

ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ УДОСКОНАЛЕНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ МІСКАНТУСУ ГІГАНТСЬКОГО ДЛЯ ОТРИМАННЯ БІОМАСИ

ДЕКОВЕЦЬ В.О. – здобувач ступеня вищої освіти доктора філософії

orcid.org/0000-0003-3537-5016

Полтавський державний аграрний університет

КУЛИК М.І. – доктор сільськогосподарських наук, професор

orcid.org/0000-0003-0394-5846

Полтавський державний аграрний університет

Постановка проблеми. Насьогодні, все гостріше постає питання вичерпності ресурсів викопного палива та екологічні світові проблеми, що потребують всебічного вивчення. В цьому плані, дослідження поновлюваних джерел енергії та розвиток ринку біопалив у світі [1, 2] та в Україні [3] дозволить вирішити окреслену проблему.

Зростаючий дефіцит енергетичних ресурсів загальному в світі, та в Україні зокрема вимагає інноваційних підходів до вирішення ряду питань. Сюди відносять вирішення економічних, екологічних, технічних і технологічних завдань. При цьому необхідно враховувати енергетичні витрати в кожній галузі національної економіки, на всіх етапах виробництва та під час реалізації кінцевого продукту виробництва. Упродовж тривалого часу екстенсивний тип господарювання у агропідприємствах України призводив до використання потенціалу галузей на низькому рівні, що зумовлювалося високим рівнем ресурсо- та енерговитрат [4]. За новітніх умов перерозподілу енергетичних ресурсів, які часто є непередбачуваними, а також внаслідок глобалізації світового ринку питання енергозабезпечення та енергоспоживання підприємств різних сфер потребують додаткового вивчення. Що передбачає розроблення практичних пропозицій щодо раціонального використання енергетичних ресурсів, подальшого їх ефективного застосування та підвищення конкурентоспроможності підприємств [5]. В цьому плані найбільш доступним, щорічно поновлюваним і енергопродуктивним є рослинний ресурс – біомаса енергетичних культур [6].

Саме тому, обґрунтування енергоефективності удосконаленої технології вирощування міскантусу гігантського дозволить збільшити енергопродуктивність біомаси, як сировину для виробництва біопалив. Що є актуальним питанням сьогодення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Насьогодні все більше вчених обґрунтовують необхідність збільшення відсотку та стимулювання використання відновлюваних джерел енергії в європейських країнах взагалі та в Україні зокрема [7, 8]. Вивчаються передові технології виробництва біопалива з урахуванням доступного потенціалу відновлюваних джерел енергії у світі, на рівні країни, окремого регіону та енергетичного стану господарства [9, 10]. Розробляються шляхи зменшення енергозатрат за вирощування сільськогосподарських й енергетичних культур на та виробництва біопалив [11–13]. Окрім цього, авторами розроблено математичну модель

та алгоритм визначення доцільності використання альтернативного палива. Запропонований алгоритм включає наступні етапи: розрахунок витрат на енергію палива, розрахунок критеріїв для транспортних засобів, визначення максимальної вартості інвестицій, готове рішення [14].

Енергетичні культури сприяють синергії між продуктивністю та біорізноманіттям з точки зору кліматичних змін та багатофункціональності біомаси [15]. Окрім цього авторами обґрунтована та розроблена методика оцінки енергетичної ефективності виробництва продукції рослинництва та експрес-аналіз оцінки ефективності виробництва біомаси енергетичних культур в Лісостепу України [16]. Встановлено, що енергетичні рослини з екологічної точки зору – перспективний шлях депонування органічного вуглецю ґрунту у сільському господарстві та спосіб реалізації низькокарбонних технологій вирощування [17, 18]. Це збігається із попередніми дослідженнями E. Aguilera, et al., які встановили, що ступінь інтенсифікації швидкості надходження вуглецю є основним фактором відносного його накопичення під час різних систем обробітку ґрунту [19].

У зв'язку з чим, наша публікація присвячена вивченню впливу удосконаленню елементів технології вирощування міскантусу гігантського для збільшення врожайності та енергопродуктивності біомаси.

Метою дослідження було встановлення врожайності, енергетичної ефективності за удосконаленої технології вирощування міскантусу гігантського та енергопродуктивності біомаси. Для досягнення мети дослідження було вирішено наступні завдання:

1. Встановити врожайність за сухою біомасою міскантусу гігантського за різної технології вирощування культури.

2. Розрахувати енергетичну ефективність виробництва та енергопродуктивність біомаси міскантусу гігантського за різної технології вирощування культури.

Матеріали та методика досліджень. Експеримент закладено і проведено протягом 2018–2022 років в умовах центральної частини Лісостепу України відповідно загальноприйнятої методики дослідної справи в агрономії [20]. Агротехнологія вирощування міскантусу здійснено відповідно наукових рекомендацій [21], окрім чинників, що вивчали.

Варіанти досліду поєднували: варіант 1 (контроль) – звичайна технологія вирощування міскантусу гігантського; варіант 2 – удосконалена технологія вирощування міскантусу гігантського. Звичайна технологія

вищування міскантусу поєднувала: основний і весняний обробіток ґрунту, висаджування садивного матеріалу (ризом) та догляд за рослинами під час вегетації. Удосконалення даної технології, окрім перелічених заходів, містила: розміщення рослин за найбільш оптимальною схемою (70 × 70), вищування культури сумісно з люпином в міжряддях та позакоренева обробка насаджень мікоризним препаратом (Мікофренд) навесні. Загальна площа ділянки кожного варіанту (у межах кожного з чотирьох повторень) становила 60 м², а площа облікової ділянки була 50 м².

Врожайність біомаси міскантусу визначали згідно рекомендацій [22], а енергетичну ефективність – згідно затвердженій авторської методики [23].

Статистичний обрахунок даних досліді здійснювали відповідно дослідній справі в агрономії [24].

Результати досліджень. Урожайність сухої біомаси міскантусу гігантського за варіантами досліді в розрізі років та у середньому за роки дослідження наведена у табл. 1.

Урожайність сухої біомаси міскантусу гігантського змінювалася залежно від варіантів досліді. Звичайна технологія вищування культури сприяла зростанню врожайності від 6,6 т/га (у перший рік) до 13,4 т/га (третій рік). Що в середньому за три роки становило

11,8 т/га. На варіантах удосконалення технології вищування було більш суттєве зростання врожаю – від 10,0 до 22,3 т/га, у за три роки – на рівні 20,7 т/га (рис. 1).

Для першого вегетаційного року за врожайністю сухої біомаси міскантусу гігантського не встановлено суттєвих відмінностей за варіантами досліді. На другий і третій рік – відмічаємо істотні різниці за врожайністю сухої біомаси між технологіями вищування. У середньому за роки дослідження удосконалена технологія вищування, порівняно із звичайною дозволила на 8,9 т/га збільшила врожайність біомаси міскантусу гігантського.

Енергоефективність вищування міскантусу гігантського базується на застосуванні удосконаленої технології виробництва біомаси. Ефективність її визначають як сукупність взаємопов'язаних операцій, що пов'язані з енерговитратами на одиницю продукції (біомаси з енергоємністю 16,5 МДж/кг), її енергопродуктивністю, обсягом врожай і виходом твердого біопалива.

Застосування комплексу запропонованих удосконалених агротехнологічних заходів, порівняно з звичайною технологією вищування міскантусу гігантського в умовах Лісостепу України дозволяє підвищити енергоефективність виробництва біомаси (табл. 2).

Таблиця 1

Урожайність міскантусу гігантського залежно від технології вищування, середнє за 2018–2022 рр.

Технологія вищування	Рік вегетації			Середнє за роки
	перший (2018–2020 рр.)	другий (2019–2021 рр.)	третій (2020–2022 рр.)	
звичайна	6,6	10,1	13,4	11,8
удосконалена	9,9	19,1	22,3	20,7
HIP ₀₅	1,1	3,8	7,2	-

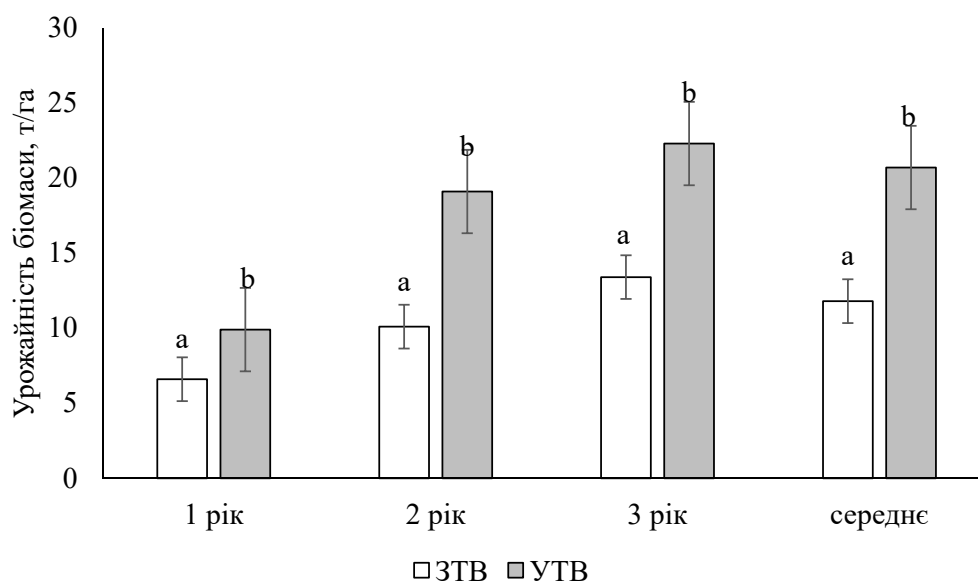


Рис. 1. Динаміка врожайності за сухою біомасою міскантусу гігантського залежно від технології вищування культури, 2018–2022 рр.

Примітка: ЗТВ – звичайна технологія вищування міскантусу, УТВ – удосконалена технологія вищування міскантусу. Різні букви показують суттєві відмінності між варіантами згідно HIP₀₅.

Таблиця 2

Енергоефективність виробництва біомаси в залежності від технології вирощування, 2018–2022 рр.

Технологія	Урожай-ність, т/га	Показники*				
		В, т/га	Е _{аа} , ГДж/га	Е _с , ГДж/га	ЕР _с , ГДж/га	К _{еє}
Звичайна	11,8	13,2	217,8	154,4	63,4	3,4
Удосконалена	20,7	22,8	375,7	293,2	82,5	4,5
Прибавка	8,9	9,6	157,9	138,8	19,1	1,1

*Примітка: В – вихід твердого біопалива, т/га; Е_{аа} – сукупна енергія, накопичена в біомасі, ГДж/га; Е_с – сумарні енергетичні витрати на вирощування біомаси, ГДж/га; ЕР_с – енергопродуктивність виробництва біомаси, ГДж/га; К_{еє} – коефіцієнт енергетичної ефективності вирощування біомаси.

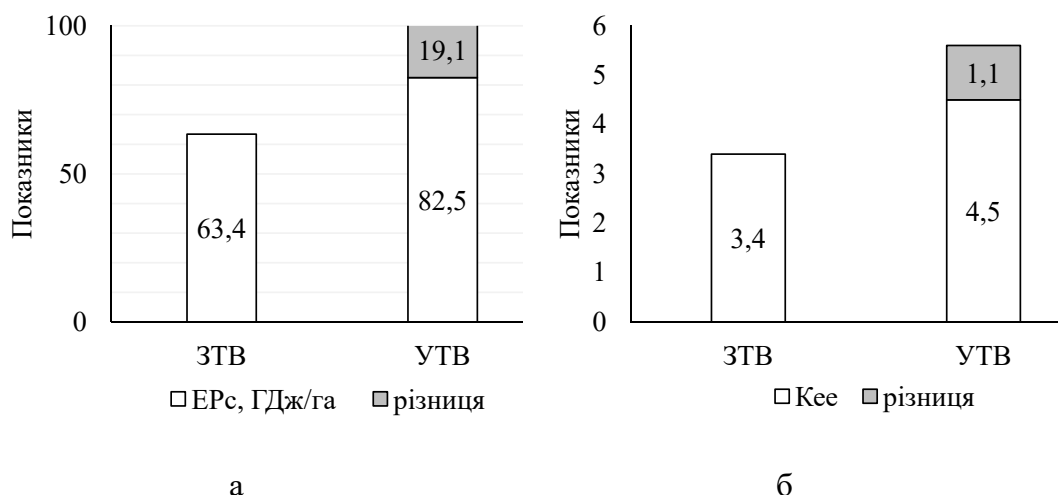


Рис. 2. Показники енергоефективності (а – енергопродуктивність, б – коефіцієнт енергоефективності) виробництва біомаси міскантусу за звичайною та удосконаленою технологіями вирощування, в середньому за 2018–2022 рр.

Примітка: ЗТВ – звичайна технологія вирощування, УТВ – удосконалена технологія вирощування.

Встановлено, що при оптимізації енерговитрат на технологічні операції протягом багаторічного циклу вирощування міскантусу гігантського, енергопродуктивність та коефіцієнт енергоефективності зростають (рис. 2).

Удосконалена технологія вирощування міскантусу гігантського, порівняно із звичайною збільшує на 19,1 ГДж/га енергопродуктивність виробництва біомаси та на 1,1 пунктів коефіцієнт енергоефективності.

Висновки. Обґрунтовано, що врожайність за сухою біомасою міскантусу гігантського суттєво збільшується з другого року вегетації. Встановлено збільшення енергопродуктивності (на 19,1 ГДж/га) та коефіцієнта енергоефективності (на 1,1 пункт) при культивуванні міскантусу за удосконаленою технологією вирощування, порівняно із звичайною. Що досягається за вирощування міскантусу сумісно з бобовим компонентом (люпин багаторічний) у міжряддях (70 × 70) й застосування мікоризного препарату Мікофренд дозою 0,2 л/га з нормою витратою 25 л/га робочого розчину для позакореневої обробки рослин при весняному підживленні.

Перспективи подальших досліджень передбачатимуть вивчення хімічного вмісту біомаси міскантусу гігантського залежно від технології вирощування культури.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

- Havrysh V. & Nitsenko V. Current state of world alternative motor fuel market, *Actual Problems of Economics*. 2016. Vol. 7 (181): 41–52. URL: https://www.researchgate.net/publication/306208517_Current_state_of_world_alternative_motor_fuels_market
- Mofijur M, Rasul M. G., Hyde J., Bhuyia M. M. K. Role of biofuels on IC engines emission reduction. *Energy Procedia*. 2015. Vol. 75: 886–892. DOI: 10.1016/j.egypro.2015.07.211
- Гелетуха Г. Г., Железна Т. А., Трибой О. В., Баштовий А. І. Аналіз критеріїв сталого розвитку біоенергетики. *Пром. Теплотехніка*. 2016. т. 38. № 6. С. 47–55.
- Калініченко О. В. Енергетична оцінка виробництва продукції рослинництва. *Управління стратегіями випереджаючого інноваційного розвитку: монографія / за ред. к. е. н., доцента Н. С. Ілляшенко*. Суми: Триторія. 2020. С. 381–388.
- Енергоефективність та енергозбереження: економічний, техніко-технологічний та екологічний аспекти: *колективна монографія / Кол. авторів; за заг. ред. П. М. Макаренка, О. В. Калініченка, В. І. Аранчій*. Полтава: ПП "Астроя", 2019. 603 с.
- Kalinichenko A., Kalinichenko O., Kulyk M. (2017). Assessment of available potential of agro-biomass and energy crops phytomass for biofuel production

- in Ukraine: *Odnawialne źródła energii: teoria i praktyka. Monograph* / pod red. I. Pietkun-Greber, P. Ratusznego, Uniwersytet Opolski: Opole, Kijów, Tom II: 163–179. DOI: <http://dspace.pdaa.edu.ua:8080/handle/123456789/343>
7. Кулик О. Способи стимулювання використання альтернативних джерел енергії за законодавством України та Європейського Союзу. *Підприємництво, господарство і право*. 2018. Вип. 4. С. 86–90.
 8. Röder M., Mohr A., & Yan Liu. Sustainable bioenergy solutions to enable development in low- and middleincome countries beyond technology and energy access. *Biomass and Bioenergy*. 2020. Vol. 143. doi: 10.1016/j.biombioe.2020.105876
 9. Гелетуша Г. Г., Железна Т. А., Дроздова О. І. Аналіз механізмів стимулювання розвитку «зеленої» електроенергетики Європейському Союзі. *Пром. Теплотехніка*. 2011. т. 33. № 5. С. 35.
 10. Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних джерел енергії України / за ред. С. О. Кудрі. Київ: Інститут відновлюваної енергетики НАН України, 2020, 82 с.
 11. Страпчук С. Виробництво та використання біоенергетичних ресурсів у сільському господарстві України на засадах сталості. *Економіка природокористування і сталій розвитку*. 2021. № 9 (28). С. 80–87. DOI: 10.37100/2616-7689.2021.9(28).11
 12. Bai Y., Luo L., van der Voet E. Life cycle assessment of switchgrass-derived ethanol as transport fuel. *J. Life Cycle Assess.* 2010. Vol. 15: 468–477. DOI: 10.1007/s11367-010-0177-2
 13. Гументик М. Я., Бондар В. С. Економічна й енергетична ефективність вирощування біоенергетичних культур на біопаливо. *Біоенергетика*. 2018. № 1. С. 16–19. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Bioen_2018_1_5
 14. Antonina Kalinichenko and Valerii Havrysh. Environmentally friendly fuel usage: economic margin of feasibility. *Ecol Chem Eng S*. 2019. 26 (2): 241–254, DOI: 10.1515/eces-2019-0030
 15. Енергетичні культури : сортимент, біологія, екологія, агротехнологія: колективна монографія / за ред. док. с.-г. наук., проф. М. І. Кулика. Полтава: «Астрая», 2023. 220 с.
 16. Kulyk M. I., Kurylo V. L., Kalinichenko O. V., Galytska M. A. Plant energy resources: agroecological, economic and energy aspects: Monograf / Edited by authors. Poltava: Astraya. 2019. 119 p.
 17. Галицька, Марина Анатоліївна. Агроекологічна оцінка колообігу карбону на посівах енергетичних культур в умовах лісостепу України : автореф. дис. ... канд. с.-г. наук. : 03.00.16; Дніпров. держ. аграр.-екон. ун-т. Дніпро, 2021. 24 с.
 18. Дековець В. О., Кулик М. І. Екологічні особливості та агрозаходи вирощування біомаси міскантусу гігантського для забезпечення енергоефективності сільських територій. *Енергоефективність і енергонезалежність сільських територій: передумови формування та функціонування* : колективна монографія / за ред. Т. О. Чайки, І. О. Яснолоб, О. О. Горба. Полтава : Видавництво ПП «Астрая», 2020. С. 102–115.
 19. Aguilera E., Lassaletta Luis, Gattinger Andreas, Gimeno Benjamín S. Managing soil carbon for climate change mitigation and adaptation in Mediterranean cropping systems. A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2013. Vol. 168 (15): 25–36. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.02.003>
 20. Рожков А. О., Пузік В. К., Каленська С. М. та ін. Дослідна справа в агрономії: навч. посіб.: у 2 кн. *Кн. 1. Теоретичні аспекти дослідної справи* ; за ред. А. О. Рожкова. Харків: Майдан, 2016. 316 с.
 21. Методичні рекомендації з оптимізації технології вирощування міскантусу в різних ґрунтово-кліматичних зонах України / Рахметов Д. Б. та ін. Видавничий центр «Колос»: ДВНЗ «Херсонський державний аграрний університет», 2017. 22 с.
 22. Kulyk M. I., Rakhmetov D. B., Kurylo V. L. Methodology of conducting field and laboratory researches with switchgrass (*Panicum virgatum* L.). Poltava, 2017. 24 p. URI: <http://dspace.pdaa.edu.ua:8080/handle/123456789/7586>
 23. А. с. 93177. Методичні засади оцінки енергетичної ефективності вирощування енергетичних культур в умовах Лісостепу України / О. В. Калінченко, М. І. Кулик. № 93177; заявл. 13.08.2019; опубл. 18.10.2019, Бюл. № 31.
 24. Рожков А. О., Пузік В. К., Каленська С. М. та ін. Дослідна справа в агрономії: навч. посіб. [Research work in agronomy: a study guide]: у 2 кн. – *Кн. 2. Статистична обробка результатів досліджень*; за ред. А. О. Рожкова. Харків: Майдан, 2016. 352 с.

REFERENCES:

1. Havrysh, V. & Nitsenko, V. (2016). Current state of world alternative motor fuel market, *Actual Problems of Economics*, 7 (181), pp. 41–52. URL: https://www.researchgate.net/publication/306208517_Current_state_of_world_alternative_motor_fuels_market
2. Mofijur, M., Rasul, M. G., Hyde, J., Bhuyia, M. M. K. (2015). Role of biofuels on IC engines emission reduction. *Energy Procedia*, 75, pp. 886–892. DOI: 10.1016/j.egypro.2015.07.211
3. Heletukha, H. H., Zheliezna, T. A., Tryboi, O. V., Bashtovyi, A. I. (2016). Analiz kryteriiv staloho rozvytku bioenerhetyky [Analysis of criteria for sustainable development of bioenergy]. *Пром. теплотехніка*, 38, 6, pp. 47–55. [in Ukrainian].
4. Kalinichenko, O. V. (2020). Enerhetychna otsinka vyrobnytstva produktsii roslynnystva [Energy assessment of crop production]. *Upravlinnia stratehiamy vyperedzhaiuchoho innovatsiinoho rozvytku: monohrafiia* / za red. k. e. n., dotsenta N. S. Illiashenko. Sumy, pp. 381–388. [in Ukrainian].
5. Enerhoefektyvnist ta enerhozberezhennia: ekonomichni, tekhniko-tekhnolohichni ta ekolohichni aspekty : kolektyvna monohrafiia [Energy efficiency and energy saving: economic, technological and environmental aspects: collective monograph] / Kol. avtoriv; za zah. red. P. M. Makarenka, O. V. Kalinichenka, V. I. Aranchii. Poltava, 2019. 603 p. [in Ukrainian].
6. Kalinichenko, A., Kalinichenko, O., Kulyk, M. (2017). Assessment of available potential of agro-biomass and energy crops phytomass for biofuel production in Ukraine: *Odnawialne źródła energii: teoria i praktyka. Monograph* / pod red. I. Pietkun-Greber, P. Ratusznego, Uniwersytet Opolski: Opole, Kijów, Tom II, pp. 179. DOI: <http://dspace.pdaa.edu.ua:8080/handle/123456789/343>.

7. Kulyk, O. (2018). Sposoby stymulivannia vykorystannia alternatyvnykh dzherel enerhii za zakonodavstvom Ukrainy ta Yevropeiskoho Soiuzu [Methods of stimulating the use of alternative energy sources according to the legislation of Ukraine and the European Union]. *Pidpriemnytstvo, hospodarstvo i pravo*, 4, pp. 86–90 [in Ukrainian].
8. Röder, M., Mohr, A., Liu, Yan (2020). Sustainable bioenergy solutions to enable development in low- and middleincome countries beyond technology and energy access. *Biomass and Bioenergy*, 143. doi: 10.1016/j.biombioe.2020.105876.
9. Heletukha, H. H., Zheliezna, T. A., Drozdova, O. I. (2011). Analiz mekhanizmiv stymulivannia rozvytku «zelenoi» elektroenerhetyky Yevropeiskomu Soiuzu [Analysis of mechanisms for stimulating the development of «green» electricity in the European Union]. *Prom. Teplotekhnika*, 33, 5, p. 35. [in Ukrainian].
10. Atlas enerhetychnoho potentsialu vidnovliuvanykh dzherel enerhii Ukrainy [Atlas of the energy potential of renewable energy sources of Ukraine] / za red. S. O. Kudri. Kyiv, 2020, 82 p. [in Ukrainian].
11. Strapchuk, S. (2021). Vyrobnnytstvo ta vykorystannia bioenerhetychnykh resursiv u silskomu hospodarstvi Ukrainy na zasadakh stalosti [Production and use of bioenergy resources in the agriculture of Ukraine on the basis of sustainability]. *Ekonomika pryrodokorystuvannia i stalyy rozvytok*, 9 (28), pp. 80–87. DOI: 10.37100/2616-7689.2021.9(28).11 [in Ukrainian].
12. Bai, Y., Luo, L., van der Voet, E. (2010.). Life cycle assessment of switchgrass-derived ethanol as transport fuel. *The Int. J. Life Cycle Assess*, 15, pp. 468–477. DOI: 10.1007/s11367-010-0177-2
13. Humentyk, M. Ya., Bondar, V. S. (2018). Ekonomichna y enerhetychna efektyvnist vyroshchuvannia bioenerhetychnykh kultur na biopalyvo [Economic and energy efficiency of growing bioenergy crops for biofuel]. *Bioenerhetyka*, 1, pp. 16–19. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Bioen_2018_1_5 [in Ukrainian].
14. Antonina Kalinichenko and Valerii Havrysh (2019). Environmentally friendly fuel usage: economic margin of feasibility. *Ecol Chem Eng.*, 26 (2), pp. 241–254 DOI: 10.1515/eces-2019-0030
15. Enerhetychni kultury : sortyment, biolohiia, ekolohiia, ahrotekhnolohiia: kolektyvna monohrafiia [Energy crops: assortment, biology, ecology, agrotechnology: a collective monograph] / za red. dok. s.-h. nauk., prof. M. I. Kulyka. Poltava, 2023. 220 p. [in Ukrainian].
16. Kulyk, M. I., Kurylo, V. L., Kalinichenko, O. V., Galytska, M. A. (2019). Plant energy resources: agroecological, economic and energy aspects: Monograf / Edited by authors. Poltava, 119 p. [in Ukrainian].
17. Halytska, Maryna Anatoliivna. Ahroekolohichna otsinka koloobihu karbonu na posivakh enerhetychnykh kultur v umovakh lisostepu Ukrainy [Agroecological assessment of the carbon cycle in energy crop crops in the conditions of the forest-steppe of Ukraine] : avtoref. dys. ... kand. s.-h. nauk : 03.00.16; Dniprov. derzh. ahrar. ekon. un-t. Dnipro, 2021. 24 p. [in Ukrainian].
18. Dekovets, V. O., Kulyk, M. I. (2020). Ekolohichni osoblyvosti ta ahrozakhody vyroshchuvannia biomasy miskantusu hihantskoho dlia zabezpechennia enerhoefektyvnosti silskykh terytorii [Ecological features and agromeasures of biomass cultivation of giant miscanthus to ensure energy efficiency of rural areas]. *Enerhoefektyvnist i enerhonezalezhnist silskykh terytorii: peredumovy formuvannia ta funktsionuvannia : kolektyvna monohrafiia / za red. T. O. Chaiky, I. O. Yasnolob, O. O. Horba. Poltava, pp. 102–115. [in Ukrainian].*
19. Aguilera, E., Lassaletta, Luis, Gattinger, Andreas, Gimeno, Benjamin S. (2013). Managing soil carbon for climate change mitigation and adaptation in Mediterranean cropping systems. A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 168 (15), pp. 25–36. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.02.003>
20. Rozhkov, A. O., Puzik, V. K., Kalenska, S. M. ta in. (2016). Doslidna sprava v ahronomii: navch. posib. [Research work in agronomy: a study guide]: u 2 kn. – Kn. 1. Teoretychni aspekty doslidnoi spravy ; za red. A. O. Rozhkova. Kharkiv, 316 p. [in Ukrainian].
21. Metodychni rekomendatsii z optymizatsii tekhnolohii vyroshchuvannia miskantusu v riznykh hruntovo-klimatychnykh zonakh Ukrainy [Methodical recommendations for optimizing miscanthus cultivation technology in different soil and climatic zones of Ukraine] / Rakhmetov D. B. ta in. Kherson, 2017, 22 p. [in Ukrainian].
22. Kulyk, M. I., Rakhmetov, D. B., Kurylo, V. L. Methodology of conducting field and laboratory researches with switchgrass (*Panicum virgatum* L.). Poltava, 2017. 24 p. [in Ukrainian].
23. A. s. 93177. Metodychni zasady otsinky enerhetychnoi efektyvnosti vyroshchuvannia enerhetychnykh kultur v umovakh Lisostepu Ukrainy [Methodological principles of assessing the energy efficiency of growing energy crops in the conditions of the forest-steppe of Ukraine]. / O. V. Kalinchenko, M. I. Kulyk. № 93177; zaiavl. 13.08.2019; opubl. 18.10.2019, Biul. № 31 [in Ukrainian].
24. Rozhkov, A. O., Puzik, V. K., Kalenska, S. M. ta in. (2016). Doslidna sprava v ahronomii: navch. posib. [Research work in agronomy: a study guide]: u 2 kn. – Kn. 2. Statystychna obrobka rezultativ doslidzhen; za red. A. O. Rozhkova. Kharkiv, 352 p. [in Ukrainian].

Дековець В.О., Кулик М.І. Енергетична ефективність удосконаленої технології вирощування міскантусу гігантського для отримання біомаси

Залучення до використання альтернативних джерел енергії наразі є актуальним питанням для України. Враховуючи значні площі маргінальних земель та наявні енергетичні культури, цілком можливо підвищити енергонезалежність територіальних громад нашої країни. При цьому важливим є удосконалення технології вирощування енергетичних культур, в т. ч. і міскантусу гігантського, як однієї із високопродуктивних енергокультур. Що дозволить отримувати сталу врожайність біомаси (енергоємна сировина для біопалив) за енергоефективної технології вирощування, та збільшити енергопродуктивність виробництва біомаси рослин. Саме вивченню цих питань і присвячена дана публікація. **Метою досліджень** було встановлення врожайності, енергетичної ефективності удосконаленої технології вирощування міскантусу гігантського та енергопродуктивності біомаси. **Методи.** Експеримент проведено протягом 2018–2022 років в умовах центральної частини Лісостепу України. Застосовували загальноприйняті та спеціальні методи дослідження. Варіанти досліду

поєднували: варіант 1 (контроль) – звичайна технологія вирощування міскантусу гігантського; варіант 2 – удосконалена технологія вирощування міскантусу гігантського. Звичайна технологія вирощування міскантусу поєднувала: основний і весняний обробіток ґрунту, висаджування ризом та догляд за рослинами. Удосконалення даної технології, окрім перелічених заходів, містила: висаджування культури за найбільш оптимальною схемою, вирощування культури сумісно з люпином в міжряддях та позакоренева обробка мікоризним препаратом (Мікофренд) навесні. **Результати.** За результати досліджень встановлено, що врожайність сухої біомаси буде суттєво більшою на варіантах удосконаленої технології вирощування міскантусу гігантського (20,7 т/га) порівняно із звичайною (11,8 т/га). Окрім цього визначено щорічне збільшення врожаю біомаси – від першого по третій рік вегетації на обох варіантах досліджу, але з істотною перевагою на 2 варіанті. Встановлено коефіцієнт енергетичної ефективності вирощування міскантусу гігантського на біопаливо на 2 варіанті ($K_{ee} = 4,5$), що на 1,1 пункт перевищує 1 варіант ($K_{ee} = 3,4$). Визначено, що у середньому за роки дослідження найбільша енергопродуктивність біомаси міскантусу формується за сумісного вирощування з люпином та застосування Мікофренду для підживлення енергонасаджень (удосконалена технологія вирощування культури) – на рівні 82,5 ГДж/га. **Висновки.** Для збільшення врожайності та енергопродуктивності біомаси міскантусу гігантського рекомендовано застосовувати удосконалену технологію вирощування культури. Що передбачає: основний і весняний обробіток ґрунту, висаджування ризом за найбільш оптимальною схемою (70 × 70 см), вирощування міскантусу сумісно з люпином та позакоренева обробка мікоризним препаратом (Мікофренд) у весняному підживленні. При цьому, порівняно із звичайною технологією вирощування відмічено: зростання врожайності сухої біомаси (до 20,7 т/га), збільшення енергетичної ефективності ($K_{ee} = 4,5$) та енергопродуктивності насаджень (до 82,5 ГДж/га).

Ключові слова: міскантус гігантський, удосконалення технології вирощування, врожайність, біомаса, енергетична ефективність, енергопродуктивність.

Dekovets V.O., Kulyk M.I. Energy efficiency of the improved technology of miscanthus giganteus cultivation for biomass production

The use of alternative energy sources is currently a highly relevant issue for Ukraine. Taking into account significant areas of marginal lands and available energy crops, it is quite possible to increase energy independence of territorial communities of our country. Improvement of the technology of energy crops cultivation, including miscanthus giganteus, as one of the highly productive

energy crops, is important. This will make it possible to obtain a stable yield of biomass (energy-intensive raw material for biofuels) with energy-efficient cultivation technology, and increase the energy productivity of plant biomass production. This article focuses on the study of these issues. **The aim of the research** was to determine the yield, the energy efficiency of the improved technology of miscanthus giganteus cultivation and biomass energy productivity. **Methods.** The experiment was conducted during the period of 2018–2022 in the central part of the Forest-Steppe of Ukraine. Generally accepted and special research methods were used. The experimental variants combined: variant 1 (control) – conventional technology of miscanthus giganteus cultivation; variant 2 – the improved technology of miscanthus giganteus cultivation. The conventional technology combined: basic and spring tillage, planting with rhizomes and plant care. The improvement of this technology, besides the above measures, included: planting the crop according to the most optimal scheme, growing the crop together with lupine in the row spacing and foliar treatment with a mycorrhizal preparation (Mycofriend) in spring. **Results.** According to the research results, it was found that the yield of dry biomass will be significantly higher in the variants of the improved technology of miscanthus giganteus cultivation (20.7 t/ha) compared to the conventional one (11.8 t/ha). In addition, the annual increase in biomass yield was determined – from the first to the third year of vegetation in both variants of the experiment, but with a significant predominance in the second variant. The coefficient of energy efficiency of growing miscanthus giganteus for biofuel in the second variant ($K_{ee} = 4.5$) was established, which is 1.1 points higher than in the first variant ($K_{ee} = 3.4$). It was determined that, on average, over the research years, the highest energy productivity of miscanthus biomass at the level of 82.5 GJ/ha is formed by joint cultivation with lupine and the use of Mycofriend for fertilization of energy plants (the improved technology of crop cultivation).

Conclusions. In order to increase the yield and energy productivity of miscanthus giganteus biomass, it is recommended to use the improved technology of crop cultivation. It includes: basic and spring tillage, planting with rhizomes according to the most optimal scheme (70 × 70 cm), growing miscanthus together with lupine and foliar treatment with mycorrhizal preparation (Mycofriend) in spring fertilisation. In comparison with the conventional cultivation technology, an increase in dry biomass yield (up to 20.7 t/ha), an increase in energy efficiency ($K_{ee} = 4.5$) and energy productivity of plantations (up to 82.5 GJ/ha) were observed.

Key words: miscanthus giganteus, improvement of cultivation technology, yield, biomass, energy efficiency, energy productivity.