МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет плодоовочівництва, екології та захисту рослин
Кафедра екології та безпеки життєдіяльності

Допущено до захисту
«___»_____2025 року
Зав. кафедри, к. с.-г. н., доцент
_____Ольга ВАСИЛЕНКО

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
магістра

ЕКОЛОГО-БІОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ВИРОЩУВАННЯ ТА МОЖЛИВОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ КУЛЬТУРИ МІСКАНТУСУ В РІЗНИХ ГАЛУЗЯХ ГОСПОДАРСТВА

Виконав: студент ІІ курсу, групи 21 м-ек
спеціальності 101 Екологія
освітньо-професійної програми
Екологія
Максим ВАРАНОВ
Керівник: Олександр БАЛАБАК

Умань – 2025

ЗМІСТ

ВСТУП 3

РОЗДІЛ 1. ВИКОРИСТАННЯ МІСКАНТУСУ В РІЗНИХ ГАЛУЗЯХ НАРОДНОГО ГОСПОДАРСТВА 5

1.1. Загальна характеристика представників роду міскантус. 5

.1.2. Промислові насадження міскантусу в Україні та за кордоном 7

1.3. Використання представників роду міскантус для виробництва енергетичних складових. 9

РОЗДІЛ 2. УМОВИ, ОБ'ЄКТИ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ 13

2.1. Природні умови регіону досліджень 13

2.2. Об'єкти досліджень 15

2.3. Схема досліду 19

2.4. Методика досліджень 20

2.5. Охорона праці 22

РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ 25

3.1. Визначення еколого-біологічних характеристик представників роду міскантус, характерних для регіону досліджень 25

3.2. Ріст і розвиток рослин міскантусу залежно від вологозабезпечення 28

3.3. Показники росту надземної частини рослин міскантусу за умов підживлення органічними добривами 32

3.4. Показники урожайності рослин міскантусу за умов вирощування 35

РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИРОЩУВАННЯ МІСКАНТУСУ 38

ВИСНОВКИ 41

ПРОПОЗИЦІЇ 42

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 43

ДОДАТКИ 48

ВСТУП

Сучасні виклики, пов’язані з вичерпністю традиційних енергетичних ресурсів, зростанням антропогенного навантаження на довкілля та необхідністю переходу до сталих моделей розвитку, стимулюють пошук альтернативних видів сировини для енергетики, промисловості та сільського господарства. Однією з перспективних культур, що відповідає цим вимогам, є міскантус – багаторічна високоенергетична рослина, яка поєднує цінні екологічні, біологічні та господарські властивості.

В умовах України культура міскантусу має особливе значення, оскільки відповідає стратегії розвитку відновлюваної енергетики, сприяє підвищенню енергонезалежності та може бути ефективно впроваджена як на орних землях, так і на деградованих чи малопродуктивних ґрунтах. Його вирощування забезпечує не лише отримання високоякісної біомаси для виробництва твердого біопалива, а й покращення екологічного стану ґрунтів за рахунок фітомеліоративних властивостей, зменшення ерозійних процесів та накопичення органічної речовини в ґрунті.

Міскантус має широкий спектр можливих напрямів використання: енергетичний, технічний, будівельний, агроекологічний та ін. Із біомаси міскантусу виготовляють пелети, брикети, біоетанол другого покоління, біокомпозити, підстилки для тваринництва, целюлозно-паперову продукцію, мульчувальні матеріали тощо.

Разом із тим ефективне впровадження міскантусу потребує детального аналізу його еколого-біологічних особливостей, адаптивного потенціалу до кліматичних умов, технологічних аспектів вирощування та економічної доцільності.

Тому комплексному вивчення міскантусу, набуває актуальності як у контексті екологічної безпеки та раціонального використання природних ресурсів, так і в аспекті розвитку інноваційних напрямів аграрної сфери та біоенергетики. Отримані результати можуть стати науковим підґрунтям для

подальшого впровадження цієї культури в Україні та підвищення ефективності використання земельних ресурсів.

Мета роботи – комплексно оцінити еколого-біологічні особливості вирощування міскантусу та обґрунтувати можливості його ефективного впровадження в різних галузях господарства.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

1. Проаналізувати сучасний стан вивчення культури міскантусу.
2. Оцінити природні та агроекологічні умови, що впливають на ефективність вирощування міскантусу,
3. Вивчити еколого-біологічні особливості рослин міскантусу.
4. Проаналізувати технологічні аспекти розмноження та вирощування рослин міскантусу в умовах насаджень.
5. Оцінити економічну ефективність впровадження міскантусу.

Наукове та практичне значення отриманих результатів.

Проведено оцінку приживлюваності ризом міскантусу та проаналізовано особливості формування надземної біомаси залежно від рівня ґрунтової вологості за умови застосування компостного субстрату.

Об’єкт дослідження – видове різноманіття представників роду міскантус.

Предмет дослідження – екологічні чинники та умови вирощування представників роду міскантус.

Апробація результатів роботи проводилася на Міжнародній інтернет-конференції «Наукове забезпечення виробництва конкурентоспроможної сільськогосподарської продукції в умовах формування екологічностійких агроландшафтів», 17 червня 2025 р. / М-во освіти і науки, Уманський НУ [та ін.], за заг. ред. Щетини С.В. Умань. 2025.

Структура та загальний обсяг дипломної роботи. Загальний обсяг роботи становить 49 сторінок комп’ютерного тексту. Дипломна робота складається з вступу, 4 розділів, висновків, пропозицій та додатку. Список використаних джерел нараховує 48.

РОЗДІЛ 1
ВИКОРИСТАННЯ МІСКАНТУСУ В РІЗНИХ ГАЛУЗЯХ НАРОДНОГО ГОСПОДАРСТВА

1.1. Загальна характеристика представників роду міскантус.

Міскантус (лат. *Miscanthus*) – рід багаторічних трав'янистих рослин родини Poaceae (тонконогові), який налічує близько 17 видів, природно поширених у тропічних і субтропічних регіонах Східної Азії, Південно-Східної Азії, а також у деяких районах Африки. Батьківщиною більшості видів вважаються Китай, Японія, Корея та Південно-Східна Азія, де міскантус здавна використовувався як кормова, технічна та декоративна культура [2, 4].

У Європі та США рід *Miscanthus* набув широкого поширення як високопродуктивна енергетична культура, що характеризується швидкими темпами росту, значним щорічним приростом вегетативної маси та здатністю ефективно фіксувати сонячну енергію завдяки С4-типу фотосинтезу [3, 6].

Міскантус – це потужна багаторічна злакова рослина із добре розвиненою кореневою системою, яка проникає у ґрунт на глибину до 2–2,5 м. Така глибина залягання коренів забезпечує рослині високі адаптивні властивості, зокрема стійкість до посухи, вітрових навантажень та поверхневого промерзання ґрунтів [11, 40].

Дана рослина різниться за основними ознаками, а саме стебло – жорстке, пружне, прямостояче, заввишки 2–4 м залежно від виду й умов вирощування. Діаметр стебла сягає 0,5–2 см; характерною є порожнина всередині та наявність вузлів, властивих злаковим. Листки – довгі, ланцетоподібні, чергового розташування, шириною 1–3 см та довжиною 60–100 см. Листкові пластинки грубі, із виразною центральною жилкою, інколи з сизим або сріблястим відтінком, що утворюється внаслідок щільного воскового нальоту. Суцвіття – великі, волотисті, часто пухнасті, довжиною 20–30 см. Суцвіття складаються з колосків із двоквітковими колосковими лусками, які наприкінці вегетаційного періоду набувають сріблястих або рожевих відтінків. Коренева система –

ризоматозна, горизонтально розгалужена. Розгалуження кореневищ дозволяє формувати щільні дернинки, здатні існувати на одному місці до 25–30 років. Насіння утворюється не у всіх видів в умовах помірного клімату; наприклад, широко вирощуваний *Miscanthus giganteus* є стерильним гібридом і розмножується виключно вегетативно [20, 21], (рис. 1).



Рисунок 1. Проведення досліджень на ділянці маточних насаджень міскантусу кафедри екології та безпеки життєдіяльності УНУ, 2024–2025 рр.

Крім того, міскантус характеризується високою екологічною пластичністю, що дозволяє вирощувати його в широкому діапазоні кліматичних умов – від субтропічних до помірних. Серед ключових еколого-біологічних особливостей є С4-тип фотосинтезу, який забезпечує високу ефективність поглинання CO_2 та перетворення сонячної енергії в біомасу, низькі вимоги до родючості ґрунту – міскантус може рости на суглинках, супісках, піщаних ґрунтах і навіть на деградованих землях, висока посухостійкість завдяки глибокій кореневій системі, добра морозостійкість: різні види витримують зниження температури до –20…–25 °С, толерантність до тимчасового перезволоження, що дозволяє вирощувати культуру в зонах із

надлишковою вологою та здатність до поглинання та утилізації надлишкових поживних речовин і важких металів робить міскантус корисною фітомеліоративною культурою [5, 8].

Особливо цінним є той факт, що міскантус ефективно засвоює вуглець, зберігаючи його у вигляді довготривалої біомаси й ґрунтового гумусу. Це робить культуру важливою для кліматично нейтральної енергетики. Міскантус вважається однією з найперспективніших енергетичних культур європейської кліматичної зони [7, 33].

Основними перевагами цієї енергетичної культури є висока продуктивність – урожайність міскантусу може досягати 30–35 т/га сухої маси, високий вміст целюлози — від 40 до 50%, що є оптимальним для виробництва біоетанолу, пелет, брикетів та целюлозних матеріалів, низька собівартість вирощування через відсутність потреби у великих дозах добрив і пестицидів та довготривале використання насаджень – до 30–40 років без пересівання і пересаджування [28, 29].

Вирощування міскантусу має низку екосистемних переваг, а саме зміцнення структури ґрунту, зменшення ризику водної та вітрової ерозії, збільшення вмісту органічної речовини, оскільки післяжнивні та кореневі рештки щороку поповнюють запас гумусу, поліпшення біорізноманіття, створення придатних умов для комах, птахів і дрібних тварин, поглинання CO_2 – 1 га плантації міскантусу може поглинати до 30 т CO_2 щорічно, що робить його потужним біологічним бар’єром проти зміни клімату [22, 24].

Цей комплекс показників пояснює інтерес до міскантусу, як частини концепції сталого сільського господарства, відновлюваної енергетики та екологічної модернізації агроландшафтів.

.1.2. Промислові насадження міскантусу в Україні та за кордоном

Ґрунтово-кліматичні умови більшості регіонів України є надзвичайно сприятливими для культивування багаторічних енергетичних рослин, які відзначаються високою здатністю до інтенсивного фотосинтезу та ефективного

акумулювання сонячної енергії у вигляді енергомісткої біомаси. До важливих переваг рослин цієї групи належать низькі вимоги до родючості ґрунту, мінімальна потреба у добривах і засобах захисту рослин, здатність зміцнювати структуру ґрунту й запобігати його ерозії, а також позитивний вплив на стан агроекосистем. Сукупність цих факторів забезпечує формування якісної біомаси з низькою собівартістю [9, 10].

Однією з найбільш перспективних культур цього типу є види роду Miscanthus, які вже багато десятиліть вирощуються у США та країнах Західної Європи як цінна сировина для виробництва біоенергії й біопродуктів. Український досвід культивування міскантусу показує, що вже через два роки після закладання плантації рослина вступає у стабільний період продуктивності й протягом приблизно двадцяти років може щорічно забезпечувати урожай сухої біомаси на рівні 20–25 т/га [12, 14, 36].

Перші дослідні й промислові насадження міскантусу в Україні були створені у 2006–2007 роках у Харківській та Житомирській областях. Починаючи з 2008 року активні роботи з упровадження культури як альтернативного джерела енергії проводяться також у Тернопільській області. У 2013–2015 роках площі під міскантус розширилися і в інших регіонах держави, що свідчить про високу зацікавленість аграрного сектору в цій культурі [12, 14].

Поряд із розширенням площ ведеться активна селекційна робота, спрямована на вдосконалення існуючих генотипів і створення нових високопродуктивних сортів. Завдяки морозостійкості, невибагливості та хорошій адаптованості міскантус став перспективною культурою для українських умов. До Державного реєстру сортів рослин України включено кілька національних сортів міскантусу гігантського – «Універсальний», «Поліський», «Енергетичний», «Осінній зорецвіт», а також сорт міскантусу китайського «Місячний промінь» [13, 18].

У країнах Європейського Союзу відбувається активне розширення площ під міскантус. Якщо у 1990-х роках ця культура займала лише близько 170 га,

то вже до 2011 року площі збільшилися у десятки разів. Лідером у вирощуванні міскантусу є Велика Британія (близько 11 100 га), хоча середня врожайність тут становить лише 10–15 т/га. Значні площі культури наявні також у Франції, Ірландії, Німеччині, Австрії та Швеції (450–3000 га). У країнах, таких як Італія, Бельгія, Нідерланди та Данія (64–100 га), міскантус розглядається як стратегічно важлива сировина для біоенергетики, целюлозно-паперової промисловості та виробництва інноваційних матеріалів [17, 19].

У Китаї міскантус широко застосовується як альтернатива деревині у паперовому виробництві, що сприяє зниженню вирубки лісів та економії природних ресурсів. У США культура високо цінується за здатність рости на малородючих землях, що дозволяє вивільняти продуктивні сільськогосподарські землі для продовольчих культур [26, 35].

Отже, біомаса міскантусу є одним із найбільш перспективних джерел відновлюваної енергії, яке здатне забезпечити стабільну, екологічно чисту та економічно вигідну сировинну базу для різних галузей господарства. Ключовою перевагою цієї енергетичної культури є можливість отримання щорічно до 20–25 т сухої маси з 1 га протягом тривалого періоду експлуатації плантації. Крім того, вирощування міскантусу сприяє поліпшенню стану ґрунтів, підвищенню їх родючості, а також зменшенню викидів CO_2, що є важливим внеском у боротьбу зі зміною клімату.

1.3. Використання представників роду міскантус для виробництва енергетичних складових.

Рослини роду *Miscanthus* останніми десятиріччями привертають значну увагу науковців та виробничників завдяки своїм унікальним енергетичним, екологічним та технологічним властивостям. Це одна з найбільш перспективних багаторічних культур, здатних забезпечити стабільне надходження високоякісної біомаси для широкого спектра галузей народного господарства. Значне застосування міскантус отримав у сфері біоенергетики, де він розглядається як стратегічна культура для виробництва твердих, рідких та

газоподібних видів палива, що можуть стати альтернативою традиційним викопним ресурсам [37, 41].

Одним із найпоширеніших напрямів використання біомаси міскантусу є виробництво твердих видів біопалива – брикетів та пелет, які можуть безпосередньо використовуватися в системах опалення різного масштабу. Січка рослинної маси після подрібнення є придатною для прямого спалювання, при цьому забезпечує стабільне горіння і високу теплотворну здатність [30, 42].

Порівняно з вугіллям, пелети з міскантусу мають суттєво нижчу зольність та менші викиди токсичних речовин, що робить їх екологічно більш безпечним варіантом для енергетики. Зола, що залишається після спалювання, може використовуватися як калійне добриво, сприяючи замкненому біологічному циклу у рослинництві [23, 32].

Велика перевага полягає у відповідності пелет європейським стандартам якості за показниками щільності, зольності, вмісту небезпечних домішок та теплотворної здатності. Енергетична цінність біомаси міскантусу становить до 19 МДж/кг, що порівняно з деревиною й часто перевищує показники деяких видів бурого вугілля. Залежно від технології пресування, брикети можуть бути циліндричними, прямокутними або у формі шестигранної призми з отворами, що оптимізує процес горіння [27, 34].

Міскантус належить до целюлозовмісних культур, що робить його цінною сировиною для целюлозно-паперової промисловості. Хімічний аналіз надземної маси рослин показує, що вона містить у середньому 44% целюлози, 17% лігніну та 24% геміцелюлози. Такий склад наближає сировину міскантусу до деревної та дозволяє використовувати її у виробництві паперу, картону, волокон для технічних і пакувальних матеріалів [34].

У Китаї, де особливо поширений міскантус цукроквітковий (Miscanthus acchariflorus), він використовується як головна сировина для виготовлення паперу, оскільки рослина природно скидає листя взимку, і зібрана біомаса містить менше домішок. Технології переробки передбачають хімічне виварювання у розчині каустичної соди та подальше освітлення за допомогою

сульфату натрію. Целюлоза, отримана азотокислим методом, характеризується високими якісними показниками: вологість 2,7–3,6%, зольність 4,2–4,5%, вміст α-целюлози – до 94% [12].

Порівняння фізико-хімічних властивостей целюлози з міскантусу та деревної сировини показало їхню подібність, що підтверджує можливість часткової чи повної заміни деревини у паперово-картонній промисловості та зниження навантаження на лісові ресурси [25].

Особливої уваги заслуговує здатність міскантусу не накопичувати значні кількості радіонуклідів, зокрема цезію-137. Дослідження на територіях радіоактивного забруднення показали, що коефіцієнт переходу цезію-137 у рослини становить лише 0,10–0,22 Бк/кг/кБк/м², що відповідає значенням, характерним для зернових культур. Завдяки цьому міскантус є однією з найперспективніших культур для використання на землях обмеженого сільськогосподарського призначення [36].

У країнах Європи (Австрія, Швейцарія) біомаса міскантусу активно застосовується у виробництві натуральних будівельних матеріалів, зокрема легких бетонів, плит для утеплення, шумоізоляційних матеріалів, штукатурок, елементів віконних та дверних конструкцій. Міскантусова січка додає матеріалам легкість, підвищує тепло- й звукоізоляційні властивості, а також зменшує їхню собівартість [43].

У тваринництві, особливо у Швейцарії, Німеччині та Англії, січку довжиною близько 15 мм застосовують як підстилку, яка втричі краще за солому утримує вологу. Це забезпечує кращі санітарно-гігієнічні умови утримання тварин, знижує споживання дезінфекційних матеріалів і сприяє комфорту худоби [39].

Біомаса міскантусу є перспективною сировиною для виробництва біоетанолу другого покоління, біопластиків та екологічно чистих полімерів, що розкладаються природним шляхом. У світовій практиці вже працюють технології виготовлення органічних композитів на основі міскантусових

волокон – для деталей автомобільних кузовів, лиття полімерних виробів, виготовлення ємностей, упаковки та товарів побутового призначення [24].

У сільському господарстві використовуються горщики для розсади, біорозкладні нитки та мульчувальні матеріали на основі міскантусу. Його січка довжиною 5–30 мм застосовується як високоефективна мульча для городніх та ягідних культур. Шар мульчі 5–7 см значно знижує водну та вітрову ерозію, пригнічує ріст бур'янів, зменшує випаровування вологи, покращує структуру ґрунту та сприяє підвищенню врожайності [16].

Мульча з міскантусу використовується також у процесах компостування та переробки органічних відходів, адже вона має нейтральний *pH* і не змінює кислотність ґрунтів. Рослина виконує важливу екологічну функцію як природний бар'єр проти ерозійних процесів у гірських районах, сприяє формуванню біорізноманіття та створенню буферних зон між природними та агрокультурними територіями [15].

Вирощування багаторічних енергетичних культур, зокрема міскантусу, сприяє збагаченню ґрунту органічною речовиною через надходження кореневих і післяжнивних решток, підвищенню рівня гумусу, стабілізації ґрунтової мікрофлори завдяки багаторічному відсутності інтенсивного механічного обробітку, зменшенню ерозійних процесів та покращенню водного балансу [25].

Масове впровадження міскантусу у виробництво може зробити істотний внесок у розвиток біоенергетичного сектора України, зокрема зменшити залежність від імпортних енергоносіїв, сформувати локальну систему енергозабезпечення за рахунок відновлюваних ресурсів, створити нові робочі місця у сільській місцевості, покращити стан довкілля завдяки скороченню викидів CO_2 та використанню екологічних матеріалів [31, 38].

У комплексі ці переваги роблять міскантус однією з ключових культур майбутнього, яка поєднує значний енергетичний потенціал із важливими екологічними функціями.

РОЗДІЛ 2
УМОВИ, ОБ'ЄКТИ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Природні умови регіону досліджень.

Дослідження проводилися упродовж 2024–2025 рр. на дослідних ділянках кафедри екології та безпеки життєдіяльності Уманського національного університету та в межах урбанізованої території міста Умань. Досліджувана локальна територія входить до складу Лісостепової зони України – однієї з найбільш різноманітних у природно-географічному відношенні областей країни. Лісостеп займає понад 34 % території України, що становить близько 205 тис. км², і простягається між Поліссям на півночі та степовою зоною на півдні. Територія цієї зони витягнута в широтному напрямку на майже 1100 км, а її ширина коливається в межах 150–330 км, залежно від регіональних особливостей рельєфу та клімату [1].

Північний кордон Лісостепу умовно проходить через населені пункти Володимир-Волинський – Луцьк – Рівне – Червоноград – Рава-Руська – Шепетівка – Житомир – Київ – Ніжин – Глухів. Південна межа пролягає лінією Ананьїв – Добровеличківка – Кропивницький – Кременчук – Зміїв. У структурі Лісостепу виділяють шість кліматичних районів: Західний, Подільський, Придністровський, Правобережний, Лівобережний і Східний, кожен з яких характеризується власними мікрокліматичними особливостями, структурою ґрунтового покриву та рівнем зволоження[1].

Місто Умань та прилеглі території належать до Правобережного Лісостепу, який охоплює південно-східні райони Житомирської області, центральну та східну частини Вінниччини, правобережні території Київщини, Черкаську область, а також північні частини Полтавської й Кіровоградської областей. Саме цей регіон вирізняється оптимальним поєднанням теплових ресурсів і кількості опадів, що є важливим чинником для розвитку аграрного та лісогосподарського виробництва [1].

Клімат досліджуваної території характеризується як помірно континентальний із вираженою сезонністю, нестійким зволоженням та

значною міжрічною мінливістю температурних і опадових режимів. Для півдня Черкаської області, а також прилеглих частин Київської, Кіровоградської та Вінницької областей характерними є такі показники, як середньорічна температура повітря, що становить +7,1…+8,6°С, абсолютний мінімум температури у зимові місяці (січень–лютий) може знижуватися до –36°С, абсолютний максимум у літній період (липень–серпень) сягає +36…+39°С, річна кількість опадів у середньому дорівнює 600–650 мм, із максимумом у червні–липні (90–100 мм) та мінімумом у січні–лютому. відносна вологість повітря змінюється в межах 64–88 %, підвищуючись восени та зменшуючись у передлітній період. суми активних температур вище +5 °С досягають близько 3000°, а вище +10°С – 2500–2800°[1].

Гідротермічний коефіцієнт (ГТК) у середньому становить 1,18, проте залежно від року може варіювати, відображаючи зміни рівня зволоження та погодних умов. Нерівномірність розподілу опадів упродовж року часто супроводжується періодами літніх засух, суховіїв та тривалих бездощових інтервалів, що істотно впливає на водний баланс ґрунтів і загальний стан рослинності [1].

Середньодобові температури переходять через позначку 0°С у середньому 15–16 березня (стійкий перехід до теплих умов) та 22–24 листопада (вступ у зимовий період). Початок вегетаційного періоду фіксується, коли середньодобові температури перевищують +5°С, тобто приблизно 4–8 квітня. Завершується він у кінці жовтня – на початку листопада. Тривалість активної вегетації становить 200–212 днів, що забезпечує достатній тепловий ресурс для розвитку більшості сільськогосподарських та декоративних культур [1].

Осінні приморозки частіше припадають на першу декаду жовтня, але можуть виникати як раніше (кінець вересня), так і пізніше (перша декада листопада). Весняні приморозки зазвичай припиняються наприкінці квітня, однак окремими роками спостерігаються повернення холоду аж до кінця травня [1].

Стійкий сніговий покрив формується переважно у першій декаді грудня. Тривалість залягання снігу варіює, але танення зазвичай починається в першій

декаді березня, тоді як повне зникнення може відбуватися навіть у середині квітня [1].

Такі особливості свідчать про складність зимового періоду для багаторічних рослин та зелених насаджень, особливо в умовах міста, де додатково проявляються урбаністичні ефекти – теплові «острови» та забруднення повітря [1].

Комплекс природно-кліматичних характеристик регіону визначає специфіку функціонування зелених насаджень у межах міста Умань. Значні добові та сезонні коливання температури, нерівномірний розподіл опадів, регулярні літні періоди посухи й суховії створюють додаткове антропогенно-кліматичне навантаження на рослинні угруповання [1].

До ключових факторів, які ускладнюють вирощування та утримання рослинності в умовах міста, належать дефіцит вологи влітку та пересихання ґрунтів, підвищена температура повітря внаслідок ефекту «міського теплового острова», ущільнення ґрунту та зниження його водопроникності; зростання рівня пилового та газового забруднення; зменшення біологічної стійкості рослин під дією екологічних стресів [1].

Тобто у таких умовах вирощування виникає потреба у застосуванні адаптованих технологій догляду за рослинами, використанні високоякісних органічних добрив, мульчуванні, оптимізації режимів поливу та добрив, а також у підборі видів і сортів рослин із підвищеною стійкістю до кліматичних чинників.

2.2. Об’єкти досліджень

Miscanthus × *giganteus*. Міскантус гігантський – високопродуктивна багаторічна кущиста трав’яниста рослина, що належить до групи С4-подібних видів з підвищеною ефективністю фотосинтезу та здатністю активно акумулювати біомасу за умов високих температур і інтенсивного освітлення. Це природний стерильний триплоїдний гібрид, що виник унаслідок природного схрещування *Miscanthus sacchariflorus* та *Miscanthus sinensis*. Його природний ареал охоплює Східну Азію, зокрема Японію, Китай та Корею (рис.2).



Рисунок 2. Рослина міскантусу гігантського, дослідна ділянка кафедри екології та безпеки життєдіяльності УНУ, 2025 р.

Рослини характеризуються стрімким ростом і здатні досягати 3,0–3,5 м у висоту, формуючи потужні колоноподібні кущі діаметром до 1,5 м. Завдяки інтенсивному росту та декоративним властивостям *M.* × *giganteus* є цінною культурою, як для енергетичного використання, так і для ландшафтного озеленення.

Стебла жорсткі, щільні, з високою механічною міцністю. Листки лінійні, дугоподібно вигнуті, розташовані по всій висоті пагона, відходять від стебла під кутом, створюючи характерну фонтаноподібну крону. Забарвлення листків темно-зелене, ширина пластинки до 25 мм. Вздовж листка проходить виразна біла серединна жилка – характерна ознака багатьох міскантусів. Нижні листки

часто відмирають у другій половині літа, що є природним процесом адаптації до сухих умов.

Під час цвітіння рослина набуває високої декоративності. На верхівках стебел формуються великі розлогі волоті з легким рожевим відтінком, які згодом набувають сріблястого забарвлення. Суцвіття зберігаються на кущах до перших морозів, що робить рослину ефектним елементом зимового та осіннього ландшафту.

M. × *giganteus* невибагливий до ґрунтових умов, добре росте на суглинках, супіщаних та структурованих чорноземах. Висока адаптивність до помірно-континентального клімату, стійкість до шкідників, грибкових захворювань та коливань температур сприяють його використанню як перспективної енергетичної культури. Завдяки стерильності вид не є інвазивним, що важливо з екологічної точки зору.

Miscanthus sinensis (Міскантус китайський). Багаторічна кущиста злакова рослина, широко поширена в природних умовах Східної Азії. Цей вид вирізняється високою декоративністю, різноманіттям сортів і форм, зокрема карликових, строкатолистих та пурпурових, що робить його популярним у декоративному садівництві.

Рослини формують вертикальні, дещо жорсткі стебла, які біля основи вкриті листям коричнево-зеленого забарвлення. Висота дорослого куща становить до 3 м, залежно від сорту та умов вирощування.

Листя вузьке, лінійне, шорстке, жорсткої текстури, завширшки 1–1,5 см. Центральна жилка добре виражена, товста, інколи контрастно забарвлена. Листки тримаються на стеблах тривалий час, надаючи рослині графічного вигляду. У деяких сортів край листка має червонуватий або сріблястий відтінок.

Суцвіття – багатоквіткові віялоподібні волоті довжиною 10–30 см. Колоски дрібні (0,3–0,7 см), оточені шовковистими волосками, що надає суцвіттю пухнастої, повітряної фактури. Цвітіння настає пізно – наприкінці літа або на початку осені, що є важливою особливістю виду.

M. sinensis здатний рости на різних типах ґрунтів, проте надає перевагу свіжим, добре зволоженим субстратам. На сухих ділянках розвивається повільніше та формує менш об’ємні кущі. Є морозостійким видом, витримує значні похолодання без укриття.

Miscanthus sacchariflorus (Міскантус цукроквітковий). Це один з батьківських видів *M. × giganteus*, багаторічна кореневищна трава заввишки 1,5–3 м. Має потужне кореневище, горизонтальне, яке активно розповсюджується;, суцвіття волотисті, зі сріблясто-білим відтінком, вид особливо цінний для виробництва паперової целюлози, має високу зимостійкість, добре переносить підтоплення.

У природі росте вздовж водойм, на вологих луках, заплавах річок, що робить його придатним для фітомеліораційних проєктів та зміцнення берегів.

Miscanthus floridulus (Міскантус флоридулус). Один із найвищих видів цього роду, за сприятливих умов може досягати близько 4 м. Має широкі, довгі листки зі сріблястою жилкою, потужні стебла, здатні витримувати сильні вітри та великі пухнасті волоті із золотистим відтінком. Рослина теплолюбна, походить з субтропічних районів Океанії, тому в Україні використовується переважно як декоративна культура у південних регіонах.

Miscanthus transmorrisonensis. Компактніший, більш теплолюбний вид родом з Тайваню. Висота рослин 1,2–2 м. Вирізняється раннім цвітінням, утворенням рясних фіолетових або рожевих волотей, високою декоративністю у період осіннього забарвлення листя (золотисто-червоні відтінки), стійкістю до вітру та короткочасних затримок вологозабезпечення.

Miscanthus condensatus. Сильнорослий вид з товстими стеблами, висотою до 3 м. Характерними ознаками є надзвичайно жорстке, щільне листя, суцвіття густі, масивні, добре тримають форму та відзначаютьтся високою стійкістю до посухи. Широко використовується у декоративному садівництві, особливо в приморських зонах.

Тобто, рід *Miscanthus* представлений значною кількістю видів із високою екологічною пластичністю, швидким нарощуванням біомаси, цінними

декоративними властивостями та широкими можливостями практичного застосування – від біоенергетики до ландшафтної архітектури. *M. × giganteus* та *M. sinensis* є ключовими видами для використання в умовах України, оскільки поєднують високу продуктивність, невибагливість до середовища, стійкість до кліматичних стресів та цінні морфологічні та декоративні характеристики.

2.3. Схема досліду

Польові дослідження було закладено та проведено на базі Уманського національного університету садівництва протягом 2024–2025 років. Дослід розміщували відповідно до загальноприйнятих методик закладення польових експериментів. Загальна площа дослідної ділянки становила 30 м², з яких 25 м² припадало на облікову площу. Повторність досліду – чотириразова, що забезпечувало достатню статистичну надійність результатів та можливість подальшого дисперсійного аналізу [11, 23].

Метою досліду було визначення впливу різних способів застосування біокомпосту та його витяжки на ріст, розвиток і продуктивність рослин міскантусу. Схема досліду включала чотири варіанти, що відрізнялися способами внесення та застосування органічних препаратів:

Варіант 1 – контрольний (без застосування біокомпосту).

У цьому варіанті вирощування міскантусу здійснювалося без використання біокомпосту чи його рідкої витяжки. Варіант слугував еталоном для порівняння з іншими дослідними умовами.

Варіант 2 – замочування посадкового матеріалу у витяжці біокомпосту.

Перед висаджуванням кореневища міскантусу занурювали у водну витяжку біокомпосту на визначений час. Метою було оцінити передпосадкову стимулюючу дію біологічно активних речовин, що містяться у витяжці.

Варіант 3 – внесення біокомпосту безпосередньо в лунку.

Під час садіння у кожну лунку закладали певну норму біокомпосту, ретельно перемішуючи його з верхнім шаром ґрунту. Даний варіант дозволяв

оцінити ефективність локального живлення в зоні розміщення кореневої системи.

Варіант 4 – комбіноване застосування біокомпосту (внесення в лунку + замочування у витяжці).

Посадковий матеріал попередньо замочували у витяжці біокомпосту, після чого висаджували у лунки з додаванням біокомпосту. Такий підхід поєднував передпосадкову обробку та локальне внесення органічного добрива і давав змогу встановити можливий синергічний ефект від комплексного застосування.

Запропонована схема досліду забезпечила вивчення як окремого, так і комбінованого впливу біокомпосту на формування морфологічних показників, біометричних параметрів та загальну продуктивність міскантусу.

2.4. Методика досліджень

Упродовж усього вегетаційного періоду було проведено комплекс польових та лабораторних досліджень, спрямованих на встановлення впливу вологості ґрунту та способів застосування біокомпосту на ріст, розвиток, морфологічні параметри рослин міскантусу та формування виходу садивного матеріалу (ризомів) [11].

Методична основа досліджень поєднувала біоморфологічні, біометричні, фізіолого-біохімічні та ґрунтові аналітичні методи, що дозволило комплексно оцінити реакцію рослин на різні умови вирощування.

Визначення вологості ґрунту

Вологість ґрунту визначали термостатно-ваговим методом, який передбачає висушування ґрунтових проб до постійної маси. Відбір проб здійснювали послідовно з інтервалом через кожні 20 см на глибину 100 см, що дозволяло оцінити вологість орного та підорного шарів. Для зменшення похибки проби відбирали у трикратній повторності [11].

Біометричні дослідження рослин

Для комплексної оцінки ростових процесів міскантусу застосовано низку біометричних методик, що включали:

Вимірювання висоти рослин за допомогою рулетки або рейки-висотоміра з точністю до 1 см; обліки проводили тричі за сезон (початок інтенсивного росту, період трубкування, перед збиранням).

Визначення діаметра куща за двома перпендикулярними напрямками з подальшим обчисленням середнього значення.

Облік кількості пагонів та листків на рослині, що дозволяло оцінити інтенсивність кущіння.

Вимірювання довжини та ширини листкової пластинки (методом лінійних промірів), що застосовували для розрахунку листкової площі.

Розрахунок листкової площі шляхом використання коригувальних коефіцієнтів до площі прямокутника, описаного довжиною і шириною листка. За потреби застосовували портативний листковий площомір.

Визначення площі фотосинтетичної поверхні рослинності за затвердженою методикою [8].

Вивчення біомаси та структури врожаю

Для встановлення продуктивності рослин проводили такі визначення:

Сира та суха маса надземної частини — шляхом зважування вибіркових рослин із подальшим висушуванням у сушильній шафі до постійної маси.

Вміст сухої речовини – розраховували як відсоткове співвідношення сухої маси до сирої.

Маса кореневищ (ризомів) – визначалась після промивання, очищення та висушування [8].

Структурний аналіз куща: маса стебел, листків, волотей; співвідношення стеблової та листкової маси [8].

Фізіолого-біохімічні методи [8].

Для поглибленої оцінки фізіологічного стану рослин проводили додаткові визначення:

Вміст сухих та органічних речовин – згідно зі стандартними лабораторними методиками.

Визначення вмісту целюлози у біомасі – за модифікованою хімічною методикою Вільямса.

Оцінка вмісту води у тканинах – методом повної зволожувальної ємності листка.

Методика відбору рослинних проб. Відбір рослинної маси та підготовку матеріалу до лабораторного аналізу проводили за загальноприйнятими методами рослинницьких досліджень. Зокрема, зразки готували відповідно до методичних рекомендацій З. М. Грицаєнко та співавторів [8], з урахуванням вимог щодо репрезентативності й повторюваності.

2.5. Охорона праці

Вирощування міскантусу як сільськогосподарської культури передбачає виконання комплексу механізованих та ручних робіт, що пов’язані з використанням техніки, агрохімікатів, а також перебуванням працівників у відкритих природних умовах. Основною метою охорони праці є запобігання травматизму, професійним захворюванням та створення безпечних умов праці для всіх учасників виробничого процесу.

Усі роботи повинні проводитися відповідно до Закону України «Про охорону праці», ДСТУ та галузевих нормативно-правових актів. Перед початком роботи працівники проходять вступний інструктаж, первинний та повторний інструктажі. Особи, що працюють із сільськогосподарськими машинами, повинні мати відповідну кваліфікацію. Проводяться регулярні медичні огляди для працівників, які виконують фізично важкі або небезпечні роботи.

Робочі ділянки повинні забезпечувати вільний рух техніки. Зона зберігання садивного матеріалу та агрохімікатів має бути сухою, закритою та провітрюваною. Обов’язкове використання захисних кожухів на ріжучих елементах, робота дозволена лише при відсутності людей у небезпечній зоні.

Хоча міскантус є невибагливою культурою та потребує мінімального застосування добрив і засобів захисту рослин, у разі їх використання необхідні такі заходи, як використання засобів індивідуального захисту – рукавиці, окуляри, респіратор, спецодяг, приготування робочих розчинів лише на спеціально відведених майданчиках, заборона прийому їжі, куріння та перебування сторонніх осіб поблизу робочої зони, негайне промивання водою відкритих ділянок шкіри у разі потрапляння препаратів.

Біомаса міскантусу має високу сухість і здатна швидко спалахувати, тому необхідно створити мінералізовані смуги навколо плантацій, забезпечити наявність вогнегасників та інвентарю (лопати, вода, пісок), заборонити спалювання рослинних решток поблизу посадок.

Міскантус позитивно впливає на довкілля, проте безпека природного середовища повинна забезпечуватися мінімізацією використання хімічних препаратів, недопущенням забруднення ґрунту та водойм, раціональним використанням техніки для зниження викидів, вимоги до аварійних ситуацій.

У випадку отримання травм, отруєння чи технічної аварії необхідно негайно зупинити роботи, надати домедичну допомогу, викликати медичну службу або рятувальників, повідомити керівника робіт та скласти акт про нещасний випадок.

Для забезпечення безпечних умов праці під час вирощування міскантусу необхідно дотримуватися комплексу організаційних, технічних та санітарно-гігієнічних вимог, спрямованих на запобігання виробничому травматизму, охорону здоров’я працівників та зменшення негативного впливу виробничих факторів.

Усі учасники виробничого процесу повинні пройти попереднє навчання та інструктаж з охорони праці, мати доступ до засобів індивідуального захисту й працювати відповідно до вимог чинного законодавства. Робота на полях передбачає використання тракторів, ґрунтообробної техніки, сівалок, агрегатів для посадки та збирання біомаси, тому технічні засоби необхідно регулярно оглядати, утримувати в справному стані та експлуатувати лише згідно з

інструкціями. Особливу увагу слід приділяти недопущенню людей до небезпечних зон роботи обладнання, забороні виконання ремонтних дій під час руху механізмів і дотриманню безпечної швидкості пересування техніки.

Під час роботи на відкритих територіях працівники повинні захищатися від сонячного випромінювання, перегрівання та зневоднення, дотримуватися режиму праці й відпочинку, а в разі виникнення травм чи аварійних ситуацій негайно зупиняти роботу, надавати домедичну допомогу та повідомляти керівництво. Зберігання та транспортування біомаси вимагає дотримання протипожежних правил, оскільки суха рослинна маса є легкозаймистою: склади повинні бути вентильованими, а місця роботи оснащені протипожежним інвентарем. Комплексне виконання всіх вимог охорони праці забезпечує безпечне та ефективне вирощування міскантусу, сприяє підвищенню продуктивності й мінімізації негативного впливу виробничих факторів на працівників та довкілля.

Тобто, дотримання вимог охорони праці забезпечує безпечне вирощування міскантусу, знижує ризики травматизму та сприяє ефективному впровадженню культури в різних галузях господарства – від енергетики до виробництва підстилки, будівельних матеріалів і біохімічної сировини.

РОЗДІЛ 3
РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Визначення еколого-біологічних характеристик представників роду міскантус, характерних для регіону досліджень

Екологічні особливості міскантусу формують сукупність ключових адаптацій, що забезпечують його успішне вирощування у різних кліматичних зонах, зокрема в країнах Європи, Північної Америки та регіонах із континентальними умовами. Міскантус належить до теплолюбних, але водночас холодостійких багаторічних рослин, здатних витримувати досить значні амплітуди температур.

Рослина починає активний розвиток уже при відносно низьких значеннях, адже фотосинтетичні процеси в її листках можуть відбуватися за температури повітря близько +10 °C, що дозволяє міскантусу рано вступати у вегетацію.

Коренева система формує потужне кореневище, яке демонструє високу морозостійкість і може витримувати короткочасні зниження температур до –23 °C за наявності снігового покриву. Найсприятливішими для інтенсивного росту є температури в межах +25–32 °C, коли спостерігається максимальна швидкість наростання зеленої маси та формування біомаси.

Дослідження, проведені в Уманському національному університеті, вказують, що представники роду *Miscanthus* характеризуються широкою екологічною амплітудою та належать до евритермних рослин, тобто таких, що здатні витримувати значні добові та сезонні коливання температури.

Видову різноманітність міскантусу відзначає поєднання теплолюбності з морозо- і зимостійкістю: дорослі рослини, що увійшли у фазу стабільного багаторічного циклу розвитку, здатні витримувати морози до –15–18 °C навіть за відсутності снігу, а під сніговим покривом – до –25–30 °C.

У літній період культури добре переносять підвищення температури повітря до +35 °C, не втрачаючи здатності до фотосинтезу. Початок відростання надземної частини припадає на період, коли температура ґрунту

становить близько +5–7 °C, а інтенсивний розвиток спостерігається при +15–20 °C.

В умовах Правобережного Лісостепу України міскантус зазвичай вступає у вегетацію в квітні, коли ґрунт прогрівається до +10–12°C, і завершує її з приходом осінніх заморозків у жовтні–листопаді. Особливо вразливими рослини є у перший рік вегетації, коли їх кореневище ще недостатньо зміцніло, тому на малосніжних територіях або за різких похолодань інколи виникає потреба в додатковому укритті.

Весняні заморозки можуть негативно впливати на молоді сходи: за температури –2 °C пошкоджується до 40% рослин, однак у фазі другого–четвертого листків угнетення менш значне й становить лише за нижчих показників температури. У дослідах установлено, що короткочасне охолодження до –8°C може ушкоджувати значну частину насаджень, але водночас молоді рослини, залежно від фази розвитку, зберігають здатність до часткової регенерації.

Наявність ушкоджень, спричинених пізніми заморозками, може впливати на зимостійкість у наступні роки. Міскантус є культурою, що вимагає помірної, але стабільної вологості ґрунту. Для формування високої продуктивності плантацій необхідно близько 500–800 мм атмосферних опадів на рік, причому значна їх частина має припадати на весняно-літній період.

Завдяки глибокій кореневій системі, яка може проникати до 2 метрів, рослини здатні ефективно використовувати запаси ґрунтової вологи. Тривалі періоди посухи призводять до зниження тургору листків, їх скручування та відмирання, що негативно позначається на загальній продуктивності, тоді як застосування зрошення у посушливі роки може суттєво підвищити врожайність.

Міскантус належить до світлолюбних культур і значною мірою залежить від інтенсивності сонячної радіації, оскільки саме за достатнього освітлення формується оптимальна листкова поверхня та відбувається накопичення органічної речовини.

За зниженого рівня освітлення рослини витягуються, їх листки частково жовтіють, зменшується інтенсивність фотосинтезу, що призводить до втрат урожайності. У перший рік розвитку особливо важливо не допускати затінення бур’янами, оскільки конкуренція за світло може спричинити суттєве зменшення кількості пагонів і, відповідно, пригнічення рослин навіть у наступні роки, знижуючи їх зимостійкість.

Вибагливість міскантусу до ґрунтів є відносно невисокою, що дозволяє вирощувати його на ділянках, малопридатних для традиційних сільськогосподарських культур. Рослина може рости на різних типах ґрунтів – від легких піщаних до структурних, багатих на органічну речовину, витримуючи значні коливання кислотності й навіть певний рівень засоленості.

Найкращі умови розвитку спостерігаються на добре дренованих, помірно вологих ґрунтах із *pH* 6,5–7,5; за підвищеної кислотності рекомендоване вапнування для нормалізації хімічних властивостей ґрунту.

Потреба рослин у поживних елементах також є порівняно помірною: для формування 1 т сухої біомаси міскантус виносить із ґрунту близько 3 кг азоту, 1 кг фосфору та 4 кг калію.

Найвищий рівень цих елементів у надземній масі спостерігається на початку та в середині літа, після чого поживні речовини частково повертаються до кореневища, де акумулюються та використовуються рослиною при наступному відновленні вегетації.

З урахуванням усіх екологічних характеристик міскантусу – його високої адаптивності до температурних коливань, здатності ефективно використовувати вологу, потреби в інтенсивному освітленні та відносної невибагливості до ґрунтів – створення високопродуктивних плантацій потребує ретельного добору ґрунтово-кліматичних умов, що забезпечать оптимальний ріст і розвиток культури.

3.2. Ріст і розвиток рослин міскантусу залежно від вологозабезпечення

Поповнення запасів вологи у ґрунтовому середовищі може відбуватися завдяки природним атмосферним опадам, застосуванню систем зрошення або внесенню спеціально підібраних субстратів, які закладають перед садінням ризом або під час висаджування посадкового матеріалу. У ситуації, що склалася на дослідній ділянці кафедри екології та безпеки життєдіяльності Уманського національного університету садівництва, де ґрунтово-кліматичні умови характеризуються нестабільним зволоженням і відсутністю можливостей для штучного поливу, постає необхідність застосування альтернативних методів збереження вологи в кореневмісному шарі. З цією метою було обрано технологічний підхід, що передбачає використання мульчувальних органічних субстратів різного складу, завдяки яким вдається зменшити випаровування води, стабілізувати температурний режим ґрунту та створити сприятливі умови для розвитку ризом міскантусу.

Для рослин міскантусу достатній рівень зволоження є критичним чинником, що визначає ефективність протікання фізіолого-біохімічних процесів. Волога забезпечує оптимальні умови для інтенсивного функціонування фотосинтетичного апарату, що безпосередньо впливає на активність обміну речовин, ріст зеленої маси та формування листкової поверхні. Саме добре розвинена листкова поверхня визначає здатність рослин максимально засвоювати сонячну енергію та акумулювати органічну речовину, що, у свою чергу, суттєво підвищує продуктивність культури. Таким чином, створення умов для збереження вологи в зоні росту ризом є ключовим елементом технології вирощування міскантусу в регіонах із несталим забезпеченням водою.

В наших дослідженнях було використано відповідний тип субстрату – органо-мінеральний композит на основі ґрунту, рослинних решток та соломи

Органо-мінеральний субстрат, сформований на поєднанні мінеральної ґрунтової основи та органічних компонентів – подрібненої соломи та

рослинних решток – належить до універсальних агробіологічних сумішей, які здатні забезпечувати сприятливі фізичні, хімічні та біологічні умови для росту та розвитку рослин. Такий субстрат поєднує у собі високу вологозатримувальну здатність, добру аерацію та підвищений рівень гуміфікованої органіки, що створює стабільне середовище для кореневих систем та ґрунтової мікробіоти.

Основою субстрату є ґрунт, що виконує функцію мінерального каркасу і забезпечує стабільність структури та доступ рослин до основних елементів живлення. Ґрунт у складі субстрату характеризується оптимальною гранулометричною структурою – поєднанням пилуватих, піщаних та дрібногрудкових фракцій, які створюють умови для збалансованого водно-повітряного режиму. Завдяки природному вмісту катіонів кальцію, магнію, калію та мікроелементів ґрунт підтримує буферність субстрату та стабілізує його кислотність. Вносячи інші компоненти, ґрунт виступає основою, у якій поступово розкладаються органічні домішки, утворюючи додаткові джерела доступного живлення.

Другим компонентом є солома – структуроутворюючий елемент органічного походження, що значно покращує пористість та аерацію суміші. Солома, завдяки високому співвідношенню вуглець/азот (C:N), розкладається повільно, поступово формуючи гумусоподібні речовини, які стабілізують водний режим субстрату. Наявність соломи сприяє створенню макропор, що полегшують проникнення повітря до кореневої зони, зменшують ризик застою води та ущільнення. Під час мікробіологічного розкладання соломи утворюються додаткові джерела енергії для ґрунтових мікроорганізмів, що підтримує активні процеси мінералізації та гуміфікації.

Третім елементом виступають рослинні рештки, які забезпечують багатий набір органічних сполук та мікроелементів. До складу решток входять подрібнені частини стебел, листків і коренів різних культур, які мають нижче співвідношення C:N порівняно зі соломою та швидше включаються в біологічний цикл. Вони формують мікроагрегати, поліпшують вологозатримання та стимулюють розвиток мікрофлори, зокрема

целюлозоруйнівних бактерій і грибів. Під час їх розкладання виділяються азот, фосфор, калій і комплекс мікроелементів, що робить рослинні рештки природним добривом пролонгованої дії. Присутність рослинних решток також підвищує біологічну активність субстрату та сприяє формуванню стійкої структури, характерної для родючих ґрунтів.

Сумісне використання ґрунту, соломи та рослинних залишків дозволяє отримати субстрат зі збалансованими фізичними та біохімічними властивостями. Завдяки високій кількості органічної речовини субстрат відзначається покращеною агрегатною структурою, низькою щільністю складання, підвищеною здатністю до утримання вологи та оптимальними умовами для діяльності корисних мікроорганізмів. Органічні компоненти поступово мінералізуються, забезпечуючи рослини доступними елементами живлення упродовж тривалого часу. Такий субстрат може використовуватися як основа для вирощування садивного матеріалу, тестування біологічних властивостей рослин або як основа для створення енергетичних культур, зокрема міскантусу, який позитивно реагує на структуровані, органічно насичені ґрунтові суміші.

У ході досліджень встановлено, що рівень приживлюваності ризом міскантусу значною мірою визначається їх масою та забезпеченням вологою у період приживлення і проростання. Внесення вологозатримувальних субстратів сприяло створенню сприятливих умов для розвитку молодих рослин.

Кліматичні особливості років спостереження також мали істотний вплив на результат. У 2024–2025 роках період висаджування ризом характеризувався дефіцитом опадів і підвищеною температурою, що ускладнювало процес укорінення. Проте застосування субстратів дозволило значно підвищити приживлюваність навіть за посушливих умов, порівняно з контролем.

Усі етапи росту показали, що вологість ґрунту у варіантах із використанням субстрату була стабільно вищою за контроль. Наприклад, у фазу повних сходів у контролі фіксували 10,1% вологості, при внесенні субстрату – 11,4 %, тоді як замочування ризом у розчинному субстраті

підвищувало її до 12,9%. Застосування субстрату внесенням в ґрунт та його поєднання із замочуванням ризом давало ще кращий ефект – 14,5 % (табл. 1).

Таблиця1.

Показники вирощування садивного матеріалу міскантусу за різних умов вирощування, м. Умань, 2024-2025 рр.

Варіант досліду	Вологість ґрунту, %	Приживлюваність ризом, %	Проростання ризом, %	Вихід садивного матеріалу, %
Без внесення	10,1±1,1	36,3±0,3	35,2±0,5	30,3±1,2
Внесення субстрату	11,4±0,7	84,1±0,5	83,9±0,9	82,4±1,1
Внесення водного розчину субстрату	12,9±1,2	83,4±0,2	82,7±1,3	80,1±0,9
Комбіноване внесення (водний розчин+субстрат)	14,5±0,9	97,2±1,3	96,3±0,8	95,3±0,5

У фазі кущення показники були аналогічні: за контрольного варіанту ґрунт мав 10,1% вологості, тоді як внесення субстрату забезпечувало 11,4–14,5%, що даний показник вологості є досить стійким.

Приживлюваність ризом також значно варіювала за варіантами досліду. У контрольних ділянках приживлюваність ризом становило лише 36,3%, тоді як замочування у розчинному субстраті забезпечувало вже 83,4%, внесення субстрату – 84,1%, а комбінований спосіб – 97,2%. Показники проростання ризом демонстрували наступні показники, зокрема у комбінованому варіанті – понад 96,3%, з внесення водного розчину субстрату – 82,7 %, з внесенням субстрату – 83,9 %, в контрольному варіанті – 35,2 %.

Щодо виходу садивного матеріалу, то отримані відповідні результати вказують на значну перевагу вирощування садивного матеріалу за всіх варіантів внесення субстрату і досить низькі показники при контрольному варіанті.

Таким чином, можна стверджувати, що кінцева успішність приживлення ризом залежить не лише від їхнього розміру, а й від наявності різнотипних субстратів, температурних умов та рівня зволоження. Використання субстратів істотно підвищує стійкість рослин на ранніх етапах та сприяє формуванню продуктивних насаджень.

3.3. Показники росту надземної частини рослин міскантусу за умов підживлення органічними добривами

Інтенсивність формування надземної біомаси міскантусу визначається не лише комплексом метеорологічних умов вегетаційного періоду, а й специфікою застосованих агроекологічних методів вирощування. Проведені дослідження засвідчили, що темпи приросту висоти рослин істотно залежали як від початкової маси висаджених ризомів, так і від внесення органічних добрив, отриманих із добре розкладених рослинних решток. У середньому за три роки експерименту встановлено, що використання органічних субстратів забезпечувало більш інтенсивний приріст висоти рослин упродовж кожної фенологічної фази порівняно з контролем (табл. 2, 3).

У фазах росту пагонів, формування стебла та під час завершення вегетації застосування органічного субстрату сприяло достовірному збільшенню висоти рослин незалежно від строків висаджування ризомів. Наприклад, у фазу росту пагонів при вирощуванні рослин із дрібних ризомів масою 40-50 г у контрольному варіанті середня висота після закінчення вегетації становила 120,1 см, тоді як за внесення сухого субстрату – 141,3, найвищий показник досліду було зафіксовано за комбінованого внесення рідкої фракції та сухого субстрату, який становив – 158,4 см.

Подібні тенденції відзначені і під час висаджування ризомів масою 80-100 г. Ці показники були відповідні, як для внесення сухих та зволожених добрив, а також і для комбінованого внесення.

Таблиця 2.

Зміна показників росту рослин міскантусу в залежності від маси ризомів в комплексі з використанням органічних добрив, м. Умань, 2024-2025 рр.

Маса досліджуваних вегетативних частин міскантусу, г	Метод внесення органічного добрива (компосту)	Показник фази розвитку міскантусу			
		масові сходи, см	ріст пагонів, см	формування стебел, шт.	закінчення вегетації, см
40-50	Без внесення субстрату (контроль)	12,4±0,7	36,1±0,2	5,8±0,9	120,1±0,1
	Замочування в водному розчині субстрату	22,8±0,5	51,4±0,3	12,6±0,6	138,2±0,6
	Внесення сухого субстрату	24,4±0,1	55,5±0,4	14,3±0,3	141,3±0,5
	Замочування в водному розчині субстрату + внесення сухого субстрату	27,2±1,1	57,9±0,9	18,3±0,5	158,4±0,4
80-100	Без внесення субстрату (контроль)	19,5±0,9	42,1±0,7	8,9±0,1	122,8±0,3
	Замочування в водному розчині субстрату	29,7±0,5	52,4±0,9	15,2±0,7	144,9±0,4
	Внесення сухого субстрату	34,1±0,5	64,1±0,2	17,6±0,4	148,6±0,1
	Замочування в водному розчині субстрату + внесення сухого субстрату	36,4±0,2	68,1±1,3	21,2±0,9	164,7±0,2

Разом з тим, рослини, отримані після висаджування більших за розміром ризом, у всіх фазах розвитку рослин міскантусу, перевищували за висотою ті, що були вирощені з ризом меньшого розміру. Відповідні дані було зафіксовано, як у контролі, так і за використання різнотипного органічного субстрату.

Таблиця 3.

Площа листової поверхні ($см^2$) у динаміці в залежності від використанням органічних добрив, м. Умань, 2024-2025 рр.

Маса досліджуваних вегетативних частин міскантусу, г	Метод внесення органічного добрива (компосту)	Показник фази розвитку міскантусу		
		масові сходи, $см^2$	ріст пагонів, $см^2$	закінчення вегетації, $см^2$
80-100	Без внесення субстрату (контроль)	19,1±0,9	158,2±0,7	450,±0,3
	Замочування в водному розчині субстрату	31.4±0,5	189,4±0,9	480,2±0,4
	Внесення сухого субстрату	41,3±0,5	220,3±0,2	650,4±0,1
	Замочування в водному розчині субстрату + внесення сухого субстрату	52,8±0,2	240,1±1,3	720,8±0,2

Послідовний аналіз результатів за роками спостережень підтвердив стабільність цих закономірностей. Найактивніший ріст стебел було зафіксовано в міжфазний період «масові сходи–формування стебла», коли приріст надземної частини був найвищим, особливо за дії органічних добрив.

Площа листкової поверхні також демонструвала істотну залежність від початкової маси ризомів і від застосування компостованого рослинного субстрату. У варіантах зі внесенням сухого субстрату листкова поверхня була більшою протягом усіх етапів розвитку культури порівняно з контролем. В

умовах завершення вегетації середня площа листкового апарату рослин, вирощених із великих ризомів масою 80-100г, значно перевищувала контрольні значення, порівняно з рослинами, отриманими з дрібних ризомів масою 40-50 г. Найінтенсивніший приріст листкової поверхні спостерігався в періоді «вихід у трубку (ріст пагонів) –закінчення вегетації», що було характерним для всіх варіантів досліду, незалежно від розміру ризомів та наявності абсорбенту.

Важливим показником ефективності вирощування міскантусу є кількість утворених пагонів, адже саме цей параметр визначає рівень розвитку надземної маси, формування кореневої системи та потенціал отримання якісного садивного матеріалу.

У середньому за роки досліджень найбільшу кількість пагонів формували рослини за внесення перепрілого рослинного субстрату в різних варіантах, а максимальні значення отримано при комбінованому застосуванні сухої та розчиненої в воді фракцій субстрату. Так, наприкінці вегетаційного періоду вирощування міскантусу з ризом вагою 80-100 г за комбінованого внесення субстрату було сформовано 21,2 шт. пагонів, тоді як у контрольному варіанті – лише 8,9 шт.

3.4. Показники урожайності рослин міскантусу за умов вирощування

Урожайність міскантусу є ключовим інтегральним показником, який визначає господарську цінність культури як високоефективної сировини для отримання біомаси. Саме рівень продуктивності надземної частини рослин використовується для оцінювання перспективності технологій вирощування, економічної ефективності виробництва твердої біоенергії та придатності насаджень для тривалого використання.

Однак урожайність міскантусу формується під впливом низки взаємопов’язаних факторів, серед яких одним із провідних є система удобрення насаджень, зокрема використання органічних добрив рослинного походження (табл. 4).

Таблиця 4.

Показники врожайності міскантусу в залежності від методів внесення органічного добрива (компосту), м. Умань

Маса досліджуваних вегетативних частин міскантусу, г	Метод внесення органічного добрива (компосту)	2024 р., т/га	2025 р., т/га	Всього, т/га	Середня врожайність, т/га
80-100	Без внесення субстрату (контроль)	7,3	8,2	15,5	7,7
	Замочування в водному розчині субстрату	14,3	15,8	30,1	15,0
	Внесення сухого субстрату	16,3	17,4	33,7	16,8
	Замочування в водному розчині субстрату + внесення сухого субстрату	19,1	20,8	39,9	19,9
НІР 0,05		*0,1*	*0,1*	*0,1*	*0,1*

Результати багаторічних досліджень свідчать, що застосування різних форм і способів внесення органічного субстрату визначально впливає на рівень продуктивності культури. Аналіз отриманих даних показав, що найвищої урожайності вдалося досягти у варіанті, де поєднувалося попереднє замочування ризомів у водному розчині органічного субстрату з подальшим внесенням сухої фракції у ґрунт під час періоду вегетації. За такого комплексного удобрення урожайність становила 19,9 т/га, що є максимальним показником серед усіх досліджуваних варіантів. Це свідчить про синергію двох форм добрива: рідка фракція сприяла швидшому стартовому розвитку кореневої системи, тоді як сухий субстрат забезпечував пролонговану дію поживних речовин.

Дещо нижчий, але все ж високий рівень продуктивності було зафіксовано у варіанті з внесенням лише сухого субстрату в агроценоз протягом усього періоду вегетації. Урожайність у цьому випадку досягала 16,8 т/га, що свідчить

про ефективність тривалого забезпечення рослин доступними формами органічних сполук та покращення фізико-хімічних властивостей ґрунту.

Застосування тільки рідкої фракції органічного добрива шляхом передпосадкового замочування ризомів забезпечило урожайність на рівні 15,0 т/га. Хоча цей показник нижчий за попередні варіанти, проте він достовірно перевищує результати контрольного досліду, де органічні добрива не використовувалися. У контрольному варіанті урожайність становила лише 7,7 т/га. Таким чином, навіть попередня обробка посадкового матеріалу водним розчином органічного субстрату майже удвічі підвищувала продуктивність рослин міскантусу порівняно з насадженнями, що розвивалися без додаткового живлення.

Отримані результати переконливо демонструють, що органічні добрива, особливо їх комбіноване застосування, є надзвичайно важливими для інтенсифікації ростових процесів, підвищення адаптаційної здатності рослин до несприятливих умов та забезпечення стабільної високої урожайності. Це дає змогу рекомендовано включати органічні субстрати до технологічних карт вирощування міскантусу як ефективний інструмент формування високопродуктивних та екологічно збалансованих енергетичних плантацій.

РОЗДІЛ 4
ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИРОЩУВАННЯ МІСКАНТУСУ

У ринкових умовах ведення господарської діяльності одним із ключових завдань аграрного виробника є отримання стабільної високої прибутковості за умов раціонального використання ресурсів і мінімізації витрат. Підвищення економічної ефективності виробництва є критичним чинником конкурентоспроможності підприємства та визначає його здатність забезпечувати прибуток у короткостроковій та довгостроковій перспективі.

Сільськогосподарські підприємства, орієнтовані на інноваційні культури з високим потенціалом продуктивності, отримують суттєві переваги на ринку завдяки можливості зменшення витрат на одиницю продукції та збільшення обсягів виробництва з одного гектара. Однією з таких культур є міскантус – багаторічна рослина, яка завдяки своїм біоенергетичним характеристикам та низькій собівартості вирощування є надзвичайно перспективною для українських господарств.

Закладання виробничих насаджень мають значні переваги, а саме після першого року формування кореневищної системи культура практично не потребує затрат на догляд, тобто, після одноразової інвестиції в закладання плантації витрати знижуються у 3–5 разів порівняно з традиційними культурами, міскантус може забезпечувати 15–25 т/га сухої біомаси щорічно, залежно від технології вирощування та умов середовища, а це у 3–4 рази більше, ніж типові зернові чи кормові культури при тих самих витратах. Насадження можуть експлуатуватися 15–20 років, що дозволяє рівномірно розподіляти початкові інвестиції на тривалий період і підвищувати загальну економічну віддачу. З розвитком біоенергетики, альтернативного опалення та екологічних проектів попит на біомасу міскантусу стабільно зростає, забезпечуючи вигідну реалізаційну ціну.

Дослідження показали, що важливу роль у формуванні економічної ефективності відіграє вибір технології підготовки посадкового матеріалу та

способів удобрення. Особливо ефективним є комплексний підхід, який поєднує передсадивне замочування ризомів у водному розчині органічного субстрату, внесення сухої фракції субстрату в ґрунт під час висаджування.

Таблиця 5.

Показники визначення економічної ефективності вирощування рослин міскантусу в умовах насаджень, м. Умань, 2024-2025 рр.

Варіант досліду	Середня врожай-ність, т/га	Вартість валової продукції грн./га	Витрати на вирощування грн./га	Умовно чистий прибуток грн./га	Рівень рентабельності, %
Без внесення субстрату (контроль)	7,7	7700	3000	4700	156,6
Замочування в водному розчині субстрату + внесення сухого субстрату	19,9	19900	5200	15490	282,6

Застосування поєднання рідкої та сухої форми субстрату дозволило отримати максимальну врожайність, що напряму вплинуло на прибутковість, а це найвища рентабельність серед досліджуваних технологій, зниження собівартості 1 т біомаси завдяки підвищенню урожайності, скорочення терміну окупності плантації до 2–3 років.

Таким чином, удосконалена технологія вирощування підвищує економічну ефективність на 20–35 % порівняно з традиційними варіантами.

Для оцінки економічної доцільності вирощування культури використовують такі показники, як собівартість вирощування 1 га, собівартість 1 т біомаси, валовий дохід від реалізації, прибуток на 1 га насаджень, рентабельність виробництва.

Результати досліджень свідчать, що рентабельність вирощування міскантусу після замочування ризомів у водному розчині субстрату та внесення сухого субстрату є однією з найвищих серед досліджених варіантів.

Такий технологічний підхід дозволяє отримувати стабільний прибуток та забезпечує високу інвестиційну привабливість культури для аграрних підприємств.

Тобто, міскантус є економічно перспективною культурою в умовах ринкового господарювання, висока врожайність та довговічність насаджень забезпечують низьку собівартість продукції, удосконалені технології удобрення суттєво підвищують продуктивність і прибутковість, вирощування міскантусу забезпечує рентабельність, що значно перевищує аналогічні показники традиційних сільськогосподарських культур, культура має високу інвестиційну привабливість та може стати основою розвитку локальних біоенергетичних кластерів. Так рівень рентабельності в варіанті досліду без внесення органічних добрив складав 156,6 %, а в найкращому варіанті з замочування ризом в водному розчині субстрату + внесення сухого субстрату рівень рентабельності складав 282,6 %.

ВИСНОВКИ

В роботі наведено результати дослідження екологічних умов вирощування представників роду *Miscanthus*:

1. Масове впровадження міскантусу у виробництво може зробити істотний внесок у розвиток біоенергетичного сектора України, зокрема зменшити залежність від імпортних енергоносіїв, сформувати локальну систему енергозабезпечення за рахунок відновлюваних ресурсів, створити нові робочі місця у сільській місцевості, покращити стан довкілля завдяки скороченню викидів CO_2 та використанню екологічних матеріалів.

2. Використання субстратів істотно підвищує стійкість рослин на ранніх етапах та сприяє формуванню продуктивних насаджень.

3. У середньому за роки досліджень найбільшу кількість пагонів формували рослини за внесення перепрілого рослинного субстрату в різних варіантах, а максимальні значення отримано при комбінованому застосуванні сухої та розчиненої в воді фракцій субстрату.

4. Навіть попередня обробка посадкового матеріалу водним розчином органічного субстрату майже удвічі підвищувала продуктивність рослин міскантусу порівняно з насадженнями, що розвивалися без додаткового живлення.

5. Так рівень рентабельності в варіанті досліду без внесення органічних добрив складав 156,6 %, а в найкращому варіанті з замочування ризом в водному розчині субстрату + внесення сухого субстрату рівень рентабельності складав 282,6 %, що є досить високим показником економічної ефективності вирощування рослин.

ПРОПОЗИЦІЇ

При закладанні насаджень міскантусу варто запроваджувати передсадивне замочування ризом в водному розчині субстрату органічного добрива та застосовувати підживлення насаджень способом внесення сухого субстрату перепрілих решток рослинного походження протягом вегетаційного сезону.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Агрометеорологічний огляд по території Черкаської області за 2007–2008 сільськогосподарський рік. Черкаський обласний центр з гідрометеорології. Черкаси: Черкаський обласний центр з гідрометеорології, 2008. 34 с.
2. Андреєва Л.С., Моргун І.А. Отримання садивного матеріалу міскантусу за умов додаткового зволоження. Селекційно-генетична наука і освіта: мат. міжнар. наук. конф. (Умань 16–18 березня 2016 р.). Умань: Видавець «Сочинський М.М.», 2016. С.12-15.
3. Барбаш В.А., Зінченко В.О., Трембус І.В. Ресурсозберігаючі технології перероблення стебел міскантуса. Наукові вісті НТУУ "КПІ". 2012. № 5 С. 118–123.
4. Ганженко О.М., Квак В.М. Вплив глибини садіння ризом міскантусу на їх проростання. Біоенергетика. 2013. С. 36.
5. Гелетуха Г.Г., Желєзна Т.А., Кучерук П.П., Олійник Є.М. Сучасний стан та перспективи розвитку біоенергетики в Україні. Аналітична записка БАУ №9. Біоенергетична асоціація України, 2014. 32 с. [Електронний ресурс] Режим доступу: http://uabio.org/img/files/docs/position-paper-uabio-9-ua.pdf
6. Гелетуха Г.Г., Желєзна Т.А., Трибой О.В. Перспективи вирощування та використання енергетичних культур в Україні. Аналітична записка БАУ № 10. 2014. 33 с.
7. Григора І.М., Шабарова С.І., Алейніков І.М. Ботаніка. Навч. посіб. для аграрних університетів. К. : Фітоцентр, 2000. с. 19.
8. Грицаєнко З.М., Грицаєнко А.О., Карпенко В.П. Методи біоморфологічних і агрохімічних досліджень рослин і ґрунтів: навч. посіб. К.: ЗАТ. Нічплава. 2003. 316 с.
9. Гументик М.Я. Квак В.М., Замойський О.І. Урожайність біомаси міскантусу. Біоенергетика. 2013. С. 32-35.

10. Єременко О.І., Паянок О.В., Усенко Д.М. Аналіз стану та тенденції розвитку твердопаливних виробництв. Вісник Степу : наук. зб. : Ювілейний випуск до 100-річчя установи. Кіровоград : «КОД», 2012. Ювілейний вип. 9. Ч. 2. С. 234-240.
11. Єщенко В.О., Копитко П.Г., Опришко В.П., Костогриз П.В. Основи наукових досліджень в агрономії: навч. посіб. К.: Дія, 2005. С. 138–264.
12. Зінченко В. О. Біомаса як альтернативне джерело енергії. Екол. вісн. 2005. С. 24-25.
13. Зінченко В. О. Міскантус – джерело енергетичної біомаси. Новини Агротехніки. 2008. 3(63). С. 40-41.
14. Зінченко В. О., Кусайло В. П. Біогеліоенергія – наше енергетичне майбутнє. Пропозиція. 2006. С. 130-132.
15. Зінченко В.О., Мартинюк Г.М., Зінченко О.В. Особливості росту міскантуса гігантеуса в умовах радіоактивного забруднення. Наука. Молодь. Екологія 2009 : Зб. матеріалів V наук.-практ. конф. студентів, аспірантів та молодих вчених, 27–29 трав. 2009 р. Житомир, 2009. С. 138–140.
16. Зінченко О. В. Вплив фітогормонів на розмноження міскантуса гігантського шляхом живцювання частинами пагону. Матер. наук. конф. «Біологічні ресурси і новітні біотехнології виробництва біопалив». К.: Фітосоціоцентр. 2014. С. 62-65.
17. Зінченко О. В. Оцінка впливу регуляторів росту рослин на інтенсивність фотосинтезу, приживаність, морфологічні показники міскантусу гігантеусу. Зінченко О. В. Збірник наукових праць. Київ. 2013. Випуск 19. С. 47.
18. Івахів В. Енергетична верба як рішення для малих міст України [Електронний ресурс] Режим доступу: http://ua-energy.org/post/27476.

19. Іващенко О.О., Макух Я.П., Ременюк С.О. Ефективність застосування систем хімічного захисту від бур‘янів посівів міскантусу гігантського першого року вегетації. Карантин і захист рослин. 2017. С. 19–21.
20. Квак В. М. Вплив строків садіння та глибини загортання ризом міскантусу на його польову схожість. Цукрові буряки. 2012. С. 15-17.
21. Кравчук В. Цема Т., Таргоня В., Оситняжський М. Нормативне забезпечення виробництва біомаси та біопалива в Україні. Техніка і технології АПК. 2010. С. 34-38.
22. Кравчук В., Новохацький М., Кожушко М. та ін. На шляху до створення плантацій енергетичних культур. Техніка та технології АПК. 2013. № 2. С. 31–35.
23. Курило В.Л, Ганженко О.М, Гументик М.Я, Квак В.М,. Замойський О. І, Зиков П.Ю. Методичні рекомендації з проведення передсадильного обробітку ґрунту і садіння ризом міскантусу. Київ. 2012. 21 с.
24. Кухарець С.М., Кухарець В.В. Особливості конверсії рослинної біомаси сільськогосподарського походження: з кн. Перспективи розвитку альтернативної енергетики на Поліссі України. К.: Центр учбової літератури, 2014. С. 113–120.
25. Лось Л.В., Зінченко В.О., Жайвороновський В.Р. Вирощування і газифікація біопалива – ефективний шлях вирішення енергетичних і екологічних проблем на прикладі міскантуса гігантеуса. Вісник ЖНАЕУ. 2011. Т.1, №2. С. 46–58.
26. Роїк М.В., Гонтаренко С.М., Лашук С.О. Сучасний стан розвитку селекції та реєстрації представників роду *Miscanthus* в Україні та світі. Зб. наук. праць ІБКіЦБ. 2014. Вип. 21. С. 249–254.
27. Роїк М.В., Гументик М.Я., Мамайсур В.В. Перспективи вирощування енергетичної верби для виробництва твердого біопалива. Біоенергетика. 2013. № 2. С. 18–19.

28. Романчук Л.Д., Зінченко В.О., Василюк Т.П. Особливості вирощування енергетичних культур в умовах Полісся України: з кн. Перспективи розвитку альтернативної енергетики на Поліссі України. відп. К.: Центр учбової літератури, 2014. С. 81–111.
29. Хіврич О. Б., Квак В. М., Каськів В. В. та ін. Енергетичні рослини як альтернатива традиційним видам палива. Агробіологія. 2011. Вип. 6. С. 153–157.
30. Ягольник О.О. Міскантус витримав удар і виграв перший раунд в Україні. Біоенергетика. 2015. № 2. С. 18–24.
31. Andrzej Chramiec-Głąbik, Aleksandra Grabowska-Joachimiak, Elwira Sliwinska, Justyna Legutko et al. Chramiec-Głąbik. Cytogenetic analysis of Miscanthus x giganteus and its parent forms. Caryologia. 2012. P. 234. 138.
32. Brosse N., Dufour A., Meng X. et al. Miscanthus: a fast-growing crop for biofuels and chemicals production. Biofuels, Bioprod. Bioref. 2019. P. 34-45.
33. Chou C.H. Miscanthus plants used as an alternative biofuel material: the basic studies on ecology and molecular evolution. Renewable Energy. 2009. Vol. 34. P. 1908-1912. 137.
34. Christian D.G., Riche A.B., Yates N.E. Growth yeld and mineral content of Miscanthus× giganteus grown as a biofuel for 14 successive harvests. Industrial crops and products. 2008. Vol. 28. P. 320-327.
35. Landis D.A., Werling B.P. Arthropods and biofuel production systems in North America, J. Insect Science (2010), Volume 17, issue 3: 220-236. 143.
36. Dahl J. Evaluation of the combustion characteristics of four perennial energy grops Arundo donax, Cynara candunculus, Miscanthus×giganteus and Panicum virgatum. 2nd World Conference on biomass for energy: Industry and climate protection (10–14 May, Rome.). Rome, 2004. P. 1265-1270.
37. Darke R. The color encyclopedia of ornamental grasses. Portland, Oregon: Timber Press, 1999. 325 p. 145.

38. Davidson C. G., Gobin S. M. Evaluation of ornamental grasses for the northern Great Plains. J. Environ. Hort. 1998. 16. P. 218-229.

39. Heaton E. A., Clifton-Brown J., Voigt T. B., Jones M. B. et al. Miscanthus for renewable energy generation: European Union experience and projections for Illinois. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change. 2004. N 9. P. 433-451.

40. Heaton E. A., Dohleman F. G. and Long S. P. Meeting US biofuel goals with less land: The potential of Miscanthus. Global Change Biology. 2008. 14(9). P. 2000-2014.

41. Heaton E. A., Flavell R. B., Mascia P. N., Thomas S. R. et al. Herbaceous energy crop development: recent progress and future prospects. Current Opinion in Biotechnology. 2008. 19, N 3. P. 202-209.

42. Pude R. Uprawa I zbiory trzciny Miscantus w Europie. Polsko-Niemiecka Konferencja na temat wykorzystania trzciny chinskiej (Polczyn Zdoj, 27-2 wrzesnia 2000). Polczyn Zdoj, 2000. P. 11–25.

43. Somerville C., H.Youngs, C.Tayloret al. Feedstocks for lignocellulosic biofuels. Science. 2019. Vol. 329. P. 790–792.

ДОДАТКИ