

БІОЕНЕРГЕТИКА

УДК 633.282: 620.952

Удосконалення елементів технології вирощування міскантусу в умовах Центрального Лісостепу України для виробництва твердого біопалива

Курило В. Л.¹, Гументик М. Я.², Квак В. М.^{2*}, Дубовий Ю. П.³

¹Національна академія аграрних наук України, вул. Суворова, 9, м. Київ, 01010, Україна

²Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України, вул. Клінічна, 25, м. Київ, 03141, Україна, *e-mail: kvak-vm@mail.ru

³Білоцерківська дослідно-селекційна станція ІБКіЦБ НААН, вул. Радянська, 1, с. Мала Вільшанка, Білоцерківський р-н, Київська обл., 09176, Україна

Мета. Вдосконалити елементи технології вирощування міскантусу гігантського в умовах Центрального Лісостепу України для виробництва твердого біопалива шляхом визначення особливостей росту й розвитку рослин, розроблення технологічних процесів та обґрунтування особливостей застосування мінеральних добрив. **Методи.** Польовий, аналітичний та статистичний. **Результати.** Досліджено особливості формування продуктивності міскантусу гігантського залежно від маси ризомів, густоти їх садіння та дози мінеральних добрив в умовах Центрального Лісостепу України. Встановлено, що кількість пагонів збільшувалась із збільшенням норми добрив від 14,0 до 20,8 шт. на одну рослину. У досліді спостерігали таку тенденцію: за збільшення дози добрив від $N_0P_0K_0$ до $N_{60}P_{25}K_{30}$ урожайність сухої біомаси зростала в середньому від 1,3 до 2,8 т/га. Збільшення маси ризомів від 20 до 90 г сприяло збільшенню врожайності сухої біомаси від 1,7 до 2,9 т/га. Зі збільшенням густоти садіння ризомів урожайність сухої біомаси також збільшувалась. Виявлені тенденції зберігаються і в другому та третьому роках вегетації. **Висновки.** Зміни клімату (посушливі умови) негативно впливають на процеси росту й розвитку рослин, що призводить до зниження продуктивності рослин міскантусу. Для зони нестійкого зволоження Центрального Лісостепу України максимальний вихід енергії (147,8 ГДж/га) з 1 га насаджень міскантусу досягається за садіння ризомів масою 61...90 г з густотою стояння рослин 20 тис. шт./га на фоні добрив $N_{120}P_{50}K_{60}$.

Ключові слова: біоенергетика, біопаливо, біомаса, міскантус, густина стояння рослин, елементи технології, мінеральні добрива, маса ризомів.

Постановка проблеми

У світі дедалі більше уваги приділяється пошуку шляхів використання поновлюваної енергії, накопиченої рослинами завдяки фотосинтезу. Підтвердженням цього є ухвалення 12 грудня 2015 р. у Парижі нової Кліматичної Угоди, яка з 2020 року замінить чинний Кіотський протокол. Угода передбачає уповільнення темпів зростання середньорічної температури, шляхом приведення у другій половині ХХІ ст. викидів парникових газів до рівня, який природа здатна переробляти. З цією метою передбачається щорічно залучати 100 млрд доларів для заміни традиційних джерел енергії відновлювальними, серед яких значне місце посідає біоенергетика на основі енергетичних культур.

Сьогодні у світі вирощується значна кількість біомаси та широкий спектр високопродуктивних енергетичних культур, сировина яких використовується для виробництва біопалива. Але поряд з тим не всі культури є придатними та рентабельними в усіх ґрунтово-кліматичних зонах вирощування. Високоякісною сировиною для виробництва

твердих видів біопалива є біомаса міскантусу, що характеризується високим вмістом целюлози та лігніну. Однак, на сьогодні відсутня адаптована до ґрунтово-кліматичних умов України технологія вирощування цієї цінної технічної культури [1, 2].

Тому, вдосконалення елементів технології вирощування міскантусу на основі результатів досліджень агрофізичних властивостей рослин є важливим завданням у науковому та практичному плані.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Процес формування високої врожайності біомаси міскантусу передбачає повне забезпечення фізіологічних потреб факторами зовнішнього середовища за рахунок оптимізації елементів технології його вирощування. А саме залежить від ґрунтово-кліматичних умов, густоти садіння, якості садивного матеріалу, агротехнічних прийомів вирощування тощо. Тому важливим є визначення оптимальних параметрів кожного із цих факторів та їх взаємодії.

Аналіз літературних джерел свідчить, що у період вегетації потреба рослин міскантусу в мінеральних добривах є низькою. Середня рекомендована доза поживних речовин на рік, що застосовується на практиці, складає: азоту 50 кг/га, фосфору – 5 кг/га та калію 30 кг/га. Завдяки відтоку поживних речовин (з осені до весни) із надземної частини у підземну та мульчі із опалих листків відбувається щорічно рециркуляція елементів живлення. Крім того, вони накопичуються у ризомах і використовуються повторно у новому вегетаційному періоді. Коренева система цієї культури проникає досить глибоко і може використовувати поживні речовини з глибших шарів ґрунту [3–5].

Мета досліджень – вдосконалення елементів технології вирощування міскантусу гігантського в умовах Центрального Лісостепу України для виробництва твердого біопалива шляхом визначення особливостей росту та розвитку рослин, розроблення технологічних процесів, а також обґрунтування особливостей застосування мінеральних добрив.

Для досягнення зазначеної мети передбачалось вирішити наступні завдання:

1. Встановити вплив густоти стояння рослин на ріст і розвиток міскантусу для виробництва біопалива.
2. Вивчити особливості росту та розвитку міскантусу для виробництва біопалива залежно від маси ризомів та дози мінеральних добрив.

Матеріали та методика досліджень

Дослідження проводились на полях Білоцерківської дослідно-селекційної станції Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН (зона нестійкого зволоження) за загальноприйнятими науковими та спеціальними агрономічними методами досліджень, з широким використанням електронної обчислювальної техніки для опрацювання результатів дослідження [6, 7]. Схема дослідів: *Фактор А* – густота садіння (тис. шт./га) за різних схем садіння (см): 20,0 (70×70); 15,0 (70×95); 10,0 (70×142). *Фактор В* – маса ризомів (г): 20...30; 31...60; 61...90. *Фактор С* – доза мінеральних добрив: без добрив (контроль); N₆₀P₂₅K₃₀; N₁₂₀P₅₀K₆₀.

Площа посівної ділянки 75 м², облікової – 50 м². Загальна площа дослідів – 0,6 га. Дослід закладався за методом систематичних повторювань: у кожному повторенні варіанти дослідів розміщувалися по ділянках послідовно. Повторюваність дослідів – триразова. Садіння проводили на глибину 6...10 см з шириною міжрядь 70 см. Дослід закладали щорічно навесні впродовж 2013–2015 рр.

Дослідне поле Білоцерківської ДСС розміщене на чорноземах типових крупнопилюватого середньо-суглинкового механічного складу, з глибиною гумусового шару від 100 до 120 см зі вмістом гумусу в орному шарі (0–30 см) – 3,9 %, що характерно для мало гумусних чорноземів. Реакція ґрунтового розчину – близька до нейтральної (рН сольової витяжки становить 6,5). Ємність поглинання коливається від 24,8 до 25,4 мг-екв 100 г сухого ґрунту, насиченість поглинаючого комплексу – 82–97 %; лужногідролізованого азоту в

орному шарі ґрунту – 13,4 мг (за Тюрінім); рухомих форм фосфору – 16 мг (P_2O_5 за Кірсановим); обмінного калію – 9,6 мг на 100 г ґрунту (K_2O за Чіріковим). Протягом вегетаційного періоду проводили біометричні заміри рослин [8–10].

Опади протягом року випадали нерівномірно, найбільша їх частина припадає на теплий період, особливо на середину літа (липень) у вигляді дощів. У окремі роки весною спостерігався період без дощів, що негативно впливало на ріст і розвиток біоенергетичних культур. Сума ефективних температур складала 2500–2800 °С. Кількість опадів за рік – 538 мм. За даними Білоцерківської метеорологічної станції середня багаторічна температура повітря становить +6,9 °С. Відхилення від середніх багаторічних значень температури повітря та кількості опадів на Білоцерківській ДСС за 2013–2015 рр. подано на *рисунку*.

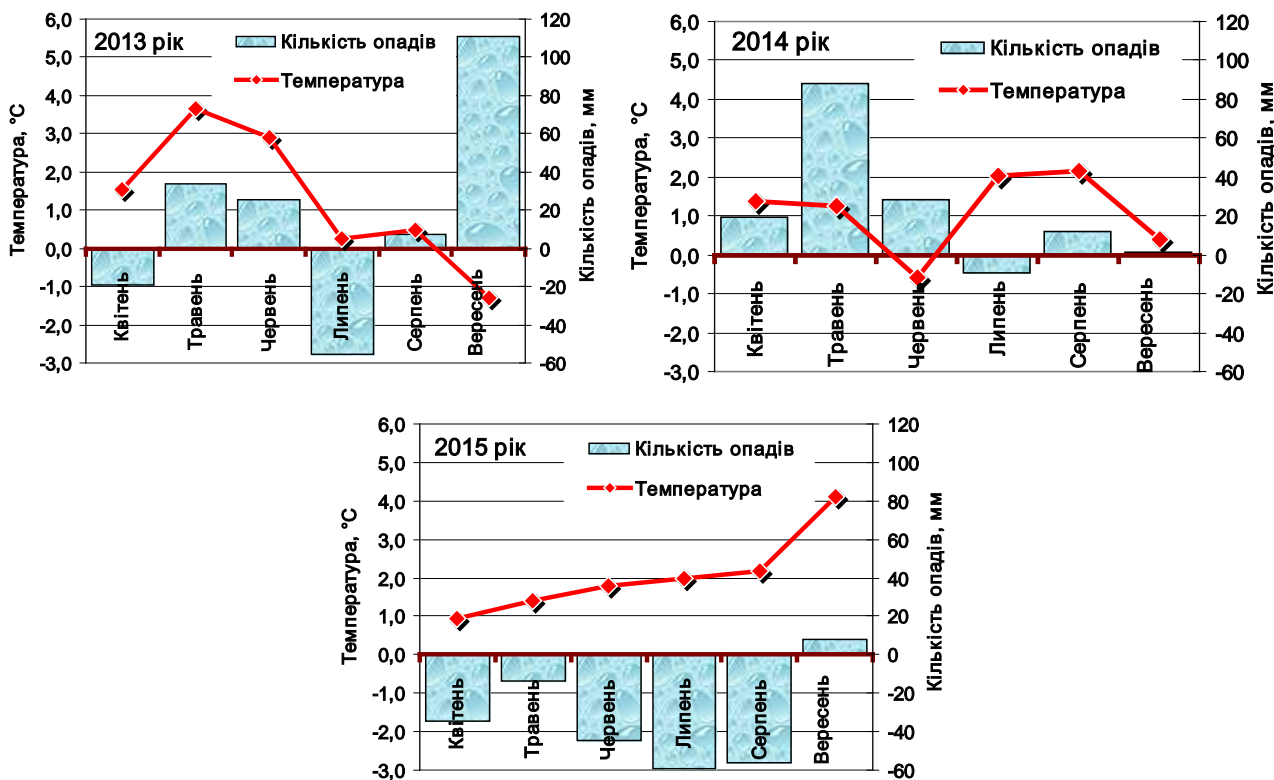


Рис. Відхилення від середніх багаторічних значень температури повітря та кількості опадів на Білоцерківській ДСС (2013–2015 рр.)

Результати досліджень

Для розробки сучасних технологій вирощування рослин виникає необхідність вивчення закономірностей їх росту, розвитку і формування врожаю та його якості залежно від комплексної дії агротехнічних заходів, таких як маса ризомів, норми мінеральних.

За результатами дослідження встановлено, що польова схожість ризомів міскантусу залежить від їх маси. Так, за маси ризомів 20...30 г середня польова схожість міскантусу становила 90,2 %, а за маси 61...90 г – збільшилась до 92,7 % (табл. 1). Це пояснюється тим, що під час садіння ризомів міскантусу із малою масою у них запас поживних речовин та кількість бруньок є меншими, ніж у ризомів з великою масою. У процесі проходження рослинами фаз органогенезу змінюються морфологічні ознаки. Однією із найважливіших таких ознак є висота рослини. Адже за нею можна оцінювати реакцію рослин на зміну умов їх вирощування, які в свою чергу складаються під впливом агротехнічних заходів і погодних факторів.

За результатами дослідження (табл. 1) встановлено, що висота головного пагона збільшується із підвищенням норми добрив у середньому від 100 до 117 см та маси ризомів – від 105 до 115 см (у тексті показано усереднені дані за фактором, який аналізується).

Таблиця 1

Висота рослин міскантусу в перший рік вегетації, залежно від фону живлення, маси ризомів за густоти садіння 15 тис. рослин/га, см

Фон живлення	Маса ризомів, г	2013 р.	2014 р.	2015 р.	Середнє
Без добрив	20...30	86	110	89	95
	31...60	100	112	93	102
	61...90	103	113	95	104
N ₆₀ P ₂₅ K ₃₀	20...30	91	128	109	109
	31...60	107	130	111	116
	61...90	110	133	114	119
N ₁₂₀ P ₅₀ K ₆₀	20...30	91	130	109	110
	31...60	112	133	112	119
	61...90	115	134	115	121
НІР _{0,05}		8,5	10,4	8,5	9,3

Встановлено, що кількість пагонів (табл. 2) зростала зі збільшенням норми добрив від 14,0 до 20,8 шт. на одну рослину.

Таблиця 2

Кількість пагонів у рослин міскантусу в перший рік вегетації залежно від фону живлення, маси ризомів і густоти рослин, шт.

Фон живлення	Маса ризомів, г	Густота рослин, тис./га	2013 р.	2014 р.	2015 р.	Середнє
Без добрив	20...30	10	13,0	15,0	12,0	13,3
		15	10,0	13,0	11,0	11,3
		20	6,0	10,0	7,0	7,7
	31...60	10	17,0	19,0	16,0	17,3
		15	12,0	17,0	13,0	14,0
		20	9,0	14,0	10,0	11,0
	61...90	10	19,0	22,0	18,0	19,7
		15	15,0	20,0	16,0	17,0
		20	10,0	19,0	14,0	14,3
N ₆₀ P ₂₅ K ₃₀	20...30	10	16,0	17,0	14,0	15,7
		15	12,0	16,0	13,0	13,7
		20	8,0	12,0	10,0	10,0
	31...60	10	19,0	23,0	20,0	20,7
		15	16,0	21,0	18,0	18,3
		20	11,0	17,0	13,0	13,7
	61...90	10	22,0	27,0	24,0	24,3
		15	20,0	25,0	21,0	22,0
		20	12,0	20,0	17,0	16,3
N ₁₂₀ P ₅₀ K ₆₀	20...30	10	18,0	20,0	16,0	18,0
		15	16,0	19,0	15,0	16,7
		20	14,0	18,0	13,0	15,0
	31...60	10	19,0	25,0	21,0	21,7
		15	17,0	23,0	20,0	20,0
		20	16,0	22,0	18,0	18,7
	61...90	10	24,0	30,0	28,0	27,3
		15	22,0	27,0	26,0	25,0
		20	22,0	27,0	25,0	24,7
НІР _{0,05}			1,7	2,2	1,8	1,9

Збільшення кількості пагонів відбувалося у липні–серпні, коли рослини міскантусу знаходились у фазі кушіння, а з настанням фази викидання волоті – припинялось. Слід відмітити, що кількість пагонів знаходиться у прямій залежності від маси ризомів. Наприклад, за маси ризомів 20...30 г найбільша кількість пагонів у кущі становила 13,5 шт., а за маси ризомів 61...90 г – 18,4 шт.

Зі збільшенням густоти стояння рослин кількість пагонів на одній рослині зменшувалась. Так, за густоти стояння рослин 10 тис. шт./га в середньому було 19,8 шт. пагонів, а за густоти 20 тис. шт./га – 14,6 шт. пагонів. Усі ці чинники сприяли підвищенню врожайності біомаси міскантусу.

Найбільшу врожайність сухої біомаси у перший рік вегетації (табл. 3) отримали у варіанті, де густота стояння рослин становила 20 тис. шт./га за норми внесення добрив $N_{120}P_{50}K_{60}$ (3,7 т/га). Це на 1,8 т/га більше, ніж на контролі. Дещо меншу врожайність біомаси отримали за норми внесення добрив $N_{60}P_{25}K_{30}$ (3,1 т/га).

Таблиця 3

**Урожайність сухої біомаси рослин міскантусу в перший рік вегетації, т/га
(БЦДСС, 2013–2015 рр.)**

Фон живлення	Маса ризомів, г	Густота рослин, тис./га	2013 р.	2014 р.	2015 р.	Середнє
Без добрив	20...30	10	0,7	0,8	0,5	0,7
		15	0,9	1,0	0,7	0,9
		20	1,4	1,5	1,1	1,3
	31...60	10	1,1	1,2	0,9	1,1
		15	1,5	1,6	1,1	1,4
		20	1,7	1,9	1,5	1,7
	61...90	10	1,6	1,7	1,2	1,5
		15	1,8	1,9	1,3	1,7
		20	2,0	2,1	1,7	1,9
$N_{60}P_{25}K_{30}$	20...30	10	1,8	1,9	1,1	1,6
		15	2,0	2,2	1,4	1,9
		20	2,1	2,4	1,6	2,0
	31...60	10	2,1	2,3	1,7	2,0
		15	2,3	2,7	1,8	2,3
		20	2,7	3,0	2,1	2,6
	61...90	10	2,4	2,5	1,9	2,3
		15	2,9	3,1	2,2	2,7
		20	3,3	3,6	2,5	3,1
$N_{120}P_{50}K_{60}$	20...30	10	2,1	2,2	1,6	2,0
		15	2,4	2,4	1,8	2,2
		20	2,8	2,9	2,1	2,6
	31...60	10	2,4	2,5	2,0	2,3
		15	3,0	3,0	2,4	2,8
		20	3,6	3,7	2,5	3,3
	61...90	10	3,2	3,2	2,3	2,9
		15	3,5	3,6	2,5	3,2
		20	4,1	4,1	2,8	3,7
НІР _{0,05}			0,3	0,3	0,2	0,2

Найнижчу продуктивність міскантусу відмічено на контролі за густоти стояння рослин 10 тис. шт./га та маси ризомів 20...30 г (0,7 т/га) і дещо вищу за маси ризомів 31...60 г (1,1 т/га). Так, за густоти садіння ризомів 10 тис. шт./га врожайність сухої біомаси в середньому була 1,9 т/га, а за густоти 20 тис. шт./га – 2,5 т/га.

На другий рік вегетації тенденція росту й розвитку залежно від абіотичних факторів зберігалась така ж, як і у перший рік (табл. 4).

Таблиця 4

Урожайність сухої біомаси рослин міскантусу в другий рік вегетації, т/га

Фон живлення	Маса ризомів, г	Густота рослин, тис./га	2014 р.	2015 р.	Середнє
Без добрив	20...30	10	6,6	3,3	4,9
		15	7,8	4,3	6,0
		20	8,2	4,5	6,3
	31...60	10	7,1	3,7	5,4
		15	8,2	4,6	6,4
		20	8,5	4,7	6,6
	61...90	10	7,8	4,3	6,1
		15	8,6	4,8	6,7
		20	8,9	5,0	6,9
N ₆₀ P ₂₅ K ₃₀	20...30	10	8,5	4,4	6,5
		15	9,6	5,2	7,4
		20	9,9	5,5	7,7
	31...60	10	7,6	4,7	6,2
		15	9,9	5,5	7,7
		20	10,6	5,9	8,2
	61...90	10	9,5	5,0	7,2
		15	10,4	5,8	8,1
		20	11,3	6,3	8,8
N ₁₂₀ P ₅₀ K ₆₀	20...30	10	9,2	5,0	7,1
		15	10,6	6,0	8,3
		20	11,2	6,4	8,8
	31...60	10	9,8	5,2	7,5
		15	11,3	6,4	8,8
		20	11,7	6,7	9,2
	61...90	10	10,4	5,7	8,1
		15	11,8	6,8	9,3
		20	12,4	7,4	9,9
НІР _{0,05}			1,2	0,7	0,9

Так, зі збільшенням дози добрив від N₀P₀K₀ до N₆₀P₂₅K₃₀ урожайність сухої біомаси в середньому зростала від 6,1 до 8,6 т/га. Збільшення маси ризомів від 20 до 90 г сприяло збільшенню сухої біомаси від 7,0 до 7,9 т/га. Зі збільшенням густоти садіння ризомів урожайність сухої біомаси також збільшувалась, так за густоти 10 тис. шт./га вона становила 6,6, а за 20 тис. шт./га – 8,0 т/га.

Ці тенденції зберігаються і в третьому році вегетації (табл. 5). Так, за збільшення дози добрив від N₀P₀K₀ до N₆₀P₂₅K₃₀ урожайність сухої біомаси зростала від 5,3 до 7,2 т/га. Збільшення маси ризомів від 20 до 90 г сприяло збільшенню біомаси від 5,9 до 7,2 т/га. Зі збільшенням густоти садіння ризомів урожайність сухої біомаси також збільшувалась. При 10 тис. шт./га вона в середньому становила 5,7 т/га, а при 20 тис. шт./га – 6,9 т/га.

Слід звернути увагу на те, що врожайність у третій рік вегетації нижча на 0,55 т/га від урожайності другого року вегетації. Це пов'язано із посушливими погодними умовами 2015 року. Якщо проаналізувати різницю врожайності залежно від абіотичних факторів у різні роки вегетації, то можна побачити, що ця різниця між варіантами знижується із кожним роком. Так, у перший рік різниця між варіантами залежно від густоти садіння становила 25,2 %, у другий та третій роки вирощування знижувалась відповідно до 18,0 та 16,9 %. Це пов'язано з тим, що рослини міскантусу за густоти садіння 10 тис. шт./га розростаються дещо більше, ніж за густоти 20 тис. шт./га.

**Енергетична продуктивність міскантусу в третій рік вегетації
(БЦДСС, 2015 р.)**

Фон живлення	Маса ризомів, г	Густина рослин, тис./га	Суха біомаса, т/га	Розрахунковий вихід:	
				твердого біопалива, т/га	енергії, ГДж/га
Без добрив	20...30	10	4,2	4,6	73,3
		15	5,0	5,5	87,4
		20	5,7	6,3	100,7
	31...60	10	5,0	5,5	87,4
		15	5,3	5,8	93,1
		20	5,8	6,3	101,4
	61...90	10	5,2	5,7	91,9
		15	5,8	6,4	102,6
		20	6,0	6,6	105,8
N ₆₀ P ₂₅ K ₃₀	20...30	10	5,6	6,1	97,7
		15	6,2	6,8	109,4
		20	6,3	6,9	110,7
	31...60	10	5,7	6,3	101,0
		15	6,2	6,8	109,4
		20	6,8	7,5	120,5
	61...90	10	6,1	6,7	107,0
		15	6,7	7,4	118,5
		20	7,3	8,1	129,1
N ₁₂₀ P ₅₀ K ₆₀	20...30	10	5,9	6,4	103,0
		15	6,8	7,4	119,1
		20	7,8	8,5	136,6
	31...60	10	6,5	7,2	114,6
		15	7,4	8,2	130,4
		20	7,8	8,6	137,3
	61...90	10	6,7	7,4	118,8
		15	7,9	8,7	139,4
		20	8,4	9,2	147,8
НІР _{0,05}			0,8		

Максимальний розрахунковий вихід твердого біопалива досягається за густоти стояння рослин 20 тис. шт./га, норми добрив N₁₂₀P₅₀K₆₀ та маси ризомів 61...90 г і становить відповідно 18,4 т/га. Найнижчий розрахунковий вихід твердого біопалива відмічено на контролі за густоти стояння 10 тис. шт./га та маси ризомів 20...30 г (9,2 т/га) і дещо вищий за маси ризомів 31...60 г (11,0 т/га). Найбільший вихід енергії з одиниці площі досягається за вирощування міскантусу на фоні добрив N₁₂₀P₅₀K₆₀ за густоти стояння рослин 20 тис.шт./га і становить: за маси ризомів 61...90 г – 295,6 ГДж/га, за маси ризомів 31...60 г – 274,6 ГДж/га.

Отже, в зоні нестійкого зволоження найбільший урожай (16,8 т/га) сухої біомаси стебел міскантусу та вихід енергії (295,6 ГДж/га) отримали на фоні добрив N₁₂₀P₅₀K₆₀ за густоти стояння рослин 20 тис. шт./га за маси ризомів 61...90 г.

Висновки

Виробництво біопалива у найближчі роки, є однією з основних альтернатив традиційним джерелам енергії. Про це свідчить послідовна та ґрунтова підтримка галузі з боку урядів розвинених країн та міжнародних організацій, а також зацікавленість певних бізнес-структур. Головною ж запорукою подальшого розвитку біопалива як альтернативного

джерела енергії є функціонування та розвиток відповідного ринку. Зміни клімату (посушливі умови) негативно впливають на процеси росту і розвитку рослин, що призвело до зниження продуктивності рослин міскантусу. Для зони нестійкого зволоження центральної Лесостепі України (БЦДСС) максимальний вихід енергії (295,6 ГДж/га) з 1 га насаджень міскантусу досягається за садіння ризомів масою 61...90 г з густотою стояння рослин 20 тис. шт./га на фоні добрив N₁₂₀P₅₀K₆₀.

Використана література

1. Biomass productivity of Miscanthus depending on the quality of planting material and growing conditions in the Western Forest-Steppe region of Ukraine / M. Humentyk, V. Kwak, O. Zamoyski, B. Radejko // MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. – 2013. – Vol. 15, No. 6. – С. 84–89.
2. Міскантус, як високопродуктивна культура для виробництва біопалива / М. Я. Гументик, В. М. Квак, О. І. Замойський, Є. В. Морозова // Посібник українського хлібороба. – 2015. – № 1. – С. 365–367.
3. Comparing energy balances, greenhouse gas balances and biodiversity impacts of contrasting farming systems with alternative land uses / H. L. Tuomisto, I. D. Hodge, P. Riordan, D. W. Macdonald // Agricultural Systems. – 2012. – No. 108. – P. 42–49. doi: 10.1016/j.agry.2012.01.004
4. Agronomic aspects of future energy crops in Europe / W. Zegada-Lizarazu, S. L. Cosentino, A. Zatta [et al.] // Biofuels, Bioproducts & Biorefining. – 2010. – Vol. 4, No. 6. – P. 674–691. doi: 10.1002/bbb.242
5. Kharytonov M. Agricultural and Mechanical Engineering. comparative analysis of miscanthus productivity parameters under the Forest-Steppe and Steppe zones conditions of Ukraine / M. Kharytonov, N. Martynova, V. Opanasenko // ISB-INMA ТЕН' 2016: Int. Symposium (Bucharest, 27–29 October 2016). – Bucharest, 2016. – P. 55–58.
6. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б. А. Доспехов. – 5-е изд., доп. и перераб. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.
7. Ермантраут Е. Р. Статистичний аналіз агрономічних дослідних даних в пакеті Statistica-6 / Е. Р. Ермантраут, О. І. Присяжнюк, І. Л. Шевченко. – К.: ПоліграфКонсалтинг, 2007. – 55 с.
8. Сборник методов исследования почв и растений / В. П. Ковальчук, В. Г. Васильев, Л. В. Бойко, В. Д. Зосимов. – К.: Труд-ГриПол-XXI век, 2010 – 252 с.
9. Грицаєнко З. М. Методи біологічних та агрохімічних досліджень рослин і ґрунтів / З. М. Грицаєнко, А. О. Грицаєнко, В. П. Карпенко; за ред. З. М. Грицаєнко. – К.: ЗАТ «НІЧЛАВА», 2003. – 320 с.
10. Лакин Г. Ф. Биометрия / Г. Ф. Лакин. – 4-е изд. – М.: Высшая школа, 1990. – 351 с.

УДК 633.282: 620.952

Курило В. Л.¹, Гументик М. Я.², Квак В. М.^{2*}, Дубовой Ю. П.³ Элементы технологии выращивания мискантуса в условиях центральной Лесостепи Украины для производства твёрдого биотоплива

¹Национальная академия аграрных наук Украины, ул. Суворова, 9, г. Киев, 01010, Украина

²Институт биоэнергетических культур и сахарной свеклы НААН, ул. Клиническая, 25, г. Киев, 03141, Украина, *e-mail: kvak-vm@mail.ru

³Белоцерковская опытно-селекционная станция ИБКиСС НААН, ул. Советская, 1, с. Малая Ольшанка, Белоцерковский р-н, Киевская обл., 09176, Украина

Цель. Разработать элементы технологии выращивания мискантуса гигантского в условиях центральной Лесостепи Украины для производства твёрдого биотоплива путем определения особенностей роста и развития растений, разработки технологических процессов и технических средств, а также обоснование особенностей применения

минеральных удобрений. **Методы.** Полевой, аналитический и статистический. **Результаты.** Исследовано особенности формирования продуктивности мискантуса гигантского в зависимости от массы ризомов, их густоты посадки и дозы минеральных удобрений в условиях центральной Лесостепи Украины. Установлено, что количество побегов увеличивалось с увеличением нормы удобрений от 14,0 до 20,8 шт. на одно растение. В опыте наблюдали такую тенденцию: за увеличение дозы удобрений от $N_0P_0K_0$ к $N_{60}P_{25}K_{30}$ урожайность сухой биомассы росла в среднем от 1,3 до 2,8 т/га. Увеличение массы ризомов от 20 до 90 г способствовало увеличению урожайности сухой биомассы от 1,7 до 2,9 т/га. С увеличением плотности посадки ризомов урожайность сухой биомассы также увеличивалась. Данные тенденции сохраняются и во втором, и третьем годах вегетации. **Выводы.** Изменения климата (засушливые условия) негативно влияют на процессы роста и развития растений, что приводит к снижению продуктивности растений мискантуса. Для зоны неустойчивого увлажнения центральной Лесостепи Украины максимальный выход энергии (295,6 ГДж/га) с 1 га насаждений мискантуса достигается посадкой ризомов массой 61...90 г с густотой стояния растений 20 тыс. шт./га на фоне удобрений $N_{120}P_{50}K_{60}$.

Ключевые слова: биоэнергетика, биомасса, мискантус, густота стояния растений, минеральные удобрения, масса ризомов.

UDC 633.282: 620.952

Kurylo V. L.¹, Humentyk M. Ya.², Kvak V. M.^{2*}, Dubovyi Yu. P.³ Improvement of technology elements for growing miscanthus under the conditions of the Central Forest-Steppe of Ukraine for the production of solid biofuel

¹National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine, 9 Suvorova Str., Kyiv, 01010, Ukraine

²Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet of NAAS, 25 Klinichna Str., Kyiv, 03141, Ukraine, *e-mail: kvak-vm@mail.ru

³Bilotserkivska Experimental Breeding Station Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet of NAAS, 1 Radianska Str., Mala Vilshanka, Bilotserkivskyy district, Kyiv region, 09176, Ukraine

Purpose. To improve the elements of growing technology for miscanthus under the conditions of the Central Forest-Steppe of Ukraine for the production of solid biofuel by identifying the characteristics of growth and development of plants and substantiating mineral fertilization. **Methods.** Field, analytical and statistical. **Results.** The article highlights the results of a study on the productivity of *Miscanthus × giganteus* rhizomes, as affected by weight, density of planting and doses of mineral fertilizers under the conditions of the Central Forest-Steppe of Ukraine. It is established that the number of shoots increased with increasing fertilizer rate from 14.0 to 20.8 per plant. In this experiment, the following trend was observed: increasing the dose of fertilizer from $N_0P_0K_0$ to $N_{60}P_{25}K_{30}$ increased dry biomass yield, on the average, from 1.3 to 2.8 t/ha. Increasing the weight of rhizomes from 20 to 90 g has increased the dry biomass yield from 1.7 to 2.9 t/ha. Dry biomass yield also was increased along with the increasing planting density. These trends were kept in the second and third years of growth. **Conclusions.** Climate change (drought conditions) negatively affects the growth and development of plants, leading to reduced productivity of miscanthus plants. It was established that in the zone of unstable moistening of the Central Forest-Steppe of Ukraine, the maximum energy yield (147.8 GJ/ha) was provided by planting 61 to 90 g miscanthus rhizomes at a density of 20,000 per hectare against the background of fertilizers $N_{120}P_{50}K_{60}$.

Keywords: bioenergy, biofuels, biomass, miscanthus, plant stand density of plants, elements of technology, fertilizers, the weight of rhizomes.

Надійшла 15.11.2016