



УДК 633.282:631.811:620.92
DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.16.2026.18>

ПРОДУКТИВНІСТЬ ТА ЯКІСТЬ БІОМАСИ МІСКАНТУСУ ГІГАНТСЬКОГО ЗА РІЗНИХ СИСТЕМ УДОБРЕННЯ

Т. І. Дмитраш¹, Я. Я. Григорів²

У статті представлено результати комплексних польових та лабораторних досліджень щодо впливу систем мінерального живлення та позакореневого підживлення біостимуляторами на продуктивність і якісні характеристики міскантусу гігантського (*Miscanthus giganteus*) сорту Осінній зорецвіт в умовах західного Лісостепу України на дерново-підзолистих ґрунтах. Актуальність роботи зумовлена необхідністю пошуку ефективних технологічних рішень для підвищення виходу біоенергетичної сировини в умовах дефіциту традиційних енергоносіїв та зміни кліматичних умов. У ході досліджень 2024–2025 рр. було проаналізовано дію повного мінерального добрива у дозі $N_{90}P_{65}K_{100}$ у поєднанні з сучасними препаратами БлекДжек КС та Інтермаг Титан. Установлено, що метеорологічні умови періоду досліджень характеризувалися певною аномалією, проте накопичена сума активних температур була сприятливою для розвитку культури.

Науково обґрунтовано, що продуктивність міскантусу другого року вегетації значною мірою залежить від інтенсивності живлення, хоча біологічний потенціал рослин у цей період спрямований передусім на формування ризом та підземної біомаси. Згідно з результатами, максимальні показники виходу твердого біопалива на рівні 23,4 т/га та виходу енергії 37,25 ГДж/га зафіксовано за комбінованого застосування мінерального фону та препарату на основі гумінових речовин БлекДжек КС. Особливу увагу приділено якісним показникам біомаси: зольності, вмісту сухої речовини, целюлози та лігніну. Доведено, що застосування Інтермаг Титан на фоні мінеральних добрив сприяє достовірному зростанню вмісту целюлози до 41,0 %. Стабільна зольність на рівні 1,2 % підтверджує високу паливну якість отриманої сировини. Розраховано показники найменшої істотної різниці ($HIP_{0.5}$), що підтверджує статистичну значущість отриманих приростів врожайності та енергоефективності. Робота має практичне значення для агропромислових підприємств, що спеціалізуються на вирощуванні багаторічних енергетичних трав, оскільки пропонується технологія дозволяє суттєво інтенсифікувати виробництво відновлюваної енергії з одиниці площі насаджень.

Ключові слова: урожайність, міскантус гігантський, мінеральні добрива, малопродуктивні землі, енергетична продуктивність, зольність біомаси, біопаливо.

¹ здобувач доктора філософії
(Карпатський національний університет імені Василя Стефаника, м. Івано-Франківськ)
ORCID: 0009-0007-2536-0909

² кандидат сільськогосподарських наук,
доцент кафедри лісового і аграрного менеджменту
(Карпатський національний університет імені Василя Стефаника, м. Івано-Франківськ)
ORCID: 0000-0002-5892-9483

PRODUCTIVITY AND BIOMASS QUALITY OF GIANT MISCANTHUS UNDER DIFFERENT FERTILIZATION SYSTEMS

T. I. Dmytrash, Ya. Ya. Hryhoriv

The article presents the results of complex field and laboratory studies regarding the influence of mineral nutrition systems and foliar application of biostimulants on the productivity and quality characteristics of giant miscanthus (*Miscanthus giganteus*) of the Osinnii Zoretsvit variety under the conditions of the Precarpathian region. The relevance of the work is due to the need to find effective technological solutions to increase the yield of bioenergy raw materials in the conditions of a shortage of traditional energy carriers and climate change. During the research of 2024–2025, the effect of complete mineral fertilizer at a dose of $N_{90}P_{65}K_{100}$ in combination with modern preparations BlackJak SC and InterMag Titan was analyzed. It was established that the meteorological conditions of the research period were characterized by a certain anomaly, but the accumulated sum of active temperatures was favorable for the development of the culture. It is scientifically substantiated that the productivity of miscanthus in the second year of vegetation largely depends on the intensity of nutrition, although the biological potential of plants in this period is primarily aimed at the formation of rhizomes and underground architecture. According to the results, the maximum indicators of solid biofuel yield at the level of 23.4 t/ha and energy yield of 37.25 GJ/ha were recorded under the combined use of a mineral background and a preparation based on humic substances BlackJak SC. Special attention is paid to the quality indicators of biomass: ash content, dry matter content, cellulose and lignin. It has been proven that the use of InterMag Titan against the background of mineral fertilizers contributes to a significant increase in cellulose content up to 41.0 %. The stable ash content at the level of 1.2 % confirms the high fuel quality of the obtained raw material. Indicators of the least significant difference (LSD_{05}) were calculated, which confirms the statistical significance of the obtained increases in yield and energy efficiency. The work has practical importance for agro-industrial enterprises specializing in the cultivation of perennial energy grasses, as the proposed technology allows to significantly intensify the production of renewable energy per unit area of plantations.

Key words: yield, giant miscanthus, mineral fertilizers, marginal lands, energy productivity, biomass ash content, biofuel.

Вступ

На сучасному етапі розвитку вітчизняного агросектору вирощування енергетичних культур виокремилася у стратегічно важливий сегмент біоенергетики, спрямований на декарбонізацію економіки та заміщення традиційного палива відновлюваними джерелами (Роїк і Ягольник, 2015). Орієнтація на фітоенергетичну сировину відповідає глобальним трендам, адже провідні економіки світу (США, ЄС, країни Азії) постійно нарощують обсяги енергоспоживання (Кузнецова, 2012). Згідно з науковими прогнозами, потенціал використання біомаси дозволяє покрити до третини світового попиту на енергію (Гелетуша та ін., 2011). У зв'язку з цим, пріоритетом української аграрної науки є розроблення та вдосконалення енергоефективних технологій культивування біоенергетичних рослин.

Глобальні тенденції розвитку людства супроводжуються загостренням енергетичної та екологічної криз, що диктує потребу в інтенсифікації впровадження відновлюваних джерел енергії (Shaikh et al., 2021). Для України, яка зберігає високий рівень імпортозалежності в енергетичному сек-

торі, питання переходу на ВДЕ є критичним, хоча їхня питома вага у структурі первинного енергопостачання залишається низькою близько 6,6 % (Hryhoriv et al., 2024; Hryhoriv et al., 2026). Зважаючи на високий агрокліматичний потенціал територій, біоенергетика виступає найбільш рентабельним сегментом галузі, проте поточний рівень енергоспоживання з біомаси все ще не перевищує 4,2 % (Zheliezna et al., 2018; Vozhehova et al., 2021; Vozhehova et al., 2022).

Сучасні виклики зумовлюють необхідність інтенсифікації виробництва біопалива з рослинної сировини. В умовах обмеженості земельних ресурсів використання традиційних культур для енергетичних потреб стає малоефективним (Бузовський, 2007; Гелетуша та ін., 2014). Натомість високим біоенергетичним потенціалом в Україні характеризуються рослини з C4-типом фотосинтезу, зокрема міскантус гігантський (*Miscanthus giganteus*), який забезпечує значно вищий вихід біомаси з одиниці площі (Brosse et al., 2012; Jensen et al., 2012).

Культивування міскантусу можливе на землях, вилучених із активного сільсько-

господарського обігу. Проте збалансоване мінеральне живлення суттєво інтенсифікує ростові процеси та фізіолого-біохімічні реакції, що сприяє нарощуванню як вегетативної, так і кореневої маси. Оптимізація фотосинтетичної діяльності через внесення добрив є ключовим чинником підвищення врожайності біомаси. Враховуючи щорічний винос елементів живлення з урожаєм (Зінченко і Кусайло, 2006), застосування мінеральних добрив є необхідним елементом технології. При цьому дози та терміни їх внесення потребують регіональної адаптації з метою забезпечення високої окупності витрат, що залишається актуальним предметом наукових дискусій (Lewandowski et al., 2006).

Характерною особливістю *Miscanthus giganteus* є висока ефективність водоспоживання: транспіраційний коефіцієнт становить лише 250–300 одиниць, що суттєво нижче порівняно з більшістю традиційних польових культур. Водночас С4-тип фотосинтезу зумовлює підвищені вимоги до теплового режиму. Оптимальними для інтенсивної вегетації є температури у межах 28–30°C. Це обумовлює необхідність адаптації технології вирощування в умовах західного Лісостепу, де основні агротехнічні заходи мають бути сфокусовані на максимальній реалізації біопотенціалу рослин у пікові періоди їхньої активності (Lewandowski et al., 2006; Сінченко, 2017).

Згідно з рекомендаціями Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН, базова система удобрення міскантусу передбачає внесення азоту в дозі 60–90 кг/га (у підживлення після появи сходів), а також фосфору 30–43 кг д. р./га, калію (120–150 кг д. р./га) та магнію (20–25 кг/га) під основний обробіток ґрунту (Сінченко, 2017). Питанням впливу різних рівнів живлення на продуктивність культури присвячені також праці Квака В. М. (Квак, 2012). Проте ці нормативи потребують диференційованого коригування залежно від конкретних ґрунтово-кліматичних умов та фактичного вмісту рухомих поживних речовин у ґрунті, що зумовлює необхідність проведення локальних агрохімічних досліджень.

Більшість сучасних вітчизняних досліджень зосереджена на оптимізації базових агротехнічних параметрів культивування міскантусу: структурі агрофітоценозів (густота насаджень, конфігурація міжрядь), термінах закладання плантацій, системах

основного удобрення та гербіцидному захисту. Водночас поза увагою дослідників часто залишаються питання спрямованого стимулювання ростових процесів в онтогенезі та застосування антистресових препаратів, що мінімізують негативний вплив довкілля та максимізують продуктивність посівів (Доронін та ін., 2018). У зв'язку з цим, актуальним є пошук інноваційних елементів технології, здатних підвищити адаптивний потенціал *Miscanthus giganteus* та забезпечити стабільно високу врожайність протягом тривалого періоду експлуатації енергетичних плантацій (Роїк та ін., 2019).

Матеріал та методи

Польові дослідження виконували протягом 2024–2025 рр. на базі дослідного полігону кафедри лісового та аграрного менеджменту Карпатського національного університету імені Василя Стефаника. Ґрунтовий покрив ділянки представлений дерново-підзолистим поверхнево оглеєним важкосуглинковим крупнопилуватим ґрунтом. За результатами агрохімічного аналізу, орний шар характеризувався низьким вмістом гумусу (1,76 % за Тюрнімом). Забезпеченість лужногідролізованим азотом (за Корнфільдом) становила 63,0 мг/кг ґрунту. Вміст рухомих форм фосфору та калію (за Мачигінімом) складав відповідно 49 та 119 мг/кг. Фізико-хімічні показники свідчать про кислу реакцію середовища (pH_{KCl} 5,0) та гідролітичну кислотність на рівні 2,9 мг-екв./100 г ґрунту за суми поглинутих основ 12,4 мг-екв./100 г.

Програмою досліджень передбачено закладання двофакторного польового дослід. Загальна площа експериментального масиву становила 0,36 га за розміру посівної ділянки 50 м² та облікової – 30 м². Повторність варіантів у досліді – чотириразова. Об'єктом досліджень був міскантус гігантський (*Miscanthus giganteus*) сорт Осінній зорецвіт. Культуру вирощували на єдиному фоні мінерального живлення:

– контроль (без внесення добрив)+обробка водою;

– $N_{90}P_{65}K_{100}$;

– БЛЕК ДЖЕК КС;

– Інтермаг Титан;

– $N_{90}P_{65}K_{100}$ + БЛЕК ДЖЕК КС;

– $N_{90}P_{65}K_{100}$ + Інтермаг Титан.

Експериментальні дослідження проводили згідно із загальноприйнятими методиками (Присяжнюк та ін., 2021; Ермантраут та ін., 2007; Роїк та ін., 2019). Система удобрення досліджуваних культур передбачала

використання суперфосфату (P_2O_5 – 32 %), KalPro40 (K_2O – 40 %) та аміачної селітри (N– 34,4 %). Згідно зі схемою експерименту, застосовували біостимулятор БлекДжек – висококонцентрований препарат на основі натурального леонардиту. На відміну від традиційних гуматів, даний антистресант містить повний спектр активних компонентів: гумінові, фульво- та ульмінові кислоти, а також гумін, що забезпечує комплексну дію на ґрунтове середовище та рослини.

Інтермаг Титан (Intermag Titan) – це високоєфективний концентрований препарат-біостимулятор на основі сполук титану, який широко застосовується в сільському господарстві для активізації життєвих сил рослин та підвищення їхньої врожайності.

Його головна відмінність від звичайних мікродобрив полягає в унікальній ролі титану як інтенсифікатора фізіологічних процесів: він значно прискорює запилення, стимулює фотосинтез та поглинання поживних речовин із ґрунту. Складається зі спеціально розробленої молекули титану, яка легко засвоюється рослинами, що дозволяє мінімізувати вплив несприятливих погодних умов та забезпечує максимальну реалізацію генетичного потенціалу культури.

Метеорологічний режим протягом 2024–2025 рр. відзначався певною варіабельністю та аномальністю щодо середньобогаторічних значень температури повітря і кількості опадів. Попри температурні коливання, розраховані значення гідротермічного коефіцієнта (ГТК) вказували на достат-

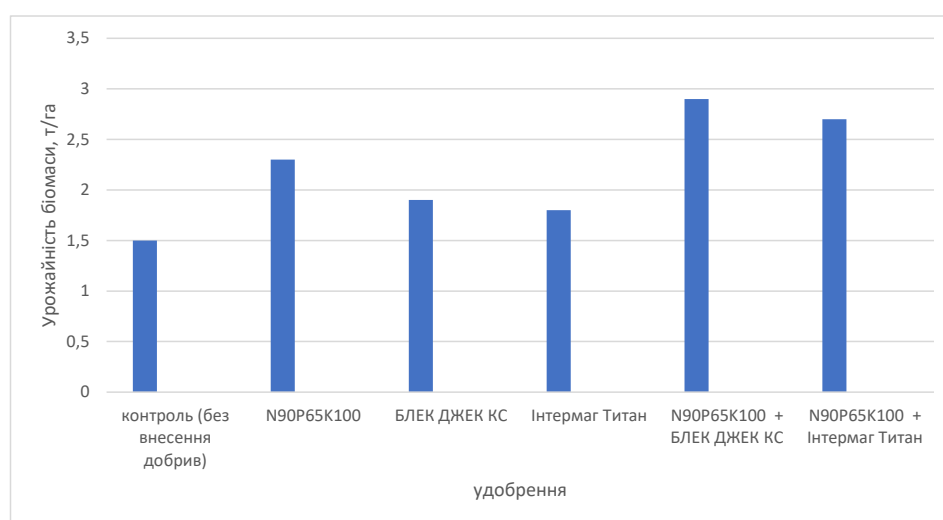
ній рівень зволоження протягом основних фаз вегетації. Сума активних температур ($T > 10$ °C), накопичена за цей період, повністю відповідала біологічним потребам міскантусу гігантеусу і сприяла його інтенсивному росту.

Результати

Досягнення рентабельного рівня врожайності сільськогосподарських культур залежить від комплексної оптимізації технологічних процесів та раціонального використання всього спектру агротехнічних ресурсів. Інтегрований підхід до поєднання різних елементів агротехніки дає змогу здійснювати спрямований контроль над морфологічними процесами на ключових етапах органогенезу, а також ефективно регулювати темпи розвитку та терміни дозрівання рослин.

Результати польових експериментів підтвердили визначальний вплив системи мінерального живлення у поєднанні з позакореневим внесенням препаратів на формування врожайності сухої надземної (листво-стеблової) міскантусу гігантеусу (рис. 1).

На основі отриманих даних встановлено, що застосування досліджуваних елементів технології суттєво вплинуло на накопичення сухої біомаси міскантусу другого року вегетації. Так, встановлено, що на варіанті без внесення добрив урожайність була мінімальною і становила 1,5 т/га. Така низька продуктивність на початкових етапах зумовлена фізіологічними особливостями культури, яка в перші два роки спрямовує



$НІР_{05}=0,41$

Рис. 1. Продуктивність сухої фітомаси міскантусу гігантеусу залежно від рівнів мінерального живлення та позакореневого підживлення, т/га (2024–2025 рр.)

основні ресурси на формування потужної кореневої системи та ризом.

Внесення лише мінерального комплексу дозою $N_{90}P_{65}K_{100}$ дозволило підвищити врожайність до 2,3 т/га, що підтверджує чутливість культури до азотно-калійного живлення на дерново-підзолистих ґрунтах.

Згідно з даними рис. 1, найбільшу ефективність у формуванні сухої фітомаси міскантусу гігантського продемонстрував варіант із поєднанням повного мінерального удобрення $N_{90}P_{65}K_{100}$ та позакореневого підживлення препаратом БлекДжек, що забезпечило врожайність на рівні 2,9 т/га. Це перевищує показники контролю майже вдвічі. Даний результат є статистично достовірним відносно контролю та варіантів із роздільним застосуванням препаратів, оскільки отримані прирости суттєво перевищують показник найменшої істотної різниці ($НІР_{05} = 0,41$ т/га).

Слід зазначити, що загалом продуктивність міскантусу другого року вегетації була невисокою. На нашу думку, це зумовлено біологічною спрямованістю розвитку рослин у цей період на активне формування підземної архітектоники – ризом та кореневої системи. Незважаючи на те, що в перший рік позакореневе підживлення часто має лише тенденційний характер через пізні строки садіння та обмежений час експозиції препаратів, на другий рік вегетації поєднання ґрунтового живлення та листової стимуляції стає визначальним фактором росту.

Найвищий у досліді вихід твердого біопалива зафіксовано у варіанті комплексного застосування мінеральних добрив $N_{90}P_{65}K_{100}$ та позакореневого підживлення препаратом БлекДжек, що забезпечило – 23,4 т/га проти 13,1 т/га на контролі (Табл. 1).

Аналіз енергетичного потенціалу міскантусу гігантського підтверджує доцільність поєднання ґрунтового та позакореневого живлення. Встановлено, що інтегроване застосування мінеральних добрив у дозі

$N_{90}P_{65}K_{100}$ разом із біостимулятором БлекДжек КС забезпечує максимальний вихід твердого біопалива на рівні 23,4 т/га, що на 10,3 т/га більше за контроль.

Особливої уваги заслуговує динаміка виходу енергії: за використання препарату Інтермаг Титан на фоні мінеральних добрив вихід енергії склав 357,5 ГДж/га, що у 2,2 рази перевищує контроль. Найвищий показник енергетичної продуктивності (372,5 ГДж/га) досягнуто за поєднання мінерального фону з БлекДжек КС. Статистична обробка даних ($НІР_{05}$) підтверджує високу достовірність отриманих результатів, оскільки фактичні прирости за всіма варіантами суттєво перевищують поріг похибки.

Окрім продуктивності агрофітоценозів міскантусу гігантського, вагому роль відіграють якісні характеристики отриманої сировини. Параметри якості біопалива безпосередньо корелюють із комплексом агротехнічних заходів, застосованих у процесі вегетації. Детальна характеристика сухої біомаси *Miscanthus giganteus* у розрізі варіантів досліді представлена в таблиці 2.

Таблиця 1
Продуктивність міскантусу гігантського залежно від систем удобрення та позакореневого підживлення (середнє за 2024–2025 рр.)

Варіант	Вихід твердого біопалива, т/га	Вихід енергії, ГДж/га
контроль (без внесення добрив)	13,1	16,25
$N_{90}P_{65}K_{100}$	22,6	23,25
БЛЕК ДЖЕК КС	22,0	21,50
Інтермаг Титан	21,7	30,25
$N_{90}P_{65}K_{100}$ + БЛЕК ДЖЕК КС	23,4	37,25
$N_{90}P_{65}K_{100}$ + Інтермаг Титан	23,0	35,75
$НІР_{05}$	0,1	1,1

Таблиця 2
Якісні показники сухої фітомаси міскантусу гігантського сорту «Осінній зорецьвіт» третього року вегетації за різних схем вирощування (2025 р.)

Варіант	Уміст, %			
	сухої речовини	целюлози	лігніну	золи
контроль (без внесення добрив)	48,5	39,6	10,0	1,2
$N_{90}P_{65}K_{100}$	49,3	39,9	10,1	1,2
БЛЕК ДЖЕК КС	49,1	39,9	9,8	1,2
Інтермаг Титан	49,0	40,0	10,2	1,2
$N_{90}P_{65}K_{100}$ + БЛЕК ДЖЕК КС	49,2	40,3	10,4	1,2
$N_{90}P_{65}K_{100}$ + Інтермаг Титан	49,0	41,0	10,3	1,2
$НІР_{05}$	1,9	0,4	0,1	0,2

Результати аналізу хімічного складу біомаси міскантусу гігантського сорту Осінній зорецьвіт засвідчили стабільність якісних характеристик при застосуванні різних елементів технології (табл. 2). Встановлено, що вміст целюлози, яка є ключовим енергетичним компонентом, мав тенденцію до зростання за використання комплексних систем живлення, досягаючи максимуму (41,0 %) у варіанті $N_{90}P_{65}K_{100}$ + Інтермаг Титан.

Показник зольності в усіх варіантах становив 1,2 %, що відповідає найвищим стандартам якості для твердого біопалива. Варіабельність вмісту сухої речовини в межах 48,5–49,3 % та лігніну в межах 9,8–10,4 % підтверджує, що застосування біостимуляторів Блек Джек КС та Інтермаг Титан сприяє формуванню якісної сировини без суттєвого відхилення від біологічних норм культури. Більшість виявлених змін за вмістом целюлози та лігніну є математично достовірними, оскільки перевищують поріг HP_{05} .

Обговорення

Отримані результати підтверджують важливу роль мінерального живлення у формуванні продуктивності міскантусу гігантського. Низька врожайність на контролі (1,5 т/га) пояснюється біологічними особливостями культури, яка в перші роки вегетації формує кореневу систему та ризоми.

Застосування мінеральних добрив ($N_{90}P_{65}K_{100}$) підвищило врожайність до 2,3 т/га, що свідчить про високу чутливість культури до удобрення. Найкращі результати (2,9 т/га) отримано за поєднання мінераль-

ного живлення з позакореневим підживленням препаратом БлекДжек КС, що підтверджує ефективність інтегрованого підходу.

Аналогічна тенденція спостерігалась щодо виходу біопалива та енергії, які значно зростали за комплексного застосування добрив і біостимуляторів. Водночас якісні показники біомаси залишалися стабільними, з незначним підвищенням вмісту целюлози.

Отже, поєднання мінерального удобрення та позакореневого підживлення є ефективним прийомом підвищення врожайності та енергетичної продуктивності міскантусу гігантського.

Висновки

На основі проведених досліджень встановлено, що інтенсифікація технології вирощування міскантусу гігантського сорту Осінній зорецьвіт шляхом поєднання мінерального удобрення та позакореневого підживлення є високоефективним заходом для підвищення енергетичної продуктивності культури. Максимальний вихід твердого біопалива (23,4 т/га) та найвищий енергетичний вихід (37,25 ГДж/га) забезпечує варіант комбінованого застосування мінеральних добрив у дозі $N_{90}P_{65}K_{100}$ та біостимулятора Блек Джек КС. Це свідчить про синергічний ефект взаємодії ґрунтового живлення та фізіологічно активних речовин.

Застосування досліджуваних препаратів не призводить до погіршення технологічних властивостей сировини. Зольність біомаси залишається стабільно низькою (1,2 %), що відповідає вимогам до преміальних сортів твердого палива.

Список використаної літератури

- Бузовський Є. А. Нетрадиційні поновлювальні джерела енергії : навчально-методичний посібник. Київ : ННІ ПО НАУ, 2007. 21 с.
- Гелетука Г. Г., Железна Т. А., Трибой О. В. Перспективи вирощування та використання енергетичних культур в Україні. *Аналітична записка БАУ*. 2014. № 10. 33 с.
- Гелетука Г. Г., Жовмір М. М., Олійник Є. М., Радченко С. В. Біомаса як паливна сировина. *Промислова теплотехніка*. 2011. Т. 55, № 5. С. 79–87.
- Доронін В. А., Кравченко Ю. А., Дрига В. В., Доронін В. В. Формування садивного матеріалу міскантусу в другому році вегетації залежно від елементів технології її вирощування. *Біоенергетика*. 2018. № 2. С. 28–31. <https://doi.org/10.47414/be.2.2018.229253>.
- Ермантраут Е. Р., Присяжнюк О. І., Шевченко І. Л. Статистичний аналіз агрономічних дослідних даних в пакеті Statistica 6.0. Київ : ПоліграфКонсалтинг, 2007. 56 с.
- Зінченко В. О., Кусайло В. П. Біогеліоенергія – наше енергетичне майбутнє. *Пропозиція*. 2006. № 8. С. 130–132.
- Квак В. М. Ріст, розвиток і продуктивність міскантусу за різних норм добрив. *Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків*. 2012. Вип. 14. С. 548–551.
- Кузнецова А. Виробництво пелет в Україні: Прибутковий варіант сталого розвитку? Київ, 2012. 23 с.

- Присяжнюк О. І., Климович Н. М., Подуніна О. В. та ін. Методологія і організація наукових досліджень у сільському господарстві та харчових технологіях. Київ : Нілан-ЛТД, 2021. 300 с.
- Роїк М. В., Сінченко В. М., Пиркін В. І. та ін. Міскантус в Україні. Київ : ФОП Ямчинський О. В., 2019. 256 с.
- Роїк М. В., Ягольник О. Г. Агропромислові енергетичні плантації – майбутнє України. *Біоенергетика*. 2015. № 2. С. 4–5.
- Сінченко В. М. Міскантус – перспективна біоенергетична культура. *Біоенергетика*. 2017. № 2. С. 15–19.
- Brosse N., Dufour A., Meng X. et al. Miscanthus: a fast-growing crops for biofuels and chemicals production. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*. 2012. Vol. 6, Iss. 5. P. 580–598. doi: 10.1002/bbb.1353.
- Hryhoriv Y., Butenko Y., Kabanets V. et al. Prospectives of growing energy crops for the production of different types of biofuel. *Ecological Engineering & Environmental Technology*. 2024. Vol. 25, № 5. P. 191–197. <https://doi.org/10.12912/27197050/185710>.
- Hryhoriv Y., Dmytrash T., Butenko A. et al. Efficiency of mineral fertilizers and biostimulant application in increasing the bioenergy potential of energy crops on low-productivity lands under the conditions of the western Forest-Steppe of Ukraine. *Ecological Engineering & Environmental Technology*. 2026. Vol. 27, № 2. P. 417–423. <https://doi.org/10.12912/27197050/217562>.
- Jensen E., Robson P., Norris J. et al. Flowering induction in the bioenergy grass *Miscanthus sacchariflorus* is a quantitative short-day response, whilst delayed flowering under long days increases biomass accumulation. *Journal of Experimental Botany*. 2012. Vol. 64, № 2. P. 541–552. doi: 10.1093/jxb/ers346.
- Lewandowski I., Scurlock J. M., Lindvall E., Christou M. The development and current status of perennial rhizomatous grasses as energy crops in the US and Europe. *Biomass and Bioenergy*. 2006. Vol. 25, № 4. P. 335–361. [https://doi.org/10.1016/S0961-9534\(03\)00030-8](https://doi.org/10.1016/S0961-9534(03)00030-8).
- Shaikh T. A., Soomro A. A., Laghari G. M. et al. Impact of integrated row spacing, fertilizer application methods and sowing dates on bioethanol production in sorghum. *Pakistan Journal of Botany*. 2021. № 53(3). P. 1007–1013. [https://doi.org/10.30848/PJB2021-3\(1\)](https://doi.org/10.30848/PJB2021-3(1)).
- Vozhehova R. A., Lavrynenko Yu. O., Marchenko T. Yu. et al. Promising crops for bioenergy in Ukraine. *Agrarian Innovations*. 2022. № 11. С. 5–15. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2022.11.1>.
- Vozhehova R., Marchenko T., Piliarska O., Lavrynenko Y., Halchenko N., Lykhovyd P. Grain corn product yield and gross value depending on the hybrids and application of biopreparations in the irrigated conditions. *Scientific Papers Series Management, Economic Engineering in Agriculture and Rural Development*. 2021. № 21(4). P. 611–619.
- Zheliezna T. A., Drahnev S. V., Bashtovyi A. I., Rohovskyi I. L. Prospects for the production and consumption of second-generation biofuels in Ukraine. *Machinery & Energetics*. 2018. № 9(2). С. 61–66. <https://doi.org/10.31548/machenergy.2018.02.061-066>

References

- Buzovskyi, Ye. A. (2007). *Netradytsiini ponovliuvalni dzherela enerhii: navchalno-metodychnyi posibnyk* [Unconventional renewable energy sources: study guide]. Kyiv: NNI PO NAU [in Ukrainian].
- Heletukha, H. H., Zheliezna, T. A., & Tryboi, O. V. (2014). *Perspektyvy vyroshchuvannia ta vykorystannia enerhetychnykh kultur v Ukraini* [Prospects for cultivation and use of energy crops in Ukraine]. *Analitichna zapyska BAU [Analytical note of BAU]*, 10 [in Ukrainian].
- Heletukha, H. H., Zhovmir, M. M., Oliinyk, Ye. M., & Radchenko, S. V. (2011). *Biomasa yak palyvna syrovyna* [Biomass as a fuel raw material]. *Promyslova teplotekhnika [Industrial Heat Engineering]*, 55(5), 79–87 [in Ukrainian].
- Doronin, V. A., Kravchenko, Yu. A., Dryha, V. V., & Doronin, V. V. (2018). *Formuvannia sadyvnoho materialu miskantusu v druhomu rotsi vehetatsii zalezno vid elementiv tekhnolohii yii vyroshchuvannia* [Formation of miscanthus planting material in the second year of vegetation depending on the elements of its cultivation technology]. *Bioenergetyka [Bioenergetics]*, 2, 28–31. <https://doi.org/10.47414/be.2.2018.229253> [in Ukrainian].
- Ermantraut, E. R., Prysiazhniuk, O. I., & Shevchenko, I. L. (2007). *Statystychnyi analiz ahronomichnykh doslidnykh danykh v paketi Statistica 6.0* [Statistical analysis of agronomic research data in the Statistica 6.0 package]. Kyiv: PolihrafKonsaltnh [in Ukrainian].

Zinchenko, V. O., & Kusailo, V. P. (2006). Biohelioenerhiia – nashe enerhetychne maibutnie [Bio-solar energy – our energy future]. *Propozytsiia [Proposition]*, 8, 130–132 [in Ukrainian].

Kvak, V. M. (2012). Rist, rozvytok i produktyvnist miskantusu za riznykh norm dobryv [Growth, development and productivity of miscanthus at different fertilizer rates]. *Naukovi pratsi Instytutu bioenerhetychnykh kultur i tsukrovykh buriakiv [Scientific papers of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet]*, 14, 548–551 [in Ukrainian].

Kuznetsova, A. (2012). Vyrobnystvo pelet v Ukraini: Prybutkovyi variant staloho rozvytku? [Pellet production in Ukraine: A profitable option for sustainable development?]. Kyiv [in Ukrainian].

Prysiashniuk, O. I., Klymovych, N. M., Polunina, O. V. et al. (2021). Metodolohiia i orhanizatsiia naukovykh doslidzhen u silskomu hospodarstvi ta kharchovykh tekhnolohiiakh [Methodology and organization of scientific research in agriculture and food technologies]. Kyiv: Nilan-LTD [in Ukrainian].

Roik, M. V., Sinchenko, V. M., Pyrkin, V. I. et al. (2019). Miskantus v Ukraini [Miscanthus in Ukraine]. Kyiv: FOP Yamchynskiy O. V. [in Ukrainian].

Roik, M. V., & Yaholnyk, O. H. (2015). Ahropromyslovi enerhetychni plantatsii – maibutnie Ukrainy [Agro-industrial energy plantations – the future of Ukraine]. *Bioenergetyka [Bioenergetics]*, 2, 4–5 [in Ukrainian].

Sinchenko, V. M. (2017). Miskantus – perspektyvna bioenerhetychna kultura [Miscanthus is a promising bioenergy crop]. *Bioenergetyka [Bioenergetics]*, 2, 15–19 [in Ukrainian].

Brosse, N., Dufour, A., Meng, X. et al. (2012). Miscanthus: a fast-growing crops for biofuels and chemicals production. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 6(5), 580–598. <https://doi.org/10.1002/bbb.1353> [in English].

Hryhoriv, Y., Butenko, Y., Kabanets, V. et al. (2024). Prospectives of growing energy crops for the production of different types of biofuel. *Ecological Engineering & Environmental Technology*, 25(5), 191–197. <https://doi.org/10.12912/27197050/185710> [in English].

Hryhoriv, Y., Dmytrash, T., Butenko, A. et al. (2026). Efficiency of mineral fertilizers and biostimulant application in increasing the bioenergy potential of energy crops on low-productivity lands under the conditions of the western Forest-Steppe of Ukraine. *Ecological Engineering & Environmental Technology*, 27(2), 417–423. <https://doi.org/10.12912/27197050/217562> [in English].

Jensen, E., Robson, P., Norris, J. et al. (2012). Flowering induction in the bioenergy grass *Miscanthus sacchariflorus* is a quantitative short-day response, whilst delayed flowering under long days increases biomass accumulation. *Journal of Experimental Botany*, 64(2), 541–552. <https://doi.org/10.1093/jxb/ers346> [in English].

Lewandowski, I., Scurlock, J. M., Lindvall, E., & Christou, M. (2006). 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) [in English].

Shaikh, T. A., Soomro, A. A., Laghari, G. M. et al. (2021). Impact of integrated row spacing, fertilizer application methods and sowing dates on bioethanol production in sorghum. *Pakistan Journal of Botany*, 53(3), 1007–1013. [https://doi.org/10.30848/PJB2021-3\(1\)](https://doi.org/10.30848/PJB2021-3(1)) [in English].

Vozhehova, R. A., Lavrynenko, Yu. O., Marchenko, T. Yu. et al. (2022). Promising crops for bioenergy in Ukraine. *Ahrarni innovatsii [Agrarian Innovations]*, 11, 5–15. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2022.11.1> [in Ukrainian].

Vozhehova, R., Marchenko, T., Piliarska, O., Lavrynenko, Y., Halchenko, N., & Lykhovyd, P. (2021). Grain corn product yield and gross value depending on the hybrids and application of biopreparations in the irrigated conditions. *Scientific Papers Series Management, Economic Engineering in Agriculture and Rural Development*, 21(4), 611–619 [in English].

Zheliezna, T. A., Drahnev, S. V., Bashtovyi, A. I., & Rohovskyi, I. L. (2018). Prospects for the production and consumption of second-generation biofuels in Ukraine. *Machinery & Energetics*, 9(2), 61–66. <https://doi.org/10.31548/machenergy.2018.02.061-066> [in Ukrainian].

Дата першого надходження статті до видання: 24.02.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 20.03.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 22.05.2026



Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)