

УДК 633.333.631.61

Технологія вирощування міскантусу гігантського на енергетичні цілі в умовах осушуваних торфовищ Лівобережного Лісостепу України

Вірówka В.М. , Опанасенко О.Г. , Перець С.В. 

Панфільська дослідна станція
ННЦ «Інститут землеробства НААН»



Вірówka В.М. E-mail: volodimiv@ukr.net, Опанасенко О.Г. E-mail: sonko.supiy@ukr.net,
Перець С.В. E-mail: perets_sv@ukr.net



Вірówka В.М., Опанасенко О.Г., Перець С.В. Технологія вирощування міскантусу гігантського на енергетичні цілі в умовах осушуваних торфовищ Лівобережного Лісостепу України. Збірник наукових праць «Агробіологія», 2022. № 1. С. 6–14.

Virovka V., Opanasenko O., Perets S. Technology of Miscanthus giant growing for energy purposes in the conditions of drained peatlands of the Left Bank Forest-Steppe of Ukraine. «Agrobiologia», 2022. no. 1, pp. 6–14.

Рукопис отримано: 12.01.2022 р.

Прийнято: 27.01.2022 р.

Затверджено до друку: 24.06.2022 р.

doi: 10.33245/2310-9270-2022-171-1-6-14

Встановлено особливості вирощування міскантусу гігантського для енергетичних цілей в умовах осушуваних торфовищ Панфільської дослідної станції ННЦ «Інститут землеробства НААН». Аргументовано економічні та екологічні переваги вирощування енергетичних плантацій на меліорованих органогенних ґрунтах порівняно з богарними землями в зоні Лівобережного Лісостепу України. Обґрунтовано технологію та вплив окремих її елементів на продуктивність вирощування міскантусу гігантського на енергетичні цілі на старосіяних сінокісних угіддях карбонатних торфовищ Лівобережного Лісостепу. Визначено оптимальні біометричні параметри садивного матеріалу, а також густота садіння, глибина загортання ризомів, вплив часу садіння на показники росту та розвитку досліджуваної культури. Розроблено та запатентовано агротехнічний в поєднанні з біологічним спосіб боротьби з дроздином, який забезпечує ефективний захист рослин міскантусу на початку створення енергетичних плантацій. Застосовано екологічно безпечну технологію боротьби з бур'янами, що виключає застосування хімічних засобів, внесення гербіцидів та перешкоджає забрудненню ґрунтових і річкових вод шкідливими елементами. Досліджено особливості поживного режиму ґрунту та його біологічну активність у дослідних ділянках міскантусу гігантського на осушуваних карбонатних торфовищах Лівобережного Лісостепу України. Вивчено вплив калійного удобрення, як основного елемента живлення рослин на органогенних ґрунтах, на продуктивність біоенергетичних плантацій міскантусу гігантського. Встановлено вихід енергії біоенергетичних плантацій з одиниці площі залежно від елементів технології вирощування. Проведено розрахунки економічної та енергетичної ефективності. Розроблена технологія на третій рік вирощування міскантусу забезпечує вихід сухої біомаси на рівні 23,7–26,1 т/га, або 444 ГДж/га енергії. Кращі економічні показники ефективності в сумі за три роки вегетації культури було отримано на варіанті зі схемою посадки (0,7 X 1,4 м) 10 тис/га, де рівень рентабельності становив 56 %, собівартість сухої біомаси – 529,6 грн/т і умовно чистий прибуток – 13157 г/га.

Обґрунтовано подальші напрями проведення наукових досліджень зі створення біоенергетичних плантацій міскантусу гігантського на осушуваних карбонатних торфовищах Лівобережного Лісостепу України.

Ключові слова: міскантус, маса ризомів, густота садіння, добрива, урожайність, рентабельність.

Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень. Нині одним зі способів вирішення енергетичного питання для України є перехід від викопних енергетичних ресурсів до відновлювальних джерел енергії, тобто на біопаливо [1, 8, 18]. Для цього важливо створити власні джерела відновлювальної енергії на основі вирощування рослинної біоенергетичної сировини на вилучених з інтенсивного обробітку землях [2, 9, 19, 23]. До таких земель належать, зокрема, осушені торфові ґрунти, яких в Україні нараховується майже 1,0 млн га. Старосіяні сінокісні угіддя займають площу приблизно 0,8 млн га. Вони оптимально підходять для вирощування енергетичних культур, оскільки добре забезпечені вологою та азотом, що дає змогу накопичувати рослинами досить потужну біомасу з помірним внесенням добрив [4, 17, 25].

Серед різноманіття високопродуктивних трав'янистих багаторічних рослин перспективною енергетичною культурою є міскантус гігантський [8, 12, 18, 24].

Попередніми пошуковими дослідженнями на Панфільській дослідній станції встановлено, що міскантус у цих умовах дає найвищий серед інших багаторічних трав'янистих культур урожай – 25–28 т/га сухої речовини в рік.

Валовий вихід енергії з одного гектара (в разі спалювання гранул) може становити майже 450 ГДж/га. Міскантус гігантський мінімально втрачає суху речовину наприкінці вегетації, ця культура стійка до вилягання. Міскантус потребує незначних витрат на вирощування, урожай культури збирають звичайним кормозбиральним комбайном, а отриману масу можна відразу доправляти на спалювання або на виготовлення паливних гранул, пелет чи брикетів. Тимчасом біомаса інших енергетичних культур зазвичай потребує досушування [14, 19, 20, 22].

Згадані чинники доводять, що міскантус гігантський є однією з найперспективніших культур для вирощування на вилучених з інтенсивного обробітку ґрунтах [11, 13, 21, 24]. Однак для його промислового використання відсутня технологія вирощування, адаптована до умов осушуваних торфовищ Лівобережного Лісостепу України.

Мета дослідження – виявити продуктивність міскантусу гігантського залежно від елементів технології вирощування, проаналізувати їх вплив на ріст і розвиток рослин, провести аналіз економічної ефективності вирощування культури в умовах осушуваних торфових ґрунтів Лівобережного Лісостепу України.

Матеріал і методи дослідження. Дослідження проводили впродовж 2016–2018 рр. в заплаві річки Супій на ділянці №4 меліоративної системи Панфільської дослідної станції. Ґрунти дослідної ділянки – глибокі карбонатні торфовища з вмістом валового азоту 1,2 %, фосфору – 0,7–0,9 %, калію – 0,12 %, кальцію – 20–26 %, зольність – 40–50 %, $\text{pH}_{\text{водний}}$ – 7,2–7,5.

Польові дослідження виконували згідно з Доспеховим Б.О. [10].

Облік урожаю проводили методом суцільного скошування біомаси на обліковій ділянці та зважування зеленої маси із визначенням вмісту в ній сухої речовини в триразовому повторенні. Вміст сухої речовини визначали термостатно-ваговим методом за температури 105 °С [3].

Вміст теплової енергії (МДж) в 1 кг сухої речовини біомаси визначали за даними вмісту сирого протеїну, сирого жиру, сирого клітковини і безазотистих екстрактивних речовин та їх енергетичної ефективності за формулою [15]:

$$\text{BE} = 0,240\text{СП} + 0,398\text{СЖ} + 0,201\text{СК} + 0,175\text{БЕР}.$$

Поживний режим ґрунту визначали у шарі 0–30 см методом відбирання проб ґрунту у дослідних ділянках міскантусу два рази – на початку та кінці вегетації культур [5].

У ґрунтових зразках визначали вміст нітратного азоту в добре мінералізованому карбонатному ґрунті (заплава річки Супій) потенціометричним методом (ДСТУ 4725-2007), амонійний азот – екстрагуванням розчину хлориду калію (ДСТУ ISO/TS 14256-1:2003), фосфор і калій – за Б.П. Мачигіним, з наступним визначенням рухомого фосфору колориметрично, а обмінного калію – на полуменовому фотометрі [3]. Облік забур'яненості в досліді проводили за методикою В.І. Артеменко [6]. Виявлення чисельності дротяника і його шкодочинності проводили за методикою В.Г. Доліна [7]. Математичну обробку одержаних даних проводили методом дисперсійного аналізу [10].

Для забезпечення найбільшої енергетичної продуктивності міскантусу застосовували наступну технологію: на площі майбутнього дослідження восени проводять фрезування на 10–12 см пласта багаторічних злакових трав з наступною його оранкою на 25–30 см; весною наступного року на цій площі проводять дворазове дискування дисковими боролами БДТ-3; під останнє дискування вносять добрива та проводять до і післяпосівне прикочування важкими болотними котками.

У досліді вивчали 2 способи боротьби з бур'янами – агротехнічний, що передбачає проведення досходового боронування легкими боровами та дворазовий, а за необхідності і триразовий міжрядний обробіток, і хімічний спосіб – внесення рекомендованих гербіцидів за вегетації рослин.

За розміщення міскантусу гігантського після багаторічних злакових трав застосовували розроблений для цих умов агротехнічний у поєднанні з біологічним спосіб боротьби з дротяником [16, 23].

Добрива вносили з розрахунку (кг/га): 1-й варіант – 0; 2-й – K_2O – 60; 3-й варіант – K_2O – 120. Густота садіння міскантусу частинами кореневищ (ризомів): 1-й варіант – $07 \times 0,55$ м (25 тис. шт. га); 2-й – 07×07 м (20 тис. шт. га); 3-й – 07×09 м (15 тис. шт. га); 4-й варіант – $07 \times 1,4$ м (10 тис. шт. га). Ділені кореневища (ризомів), що готуються для розмноження, повинні мати не менше 3–4 життєздатних бруньок.

Вивчали вплив глибини загортання та маси ризомів міскантусу на його продуктивність: глибина загортання – 4–6; 6–8; 8–12 см. Маса ризомів – 20–30; 30–50; 50–70 г. Також досліджували строки садіння міскантусу гігантського: 1-й варіант – осінь (3-тя декада листопада); 2-й – весна (1-а декада квітня).

Дослід проводили у трикратному повторенні.

Результати дослідження та їх обговорення. За проведення попередніх досліджень виявлено, що в перший рік вирощування міскантусу головними проблемами були – боротьба з бур'янами і личинками Ковалика смугастого (*Agriotes lineatus* L.) – дротяниками.

За результатами попередніх досліджень встановлено високий ступінь зараження дротяником, який коливається в межах 26–40 шт/м² і більше, що значно перевищує поріг шкодочинності (5–7 шт/м²) і становить найбільшу загрозу однорічним плантаціям.

Розроблено екологічно безпечний і водночас ефективний агротехнічний в поєднанні з біологічним спосіб боротьби з цим шкідником. Він передбачає: після багаторічних трав 2-го укосу посів проміжної культури гірчиці білої з наступним подрібненням і заорюванням її посівів у фазу формування і наливання насіння. Надалі проводять глибоку оранку на глибину 30–35 см з утворенням гребенів висотою 14–18 см за переходу середньодобової температури через 0 °C. Цей спосіб забезпечив зниження дротяників на 84 % від загальної чисельності, а загибель рослин в перший рік вегетації не перевищувала 4 %.

Для боротьби з бур'янами до з'явлення сходів, через 8–9 діб після садіння площі боронували легкими боровами. Після появи сходів проводять дворазовий, а за необхідності триразовий міжрядковий обробіток на глибину 8–10 см з одночасним засипанням землею бур'янів у рядках та підгортанням рослин. На другий рік вегетації міскантусу потреби у проведенні заходів боротьби з бур'янами не було, оскільки рослини міскантусу самі могли конкурувати зі сходами бур'янів.

Дотримання необхідних агротехнічних вимог у перший рік вирощування культури, особливо проведення ефективних агрозаходів боротьби з дротяниками і бур'янами, забезпечує отримання високих урожаїв біомаси міскантусу у наступні роки.

Важливим чинником, що забезпечує високу продуктивність міскантусу є поживний режим ґрунту, який на осушених торфовищах характерний тим, що ці ґрунти добре забезпечені азотом завдяки високому вмісту органічної маси (60–80 %). Динаміка забезпечення рухомим фосфором для нормального росту і розвитку рослин теж є достатньою завдяки вівіанітовим прошаркам у торфовищі [4].

За даними таблиці 1 вміст нітратів у ґрунті, у весняний період, був високим і знаходився в межах 274,0–365,0 мг/1000 г ґрунту. Забезпечення ґрунту рухомим фосфором теж було достатнім і коливалося в межах 56,7–90,5 мг на 1000 г ґрунту.

Відомо, що торфово-болотні ґрунти дуже бідні на калій, і головним джерелом його поповнення є внесення мінеральних добрив. Уміст калію в ґрунті на початку вегетації рослин міскантусу становив: на варіанті без добрив – 104,5–131,6 мг/1000 г ґрунту, що відповідало недостатній забезпеченості; варіанті K_{60} – 202,0–253,0 мг/1000 г ґрунту і варіанті K_{120} – 258,0–309,0 мг/1000 г ґрунту, що відповідало середній і високій забезпеченості. Густота садіння міскантусу суттєвого впливу на динаміку поживних речовин не мала. Внесення калійних добрив мало безпосередній вплив на динаміку лінійного росту міскантусу і накопичення урожаю сухої речовини.

Результати вивчення впливу досліджуваних чинників на продуктивність міскантусу наведено в таблиці 2. Встановлено, що визначальними чинниками у підвищенні продуктивності міскантусу на третій рік вегетації були: густота садіння ризомів та внесення мінеральних добрив. Зі збільшенням густоти стояння рослин міскантусу врожайність біомаси також зростає. Так, за густоти стояння рослин 10 тис. шт./га вихід сухої біомаси за внесен-

ня K_{60} становив: 23,7 т/га, або 403 ГДж/га, за 25 тис. шт./га – 26,1 т/га, або 444 ГДж/га, а за осіннього садіння вихід твердого біопалива і енергії становив 27,1 т/га, або 461 ГДж/га. Тимчасом на третій рік вегетації суттєвої різниці між осіннім і весняним садінням не спостерігали.

Урожайність сухої біомаси міскантусу з однієї площі зростала зі збільшенням густоти стояння рослин і на варіантах без внесення добрив. Так, за густоти стояння рослин 10 тис. шт./га урожайність сухої маси з 1 га у третій рік вегетації в середньому становила 16,4 т/га, а за густоти стояння 25 тис. шт./га – 19,0 т/га.

Внесення калійних добрив суттєво підвищило урожайність міскантусу. За схеми садіння 20 тис/га на варіанті без добрив урожайність становила 18,2 т/га, а за внесення K_{60} – 23,1 т/га і K_{120} – 26,4 т/га сухої речовини.

Підвищення врожайності від внесення калійного удобрення відмічали і на решті варіантів дослідів.

За норми K_{60} і K_{120} урожайність сухої речовини підвищилась за густоти садіння 25 тис. шт./га на 7,2 і 8,5 т/га; 20 тис. шт./га – на 4,8 і 8,1 т/га; 15 тис. шт./га – 8,3 і 9,9 т/га та 10 тис. шт./га 7,3–8,5 т/га порівняно з контролем без добрив. У середньому врожайність підвищувалась на

варіантах з внесенням K_{60} на 27,1–29,4 %, а на варіантах K_{120} – відповідно на 30,6–34,1 %.

Найвищу врожайність міскантусу в сумі за три роки було отримано на варіанті осіннього садіння за схеми 25 тис/га, яка становила за внесення K_{60} – 54,6 т/га сухої речовини, або 929 ГДж/га енергії, за весняного садіння ці показники були на рівні 52,1 т/га сухої речовини і 886 ГДж/га енергії, а за схеми садіння 20 тис/га відповідно – 46,5 т/га і 791 ГДж/га; 15 тис/га – 44,9 т/га і 762 ГДж/га та за найменшої густоти 10 тис/га вихід сухої біомаси становив 44,5 т/га та 756 ГДж/га енергії.

Одним із важливих чинників, що впливає на врожайність міскантусу, є початкова маса ризо мів, збільшення якої сприяє зростанню врожайності рослин як першого, так і другого років вирощування. Так, за маси ризомів 20–30 г урожайність сухої надземної маси міскантусу становила в перший рік вегетації 2,3 т/га, другий – 19,6 т/га, а за маси 50–70 г відповідно – 3,3 і 23,4 т/га.

У 2018 році – третьому році вирощування міскантусу, вплив маси ризомів на урожайність був менш помітним порівняно з першими роками його вирощування та становив за маси ризомів 20–30 г – 25,9 т/га, а за маси 50–70 г – 27,4 т/га.

Таблиця 1 – Поживний режим ґрунту в шарі 0–30 см, мг на 1000 г сухого ґрунту (середнє за 2016–2018 рр.)

Густота садіння	Добрива	Поживні елементи					
		NO ₃		P ₂ O ₅		K ₂ O	
		I відб.	II відб.	I відб.	II відб.	I відб.	II відб.
25 тис/га	0	337	420	66,8	82,0	132	96
	K_{60}	345	376	90,5	67,0	232	130
	K_{120}	365	334	65,7	75,0	305	146
20 тис/га	0	307	280	65,3	77,0	104	99
	K_{60}	302	390	63,5	81,0	202	135
	K_{120}	283	405	56,8	69,0	258	161
15 тис/га	0	328	308	73,0	71,0	130	112
	K_{60}	318	414	80,0	84,0	253	148
	K_{120}	345	367	56,7	73,0	291	170
10 тис/га	0	274	422	67,0	79,0	122	108
	K_{60}	323	378	78,5	110,0	204	136
	K_{120}	322	340	85,8	80,0	309	158
садіння восени 25 тис/га	0	–	–	–	–	–	–
	K_{60}	340	282	74,0	67,5	244	120
	K_{120}	–	–	–	–	–	–

Вплив глибини садіння ризомів на врожайність міскантусу в поточному році, як і в попередні два роки, виявився несуттєвим. З іншого боку, як показують попередні дослідження за сильних пізньовесняних заморозків на поверхні ґрунту до 5–7 °С в 2- і 3-й декаді квітня, ефективнішим було загортання ризомів на 10–12 см, оскільки негативна дія заморозків на сходи міскантусу за такої глибини була мінімальною (табл. 3)

Розрахунки економічної ефективності проводили на основі складеної технологічної карти і за тарифами та цінами станом на грудень 2018 р. Витрати на виробництво міскантусу на площі 1 га залежно від елементів тех-

нології вирощування розраховано в сумі за три роки (табл. 4).

Витрати грошових коштів разом за три роки вирощування міскантусу становили за максимальної густоти садіння 25 тис/га з внесенням K_{60} – 29046 грн/га, і відповідно за мінімальної густоти 10 тис/га – 23547 грн/га, що пов'язано передусім з великими витратами на підготовку садивного матеріалу.

Перший рік вирощування міскантусу був збитковим у зв'язку з низькою його врожайністю – 1,4–3,1 т/га сухої речовини (табл. 2), та великими витратами на садивний матеріал, а також проведення основного обробітку ґрунту та агрозаходи в боротьбі з дротяником і бур'янами.

Таблиця 2 – Урожайність міскантусу та вихід енергії (за 2016–2018 роки досліджень, т/га)

Густота садіння	Добрива	Урожайність за роками досліджень (зелена маса)				Урожайність за роками досліджень (суха речовина)				Вихід енергії в сумі за 3 роки ГДж/га
		2016	2017	2018	разом	2016	2017	2018	разом	
25 тис/га	0	5,1	40,2	50,8	96,1	1,4	17,3	19,0	37,6	640
	K_{60}	6,4	52,6	63,1	122,1	2,3	23,7	26,1	52,1	886
	K_{120}	6,8	55,3	74,1	136,2	2,4	24,1	27,4	54,0	917
20 тис/га	0	4,2	37,5	44,1	85,8	1,3	16,3	18,2	35,8	609
	K_{60}	5,1	47,5	59,2	111,8	2,0	21,4	23,1	46,5	791
	K_{120}	5,9	48,3	59,9	114,1	2,3	23,3	26,4	52,0	884
15 тис/га	0	3,9	31,4	42,0	77,3	1,3	14,3	16,6	32,2	547
	K_{60}	4,6	40,4	57,6	102,6	1,5	18,4	24,9	44,9	762
	K_{120}	5,2	41,3	73,8	120,3	1,5	21,1	26,5	49,1	835
10 тис/га	0	3,6	26,2	40,2	70,0	1,2	13,7	16,4	30,8	524
	K_{60}	4,4	37,9	61,5	103,8	1,4	19,3	23,7	44,5	756
	K_{120}	4,7	38,4	56,0	99,1	1,5	20,0	24,9	46,7	790
20 тис/га внесення гербіцидів	K_{60}	4,2	37,3	68,3	109,8	1,5	18,0	23,3	42,8	727
садіння восени 25 тис/га	K_{60}	7,3	51,8	67,9	127,0	3,1	24,4	27,1	54,6	928
НІР ₀₅		за добривами – 1,3 за схемою садіння – 1,1 загальне – 2,4				за добривами – 0,6 за схемою садіння – 0,4 загальне – 1,0				

Таблиця 3 – Урожайність сухої маси міскантусу залежно від глибини загортання та маси ризомів, т/га, 2018 р.

Строк садіння	Глибина загортання ризомів, см			Маса ризомів, г		
	4–6	6–8	10–12	20–30	30–50	50–70
Осінь	–	–	26,41	–	25,00	–
Весна	25,60	26,74	25,00	25,86	26,36	27,37

Таблиця 4 – Економічна ефективність вирощування міскантусу гігантського для виробництва твердого біопалива залежно від елементів технології вирощування за роки вегетації (2016–2018 рр).

Густота садіння	Добри- ва	Вихід сухої біо- маси, т/га	Вартість сухої біо- маси, грн/ га	Мате- ріально грошові витрати, грн/га	Собівартість сухої біома- си, грн/т	Умовно чистий прибуток, грн/га	Рента- бельність, %
25 тис/га	0	37,6	31061	24723	657	6338	26,0
	K ₆₀	52,1	42990	29046	557	13944	48,0
	K ₁₂₀	54,0	44525	31935	592	13590	42,5
20 тис/га	0	35,8	29559	22314	623	7245	32,5
	K ₆₀	46,5	38387	25311	544	13076	51,72
	K ₁₂₀	52,0	42883	28730	553	14153	49,3
15 тис/га	0	32,2	26978	20044	624	6934	34,6
	K ₆₀	44,9	37018	24210	539	12808	52,9
	K ₁₂₀	49,1	40549	26926	548	13593	50,5
10 тис/га	0	30,8	25435	18837	611	6598	35,0
	K ₆₀	44,5	36704	23547	530	13157	56,0
	K ₁₂₀	46,7	38511	25320	542	12991	51,3
20 т/га + гер- біцид	K ₆₀	42,8	35326	25964	606	9362	36,1
садіння осінню 25 тис/га	K ₆₀	54,6	45070	31850	583	13220	41,5

За розрахунками витрати в перший рік вегетації становили 77,3–80,5 % від усіх витрат за три роки, або в грошовому еквіваленті на варіанті садіння 15 тис/га з внесенням K₆₀ за загальних витрат 24210 грн/га в перший рік було використано 18714 грн/га.

Серед елементів технології вирощування міскантусу найбільший вплив на його продуктивність, а отже і на економічну ефективність мали добрива та способи садіння. Внесення калійних добрив K₆₀ і K₁₂₀ порівняно з варіантом без добрив сприяє суттєвому збільшенню урожайності, а отже і зростанню економічних показників. Так, на варіантах без удобрення собівартість сухої біомаси була на рівні 611–657 грн/т, а за внесення K₆₀ вона коливалась залежно від варіанта в межах 530–557 грн/т. Водночас рівень рентабельності вирощеної продукції в першому випадку був нижчим і становив 26,0–35,0 %, а в другому з внесенням калійних добрив він був на рівні 48,0–56,0 %. Внесення K₁₂₀ порівняно з K₆₀ хоч і сприяло незначному зростанню врожайності на 1,9–4,3 т/га сухої речовини, однак економічні показники у зв'язку

зі збільшенням добрив не покривали затрат. Так, рентабельність на варіанті з внесенням K₆₀ становила – 48,0–56,0 %, а K₁₂₀ – 42,5–51,3 %.

Аналіз економічної ефективності виробництва міскантусу показав, що за різних способів садіння показники собівартості вирощеної продукції та рівень рентабельності становили: за густоти садіння 25 тис/га і внесення K₆₀ собівартість продукції була на рівні 557 грн/т, а рентабельність – 48,0 %; 20 тис/га відповідно – 544 грн/га і 51,72 %; 15 тис/га – 539 грн/га і 53,95 % та за густоти 10 тис/га ці показники були на рівні 530 грн/га і 56,0 % (табл. 4).

Висновки. Обґрунтовано технологію вирощування міскантусу гігантського на енергетичні цілі на старосіяних сінокісних угіддях карбонатних торфовищ Лівобережного Лісостепу. Розроблено технологію, яка на третій рік вирощування енергетичної плантації забезпечує вихід сухої біомаси на рівні 3,7–26,1 т/га, або 403–444 ГДж/га енергії.

Застосування агротехнічного в поєднанні з біологічним способом боротьби з дотяником забезпечує ефективний захист рослин міскан-

тусу на початку створення енергетичних плантацій. Цей спосіб дав змогу знизити кількість дротяників на 84 % від загальної чисельності, а загибель рослин у перший рік вегетації не перевищувала 4 %.

Кращі економічні показники ефективності в сумі за три роки вегетації культури було отримано на варіанті зі схемою садіння (0,7×1,4 м) 10 тис/га, де рівень рентабельності становив 56 %, собівартість сухої біомаси – 529,6 грн/т і умовно чистий прибуток – 13157 г.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Сінченко В.М., Ягольник О.О. Європейський досвід сталого виробництва біосировини на малопродуктивних землях в Україні. Біоенергетика. №1 (13). 2019. С. 19–22.

2. Гументик М.Я. Урожайність біомаси міскантусу залежно від кліматичних умов, строків і глибини садіння ризомів у західному Лісостепу України. Вісник Львівського національного аграрного університету. Агрономія. Львів, 2013. № 17(1). С. 76–82.

3. Торфово – земельний ресурс Північно – західного Регіону України: монографія / Вознюк С.Т. та ін. Рівне, 2017. 114 с.

4. Сінокоси і пасовища на осушуваних землях / Слюсар І.Т. та ін. Київ: ЦП «Компрінт», 2017. 257 с.

5. Балюк С.А., Ромащенко М.І., Трусовецький Р.С. Охорона ґрунтів і розвиток меліорації в Україні. Агрохімія і ґрунтознавство: міжвідомчий тематичний науковий збірник. Харків, 2018. Вип. 87. С. 5–10.

6. Артеменко В.І. Довідник по використанню осушених земель. Київ: Урожай, 1987. С. 114–127.

7. Долін В.Г. Методические указания по учету вредителей сельскохозяйственных культур. Київ: Урожай, 1975. С. 6–28.

8. Способи підвищення виходу садового матеріалу міскантусу гігантського / Доронін В.А. та ін. Наукові праці інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків. 2018. Вип. 26. С. 11–20.

9. Макух Я.П. Особливості формування врожайності міскантусу гігантського за спільної вегетації з бур'янами. Наукові праці інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків. 2017. Вип. 25. С. 115–123.

10. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Колос, 1979. 416 с.

11. Перехід України на відновлювальну енергетику до 2050 року: звіт за результатами моделювання базового та альтернативних сценаріїв розвитку біоенергетичного сектору / Дячук О. та ін.; за заг. ред. Ю. Огаренка, О. Алієвої. Київ: ТОВ «АРТ КНИГА». 2017. 88 с.

12. Скачок Л.М., Квак В.М. Комплексна оцінка вирощування енергетичних культур залежно від різних систем удобрення. Зб. наук. праць ІБКЦБ. 2016. Вип. 24. С. 86–92.

13. Michael B. Jones, Mary Walsh. Miscanthus for energy and fibre. London: Earthscan, 2001. 192 p.

14. Курило В.Л., Гументик М.Я., Квак В.М. Міскантус – перспективна енергетична культура для виробництва біопалива. Агробіологія. 2010. №4 (80). С. 62–66.

15. Методи визначення енергоємності і поживності. Держспоживстандарт України. Київ, 2009.

16. Агротехнічний в поєднанні з біологічним спосіб боротьби з дротяником: пат. 127596 Україна: МПК А01В 79/02 (2006.01). заявл. 19.03.2018; опубл. 10.08.2018, Бюл. № 15.

17. На шляху до створення плантацій енергетичних культур / В. Кравчук та ін. Техніка і технологія АПК. 2013. № 2. С. 31–34.

18. Удосконалення елементів технології вирощування міскантусу в умовах Центрального Лісостепу України для виробництва твердого біопалива / Курило В.Л. та ін. Зб. наук. праць БКЦБ. 2016. Вип. 24. С. 77–85.

19. Перспективи розвитку біоенергетики в Україні / Роїк М.В. та ін. Зб. наук. праць БКЦБ. 2012. Вип. 12. С. 14–23.

20. Хіврич О. Міскантус – перспектива для виробництва твердого біопалива. Пропозиція нова. 2015. № 1. С. 80–83.

21. Державне регулювання ринку твердого біопалива як один із чинників збалансованого природокористування / Д.Г. Чурілов та ін. Вісник Полтавської державної аграрної академії. 2012 № 2. С. 89–93.

22. Барбаш В.А., Зінченко В.О., Требус І.В. Ресурсозберігаючі технології перероблення стебел міскантуса. Наукові вісті «КП». 2012. № 5. С. 118–124.

23. Progress on Optimizing Miscanthus Biomass Production for the European Bioeconomy: Results of the EU FP7 Project OPTIMISC / Lewandowski I. et al. 2016. Front. Plant Sci. 7:1620. DOI: 10.3389/fpls.2016.01620.

24. Jurekova Z., Kotrla M., Paukova Z. Life cycle of Miscanthus x giganteus (Greif et Deu) grown in southwestern Slovakia conditions. Acta regionalia et environmentalica. 2013. Vol. 2. P. 38–41.

25. Characterization of flowering time diversity in Miscanthus species / Jensen E. et al. 2011. GCB Bioenergy. Vol. 3. P. 387–400.

REFERENCES

1. Sinchenko, V.M., Yaholnyk, O.O. (2019). Yevropeiskiy dosvid staloho vyrobnytstva biosyrovyny na maloproduktyvnykh zemliakh v Ukraini [European experience of sustainable production of bio raw materials on unproductive lands in Ukraine]. Bioenerhetyka [Bioenergy], no. 1(13), pp. 19–22.

2. Humentyk, M.Ia. (2013). Urozhainist biomasy miskantusu zalezhno vid klimatychnykh umov, strokiv i hlybyny sadinnia ryzomiv u zakhidnomu Lisostepu Ukrainy [Yield of miscanthus biomass depending on climatic conditions, terms and depth of rhizome planting in the western forest-steppe of Ukraine]. Visnyk Lvivskoho natsionalnoho aharnoho universytetu. Ahronomiia [Bulletin of Lviv National Agrarian University. Agronomy]. Lviv, no. 17(1), pp. 76–82.

3. Vozniuk, S.T., Moshynskyi, V.S., Klymenko, M.O. (2017). Torfovo – zemelnyi resurs Pivnichno – zachidnoho Rehionu Ukrainy: monohrafiia [Peat-land resource of the North – Western Region of Ukraine]. Rivne, 114 p.
4. Sliusar, I.T., Solianyk, O.P., Serbeniuk, V.O., Hera, O.M., Virovka, V.M. (2017). Sinokosy i pasovyshcha na osushuvanykh zemliakh [Hayfields and pastures on drained lands]. Kyiv, Komprint, 257 p.
5. Baliuk, S.A., Romashchenko, M.I., Truskovetskyi, R.S. (2018). Okhorona hruntiv i rozvytok melioratsii v Ukraini [Soil protection and development of land reclamation in Ukraine]. Ahrokhimiia i hruntoznavstvo: mizhvidomchyi tematychnyi naukovyi zbirnyk [Agrochemistry and Soil Science: interdepartmental thematic scientific collection]. Kharkiv, Issue 87, pp. 5–10.
6. Artemenko, V.I. (1987). Dovidnyk po vykorystannii osushenykh zemel [Handbook of drained land use]. Kyiv, Harvest, pp. 114–127.
7. Dolin, V.H. (1975). Metodycheskye ukazania po uchotu vredytelei selskokhoziaistvennykh kultur [Guidelines for the accounting of pests of agricultural crops]. Kyiv, Harvest, pp. 6–28.
8. Doronin, V.A., Dryha, V.V., Kravchenko, Yu.A., Doronin, V.V. (2018). Sposoby pidvyshchennia vykhodu sadyvnogo materialu miskantusu hihantskoho [Ways to increase the yield of planting material Miscanthus giant]. Naukovi pratsi instytutu bioenerhetychnykh kultur i tsukrovyykh beriakov [Scientific works of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beets]. Issue 26, pp. 11–20.
9. Makukh, Ya.P. (2017). Osoblyvosti formuvannia vrozhaivosti miskantusu hihantskoho za spilnoi vehetatsii z burianamy [Peculiarities of the formation of giant miscanthus in the joint vegetation with weeds]. Naukovi pratsi instytutu bioenerhetychnykh kultur i tsukrovyykh beriakov [Scientific works of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beets]. Issue 25, pp. 115–123.
10. Dospekhov, B.A. (1979). Metodyka polevoho opyta (s osnovamy statystycheskoi obrabotky rezultatov yssledovanyi) [Field experience methodology (with the basics of statistical processing of research results)]. Moscow, Kolos, 416 p.
11. Diachuk, O. (2017). Perekhid Ukrainy na vidnovliuvannu enerhetyky do 2050roku: zvit za rezultatamy modeliuvannia bazovoho ta alternatyvnykh stsennariiv rozvytku bioenerhetychnoho sektoru [Ukraine's transition to renewable energy by 2050: a report on the results of modeling baseline and alternative scenarios for the development of the bioenergy sector]. Kyiv, Art Book, 88 p.
12. Skachok, L.M., Kvak, V.M. (2016). Kompleksna otsinka vyroshchuvannia enerhetychnykh kultur zalezno vid riznykh system udobrennia [Comprehensive assessment of energy crops depending on different fertilizer systems]. Zb. nauk. prats IBKiTsB [Collection of scientific works of IBKICB]. Issue 24, pp. 86–92.
13. Michael, B. Jones, Mary, Walsh. (2001). Miscanthus for energy and fibre. London, Earthscan, 192 p.
14. Kurylo, V.L., Humentyk, M.Ya., Kvak, V.M. (2010). Miskantus – perspektyvna enerhetychna kultura dlia vyrobnytstva biopalyva [Miscanthus is a promising energy crop for biofuel production]. Ahrobiolohiia [Agrobiology], no. 4 (80), pp. 62–66.
15. Metody vyznachennia enerhoiemnosti i pozhyvnosti [Methods for determining energy consumption and nutritional value]. Derzhspozhyvstandart Ukraine, Kyiv, 2009.
16. Agrotekhnichnyj v pojednanni z biologichnym sposib borot'by z drotjanykom: pat. 127596 Ukrai'na: MPK A01V 79/02 (2006.01). zavavl. 19.03.2018; opubl. 10.08.2018, Bjul. № 15 [Agrotechnical in combination with a biological method of wireworm control: US Pat. 127596 Ukraine: IPC A01B 79/02 (2006.01). stated March 19, 2018; publ. 10/08/2018, Bull. № 15].
17. Kravchuk, V. Novokhatskyi, M., Kozhushko, M., Dumych, V., Zhurba H. (2013). Na shliakhu do stvorennia plantatsii enerhetychnykh kultur [On the way to creating energy plantations]. Tekhnika i tekhnolohiia APK [Machinery and technology of agro-industrial complex], no. 2, pp. 31–34.
18. Kurylo, V.L., Humetyk, M.Ia., Kvak, V.M., Dubovyi, Yu.P. (2016). Udoshkonalennia elementiv tekhnolohii vyroshchuvannia miskantusu v umovakh Tsentralnoho Lisostepu Ukrainy dlia vyrobnytstva tverdoho biopalyva [Improving the elements of technology for growing miscanthus in the Central Forest-Steppe of Ukraine for the production of solid biofuels]. Zb. nauk. prats BKiTsB [Collection of scientific works of IBKICB]. Issue 24, pp. 77–85.
19. Roik, M.V., Kurylo, V.L., Humetyk, M.Ia., Hanzhenko, O.M. (2012). Perspektyvy rozvytku bioenerhetyky v Ukraini [Prospects for the development of bioenergy in Ukraine]. Zb. nauk. prats BKiTsB [Collection of scientific works of IBKICB]. Issue 12, pp. 14–23.
20. Khivrych, O. (2015). Miskantus – perspektyva dlia vyrobnytstva tverdoho biopalyva [Miscanthus is a prospect for solid biofuel production]. Propozytsiia nova [The offer is new], no. 1, pp. 80–83.
21. Churilov, D.H., Kalinichenko, V.M., Kalinichenko, A.V., Malynska, L.V. (2012). Derzhavne rehuliuвання rynku tverdoho biopalyva yak odyin iz chynnykiv zbalansovanoho pryrodokorystuvannia [State regulation of the solid biofuels market as one of the factors of sustainable nature management]. Visnyk Poltavskoi derzhavnoi ahrarnoi akademii [Bulletin of the Poltava State Agrarian Academy], no. 2, pp. 89–93.
22. Barbash, V.A., Zinchenko, V.O., Trebus, I.V. (2012). Resursozberihaiuchi tekhnolohii pererobiannia stebel miskantusa [Resource-saving technologies for processing Miscanthus stems]. Naukovi visti «KPI» [KPI Scientific News], no. 5, pp. 118–124.
23. Lewandowski, I., Clifton-Brown, J., Trindade, L., Van der Linden, G., Schwarz, K., Muller-Samann, K. (2016). Progress on Optimizing Miscanthus Biomass Production for the European Bioeconomy: Results of the EU FP7 Project OPTIMISC. Front. Plant Sci. 7:1620. DOI: 10.3389/fpls.2016.01620.
24. Jurekova, Z., Kotrla, M., Paukova, Z. (2013). Life cycle of Miscanthus x giganteus (Greif et Deu)

grown in southwestern Slovakia conditions. *Acta regionalia et environmentalica*. Vol. 2, pp. 38–41.

25. Jensen, E., Farrar, K., Thomas-Jones, S., Hastings, A., Donnison, I., Clifton-Brown, J. (2011). Characterization of flowering time diversity in *Miscanthus* species. *GCB Bioenergy*. Vol. 3, pp. 387–400.

Technology of *Miscanthus* giant growing for energy purposes in the conditions of drained peatlands of the Left Bank Forest-Steppe of Ukraine

Virovka V., Opanasenko O., Perets S.

The paper highlights the peculiarities of growing *Miscanthus* for energy purposes in the conditions of drained peat bogs at the Panfil Experimental Station of the NSC "Institute of Agriculture of the NAAS". The economic and ecological advantages of growing energy plantations on reclaimed organogenic soils in comparison with rainfed lands in the zone of the Left-Bank Forest-Steppe of Ukraine are argued. The study substantiates the technology and the influence of its individual elements on the productivity of *Miscanthus* giant growing for energy purposes on old-sown hayfields of carbonate peatlands of the Forest-Steppe. The optimal biometric parameters of the planting material, as well as the planting density, the depth of the rhizomes embedding, the influence of the planting time on the growth and development indicators of the studied culture were determined. Developed and patented agrotechnical, together with a biological method of combating wireworms, which provides effective pro-

tection of *Miscanthus* plants at the beginning of the establishment of energy plantations. An environmentally friendly weed control technology has been applied, which excludes the use of chemicals, the introduction of herbicides, which, in turn, does not allow contaminating soil and river waters with harmful elements. The peculiarities of the nutrient regime of the soil and its biological activity in the experimental plots of *Miscanthus* giant on the drained carbonate peatlands of the Left Bank Forest-Steppe of Ukraine have been investigated. The effect of potash fertilization, as a key element in plant nutrition on organogenic soils, on the productivity of bioenergetic plantations of *Miscanthus* is studied. The energy output of bioenergy plantations per unit area has been determined depending on the elements of the cultivation technology. Calculations of economic and energy efficiency have been carried out. The developed technology for 3 years of *Miscanthus* cultivation ensures the yield of dry biomass at the level of 23.7–26.1 t/ha or 403–444 GJ/ha of energy. The best economic indicators were obtained on the option with a planting scheme (0.7 X 1.4 m) 10 thousand/ha, where the level of profitability made – 56 %, the cost of dry biomass made 529.6 UAH/t and the conditional net profit – 13157 g/ha.

Further directions of scientific research on the creation of bioenergetic plantations from *Miscanthus Giganteus* on drained carbonate peatlands of the Left Bank Forest-Steppe of Ukraine have been substantiated.

Key words: *Miscanthus*, mass of rhizomes, planting density, fertilizers, productivity, profitability.



Copyright: Вір'ювка В.М., Опанасенко О.Г., Перець С.В. © This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

ORCID iD:

Вір'ювка В.М.

Опанасенко О.Г.

Перець С.В.

<https://orcid.org/0000-0001-8828-8309>

<https://orcid.org/0000-0003-0035-8291>

<https://orcid.org/0000-0002-8155-064X>

