

ЗРОСТАННЯ НАКОПИЧЕННЯ СУХОЇ БІОМАСИ ЗЛАКОВИХ БІОЕНЕРГЕТИЧНИХ КУЛЬТУР ЗА МІКОРИЗАЦІЇ ЇХ КОРЕНЕВОЇ СИСТЕМИ

Димитров Сергій Георгійович

кандидат сільськогосподарських наук, докторант
Національний університет біоресурсів і природокористування, м. Київ, Україна
ORCID: 0000-0002-0377-9596
sdimitrov@ukr.net

Саблук Василь Трохимович

доктор сільськогосподарських наук, професор
Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків Національної академії аграрних наук України, м. Київ, Україна
ORCID: 0000-0002-6124-4346
sablukvasil@gmail.com

*Метою даної статті є встановлення впливу мікоризації кореневої системи злакових біоенергетичних культур – міскантусу гігантського і проса прутноподібного на зростання накопичення сухої біомаси. За даними досліджень встановили, що використання везикулярно-арбускулярних грибів *Tuber melanosporum* VITTAD. і *Trichoderma harzianum* RIFAI (препарати Мікофренд і Міковітал) та бактерій *Bacillus subtilis* Cohn. (препарат Флоробацилін) за передпосівного їх внесення сприяє істотному зростанню накопичення сухої біомаси рослин злакових біоенергетичних культур, таких як просо прутноподібне (*Panicum virgatum* L.) і міскантус гігантський (*Miscanthus × giganteus*). Зокрема, у варіантах з препаратом Мікофренд (гриб *Trichoderma harzianum* RIFAI) врожайність сухої біомаси рослин проса прутноподібного становила 10,57 т/га, що на 29,3 % більше ніж у контролі. У варіантах з препаратами Флоробацилін (бактерії *Bacillus subtilis* Cohn.) і Міковітал (гриб *Tuber melanosporum* VITTAD.) ці показники були відповідно на 13,1 і 22,8 % більшими за контрольні. Урожайність сухої біомаси рослин міскантусу гігантського у варіантах з препаратом Мікофренд (гриб *Trichoderma harzianum* RIFAI) становила 34,9 т/га, що на 21,0 % більше ніж у контролі. У варіантах з препаратами Флоробацилін (бактерії *Bacillus subtilis* Cohn.) і Міковітал (гриб *Tuber melanosporum* VITTAD.) ці показники були відповідно на 6,0 і 14,2 % більшими за контрольні. Висновки. Використання мікоризоутворювальних грибів і азотфіксуювальних бактерій за прикореневого їх внесення сприяє значному зростанню накопичення сухої біомаси рослин злакових біоенергетичних культур проса прутноподібного і міскантусу гігантського. У досліджах мікоризоутворювальних грибів і азотфіксуювальних бактерій за прикореневого їх внесення фотосинтетичний потенціал був більшим за контроль на 4,0–21,9 %. У досліджах мікоризоутворювальних грибів і азотфіксуювальних бактерій за прикореневого їх внесення чиста продуктивність фотосинтезу була більша за контроль на 3,6–22,0 %. У досліджах мікоризоутворювальних грибів і азотфіксуювальних бактерій за прикореневого їх внесення площа листової поверхні була більша за контроль на 4,2–19,0 %. У досліджах мікоризоутворювальних грибів і азотфіксуювальних бактерій за прикореневого їх внесення маса листків була більша за контроль на 7,8–28,6 %.*

Ключові слова: везикулярно-арбускулярні гриби, бактерії рослини, урожайність, препарати, прикореневе внесення.

DOI <https://doi.org/10.32845/agrobio.2021.4.1>

Вступ. Для України актуальним є пошук нетрадиційних відновлювальних джерел енергії, серед яких на особливу увагу заслуговують енергетичні рослини, які є головним абсорбентом вуглекислого газу, утворюють високі врожаї біомаси, яку можна було б використати на енергетичні цілі для виробництва біопалива (Yastremskaya et al., 2017).

Енергетичні культури – це рослини, які спеціально вирощуються для використання безпосередньо як паливо або для виробництва біопалива (Heletukha et al., 2014). Джерелом енергетичної сировини можуть бути як побічні продукти рослинного походження (солома, соняшникове лушпиння, стебла кукурудзи тощо), так і спеціально призначені для цього рослини – міскантус, світчграс (лозоподібне просо), верба, тополя (Roik et al., 2013; Ivakhiv, 2012; Fuchylo, 2009; Shumnyi, 2010).

Надходження рослинної вторинної сировини нестабільне і носить сезонний характер, що негативно впливає на ефективність роботи заводів з виробництва твердого біопалива.

Тому особливої актуальності набуває вирощування нових видів високопродуктивних багаторічних енергетичних рослин, що дозволить щорічно одержувати необхідну кількість біомаси. Енергетичні рослини мають великий урожай і невеликі вимоги до вирощування. У перерахунку на еквівалент енергії витрати на вирощування таких культур значно менші, ніж вартість енергоносіїв, отриманих від традиційних джерел.

Однією з енергетичних рослин є деревоподібна трава міскантус. За кордоном активно ведуться дослідження з можливості її широкого використання для виробництва біопалива.

Різні види і сорти цієї культури пристосовані до різноманітних умов вирощування. Види роду міскантус характеризуються високим урожаєм, морозостійкістю та швидким ростом. Після одноразової посадки культуру можна збирати щорічно протягом 15–20 років як з мінімальною врожайністю порядку 10–15 сух. т/га, так і з максимальною до 25–35 сух. т/га (Heletukha et al., 2014).

Міскантус стійкий до хвороб, тому хімічний захист не потрібний. У перший рік вирощування здійснюється механічне прополювання в міжряддях. Вимоги до добрив у міскантусу відносно невисокі. З урожаєм 20 т сухої маси з 1 га міскантус виносить близько 60 кг N, 16 кг P₂O₅, 80 кг K₂O за помірного рівня удобрення (Romanchuk et al., 2014; Taranenko et al., 2019).

Високі врожаї міскантусу можуть бути отримані на різних типах ґрунту – від піщаних до високородючих. Оптимальний показник рН перебуває в межах 5,5–7,5, хоча він стійкий до широкого діапазону кислотності ґрунтів. Міскантус добре росте за температури ґрунту вище 6°C, тому потенційний сільськогосподарський сезон значно більший, ніж для інших культур (Romanchuk et al., 2014).

Завдяки низьким експлуатаційним витратам та високій тривалості життя види роду *Miscanthus* можуть збагатити асортимент енергетичних культур України. Можливе розроблення ресурсозберігаючих технологій завдяки перероблянню стебел міскантусу гігантеуса на біопаливо, целюлозовмісну продукцію для целюлозно-паперової, фармацевтичної, деревопереробної та інших галузей промисловості (Tsyganov, & Klochkov, 2012; Barbash et al., 2012).

Рослинна біомаса енергетичної рослини *Miscanthus* є найбільш оптимальною у забезпеченні сталого розвитку сировинної бази в Україні. Головна перевага такого виду енергетичної культури перед іншими – щорічний вихід 15–25 т сухої біомаси з 1 га протягом двадцяти років.

Свічграс, або просо прутіноподібне (*Panicum virgatum* L.), – теплолюбна рослина, маловибаглива до ґрунтів. За тривалістю життя це багаторічна рослина (до 10–15 років) зі сталою врожайністю біомаси після 3 років вегетації. Врожайність сухої біомаси може сягати на малородючих ґрунтах до 6–10 т/га, а на родючих – до 25 т/га і більше (Zhang, 2020).

Просо прутіноподібне в певних регіонах і країнах застосовується для стримування ерозійних процесів. Проте найбільша цінність біомаси цієї культури – виробництво біопалива у вигляді пелетів, брикетів та виробництво лігноцелюлозного етанолу (Mazur et al., 2017).

Технологія вирощування свічграсу для різних природно-кліматичних зон України повністю не вивчена. Додаткового вивчення потребує обґрунтування вибору способу сівби, а саме ширини міжрядь. Як показали проведені у попередні роки дослідження, у разі вузької ширини міжрядь покращується акумулятивність води атмосферних опадів весняного і літнього періодів, зменшується забур'яненість у перші роки життя і відповідно зростає врожайність його біомаси у перші роки вегетації. У наступні роки прослідковується затінення рослин, внутривидовий антагонізм і продуктивність рослин поступається посівам з більш широкими (30–45 см) міжряддями (Kulyk, 2012; Roik, 2011).

Матеріали і методи досліджень. Дослідження проводили в Інституті біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України в умовах Веселоподільської дослідно-селекційної станції (ВПДСС), яка знаходиться на Лівобережжі Дніпра в зоні типового Лісостепу. Ґрунтовий покрив відзначається строкатістю – переважають чорноземи солонцюваті та слабосолонцюваті.

Для дослідів використовували гриби везикулярно-арбускулярної мікоризації *Tuber melanosporum* Vittad. (препарат Міковітал) та *Trichoderma harzianum* RIFA1 (препарат Мікофренд) і бактерії *Bacillus subtilis* Cohn. (препарат Флоробацилін).

Досліди проводили у 4-кратній повторності, площа дослідних ділянок 25 м². У відповідності до програми дослідження визначали обводненість листків через визначення їх маси на 30, 60, 90 і 120 дні їх вегетації, масу кореневої системи, площу листового апарату, продуктивність фотосинтезу за загальноприйнятими методиками (Ermantraut et al., 2014).

Препарати з мікоризуютьовальними грибами і азотфіксувальними бактеріями (Мікофренд, Флоробацилін і Міковітал) вносили у ранньовесняний період (квітень) у прикореневу частину ґрунту на глибину 10–12 см за допомогою спеціального пристрою у нормі витрат 5 л/га, розчиненого у 250–300 л води.

Урожайність сухої біомаси рослин злакових біоенергетичних культур визначали після досягнення ними технологічної стиглості і скошування всіх рослин, на ділянці їх висушували у природних умовах до вологості 30 % і зважували у полі за допомогою амбарних ваг.

Результати. Зокрема, з даних на рис. 1 видно, що у варіантах з мікоризуютьовальними грибами і азотфіксуючими бактеріями врожайність сухої біомаси рослин проса прутіноподібного відповідно на 1,87–2,40 т/га, або на 22,8–29,3 %, а міскантусу гігантського на 1,73–6,05 т/га, або на 6,0–21,0 %, більша ніж у контролі.

Використання мікоризуютьовальних грибів *Tuber melanosporum* VITTAD. та *Trichoderma harzianum* RIFA1 і азотфіксуючих бактерій *Bacillus subtilis* Cohn. для їх симбіозу з кореневою системою злакових біоенергетичних культур міскантус гігантський (*Miscanthus giganteus*) і просо прутіноподібне (*Panicum virgatum* L.) сприяє покращенню росту та розвитку рослин і підвищенню продуктивності.

Зокрема, як свідчать дані рис. 2, обводненість листків цих культур через визначення їх сухої маси у всіх варіантах досліді була на 8,1–28,6 % більшою ніж у контролі.

Так само на 5,5–30,1 % більшою порівняно з контролем є маса кореневої системи (рис. 3).

У варіантах з біопрепаратами площа листової поверхні перевищувала показники контролю на 6,9–19,0 % (рис. 4).

За використання грибів і бактерій продуктивність фотосинтезу рослин міскантусу гігантського і проса прутіноподібного була більшою за контроль на 3,6–22,0 % (рис. 5).

Таким чином, симбіоз грибів і бактерій з кореневою системою рослин міскантусу гігантського та проса прутіноподібного сприяє покращенню елементів росту та розвитку рослин, завдяки чому зростає врожайність сухої біомаси цих культур.

Обговорення. Зростання накопичення сухої біомаси рослин злакових біоенергетичних культур відбувається за рахунок покращення показників росту і розвитку рослин у варіантах з використанням мікоризуютьовальних грибів і азотфіксуючих бактерій (Durczak, 2018; Kulyk, 2018). Зокрема, у дослі-

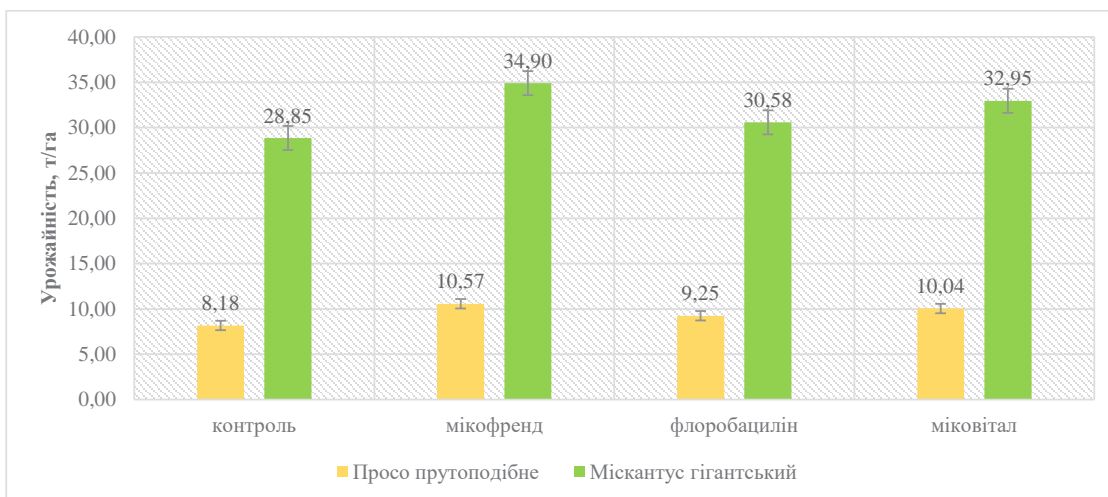


Рис. 1. Урожайність сухої біомаси рослин міскантусу гігантського та проса прутіподібного залежно від мікоризації їх кореневої системи та симбіозу з бактеріями, (ВПДСС), 2017–2021 рр.

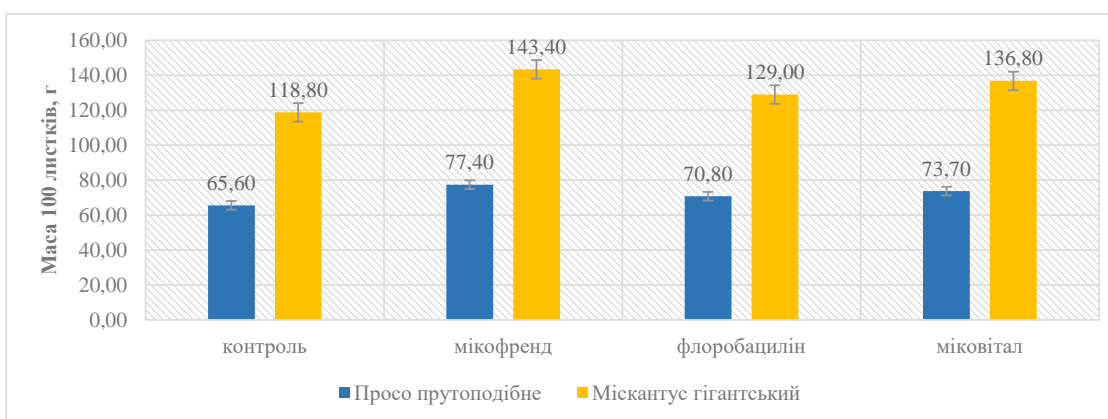


Рис. 2. Маса листків міскантусу гігантського і проса прутіподібного залежно від мікоризації їх кореневої системи грибами і симбіозу з бактеріями, ВПДСС, 2017–2021 рр.

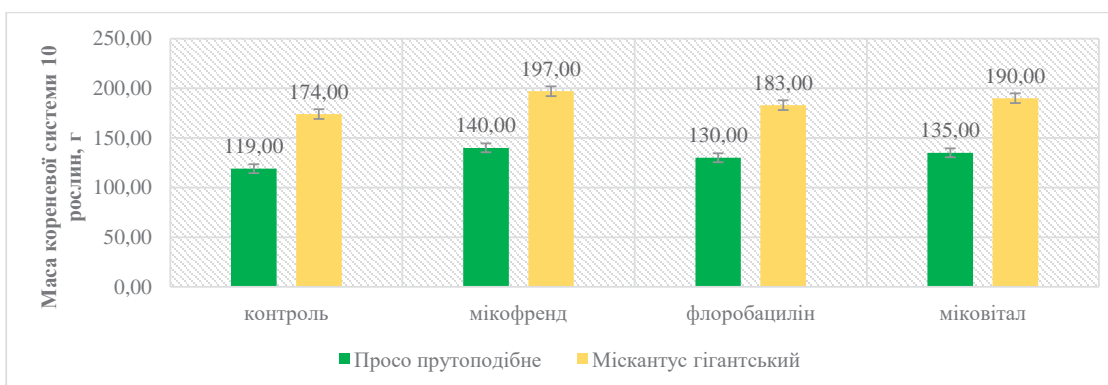


Рис. 3. Маса кореневої системи рослин міскантусу гігантського і проса прутіподібного залежно від мікоризації їх кореневої системи грибами і симбіозу з бактеріями, ВПДСС, 2017–2021 рр.

дах маса кореневої системи була більшою за контроль на 6,0–29,3 % і такі ж результати отримані іншими вченими (Battaglia, 2019; Shepherd, 2020; Dubis, 2020; Ouattara, 2020). Крім того, значно кращими порівняно з контролем були продуктивність фотосинтезу на 3,6–22,0 %, що підтверджуються іншими вченими (Ambavaram, 2018;

Lin, 2021; Zhang, 2020; Taranenko, 2019), площа листової поверхні на 4,2–19,0 % (Gołab-Bogacz, 2020; Guan, 2020, Baute, 2018) та маса листків на 7,8–28,6 % (Szulczewski, 2018; Tejera, 2019). Що і послужило основою підвищення продуктивності цих культур.

Висновки. Використання мікоризоутворюваль-

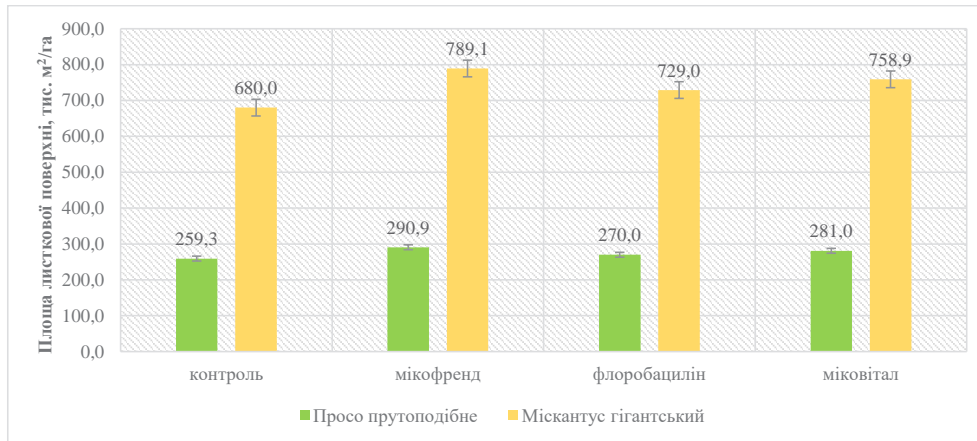


Рис. 4. Площа листової поверхні рослин міскантусу гігантського і проса прутіподібного залежно від мікоризації їх кореневої системи грибами і симбіозу з бактеріями, ВПДСС, 2017–2021 рр.

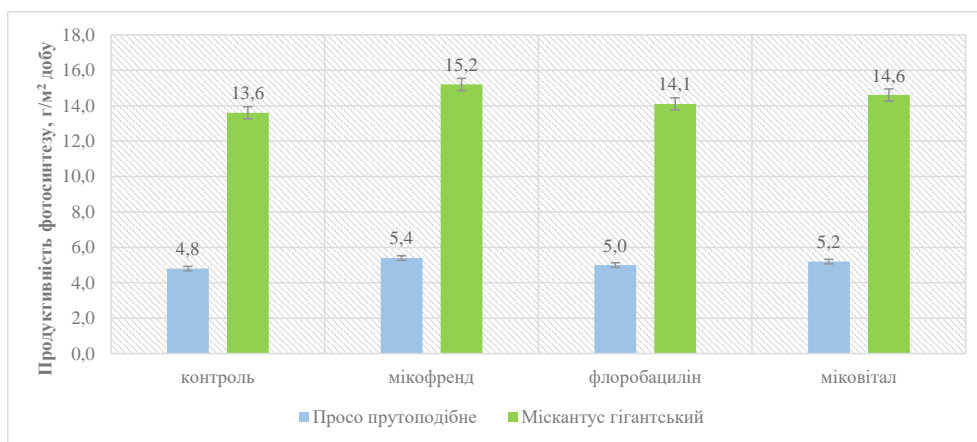


Рис. 5. Продуктивність фотосинтезу рослин міскантусу гігантського і проса прутіподібного залежно від мікоризації їх кореневої системи грибами і симбіозу з бактеріями, ВПДСС, 2017–2021 рр.

них грибів і азотфіксуючих бактерій за прикореневого їх внесення сприяє значному зростанню накопичення сухої біомаси рослин злакових біо-

нергетичних культур проса прутіподібного і міскантусу гігантського.

Бібліографічні посилання:

1. Ambavaram, M.M., Ali, A., Ryan, K.P., Peoples, O., Snell, K.D., & Somleva, M.N. (2018). Novel transcription factors PvBMY1 and PvBMY3 increase biomass yield in greenhouse-grown switchgrass (*Panicum virgatum* L.). *Plant Science*, 273, 100–109. doi: 10.1016/j.plantsci.2018.04.003.
2. Barbash, V.A., Zinchenko, V.O., & Trembus, I.V. (2012). Resursozberihaiuchi tekhnologii pereroblennia stebel miskantusa [Resource-saving technologies for processing miscanthus stems]. *Naukovi visti NTUU "KPI"*, 5, 118–123 (in Ukrainian).
3. Battaglia, M., Fike, J., Fike, W., Sadeghpour, A., & Diatta, A. (2019). Miscanthus × giganteus biomass yield and quality in the Virginia Piedmont. *Grassland Science*, 65(4), 233–240. doi: 10.1111/grs.12237.
4. Baute, K., Van Eerd, L.L., Robinson, D.E., Sikkema, P.H., Mushtaq, M., & Gilroyed, B.H. (2018). Comparing the Biomass Yield and Biogas Potential of *Phragmites australis* with *Miscanthus × giganteus* and *Panicum virgatum* Grown in Canada. *Energies*, 11(9), 2198. doi: 10.3390/en11092198.
5. Dubis, B., Jankowski, K.J., Załuski, D., & Sokólski, M. (2020). The effect of sewage sludge fertilization on the biomass yield of giant miscanthus and the energy balance of the production process. *Energy*, 206, 118189. doi: 10.1016/j.energy.2020.118189.
6. Durczak, K., Adamski, M., Mitkowski, P.T., Szaferki, W., Gulewicz, P., & Majtkowski, W. (2018). Chemical processing of switchgrass (*Panicum virgatum*) and grass mixtures in terms of biogas yield in Poland. In *Practical Aspects of Chemical Engineering*. Springer, Cham. 85–99. doi: 10.1007/978-3-319-73978-6_6.
7. Ermantraut, E.R., Hoptsi, T.I., Kalenska, S.M., Kryvoruchko, R.V., Turchynova, N.P., & Prysiazhniuk, O.I. (2014). *Metodyka selektsiinoho eksperymentu (v roslynyystvi)* [Methods of selection experiment (in crop production)]. *KhNAU, Kharkiv*, 229 (in Ukrainian).

8. Gołąb-Bogacz, I., Helios, W., Kotecki, A., Kozak, M., & Jama-Rodzeńska, A. (2020). The influence of three years of supplemental nitrogen on above- and belowground biomass partitioning in a decade-old *Miscanthus × giganteus* in the Lower Silesian Voivodeship (Poland). *Agriculture*, 10(10), 473. doi: 10.3390/agriculture10100473.
9. Guan, C., Li, X., Tian, D.Y., Liu, H.Y., Cen, H.F., Tadege, M., & Zhang, Y.W. (2020). ADP-ribosylation factors improve biomass yield and salinity tolerance in transgenic switchgrass (*Panicum virgatum* L.). *Plant Cell Reports*, 39(12), 1623–1638. doi: 10.1007/s00299-020-02589-x.
10. Heletukha, H.H., Zheliezna, T.A., & Tryboi, O.V. (2014). Perspektyvy vyroshchuvannia ta vykorystannia enerhetychnykh kultur v Ukraini [Prospects for growing and using energy crops in Ukraine]. UAB analytical note. No. 10. Bioenerhetychna asotsiatsiia Ukrainy, Kyiv, 33. Retrieved from <http://uabio.org/img/files/docs/position-paper-uabio-10-ua.pdf> (in Ukrainian).
11. Heletukha, H.H., Zheliezna, T.A., Kucheruk, P.P., & Oliinyk, Ye.M. (2014). Suchasnyi stan ta perspektyvy rozvytku bioenerhetyky v Ukraini [Current state and prospects of bioenergy development in Ukraine]. UAB analytical note. No. 9. Bioenerhetychna asotsiatsiia Ukrainy, Kyiv, 32. Retrieved from: <http://uabio.org/img/files/docs/position-paper-uabio-9-ua.pdf> (in Ukrainian).
12. Ivakhiv, V. (2012). Enerhetychna verba yak rishennia dlia malykh mist Ukrainy [Energy willow as a solution for small towns of Ukraine]. *Ukrainska enerhetyka*. Retrieved from: <http://ua-energy.org/post/27476> (in Ukrainian).
13. Khivrych, O.B., Kvak, V.M., Kaskiv, V.V., Mamaisur, V.V., & Makarenko, A.S. (2011). Enerhetychni roslyny yak alternatyva tradytsiinym vydam palyva [Energy plants as an alternative to traditional fuels]. *Ahrobiolohiia*, 6, 153–157 (in Ukrainian).
14. Kulyk, M., Rozhko, I., Kurylo, V., Bulgakov, V., Ivanovs, S., & Adamovics, A. (2018). Impact of the soil and climate conditions on the formation of the crop yield and germinating power of the switchgrass (*Panicum virgatum* L.) seeds. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering*, 63(4), 101–105.
15. Kulyk, M.I. (2012). Vplyv umov vyroshchuvannia na kilkisni pokaznyky roslyn svitchhrasu (*Panicum virgatum* L.) pershoho roku vechetatsii [The influence of growing conditions on the quantitative parameters of switchgrass (*Panicum virgatum* L.) in the first vegetation year]. *Visnyk Poltavskoi derzhavnoi ahrarnoi akademii*, 3, 62–67. doi: 10.31210/visnyk2012.03.12 (in Ukrainian).
16. Kulyk, M.I., Rakhmetov, D.B., Rozhko, I.I., & Syplyva, N.O. (2019). The study of the varietal specimens of switchgrass (*Panicum virgatum* L.) on a complex of useful signs in the Central Forest-Steppe of Ukraine conditions. *Plant Varieties Studying and Protection*, 15(4), 354–364. doi: 10.21498/2518-1017.15.4.2019.188549 (in Ukrainian).
17. Lin, C.Y., Donohoe, B.S., Bomble, Y.J., Yang, H., Yunes, M., Sarai, N.S. & Himmel, M.E. (2021). Iron incorporation both intra- and extra-cellularly improves the yield and saccharification of switchgrass (*Panicum virgatum* L.) biomass. *Biotechnology for Biofuels*, 14(1), 1–15. doi: 10.1186/s13068-021-01891-4.
18. Mazur, V.A., Branitskyi, Yu.Yu., & Polishchuk, I.S. (2017). Osoblyvosti vyroshchuvannia prosa lozovydnoho v umovakh Lisostepu Pravoberezhnoho [Features of growing millet vine in the Forest-Steppe right-bank]. *Zbirnyk naukovykh prats VNAU. Silske hospodarstvo ta lisivnytstvo*, 7, 19–26 (in Ukrainian).
19. Ouattara, M.S., Laurent, A., Barbu, C., Berthou, M., Borujerdi, E., Butier, A. & Loyce, C. (2020). Effects of several establishment modes of *Miscanthus × giganteus* and *Miscanthus sinensis* on yields and yield trends. *GCB Bioenergy*, 12(7), 524–538. doi: 10.1111/gcbb.12692.
20. Roik, M.V., Humentyk, M.Ya., & Mamaisur, V.V. (2013). Perspektyvy vyroshchuvannia enerhetychnoi verby dlia vyrobnytstva tverdoho biopalyva [Prospects for growing energy willow for the production of solid biofuels]. *Bioenerhetyka*, 2, 18–19 (in Ukrainian).
21. Roik, M.V., Sinchenko, V.M., Ivashchenko, O.O., Pyrkin, V.I., Kvak, V.M., Humentyk, M.Ya. & Katelevskiy, V.M. (2019). Miskantus v Ukraini [Miscanthus in Ukraine]. FOP Yamchynskiy O.V., Kyiv, 256 (in Ukrainian).
22. Romanchuk, L.D., Zinchenko, V.O., & Vasyliuk, T.P. (2014). Osoblyvosti vyroshchuvannia enerhetychnykh kultur v umovakh Polissia Ukrainy [Features of growing energy crops in Polissia of Ukraine]. In O. V. Skydan (Ed.), *Perspektyvy rozvytku alternatyvnoi enerhetyky na Polissi Ukrainy* [Prospects for the development of alternative energy in Polissia of Ukraine]. *Tsentr uchbovoi literatury*, Kyiv, 81–111 (in Ukrainian).
23. Shepherd, A., Littleton, E., Clifton-Brown, J., Martin, M., & Hastings, A. (2020). Projections of global and UK bioenergy potential from *Miscanthus × giganteus* – Feedstock yield, carbon cycling and electricity generation in the 21st century. *GCB Bioenergy*, 12(4), 287–305. doi: 10.1111/gcbb.12671.
24. Szulczewski, W., Żyromski, A., Jakubowski, W., & Biniak-Pieróg, M. (2018). A new method for the estimation of biomass yield of giant miscanthus (*Miscanthus giganteus*) in the course of vegetation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82(2), 1787–1795. doi: 10.1016/j.rser.2017.07.057.
25. Taranenko, A., Kulyk, M., Galytska, M., & Taranenko, S. (2019). Effect of cultivation technology on switchgrass (*Panicum virgatum* L.) productivity in marginal lands in Ukraine. *Acta Agrobotanica*, 72(3), 1786. doi: 10.5586/aa.1786.
26. Tejera, M., Boersma, N., Vanlooocke, A., Archontoulis, S., Dixon, P., Miguez, F., & Heaton, E. (2019). Multi-year and multi-site establishment of the perennial biomass crop *Miscanthus × giganteus* using a staggered start design to elucidate N response. *BioEnergy Research*, 12(3), 471–483. doi: 10.1007/s12155-019-09985-6.
27. Tsyganov, A.R., & Klochkov, A.V. (2012). Bioenergetika: energeticheskie vozmozhnosti biomassy [Bioenergy: the energy potential of biomass]. *Belarusskaya nauka*, Minsk, 143 (in Russian).
28. von Cossel, M., Mangold, A., Iqbal, Y., Hartung, J., Lewandowski, I., & Kiesel, A. (2019). How to generate yield in the first year – A three-year experiment on miscanthus (*Miscanthus × giganteus* (Greef et Deuter)) establishment under maize (*Zea mays* L.). *Agronomy*, 9(5), 237. doi: 10.3390/agronomy9050237.

29. Yastremskaya, L.S., Pryshlyak, R.I., & Fedonyuk, Y.V. (2017). Miscantus – enerhetychna kultura dlia otrymannia biopalyva [Miscantus – energy culture for the production of biofuel]. *Problemy ekolohichnoi biotekhnolohii*, 1. doi: 10.18372/2306-6407.1.11665 (in Ukrainian).

30. Zhang, B., Hastings, A., Clifton-Brown, J. C., Jiang, D., & Faaij, A.P. (2020). Modeled spatial assessment of biomass productivity and technical potential of *Miscanthus × giganteus*, *Panicum virgatum* L., and *Jatropha* on marginal land in China. *GCB Bioenergy*, 12(5), 328–345. doi: 10.1111/gcbb.12673.

31. Zhang, J., Wen, W., Li, H., Lu, Q., Xu, B., & Huang, B. (2020). Overexpression of an aquaporin gene PvPIP2; 9 improved biomass yield, protein content, drought tolerance and water use efficiency in switchgrass (*Panicum virgatum* L.). *GCB Bioenergy*, 12(11), 979–991. doi: 10.1111/gcbb.12751.

Dymytrov S. H., PhD (Agricultural Sciences), Doctoral student, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Sabluk V. T., Doctor (Agricultural Sciences), Professor, Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beets of NAAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Increase in the accumulation of dry biomass of cereal bioenergy cultures with mycorrhization of their root system

Purpose. To find out the effect of mycorrhization of the root system of cereal bioenergy crops – giant miscanthus and switchgrass – on the accumulation of dry biomass. *Methods.* Field, laboratory, and statistical. *Results.* According to the research data, application of vesicular-arbuscular fungi *Tuber melanosporum* VITTAD. and *Trichoderma harzianum* RIFAI (biological products Mycofriend and Mikovital) and *Bacillus subtilis* Cohn. (biological product Florobacillin) for seed treatment contributes to a significant increase in the accumulation of dry biomass in cereal bioenergy crops, such as switchgrass (*Panicum virgatum* L.) and giant miscanthus (*Miscanthus × giganteus*). In particular, in the treatments with Mycofriend (fungus *Trichoderma harzianum* RIFAI), the yield of dry biomass in switchgrass was 10.57 t/ha, which is 29.3 % higher than in the control. In the treatments with Florobacillin (bacteria *Bacillus subtilis* Cohn.) and Mikovital (fungus *Tuber melanosporum* VITTAD.), the yield was higher by 13.1 t/ha (22.8 %) than in the control. The yield of dry biomass of giant miscanthus in the treatments with Mycofriend (*Trichoderma harzianum* RIFAI) was 34.9 t/ha, which is 21.0 % higher than in the control. In the treatments with Florobacillin (bacteria *Bacillus subtilis* Cohn.) and Mikovital (fungus *Tuber melanosporum* VITTAD.), the yield was by 6.0 t/ha (14.2 %) higher than in the control. *Conclusions.* Root application of mycorrhizal fungi and nitrogen-fixing bacteria contributes to a significant increase in the accumulation of dry biomass of cereal bioenergy crops – switchgrass and giant miscanthus. In the experiments with root application of mycorrhizal fungi and nitrogen-fixing bacteria, the photosynthetic potential was 4.0–21.9 % higher than in the control. In the experiments with root application of mycorrhizal fungi and nitrogen-fixing bacteria, the net productivity of photosynthesis was 3.6–22.0 % higher than the control. In the experiments with root application of mycorrhizal fungi and nitrogen-fixing bacteria, the leaf area was 4.2–19.0 % higher than in the control. In the experiments with root application of mycorrhizal fungi and nitrogen-fixing bacteria, the mass of leaves was 7.8–28.6 % than in control.

Key words: vesicular-arbuscular fungi, plant bacteria, yield, biological products, root application.

Дата надходження до редакції 03.12.2021 р.