja* [The latest technologies in the agroindustrial complex: research and management]. Issue 24 (38), pp. 260–267. DOI: 10.31473/2305-5987-2019-1-24(38)-27.

25. Dymytrov, S.H., Sabluk, V.T., Tyshchenko, M.V., Smirnykh, V.M. (2019). Mikoryzoutvorjujuchi preparaty ta i'hnij symbioz iz roslynamy psheny-ci m'jakoii' ozymoi' (*Triticum aestivum* L.) [Mycorrhizal preparations and their symbiosis with soft winter wheat plants (*Triticum aestivum* L.)]. *Naukovi praci institutu bioenergetichnih kul'tur i cukrovih burjakiv* [Scientific Papers of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet]. Issue 27, pp. 51–61.

26. DSTU 4138. Nasinnja sil's'kogospodars'kyh kul'tur. Metody vyznachennja jakosti [DSTU 4138. Seeds of agricultural plants. Methods for seed testing]. *Derzhspozhivstandart of Ukraine*, 2003, 148 p.

27. Ermantraut, E.R., Prisyazhnyuk, O.I., Shevchenko, I.L. (2007). *Statistichnij analiz agronomichnih doslidnih danih v paketi Statistica 6.0*. [Statistical analysis of agronomic research data in the Statistica 6.0]. Kyiv, PoligrafKonsalting, 55 p.

Influence of *Sorghum bicolor* (L.) Moench. seeds treatment with biological preparations on its sowing qualities

Hanzhenko O., Zlydennyi I.

The article presents the results of studies on the effect of sorghum bicolor seeds (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) treatment with a mixture of the mycorrhizal biopreparation «Mycofriend» and the biologically active adsorbent «BM-nanobiochar» on germination energy and laboratory seed germination. The optimal doses of biological preparations «Mikofrend» and «BM-nanobiochar», which ensure the maximum sowing quality of seeds, have been established. The aim of the study is to establish the optimal dose of biochar and mycorrhizal biopreparation, which ensures the highest sowing quality of sorghum bicolor seeds. The subject of the research is sowing qualities of sorghum bicolor seeds, mycorrhizal biopreparation and biochar. The research methods were biological (conducting a laboratory experiment) and statistical (descriptive statistics, dispersion, correlation and regression analyses) ones. The research results showed that the use of «Mikofrend» for the treatment of sorghum bicolor seeds at a dose of 3–6 g/kg increases the energy of seed germination to 88.63–88.00 % (control – 84.81 %) and laboratory germination to 90.69 % (control – 86.69 %). The use of biological preparation «BM-nanobiochar» at a dose of 3–6 g/kg provided an increased energy of seed germination to 88.75–87.81 % (control – 86.31 %) and laboratory germination to 90.44–90.63 % (control – 88.94 %). Increasing the dose of both tested biological preparations to 9 g/kg led to a deterioration of the sowing qualities of the seeds. In the experiment the highest germination energy (92.25 %) and laboratory germination (93.5 %) was observed when treating sorghum bicolor seeds with a mixture of «Mikofrend» and «BM-nanobiochar» at a dose of 6 and 3 g/kg respectively. The lowest rate of germination energy (81.75 %) was observed in the control variant without seed treatment with biological preparations. A close curvilinear relationship ($R^2=0.81-0.98$) was established between the sowing qualities of sorghum bicolor seeds and the doses of biological preparations «Mycofriend» and «BM-nanobiochar». The presence of a close multiple correlation between the sowing quality of the seed and its treatment with biological preparations «Mikofrend» and «BM-nanobiochar» ($R=0.867$) was proved.

Key words: germination energy, laboratory germination, mycorrhizal preparation, biochar, sustainable development, climate agreement, green European course, bioenergy.



Copyright: Ганженко О.М., Злиденний І.І. © This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.



ORCID iD:

Ганженко О.М.

Злиденний І.І.

<https://orcid.org/0000-0002-8118-1645>

<https://orcid.org/0009-0004-2787-2287>