

УДК 633.9:631.54

Продуктивність насаджень міскантусу гігантського залежно від застосованих елементів технології вирощування в умовах Лісостепу України

С. В. Пенькова*,  О. І. Присяжнюк**

Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України, вул. Клінічна, 25, м. Київ, 03110, Україна, e-mail: svitlana1986r@ukr.net*; ollpris@gmail.com**

Мета. Удосконалити технологію догляду за насадженнями міскантусу гігантського та встановити особливості формування врожайності його біомаси за використання різних видів добрив, починаючи з другого року вегетації культури. **Методи.** Дослідження виконували впродовж 2020–2021 рр. в умовах Білоцерківської дослідно-селекційної станції Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН, що розташована в зоні нестійкого зволоження Правобережного Лісостепу України. Схема досліду передбачала внесення навесні в зону рядка мінеральних добрив [аміачна селітра (N_{24} кг/га д. р.); аміачна селітра + сульфат амонію ($N_{24} + S_6$ кг/га д. р.)] та позакореневе підживлення гуматами (Вермісол, 8,0 л/га, Гуміфілд ВР-18, 0,4 л/га) і комплексним добривом з амінокислотами (Квантум Аміомакс, 0,5 л/га). Мінеральні добрива вносили локально в міжряддя до появи сходів міскантусу, позакореневе підживлення рослин гуматами та антистресантом проводили у фазі 5-ти листків культури та повторно через два тижні. **Результати.** Показники продуктивності рослин міскантусу гігантського різних років вегетації значно різнилися, водночас зберігалися основні закономірності впливу досліджуваних елементів технології догляду за насадженнями на їх формування. За другий рік вегетації (2020) кожна рослина сформувала від 18 до 37, за третій – від 37 до 50 пагонів. Чотирирічні рослини мали по 28–50 стебел. Урожайність сирової біомаси в кінці вегетаційного періоду 2020 р. становила від 14,5 до 43,5 т/га. Порівняно з 2020-м, у 2021 р. врожайність біомаси зросла у 1,5–2 рази – до 31,0–74,6 т/га. Середня по досліді врожайність біомаси на четвертий рік вегетації культури була на 17 % меншою проти показників 2021 р. і змінювалась за варіантами досліду від 25,3 до 67,1 т/га. Урожайність біомаси міскантусу гігантського в перерахунку на суху речовину варіювала від 9,78 до 28,30 т/га у 2020 р., від 17,50 до 37,85 т/га у 2021-му та від 12,11 до 32,46 т/га у 2022 р. Розрахунковий вихід енергії з біомаси культури залежно від впливу чинників досліду становив у 2020 р. 174,8–509,6 ГДж/га, у 2021-му – 315,5–683,2 ГДж/га, а у 2022 р. – 219,0–587,3 ГДж/га. **Висновки.** Мінімальні значення всіх досліджуваних продуктивних показників міскантусу отримано в контрольних варіантах досліду. Унесення навесні аміачної селітри (N_{24}) та аміачної селітри із сульфатом амонію ($N_{24} + S_6$) сприяло істотному зростанню кількості пагонів на одну рослину, а також урожайності біомаси та розрахункового виходу енергії з гектара. Аналогічно істотно зростання всіх показників забезпечувало й позакореневе підживлення гуматами (Гуміфілд ВР-18, 0,4 л/га; Вермісол, 8,0 л/га). Загалом за роки досліджень максимальні показники кількості стебел на рослину, врожайності біомаси та розрахункового виходу з неї енергії отримано у варіантах комбінованого застосування в насадженнях культури мінеральних добрив [аміачна селітра + сульфат амонію ($N_{24} + S_6$)] з дворазовим позакореневим підживленням гуматами (Вермісол, 8,0 л/га або Гуміфілд ВР-18, 0,4 л/га) та комплексним добривом Квантум Аміомакс, 0,5 л/га.

Ключові слова: біопаливо; мінеральні добрива; гумати; амінокислоти; кількість стебел на рослину; урожайність сирової та сухої біомаси; вихід енергії з біомаси.

Вступ

Розвиток біоенергетичної галузі є одним зі стратегічних завдань держави для забезпечення сталого розвитку. Останніми роками спостерігається поступове зростання обсягів використання біомаси в енергетиці, зокрема й біомаси біоенергетичних культур [1].

Пенькова С. В., Присяжнюк О. І. Продуктивність насаджень міскантусу гігантського залежно від застосованих елементів технології вирощування в умовах Лісостепу України. *Новітні агротехнології*. 2023. Т. 11, № 1. <https://doi.org/10.47414/na.11.1.2023.282126>

Miscanthus giganteus – унікальна перспективна культура, що за обмеженого використання ресурсів вологи, поживних речовин та температури здатна формувати велику кількість високоякісної біомаси [2], яку можна використовувати для безпосереднього спалювання, переробляння в паливні брикети та пелети, а в разі додаткового попереднього оброблення – і як сировину для виробництва біоетанолу [3, 4]. У перспективі міскантус може замінити вирощувані зараз енергетичні культур першого покоління, як-от кукурудза та ріпак, оскільки потребує менших обсягів застосування пестицидів та добрив, може продуктивно зростати на маргінальних землях, не потребує щорічного закладання плантації [3]. Ураховуючи перспективність вирощування міскантусу гігантського, необхідно вдосконалювати технологію його вирощування та догляду за наявними насадженнями для підвищення ефективності їх використання.

Є багато досліджень, присвячених вивченню особливостей використання мінеральних добрив під час закладання плантацій міскантусу гігантського та у перші роки вегетації культури [5–8]. Більшість із них містить результати застосування високих доз азоту (60 і більше кг/га д. р.). А от про застосування азоту в нормі до 30 кг/га інформації недостатньо. Наявна наукова інформація й щодо позитивних результатів використання сучасних органічних добрив, рідких комплексних добрив, мікробних препаратів [9–11]. Проте вона не дає повною мірою зрозуміти всі особливості реакцій рослин міскантусу на застосування сучасних препаратів для підживлення. До того ж асортимент гуматів, мікродобрив, регуляторів росту рослин, мікробних препаратів та інших інноваційних добрив постійно збільшується. Застосування для підживлення рослин міскантусу гігантського, зокрема після другого року вегетації, добрив з органічними амінокислотами, гуматів, незначних доз азоту забезпечує вищу продуктивність насаджень, сприяє зменшенню енергетичних затрат на вирощування, зменшує хімічний вплив на навколишнє середовище.

Мета досліджень полягає в удосконаленні технології догляду за насадженнями *Miscanthus giganteus* та встановленні особливостей формування врожайності біомаси за використання різних видів добрив, починаючи з другого року вегетації культури.

Матеріали та методика досліджень

Дослідження виконували впродовж 2020–2022 рр. в умовах Білоцерківської дослідно-селекційної станції Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН, що розташована в зоні нестійкого зволоження Правобережного Лісостепу України (Київська обл.).

Кліматичні умови території дослідної станції характеризуються як помірно-континентальні. Середня багаторічна температура повітря становить 7,5 °С, багаторічний абсолютний максимум температури 34,4 °С, абсолютний мінімум – –24,7 °С. Сумарна багаторічна кількість опадів – 526 мм, більшість з яких випадає у квітні – жовтні.

Температура повітря впродовж років досліджень була вищою за середні багаторічні значення. Відсутність заморозків та утримання позитивних температур до третьої декади листопада 2020 р. продовжили період вегетації міскантусу гігантського до кінця листопада. Низькі температури повітря у квітні та травні 2021 та 2022 рр. затримали початок вегетації порівняно з 2020 р., а нічні заморозки у жовтні сприяли закінченню вегетації міскантусу гігантського на місяць раніше порівняно з 2020 р. За 2020 р. випало 91 % опадів від середнього багаторічного їх значення, при цьому відзначалася нерівномірність розподілу опадів за місяцями. Натомість у 2021 р. кількість опадів перевищила середні багаторічні значення на 6 %. За вегетаційний період 2022 р. випало лише 263,6 мм опадів, що становить 88 % від середнього багаторічного значення і не задовольняє навіть половини від біологічних потреб міскантусу гігантського.

Загалом за три роки досліджень температурний режим був сприятливим для нормального росту й розвитку рослин міскантусу гігантського та при цьому фіксувалася значна недостача необхідної вологи.

Ґрунт дослідних ділянок – чорнозем типовий глибокий малогумусний вилугуваний середньосуглинковий зі вмістом у шарі ґрунту 0–30 см гумусу – 3,5 %, мінерального азоту – 29–37 мг/кг, рухомого фосфору та обмінного калію (за Чиріковим) – 200–220 і 100 мг/кг ґрунту відповідно. Кислотність ґрунту (рН) – 6,55–6,72.

Схему досліду наведено в таблиці 1. Повторність досліду триразова. Площа облікової ділянки становила 25 м², загальна площа досліду – 1350 м². Вирощували сорт міскантусу гігантського ‘Осінній зорецьвіт’, селекції Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН.

Схема дослідю

Внесення добрив у ґрунт навесні	Позакореневе підживлення	
	Добрива на основі гуматів (стимулятори росту)	Добрива з амінокислотами
Без добрив	Не застосовується	Не застосовується Квантум Аміномакс, 0,5 л/га
	Вермісол, 8,0 л/га	Не застосовується Квантум Аміномакс, 0,5 л/га
	Гуміфілд ВР-18, 0,4 л/га	Не застосовується Квантум Аміномакс, 0,5 л/га
Аміачна селітра + сульфат амонію (N ₂₄ + S ₆)	Не застосовується	Не застосовується Квантум Аміномакс, 0,5 л/га
	Вермісол, 8,0 л/га	Не застосовується Квантум Аміномакс, 0,5 л/га
	Гуміфілд ВР-18, 0,4 л/га	Не застосовується Квантум Аміномакс, 0,5 л/га
Аміачна селітра (N ₂₄)	Не застосовується	Не застосовується Квантум Аміномакс, 0,5 л/га
	Вермісол, 8,0 л/га	Не застосовується Квантум Аміномакс, 0,5 л/га
	Гуміфілд ВР-18, 0,4 л/га	Не застосовується Квантум Аміномакс, 0,5 л/га

Аміачну селітру та сульфат амонію вносили локально в міжряддя до появи сходів міскантусу. Позакореневе підживлення рослин гуматами та антистресантом проводили у фазі 5-ти листків культури та повторно через два тижні.

Полеві дослідження проводили згідно з методики польового дослідю [12]. Фактичну врожайність сирі біомаси обліковували суцільно по ділянках. Уміст сухої речовини в біомасі визначали ваговим методом на час збирання врожаю. Вихід енергії з гектара розраховували за формулами [13]. Статистичний аналіз результатів досліджень виконували за допомогою прикладних програм Excel та Statistica-6 [14].

Результати досліджень

Важливим показником під час оцінювання ефективності вирощування міскантусу гігантського є урожайність біомаси. Цей показник прямо залежить від кількості стебел, сформованих кожною рослиною, їхньої маси та кількості накопиченої сухої речовини в біомасі.

Протягом періоду проведення досліджень відзначали інтенсивне збільшення кількості пагонів на одну рослину. Дані про кількість продуктивних пагонів, сформованих кожною рослиною міскантусу гігантського, наведено в таблиці 2. За другий рік вегетації (2020) кожна рослина сформувала в середньому по дослідю 27,5 пагона. Мінімальну кількість пагонів на рослину відзначено на контролі. Застосування для позакореневого підживлення лише препарату Квантум Аміномакс не сприяло істотному зростанню досліджуваного показника. Водночас усі інші елементи технології догляду за насадженнями сприяли інтенсифікації процесу пагоноутворення та зростанню кількості стебел на одну рослину. Максимально рослини сформували по 36,8 стебел, що на 107 % більше проти показника контрольного варіанта.

Велика кількість опадів на початку фази куцнення культури у третій рік вегетації дала змогу сформувати від 37 до 50 пагонів на кожную рослину. Мінімальне значення показника було в контрольному варіанті – 37 шт., максимальне – 50 шт. – у варіанті застосування аміачної селітри з сульфатом амонію (N₂₄ + S₆) з наступним листовим підживленням Гуміфілд ВР-18 (0,4 л/га) і Квантум Аміномакс (0,5 л/га). Достатнє забезпечення рослин вологою у критичний період пагоноутворення зменшило різницю в кількості пагонів на одну рослину між варіантами дослідю. Проте тенденція залишилась – унесення мінеральних добрив та позакореневе підживлення сприяло зростанню кількості пагонів і у 2021 р. На думку американських учених, кількість стебел,

утворених однією рослиною, залежить не тільки від умов вегетаційного періоду та азотного живлення, а значною мірою і від віку насаджень. Зокрема, рослини міскантусу гігантського третього року вегетації формують значно більшу кількість стебел [15]. Як видно з наведених даних, на другий рік вегетації у разі застосування удобрення низькою дозою азоту та сірки з подальшим позакореневим підживленням запропонованими препаратами, кількість пагонів на одну рослину була така ж, як і на третій рік вегетації у варіанті досліду без застосування підживлень. При цьому, погодні умови 2021 р., зокрема кількість опадів у травні та червні, були сприятливішими для збільшення кількості пагонів. У 2022 р., на четвертий рік вегетації, максимальне й мінімальне значення показника кількості стебел, сформованих однією рослиною, отримано в тих же варіантах досліду, що й у попередні роки – 50 і 28 шт. відповідно. На четвертий рік вегетації кількість пагонів на одну рослину була дещо нижчою, що ми пов'язуємо з дефіцитом вологи в період інтенсивного пагоноутворення.

Таблиця 2

Кількість стебел, сформованих однією рослиною міскантусу гігантського за вегетацію, залежно від елементів технології вирощування (2020–2022 рр.)

Удобрення навесні	Позакореневе підживлення		Кількість стебел, шт.		
	гумати	амінокислоти	2020	2021	2022
Без добрив	Не застосовується	Не застосовується	17,8	36,8	27,7
		Квантум Аміномакс, 0,5 л/га	18,5	37,2	34,3
	Вермісол, 8,0 л/га	Не застосовується	20,0	38,0	34,3
		Квантум Аміномакс, 0,5 л/га	20,7	39,3	35,1
	Гуміфілд ВР-18, 0,4 л/га	Не застосовується	25,2	40,5	34,7
		Квантум Аміномакс, 0,5 л/га	26,5	41,9	35,3
Аміачна селітра + сульфат амонію (N ₂₄ + S ₆)	Не застосовується	Не застосовується	27,0	46,7	43,1
		Квантум Аміномакс, 0,5 л/га	29,5	47,2	43,2
	Вермісол, 8,0 л/га	Не застосовується	33,0	47,7	46,6
		Квантум Аміномакс, 0,5 л/га	35,0	49,1	47,2
	Гуміфілд ВР-18, 0,4 л/га	Не застосовується	36,2	49,3	49,7
		Квантум Аміномакс, 0,5 л/га	36,8	50,2	50,4
Аміачна селітра (N ₂₄)	Не застосовується	Не застосовується	26,0	42,3	35,4
		Квантум Аміномакс, 0,5 л/га	27,0	43,4	38,8
	Вермісол, 8,0 л/га	Не застосовується	27,0	44,8	39,2
		Квантум Аміномакс, 0,5 л/га	28,2	46,5	41,7
	Гуміфілд ВР-18, 0,4 л/га	Не застосовується	30,0	46,9	44,2
		Квантум Аміномакс, 0,5 л/га	31,0	47,7	46,5
НР _{0,05}			1,6	2,6	2,5

За збільшення кількості пагонів на одну рослину, зростала й кількість зібраної біомаси. Урожайність сирової біомаси в кінці вегетаційного періоду 2020 р. становила від 14,5 до 43,5 т/га (табл. 3). Визначено, що внесення мінеральних добрив у запропонованих дозах та наступні позакореневі підживлення сприяли підвищенню врожайності біомаси.

У 2021 р. врожайність міскантусу в усіх дослідних варіантах значно переважала значення контрольного варіанта без підживлень, де зібрано 31 т/га сирової біомаси. Максимальний показник був на рівні 74,6 т/га. У 2022 р. на контролі отримано 25,3 т/га сирової біомаси. Застосування всіх досліджуваних варіантів підживлення насаджень міскантусу мало значний позитивний вплив на врожайність біомаси. Позакореневі підживлення мікродобривами та гуматами істотно підвищують урожайність наземної біомаси міскантусу гігантського на фоні внесення мінеральних добрив. Протягом усіх років досліджень максимальну врожайність біомаси отримували в разі застосування аміачної селітри та сульфату амонію з наступними позакореневими обробками препаратами Гуміфілд ВР-18 та Квантум Аміномакс. Порівняно з 2020-м, у 2021 р. врожайність біомаси зросла у 1,5–2 рази. Цього року рослини культури досягли своєї потенційної продуктивності. На четвертий рік вегетації показники збору біомаси повинні бути не нижче, ніж на третій, проте недостатній об'єм опадів завадив отримати максимальний урожай.

Середня по досліду врожайність біомаси на четвертий рік вегетації культури становила 44,3 т/га, що на 17 % менше проти 2021 р. Зниження продуктивності насаджень міскантусу гігантського за підвищення температурного режиму та нестачі вологи відмічав у своїх дослідженнях і В. Д. Осадчук [16].

Таблиця 3

Урожайність біомаси міскантусу гігантського залежно від елементів технології вирощування (2020–2022 рр.)

Удобрення навесні	Позакореневе підживлення		Урожайність біомаси, т/га		
	гумати	амінокислоти	2020	2021	2022
Без добрив	Не застосовується	Не застосовується	14,5	31,0	25,3
		Квантум Аміномакс, 0,5 л/га	15,9	37,5	34,4
	Вермісол, 8,0 л/га	Не застосовується	16,4	37,2	33,9
		Квантум Аміномакс, 0,5 л/га	17,1	40,0	35,2
	Гуміфілд ВР-18, 0,4 л/га	Не застосовується	20,1	42,0	34,0
		Квантум Аміномакс, 0,5 л/га	22,6	47,7	38,9
Аміачна селітра + сульфат амонію (N ₂₄ + S ₆)	Не застосовується	Не застосовується	25,4	58,9	46,3
		Квантум Аміномакс, 0,5 л/га	33,4	62,1	50,2
	Вермісол, 8,0 л/га	Не застосовується	40,1	65,7	58,1
		Квантум Аміномакс, 0,5 л/га	39,6	64,6	56,8
	Гуміфілд ВР-18, 0,4 л/га	Не застосовується	41,4	67,7	54,6
		Квантум Аміномакс, 0,5 л/га	43,5	74,6	67,1
Аміачна селітра (N ₂₄)	Не застосовується	Не застосовується	22,4	48,7	34,3
		Квантум Аміномакс, 0,5 л/га	25,3	50,5	40,6
	Вермісол, 8,0 л/га	Не застосовується	25,2	51,3	37,1
		Квантум Аміномакс, 0,5 л/га	28,7	56,3	44,5
	Гуміфілд ВР-18, 0,4 л/га	Не застосовується	30,7	57,7	49,1
		Квантум Аміномакс, 0,5 л/га	34,1	62,6	56,4
НІР _{0,05}			1,8	4,8	3,4

За роки досліджень урожайність біомаси міскантусу гігантського в перерахунку на суху речовину варіювала від 9,8 до 28,3 т/га у 2020 р., від 17,5 до 37,9 т/га у 2021-му та від 12,1 до 32,5 т/га у 2022 р. (табл. 4). Сумарно ж за три роки отримали до 96 т/га сухої речовини. На контролі – лише 39,0 т/га. Максимальні показники врожайності відзначено у варіантах досліду, де рослини мали найбільшу кількість стебел з найвищою їх масою. Застосування підживлення мінеральними добривами максимально впливало на кількість накопиченої сухої речовини в біомасі, а відповідно й на показник урожайності сухої біомаси. Окрім застосованих елементів технології вирощування культури, на кількість сухої речовини, накопиченої в біомасі, впливала й тривалість вегетаційного періоду. Збільшення тривалості вегетації призводило до збільшення вмісту сухої речовини, а відповідно й урожайності сухої речовини на гектар.

Таблиця 4

Урожайність сухої речовини біомаси міскантусу гігантського залежно від елементів технології вирощування (2020–2022 рр.)

Удобрення навесні	Позакореневе підживлення		Урожайність сухої біомаси, т/га			Сумарно за три роки, т/га
	гумати	амінокислоти	2020	2021	2022	
Без добрив	Не застосовується	Не застосовується	9,78	17,50	12,11	39,38
		Квантум Аміномакс, 0,5 л/га	10,00	18,15	14,45	42,60
	Вермісол, 8,0 л/га	Не застосовується	9,79	18,53	15,60	43,93
		Квантум Аміномакс, 0,5 л/га	11,68	19,84	17,19	48,71
	Гуміфілд ВР-18, 0,4 л/га	Не застосовується	12,57	22,86	16,35	51,79
		Квантум Аміномакс, 0,5 л/га	13,53	25,26	15,61	54,39
Аміачна селітра + сульфат амонію (N ₂₄ + S ₆)	Не застосовується	Не застосовується	15,72	27,17	18,67	61,56
		Квантум Аміномакс, 0,5 л/га	22,05	32,45	24,19	78,70
	Вермісол, 8,0 л/га	Не застосовується	23,39	29,89	24,77	78,05
		Квантум Аміномакс, 0,5 л/га	27,54	30,90	25,00	83,44
	Гуміфілд ВР-18, 0,4 л/га	Не застосовується	28,30	37,85	26,42	92,57
		Квантум Аміномакс, 0,5 л/га	26,24	37,24	32,46	95,95
Аміачна селітра (N ₂₄)	Не застосовується	Не застосовується	13,03	24,93	15,93	53,88
		Квантум Аміномакс, 0,5 л/га	14,92	28,12	18,76	61,80
	Вермісол, 8,0 л/га	Не застосовується	14,56	21,75	16,93	53,25
		Квантум Аміномакс, 0,5 л/га	17,23	25,73	21,81	64,77
	Гуміфілд ВР-18, 0,4 л/га	Не застосовується	18,02	27,71	22,35	68,08
		Квантум Аміномакс, 0,5 л/га	20,53	31,35	25,54	77,41
НІР _{0,05}			1,17	2,39	1,59	3,17

Розрахунковий вихід енергії з гектара (табл. 5) характеризує кількість енергії, накопиченої в урожаї біомаси міскантусу гігантського.

Таблиця 5

Розрахунковий вихід енергії, накопиченої насадженнями міскантусу гігантського залежно від елементів технології вирощування (2020–2022 рр.)

Удобрення навесні	Позакореневе підживлення		Вихід енергії, ГДж/га		
	гумати	амінокислоти	2020	2021	2022
Без добрив	Не застосовується	Не застосовується	174,8	315,5	219,0
		Квантум Аміномакс, 0,5 л/га	179,3	328,0	261,4
	Вермісол, 8,0 л/га	Не застосовується	176,2	334,5	281,6
		Квантум Аміномакс, 0,5 л/га	209,1	358,6	311,0
	Гуміфілд ВР-18, 0,4 л/га	Не застосовується	225,4	412,6	295,2
		Квантум Аміномакс, 0,5 л/га	241,9	454,9	282,7
Аміачна селітра + сульфат амонію (N ₂₄ + S ₆)	Не застосовується	Не застосовується	280,8	489,3	338,2
		Квантум Аміномакс, 0,5 л/га	394,4	585,8	437,2
	Вермісол, 8,0 л/га	Не застосовується	419,8	540,8	447,6
		Квантум Аміномакс, 0,5 л/га	493,2	557,2	451,7
	Гуміфілд ВР-18, 0,4 л/га	Не застосовується	509,6	683,2	477,5
		Квантум Аміномакс, 0,5 л/га	469,4	674,6	587,3
Аміачна селітра (N ₂₄)	Не застосовується	Не застосовується	233,3	450,0	288,1
		Квантум Аміномакс, 0,5 л/га	266,4	507,0	339,7
	Вермісол, 8,0 л/га	Не застосовується	260,2	393,5	306,4
		Квантум Аміномакс, 0,5 л/га	310,0	464,0	393,6
	Гуміфілд ВР-18, 0,4 л/га	Не застосовується	323,4	500,2	404,3
		Квантум Аміномакс, 0,5 л/га	366,8	567,7	461,5
HP _{0,05}			21,0	43,3	28,7

Як впливає з наведених даних, за другий рік вегетації рослинами міскантусу залежно від впливу чинників досліду накопичено від 174,8 до 509,6 ГДж/га енергії. Мінімальну кількість енергії накопичили рослини на контролі. Такий же рівень накопиченої енергії зберігався і у варіантах позакореневого підживлення Квантум Аміномакс (0,5 л/га) та позакореневого підживлення Вермісол (8 л/га). Застосування всіх інших варіантів підживлення рослин сприяло значно вищому накопиченню енергії на гектар площі. Максимальні значення цього показника отримано у варіантах застосування аміачної селітри із сульфатом амонію з наступним листовим підживленням гуматами та комплексним добривом з амінокислотами Квантум Аміномакс. У цих варіантах вихід енергії був у межах 420–510 ГДж/га. На третій рік вегетації міскантусу гігантського накопичено 315,5–683,2 ГДж/га енергії. Співвідношення накопиченої енергії за варіантами було таке як і у 2020 р. За ці два роки частка впливу чинника весняного внесення добрив становила 73 і 65 % , а позакореневого підживлення гуматами – 15 і 20 % відповідно. Четвертий рік вегетації культури був не надто сприятливим для отримання максимальної продуктивності рослин. Водночас чотирирічні насадження міскантусу гігантського забезпечували від 219 до 587 ГДж/га накопиченої енергії. При цьому всі варіанти досліду мали істотно вищі порівняно з контролем значення показника виходу енергії з гектара. Порівняно з минулими роками дещо зменшилась частка впливу чинника застосування мінеральних добрив (59 %) та зросла внесення амінокислот. Частка впливу чинника позакореневого підживлення гуматами сягала 20 %.

Висновки

Показники продуктивності рослин міскантусу гігантського різних років вегетації значно різняться. Водночас зберігається закономірність впливу досліджуваних елементів технології догляду за насадженнями на формування цих показників. Протягом років досліджень відзначено максимальний позитивний вплив застосування аміачної селітри та сульфату амонію на процес наростання нових пагонів. За період досліджень рослини міскантусу мали 18–50 пагонів на рослину з мінімальними показниками у контрольному варіанті без застосування підживлень. Урожайність сирової біомаси у 2020 р. становила від 14,5 до 43,5 т/га, у 2021-му – від 31 до 74,6 т/га, а у 2022 р. – від 25,3 до 67,1 т/га. Установлено, що як весняне удобрення, так і позакореневе підживлення сприяли істотному збільшенню врожайності. За перерахунку врожайності сирової біомаси в урожайність сухої речовини підтверджувалась позитивна дія відзначених елементів технології вирощування. Сумарно за три роки досліджень насадженнями міскантусу гігантського

накопичено від 709,3 до 1731,3 ГДж/га енергії. Найбільшим вихід енергії був у варіанті комплексного застосування весняного удобрення аміачною селітрою із сульфатом амонію ($N_{24} + S_6$) з наступним позакореневим підживленням гуматами (Гуміфілд ВР-18, 0,4 л/га або Вермісол, 8,0 л/га) і добривом з амінокислотами (Квантум Аміномакс, 0,5 л/га). Загалом ці показники свідчать про високу енергетичну ефективність вирощування біомаси міскантусу гігантського.

Для ефективного вирощування міскантусу гігантського й отримання стабільно високого врожаю біомаси в умовах Правобережного Лісостепу України доцільно застосовувати таку схему підживлення насаджень: аміачна селітра + сульфат амонію ($N_{24} + S_6$) + Вермісол (8,0 л/га) або Гуміфілд ВР-18 (0,4 л/га) + Квантум Аміномакс (0,5 л/га). Вирощування культури за таких умов дає змогу отримали додатково 112–144 % накопиченої енергії на гектар.

Використана література

1. Виробництво енергії з біомаси в Україні: технології, розвиток, перспективи / за ред. Г. Гелетухи. Київ : Академперіодика, 2022. 373 с.
2. Farrar K., Heaton E. A., Trindade L. M. Optimizing *Miscanthus* for the Sustainable Bioeconomy: From Genes to Products. *Frontiers in Plant Science*. 2018. Vol. 9. Article 878. doi: 10.3389/fpls.2018.00878
3. Lewandowski I., Clifton-Brown J., Trindade L. M. et al. Progress on Optimizing *Miscanthus* Biomass Production for the European Bioeconomy: Results of the EU FP7 Project OPTIMISC. *Frontiers in Plant Science*. 2016. Vol. 7. Article 1620. doi: 10.3389/fpls.2016.01620
4. Bhatia R., Lad J. B., Bosch M. et al. Production of oligosaccharides and biofuels from *Miscanthus* using combinatorial steam explosion and ionic liquid pretreatment. *Bioresource Technology*. 2021. Vol. 323. Article 124625. doi: 10.1016/j.biortech.2020.124625
5. Lee M.-S., Wycislo A., Guo J. et al. Nitrogen Fertilization Effects on Biomass Production and Yield Components of *Miscanthus × giganteus*. *Frontiers in Plant Science*. 2017. Vol. 8. Article 544. doi: 10.3389/fpls.2017.00544
6. Федорук Ю. В., Хахула В. С., Герасименко Л. А. Ріст і розвиток рослин міскантусу гігантського залежно від фону живлення у Правобережному Лісостепу України. *Біоресурси і природокористування*. 2018. Т. 10, № 1–2. С. 101–107. doi: 10.31548/bio2018.01.013
7. Квак В. М. Ріст, розвиток і продуктивність міскантусу (*Miscanthus*) за різних норм добрив. *Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків*. 2012. Вип. 14. С. 548–551.
8. Курило В. Л., Гументик М. Я., Квак В. М., Дубовий Ю. П. Удосконалення елементів технології вирощування міскантусу в умовах Центрального Лісостепу України для виробництва твердого біопалива. *Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків*. 2016. Вип. 24. С. 77–85. doi: 10.47414/np.24.2016.216897
9. Кателевський В. М. Ефективність впливу позакореневої обробки ростовими регуляторами рослин на параметри біомаси міскантусу. *Agrology*. 2020. Т. 3, № 1. С. 19–24. doi: 10.32819/020003
10. Присяжнюк О. І., Гончарук О. М. Особливості формування продуктивності та якості біомаси міскантусу гігантського під впливом елементів агротехніки. *Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків*. 2022. Вип. 30. С. 53–60. doi: 10.47414/np.30.2022.268944
11. Медков А. І., Стефановська Т. Р., Бородай В. В. Оптимізація процесу культивування мікроміцетів – основи регуляторів росту та біотестування їх рістстимулювальної активності щодо міскантусу гігантського. *Agrology*. 2021. Т. 4, № 1. С. 40–46. doi: 10.32819/021005
12. Дослідна справа в агрономії : у 2 кн. Кн. 1 : Теоретичні аспекти дослідної справи / за ред. А. О. Рожкова. Харків : Майдан, 2016. 316 с.
13. Міскантус в Україні / М. В. Роїк, В. М. Сінченко, О. О. Іващенко та ін. Київ : ФОРМ Ямчинський О. В., 2019. 256 с.
14. Ермантраут Е. Р., Присяжнюк О. І., Шевченко І. Л. Статистичний аналіз агрономічних дослідних даних в пакеті Statistica 6.0. Київ : Поліграф Консалтинг, 2007. 56 с.
15. Tejera M. D., Miguez F. E., Heaton E. A. The older plant gets the sun: Age-related changes in *Miscanthus × giganteus* phenology. *GCB Bioenergy*. 2021. Vol. 13, Iss. 1. P. 4–20. doi: 10.1111/gcbb.12745
16. Осадчук В. Д., Семенчук В. Г., Гунчак Т. І., Сандуляк Т. М. Продуктивність міскантусу залежно від площі живлення в умовах Лісостепу західного. *Захист і карантин рослин*. 2018. Вип. 64. С. 128–133.

References

1. Geletukha, G. (Ed.). (2022). *Production of energy from biomass in Ukraine: technologies, development, prospects*. Kyiv: Akadempriodika. [In Ukrainian]
2. Farrar, K., Heaton, E. A., & Trindade, L. M. (2018). Editorial: Optimizing *Miscanthus* for the Sustainable Bioeconomy: From Genes to Products. *Frontiers in Plant Science*, 9, Article 878. doi: 10.3389/fpls.2018.00878

3. Lewandowski, I., Clifton-Brown, J., Trindade, L. M., van der Linden, G. C., Schwarz, K.-U., Müller-Sämann, K., ... Kalinina, O. (2016). Progress on Optimizing *Miscanthus* Biomass Production for the European Bioeconomy: Results of the EU FP7 Project OPTIMISC. *Frontiers in Plant Science*, 7, Article 1620. doi: 10.3389/fpls.2016.01620
4. Bhatia, R., Lad, J. B., Bosch, M., Bryant, D. N., Leak, D., Hallett, J. P., Franco, T. T., & Gallagher, J. A. (2021). Production of oligosaccharides and biofuels from *Miscanthus* using combinatorial steam explosion and ionic liquid pretreatment. *Bioresource Technology*, 323, Article 124625. doi: 10.1016/j.biortech.2020.124625
5. Lee, M.-S., Wycislo, A., Guo, J., Lee, D. K., & Voigt, T. (2017). Nitrogen Fertilization Effects on Biomass Production and Yield Components of *Miscanthus × giganteus*. *Frontiers in Plant Science*, 8, Article 544. doi: 10.3389/fpls.2017.00544
6. Fedoruk, Y., Khakhula, V., Herasymenko, L., & Browne, R. (2018). Growth and development of *Miscanthus giganteus* plants depending on the nutrition background the Right-bank Forest-Steppe of Ukraine. *Biological Resources and Nature Management*, 10(1–2), 101–107. doi: 10.31548/bio2018.01.013 [In Ukrainian]
7. Kvak, V. M. (2012). Growth, development and productivity of miscanthus (*Miscanthus*) under different rates of fertilizers. *Scientific Papers of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet*, 14, 548–551. [In Ukrainian]
8. Kurylo, V. L., Humentyk, M. Y., Kvak, V. M., & Dubovyi, Y. P. (2016). Improvement of technology elements for growing miscanthus under the conditions of the Central Forest-Steppe of Ukraine for the production of solid biofuel. *Scientific Papers of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet*, 24, 77–85. doi: 10.47414/np.24.2016.216897 [In Ukrainian]
9. Katelevsky, V. M. (2020). Efficiency of influence of foliar treatment byplant growth regulators on the parameters of miscanthus biomass. *Agrology*, 3(1), 19–24. doi: 10.32819/020003 [In Ukrainian]
10. Prysiazniuk, O. I., & Honcharuk, O. M. (2022). Peculiarities of the biomass yield and quality formation in giant miscanthus under the effect of agricultural technology components. *Scientific Papers of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet*, 30, 53–60. doi: 10.47414/np.30.2022.268944
11. Medkov, A., Stefanovska, T., & Borodai, V. (2021). Optimization of the Micromycete Cultivation Process – Basics of Growth Regulators and Biotesting Their Growth-stimulating Activity Concerning to *Miscanthus giganteus*. *Agrology*, 4(1), 40–46. doi: 10.32819/021005
12. Rozhkov, A. O. (Ed). (2016). *Research case in agronomy. Book 1: Theoretical aspects of the research case*. Kharkiv: Maidan. [In Ukrainian]
13. Roik, M. V., Sinchenko, V. M., Ivashchenko, O. O., Pyrkin, V. I., Kvak, V. M., Humentyk, M. Ya., ... Katelevskiy, V. M. (2019). *Miscanthus in Ukraine*. Kyiv: Komprint. [In Ukrainian]
14. Ermantraut, E. R., Prysiazniuk, O. I., & Shevchenko, I. L. (2007). *Statistical analysis of agronomic experimental data in the Statistica 6.0 package*. Kyiv: PolihrafKonsal'tynh. [In Ukrainian]
15. Tejera, M. D., Miguez, F. E., & Heaton, E. A. (2020). The older plant gets the sun: Age-related changes in *Miscanthus × giganteus* phenology. *GCB Bioenergy*, 13(1), 4–20. doi: 10.1111/gcbb.12745
16. Osadchuk, V. D., Semenchuk, V. H., Hunchak, T. I., & Sanduliak, T. M. (2018). *Miscanthus* productivity depending on the feeding area in the conditions of the Western Forest Steppe. *Plants Protection and Quarantine*, 64, 128–133. [In Ukrainian]

UDC 633.9:631.54

Penkova, S. V.*, & **Prysiazniuk, O. I.**** (2023). Productivity of giant miscanthus plantations depending on the applied elements of cultivation technology in the conditions of the Forest Steppe of Ukraine. *Advanced Agritechnologies*, 11(1). <https://doi.org/10.47414/na.11.1.2023.282126> [In Ukrainian]

Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet, NAAS of Ukraine, 25 Klinichna St., Kyiv, 03110, Ukraine, e-mail: svitlana1986r@ukr.net; ollpris@gmail.com***

Purpose. To improve the technology of caring for giant miscanthus plantations, starting from the second year of the crop vegetation, and to establish the peculiarities of the formation of biomass yield with the use of different types of fertilizers. **Methods.** The research was carried out in the years 2020–2021 in the conditions of the Bila Tserkva Experimental and Breeding Station of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet of the National Academy of Agrarian Sciences located in the zone of unstable moisture of the Right Bank Forest Steppe of Ukraine. The design of the experiment involved the application of mineral fertilisers (ammonium nitrate N₂₄ kg/ha a. i., ammonium nitrate + ammonium sulfate N₂₄ + S₆ kg/ha a. i.) in row in the spring, foliar application of humates (Vermisol, 8.0 l/ha, Humifield VR-18, 0.4 l/ha), and complex fertiliser with amino acids (Quantum Aminomax, 0.5 l/ha). Mineral fertilizers were applied locally in row before the emergence of miscanthus seedlings. Split foliar application of humates and amino acids was carried out in the five-leaf stage and two weeks later. **Results.** Productivity of miscanthus plants differed significantly over growing seasons, while the main regularities of the influence of the investigated elements of plantation care technology on the productivity formation were maintained. In the second year of vegetation (2020), each plant formed from 18 to 37 shoots and in the third year from 37 to 50 shoots. Four-year-old plants had 28–50 shoots each. The yield of raw biomass at the end of the growing season in 2020 varied

from 14.5 to 43.5 t/ha. Compared to 2020, in 2021 the biomass yield increased 1.5–2 times – up to 31.0–74.6 t/ha. According to the experiment, the average yield of biomass for the fourth year of the growing was 17% lower compared to the respective indicators of 2021 and varied according to the experiment treatments from 25.3 to 67.1 t/ha. The yield of dry matter varied from 9.78 to 28.30 t/ha in 2020, from 17.50 to 37.85 t/ha in 2021, and from 12.11 to 32.46 t/ha in 2022. The estimated energy output from miscanthus biomass, depending on the influence of the experimental factors, was 174.8–509.6 GJ/ha in 2020, 315.5–683.2 GJ/ha in 2021, and in 2022 – 219.0–587.3 GJ/ha. **Conclusions.** The minimum values of all studied productivity indicators of miscanthus were obtained in the control treatment of the experiment. Application of ammonium nitrate (N₂₄) and ammonium nitrate with ammonium sulfate (N₂₄ + S₆) in spring contributed to a significant increase in the number of shoots per plant, as well as biomass yield and estimated energy yield per hectare. Similarly, significant increase in all indicators of productivity was ensured by foliar application of humates (Humifield BP-18, 0.4 l/ha and Vermisol, 8.0 l/ha). In general, over the years of research, the maximum indicators of the number of shoots per plant, the yield of biomass and the estimated energy output from biomass were obtained under the combined application of mineral fertilisers [ammonium nitrate + ammonium sulfate (N₂₄ + S₆)] with two-time foliar application of humates (Vermisol, 8.0 l/ha or Humifield VR-18, 0.4 l/ha) and complex fertiliser Quantum Aminomax, 0.5 l/ha.

Keywords: *biofuel; mineral fertilisers; humates; amino acids; the number of shoots per plant; yield of raw and dry biomass; energy output from biomass.*

Надійшла / Received 18.04.2023
Погоджено до друку / Accepted 04.05.2023