DOI: 10.32636/01308521.2026-(79)-2-5

Оригінальна наукова стаття
УДК 633.2/.3:631.8:631.445.24:620.92(477.8)

КОМПЛЕКСНА ОЦІНКА ВИРОЩУВАННЯ БІОЕНЕРГЕТИЧНИХ КУЛЬТУР НА МАЛОПРОДУКТИВНИХ ҐРУНТАХ В УМОВАХ ЗАХІДНОГО ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ

Т. І. Дмитраш, Я. Я. Григорів

Карпатський національний університет імені Василя Стефаника
вул. Галицька, 201,
м. Івано-Франківськ,
Івано-Франківський р-н.,
Івано-Франківська обл., 76014

Про авторів:

Тарас ДМИТРАШ,
здобувач РВО «Доктор філософії»
ORCID: 0009-0007-2536-0909

Ярослава ГРИГОРІВ,
кандидат сільськогосподарських наук
ORCID: 0000-0002-5892-9483

Для листування:
Ярослава ГРИГОРІВ
e-mail: hryhorivsl@gmail.com

Інформація про фінансування:
Національна академія аграрних наук України

Отримано:
3 березня 2026 р.
Погоджено до друку:
25 травня 2026 р.
Опубліковано:
30 червня 2026 р.

У статті досліджено вплив різних систем живлення на продуктивність та енергетичний потенціал міскантусу гігантського (*Miscanthus giganteus*) та сіди багаторічної (*Sida hermaphrodita*) в умовах Західного Лісостепу України. Експериментальні роботи проводилися протягом 2024–2025 рр. на дерново-підзолистих поверхнево оглеєних важкосуглинкових ґрунтах. Встановлено, що інтегровані системи живлення, які поєднують мінеральні добрива у дозі $N_{90}P_{65}K_{100}$ із біостимуляторами БлекДжек КС або Інтермаг Титан, забезпечують значне зростання врожайності біомаси та виходу енергії. Найвищу продуктивність обох культур зафіксовано за умови поєднання мінерального фону з гуміновим препаратом БлекДжек КС, що дозволило отримати 14,5 т/га сухої маси міскантусу та 20,0 т/га сіди багаторічної. Застосування цієї системи забезпечило максимальний вихід енергії на рівні 37,24 ГДж/га для міскантусу та 34,87 ГДж/га для сіди, що у 2,3–2,4 раза перевищує показники контролю. Доведено, що використання біостимуляторів на основі леонардиту та сполук титану сприяло покращенню росту, розвитку та продуктивності рослин в умовах важких за механічним складом ґрунтів. Порівняльний аналіз виявив вищу здатність сіди багаторічної до накопичення сухої речовини на досліджуваних типах ґрунтів, тоді як міскантус характеризується дещо вищим абсолютним енергетичним виходом з одиниці площі. Отримані результати підтверджують доцільність впровадження комплексних систем живлення для підвищення рентабельності вирощування енергетичних культур у регіоні.

Ключові слова: міскантус гігантський, сіда багаторічна, урожайність, мінеральні добрива, дерново-підзолисті ґрунти, вихід енергії, біопаливо.

Стаття з відкритим доступом на умовах ліцензії Creative Commons.

© Дмитраш Т. І., Григорів Я. Я., 2026

Comprehensive assessment of energy crop cultivation on low-productivity soils in the conditions of the Western Forest-Steppe of Ukraine

Vasyl Stefanyk Carpathian National University
201, Halytska St., Ivano-Frankivsk city, Ivano-Frankivsk District, Ivano-Frankivsk Region, 76014

About authors:

Taras DMYTRASH
ORCID: 0009-0007-2536-0909

Yaroslava HRYHORIV
ORCID: 0000-0002-5892-9483

For corresponding:
Yaroslava HRYHORIV
e-mail: hryhorivsl@gmail.com

Funding information:
National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine

Received:
March 3, 2026
Accepted:
May 25, 2026
Published:
June 30, 2026

The article investigates the influence of various nutrition systems on the productivity and energy potential of giant miscanthus (*Miscanthus giganteus*) and perennial sida (*Sida hermaphrodita*) in the conditions of the Western Forest-Steppe of Ukraine. Experimental studies were conducted during 2024–2025 on sod-podzolic surface-gleyed heavy loamy soils. It was established that integrated nutrition systems combining mineral fertilizers at a dose of $N_{90}P_{65}K_{100}$ with biostimulants BlackJack SC or Intermag Titan provide a significant increase in biomass yield and energy output. The highest productivity for both crops was recorded under the combination of a mineral background with the humic preparation BlackJack SC, which yielded 14.5 t/ha of dry matter for miscanthus and 20.0 t/ha for perennial sida. The application of this system ensured a maximum energy output of 37.24 GJ/ha for miscanthus and 34.87 GJ/ha for sida, which is 2.3–2.4 times higher than the control. It has been proven that the use of biostimulants based on leonardite and titanium compounds contributed to the improvement of plant growth, development, and productivity under conditions of heavy-textured soils. Comparative analysis revealed a higher capacity of perennial sida for dry matter accumulation on the studied soil types, while miscanthus is characterized by a slightly higher absolute energy yield per unit area. The results confirm the feasibility of implementing integrated nutrition systems to enhance the profitability of energy crop cultivation in the region.

Keywords: giant miscanthus, perennial sida, yield, mineral fertilizers, sod-podzolic soils, energy yield, biofuel.

This is an open-access article under the terms of the Creative Commons.

Вступ. Глобальні тенденції розвитку людства на сучасному етапі супроводжуються критичними енергетичними та екологічними загрозами, що актуалізує питання переходу на відновлювані джерела енергії [20]. В Україні, попри високий рівень імпортозалежності від традиційних енергоносіїв, потенціал альтернативної енергетики використовується недостатньо – її частка в енергобалансі становить лише 6,6 % [4, 14]. Біоенергетика вбачається найбільш перспективним сегментом з огляду на сприятливий природно-ресурсний потенціал країни, проте на сьогодні частка енергії з біомаси у кінцевому споживанні залишається на низькому рівні – до 4,2 %.

Ефективне освоєння нині деградованих угідь, включаючи радіоактивно забруднені та малопродуктивні землі, через закладання плантацій швидкорослих видів (міскантусу, сіди, проса тощо), є стратегічним кроком для вітчизняної енергетики. За оцінками фахівців, реалізація такого потенціалу дозволить збільшити частку біоенергії в загальному балансі країни до 20–25 % [2].

Слабкі темпи розвитку вітчизняного біоенергетичного сектору значною мірою зумовлені дефіцитом системних рішень щодо створення стійкої сировинної бази на основі спеціалізованих фітоенергетичних культур. В умовах глобального потепління, що супроводжується зростанням термічних показників та дефіцитом вологи, особливу увагу дослідників привертають міскантус гігантський, сіда багаторічна та сорго багаторічне [13, 22]. Завдяки С4-типу фотосинтезу ці культури демонструють високу адаптивність, забезпечуючи стабільну врожайність біомаси на

малопродуктивних землях та в умовах аридності, що доведено низкою фундаментальних праць [3, 6, 27].

Завдяки низькій вибагливості до родючості ґрунтів міскантус та сіда багаторічна є придатними для освоєння деградованих і малопродуктивних земель, а також ділянок зі складним рельєфом (схилів). Попри здатність цих культур вегетувати за обмеженого вмісту елементів живлення, вони демонструють високу чуйність на застосування добрив, що дозволяє суттєво нарощувати їхню продуктивність.

Згідно з результатами аналізу наукової літератури, застосування азотних добрив забезпечує істотне зростання біометричних параметрів міскантусу: висота рослин та кількість пагонів збільшуються в середньому на 9,5 та 24,0 % відповідно. При цьому приріст виходу сухої біомаси становить 31,5 % порівняно з недобреними варіантами [1].

Огляд фахової літератури [3, 5, 15] демонструє, що на сьогодні розробки з оцінювання енергопродуктивності багаторічних трав'яних фітоценозів в Україні та пошук шляхів її інтенсифікації мають здебільшого вибірковий характер. Актуалізація досліджень у цій сфері продиктована зростаючою вартістю викопних паливних ресурсів та зниженням потреби у трав'янистих кормах через скорочення чисельності поголів'я худоби [8]. У цьому контексті стратегічного значення набуває створення та адаптація технологій вирощування фітоенергетичних культур із обов'язковим аналізом їхньої економічної та енергетичної доцільності з огляду на регіональну специфіку ґрунтово-кліматичних чинників [12].

Використання потенціалу малопоширених в Україні високопродуктивних трав'янистих культур для енергетичних потреб має вагомі переваги. Згідно з дослідженнями, показники виходу теплової енергії з одиниці площі суттєво варіюють залежно від виду культури [24]. Серед фітоенергетичних об'єктів найбільший енергетичний вихід для генерації твердого палива забезпечують сорго цукрове, міскантус та світчграс [18]. Важливою екологічною складовою є можливість залучення під ці культури ерозійно небезпечних ділянок, вилучених з інтенсивного обробітку. Вирощування багаторічних трав на таких площах дозволяє поєднувати надійний протиерозійний захист ґрунтів із отриманням якісної біосировини для виробництва паливних брикетів і гранул безпосередньо в сільських регіонах [19, 20, 21, 24, 27].

Матеріали і методи. Польові досліди проводилися у 2024–2025 рр. в умовах дослідного поля кафедри лісового та аграрного менеджменту КНУ імені Василя Стефаника. Ґрунти дослідної ділянки – дерново-підзолисті поверхнево оглеєні важкосуглинкові. Згідно з агрохімічним обстеженням, ґрунтовий покрив характеризується малогумусним складом (1,76 %). Показники поживної цінності орного шару наступні: вміст азоту, що легко гідролізується – 63,0 мг/кг, рухомих форм фосфору – 49 мг/кг, обмінного калію – 119 мг/кг. Фізико-хімічні властивості свідчать про виражену кислотність середовища (pH сольове – 5,0; гідролітична кислотність – 2,9 мг-екв./100 г) та відносно невисоку суму поглинутих основ (12,4 мг-екв./100 г).

Програма наукової роботи реалізовувалася шляхом проведення польового двофакторного досліду на загальній площі 0,36 га. Експеримент передбачав використання ділянок з посівною площею 50 м² та обліковою – 30 м² при чотириразовому повторенні. Дослідження проводили на міскантусі гігантському (*Miscanthus giganteus*), сорт Осінній зорецвіт та сіда багаторічна (*Sida hermaphrodita Rusby*) – сорт Вірджинія. Усі варіанти вирощували за умови стабільного мінерального фону 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.

Методологічною основою експерименту слугували загальноприйняті методики польових досліджень [7, 9]. Система мінерального живлення базувалася на використанні аміачної селітри (N – 34,4 %), суперфосфату (P_2O_5 – 32 %) та калійного добрива KalPro40 (K_2O – 40 %).

Схема досліду передбачала внесення біостимулятора БлекДжек – препарату, виготовленого з натурального леонардиту. На відміну від стандартних гуматів, цей антистресант має ширший спектр дії завдяки вмісту гуміну, а також гумінових, фульво- та ульмінових кислот, що забезпечує синергічний ефект для ґрунту та рослин. Для інтенсифікації фізіологічних процесів застосовували Інтермаг Титан (Intermag Titan) – концентрований стимулятор на основі титану, що сприяє активізації метаболізму та зростанню продуктивності культур.

Погодні умови у 2024–2025 рр. характеризувалися певною нестабільністю та відхиленнями температурного режиму й рівнів опадів від середньобагаторічних показників. Незважаючи на температурні коливання, розрахунки гідротермічного коефіцієнта (ГТК) свідчили про задовільний стан зволоження ґрунту під час критичних етапів органогенезу. Акумульована сума активних температур (T > 10 ºC) була достатньою для реалізації генетичного потенціалу міскантусу гігантського та сіди багаторічної, забезпечуючи сприятливий гідротермічний фон для нарощування вегетативної маси.

Мета нашої роботи – науково обґрунтувати та розробити оптимальні стратегії застосування мінеральних добрив у поєднанні з сучасними біостимуляторами для максимізації виходу біомаси та енергетичного потенціалу багаторічних фітоенергетичних культур при їх вирощуванні на малопродуктивних дерново-підзолистих ґрунтах в умовах Західного Лісостепу України.

Результати та обговорення. Серед найбільш ефективних фітоенергетичних об’єктів особливе місце посідає міскантус гігантський. Його біоекологічні характеристики дають змогу накопичувати до 25 т/га сухої фітомаси, теплотворна здатність якої сягає 18 МДж/кг. Оптимальні показники вологості біосировини в період збирання суттєво полегшують технологічний процес її конверсії. Рівноцінним джерелом альтернативної енергії виступає сіда багаторічна. Стратегічною перевагою зазначених культур є їхня висока адаптивність до вирощування на малопродуктивних та ерозійно вразливих землях, що дає змогу оптимізувати структуру земельного фонду за рахунок залучення непридатних для традиційного землеробства площ.

В умовах Західного Лісостепу на дерново-підзолистих поверхнево оглеєних ґрунтах встановлено, що інтегровані системи живлення, які поєднують розрахункові дози мінеральних добрив ($N_{90}P_{65}K_{100}$) із застосуванням біостимуляторів (БлекДжек або Інтермаг Титан), забезпечують високу адаптивність міскантусу та сіди багаторічної. Зокрема, поєднання макродобрив із гуміновим препаратом БлекДжек або активатором на основі титану дозволяє нівелювати несприятливі фізико-хімічні властивості важкосуглинкового ґрунту, не поступаючись за ефективністю інтенсивним органо-мінеральним системам (рис. 1, 2).

У середньому за роки досліджень при вирощуванні міскантусу одержано приріст зеленої маси в межах 20–40 %, сухої речовини – 47–100 % порівняно з контрольним варіантом.

Найбільшу біомасу було зафіксовано на варіанті з комплексним застосуванням мінеральних добрив та гумінового препарату: $N_{90}P_{65}K_{100}$ + Блек Джек КС. Урожайність зеленої маси тут сягнула 47,8 т/га, а сухої речовини – 14,5 т/га, що забезпечило приріст до контролю на рівні 40 та 100 % відповідно.

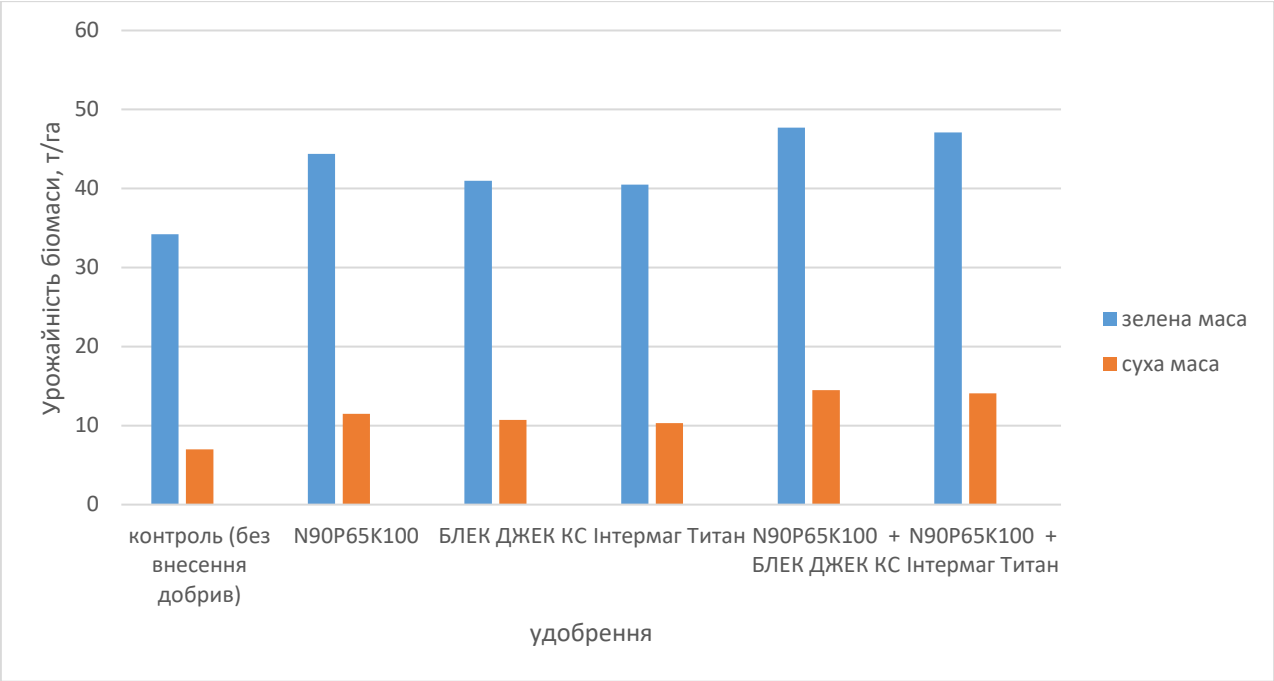

Рис. 1. Урожайність міскантусу гігантського залежно від різних систем удобрення (середнє за 2024–2025 рр.)

Самостійне застосування Блек Джек КС та Інтермаг Титан також забезпечило суттєву надбавку сухої речовини (до 10,6 та 10,1 т/га відповідно), що підтверджує чуйність міскантусу до біостимуляції на важких за механічним складом ґрунтах.

При вирощуванні сіди багаторічної спостерігалася аналогічна тенденція до зростання продуктивності, проте з вищими показниками виходу сухої маси на інтенсивних варіантах. Приріст зеленої маси становив 18–41 %, сухої речовини – 28–85 %.

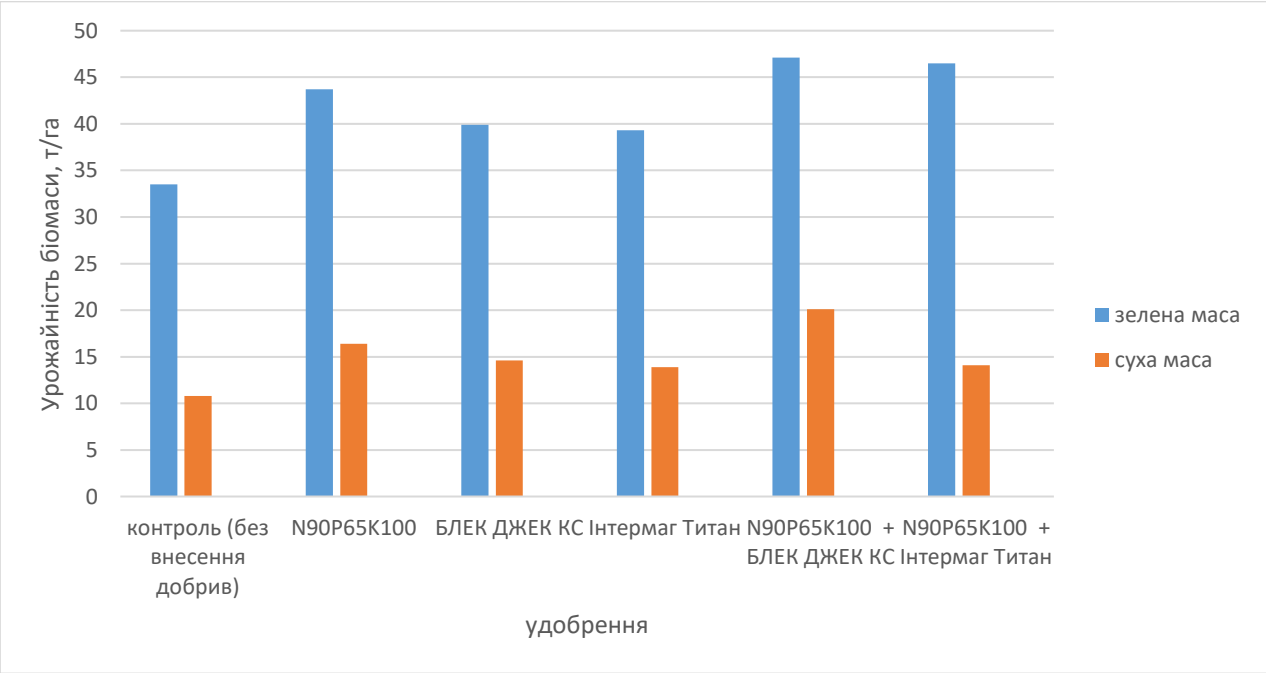

Рис. 2. Урожайність сіди багаторічної залежно від різних систем удобрення (середнє за 2024–2025 рр.)

Найвищу врожайність забезпечила система удобрення $N_{90}P_{65}K_{100}$ + Блек Джек КС, де вихід зеленої маси склав 47,1 т/га, а сухої речовини – 20,0 т/га. Приріст сухої маси на цьому варіанті був максимальним і становив 85 % відносно контролю.

Встановлено, що сіда багаторічна на варіанті з поєднанням мінеральних добрив та Блек Джек КС забезпечує вихід сухої речовини на рівні 20,0 т/га, що на 5,5 т/га перевищує аналогічний показник міскантусу.

Сіда багаторічна продемонструвала вищу здатність до накопичення сухої маси (10,8–20,0 т/га) порівняно з міскантусом (7,2–14,5 т/га) на дерново-підзолистих поверхнево оглеєних ґрунтах.

Отримані нами результати узгоджуються з висновками Шеленко Д. В., Гусака В. В. та інших дослідників, які акцентують увагу на прямій кореляції між ефективністю вирощування фітоенергетичних культур та ґрунтово-кліматичною специфікою регіону. Вирішальним чинником стимулювання ростових процесів є оптимізація режиму живлення рослин. Впровадження раціональної стратегії добрив забезпечує не лише максимальну врожайність біомаси, а й сприяє формуванню позитивного балансу поживних речовин у ґрунтовому профілі [10].

Результати досліджень, проведених у 2024–2025 рр. на дерново-підзолистих поверхнево оглеєних ґрунтах, свідчать про суттєвий вплив систем удобрення на вихід твердого палива та сумарної енергії з одиниці площі (табл. 1, 2).

1. Вихід твердого палива та енергії з одиниці площі міскантусу залежно від різних систем удобрення (середнє за 2024–2025 рр.)

Варіант	Вихід твердого палива, т/га	Вихід енергії, ГДж
Контроль (без внесення добрив)	13,0	16,24
$N_{90}P_{65}K_{100}$	22,5	23,24
Блек Джек КС	18,0	21,50
Інтермаг Титан	17,6	20,24
$N_{90}P_{65}K_{100}$ + Блек Джек КС	23,3	37,24
$N_{90}P_{65}K_{100}$ + Інтермаг Титан	23,0	35,75
$НІР_{05}$	0,11	1,12

Найвищий вихід твердого палива (23,3 т/га) та енергії (37,24 ГДж) зафіксовано для варіанта $N_{90}P_{65}K_{100}$ + Блек Джек КС. Це забезпечило приріст енерговиходу у 2,3 раза порівняно з контрольним варіантом (16,24 ГДж).

2. Вихід твердого палива та енергії з одиниці площі сіди багаторічної залежно від різних систем удобрення (середнє за 2024–2025 рр.)

Варіант	Вихід твердого палива, т/га	Вихід енергії, ГДж
Контроль (без внесення добрив)	9,2	14,35
$N_{90}P_{65}K_{100}$	18,8	21,55
Блек Джек КС	15,3	18,72
Інтермаг Титан	14,7	18,05
$N_{90}P_{65}K_{100}$ + Блек Джек КС	20,5	34,87
$N_{90}P_{65}K_{100}$ + Інтермаг Титан	20,0	33,92
$НІР_{05}$	0,15	1,22

Застосування препарату Інтермаг Титан на фоні мінеральних добрив продемонструвало майже аналогічну ефективність – 35,75 ГДж/га, що підтверджує синергію титановмісних стимуляторів із макроелементами.

Самостійне внесення Блек Джек КС та Інтермаг Титан без мінеральних добрив дозволило отримати 21,50 та 20,24 ГДж відповідно, що перевищує контроль на 25–32 %.

Для сіди багаторічної характерна дещо нижча базова врожайність твердого палива на контролі (9,2 т/га), проте спостерігається надзвичайно висока окупність внесених добрив. Як і у випадку з міскантусом, найкращі результати отримано при поєднанні мінерального фону з гуміновим концентратом Блек Джек КС: вихід палива склав 20,5 т/га, а енергії – 34,87 ГДж.

Внесення лише мінеральних добрив $N_{90}P_{65}K_{100}$ дозволило подвоїти вихід твердого палива порівняно з контролем з 9,2 до 18,8 т/га.

Показники $НІР_{05}$ (0,15 для палива та 1,22 для енергії) підтверджують високу достовірність отриманих результатів та суттєву різницю між варіантами досліду.

Для обох культур найбільш енергоефективною виявилася система мінеральні добрива + Блек Джек КС. Це пояснюється тим, що на важкосуглинкових ґрунтах гумінові та фульвокислоти препарату Блек Джек покращують рухливість елементів живлення та стимулюють розвиток потужної кореневої системи.

Порівняння наших даних із результатами попередніх досліджень на аналогічних типах ґрунтів [5, 12] підтверджує, що застосування лише мінеральних добрив часто є недостатнім для повної реалізації біологічного потенціалу міскантусу на важких суглинках. Зокрема, встановлена нами висока ефективність поєднання макроелементів із гуміновим препаратом Блек Джек КС (вихід енергії 34,8–37,2 ГДж/га) корелює з даними [3, 26], де автори відзначають критичну роль біостимуляторів у підвищенні адаптивності енергетичних насаджень до несприятливих агроекологічних умов.

Важливо зазначити, що отримані нами показники врожайності сухої маси сіди багаторічної (до 20,0 т/га) перевищують результати, описані для Полісся та Півдня України [12, 26], що вказує на вищу продуктивність даної культури саме в умовах Західного Лісостепу за інтенсивного живлення. Водночас енергетична продуктивність міскантусу в нашому дослідженні (37,2 ГДж/га) узгоджується з сучасними трендами розвитку біоенергетичного сектору України, спрямованими на використання другого покоління біопалива [7, 21, 25].

Висновки. В умовах Західного Лісостепу на дерново-підзолистих поверхнево оглеєних важкосуглинкових ґрунтах встановлено, що інтегровані системи живлення на основі мінеральних добрив $N_{90}P_{65}K_{100}$ у поєднанні з біостимуляторами забезпечують високу адаптивність та продуктивність міскантусу гігантського та сіди багаторічної.

Застосування комплексу $N_{90}P_{65}K_{100}$ + Блек Джек КС дозволило досягти найвищого енергетичного виходу: 37,24 ГДж/га для міскантусу та 34,87 ГДж/га для сіди, що підтверджує синергічну дію гумінових сполук та мінеральних добрив у нівелюванні несприятливих властивостей важких ґрунтів.

Порівняльний аналіз показав, що сіда багаторічна демонструє вищу здатність до накопичення сухої речовини порівняно з міскантусом гігантським на важкосуглинкових ґрунтах, хоча міскантус забезпечує дещо вищий абсолютний вихід енергії на одиницю маси палива.

Список використаної літератури

1. Агротехнологічні аспекти вирощування енергетичних культур в умовах Півдня України : навчальний посібник / М. І. Федорчук та ін. Херсон, 2017. С. 42–45.

2. Біоенергетичний потенціал багаторічних трав'янистих фітоценозів України / В. Г. Кургак та ін. *Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН*. 2013. Вип. 19. С. 63–67.

3. Гелетуха Г. Г., Желєзна Т. А., Трибой О. В. Перспективи вирощування та використання енергетичних культур в Україні. *Аналітична записка БАУ*. 2014. № 10. 33 с. https://uabio.org/wp-content/uploads/2020/04/position-paper-uabio-10-ua.pdf.

4. Державна служба статистики України. Енергетичний баланс України за 2020 рік : експрес-випуск від 30.11.2021. Київ, 2021.

5. Думич В. В., Журба Г. І., Курило Г. І. Техніко-технологічні заходи створення енергетичних плантацій світчграсу в умовах Полісся України. *Збірник наукових праць Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН*. 2013. Вип. 19. С. 37–42.

6. Енергетичні культури для виробництва біопалива / М. В. Роїк та ін. *Наукові праці Полтавської державної аграрної академії*. Полтава, 2010. Т. 7. С. 12–17.

7. Ермантраут Е. Р., Присяжнюк О. І., Шевченко І. Л. Статистичний аналіз агрономічних дослідних даних в пакеті Statistica 6.0. Київ : ПоліграфКонсалтинг, 2007. 56 с.

8. Кургак В. Г., Ткаченко А. М. Біоенергетичний потенціал багаторічних трав'янистих фітоценозів. *Вісник аграрної науки*. 2016. № 2. С. 15–20.

9. Методологія і організація наукових досліджень у сільському господарстві та харчових технологіях / О. І. Присяжнюк та ін. Київ : Нілан-ЛТД, 2021. 300 с. https://bio.gov.ua/sites/default/files/documentation/monografiya_prysyazhnyuk_o.i._2021.pdf.

10. Міскантус в Україні / М. В. Роїк та ін. Київ : ФОП Ямчинський О. В., 2019. 256 с. https://bio.gov.ua/sites/default/files/documentation/miskantus_v_ukrayini.pdf.

11. Оцінка енергетичного потенціалу біомаси в Україні / Г. Г. Гелетуха та ін. *Промислова теплотехніка*. 2010. Т. 32. № 6. С. 58–65. https://nasplib.isofts.kiev.ua/handle/123456789/60622

12. Перспективні енергетичні культури на маргінальних землях Західного Лісостепу / Д. І. Шеленко та ін. *Таврійський науковий вісник*. 2025. № 145 (2). С. 211–218. https://tnv-agro.ksauniv.ks.ua/archives/145_2025/part_2/25.pdf.

13. Перспективи виробництва і споживання біопалив другого покоління в Україні / Т. А. Желєзна та ін. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research*. Київ, 2018. Вип. 9, № 2. С. 61–66.

References

1. Agrotechnological aspects of growing energy crops in the conditions of Southern Ukraine: a textbook / M. I. Fedorchuk et al. Kherson, 2017. P. 42–45.

2. Bioenergetic potential of perennial herbaceous phytocenoses of Ukraine / V. H. Kurhak ta in. *Naukovi pratsi Instytutu bioenerhetychnykh kultur i tsukrovykh buriakiv NAAN*. 2013. Issue 19. P. 63–67.

3. Heletukha H. H., Zheliezna T. A., Tryboi O. V. Prospects for growing and using energy crops in Ukraine. *Analitychna zapyska BAU*. 2014. No. 10. 33 p. https://uabio.org/wp-content/uploads/2020/04/position-paper-uabio-10-ua.pdf.

4. State Statistics Service of Ukraine. Energy balance of Ukraine for 2020: express release dated 11/30/2021. Kyiv, 2021.

5. Dumych V. V., Zhurba H. I., Kurylo H. I. Technical and technological measures for creating switchgrass energy plantations in the conditions of Polissya, Ukraine. *Zbirnyk naukovykh prats Instytutu bioenerhetychnykh kultur i tsukrovykh buriakiv NAAN*. 2013. Issue 19. P. 37–42.

6. Energy crops for biofuel production / M. V. Roik et al. *Naukovi pratsi Poltavskoi derzhavnoi ahrarnoi akademii*. Poltava, 2010. Vol. 7. P. 12–17.

7. Ermantraut E. R., Prysiazhniuk O. I., Shevchenko I. L. Statistical analysis of agronomic research data in the Statistica 6.0 package. Kyiv : PolihrafKonsaltynh, 2007. 56 p.

8. Kurhak V. H., Tkachenko A. M. Bioenergetic potential of perennial herbaceous phytocenoses. *Visnyk ahrarnoi nauky*. 2016. No. 2. P. 15–20.

9. Methodology and organization of scientific research in agriculture and food technologies / O. I. Prysiazhniuk et al. Kyiv : Nilan-LTD, 2021. 300 p. https://bio.gov.ua/sites/default/files/documentation/monografiya_prysyazhnyuk_o.i._2021.pdf.

10. Miscanthus in Ukraine / M. V. Roik et al. Kyiv : FOP Yamchynskyi O. V., 2019. 256 p.

11. Assessment of the energy potential of biomass in Ukraine / H. H. Heletukha et al. *Promyslova teplotekhnika*. 2010. T. 32. No. 6. P. 58–65. https://nasplib.isofts.kiev.ua/handle/123456789/60622

12. Promising energy crops on marginal lands of the Western Forest-Steppe / D. I. Shelenko et al. *Tavriiskyi naukovyi visnyk*. 2025. No. 145 (2). P. 211–218. https://tnv-agro.ksauniv.ks.ua/archives/145_2025/part_2/25.pdf.

13. Prospects for the production and consumption of second-generation biofuels in Ukraine / T. A. Zheliezna et al. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research*. Київ, 2018. Вип. 9, No. 2. С. 61–66. https://dglib.nubip.edu.ua/server/api/core/bitstreams/977f1714-26c5-44f9-93b2-1255b063f7fd/content.

14. Promising crops for bioenergy in Ukraine / R. A. Vozhehova ta in. *Ahrarni innovatsii*. 2022. No.

https://dglib.nubip.edu.ua/server/api/core/bitstreams/977f1714-26c5-44f9-93b2-1255b063f7fd/content.

14. Перспективні культури для біоенергетики України / Р. А. Вожегова та ін. *Аграрні інновації*. 2022. № 11. С. 5–15. https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2022.11.1.

15. Продуктивність міскантусу залежно від густоти стояння рослин та дози внесення мінеральних добрив в умовах західної частини Лісостепу України / В. Л. Курило та ін. Матеріали Міжнар. науково-практ. інтернет-конференції, присвяченої 150-річчю від дня народження академіка Д. М. Прянишникова та Міжнародному Дню агрохіміка (м. Львів, 8–10 червня 2015 р.). Львів, 2015. С. 267–275.

16. A review of sweet sorghum as a viable renewable bioenergy crop and its technoeconomic analysis / N. B. Appiah-Nkansah et al. *Renewable Energy*. 2019. Vol. 143. P. 1121–1132. https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.05.066.

17. Ayodele B. V., Alsaffar M. A., Mustapa S. I. An overview of integration opportunities for sustainable bioethanol production from first- and second generation sugar-based feedstocks. *Journal of Cleaner Production*. 2020. Vol. 245. N 118857. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118857.

18. Biomass production for bioenergy using marginal lands / M. A. Mehmood et al. *Sustainable Production and Consumption*. 2017. Vol. 9. P. 3–21. https://doi.org/10.1016/j.spc.2016.08.003.

19. 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 / Y. Hryhoriv et al. *Ecological Engineering & Environmental Technology*. 2026. Vol. 27. No. 2. P. 417–423. https://doi.org/10.12912/27197050/217562.

20. Energy productivity of uncommon herbs for solid fuel manufacturing / V. H. Kurhak et al. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2021. No. 1. P. 299–305. https://www.ujecology.com/abstract/energy-productivity-of-uncommon-herbs-for-solid-fuel-manufacturing-63995.html.

21. Grain corn product yield and gross value depending on the hybrids and application of biopreparations in the irrigated conditions / R. A. Vozhehova et al. *Scientific Papers. Series: Management, Economic Engineering in Agriculture and Rural Development*. 2021. Vol. 21. Issue 4. P. 611–619. https://managementjournal.usamv.ro/pdf/vol.21_4/Art73.pdf.

22. Impact of integrated row spacing, fertilizer application methods and sowing dates on bioethanol production in sorghum / T. A. Shaikh et al. *Pakistan Journal of Botany*. 2021. No. 53 (3). P. 1007–1013. https://www.pakbs.org/pjbot/papers/1615273068.pdf.

23. Influence of perennial legumes on the productivity of meadow phytocenoses / V. G. Kurgak

11. P. 5–15. https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2022.11.1.

15. Miscanthus productivity depending on plant density and dose of mineral fertilizers in the western part of the Forest-Steppe of Ukraine / V. L. Kurylo et al. Materials of the International Scientific and Practical Internet Conference dedicated to the 150th anniversary of the birth of Academician D. M. Pryanishnikov and the International Day of Agrochemists (Lviv, June 8–10, 2015). Lviv, 2015. P. 267–275.

16. A review of sweet sorghum as a viable renewable bioenergy crop and its technoeconomic analysis / N. B. Appiah-Nkansah et al. *Renewable Energy*. 2019. Vol. 143. P. 1121–1132. https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.05.066.

17. Ayodele B. V., Alsaffar M. A., Mustapa S. I. An overview of integration opportunities for sustainable bioethanol production from first- and second generation sugar-based feedstocks. *Journal of Cleaner Production*. 2020. Vol. 245. N 118857. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118857.

18. Biomass production for bioenergy using marginal lands / M. A. Mehmood et al. *Sustainable Production and Consumption*. 2017. Vol. 9. P. 3–21. https://doi.org/10.1016/j.spc.2016.08.003.

19. 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 / Y. Hryhoriv et al. *Ecological Engineering & Environmental Technology*. 2026. Vol. 27. No. 2. P. 417–423. https://doi.org/10.12912/27197050/217562.

20. Energy productivity of uncommon herbs for solid fuel manufacturing / V. H. Kurhak et al. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2021. No. 1. P. 299–305. https://www.ujecology.com/abstract/energy-productivity-of-uncommon-herbs-for-solid-fuel-manufacturing-63995.html.

21. Grain corn product yield and gross value depending on the hybrids and application of biopreparations in the irrigated conditions / R. A. Vozhehova et al. *Scientific Papers. Series: Management, Economic Engineering in Agriculture and Rural Development*. 2021. Vol. 21. Issue 4. P. 611–619. https://managementjournal.usamv.ro/pdf/vol.21_4/Art73.pdf.

22. Impact of integrated row spacing, fertilizer application methods and sowing dates on bioethanol production in sorghum / T. A. Shaikh et al. *Pakistan Journal of Botany*. 2021. No. 53 (3). P. 1007–1013. https://www.pakbs.org/pjbot/papers/1615273068.pdf.

23. Influence of perennial legumes on the productivity of meadow phytocenoses / V. G. Kurgak et al. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2020. No. 6. P. 310–315. https://doi.org/10.15421/2020_298.

24. Petrychenko, V., Kurgak, V., & Rybak, S. Bioenergy potential of meadows of Ukraine. *In EGF at 50: The Future of European Grasslands. Proceedings*

et al. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2020. No. 6. P. 310–315. https://doi.org/10.15421/2020_298.

24. Petrychenko, V., Kurgak, V., & Rybak, S. Bioenergy potential of meadows of Ukraine. *In EGF at 50: The Future of European Grasslands. Proceedings of the 25th General Meeting of the European Grassland Federation*, Aberystwyth, Wales. 2014. p. 143–145.

25. Production of biofuels from sorghum / O. S. Stamenkovic et al. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*. 2020. Vol. 124. 109769. https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.109769.

26. Prospectives of growing energy crops for the production of different types of biofuel / Y. Hryhoriv et al. *Ecological Engineering & Environmental Technology*. 2024. Vol. 25. No. 5. P. 191–197. https://doi.org/10.12912/27197050/185710.

27. Sweet sorghum-a promising alternative feedstock for biofuel production / R. A. Dar et al. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*. 2018. Vol. 82. P. 4070–4090. https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.10.066.

of the 25th General Meeting of the European Grassland Federation, Aberystwyth, Wales. 2014. p. 143–145.

25. Production of biofuels from sorghum / O. S. Stamenkovic et al. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*. 2020. Vol. 124. 109769. https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.109769.

26. Prospectives of growing energy crops for the production of different types of biofuel / Y. Hryhoriv et al. *Ecological Engineering & Environmental Technology*. 2024. Vol. 25. No. 5. P. 191–197. https://doi.org/10.12912/27197050/185710.

27. Sweet sorghum-a promising alternative feedstock for biofuel production / R. A. Dar et al. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*. 2018. Vol. 82. P. 4070–4090. https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.10.066.