

Національна академія аграрних наук України
Панфільська дослідна станція
Національний науковий центр
«ІЗ НААН»

**СПОСОБИ
ПЛАНТАЦІЙНОГО ВИРОЩУВАННЯ
ЕНЕРГЕТИЧНИХ КУЛЬТУР,
ЯК СИРОВИНИ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА
ТВЕРДОГО БІОПАЛИВА**



**НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ АГРАРНИХ НАУК УКРАЇНИ
ПАНФІЛЬСЬКА ДОСЛІДНА СТАНЦІЯ
НАЦІОНАЛЬНИЙ НАУКОВИЙ ЦЕНТР
«ІЗ НААН»**

**СПОСОБИ ПЛАНТАЦІЙНОГО ВИРОЩУВАННЯ
ЕНЕРГЕТИЧНИХ КУЛЬТУР, ЯК СИРОВИНИ ДЛЯ
ВИРОБНИЦТВА ТВЕРДОГО БІОПАЛИВА**

Науково-практичні рекомендації

2023

УДК 631.615:631.62

Рекомендовано та затверджено до друку науково-технічною радою

Панфільської дослідної станції ННЦ «ІЗ НААН»

(протокол № 5 від 25.10. 2023 р.)

Рецензенти:

Слюсар І.Т., доктор с-г наук, професор, член-кореспондент НААН, головний науковий співробітник відділу сівозмін і землеробства на осушених землях ННЦ «ІЗ НААН».

Штакал М.І. доктор с-г, головний науковий співробітник ННЦ «Інститут землеробства НААН».

Способи плантаційного вирощування енергетичних культур, як сировини для виробництва твердого біопалива./ Є.В. Задубинна, О.Г. Опанасенко, О.А. Тарасенко, В.М. Вірьовка, С.В. Перець, С.В. Гелевера.

Рекомендації включають агротехнологічні заходи вирощування міскантусу гігантського з отриманням сировини для виробництва твердого палива на осушуваних органогенних ґрунтах.

Рекомендації призначені для агрономів, меліораторів, наукових співробітників.

ВСТУП.....	4
1.Агровиробничі умови вирощування міскантусу гігантського та напрямок досліджень.....	5
1.1.Погодні умови та вологість ґрунту.....	6
1.2.Поживний режим ґрунту.....	7
2.Технологія плантаційного вирощування міскантусу гігантського в умовах осушуваних органогенних ґрунтів.....	9
3.Особливості росту і розвитку рослин міскантусу.....	11
4.Продуктивність міскантусу залежно від елементів технології його вирощування	13
5.Економічна та енергетична ефективність вирощування міскантусу гігантського.....	15
6.Рекомендації виробництву.....	18
Перелік джерел посилання.....	21

ВСТУП

В останні роки важливого значення набуває вирішення енергетичного питання для України, а саме перехід від викопних енергетичних ресурсів до відновлювальних джерел енергії, тобто на біопаливо [2,3,4,6]. Для цього важливо створити власні джерела відновлювальної енергії на основі вирощування рослинної біоенергетичної сировини на вилучених з інтенсивного обробітку землях [7,8]. До таких земель відносяться і осушені торфові ґрунти, яких в Україні нараховується близько 0,8 млн.га. Вони оптимально підходять для вирощування енергетичних культур, оскільки добре забезпечені вологою та азотом, що дозволяє накопичувати рослинами досить потужну біомасу з помірним внесенням добрив [5,12,13].

Лабораторією сільськогосподарських та енергетичних культур Панфільської дослідної станції ННЦ «ІЗ НААН» проведено енергетичну оцінку перспективних видів малопоширених культур і природних фітоценозів та розроблено технології їх вирощування на біопаливо. У стаціонарному досліді було досліджено 18 багаторічних трав'янистих культур (топінамбур, топісоняшник, оман високий, сідач коноплевидний, сіда, сильфій пронизанолистий, свербіга східна, міскантус гігантський, сорго багаторічне, лаватера, румекс, щавель кінський, кропива коноплевидна та ін.).

На основі цих даних для подальших досліджень з плантаційного вирощування визначено найбільш перспективну культуру з багаторічних трав'янистих культур – міскантус гігантський.

Міскантус гігантський (*Miscantus giganteus*) – багаторічна трава, що належить до родини тонконогові. Швидкоростуча енергетична культура з високим вмістом целюлози вважається однією із найперспективніших енергетичних рослин європейської кліматичної зони, оскільки не дуже вибаглива до умов ґрунту, вологи та температури, може давати врожай на одному місці протягом 30 і більше років, а її продуктивність сягає 25-30 т сухої маси на 1 га. Важливе значення міскантусу для промислового

вироснування полягає у високому вмісті сухої речовини, низькій втраті маси наприкінці вегетації та високій стійкості 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. В той же період як біомаса інших енергетичних культур, як правило потребує досушування [1].

Згадані чинники доводять, що міскантус гігантський є однією з найперспективніших культур для вирощування його на вилучених з інтенсивного обробітку ґрунтах [9]. Однак, для промислового використання культури відсутня технологія вирощування, яка була б адаптована до умов осушуваних торфовищ Лівобережного Лісостепу України.

Тому, виникла потреба в розробці науково-обґрунтованих елементів технології вирощування міскантусу гігантського в умовах осушуваних ґрунтів з метою отримання високих врожаїв біомаси, в першу чергу як сировини для виробництва твердого біопалива.

Даний напрямок досліджень був спрямований на розробку і впровадження в виробництво технології вирощування міскантусу гігантського – однієї з найперспективніших енергетичних культур.

1. АГРОВИРОБНИЧІ УМОВИ ВИРОЩУВАННЯ МІСКАНТУСУ ГІГАНТСЬКОГО ТА НАПРЯМОК ДОСЛІДЖЕНЬ

Енергетичну культуру міскантус гігантський для перероблення на тверде паливо вирощували на середньо-глибокому 1,8-2,0 м осушуваному староорному карбонатному торфовищі рогово-осокового походження з високим ступенем розкладу, виведеному з інтенсивного обробітку в заплаві р. Супій (Панфільська дослідна станція ННЦ «ІЗ НААН» Бориспільського району, Київської області). Підстилаюча материнська порода – оглеєні алювіальні легкі суглинки. Валовий вміст азоту у торфовому ґрунті становить 1,9 %, фосфору – 0,45 %, калію – 0,17 %, кальцію 26-30 %, зольність складає 40-45 %, рН водної витяжки – 7,2-7,4. Ґрунт добре

забезпечений рухомими формами азоту, має середню забезпеченість фосфором (за рахунок вівіанітових прошарків), з обмеженим вмістом калію.

Осушувальна мережа дослідної станції складається з відкритих каналів глибиною 1,6-1,7 м через 400-600 м, які доповнюються періодичним проведенням кротового дренажу в поєднанні із шлюзуванням, за допомогою яких і відбувається регулювання рівнів ґрунтових вод та вологості ґрунту.

Дослідження проводились в (2021-2023 рр.) з питань вивчення впливу густоти садіння міскантусу на його продуктивність за чотирма варіантами:

- 0,7 м х 0,55 м (25 тис. шт. на 1га);
- 0,7 м х 0,7 м (20 тис. шт. на 1га);
- 0,7 м х 0,9 м (15 тис. шт. на 1га);
- 0,7 м х 1,4 м (10 тис. шт. на 1га).

Мінеральні добрива вносили за трьома варіантами:

- 1 варіант – без добрив;
- 2 варіант – калійні добрива у розрахунку 60 кг на 1га;
- 3 варіант – на фоні K_{60} вносили мікроелементи в першу чергу мідь (Cu), яка знаходиться в першому мінімумі, а також марганець (Mn), бор (B), цинк (Zn), молібден (Mo), за допомогою яких планувалось підвищити та стабілізувати продуктивність енергетичних культур та покращити технологічні показники якості біомаси.

1.1. Погодні умови та вологість ґрунту

Агрокліматичні умови за час проведення досліджень відрізнялися частими відхиленнями від середньорічних, як за кількістю опадів, так і за температурним режимом. Особливо значним відхиленням є температурний режим повітря у напрямку підвищених показників. Так, за роки проведених досліджень, погода характеризувалась теплішими показниками, що перевищувало середню багаторічну норму на 2,3-2,9 °C, та малою сумарною кількістю опадів, яка становила 78-85 % норми.

Особливо теплим був літній період, так, в червні температура повітря перевищувала норму в середньому на 3,9 °C з помірною кількістю опадів –

54,2 мм, середньодобова температура повітря в липні складала 22,3 °С, а в серпні температурний режим перевищував норму на 1,9 °С з випаданням опадів лише на рівні 26,8 мм. Вересень був бездощовим з сумарною кількістю опадів в 16,5 мм при нормі 40,4 мм, а температурний режим повітря – на 2,6 °С вище за норму. У найтепліші дні вересня максимальна температура повітря підвищувалася до позначки +28,2-30,0 °С, У другій декаді вересня спостерігали дуже теплу для цього періоду погоду з незначними опадами. Середні добові температури повітря у більшості днів були вищими за норму на 2-4 °С.

Але, не зважаючи на підвищений температурний режим і недостатню кількість опадів протягом вегетації, двостороннє регулювання водного режиму на осушуваних органогенних ґрунтах дало можливість оптимізувати вологозабезпеченість ґрунту і негативного впливу на ріст рослин міскантусу не спостерігалось. На відміну від мінеральних ґрунтів, де відсутність опадів в літній період і як наслідок недостатнє вологозабезпечення ґрунту негативно впливає на продуктивність міскантусу в даних умовах.

Вологість ґрунту на початку вегетації в травні місяці в середньому за роки досліджень (2021-2023 рр.) становила 77,0-81,6 % повної вологості в середині вегетації – липні 63,9-73,3 %, що відповідало нормі. В вересні місяці через відсутність опадів і води у зволожувальних каналах вона знижувалась до 49,7-55,1 % в 0-30 см орному шарі ґрунту, але не опускалася до нижньої межі оптимальної 40 % вологості.

1.2. Поживний режим ґрунту

Поживний режим ґрунту на осушених торфовищах характеризується доброю забезпеченістю азотом завдяки високому вмісту органічної маси. Динаміка забезпечення рухомим фосфором для нормального росту і розвитку рослин теж є достатньою за рахунок вівіанітових прошарків в торфовищі. Як видно з (табл. 1) вміст нітратів у ґрунті у весняний період знаходився в межах 311-427 на 1 кг. сухого ґрунту. Забезпечення ґрунту рухомим

фосфором було задовільним і коливалось в межах від 76-124 мг/кг сухого ґрунту.

Відомо, що торфові ґрунти дуже бідні на калій, а головним джерелом його поповнення є внесення мінеральних добрив. Для збалансування поживного режиму ґрунту ними на фоні K_{60} вносили додаткові мікроелементи: в першу чергу мідь (Cu), яка знаходиться в першому мінімумі, а також марганець (Mn), бор (B), цинк (Zn), молібден (Mo), за рахунок яких планувалось підвищити та стабілізувати продуктивність енергетичних культур, покращити технологічні показники якості біомаси.

Вміст калію в ґрунті на початку вегетації рослин міскантусу становив: на варіанті без добрив – 105-131 мг/кг сухого ґрунту, що відповідало недостатній забезпеченості; внесення K_{60} – 186-261 мг/кг сухого ґрунту, і $K_{60} + (Cu, Mn, B, Zn, Mo)$ – 225-269 мг/кг ґрунту, що відповідало середній і високій забезпеченості. Під впливом вегетуючого стеблостою міскантусу вміст калію поступово зменшувався і в кінці вегетації становив 126-141 мг/кг ґрунту.

В цілому поживний режим ґрунту був наближений до оптимальних показників за весь період росту і розвитку рослин міскантусу, що в кінцевому результаті забезпечило високу урожайність сухої біомаси.

Внесення калійних добрив мало безпосередній вплив на динаміку лінійного росту міскантусу і накопичення урожаю сухої речовини. Додаткове внесення мікроелементів на фоні калійних добрив суттєво не збільшило урожай міскантусу, але з іншого боку сприяло покращенню технологічних показників якості сухої біомаси.

Таблиця 1.1 – Поживний режим ґрунту на початку та в кінці вегетації міскантусу в шарі 0-30 см, мг/кг сухого ґрунту.

Густота садіння	Добрива	Поживні елементи					
		NO ₃		P ₂ O ₅		K ₂ O	
Посадка весною		I відб.	II відб.	I відб.	II відб.	I відб.	II відб.
25 тис/га	0	341	411	79	87	131	110
	K ₆₀	362	394	92	110	186	131
	K ₆₀ + (Cu,Mn,B,Zn,Mo)	411	357	77	76	224	141
20 тис/га	0	315	288	76	78	105	97
	K ₆₀	372	394	77	85	239	126
	K ₆₀ + (Cu,Mn,B,Zn,Mo)	427	412	70	91	265	133
15 тис/га	0	310	267	76	79	123	107
	K ₆₀	334	291	81	84	261	141
	K ₆₀ + (Cu,Mn,B,Zn,Mo)	346	277	79	74	261	162
10 тис/га	0	364	422	87	79	122	108
	K ₆₀	323	378	78	123	204	136
	K ₆₀ + (Cu,Mn,B,Zn,Mo)	311	325	81	82	269	141

2. ЕЛЕМЕНТИ ТЕХНОЛОГІЇ ПЛАНТАЦІЙНОГО ВИРОЩУВАННЯ МІСКАНТУСУ ГІГАНТСЬКОГО НА ОСУШУВАНИХ ОРГАНОГЕННИХ ҐРУНТАХ

Для закладання плантацій довготривалого строку використання міскантусу (20 років і більше) обґрунтовано і рекомендовано технологію, яка включає: фрезування дернини (середина вересня) багаторічних сінокісно-пасовищних угідь довготривалого користування на глибину 10-12 см, з наступною оранкою на 22-25 см і посівом гірчиці білої на сидерат.

При розміщенні міскантусу гігантського після багаторічних злакових трав необхідно попередньо застосовувати розроблений для даних умов

агротехнічний в поєднанні з біологічним спосіб боротьби з дротяником. Методика наступна: після оранки пласта багаторічних трав проводиться посів проміжної культури гірчиці білої, а з настанням фази формування й наливання насіння, рослини гірчиці подрібнюються і заробляються в ґрунт дисковими боронами. Пізно восени (кінець листопада) проводиться глибока оранка ґрунту на глибину 30-35 см, з утворенням гребенів висотою 14-18 см, при переході середньодобової температури через 0°C [11]. Даний метод боротьби знижує кількість дротяників в межах 65-76% від загальної його чисельності, що забезпечує мінімальне пошкодження сходів міскантусу в межах 5-8 % в перший рік його вегетації.

Весняний обробіток передбачає дворазове дискування площі на 10-12 см, з внесенням перед останнім дискуванням добрив. Підготовка до садіння садивного матеріалу міскантусу починається з викопування маточних кореневищ, як правило дворічних рослин, навесні перед садінням. Процес здійснюється картоплезбиральним комбайном типу КПК-2-0,1. Розділення кореневищ на ризоми проводять вручну. Головною вимогою досадивного матеріалу є наявність і кількість потенціальних бруньок, які можуть проростати. Їх кількість має бути не менше 3-5 шт. на одній ризомі [1,9].

Садіння ризомів проводиться при прогріванні ґрунту на глибині 10-12 см до 6-8 °C, за схемою посадки 0,7х1,4 (10 тис/га) оптимальна вага ризомів складає 50-70 г. Для механізованого садіння ризомів міскантусу може використовуватись картоплесажалка.

До і після садіння ризомів міскантусу проводиться коткування площі.

Спосіб боротьби з бур'янами – агротехнічний, досходове боронування і в подальшому дворазовий міжрядний обробіток сходів міскантусу, останній з підгортанням рослин ґрунтом у рядку.

Дана технологія апробована в умовах осушуваних органогенних ґрунтів Лівобережного Лісостепу і може використовуватись для створення плантацій міскантусу у виробничих умовах.

3. ОСОБЛИВОСТІ РОСТУ І РОЗВИТКУ РОСЛИН МІСКАНТУСУ

Дослідженнями встановлено орієнтовну тривалість міжфазних періодів рослин міскантусу: фаза три листочки-кущіння проходить в середньому за 38-40 днів, а вихід у трубку-викидання волоті тривало 116-119 доби. Вцілому, вегетаційний період міскантусу триває на осушуваних ґрунтах 180-184 доби. Внесення добрив K_{60} збільшує вегетаційний період на 4-5 діб в порівнянні з варіантом без добрив (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 – Орієнтовна тривалість міжфазних періодів рослин міскантусу протягом вегетації, діб.

Міжфазні періоди	Варіанти удобрення	
	Без добрив	K_{60}
Садіння – поява сходів	–	–
Сходи – три листочки	11	12
Три листочки – кущіння	40	38
Кущіння – вихід у трубку	13	15
Вихід у трубку – викидання волоті	116	119
Тривалість вегетаційного періоду	180	184

Урожайність міскантусу залежала від ряду чинників, а саме: добрив, густоти садіння ризомів, їхньої маси в перші роки, агротехніки вирощування, ґрунтово-кліматичних умов.

Важливим чинником в технології вирощування мускантусу є його густота садіння, оскільки вона безпосередньо впливає на площу живлення рослин, розростання кореневої системи, водного режиму, освітленість (сонячна інсоляція), а в кінцевому результаті на фотосинтетичну активність [17]. Під час вегетації пагони міскантусу весь час збільшуються у діаметрі за рахунок розростання кореневища. Площа живлення має важливе значення для нормального росту та розвитку рослин, особливо коли міскантус планується вирощувати на одному місці 20 років і більше.

Аналіз біометричних показників показує, що найвищим лінійним ростом на 6–8-й рік вегетації був на першому місці варіант зі схемою посадки

10 тис/га (0,7х1,40 м), за внесення K_{60} висота головного пагона рослин сягала 396 см.

З внесенням мікроелементів на фоні K_{60} – Cu, Mn, B, Zn, Mo, висота пагона становила 398 см, а без добрив 307 см. На варіанті де густота стояння рослин була 20 тис /га (0,7х0,7м) висота рослин на фоні K_{60} складала 388 см, K_{60} – Cu, Mn, B, Zn, Mo – 390 см і без добрив 287 см, що в середньому на 8-10 см нижче першого варіанту (табл. 3.2). Це можна пояснити більшою площею живлення рослин і кращими умовами їхнього росту на 6–8-й рік вегетації за схеми посадки (0,7х1,4 м) в порівнянні зі схемою (0,7х0,7м).

Таблиця 3.2 – Динаміка лінійного росту міскантусу залежно від густоти садіння та добрив.

Густота садіння, тис/га	Добрива	Дата вимірювання лінійного росту міскантусу, см		
		11.06	10.08	18.09
25	Без добрив	65	198	281
	K_{60}	73	296	385
	$K_{60} + (Cu, Mn, B, Zn, Mo)$	74	307	388
20	Без добрив	67	201	287
	K_{60}	75	309	388
	$K_{60} + (Cu, Mn, B, Zn, Mo)$	74	310	390
15	Без добрив	70	215	295
	K_{60}	77	317	392
	$K_{60} + (Cu, Mn, B, Zn, Mo)$	78	318	391
10	Без добрив	74	223	307
	K_{60}	79	326	396
	$K_{60} + (Cu, Mn, B, Zn, Mo)$	81	325	398

Висота головного пагона залежала від фону живлення і в кінці вегетації рослин становила: на варіанті досліду (0,7х0,9 м) K_{60} – 392 см, $K_{60} + (Cu, Mn, B, Zn, Mo)$ – 391см і на контролі без добрив 295 см. Позитивний ефект від внесення калійних добрив отримали на всіх варіантах досліду (табл. 3).

Що стосується впливу мікроелементів на лінійний ріст міскантусу, то суттєвої різниці в порівнянні з варіантом K_{60} не спостерігали.

4. ПРОДУКТИВНІСТЬ МІСКАНТУСУ ЗАЛЕЖНО ВІД ЕЛЕМЕНТІВ ТЕХНОЛОГІЇ ЙОГО ВИРОЩУВАННЯ

Основним підсумковим показником оцінки дії факторів у технології є урожайність. Проведеними дослідженнями за останні три роки вирощування культури (всього 8 років вегетації) встановлено, що найвища продуктивність міскантусу гігантського формувалась за густоти садіння (0,7x1,4 м) 10 тис/га з внесенням $K_{60} + (Cu, Mn, B, Zn, Mo)$, що стабільно забезпечує отримання в межах 29-31 т/га сухої біомаси з виходом 490-517 ГДж/га теплової енергії.

Таблиця 4.1 – Урожайність міскантусу та вихід енергії залежно від густоти садіння, добрив та мікроелементів.

Густота садіння тис/га	Удобрення	Урожайність зеленої маси, т/га				Урожайність сухої речовини, т/га				Вихід енергії ГДж/га
		2021	2022	2023	серед.	2021	2022	2023	серед.	
25	Без добрив	47,1	45,5	46,3	46,4	18,80	17,65	18,24	18,23	309,9
	K_{60}	79,5	76,4	77,8	77,9	31,03	29,33	28,54	29,60	503,2
	$K_{60} + (Cu, Mn, B, Zn, Mo)$	80,6	77,0	78,0	78,5	31,86	29,76	28,91	30,18	513,1
20	Без добрив	45,8	44,1	45,5	45,1	16,98	17,22	17,37	17,19	292,2
	K_{60}	77,4	76,4	77,1	77,0	30,12	29,00	28,75	29,29	497,9
	$K_{60} + (Cu, Mn, B, Zn, Mo)$	77,9	76,6	77,4	77,6	31,67	29,30	28,86	29,94	509,0
15	Без добрив	48,9	47,6	48,4	48,3	18,94	18,61	19,13	18,89	321,1
	K_{60}	75,7	75,7	77,5	76,3	29,79	28,77	29,06	29,21	496,6
	$K_{60} + (Cu, Mn, B, Zn, Mo)$	76,0	77,3	77,8	77,0	31,53	29,63	29,27	30,14	512,4
10	Без добрив	54,1	51,9	52,1	52,7	21,69	20,23	20,51	20,81	353,8
	K_{60}	76,1	77,2	78,8	77,4	30,28	29,04	29,37	29,56	502,5
	$K_{60} + (Cu, Mn, B, Zn, Mo)$	77,7	78,4	79,8	78,6	32,52	30,18	30,42	31,04	517,1
НІР ₀₅		За добривами 1,8 За схемою посадки -1,6 Загальне -3,4				За добривами-0,8 За схемою посадки-0,79 Загальне -1,68				

Прибавка урожаю від внесення мікроелементів на цьому варіанті в середньому за три роки становила 1,48 т/га сухої біомаси. На варіантах з густотою садіння 20 тис/га відповідний показник – 0,64 т/га і за густоти садіння 25 тис/га – 0,42 т/га. (табл. 4). Встановлено, що внесення мікроелементів мало позитивний вплив на покращення технологічних показників якості сухої біомаси.

Аналіз технологічних показників якості біомаси залежно від густоти садіння та добрив на 6–8-й рік вегетації плантацій показав, що найбільший вміст золи в біомасі міскантусу був на варіанті без добрив при густоті посадки 20 тис/га – 4,88 %, відповідно 10 тис/га – 4,23 %, а на варіантах з внесенням K_{60} цей показник знижувався до 3,54-4,09 %, і $K_{60} + (Cu, Mn, B, Zn, Mo)$ – 3,02-3,36 %.

Таблиця 4.2 – Технологічні показники якості біомаси міскантусу 6–8-го року вегетації залежно від щільності садіння добрив та мікроелементів

Показники якості	Одиниці виміру	0,7-0,7 м (20 тис. шт. га)			0,7-1,40 м (10 тис. шт. га)		
		Без добрив	K_{60}	$K_{60} + (Cu, Mn, B, Zn, Mo)$	Без добрив	K_{60}	$K_{60} + (Cu, Mn, B, Zn, Mo)$
Зольність	%	4,88	3,54	3,36	4,23	4,09	3,02
Азот	%	1,29	1,03	1,08	1,04	1,07	0,96
P_2O_5	%	0,18	0,06	0,25	0,09	0,11	0,06
K_2O	%	0,56	0,28	0,76	0,12	0,62	0,28
Свинець Pb	мг/кг	1,2	1,0	1,4	1,8	1,5	1,3
Кадмій Cd	мг/кг	0,2	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1
Мідь	мг/кг	0,2	0,1	0,3	0,1	0,2	0,2
Цинк	мг/кг	0,45	0,53	0,61	0,59	0,70	0,47

Таким чином встановлено, що внесення калійних добрив і мікроелементів позитивно впливали на поживний режим ґрунту, що призводило до зниження вмісту золи в біомасі.

Таку ж залежність спостерігали і з накопиченням азоту в сировині. Так, найбільша кількість азоту накопичувалась на ділянках без добрив – 1,04-1,29 %, з внесенням калійних добрив він знижувався до рівня 0,86-1,03 % за стандарту в 1,00 %. Решта показників була в межах норми. Відповідно до

чинних стандартів сировина відповідала вимогам до усіх показників, крім зольності і вмісту азоту. Останні перевищували допустимі норми на варіантах де не вносили калійні мінеральні добрива і мікроелементи (табл. 4.2).

Проведеними дослідженнями на 6–8-й рік вирощування міскантусу встановлено, що за схеми садіння (0,7x1,4 м) 10 тис/га, більш повніше використовуються фактори середовища, а саме волога, елементи живлення, сонячна радіація, і створюються оптимальні умови для росту, розвитку та реалізації біологічного потенціалу рослин міскантусу, що важливо при його плантаційному довготривалому (20 років і більше) вирощуванні.

5. ЕКОНОМІЧНА ТА ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИРОЩУВАННЯ МІСКАНТУСУ ГІГАНТСЬКОГО

На 6–8-ому році вирощування міскантусу гігантського на економічну ефективність найбільше впливали добриво і способи садіння. Внесення калійних добрив K_{60} і на їх фоні мікроелементів $K_{60} + (Cu, Mn, B, Zn, Mo)$ в порівнянні з варіантом без добрив забезпечує збільшення урожайності, а отже і зростання економічних показників. Так, на варіантах без добрив собівартість сухої біомаси була на рівні 438-461 грн/т, а за внесення K_{60} вона коливалась в залежності від варіанту вирощування в межах 383 грн/т і 412 грн/т, при цьому рівень рентабельності вирощеної продукції в першому випадку був нижчим і становив 114-123 %, в другому з внесенням калійних добрив він знаходився на рівні 138-157 % (табл. 6).

Економічні показники вирощування міскантусу на варіанті за схеми посадки (0,7x1,4 м) 10 тис/га і внесенні $K_{60} + (Cu, Mn, B, Zn, Mo)$ становили рентабельність 157 %, умовно чистий прибуток 18,2 тис грн/га, собівартість вирощеної біомаси 381 грн/т, що було практично на рівні з варіантом де вносили тільки калійні добрива.

Аналіз економічної ефективності вирощування міскантусу 6–8-го року показав, що за різної густоти стояння рослин показники собівартості вирощеної продукції та рівень рентабельності були такими: за найвищої

густоти стояння рослин 25 тис/га за внесенні K_{60} вона знаходилась на рівні 412 грн/т, а рентабельність складала 138 %, за найменшої загущеності рослин міскантусу 10 тис/га ці показники становили 389 грн/га і 152 % відповідно (табл. 5.1).

Таблиця 5.1 – Економічна ефективність вирощування міскантусу гігантського для виробництва твердого біопалива залежно від елементів технології вирощування в 2023 р.

Густота садіння, тис/га	Добрива	Вихід сухої біомаси т/га	Вартість сухої біомаси грн/га	Матеріально грошові витрати грн/га	Собівартість сухої біомаси грн/т	Умовно чистий прибуток грн/га	Рівень рентабельності %
25	Без добрив	18,2	17875	8321	456	9554	115
	K_{60}	28,5	27969	11749	412	16220	138
	K_{60}^{+} (Cu,Mn,B,Zn,Mo)	28,9	28332	11805	408	16827	143
20	Без добрив	17,3	17023	8012	461	9011	113
	K_{60}	28,7	28175	11172	389	17003	152
	K_{60}^{+} (Cu,Mn,B,Zn,Mo)	28,9	28283	11265	390	17018	151
15	Без добрив	19,1	18747	8544	447	10203	119
	K_{60}	29,6	28479	11130	383	17349	156
	K_{60}^{+} (Cu,Mn,B,Zn,Mo)	29,3	28685	11272	385	17413	154
10	Без добрив	20,5	20099	8995	439	11104	123
	K_{60}	29,4	28783	11435	389	17348	152
	K_{60}^{+} (Cu,Mn,B,Zn,Mo)	30,4	29812	11588	381	18224	157

Встановлено, що коефіцієнт енергетичної ефективності залежав в першу чергу від удобрення. Так, на ділянках без добрив він знаходився на рівні від K_{ee} від 6,6 до 7,3 залежно від густоти стояння рослин, а за внесення K_{60} він збільшувався до 9,5-10,3, і за внесенням мікроелементів на фоні $K_{60} + (Cu, Mn, B, Zn, Mo)$ відповідно становив 9,8-10,6. Кращим варіантом вирощування міскантусу за показником енергетичної ефективності виявився варіант з густотою стояння рослин 10 тис/га і внесення $K_{60} - Cu, Mn, B, Zn, Mo$, де коефіцієнт енергетичної ефективності складав 10,6 (табл. 5.2).

Таким чином, вивчення і проведення порівняльної оцінки різних способів вирощування міскантусу, дозволило визначити перспективний варіант досліду за схемою стояння рослин (0,7x1,4 м) 10 тис/га і внесенням

K_{60} – Cu, Mn, B, Zn, Mo, що на 6–8-й рік вирощування забезпечує вихід сухої біомаси 30,4 т/га і теплової енергії 517 ГДж/га.

Таблиця 5.2 – Енергетична ефективність вирощування міскантусу гігантського для виробництва твердого біопалива залежно від елементів технології вирощування.

Густота садіння, весняна посадка, тис/га	Добрива	Вихід сухої біомаси т/га	Вихід Теплової енергії ГДж/га	Витрати Сукупної (поновлювальної) енергії на 1га, ГДж.	Коефіцієнт енергетичної ефективності виробництва міскантуса K_{ee}
25	Без добрив	18,2	310,2	47,1	6,6
	K_{60}	28,5	485,2	51,0	9,5
	K_{60}^{+} (Cu,Mn,B,Zn,Mo)	28,9	491,5	51,2	9,6
20	Без добрив	17,4	292,7	42,4	6,9
	K_{60}	28,7	492,5	50,7	9,7
	K_{60}^{+} (Cu,Mn,B,Zn,Mo)	28,9	498,1	50,8	9,8
15	Без добрив	19,1	325,2	45,2	7,2
	K_{60}	29,1	494,0	47,5	10,4
	K_{60}^{+} (Cu,Mn,B,Zn,Mo)	29,3	497,6	48,2	10,3
10	Без добрив	20,5	348,7	47,8	7,3
	K_{60}	29,4	499,3	48,5	10,3
	K_{60}^{+} (Cu,Mn,B,Zn,Mo)	30,4	517,1	48,8	10,6

На цьому варіанті отримані кращі показники економічної і енергетичної ефективності з рівнем рентабельності 157 %, собівартістю продукції 381 грн/т, і коефіцієнтом енергетичної ефективності K_{ee} –10,6.

Підводячи підсумки результатів досліджень можна стверджувати, що вирощування міскантусу в умовах осушуваних органогенних ґрунтів має свої переваги в порівнянні з мінеральними ґрунтами в першу чергу завдяки двом лімітуючим факторам – високим запасам доступного для рослин азоту і двохсторонньому регулюванню водного режиму ґрунту, що в результаті покращує, як економічні так і екологічні показники в даних умовах.

РЕКОМЕНДАЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ

Для довготривалого плантаційного вирощування міскантусу гігантського в умовах осушуваних органогенних ґрунтів оптимальною густотою садіння є схема (0,7х1,4 м) 10 тис/га з внесенням $K_{60} + (Cu, Mn, B, Zn, Mo)$, що стабільно забезпечує отримання в межах 29-31 т/га сухої біомаси з виходом 490-517,1 ГДж/га теплової енергії і коефіцієнтом енергетичної ефективності K_{ee} 10,3-10,6. Прибавка урожаю від внесення мікроелементів в середньому на 6–8-й рік становить 1,4 т/га сухої біомаси. Крім цього, внесення калійних добрив і мікроелементів збалансовує поживний режим ґрунту та призводить до зниження вмісту золи до 3,02-3,36 % і азоту до рівня 0,86-1,03 %, що в цілому покращує технологічні показники якості біомаси до чинних стандартів.

Збір урожаю біомаси слід проводити кормозбиральним комбайном у період максимального накопичення сухої речовини, що на осушуваних ґрунтах припадає на другу декаду вересня, але косити міскантус на тверде біопаливо можна до нового року і пізніше, оскільки він стійкий до вилягання і мало втрачає сухої речовини.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. 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.
2. М.В. Роїк, В.М. Сінченко, В.І. Пиркін, В.М. Квак та ін. Міскантус в Україні: Монографія. К. ФОП Ямчинський О.В. 2019. 256 с.
3. М.В. Роїк. Енергетичні культури для виробництва біопалива. Наукові праці Полтавської аграрної академії. Енергозбереження та альтернативні джерела енергії: проблеми і шляхи їх вирішення. Полтава, 2010. Т7 (26). С. 12-17.
4. Слюсар. І.Т., Соляник О.П., Вірьовка В.М. Гера О.М., Сербенюк В.О., Ткачов В.О. Методичні рекомендації з технології вирощування енергетичних культур на осушуваних органогенних ґрунтах – К.: «Компринт», 2015. 27 с.
5. Дячук О. та ін.; за заг. Ред. Ю. Огаренка, О. Алієвої. Перехід України на відновлювальну енергетику до 2050 року: звіт за результатами моделювання базового та альтернативних сценаріїв розвитку біоенергетичного сектору. Київ: ТОВ «АРТ КНИГА». 2017. 88 с.
6. Michael B. Jones. (2001). Miscanthus for energy and fibre. Michael B. Jones, Mary Walsh. London: Earthscan, 192 p.
7. Кургак В.Г., Вірьовка В.М., Опанасенко О.Г. Технології вирощування багаторічних і однорічних енергетичних трав'янистих культур для виготовлення твердих видів палива (паспорт технологій) ННЦ «Інститут землеробства НААН». Чабани, 2018 р. 21с.
8. Квак В.М. Вплив строків садіння та глибини загортання ризомів міскантусу на його польову схожість. Цукрові буряки. Київ, 2012. № 6. С. 15-17.
9. Курило В.Л., Гументик М.Я, Квак В.М. Міскантус – перспективна енергетична культура для виробництва біопалива. Агробіологія. 2010. №4 (80). С. 62–66.
10. Патент на корисну модель 127596 Україна МПК А01В 79/02 (2006.01). Агротехнічний в поєднанні з біологічним спосіб боротьби з дротяником. Заявник і власник патенту Панфільська дослідна станція ННЦ «ІЗ НААН» заявлено 19.03.2018; Опубл. 10.08.2018, Бюл. №15
11. Слюсар І.Т., Соляник О.П., Сербенюк В.О., Гера О.М., Вірьовка В.М. Сінокоси і пасовища на осушуваних землях. К.; ЦП «Компринт», 2017. 257 с.
12. Артеменко В.І. Довідник по використанню осушених земель. Київ: Урожай, 1987. С. 114-127.
13. Долін В.Г. Методичні вказівки щодо обліку сільськогосподарських культур. Київ: Урожай, 1975. С. 6- 28.
14. Методика проведення дослідів по кормовиробництву. Під редакцією А.О. Бабича. Вінниця. 1994. 87 с.

Наукове видання

**ЗАДУБИННА Є.В.
ОПАНАСЕНКО О.Г
ТАРАСЕНКО О.А.
ВІРЬОВКА В.М.
ПЕРЕЦЬ С.В.
ГЕЛЕВЕРА С.В.**

**СПОСОБИ ПЛАНТАЦІЙНОГО ВИРОЩУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ
КУЛЬТУР, ЯК СИРОВИНИ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ТВЕРДОГО
БІОПАЛИВА**

НАУКОВО-ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ