

Assessment of the economic and energy efficiency of giant miscanthus biomass production depending on cultivation methods and crop fertilization

M. Kulyk | O. Kalinichenko | V. Lesiuk | I. Rozhko | R. Teteriuk

Article info

Correspondence Author

M. Kulyk

E-mail:

kulykmaksym@ukr.net

Poltava State Agrarian
University,
Skovoroda Str., 1/3,
Poltava, 36000, Ukraine

Citation: Kulyk, M., Kalinichenko, O., Lesiuk, V., Rozhko, I., & Teteriuk, R. (2025). Assessment of the economic and energy efficiency of giant miscanthus biomass production depending on cultivation methods and crop fertilization. *Scientific Progress & Innovations*, 28(4), 87–93. doi: 10.31210/spi2025.28.04.12

In the context of the global energy transition and the depletion of fossil resources, research focused on the comprehensive justification for using alternative energy sources is becoming particularly relevant. Among perennial energy crops considered a sustainable source of biofuel, Giant Miscanthus (*Miscanthus × giganteus*) occupies a special position due to its high adaptability and ability to produce a substantial amount of biomass. Optimizing its cultivation technology is a key task for improving the economic and energy efficiency of its production. The aim of the study was to determine the efficiency of Giant Miscanthus biomass production depending on the improvement of cultivation technology in binary plantations with a legume component. The research was conducted during 2020–2024 on podzolized chernozems under the soil and climatic conditions of the Poltava region. Field experiments were established according to a two-factor design using a randomized block method. The accounting plot area was 50 m², with four replications. In binary Miscanthus-lupine plantations, various rates of spring nitrogen fertilization (from N₀ to N₁₂₀) were applied. The energy efficiency of Miscanthus production was assessed considering the energy content of the biomass and the energy inputs required for production. The results showed that binary plantations ensured higher biomass productivity (up to 21.2 t/ha) compared with monoculture plantations (up to 19.9 t/ha), primarily due to more efficient nutrient utilization. The highest economic indicators in binary plantations were recorded at N₃₀ (profit – 15651.2 UAH/ha; profitability – 179.3%), whereas monoculture plantations were most efficient at N₉₀ (profit – 14238.8 UAH/ha; profitability – 164.7%). The maximum energy efficiency coefficient in binary plantations was obtained at N₃₀₋₆₀ (1.91–1.95), significantly exceeding the corresponding values in monocultures (1.18–1.23). These findings confirm the feasibility of using binary cropping systems and differentiated nitrogen fertilization as effective measures to increase Miscanthus biomass productivity and energy output. It was established that binary plantations of Giant Miscanthus with a legume component are more productive and economically efficient than monocultures. The optimized cultivation technology, particularly rational nitrogen fertilization, allows for a significant increase in yield, profitability, and overall energy efficiency of biomass production. These results are of considerable importance for the further implementation of Miscanthus as a promising biofuel source in Ukraine, especially on low-productivity lands, thereby contributing to energy independence and the sustainable development of regions.

Keywords: giant miscanthus, biofuel production, biomass productivity, binary plantations, nitrogen fertilization, energy efficiency, economic efficiency, sustainable agriculture.

Оцінка економічної та енергетичної ефективності виробництва біомаси міскантусу гігантського залежно від способу вирощування і підживлення насаджень

M. I. Кулик | O. B. Калініченко | B. C. Лесюк | I. I. Рожко | P. C. Тетерюк

Полтавський державний
аграрний університет,
м. Полтава, Україна

Серед багаторічних енергетичних культур, які розглядають як ресурс для виробництва біопалива, міскантус гігантський (*Miscanthus × giganteus*) посідає важливе місце завдяки високій адаптивності та здатності формувати значний обсяг біомаси. Оптимізація технології його вирощування є основним завданням для підвищення економічної та енергетичної ефективності виробництва. Метою дослідження є оцінка ефективності виробництва біомаси міскантусу гігантського залежно від удосконалення технології його вирощування в бінарних насадженнях із бобовим компонентом. Дослідження проводили 2020–2024 років на опідзолених чорноземах у ґрунтово-кліматичних умовах Полтавського регіону. Польові досліди закладали за двофакторною схемою з використанням методу рандомізованих блоків. Облікова площа ділянки становила 50 м², у чотирьох повтореннях. У бінарних насадженнях міскантусу гігантського з люпином застосовували різні норми весняного азотного підживлення (від N₀ до N₁₂₀). Енергетичну ефективність виробництва міскантусу гігантського оцінювали зважаючи на енергоємність біомаси та енергетичні витрати на її виробництво. Встановлено, що бінарні насадження забезпечують вищу врожайність біомаси (до 21,2 т/га) порівняно з одновидовими (до 19,9 т/га) завдяки більш ефективному використанню елементів живлення. Визначено, що найбільші економічні показники у бінарних насадженнях забезпечує внесення азоту в дозі N₃₀ (прибуток – 15651,2 грн/га; рентабельність – 179,3 %), тоді як в одновидових оптимальною є доза N₉₀ (прибуток – 14238,8 грн/га; рентабельність – 164,7 %). Максимальний коефіцієнт енергетичної ефективності також зафіксовано у бінарних агроценозах за умови внесення N₃₀₋₆₀ (1,91–1,95), що перевищує показники одновидових насаджень (1,18–1,23). Результати підтверджують доцільність застосування бінарних насаджень та диференціації норм азотних добрив як чинників підвищення продуктивності та енерговіддачі міскантусу гігантського. З'ясовано, що бінарні насадження міскантусу гігантського з бобовим компонентом є більш продуктивними та економічно доцільними порівняно з одновидовими. Удосконалена технологія вирощування, зокрема раціональне азотне підживлення, дозволяє істотно підвищити врожайність, прибутковість та енергетичну ефективність виробництва біомаси. Отримані результати мають важливе значення для подальшого впровадження міскантусу гігантського як перспективного джерела біопалива в Україні, особливо на малопродуктивних землях, що сприятиме енергетичній незалежності та сталому розвитку регіонів.

Ключові слова: міскантус гігантський, виробництво біопалива, продуктивність біомаси, бінарні насадження, азотне удобрення, енергетична ефективність, економічна ефективність, сталий розвиток сільського господарства.

Бібліографічний опис для цитування: Кулик М. І., Калініченко О. В., Лесюк В. С., Рожко І. І., Тетерюк Р. С. Оцінка економічної та енергетичної ефективності виробництва біомаси міскантусу гігантського залежно від способу вирощування і підживлення насаджень. *Scientific Progress & Innovations*. 2025. № 28 (4). С. 87–93.

Вступ

Актуальність вивчення економічної ефективності виробництва біомаси міскантусу гігантського (*Miscanthus × giganteus*) обумовлена його значенням у сучасній біоенергетиці та аграрній науці як перспективного джерела відновлюваної енергії [1–3]. Ця проблема зумовлена вичерпністю традиційних викопних енергетичних ресурсів, що створює довгострокові ризики для світової економіки та енергетичної безпеки [4–6]. У відповідь на ці виклики відбувається стратегічний перехід до альтернативних, відновлюваних джерел енергії, що має основне значення для забезпечення сталого розвитку та екологічної безпеки.

Міжнародний і вітчизняний досвід свідчить, що енергетичні культури є перспективною сировиною для виробництва біопалива [7–9]. З-поміж них міскантус гігантський виділяється високими адаптивними властивостями та здатністю формувати значний обсяг біомаси протягом багаторічного циклу, що робить його однією з найперспективніших енергетичних культур у секторі відновлюваної енергетики. Системне дослідження економічної та енергетичної ефективності виробництва міскантусу гігантського створює науково-методичну основу для оптимізації технологій його вирощування. Це передбачає розробку та впровадження агротехнічних прийомів, які дозволяють зменшити виробничі витрати та максимізувати вихід біомаси.

Використання міскантусу гігантського як сировини для біопалива дозволяє скоротити викиди парникових газів і залежність від традиційних викопних ресурсів, що сприятиме не лише зростанню “зеленої” економіки, а й виконанню кліматичних зобов’язань України. Окрім цього, важливим є вивчення впливу різних чинників, таких як клімат, ґрунти, добрива, полив, на продуктивність культури [10–13]. Науково підтверджено, що внесення добрив і регулярний полив можуть стимулювати ріст і збільшити врожайність, а правильний вибір сорту, адаптованого до конкретних умов, є важливим для отримання стабільних урожаїв [14–16].

Встановлено, що у разі багаторічного циклу вирощування міскантусу гігантського двох видів сукупні витрати енергетичних ресурсів, пов’язані з виробництвом обох багаторічних кореневищних трав, становлять 13,6–15,7 ГДж/га (*M. × giganteus*) та 16,9–17,5 ГДж/га (*M. sacchariflorus*) [17]. Інші автори з’ясували, що врожайність міскантусу гігантського може перевищувати 20,0 т/га сухої маси на рік. Зокрема, дослідження показують, що за сприятливих умов вона становить 20,0–35,0 т/га, що підтверджує високий енергетичний потенціал цієї культури [18].

Дослідження, проведені в ЄС та США, підтверджують ефективність виробництва біомаси міскантусу гігантського, особливо при вирощуванні на маргінальних землях, за умов наявності налагодженої логістики та стабільного попиту на отриману продукцію [19–21].

Економічна оцінка виробництва міскантусу гігантського свідчить, що найбільші витрати при-

падають на закладання посівів. Вони включають вартість садивного матеріалу (ризом або саджанців) та витрати на спеціалізовану техніку для садіння [22–23]. У наступні роки витрати стабілізуються й залишаються відносно невисокими. Це зумовлено мінімальною потребою в засобах захисту рослин, відсутністю необхідності в міжрядній обробці та повторному пересіві. Окупність інвестицій у виробництво міскантусу гігантського є чутливою до таких основних чинників: ціни біомаси, врожайності (особливо на 2–4-му роках) та витрати на логістичне забезпечення виробництва [24–25].

Результати довготривалих досліджень у країнах ЄС свідчать про високий енергетичний вихід та позитивний енергетичний баланс міскантусу гігантського навіть у прохолодних регіонах Європи [26–27]. Культура генерує значно більше енергії, ніж витрачається на її вирощування, що сприяє зниженню питомих витрат на одиницю отриманої енергії. Забезпечення рослин поживними речовинами та повернення поживних решток у ґрунт є важливими елементами оптимізації технології вирощування. Застосування цього агротехнічного заходу покращує азотний баланс ґрунту, що дає змогу суттєво скоротити витрати на мінеральні добрива без зниження врожайності [28]. Крім того, використання новітніх інформаційних систем дає змогу оптимізувати агротехнології вирощування сільськогосподарських культур, зокрема й енергетичних [31, 32].

Результати польових досліджень демонструють, що оптимізація технології вирощування має позитивний вплив на стабільність врожаю та економічні показники, особливо при культивуванні на малопродуктивних ґрунтах [33, 34].

Збирання врожаю ранньою весною є ефективним агротехнічним прийомом. Це дозволяє знизити вологість біомаси, що значно скорочує витрати на сушіння. Однак цей метод потребує збалансованого підходу, оскільки може призвести до незначної втрати загальної маси врожаю через природне висихання та опадання листків [30].

Визначено, що вартість заготівлі, переробки (пресування/пелетування, сушіння) та транспортування є основними чинниками, які суттєво впливають на собівартість кінцевої продукції. Тому для досягнення економічної ефективності критично важливими є: короткі радіуси доставки, кооперація виробників і сезонне вирівнювання поставок [29].

Для досягнення комерційної ефективності виробництва біомаси міскантусу гігантського необхідними є довгострокові контракти збуту, доступ до якісного садивного матеріалу та державні інвестиційні стимули [35–36].

Мета дослідження

Мета дослідження – визначити економічну та енергетичну ефективність виробництва біомаси міскантусу гігантського залежно від удосконалення технології вирощування культури у бінарних насадженнях з бобовим компонентом.

Для досягнення поставленої мети були сформульовані такі завдання:

1. Визначити вплив удосконалених елементів технології вирощування бінарних насаджень на врожайність біомаси міскантусу гігантського.

2. Оцінити економічну ефективність виробництва біомаси міскантусу гігантського залежно від удосконалення технології вирощування культури у бінарних насадженнях.

3. Визначити енергетичну ефективність виробництва біомаси міскантусу гігантського залежно від удосконалення технології вирощування культури у бінарних насадженнях.

Матеріали і методи

Дослід проводили за двофакторною схемою впродовж 2020–2024 рр. Польові досліді закладено й проведено у ґрунтово-кліматичних умовах Полтавської області (зона центрального Лісостепу країни) на чорноземах опідзолених.

Загальна площа ділянки становила 60 м², облікової – 50 м². Загальна площа досліді – 960 м². Дослід закладали за методом систематичних повторень із чотириразовою повторюваністю: в кожному повторенні варіанти досліді розміщували на ділянках рандомізовано.

У одновидових та бінарних насадженнях міскантусу гігантського з люпином застосовували весняні підживлення азотом: варіант 1 – без підживлення (контроль N₀); варіант 2 – весняне підживлення N₃₀; варіант 3 – весняне підживлення N₆₀; варіант 4 – весняне підживлення N₉₀; варіант 5 – весняне підживлення N₁₂₀.

Під час проведення багаторічних досліджень застосовували як загальнонаукові методи, так і спеціальні. Закладка дослідних ділянок та проведення польових експериментів здійснено відповідно до методики дослідної справи в агрономії [37–38]. Використано схеми двофакторного експерименту, з огляду на рекомендації щодо вирощування енергетичних культур [39].

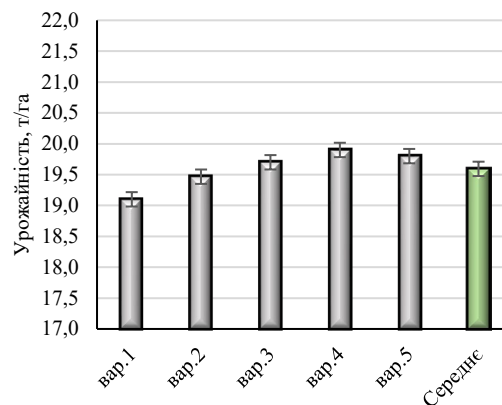
Економічна ефективність виробництва біомаси міскантусу гігантського визначали відповідно до авторської методики [40], яка передбачає комплексну оцінку натуральних та вартісних показників. Енергетичну ефективність оцінювали за методичними рекомендаціями [41], що включають розрахунок сукупних енергетичних витрат, сукупної енергії, акумульованої в біомасі міскантусу гігантського, а також енергетичного прибутку та коефіцієнта енергетичної ефективності.

Результати та їх обговорення

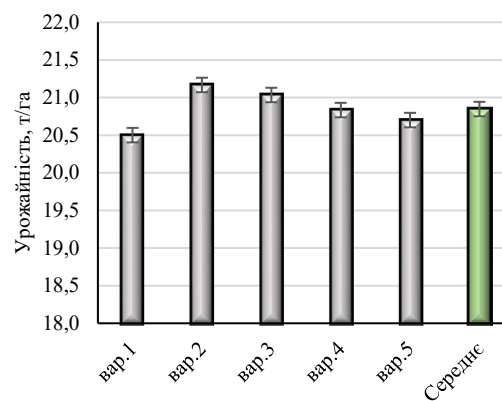
У середньому за роки досліджень урожайність становила від 19,11 до 21,2 т/га, що свідчить про високу продуктивність міскантусу гігантського як перспективної енергетичної культури, здатної формувати значні обсяги сухої біомаси при різних умовах вирощування (рис. 1).

Аналізуючи отримані дані – рис. 1, в одновидових насадженнях зафіксовано відносно стабільний урожай у межах 19,11–19,9 т/га, проте зростання

величини економічних показників було нерівномірним залежно від дози підживлення. Для бінарних насаджень характерним є вищий рівень урожайності – 20,5–21,2 т/га, що перевищує одновидові насадження на 5,0–10,0 %. Саме це створює потенціал для більшого економічного ефекту.



а



б

Рис. 1. Урожайність міскантусу гігантського у одновидових (а) і бінарних (б) насадженнях, середнє значення за 2020–2024 рр.

Примітки: варіант 1 – без підживлення (контроль N₀); варіант 2 – весняне підживлення N₃₀; варіант 3 – весняне підживлення N₆₀; варіант 4 – весняне підживлення N₉₀; варіант 5 – весняне підживлення N₁₂₀.

В одновидових насадженнях виробнича собівартість коливається незначно – від 7763,4 грн/га до 7796,4 грн/га, тобто різниця становить лише 33,0 грн/га, що вказує на стабільність витрат при різних нормах удобрення. Показник повної собівартості у одновидових насадженнях змінюється в межах 8524,2–8676,3 грн/т. Найнижче значення зафіксовано без підживлення – 8524,2 грн/т, а найвище у разі використання підживлення дозою N₁₂₀ – 8676,3 грн/т. У бінарних насадженнях виробнича собівартість є вищою, однак рівномірною – 7885,4–7899,4 грн/га, тобто різниця складає лише 14,0 грн/га. Показник повної собівартості становить 8705,3–8747,0 грн/т, проте важливим є співвідношення з виручкою від реалізації. За умови підживлення дозою N₃₀ повна собівартість – 8728,8 грн/т, а виручка – 24380,0 грн/га, тобто навіть за умови вищої собівартості ці насадження забезпечують кращі цінові умови (табл. 1).

Таблиця 1

Оцінка економічної ефективності виробництва біомаси міскантусу гігантського третього року вегетації, середнє значення за 2020–2024 рр.

Вид насадження	Варіант*	Урожайність, т/га	Показники економічної ефективності**				
			C_v	C_n	B_p	P_p	$P_{\text{вир}}$
Одновидове	варіант 1	19,11	7763,4	8524,2	21976,5	13452,3	157,81
	варіант 2	19,47	7773,2	8542,7	22390,5	13847,8	162,1
	варіант 3	19,7	7782,4	8576,2	22655,0	14078,8	164,16
	варіант 4	19,9	7796,4	8646,2	22885,0	14238,8	164,68
	варіант 5	19,77	7788,4	8676,3	22735,5	14059,2	162,04
Бінарне	варіант 1	20,5	7885,4	8705,5	23575,0	14869,5	170,81
	варіант 2	21,2	7899,4	8728,8	24380,0	15651,2	179,31
	варіант 3	21,0	7894,4	8747,0	24150,0	15403,0	176,1
	варіант 4	20,8	7893,4	8722,2	23920,0	15197,8	174,24
	варіант 5	20,7	7892,4	8705,3	23805,0	15099,7	173,45

Примітки: * – варіант 1 – без підживлення (контроль N_0); варіант 2 – весняне підживлення N_{30} ; варіант 3 – весняне підживлення N_{60} ; варіант 4 – весняне підживлення N_{90} ; варіант 5 – весняне підживлення N_{120} ; ** – C_v – виробнича собівартість, грн/га; C_n – повна собівартість, грн/т; B_p – виручка від реалізації біомаси, грн/т; P_p – прибуток від реалізації біомаси, грн/га; P – рівень рентабельності виробництва біомаси, %.

Оцінка економічної ефективності виробництва біомаси міскантусу гігантського свідчить, що в одновидових насадженнях найбільш економічно доцільним є застосування азотних добрив у дозі N_{90} , за якої забезпечується прибутковість – 14238,8 грн/га при рівні рентабельності 164,7 %. Це свідчить про оптимальне поєднання витрат на мінеральне живлення з отриманим приростом урожайності біомаси. У бінарних насадженнях найвищу

економічну ефективність забезпечило внесення азоту в дозі N_{30} , що зумовило отримання прибутку 15651,2 грн/га та рівня рентабельності 179,3 %. Отримані результати свідчать про доцільність адаптації доз азотних добрив залежно від типу агроценозу, оскільки бінарні насадження ефективніше використовують внесений азот і формують вищу продуктивність біомаси порівняно з одновидовими (рис. 2).

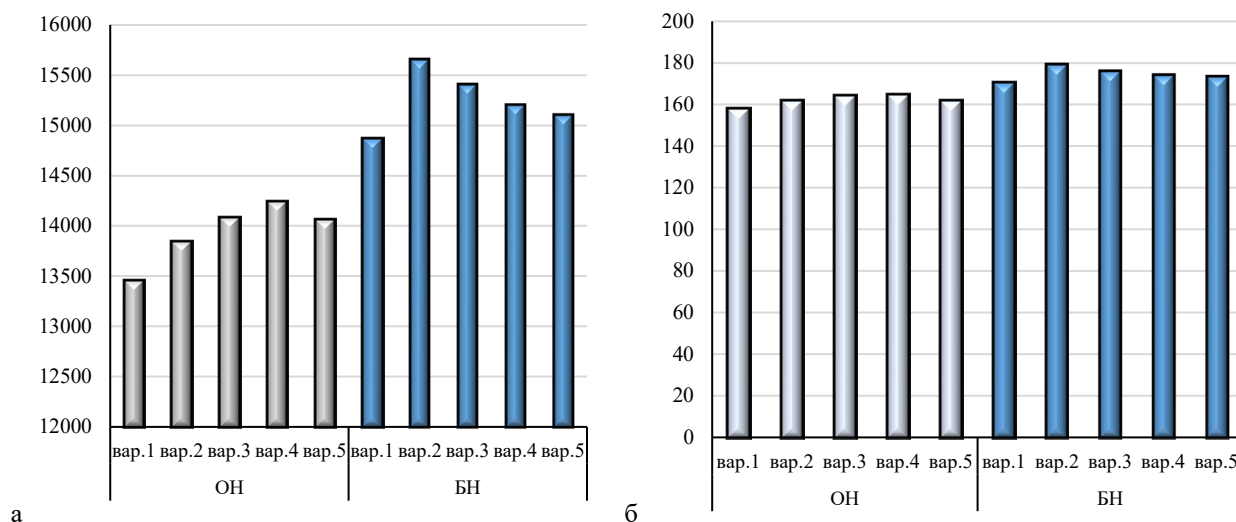


Рис. 2. Показники економічної ефективності виробництва біомаси міскантусу гігантського у одновидових і бінарних насадженнях (а – прибуток, грн; б – рівень рентабельності, %), середнє значення за 2020–2024 рр.

Примітки: варіант 1 – без підживлення (контроль N_0); варіант 2 – весняне підживлення N_{30} ; варіант 3 – весняне підживлення N_{60} ; варіант 4 – весняне підживлення N_{90} ; варіант 5 – весняне підживлення N_{120} ; OH – одновидові насадження; BH – бінарні насадження.

Оцінка енергетичної ефективності виробництва біомаси міскантусу гігантського свідчить, що суттєвий вплив має рівень азотного живлення та тип агроценозу, що впливають на формування енергетичних показників культури. Найбільша сукупна енергія, накопичена в біомасі, спостерігається в одновидових насадженнях при внесенні азотних добрив у дозі N_{60-120} – 381,5–385,4 ГДж/га, що свідчить про високу реакцію культури на інтенсифікацію живлення. У бінарних насадженнях найвищий рівень сукупної енергії, накопиченої в біопаливі, зафіксовано при внесенні значно нижчої

доз N_{30-60} – 411,2–414,7 ГДж/га, що свідчить про оптимальне використання ресурсів у змішаному агроценозі з бобовим компонентом та синергетичним ефектом між видами. Найменші сукупні витрати енергетичних ресурсів на 1 га в одновидових насадженнях забезпечує контрольні варіанти (N_0) – 312,4 ГДж/га, тоді як найбільші – при внесенні найбільшої дози азоту N_{120} – 319,6 ГДж/га. У бінарних насадженнях найменші енергетичні витрати спостерігали при внесенні дози N_{30} – 212,5 ГДж/га, а найбільші – при дозі N_0 – 285,4 ГДж/га (табл. 2).

Таблиця 2

Оцінка енергетичної ефективності виробництва біомаси міскантусу гігантського у одновидових і бінарних насадженнях, середні значення за 2020–2024 рр.

Вид насадження	Варіант*	Урожайність, т/га	Показники енергетичної ефективності**					
			B_6	E_{np}	E_c	EM	Π_p	K_{ce}
Одновидове	1	19,11	21,0	367,5	312,4	14,88	55,1	1,18
	2	19,47	21,5	376,3	317,8	14,78	58,5	1,18
	3	19,7	21,7	381,9	313,2	14,43	68,7	1,22
	4	19,9	21,9	385,4	314,1	14,34	71,3	1,23
	5	19,77	21,8	381,5	319,6	14,66	69,9	1,19
Бінарне	1	20,5	22,6	397,8	285,4	12,63	112,4	1,39
	2	21,2	23,3	414,7	212,5	9,12	202,2	1,95
	3	21,0	23,1	411,2	215,7	9,34	195,5	1,91
	4	20,8	22,9	403,0	225,4	9,84	177,6	1,79
	5	20,7	22,8	399,0	226,7	9,94	172,3	1,76

Примітки: * – варіант 1 – без підживлення (контроль N_0); варіант 2 – весняне підживлення N_{30} ; варіант 3 – весняне підживлення N_{60} ; варіант 4 – весняне підживлення N_{90} ; варіант 5 – весняне підживлення N_{120} ; ** – B_6 – вихід біопалива, т/га; E_{np} – сукупна енергія, накопичена в біопаливі, ГДж/га; E_c – сукупні витрати енергетичних ресурсів на 1 га, ГДж/га; EM – енергомісткість технології виробництва, ГДж/т; Π_p – енергетичний прибуток виробництва біомаси, ГДж/га; K_{ce} – коефіцієнт енергетичної ефективності.

В одновидових насадженнях міскантусу гігантського найменший коефіцієнт енергетичної ефективності – на контрольних варіантах та на варіантах внесення азотних добрив дозою N_{30} і становив 1,18. Максимальних значень коефіцієнти енергетичної ефективності отримано при внесенні дози N_{60-90} і становив 1,22–1,23. У бінарних насадженнях максимальне значення коефіцієнта енергетичної ефективності – при внесенні зменшених доз азоту N_{30-60} і коефіцієнт становив 1,91–1,95, що свідчить про оптимальне співвідношення між витратами енергетичних ресурсів і накопиченою енергією в біомасі

саме за цієї дози підживлення. Усі інші варіанти бінарних насаджень мали нижчі коефіцієнти (1,39–1,79), що вказує на збільшення енергетичних витрат без пропорційного збільшення енергоємності. Найбільший вихід біопалива у одновидових насадженнях становив 21,9 т/га при підживленні у дозі N_{90} , тоді як у бінарних насадженнях максимальний вихід біопалива становив 23,3 т/га при підживленні нижчою дозою азоту N_{30} , що підтверджує вищу продуктивність змішаних агроценозів за оптимальних умов живлення (рис. 3).

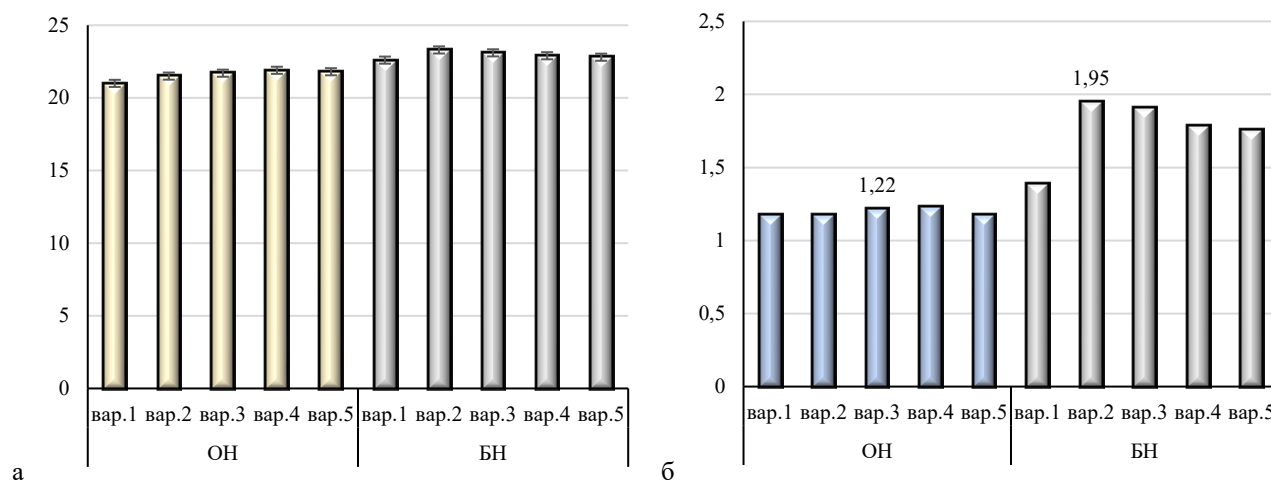


Рис. 3. Показники енергетичної ефективності виробництва біомаси міскантусу гігантського у одновидових і бінарних насадженнях (а – вихід біопалива, т/га; б – коефіцієнт енергетичної ефективності), середні значення за 2020–2024 рр.

Примітки: варіант 1 – без підживлення (контроль N_0); варіант 2 – весняне підживлення N_{30} ; варіант 3 – весняне підживлення N_{60} ; варіант 4 – весняне підживлення N_{90} ; варіант 5 – весняне підживлення N_{120} ; ОН – одновидові насадження; БН – бінарні насадження.

Отже, бінарні насадження міскантусу гігантського забезпечують вищу врожайність біомаси, що підтверджується максимальними значеннями виходу біопалива (до 23,3 т/га при внесенні N_{30}). Встановлено, що згідно з отриманими розрахунками, енергетична ефективність бінарних насаджень є вищою,

ніж у одновидових, що зумовлено меншими сукупними енергетичними витратами та більшими значеннями коефіцієнта енергетичної ефективності (1,39–1,95 порівняно з 1,18–1,23 у одновидових).

На підставі отриманих результатів обґрунтовано, що оптимальні норми азотного підживлення для

забезпечення більшої продуктивності та енерго-віддачі біомаси міскантусу гігантського становлять: N_{90-120} – для одновидових насаджень та N_{30-60} – для бінарних, що дозволяє суттєво підвищити врожайність біомаси. Отримані результати мають практичне значення для аграрного сектору України, особливо в контексті використання малопродуктивних та деградованих земель для виробництва біопалива та формування ефективних моделей біоенергетичного виробництва.

Висновки

1. Встановлено, що бінарні насадження міскантусу гігантського забезпечують вищу врожайність сухої біомаси порівняно з одновидовими, що свідчить про ефективнішу реалізацію продукційного потенціалу рослин у змішаних агрофітоценозах. Застосування весняного азотного підживлення додатково підсилює цей ефект: найвищі показники врожайності біомаси у бінарних насадженнях отримано при дозі N_{30-60} , де урожайність становила 21,2 та 21,0 т/га відповідно. В одновидових насадженнях міскантусу гігантського підживлення вищими дозами азоту N_{90-120} забезпечило нижчу врожайність біомаси – 19,9 та 19,77 т/га. Це свідчить про те, що бінарні агроценози здатні ефективніше використовувати елементи живлення, демонструючи вищу біологічну продуктивність при помірних рівнях азотного забезпечення.

2. Для одновидових насаджень міскантусу гігантського найвищі значення прибутку та рівня рентабельності отримано за умови внесення добрив у дозі N_{60-90} , де рівень рентабельності становив 164,16–164,68 %. У бінарних насадженнях оптимальними є варіанти зі зменшеними дозами підживлення N_{30-60} , що забезпечили підвищення урожайності біомаси до 21,0–21,2 т/га та найбільший рівень рентабельності – до 179,31 %.

3. Встановлені максимальні значення коефіцієнта енергетичної ефективності – у варіантах із внесення азоту N_{60} – 1,22 та при дозі N_{90} – 1,23 в одновидових насадженнях міскантусу гігантського. У бінарних агроценозах коефіцієнт енергетичної ефективності становив 1,95 при внесенні зменшеної дози N_{30} та при дозі N_{60} – 1,91, що вказує на оптимальне співвідношення між витратами енергетичних ресурсів та накопиченою у біомасі енергією для цього типу насаджень.

Перспективи подальших досліджень будуть спрямовані на поглиблене вивчення довгострокового впливу бінарних насаджень енергетичних культур на родючість ґрунту та його мікробіологічну активність. Не менш важливим завданням у перспективі є оптимізація агротехнічних заходів виробництва біомаси міскантусу гігантського при різних ґрунтових умовах вирощування.

Конфлікт інтересів

Автори стверджують про відсутність конфлікту інтересів щодо їхнього викладу та результатів досліджень.

References

- Lohosha, R., Palamarchuk, V., Krychkovskiy, V., Kolisnyk, O., & Vasyliov, O. (2025). Specifics of cultivation, productivity, and energy efficiency of miscanthus giganteus for solid biofuel production. *Polityka Energetyczna – Energy Policy Journal*, 28 (1), 99–112. <https://doi.org/10.33223/ejpi/196384>
- 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. *Global Change Biology Bioenergy*, 12 (4), 287–305. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12671>
- Littleton, E. W., Shepherd, A., Harper, A. B., Hastings, A. F. S., Vaughan, N. E., Doelman, J., van Vuuren, D. P., & Lenton, T. M. (2023). Uncertain effectiveness of *Miscanthus* bioenergy expansion for climate change mitigation explored using land surface, agronomic and integrated assessment models. *Global Change Biology Bioenergy*, 15 (3), 303–318. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12982>
- Kupchuk, I., Yemchuk, T., Gontaruk, Y., Tarasova, O., Shevchuk, H., & Okhota, Y. (2023). *Production of biofuels as a direction to ensure energy independence of Ukraine under martial law*. Monograph. International Science Group ISG – Konf.com. <https://doi.org/10.46299/979-8-89269-755-2>
- Kaletnik, H. M. (2013). Rozvytok rynku biopalyv v Ukraini. *Bioenerhetyka*, 1, 11–16. [in Ukrainian]
- Dey, S., Sreenivasulu, A., Veerendra, G. T. N., Rao, K. V., & Babu, P. S. S. A. (2022). Renewable energy present status and future potentials in India: An overview. *Innovation and Green Development*, 1 (1), 100006. <https://doi.org/10.1016/j.igd.2022.100006>
- Heaton, E. A., Dohleman, F. G., Miguez, A. F., Juvik, J. A., Lozovaya, V., Widholm, J., Zabotina, O. A., McIsaac, G. F., David, M. B., Voigt, T. B., Boersma, N. N., & Long, S. P. (2010). *Miscanthus*. *Advances in Botanical Research*, 56, 75–137. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-381518-7.00003-0>
- Roik, M. V., Sinchenko, V. M., Ivashchenko, O. O., Pyrkyn, V. I., Kvak, V. M., Humenyk, M. Ya., Hanzhenko, O. M., Sabluk, V. T., Hryshchenko, O. M., Fuchylo, Ya. D., Honcharuk, H. S., Furman, V. A., Suslyk, L. O., Makukh, Ya. P., Remeniuk, S. O., Ivanina, V. V., Fursa, A. V., Bondar, V. S., Bekh, N. S., Kotsar, M. I., Tsvihun, H. V., Kovalchuk, N. S., Nediak, T. M., Vorozhko, S. P., Doronin, V. A., Dryha, V. V., Buzynnyi, M. V., Dubovyi, Yu. P., Pedos, V. P., Balahura, O. V., Smirnykh, V. M., Zaimenko, N. V., Rakhmetov, D. B., Shcherbakova, T. O., Rakhmetov, S. D., & Katerlevskiy, V. M. (2019). *Miscanthus v Ukraini*. Kyiv: TOV «TsP «Komprint» [in Ukrainian]
- Kurylo, V. L., Rakhmetov, D. B., & Kulyk, M. I. (2018). Biological features and potential of yield of energy cultures of the family of thin-skinned in the conditions of Ukraine. *Scientific Progress & Innovations*, 1, 11–17. <https://doi.org/10.31210/visnyk2018.01.01>
- Kulyk, M. I., Kurylo, V. L., Kalinichenko, O. V., & Galytska, M. A. (2019). *Plant energy resources: agroecological, economic and energy aspects: monograph*. Poltava: Astraya
- Prisyazhniuk, O. I., & Honcharuk, O. M. (2022). Peculiarities of the biomass yield and quality formation in giant miscanthus under the effect of agricultural technology components. *Scientific Papers of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet*, 30, 53–60. <https://doi.org/10.47414/np.30.2022.268944>
- Vir'ovka, V., Opanasenko, O., & Perets', S. (2019). Features of growing *Miscanthus large* on sowed organogenic soils of Left-bank Forest-steppe. *Visnyk Agrarnoi Nauky*, 97 (8), 60–66. <https://doi.org/10.31073/agroviznyk201908.10>
- Nedilska, U. I. (2023). Rist, rozvytok i produktyvnist miskantusu hihantskoho. *Podilian Bulletin Agriculture Engineering Economics*, 31, 15–22. <https://doi.org/10.37406/2706-9052-2019-2-2> [in Ukrainian]
- Milovanović, J., Babović, N., Đorđević, A., Spasić, S., Marišová, E., Končková, L., Kotrla, M., & Tóthová, M. (2011). *External and internal factors influencing the growth and biomass production of short rotation woods genus Salix and perennial grass Miscanthus*. Belgrade: Faculty of Applied ecology FUTURA, Singidunum University Belgrade.
- Skachok, L. M., Potapenko, L. V., & Horbachenko, N. I. (2018). Influence of fertilizing systems and microbial preparations on capacity of bioenergetic cultures. *Agricultural Microbiology*, 28, 70–76. <https://doi.org/10.35868/1997-3004.28.70-76>

16. Vergun, O., Rakhmetov, D., Rakhmetova, S., & Fishchenko, V. (2019). Distribution of nutrients in different organs of plants of *Miscanthus* Anderss. genotypes. *Plant Introduction*, 81, 75–81.
17. Dubis, B., Jankowski, K. J., Załuski, D., Bórawski, P., & Szepliński, W. (2019). Biomass production and energy balance of *Miscanthus* over a period of 11 years: A case study in a large-scale farm in Poland. *Global Change Biology Bioenergy*, 11 (10), 1187–1201. Portico. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12625>
18. Clifton-Brown, J. C., Lewandowski, I., Andersson, B., Basch, G., Christian, D. G., Kjeldsen, J. B., Jørgensen, U., Mortensen, J. V., Riche, A. B., Schwarz, K.-U., Tayebi, K., & Teixeira, F. (2004). Performance of *Miscanthus* species and hybrids in Europe. *Agronomy Journal*, 94, 1013–1019.
19. Clifton-Brown, J., Schwarz, K.-U., Awty-Carroll, D., Iurato, A., Meyer, H., Greef, J., Gwyn, J., Mos, M., Ashman, C., Hayes, C., Huang, L., Norris, J., Rodgers, C., Scordia, D., Shafiei, R., Squance, M., Swaller, T., Youell, S., Cosentino, S., Flavell, R., Donnison, I., & Robson, P. (2019). Breeding strategies to improve *Miscanthus* as a sustainable source of biomass for bioenergy and bio-renewable products. *Agronomy*, 9 (11), 673. <https://doi.org/10.3390/agronomy9110673>
20. Lewandowski, I., Clifton-Brown, J. C., Scurlock, J. M. O., & Huisman, W. (2000). *Miscanthus*: European experience with a novel energy crop. *Biomass and Bioenergy*, 19 (4), 209–227. [https://doi.org/10.1016/S0961-9534\(00\)00032-5](https://doi.org/10.1016/S0961-9534(00)00032-5)
21. Lewandowski, I., Scurlock, J. M. O., Lindvall, E., & Christou, M. (2003). The development and current status of perennial rhizomatous grasses as energy crops in the US and Europe. *Biomass and Bioenergy*, 25 (4), 335–361. [https://doi.org/10.1016/S0961-9534\(03\)00030-8](https://doi.org/10.1016/S0961-9534(03)00030-8)
22. Khanna, M., Dhungana, B., & Clifton-Brown, J. (2008). Costs of producing miscanthus and switchgrass for bioenergy in Illinois. *Biomass and Bioenergy*, 32 (6), 482–493. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2007.11.003>
23. Boehmel, C., Lewandowski, I., & Claupein, W. (2008). Comparing annual and perennial energy cropping systems with different management intensities. *Agricultural Systems*, 96 (1–3), 224–236. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2007.08.004>
24. Kiesel, A., Nunn, C., Iqbal, Y., Van der Weijde, T., Wagner, M., Özgüven, M., Tarakanov, I., Kalinina, O., Trindade, L. M., Clifton-Brown, J., & Lewandowski, I. (2017). Site-Specific management of miscanthus genotypes for combustion and anaerobic digestion: A comparison of energy yields. *Frontiers in Plant Science*, 8, 347. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00347>
25. Styles, D., Thorne, F., & Jones, M. B. (2008). Energy crops in Ireland: An economic comparison of willow and *Miscanthus* production with conventional farming systems. *Biomass and Bioenergy*, 32 (5), 407–421. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2007.10.012>
26. Angelini, L. G., Ceccarini, L., Nassi o Di Nasso, N., & Bonari, E. (2009). Comparison of *Arundo donax* L. and *Miscanthus x giganteus* in a long-term field experiment in Central Italy: Analysis of productive characteristics and energy balance. *Biomass and Bioenergy*, 33 (4), 635–643. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2008.10.005>
27. Hastings, A., Clifton-Brown, J., Wattenbach, M., Mitchell, C. P., Stampfl, P., & Smith, P. (2009). Future energy potential of *Miscanthus* in Europe. *Global Change Biology Bioenergy*, 1 (2), 180–196. <https://doi.org/10.1111/j.1757-1707.2009.01012.x>
28. Haines, S. A., Gehl, R. J., Havlin, J. L., & Ranney, T. G. (2014). Nitrogen and phosphorus fertilizer effects on establishment of giant *Miscanthus*. *BioEnergy Research*, 8 (1), 17–27. <https://doi.org/10.1007/s12155-014-9499-4>
29. Searcy, E., Flynn, P., Ghafoori, E., & Kumar, A. (2007). The relative cost of biomass energy transport. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 137, 639–652. <https://doi.org/10.1007/s12010-007-9085-8>
30. Boakye-Boaten, N. A., Kurkalova, L., Xiu, S., & Shahbazi, A. (2017). Techno-economic analysis for the biochemical conversion of *Miscanthus x giganteus* into bioethanol. *Biomass and Bioenergy*, 98, 85–94. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2017.01.017>
31. Prysiashniuk, O. I., Roik, M. V., Sinchenko, V. M., Cherniak, M. O., Maliarenko, O. A., & Kononiuk, N. O. (2024). *Tsyfrovii tekhnologii v ahronomii – vid teorii do praktyky: monohrafiia*. Vinnytsia: Tvory [in Ukrainian]
32. Humenyk, M. Ya. (red.). (2024). *Tekhnologii vyroshchuvannia bioenerhetychnykh kultur*. Kyiv: Kompyrnt [in Ukrainian]
33. Kaletnik, G., & Pryshliak, N. (2021). Development of the biofuel industry as a determinant of sustainable development of Ukraine. *Ekonomika APK*, 316 (2), 71–81. <https://doi.org/10.32317/2221-1055.202102071>
34. Kulyk, M. I. (Ed.). (2023). *Enerhetychni kultury: sortyment, biolohiia, ekolohiia, ahrotekhnolohiia*. Poltava: Astraia [in Ukrainian]
35. Dekovets, V. O., Kulyk, M. I., & Halytska, M. A. (2022). Biolohizatsiia tekhnolohii vyroshchuvannia miskantusu hihantskoho na biopalyvo. *Ahrarni Innovatsii*, 10, 23–28. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2021.10.4> [in Ukrainian]
36. Kulyk, M. I., Rozhkov, A. O., Kalinichenko, O. V., Taranenko, A. O., & Onopriienko, O. V. (2020). Effect of winter wheat variety, hydrothermal coefficient (HTC) and thousand kernel weight (TKW) on protein content, grain and protein yield. *Agronomy Research*, 18 (3), 2103–2116. <https://doi.org/10.15159/ar.20.187>
37. Rozhkov, A. O. (Ed.). (2016). *Doslidna sprava v ahronomii: navch. posibnyk: u 2 knykh. – Knyha 1. Teoretychni aspekty doslidnoi spravy*. Kharkiv: Maidan [in Ukrainian]
38. Rozhkov, A. O. (Ed.). (2016). *Doslidna sprava v ahronomii: navch. posibnyk: u 2 knykh. – Knyha 2. Statystychna obrobka rezultativ doslidzhen*. Kharkiv: Maidan [in Ukrainian]
39. Rakhmetov, D. B., Kalenska, S. M., Fedorchuk, M. I., Rakhmetov, S. D., Kokovikhin, S. V., Fedorchuk, Ye. M., Fedorchuk, V. H., & Polyvoda, O. M. (2017). *Metodychni rekomendatsii z optymizatsii tekhnolohii vyroshchuvannia miskantusu v riznykh gruntovo-klimatychnykh zonakh Ukrainy*. Kherson: DVNZ «Khersonskiy derzhavnyi ahrarnyi universytet» [in Ukrainian]
40. Kalinichenko, O. V., & Kulyk, M. I. (2019). *Naukovyi tvir “Ekspres-analiz ekonomichnoi efektyvnosti vyroshchuvannia enerhetychnykh kultur v umovakh Lisostepu Ukrainy”*. Svidotstvo pro reiestratsiiu avtorskoho prava na tvir № 93178 vid 18.10.2019 [in Ukrainian]
41. Kalinichenko, O. V., & Kulyk, M. I. (2019). *“Metodychni zasady otsinky enerhetychnoi efektyvnosti vyroshchuvannia enerhetychnykh kultur v umovakh Lisostepu Ukrainy”*. Svidotstvo pro reiestratsiiu avtorskoho prava na tvir № 93177 vid 18.10.2019. [in Ukrainian]

ORCID

- | | |
|---|---|
| M. Kulyk  | https://orcid.org/0000-0003-0394-5846 |
| O. Kalinichenko  | https://orcid.org/0000-0003-2688-859X |
| V. Lesiuk  | https://orcid.org/0000-0002-8370-6513 |
| I. Rozhko  | https://orcid.org/0000-0002-0646-4004 |
| R. Teteriuk  | https://orcid.org/0009-0003-1715-8824 |



2025 by the author(s). This is an open-access article distributed under the Creative Commons Attribution License <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.