

УДК 631.895:633.282:620.952

Вплив позакореневого підживлення на енергетичний потенціал міскантусу гігантського

В. М. Квак* , В. І. Кравчук , О. М. Ганженко ,
Г. С. Гончарук , О. М. Атаманюк 

Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН, вул. Клінічна, 25, м. Київ, 03110, Україна

*Автор для листування: Володимир Квак, kvak-vm@ukr.net

Цитування: Квак В. М., Кравчук В. І., Ганженко О. М., Гончарук Г. С., Атаманюк О. М. Вплив позакореневого підживлення на енергетичний потенціал міскантусу гігантського. *Біоенергетика*. 2025. № 2. С. 37–44. <https://doi.org/10.47414/be.2025.No2.pp37-44>

Мета. Оцінити вплив норм і строків позакореневого внесення комплексного мікродобрива Актив-Харвест Макро на врожайність, якісний склад та енергетичний потенціал біомаси міскантусу гігантського в умовах нестійкого зволоження Лісостепу України. **Методи.** Дослідження проводили у 2021–2024 рр. на Ялтушківській ДСС ІБКіЦБ НААН на сірому лісовому легкосуглинковому ґрунті. Схема досліду – двофакторна: фактор А – норма препарату (0, 2, 4 л/га), фактор В – фаза внесення (ВВСН 20, 29). Визначали врожайність сирої і сухої біомаси, вміст сухої речовини, золи, целюлози, геміцелюлози та лігніну, теплотворну здатність і енергетичний потенціал. **Результати.** Установлено достовірне зростання врожайності сухої біомаси за застосування препарату. Максимальний середній показник – 28,2 т/га – отримано за норми 4 л/га у фазі ВВСН 29, що на 66,9% перевищувало контроль (16,9 т/га). Урожай сирої маси зростав до 40,1 т/га проти 23,9 т/га у контролі. Норма внесення зумовлювала 44% загальної варіації врожайності, погодні умови року – 21%, фаза обробки – 15%. Під впливом мікродобрива підвищувався вміст целюлози (до 42,3%) і геміцелюлози (до 30,5%), зменшувалася частка лігніну (до 23,6%) і золи (до 3,6%). Теплотворна здатність зростала з 15,4 до 16,8 МДж/кг, а енергетичний потенціал – з 368,6 до 673,5 ГДж/га (+81,9%). **Висновки.** Позакореневе підживлення міскантусу гігантського мікродобривом Актив-Харвест Макро є ефективним елементом технології вирощування культури. Оптимальним є внесення 4 л/га у фазі ВВСН 29, що забезпечує максимальну реалізацію продуктивного й енергетичного потенціалу насаджень та покращує структурно-хімічні показники біомаси.

Ключові слова: міскантус гігантський; позакореневе підживлення; мікродобриво; Актив-Харвест Макро; врожайність біомаси; структурний склад біомаси; целюлоза; лігнін; теплотворна здатність; енергетичний потенціал; біоенергетичні культури; Лісостеп України.

Вступ

В умовах загострення глобальних екологічних проблем і зростання потреби у поновних джерелах енергії пошук альтернативних енергетичних ресурсів є одним із пріоритетних напрямів сучасних наукових досліджень. Скорочення запасів викопного палива, підвищення рівня викидів парникових газів та необхідність зміцнення енергетичної безпеки зумовлюють активний розвиток біоенергетики, зокрема використання рослинної біомаси як джерела енергії [1, 2]. Серед різних видів біомаси особливу увагу привертають багаторічні злакові культури, зокрема міскантус гігантський (*Miscanthus × giganteus* J.M.Greef & Deuter ex Hodkinson &

Одержано 15.07.2025 • Погоджено 22.09.2025 • Опубліковано онлайн 29.12.2025

© Автор(и), 2025. Видавець Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України. Це стаття відкритого доступу, що розповсюджується на умовах ліцензії CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>), яка дозволяє використання, розповсюдження та відтворення на будь-яких носіях за умови належного цитування оригінальної роботи.



Renvoize), який характеризується високою продуктивністю, стійкістю до абіотичних чинників і відносно невисокими вимогами до агротехнічного забезпечення [3–5].

Актуальність дослідження енергетичного потенціалу багаторічних злакових культур зумовлена їхніми біологічними та господарсько-цінними властивостями, що визначають перспективність використання в біоенергетиці. На відміну від однорічних культур, багаторічні злаки здатні тривалий час використовувати одну й ту саму ділянку без щорічного перезалуження, що сприяє зниженню виробничих витрат і мінімізації антропогенного навантаження на ґрунт [6]. Крім того, високий вміст целюлози та лігніну в їхній біомасі зумовлює ефективність перероблення на тверде біопаливо та целюлозовмісні продукти [7, 8].

Позакоренеve підживлення як агротехнічний захід широко досліджується в аспекті підвищення продуктивності сільськогосподарських культур. За результатами досліджень на інших енергетичних культурах, зокрема кукурудзі та цукровій тростині, встановлено, що застосування позакореневих підживлень сприяє зростанню вмісту цукрів та інших енергетично цінних компонентів у біомасі [9]. Це свідчить про можливість подібного ефекту й у міскантусу гігантського. Крім того, експериментальні дані [10] підтверджують, що комбіноване внесення мікроелементів (цинк, мідь, бор) позакореневим способом підвищує фотосинтетичну активність рослин, що безпосередньо впливає на формування їхнього енергетичного потенціалу.

Водночас, попри наявність позитивних результатів щодо інших культур, дослідження впливу саме позакореневого підживлення на міскантус гігантський залишаються обмеженими. Переважна більшість наукових праць присвячена кореневому удобренню та його впливу на врожайність [2, 11]. Отже, необхідні подальші дослідження, спрямовані на обґрунтування оптимальних стратегій позакореневого підживлення з метою максимізації енергетичного потенціалу міскантусу гігантського.

Оцінювання енергетичного потенціалу рослинної біомаси є ключовим етапом визначення її придатності для використання у біоенергетиці. У наукових дослідженнях цей підхід охоплює аналіз хімічного складу біомаси, визначення теплотворної здатності та розроблення технологій перероблення на різні види біопалива [12, 13]. Одним із базових показників є нижча теплота згоряння, що залежить від вмісту целюлози, геміцелюлози та лігніну [14, 15]. Зокрема встановлено, що високий вміст лігніну в біомасі міскантусу підвищує його ефективність як сировини для виробництва твердого біопалива [16].

Важливим чинником формування енергетичного потенціалу є також хімічний склад біомаси. Зокрема, у дослідженнях інших багаторічних злаків виявлено високий вміст структурних вуглеводів, що зумовлює їх придатність до переробки на біоетанол [6]. Крім того, продуктивність і якість біомаси значною мірою залежать від умов вирощування. Показано, що багаторічні трав'янисті культури можуть забезпечувати стабільне виробництво біопалива навіть за умов низького ресурсного забезпечення [17, 18].

Мета дослідження – оцінити вплив норм і строків позакореневого внесення комплексного мікродобрива Актив-Харвест Макро на врожайність, якісний склад та енергетичний потенціал біомаси міскантусу гігантського в умовах нестійкого зволоження Лісостепу України.

Матеріали та методи дослідження

Експериментальні дослідження проводили у 2021–2024 рр. на полі № 3 селекційної сівозміни Ялтушківської дослідно-селекційної станції (ЯДСС) Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН.

Дослідна ділянка розташована в зоні нестійкого зволоження Лісостепу України, у південно-західній частині Вінницької області (Жмеринський р-н). Клімат території – помірно теплий і достатньо вологий. Середньорічна температура повітря становить близько +8,7 °С. Середня річна кількість опадів – близько 550 мм, з яких за вегетаційний період випадає 280–360 мм.

Ґрунт дослідної ділянки – сірий лісовий легкосуглинковий. Агрохімічні показники орного шару (0–30 см): вміст гумусу (за Тюрнімом) – 1,86%; лужногідролізованого азоту (за Корнфільдом) – 63,0 мг/кг; рухомого фосфору і калію (за Чириковим) – відповідно 109 та 119 мг/кг ґрунту; рН (сольове) – 5,3; гідролітична кислотність (за Каппеном) – 2,9 мг-екв/100 г ґрунту; сума увібраних основ – 22,4 мг-екв/100 г ґрунту; ступінь насичення основами – 80–83%.

Погодні умови у 2021–2024 рр. характеризувалися підвищеним температурним фоном і варіюванням кількості опадів упродовж вегетаційних періодів.

Температурний режим: у 2021 р. найбільші позитивні відхилення від середньобагаторічних показників зафіксовано у червні (+3,2 °С) та липні (+4,1 °С); у 2022-му – у червні (+3,0 °С) і серпні (+2,5 °С), при цьому рік був найпосушливішим за період досліджень; у 2023-му значні перевищення температури спостерігали у серпні (+4,4 °С), вересні (+4,3 °С) та жовтні (+2,7 °С); у 2024 р. найвищі позитивні аномалії відзначено у квітні (+3,9 °С) та липні (+4,6 °С).

За кількістю опадів 2021 р. характеризувався показником 291,2 мм, що на 108,8 мм менше кліматичної норми; у 2022-му випало 232 мм (дефіцит 168 мм), що було максимальним недобором вологи за весь період досліджень; у 2023 р. зафіксовано 326,5 мм опадів (на 73,5 мм менше норми); у 2024 р. умови були близькими до оптимальних – 393,4 мм, що лише на 6,6 мм менше середньобагаторічного показника.

Таким чином, у всі роки досліджень спостерігали підвищений температурний фон. Найбільший дефіцит вологи відзначено у 2022 р., що могло негативно вплинути на формування врожаю біомаси. Порівняно сприятливими для росту та накопичення біомаси міскантусу були 2023 та 2024 рр., що зумовлено поєднанням високих температур і відносно достатнього вологозабезпечення.

Схему двофакторного дослідження наведено у таблиці 1.

Таблиця 1. Схеми дослідження

Варіант	Фактор А – норма внесення препарату Актив-Харвест-Макро	Фактор В – фаза розвитку рослин
1	Контроль – без внесення препарату	
2	2 л/га	ВВСН 20
3		ВВСН 29
4	4 л/га	ВВСН 20
5		ВВСН 29

Примітка. ВВСН 20 – фаза кущіння, ВВСН 29 – вихід у трубку.

Дослід було закладено на плантації міскантусу гігантського ‘Осінній зорецьвіт’ 2016 року садіння. Площа облікової ділянки становила 12,5 м², повторність дослідження – триразова.

Для позакореневого підживлення застосовували комплексне добриво Актив-Харвест Макро, яке містить макро- та мікроелементи у доступній для рослин формі, а також біологічно активні речовини. Препарат призначений для позакореневого підживлення сільськогосподарських культур. Склад (діючі речовини), %: N – 5; P₂O₅ – 15; K₂O – 15; Mg – 0,375; SO₃ – 0,45; B – 0,093; Fe – 0,15; Mn – 0,135; Cu – 0,06; Zn – 0,11; Mo – 0,0015; Ni – 0,002. Норма внесення – 0,5–4,0 л/га. Виробник – компанія «Імперія Агро» (Україна) [19].

Зразки біомаси відбирали на експериментальних ділянках після завершення вегетації. У межах кожної облікової ділянки, в рядку на відстані не менше 3 м від краю, послідовно (без пропусків) відбирали не менше ніж 10 рослин. Відібрані рослини зрізали, визначали їх загальну масу та розраховували врожайність біомаси (т/га).

Уміст сухої речовини в листово-стебловій біомасі визначали термогравіметричним методом [20]. Уміст сирової золи встановлювали методом сухого озолення за доступу повітря. Уміст лігніну визначали за методом Класона, а вміст целюлози та геміцелюлози – методом кислотного гідролізу [21].

Теплотворну здатність біомаси визначали розрахунковим методом на основі її хімічного складу [15] за формулою:

$$E_B = E_o (1 - W / 100),$$

де E_B – вища питома теплотворна здатність біомаси, МДж/кг; W – вологість біомаси, %; E_o – питома теплотворна здатність абсолютно сухої біомаси, МДж/кг.

Питома теплотворна здатність абсолютно сухої біомаси (E_o) залежить від її хімічного складу і визначається за формулою:

$$E_o = 0,01(q_{ce} + q_{he} + q_{le})$$

де E_o – питома теплотворна здатність абсолютно сухої біомаси, МДж/кг; q_c, q_h, q_l – частка відповідно целюлози; геміцелюлози та лігніну в структурі біомаси, %; e_c, e_h, e_l – питома теплотворна здатність відповідно целюлози; геміцелюлози та лігніну, МДж/кг. $e_c = 17,4$ МДж/кг; $e_h = 13,9$ МДж/кг, $e_l = 26,9$ МДж/кг [22].

Після підстановки відповідних значень формула набуває вигляду:

$$E_o = 0,01(17,4q_c + 13,9q_h + 26,9q_l)$$

Енергетичний потенціал визначали на основі показників теплотворної здатності та врожайності біомаси за формулою:

$$E = Y \times E_B,$$

де E – енергетичний потенціал, ГДж/га; Y – урожайність, т/га; E_B – теплотворна здатність, ГДж/т [23].

Статистичну обробку експериментальних даних здійснювали методом дисперсійного аналізу (ANOVA). Розрахунки виконували на персональному комп'ютері з використанням прикладних програм Microsoft Excel та Statistica 6.0 [24].

Результати дослідження

Результати експерименту (табл. 2) за період 2021–2024 рр. свідчать, що застосування мікродобрива Актив-Харвест Макро позитивно впливало на продуктивність міскантусу гігантського, забезпечуючи достовірне підвищення врожайності порівняно з контролем (без обробки). Середні показники врожайності сухої біомаси демонстрували чітку позитивну залежність від норми внесення препарату та фази обробки.

Таблиця 2. Урожайність сухої біомаси міскантусу гігантського залежно від варіанту підживлення, т/га

Норма препарату	Фаза розвитку рослин	2021	2022	2023	2024	Середнє
2 л/га	Контроль	16,1	15,7	16,9	19,0	16,9
	ВВСН 20	19,6	19,0	20,5	22,5	20,4
	ВВСН 29	25,6	24,5	26,0	28,0	26,0
4 л/га	ВВСН 20	20,2	19,3	21,2	23,6	21,1
	ВВСН 29	26,9	26,5	28,1	31,3	28,2
НІР _{0,05}		3,3	3,2	3,4	3,3	2,16

Максимальна середня врожайність сухої біомаси, 28,2 т/га, спостерігалася за внесення Актив-Харвест Макро у нормі 4 л/га у фазі ВВСН 29, що на 66,9% перевищувало показник контролю – 16,9 т/га. Варіант із внесенням 2 л/га у тій же фазі також продемонстрував високі результати – 26,0 т/га. Застосування препарату у фазі ВВСН 29 забезпечувало найкращу реакцію рослин на мікродобриво, що зумовлено інтенсивним ростом і розвитком вегетативної маси в цей період.

Аналіз погодних умов за роками показав, що формування врожаю міскантусу гігантського значною мірою залежало від метеорологічних чинників. Зокрема, у 2022 році зафіксовано найнижчі показники врожайності в усіх варіантах дослідження, що зумовлено дефіцитом опадів (232 мм за вегетаційний період). Натомість у 2024 році, за оптимальних гідротермічних умов (393,4 мм опадів), урожайність досягала максимальних значень.

У всі роки досліджень найвищу врожайність забезпечувало внесення мікродобрива Актив-Харвест Макро у нормі 4 л/га у фазі ВВСН 29. Зокрема, у 2021 році врожайність становила 26,9 т/га (+10,8 т/га до контролю), у 2022-му – 26,5 т/га (+10,8 т/га), у 2023-му – 28,1 т/га (+11,2 т/га), у 2024 році – 31,3 т/га (+12,3 т/га).

За результатами дисперсійного аналізу (рисунок) встановлено, що визначальним чинником підвищення продуктивності міскантусу гігантського була норма внесення препарату, частка якої становила 44% загальної варіації. Це свідчить про високу ефективність застосування мікродобрива Актив-Харвест-Макро в різних нормах і фазах розвитку культури.

Фактор «Роки» зумовлював 21% варіації, що підтверджує істотний вплив погодних умов, зокрема режиму зволоження та температурного фону, на формування врожаю. Фаза внесення добрива пояснювала 15% дисперсії, що вказує на важливість вибору оптимального фенологічного етапу для проведення позакореневого підживлення.

Суттєве значення мала також взаємодія факторів, сумарна частка – 17%. Зокрема:

Норма витрати препарату × фаза розвитку рослин (8%). Ця взаємодія свідчить, що ефективність однієї й тієї ж норми препарату залежить від фенологічної фази її застосування. Зокрема, норма 4 л/га у фазі ВВСН 29 забезпечила максимальну врожайність (до 31,3 т/га), тоді як внесення цієї ж норми у фазі ВВСН 20 мало нижчий ефект (до 23,6 т/га). Отже, оптимальне поєднання норми та строку внесення дає змогу максимально реалізувати продуктивний потенціал культури.

Рік × норма витрати препарату (4%). Ефективність однакових норм мікродобрива варіювала залежно від погодних умов року. У 2022 році за дефіциту вологи (232 мм опадів за вегетацію) ефект вищої норми був менш вираженим, тоді як у 2024 році (393,4 мм опадів) вони обидві забезпечували істотне зростання врожайності. Це обґрунтовує доцільність адаптації агротехнічних заходів до конкретних кліматичних умов.

Рік × фаза розвитку рослин (4%). Оптимальний строк обробки також залежав від погодного фону року. Зокрема, у 2023 році за відносно рівномірного розподілу опадів і підвищених температур ефективнішою була обробка у фазі ВВСН 29, тоді як у посушливому 2022-му кращий результат забезпечувало більш раннє внесення (ВВСН 20).

Трикомпонентна взаємодія *рік × норма витрати препарату × фаза розвитку рослин* мала найменшу частку впливу (1%), однак підтверджує, що максимальна ефективність агрозаходів формується під одночасним впливом усіх трьох чинників. Це підкреслює необхідність диференційованого підходу до технології вирощування міскантусу гігантського з урахуванням умов конкретного сезону.

Інші фактори (3%) включали змінні, не враховані в моделі (щільність стояння рослин, мікрорельєф, механічний склад ґрунту тощо). Їхній вплив був незначним, що свідчить про достатній рівень контрольованості умов проведення дослідів та коректність експериментального планування.

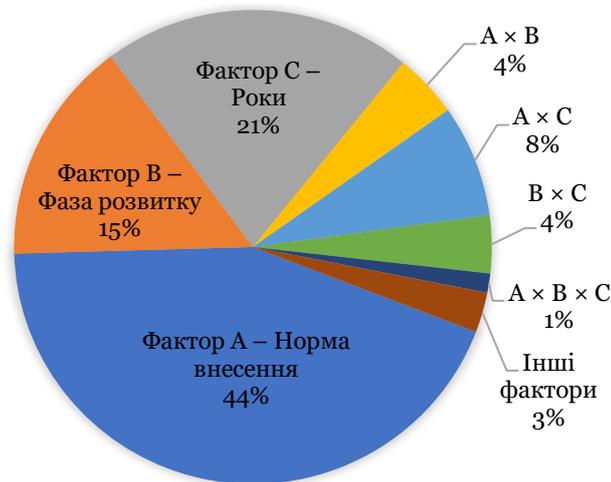


Рис. Частка впливу досліджуваних факторів на врожайність міскантусу гігантського

Дослідження засвідчили, що застосування мікродобрива Актив-Харвест Макро суттєво впливає на продуктивність міскантусу гігантського, зумовлюючи зміни як кількісних, так і якісних показників біомаси.

Урожайність сирової маси (табл. 3) істотно зростала за умов позакореневого підживлення. У контрольному варіанті вона становила 23,9 т/га, тоді як за внесення 2 л/га у фазі ВВСН 29 підвищувалася до 36,9 т/га. Найвищий показник зафіксовано в разі застосування 4 л/га у фазі ВВСН 29 – 40,1 т/га, що на 67,6% перевищувало контроль.

Уміст сухої речовини залишався відносно стабільним у межах 70,1–70,9% незалежно від варіанта обробки, що свідчить про збереження основних фізіолого-біохімічних характеристик рослин за дії мікродобрива.

Суттєві зміни відзначено і в структурному складі біомаси. Уміст целюлози зростав із 39,2% у контролі до 42,3% у варіанті зі внесенням 4 л/га у фазі ВВСН 29, що є позитивним чинником для подальшого біоенергетичного використання сировини. Водночас уміст лігніну зменшувався з 28,3% (контроль) до 23,6%, що сприяє покращенню паливних властивостей завдяки зниженню частки важкорозкладних компонентів. Уміст геміцелюлози підвищувався до 30,5%, що свідчить про зростання частки легкодоступних полісахаридів у структурі клітинної стінки.

Таблиця 3. Продуктивність міскантусу гігантського залежно від варіантів позакореневого підживлення (середнє за 2021–2024 рр.)

Показники	Контроль	Норми внесення препарату			
		2 л/га		4 л/га	
		ВВСН 20	ВВСН 29	ВВСН 20	ВВСН 29
Урожай сирової маси, т/га	23,9	29,1	36,9	29,9	40,1
Уміст сухої речовини на час збирання, %	70,9	70,1	70,4	70,5	70,4
Структурний склад, %:					
целюлоза	39,2	40,5	41,8	41,1	42,3
лігнін	28,3	26,4	24,4	25,6	23,6
геміцелюлоза	28,4	29,2	30	29,6	30,5
зола	4,1	3,9	3,8	3,7	3,6
Теплотворна здатність, МДж/кг	15,4	16,0	16,5	16,3	16,8
Енергетичний потенціал, ГДж/га	368,6	465,2	609,1	485,9	673,5

Уміст золи в біомасі зменшувався зі збільшенням норми препарату – від 4,1% у контролі до 3,6% у варіанті із внесенням 4 л/га у фазі ВВСН 29. Це є важливою характеристикою паливної якості, оскільки нижчий уміст золи зменшує утворення відкладень і засмічення обладнання під час спалювання.

Відзначено також зростання теплотворної здатності біомаси – з 15,4 МДж/кг у контрольному варіанті до 16,8 МДж/кг за максимальної норми внесення. Унаслідок цього енергетичний потенціал посівів міскантусу підвищився з 368,6 ГДж/га (контроль) до 673,5 ГДж/га, що на 81,9% перевищує контрольний показник.

Таким чином, отримані результати свідчать про високу ефективність застосування мікродобрива Актив-Харвест Макро в технології вирощування міскантусу гігантського як щодо нарощування врожаю біомаси, так і з позицій покращення її енергетичних і якісних показників.

Висновки

Найвищу середню врожайність сухої біомаси – 28,2 т/га – отримано за застосування препарату в нормі 4 л/га у фазі ВВСН 29, що на 66,9% перевищувало показник контрольного варіанта (16,9 т/га).

Під впливом мікродобрива покращувався і якісний склад біомаси: уміст целюлози зростав з 39,2 до 42,3%, геміцелюлози – з 28,4 до 30,5%, зольність знижувалася з 4,1 до 3,6%, а теплотворна здатність підвищувалася з 15,4 до 16,8 МДж/кг.

Енергетичний потенціал біомаси у найефективнішому варіанті досягав 673,5 ГДж/га, що на 81,9% більше порівняно з контролем (368,6 ГДж/га), що підтверджує доцільність застосування препарату для підвищення енерговіддачі насаджень.

Водночас залишаються актуальними питання оптимізації технологій перероблення біомаси, оцінювання впливу кліматичних змін на продуктивність культури та розроблення уніфікованих підходів до визначення енергетичного потенціалу. Подальші дослідження мають бути спрямовані на комплексне вирішення зазначених проблем.

Список використаних джерел

1. 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)
2. Heaton, E. A., Dohleman, F. G., & Long, S. P. (2008). Meeting US biofuel goals with less land: the potential of *Miscanthus*. *Global Change Biology*, 14(9), 2000–2014. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2008.01662.x>
3. Clifton-Brown, J. C., & Lewandowski, I. (2002). Screening *Miscanthus* genotypes in field trials to optimise biomass yield and quality in Southern Germany. *European Journal of Agronomy*, 16(2), 97–110. [https://doi.org/10.1016/S1161-0301\(01\)00120-4](https://doi.org/10.1016/S1161-0301(01)00120-4)
4. Sanderson, M. A., Adler, P. R., Boateng, A. A., Casler, M. D., & Sarath, G. (2006). Switchgrass as a biofuels feedstock in the USA. *Canadian Journal of Plant Science*, 86(5), 1315–1325. <https://doi.org/10.4141/P06-136>
5. Kravchuk, V. I., Kvak, V. M., Tsvihun, H. V., Ivaniuta, M. V., Kononiuk, N. O., Atamaniuk, O. M., & Humentyuk, Yu. O. (2022). Problems of production of *Miscanthus Giganteus* planting material. *Bioenergy*, 1–2, 35–42. <https://doi.org/10.47414/be.1-2.2022.271353> [In Ukrainian]
6. McLaughlin, S. B., & Adams Kszos, L. (2005). Development of switchgrass (*Panicum virgatum*) as a bioenergy feedstock in the United States. *Biomass and Bioenergy*, 28(6), 515–535. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2004.05.006>
7. Somerville, C., Youngs, H., Taylor, C., Davis, S. C., & Long, S. P. (2010). Feedstocks for lignocellulosic biofuels. *Science*, 329(5993), 790–792. <https://doi.org/10.1126/science.1189268>
8. Roik, M. V., & Kravchuk, V. I. (2023). *Miscanthus giganteus*: horizons of innovative research and implementation. *Bioenergy*, 1–2, 4–6. <https://doi.org/10.47414/be.1-2.2023.290613> [In Ukrainian]
9. Marschner, H. (2012). *Marschner's mineral nutrition of higher plants* (3rd ed.). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/C2009-0-63043-9>
10. Cakmak, I. (2008). Enrichment of cereal grains with zinc: Agronomic or genetic biofortification? *Plant and Soil*, 302(1–2), 1–17. <https://doi.org/10.1007/s11104-007-9466-3>
11. Lewandowski, I., & Schmidt, U. (2006). Nitrogen, energy and land use efficiencies of miscanthus, reed canary grass and triticale as determined by the boundary line approach. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 112(4), 335–346. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2005.08.003>
12. Bridgwater, A. V. (2012). Review of fast pyrolysis of biomass and product upgrading. *Biomass and Bioenergy*, 38, 68–94. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.01.048>
13. Demirbas, A. (2005). Potential applications of renewable energy sources, biomass combustion problems in boiler power systems and combustion related environmental issues. *Progress in Energy and Combustion Science*, 31(2), 171–192. <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2005.02.002>
14. Heletukha, H. H., Zhelezna, T. A., Zhovmir, M. M., Matvieiev, Yu. B., & Drozdova, O. I. (2010). Assessment of the energy potential of biomass in Ukraine. Part 1. Agricultural residues and woody biomass]. *Industrial Heat Engineering*, 32(6), 58–65. [in Ukrainian]
15. Kvak, V. M., Hanzhenko, O. M., Kravchuk, V. I., Humentyuk, M. Ia., Fuchylo, Ya. D., Khivrych, O. B., Pravydyva, L. A., Boiko, I. I., Honcharuk, H. S., Atamaniuk, O. M., Kononiuk, N. O., Suslyk, L. O., & Kubriak, R. V. (2024). *Methodical recommendations for determining the calorific value of plant biomass depending on its chemical composition*. Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet of the NAAS of Ukraine. [In Ukrainian]
16. Brosse, N., Dufour, A., Meng, X., Sun, Q., & Ragauskas, A. (2012). *Miscanthus*: A fast-growing crop for biofuels and chemicals production. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 6(5), 580–598. <https://doi.org/10.1002/bbb.1353>
17. Clifton-Brown, J. C., Chiang, Y. C., & Hodgkinson, T. R. (2008). *Miscanthus*: Genetic resources and breeding potential to enhance bioenergy production. In W. Vermerris (Ed.), *Genetic improvement of bioenergy crops* (pp. 295–308). Springer. https://doi.org/10.1007/978-0-387-70805-8_10
18. Tilman, D., Hill, J., & Lehman, C. (2006). Carbon-negative biofuels from low-input high-diversity grassland biomass. *Science*, 314(5805), 1598–1600. <https://doi.org/10.1126/science.1133306>
19. Imperia Ahro. (n.d.). *Active-Harvest micronutrients*. <https://semena-online.com.ua/aktiv-harvest-mikro-mikrodobrovo-imperiya-agro> [In Ukrainian]
20. Hrytsaienko, Z. M., Hrytsaienko, A. O., & Karpenko, V. P. (2003). *Methods of biological and agrochemical research of plants and soils* (Z. M. Hrytsaienko, Ed.). Nichlava. [In Ukrainian]
21. Kovalchuk, V. P., Vasyliiev, V., Boiko, L. V., & Zosymov, V. D. (2010). *Collection of methods for studying nutrients in soil and plants*. Trud-HryPol-XXI vik. [In Ukrainian]
22. Mykhailyk, V. A., Korinchevska, T. V., Korinchuk, D. M., & Dakhnenko, V. L. (2019). Thermal analysis of granular biofuel torified in the atmosphere of its own gaseous environment. *Thermophysics and Heat Power Engineering*, 41(4), 70–77. <https://doi.org/10.31472/ttpe.4.2019.10> [In Ukrainian]
23. Jenkins, B. M., Baxter, L. L., Miles, T. R., & Miles, T. R. (1998). Combustion properties of biomass. *Fuel Processing Technology*, 54(1–3), 17–46. [https://doi.org/10.1016/S0378-3820\(97\)00059-3](https://doi.org/10.1016/S0378-3820(97)00059-3)

24. Ermantraut, E. R., Prysiazniuk, O. I., & Shevchenko, I. L. (2007). *Statistical analysis of agronomic experimental data in Statistica-6 package*. PolihrafKonsaltnh. [In Ukrainian]

Impact of foliar application of fertilisers on the energy potential of *Miscanthus* × *giganteus*

V. M. Kvak*, V. I. Kravchuk, O. M. Hanzhenko, H. S. Honcharuk, O. M. Atamaniuk

Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet, NAAS of Ukraine, 25 Klinichna St., Kyiv, 03110, Ukraine

*Corresponding author: Volodymyr Kvak, kvak-vm@ukr.net

Citation: Kvak, V. M.*, Kravchuk, V. I., Hanzhenko, O. M., Honcharuk, H. S., & Atamaniuk, O. M. (2025). Impact of foliar application of fertilisers on the energy potential of *Miscanthus* × *giganteus*. *Bioenergy*, 2, 37–44. <https://doi.org/10.47414/be.2025.No2.pp37-44>

Aim. To evaluate the effect of rates and timing of foliar application of the complex micronutrient fertiliser Active-Harvest Macro on yield, quality composition and energy potential of *M. × giganteus* biomass under unstable moisture conditions of the Forest Steppe of Ukraine. **Methods.** The study was carried out in 2021–2024 at the Yaltushkiv Experimental Breeding Station of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet NAAS, on grey forest light loam soil. The experimental design was two-factor: factor A – fertiliser rate (0, 2, 4 l/ha), factor B – application stage (BBCH 20, 29). Yield of fresh and dry biomass, dry matter content, ash, cellulose, hemicellulose and lignin content, calorific value and energy potential were evaluated. **Results.** A significant increase in dry biomass yield was achieved with fertiliser application. The maximum average yield of 28.2 t/ha was obtained at an application rate of 4 l/ha at the stage BBCH 29, exceeding the control (16.9 t/ha) by 66.9%. Fresh biomass yield increased to 40.1 t/ha compared with 23.9 t/ha in the control. Fertiliser rate accounted for 44% of total yield variation, weather conditions of the year – 21%, and application phase – 15%. Under the influence of the micronutrient fertiliser, cellulose content increased to 42.3% and hemicellulose to 30.5%, while lignin content decreased to 23.6% and ash content decreased to 3.6%. Calorific value rose from 15.4 to 16.8 MJ/kg, and energy potential rose from 368.6 to 673.5 GJ/ha (+81.9%). **Conclusions.** Foliar application of micronutrient fertiliser Active-Harvest Macro in *M. × giganteus* is an effective element of the crop cultivation technology. The optimal application rate is 4 l/ha at stage BBCH 29, which ensures maximum realisation of the productive and energy potential of plantations and improves the structural-chemical parameters of biomass.

Keywords: *Miscanthus* × *giganteus*; foliar application of fertilisers; micronutrient fertiliser; Active-Harvest Macro; biomass yield; biomass composition; cellulose; lignin; calorific value; energy potential; bioenergy crops; Forest Steppe of Ukraine.

ORCID

Володимир Квак / Volodymyr Kvak
Володимир Кравчук / Volodymyr Kravchuk
Олександр Ганженко / Oleksandr Hanzhenko
Григорій Гончарук / Hryhorii Honcharuk
Олег Атаманюк / Oleh Atamaniuk

<https://orcid.org/0000-0001-8996-0101>
<https://orcid.org/0000-0002-7991-0351>
<https://orcid.org/0000-0002-8118-1645>
<https://orcid.org/0009-0004-5240-854X>
<https://orcid.org/0000-0001-8327-3298>