МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет біоресурсів і природокористування
Кафедра агробіології та біохімії

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

освітній ступінь бакалавр

на тему: **ОСОБЛИВОСТІ РОСТУ ТА РОЗВИТКУ РОСЛИН МІСКАНТУСУ ЗАЛЕЖНО ВІД ВПЛИВУ ЕЛЕМЕНТІВ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ**

Виконала: студентка IV курсу, 47 групи
Саражинська Вероніка Анатоліївна
Освітня програма Біологія
Спеціальності 091 Біологія та біохімія
Керівник: к.с.-г.н., доц. Поліщук Т.В.
Рецензент: к.с.-г.н., доц. Кецкало В.В.

Умань–2026

ЗМІСТ

ВСТУП	……..….	3
РОЗДІЛ 1	НАУКОВО-ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ФОРМУВАННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ТА ГОСПОДАРСЬКОГО ВИКОРИСТАННЯ МІСКАНТУСУ ГІГАНТСЬКОГО……..	5
1.1.	Історія дослідження, біоекологічні особливості та технологічні аспекти вирощування міскантусу гігантського……...	5
1.2.	Морфологічні та біологічні особливості рослин міскантусу гігантського…….……	9
1.3.	Господарське значення та використання міскантусу гігантського в біоенергетиці…….	15
1.4.	Вплив різних елементів технології вирощування на формування врожайності біомаси міскантусу гігантського……	19
РОЗДІЛ 2	УМОВИ ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ…….	24
2.1.	Кліматичні умови проведення досліджень …….……...	24
2.2.	Методика проведення досліджень……..	25
РОЗДІЛ 3	РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ОСОБЛИВОСТЕЙ РОСТУ, РОЗВИТКУ ТА ПРОДУКТИВНОСТІ МІСКАНТУСУ ГІГАНТСЬКОГО ЗАЛЕЖНО ВІД ФАКТОРІВ ЖИВЛЕННЯ…..	30
3.1.	Динаміка формування висоти рослин міскантусу гігантського ...	30
3.2.	Особливості розвитку асиміляційного апарату рослин міскантусу гігантського……	35
3.3.	Урожайність сухої речовини міскантусу гігантського залежно від систем удобрення та позакореневого підживлення …….……	42
	ВИСНОВКИ……	50
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ……	52

ВСТУП

Зростання інтересу до культивування біоенергетичних культур та необхідність раціонального використання ресурсів, зокрема мінеральних добрив, зумовлюють потребу у розробленні та вдосконаленні маловитратних технологій їх вирощування. Особливої уваги потребує міскантус гігантський – одна з найперспективніших культур для отримання біомаси з метою подальшої енергетичної переробки. Використання біомаси цієї рослини має низку переваг: інтенсивний ріст, здатність щорічно формувати значні обсяги біомаси, а також можливість вирощування на малопродуктивних і навіть хімічно забруднених землях [4; 6].

Протягом останніх років активно проводяться наукові дослідження, присвячені вивченню особливостей росту, розвитку та формування врожайності біомаси міскантусу гігантського. Значну увагу дослідники приділяють питанням закладання плантацій та догляду за рослинами в перший рік після посадки. Зокрема, обмежено висвітлені питання застосування різних систем удобрення із використанням органічних регуляторів росту та комплексних добрив, що містять амінокислоти. Саме тому виникає потреба у більш детальному дослідженні ефективності використання невеликих доз мінеральних азотних добрив, а також обробки насаджень міскантусу гігантського гуматами й амінокислотними препаратами.

Метою роботи є вдосконалення елементів технології вирощування за багаторічними насадженнями міскантусу гігантського та дослідження особливостей формування його продуктивності залежно від застосування різних систем удобрення й позакореневого підживлення.

Об’єктом дослідження є процеси росту, розвитку та формування продуктивності рослин міскантусу гігантського.

Предмет дослідження – вплив різних варіантів застосування азотних добрив і позакореневих підживлень на агрономічну та біоенергетичну ефективність вирощування культури.

Методи дослідження. У процесі виконання роботи застосовували польовий метод, який передбачав проведення спостережень за особливостями росту і розвитку рослин міскантусу гігантського, оцінювання впливу агротехнологічних заходів та погодних чинників на формування продуктивності культури. Для визначення динаміки наростання вегетативної маси та обліку врожайності біомаси використовували вимірювально-ваговий метод.

Опрацювання результатів експерименту здійснювали із застосуванням математично-статистичних методів, що дало змогу встановити достовірність отриманих даних та визначити взаємозв'язки між досліджуваними показниками.

Апробація результатів дослідження. Матеріали кваліфікаційної роботи неодноразово доповідалися та обговорювалися під час роботи наукового гуртка «Біотехнологія рослин», семінарах та науково-методичних засіданнях кафедри біології та хімії.

Публікації. Основні положення та результати дослідження апробовані та опубліковані: Задверняк В. А. Формування продуктивності та фотосинтетичногоапарату міскантусу гігантського залежно від систем підживлення. *Природничі науки в системі освіти. Матеріалів Всеукр. наук.-практ. Інтернет-конф. (м. Умань, 5 травня, 2026 р.).* Умань, 2026. С. 21-25.

Структура роботи. Кваліфікаційна робота викладена на 52 сторінках комп'ютерного тексту. Включає 3 розділи, висновки. Містить 10 таблиць та один рисунок. У списку використаних літературних джерел 57 найменувань.

РОЗДІЛ 1
НАУКОВО-ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ФОРМУВАННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ТА ГОСПОДАРСЬКОГО ВИКОРИСТАННЯ МІСКАНТУСУ ГІГАНТСЬКОГО

1.1. Історія дослідження, біоекологічні особливості та технологічні аспекти вирощування міскантусу гігантського

Рід *Miscanthus* уперше був описаний Нільсом Андерсоном у 1885 році. Назва цього роду походить від грецьких слів *«mischos»* – ніжка та *«anthos»* – квітка, що відображає особливості прикріплення колосків. У науковій і популярній літературі трапляються й інші назви цієї рослини, зокрема віяльник, китайська срібна трава або слонова трава [42].

Природними ареалами – поширення представників роду *Miscanthus* є території Японії, Південних Курильських островів, Маньчжурії, Кореї, Таїланду, Полінезії, а також східного узбережжя США. До V століття міскантус вирощували переважно на території Китаю, де його використовували для запобігання ерозії ґрунтів. До країн Європи ця рослина, ймовірно, була завезена у XVI столітті як декоративна культура, що пояснюється її привабливим зовнішнім виглядом та здатністю формувати великі щільні куртини.

Гібрид *Miscanthus giganteus* уперше був зібраний у місті Йокогама (Японія) у 1935 році датським ученим Анселем Олсеном. Згодом ця рослина поширилася територією Європи. Саме цей клон став вихідним матеріалом для подальших селекційних робіт. Вважається, що більшість сортів міскантусу гігантського, які використовуються для комерційного вирощування в європейських країнах, є стерильними гібридами, що походять від зразків, завезених із Японії [41; 42]. Деякі дослідники висловлюють припущення, що клон «Harvey» може бути іншим окремим генотипом,

отриманим у результаті незалежного природного схрещування та завезеним із Японії до Великобританії у 1980 році [23].

З огляду на високу врожайність біомаси, Карл Фостер запропонував назву *Miscanthus sinensis* «*Giganteus*». Систематичне наукове дослідження міскантусу розпочалося у 1983 році на Станції селекції рослин у Данії. Відтоді активні дослідження цієї культури проводяться в багатьох європейських країнах, зокрема в Німеччині, Великобританії, Італії, Франції, Іспанії та Польщі [41].

У 1993 році Лінде-Лаурсен довів, що *Miscanthus sinensis* «*Giganteus*» є триплоїдною формою, яка, ймовірно, виникла внаслідок схрещування диплоїдного виду *M. sinensis* з аллотриплоїдом *M. sacchariflorus*. Через таку генетичну особливість рослина має стерильний пилок і не здатна до генеративного розмноження. Пізніше, на основі результатів подальших досліджень, назву цієї рослини було змінено на *Miscanthus* × *giganteus* (*Miscanthus* × *giganteus* J.M. Greef & Deuter ex Hodkinson & Renvoize) [41; 42]. На сьогодні відомо три основні способи вегетативного розмноження міскантусу гігантського: використання саджанців, отриманих у культурі *in vitro*, поділ кореневищ та укорінення міжвузлів [1, 3].

Подальший розвиток досліджень таксономії міскантусу пов’язаний із вивченням значного різноманіття його видів, гібридів і сортів. Значну кількість зразків було зібрано в коледжі Трініті (Белфаст). У результаті досліджень встановлено, що деякі види, гібриди та сорти, які раніше вважалися стерильними, здатні утворювати життєздатне насіння [7].

Селекційні роботи зі створення нових гібридів міскантусу проводяться у Швеції, Данії, Німеччині, США та Японії. Програми селекції спрямовані як на створення нових форм культури, так і на вдосконалення вже існуючих. Зокрема, досліджується можливість гібридизації різних видів міскантусу, їх адаптації до різних умов вирощування, отримання нових форм із використанням методів поліплоїдизації та вивчення геномної мінливості [10]. Значна увага приділяється інтеграції генів, що забезпечують високу

посухостійкість і морозостійкість, у генотип міскантусу гігантського. Створення нового гібриду, який поєднував би високу продуктивність *Miscanthus* × *giganteus* із стійкістю до посухи та морозів, властивою *Miscanthus sinensis*, могло б забезпечити можливість вирощування цієї культури на більшій частині території Європи [19].

Міскантус гігантський вважається однією з найбільш перспективних гібридних культур для виробництва енергії з біомаси [20; 26; 31]. Розроблена модель росту міскантусу MISCANFOR підтверджує його високу продуктивність як біоенергетичної культури на території Європи. За результатами оцінювання земельних ресурсів, придатних для вирощування біоенергетичних культур, передбачається, що міскантус гігантський може забезпечити близько 12 % енергетичних потреб Європейського Союзу до 2050 року. Подальше розширення площ під цією культурою та більш інтенсивне використання її біомаси здатне сприяти скороченню викидів CO_2 приблизно на 80 % до 2080 року. Разом з тим, модель MISCANFOR прогнозує незначне зниження продуктивності міскантусу гігантського до 2080 року, що може бути пов’язано зі змінами клімату та зменшенням запасів ґрунтової вологи [29].

Вирощування міскантусу гігантського в Європі розпочалося у 1983 році, а з 2005 року цю культуру почали активно культивувати також у США та Канаді для виробництва біопалива [8; 10]. У європейських країнах плантації віком понад 25 років продовжують забезпечувати стабільно високі врожаї біомаси при відносно низьких витратах на їх утримання [25].

В Україні перші дослідження з вирощування міскантусу були розпочаті у 2004 році професором Житомирського національного агроекологічного університету Володимиром Зінченком [27]. Перші експериментальні плантації цієї культури закладено у 2006–2007 роках у Харківській та Житомирській областях. Починаючи з 2008 року, науковці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків під керівництвом М. Я. Гументика проводять дослідження, спрямовані на заміщення традиційних

видів палива альтернативними біоенергетичними ресурсами в Борщівському районі Тернопільської області [12, 13].

На сьогодні в Україні розроблено спосіб вегетативного розмноження посадкового матеріалу міскантусу [9], а також метод отримання розсади шляхом клонального мікророзмноження. В Інституті біоенергетичних культур і цукрових буряків активно проводяться дослідження з поліплоїдизації, мікроклонального розмноження рослин *in vitro*, укорінення отриманих зразків та їх адаптації до польових умов [11; 12]. Науковці встановили, що для розмноження *in vitro* можуть використовуватися сплячі бруньки ризом *Miscanthus giganteus*, що дозволяє отримати до трьох тисяч генетично ідентичних рослин з одного експланта [39, 40].

Дослідження особливостей культивування міскантусу гігантського в умовах *in vitro* проводяться також у Національному авіаційному університеті (м. Київ), де визначено оптимальні живильні середовища для культивування рослин та ефективні методи їх стерилізації [51]. У Національному університеті біоресурсів і природокористування України встановлено, що під час адаптації рослин-регенерантів до умов *in vivo* при використанні субстрату з торфу, піску та перліту у співвідношенні 2:1:1 приживлюваність рослин становить 91 % [50].

Один із поширених способів вегетативного розмноження міскантусу передбачає поділ маточного кореневища на ризоми з подальшим їх калібруванням за масою (20–90 г). Посадку проводять із міжряддям 70 см та відстанню між рослинами 70 см, загортаючи ризоми у ґрунт на глибину 8–10 см [34]. Якість ризом значною мірою визначає подальшу продуктивність плантацій міскантусу гігантського. Встановлено, що використання ризом, які мають дев’ять і більше бруньок, забезпечує вищий рівень приживлюваності та сприяє інтенсивнішому росту надземної маси, що проявляється у збільшенні висоти рослин, кількості листків, площі листкової поверхні та кількості пагонів [35].

У низці наукових робіт для оцінювання стану рослин та прогнозування врожайності використовуються кореляційні залежності між площею листкової поверхні, масою надземної частини та морфометричними показниками рослин. Зокрема встановлено, що між характеристиками посадкового матеріалу (кількість бруньок на ризомі) і морфометричними показниками рослин (висота, кількість листків, площа листкової поверхні, маса кореневища) існують тісні статистичні взаємозв'язки. За даними досліджень В. М. Квака, О. М. Ганженка, М. Я. Гументика та Г. В. Цвігуна, найбільший вплив на площу листкової поверхні та масу пагонів мають висота пагона і кількість листків. Саме поєднання цих двох показників визначає рівень розвитку листкового апарату рослини. На основі отриманих результатів була запропонована методика визначення площі листкової поверхні та маси рослин міскантусу гігантського за їх морфометричними показниками [13, 9, 34].

1.2. Морфологічні та біологічні особливості рослин міскантусу гігантського

Рід *Miscanthus* належить до відділу покритонасінних (*Angiospermae* або *Magnoliophyta*), класу однодольних (*Monocotyledoneae*), родини злакових (*Poaceae* або *Gramineae*) і включає вид *Miscanthus giganteus* [42]. Міскантус гігантський є триплоїдним гібридом, утвореним у результаті схрещування міскантусу китайського та міскантусу цукроквіткового. Це багаторічна кореневищна трав'яниста рослина, для якої характерний С4-тип фотосинтезу. Вважається, що С4-тип фотосинтезу забезпечує найвищу теоретичну ефективність та потенційну продуктивність серед усіх типів фотосинтезу вищих рослин, оскільки значною мірою усуває процес фотодихання. Проте повною мірою така ефективність проявляється переважно за умов інтенсивного освітлення, достатньої вологості та високих температур навколишнього середовища [43].

Результати численних досліджень свідчать, що потенціал фотосинтезу С4-типу не завжди повністю реалізується в умовах помірного клімату. Однак Miscanthus giganteus, порівняно з іншими С4-культурами, такими як цукрова тростина, сорго або кукурудза, демонструє високу продуктивність навіть у кліматичних умовах Великобританії. Це пояснюється здатністю міскантусу формувати листковий апарат при нижчих температурах, меншою чутливістю до фотоінгібування за умов охолодження та наявністю механізмів молекулярної стійкості до низьких температур, що забезпечує триваліший перебіг процесу фотосинтезу [16; 19].

Рослини міскантусу гігантського можуть досягати висоти 220–310 см, а за сприятливих умов – навіть 450–500 см. У кущі формується в середньому 10–15 пагонів, хоча їх кількість може сягати до 70. Стебла прямостоячі, округлі, з діаметром 12–25 мм [45; 47; 49]. Вони характеризуються високою міцністю та стійкістю до механічних пошкоджень завдяки значному вмісту лігніну та целюлози. Рослини добре переносять зимові умови, є стійкими до опадів і сильних вітрів у холодний період року [14].

На одному стеблі формується від 11 до 15 листків. Їх ширина становить 2,2–2,9 см, а довжина – 93–102 см. Суцвіття представлене волоттю веретеноподібної, конусоподібної або еліпсоподібної форми довжиною 30–33 см. Для рослин характерний рихлокущовий тип кущіння.

Коренева система міскантусу гігантського добре розвинена і сильно розгалужена. Вона має мичкувату будову та формується з кореневищ – видозмінених підземних пагонів. Кількість ризом у однієї рослини може становити від 18 до 37, а їх довжина – 10–15 см. Залежно від умов вирощування коренева система проникає у ґрунт на глибину від 100 до 250 см і більше. Найглибше проникнення спостерігається на легких ґрунтах, де корені можуть досягати глибини до 3 м. Основна маса кореневої системи (близько 70 %) зосереджена у верхньому 15-сантиметровому шарі ґрунту, що забезпечує ефективне використання води та елементів живлення. Завдяки цьому рослини можуть успішно рости на деградованих, піщаних і супіщаних

ґрунтах, а також на схилах із крутизною до 7° [17; 18]. Водночас міскантус негативно реагує на підвищену кислотність ґрунту, високий рівень ґрунтових вод та значний вміст глини (понад 64 %) [21; 24].

Висаджування міскантусу гігантського зазвичай проводять навесні. Кореневища можна висаджувати в період з березня по травень залежно від кліматичних умов. Розсаду, отриману з культури *in vitro* та укорінену в горщиках, рекомендується висаджувати дещо пізніше, щоб уникнути впливу пізніх весняних заморозків і забезпечити краще укорінення рослин [32]. Поява нових пагонів розпочинається з другої половини квітня, а у червні–липні відбувається інтенсивний ріст рослин [37; 38]. Протягом вегетаційного періоду спостерігається швидке наростання листкової поверхні. Уже на другий рік після посадки індекс площі листкової поверхні (LAI) може досягати значення 6–10 залежно від умов вирощування та рівня догляду за рослинами.

Міскантус гігантський здатний перехоплювати приблизно 90 % корисного фотосинтетично активного випромінювання за умови, що індекс площі листя (LAI) досягає значення 3,2 [44]. Норвезькі науковці, узагальнивши результати понад 30 досліджень, встановили, що показник LAI у цієї культури поступово збільшується після травня та досягає максимальних значень у липні–серпні, після чого спостерігається незначне зниження. Середнє максимальне значення індексу площі листя становить 6,05 ± 0,84 м²/м² до серпня, а рівень близько 5 м²/м² зберігається майже до завершення вегетаційного періоду [30]. У літні місяці окремі показники LAI можуть досягати 10,5 м²/м² [17].

Ознакою початку дозрівання врожаю біомаси є період припинення її накопичення, тобто момент досягнення пікового врожаю. Для міскантусу, особливо у разі використання біомаси для спалювання, завершення вегетаційного періоду також пов’язане з покращенням її якісних характеристик [16]. Починаючи з кінця липня, листки поступово старіють і відмирають. Восени, після перших заморозків, процес старіння

пришвидшується, а поживні речовини переміщуються й накопичуються в кореневищах. Листки відмирають, а згодом висихають і стебла, внаслідок чого протягом зими вміст вологи в рослинах значно зменшується, що супроводжується зниженням їх маси [18].

Відмерле листя опадає, і для збирання залишається переважно стеблова маса. Опале листя формує товстий шар підстилки на поверхні ґрунту. Завершення вегетації зазвичай відбувається у фазі формування волоті (частіше на етапі виходу в трубку). Міскантус характеризується здатністю активно рости за температури ґрунту понад 6 °C, тому тривалість потенційного аграрного сезону для цієї культури є значно більшою, ніж у багатьох інших рослин. Збирання сухої біомаси здійснюють щороку взимку, найчастіше у лютому [14; 18].

Відповідно до модифікованої шкали BBCH, запропонованої Mauricio D. Tejera та Emily A. Heaton, морфологічний розвиток *Miscanthus giganteus* поділяється на 10 макростадій, кожна з яких включає до 9 мікростадій. Початковий етап розвитку відбувається у ґрунті: він починається з набухання бруньок кореневища та завершується появою на поверхні ґрунту перших листків, захищених лусками. Із формуванням першого листка розпочинається стадія розвитку листя. Надалі рослини проходять етапи кущення, подовження стебла, появи прапорцевого листка, формування волоті та цвітіння [56].

Такі стадії морфологічного розвитку, як формування та достигання насіння, для міскантусу гігантського не є характерними, проте спостерігаються в інших видів роду *Miscanthus*. Завершальним етапом розвитку рослин є процес старіння [18].

Під впливом кліматичних умов регіонів природного походження міскантус гігантський сформував адаптацію до підвищених температур і високої інтенсивності сонячного випромінювання. Оскільки рослина має С4-тип фотосинтезу, її ріст обмежується низькими температурами. Оптимальними для процесу фотосинтезу є температури в межах 28–32 °C.

Водночас міскантус належить до небагатьох культур, які здатні ефективно рости в умовах клімату Центральної та Східної Європи та формувати високі врожаї біомаси – приблизно 20–30 т/га.

Miscanthus giganteus характеризується здатністю підтримувати високу інтенсивність фотосинтезу навіть за відносно низьких температур (10–14 °C). Дослідження Університету Іллінойсу показали, що листки цієї рослини можуть активно фотосинтезувати за температури повітря від 10 °C [57]. Таким чином, міскантус поєднує ознаки теплолюбної та холодостійкої культури. Найінтенсивніший ріст спостерігається за температури повітря 25 °C і вище.

Рослини міскантусу другого та наступних років вегетації здатні витримувати морози до –15…–18 °C за відсутності снігового покриву, а за наявності снігу – до –25…–30 °C. У літній період представники роду *Miscanthus* можуть переносити підвищення температури до +35 °C. У кліматичних умовах України відростання рослин починається у квітні, коли температура ґрунту досягає 10–12 °C, а завершення вегетації відбувається з настанням осінніх заморозків.

Найбільш уразливими рослини є під час першої зимівлі після висаджування ризомів. Використання мульчування соломою зернових культур або соломою самого міскантусу сприяє підвищенню рівня перезимівлі насаджень з 79 до 92 %. Весняні приморозки також можуть спричиняти часткові втрати рослин, однак завдяки високій здатності до регенерації ці втрати зазвичай є незначними [33; 36].

Характерною біологічною особливістю міскантусу гігантського є тривалий період від садіння до появи сходів, який становить приблизно 20–35 діб. Це пояснюється тим, що під час висаджування ризом температура ґрунту зазвичай є нижчою за оптимальну для їх проростання [48].

Упродовж вегетаційного періоду міскантус гігантський потребує приблизно 700 мм опадів. Порівняно з багатьма іншими сільськогосподарськими культурами його потреба у воді є вищою та часто

перевищує середньорічну кількість опадів на території України. Така значна потреба зумовлена здатністю культури формувати високі врожаї біомаси з одиниці площі. Водночас міскантус характеризується високою ефективністю використання води, якщо враховувати її витрати на утворення одиниці сухої речовини. Потужна коренева система рослин здатна проникати у глибші шари ґрунту та використовувати запаси вологи з нижніх горизонтів [52; 54].

Міскантус гігантський належить до світлолюбних культур і протягом вегетації використовує значно більшу кількість сонячної енергії, ніж більшість інших представників родини злакових. Інтенсивне освітлення упродовж періоду росту сприяє формуванню значної площі листкової поверхні та активному накопиченню органічної речовини. За умов недостатнього освітлення знижується інтенсивність фотосинтезу та синтез асимілянтів, унаслідок чого молоді пагони витягуються і можуть жовтіти [28; 39].

Разом з тим у польових умовах міскантус демонструє вищу ефективність фотосинтезу за затінення порівняно з іншими культурами з С4-типом фотосинтезу [5]. Для цієї культури встановлено лінійну залежність між накопиченням надземної сухої біомаси та кількістю перехопленої глобальної сонячної радіації [7]. Надмірно розвинений листковий апарат може обмежувати освітлення нижніх ярусів листків, унаслідок чого з кінця липня відбувається їх старіння та відмирання [18]. Особливо чутливими до умов освітлення рослини міскантусу є у перший рік вегетації [19].

Однією з переваг міскантусу гігантського є можливість його вирощування на ґрунтах, малопридатних для більшості інших сільськогосподарських культур. Рослина здатна розвиватися на піщаних ґрунтах із низьким рівнем ґрунтових вод, на неглибоких кам’янистих ґрунтах, а також на ґрунтах із підвищеним вмістом глини. Крім того, культура може зростати за досить широкого діапазону кислотності та засоленості ґрунтів [25; 27].

Найкращі умови для росту та розвитку рослин формуються на добре дренованих, достатньо зволожених ґрунтах із реакцією середовища pH 6,5–7,5. За підвищеної кислотності ґрунту (pH нижче 5,5) доцільним є проведення вапнування. Для формування високої врожайності біомаси необхідно забезпечити рослини достатньою кількістю елементів живлення [36; 37].

За даними професора Зінченка, при отриманні врожаю сухої біомаси на рівні 20 т/га рослини міскантусу виносять із ґрунту приблизно 60 кг азоту, 16 кг фосфору та 80 кг калію. Позитивний вплив на накопичення біомаси має внесення азотних добрив у нормі до 90 кг/га [38]. Деякі дослідники рекомендують починаючи з третього року вегетації щорічно проводити весняне азотне підживлення посівів у дозі близько 50 кг/га азоту [36].

У період інтенсивного росту основні елементи живлення (азот, фосфор, калій) накопичуються переважно в листках і стеблах рослин. Після завершення активної вегетації вони поступово переміщуються до кореневищ, де запасаються. З настанням нового вегетаційного періоду ці поживні речовини знову використовуються рослинами для відновлення росту [41; 43].

З огляду на екологічні вимоги міскантусу гігантського до ґрунтово-кліматичних умов, природні зони Лісостепу та Полісся України вважаються досить сприятливими для отримання високих врожаїв біомаси. Зокрема, дослідження Львівської філії УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого показали, що в умовах Малого Полісся культура добре росте та розвивається [53]. Сприятливість умов Західного Лісостепу для вирощування міскантусу також відзначає у своїх працях Недільська У. І. [54].

1.3. Господарське значення та використання міскантусу гігантського в біоенергетиці

Розглядаючи господарське значення міскантусу гігантського, насамперед підкреслюють його роль як однієї з найпродуктивніших

біоенергетичних культур. *Miscanthus giganteus* вважається перспективною рослиною для виробництва біопалива завдяки наявності ефективного С4-типу фотосинтезу, стійкості до шкідників і хвороб, високому рівню адаптивності до різних умов вирощування, здатності зростати на ґрунтах, забруднених важкими металами, а також значній продуктивності та відносно низькій собівартості біомаси [2]. За енергетичною цінністю одна тонна сухої біомаси міскантусу приблизно відповідає 400 кг сирої нафти [55].

Енергетичний потенціал біомаси міскантусу при спалюванні порівнюють із деревиною і він може досягати 19 МДж/кг. Біомасу цієї культури застосовують як паливо на теплових електростанціях для виробництва електроенергії, а також у твердопаливних котлах для обігріву житлових і виробничих приміщень. Для використання у котлах подрібнену рослинну масу зазвичай пресують у паливні брикети або гранули. Важливими перевагами такого палива є його екологічність, енергетична безпечність та відносно низька пожежонебезпечність під час зберігання. Крім того, біомасу міскантусу можна комбінувати з аграрними та деревними відходами для виготовлення пелет і брикетів змішаного складу [18; 19].

Результати досліджень щодо екологічних обмежень і балансу парникових газів на плантаціях міскантусу свідчать, що під час спалювання його біомаси виділяється менше вуглекислого газу, ніж поглинається рослинами в процесі фотосинтезу [61; 19]. Крім того, таке паливо характеризується відсутністю неприємного запаху та незначними викидами оксиду вуглецю в атмосферу, що зменшує негативний вплив на довкілля і не сприяє посиленню парникового ефекту. Попіл, який утворюється після спалювання міскантусу, може бути використаний як калійне добриво безпосередньо на плантаціях цієї культури [14].

Біомаса міскантусу придатна не лише для виробництва твердого біопалива, але й для отримання рідкого палива – біоетанолу [4]. Дослідження, проведені у штатах Вісконсин та Мічиган (США), показали, що

середній вихід біоетанолу з одного гектара плантацій може становити близько 2,5 тис. літрів за один вегетаційний період [57].

Разом з тим біомаса міскантусу належить до лігноцелюлозної сировини, яка характеризується значною стійкістю до хімічного та ферментативного гідролізу. У зв'язку з цим для ефективної біопереробки необхідне проведення попередньої обробки, спрямованої на розділення основних структурних компонентів. Така підготовка є важливим етапом, що забезпечує ефективність подальших процесів ферментативного гідролізу та бродіння для отримання максимальної кількості цільових продуктів [26].

Виробництво олігосахаридів і біоетанолу з біомаси міскантусу може здійснюватися із застосуванням різних методів попередньої обробки, зокрема комбінованого парового вибуху, використання іонних рідин, кислот, лугів або ацетону. Найбільш ефективним вважається двоступеневий підхід, за якого спочатку проводять гідроліз геміцелюлози, після чого залишкову тверду фракцію піддають повторній обробці [30].

Окрім енергетичного використання, міскантус, завдяки значному вмісту целюлози та лігніну, знаходить застосування і в інших галузях. Його використовують у будівництві (для створення безшовних підлог, утеплення дахів, виготовлення покрівельних матеріалів), у целюлозно-паперовій промисловості (виробництво паперу, картону та пакувальних матеріалів), у садівництві та овочівництві (як замінник торфу, мульчувальний матеріал, основа для виготовлення горщиків для розсади та квітів), а також у тваринництві як підстилку або кормову добавку [58]. Волокнисті напівфабрикати, отримані зі стебел рослини, характеризуються високими фізико-механічними властивостями та придатні для виготовлення різних видів паперу і картону [27; 31; 42]. Крім того, біомаса цієї культури може служити джерелом целюлози високої якості, придатної для отримання біопластиків [12].

Однією з важливих агротехнічних особливостей міскантусу є його здатність стабілізувати важкі метали у ґрунті в зоні кореневої системи, при

цьому рівень їх накопичення в надземній біомасі зазвичай не перевищує допустимих значень. Наприкінці вегетації у листках рослин відзначали незначний вміст кобальту, однак його концентрація залишалася нижчою за гранично допустимі показники, а вже через три місяці – під час збирання врожаю – у біомасі ці домішки практично не виявлялися [46].

Перед закладанням плантацій рекомендується проводити підготовку ґрунту, зокрема вносити металостабілізатори, що знижують ризик накопичення важких металів у біомасі та їх можливого потрапляння в довкілля під час спалювання [12]. Фітотехнології, які передбачають вирощування міскантусу гігантського з подальшим використанням його біомаси для виробництва твердого біопалива (пелет або брикетів), можуть ефективно застосовуватися для очищення ґрунтів, забруднених важкими металами, зокрема внаслідок військової діяльності [48].

Вирощування цієї культури як фіторекультиванта є доцільним і на урбаногенних ґрунтах, оскільки воно сприяє покращенню їхніх властивостей, зменшенню деградаційних процесів та підвищенню агрономічної цінності. Висока продуктивність культури, що може досягати до 30 т/га біомаси, створює передумови для перетворення технологій фіторемедіації на економічно вигідний напрям біоенергетики [54].

Під час біологічного етапу рекультивації маргінальних земель використання міскантусу сприяє активізації ґрунтоутворювальних процесів. Потужна коренева система рослин забезпечує накопичення в ґрунті до 0,6 т/га органічного вуглецю щорічно [55; 57]. Крім того, рослини здатні здійснювати біологічну фіксацію азоту [49]. Водночас вирощування міскантусу ускладнюється на ґрунтах із вмістом глини понад 64 %, оскільки під час пересихання такі ґрунти сильно розтріскуються і можуть пошкоджувати кореневу систему рослин [48].

Цю культуру також рекомендують для фіторемедіації ґрунтів, забруднених нафтопродуктами. У таких умовах можливе одночасне очищення значних площ земель і отримання біомаси для виробництва

енергії, що є екологічно безпечним та економічно доцільним підходом. Міскантус гігантський здатний адаптуватися до нафтового забруднення, активізуючи власні захисні механізми і беручи участь у процесах деградації нафтопродуктів у ґрунті. Дослідження показали, що протягом одного вегетаційного періоду вміст нафтопродуктів у ґрунті з насадженнями міскантусу зменшується приблизно на 13 % порівняно із забрудненими ділянками без рослин. Одночасно знижується кислотність ґрунту, покращуються його агрохімічні показники, підвищуються сорбційні властивості та доступність елементів мінерального живлення. Завдяки виділенню коренями органічних сполук створюються сприятливі умови для розвитку мікроорганізмів, що сприяє активнішому розкладанню нафтопродуктів [48].

Міскантус гігантський розглядають також як перспективну культуру для вирощування на радіоактивно забруднених територіях. На таких землях вирощування продовольчих і кормових культур обмежене або неможливе, однак рослини енергетичного призначення можуть використовуватися для промислових потреб. Дослідження показали, що вміст радіонуклідів у біомасі міскантусу, вирощеного на забруднених ґрунтах, перебуває в межах допустимих значень. Застосування певних систем удобрення та вапнування ґрунтів дозволяє ще більше зменшити концентрацію ізотопів 137Cs та 90Sr у рослинній масі, одночасно підвищуючи врожайність культури [45].

Отже, міскантус гігантський як високопродуктивна біоенергетична культура має значний потенціал для широкого впровадження як у світі, так і в Україні, поєднуючи енергетичну, екологічну та рекультиваційну функції [43].

1.4. Вплив різних елементів технології вирощування на формування врожайності біомаси міскантусу гігантського

Міскантус гіганський належить до рослин із С4-типом фотосинтезу, що зумовлює його високу здатність до інтенсивного синтезу органічної речовини для промислового сектору [41]. Така фотосинтетична система гарантує стабільне функціонування агроценозу за підвищеного температурного режиму, дефіциту вологи та низького вмісту мінерального азоту, що якісно відрізняє міскантус від С3-культур. Окрім цього, він адаптований до формування високих урожаїв лігноцелюлозної маси у помірних кліматичних зонах [56].

Високий інтерес до цієї культури з боку дослідників відновлюваної енергетики викликаний її невибагливістю та продуктивністю. Досвід її вирощування в Україні свідчить, що вже на другий рік після висаджування ризом збір сухої сировини становить 20–25 т/га [51], а максимальна потужність плантації досягається на третій рік вегетації. У перший рік висота стеблостою сягає 1–2 м, а з другого року – 2,5–3,5 м. Період промислової експлуатації насаджень триває щонайменше 20 років (за економічної ефективності понад 15 років) [50; 51].

У разі рекультивації чи ліквідації плантації навесні, за висоти пагонів 20–30 см, посіви обробляють гербіцидами суцільної дії. Через 14 діб здійснюють кількаразове перехресне дискування важкими агрегатами, глибоку оранку та утримання поля під чорним паром [45].

Ефективність вирощування цієї багаторічної культури базується на якісній передсадивній підготовці ґрунту, що регулює його повітряно-водний, тепловий та поживний режими. Обробіток також спрямований на фітосанітарний контроль бур’янів і збудників хвороб. У зонах нестійкого зволоження ефективним є поліпшений спосіб обробітку, а в умовах достатнього зволоження або на маргінальних землях – напівпаровий (мульчування, 2–3-разове дискове лущення, глибока оранка й культивація) [44; 45].

Для пригнічення сегетальної рослинності після лущення застосовують препарати суцільної дії. Весняний обробіток стиглого ґрунту виконують на

глибину до 4 см, а передсадивну культивацію – у два проходи на 12–15 см [42].

Висаджування проводять спеціалізованими саджалками (з ручним, напівавтоматичним або повністю механізованим дозуванням ризом). Післясадивний комплекс включає коткування кільчасто-шпоровими котками для покращення контакту посадкового матеріалу з ґрунтом, досходове боронування зубовими боронами через 7 діб після садіння та подальші міжрядні розпушування [29; 36; 39]. Європейський досвід доводить, що використання пластикової біомульчі оптимізує вологість ґрунту в прохолодному кліматі й підвищує вихід біомаси на понад 30% [57]. На вітчизняному ринку наявний достатній шлейф ґрунтообробної техніки, проте розробка машин для заготівлі та садіння ризом (зокрема пристроїв І. А. Каспровича) залишається актуальною [41; 43].

Продуктивність плантації напряму залежить від кондиційності ризом. Ранні строки висаджування, використання адсорбентів та залучення ризом із понад 9 продуктивними бруньками забезпечують найвищий вихід біомаси (В. В. Дрига, В. А. Доронін та ін.). Одно- та дворічні кореневища є надійним джерелом садивного матеріалу, хоча вихід придатних ризом із дворічних маточників становить лише 30% через зимове перемерзання та загнивання [16; 17; 23; 24; 29]. За даними М. Я. Гументика, оптимальна маса однієї посадкової ризоми має становити 30–40 г [11; 12; 13].

Важливими факторами є строки та глибина загортання. В умовах Західного та Правобережного Лісостепу найкращі результати забезпечує висаджування у першій-другій декадах квітня, що гарантує максимальну схожість та енергетичний вихід [13; 32].

Оптимальним є загортання ризом на 8–10 см (за глибини 6 см урожайність становила 2,3 т/га, на 10 см – 2,6 т/га, а при 12 см – незначно знижувалася) [34; 35]. Рівномірність глибини є критичною – коефіцієнт варіації не повинен перевищувати 20% [23]. Вплив цих факторів закладає густоту стояння та успішність перезимівлі на всі наступні роки [23; 27].

Польова схожість ризом оптимізується за покращення умов живлення: внесення $N_{90}P_{45}K_{120}$ підвищує цей показник до 78,7% проти 73,8% на контролі, стимулюючи лінійний ріст та кущіння [14]. Передсадивне оброблення ризом регуляторами росту (Агростимулін, Емістим С, Регоплант) нівелює погодний стрес при пізньому садінні та активує синтез хлорофілу [6].

Оптимальна густота стояння для Правобережного Лісостепу становить 20 тис. шт./га, що забезпечує збір 16,7 т/га сухої маси (енергетичний вихід – 307,7 ГДж/га). Зрідження посівів призводить до деградації площі листкової поверхні [11]. Оскільки 90–95% біомаси формується в процесі фотосинтезу, для високої продуктивності площа листя має перевищувати площу ґрунту в 3–4 рази [13]. Регулювання площі живлення (наприклад, за схеми 90×45 см) дозволяє досягти індексу листкової поверхні на рівні 62 тис. $м^2$/га [32].

Міскантус гігантський відзначається низьким виносом азоту [33]. У Словаччині без азоту трирічна урожайність перевищувала 23 т/га, а при N_{60} зростала до 32 т/га [36]. В умовах північно-східного Лісостепу доза N_{60} забезпечила збір 15,58 т/га біомаси за висоти пагонів 241,8 см [39]. У зонах нестійкого зволоження ефективним визнано фон $N_{120}P_{50}K_{60}$ [49], на дерново-підзолистих ґрунтах Полісся – $N_{50}P_{50}K_{50}$ (локальний спосіб) [7]. В. М. Квак вважає агрономічно виправданою помірну дозу $N_{40}P_{15}K_{60}$ [36], тоді як інші автори фіксували динаміку зростання врожаю від 1,6 т/га (без добрив) до 2,5 т/га за умови внесення $N_{60}P_{60}K_{60}$ [37; 38].

Суттєвий ефект дає інтеграція макроживлення з вегетаційними обробками мікродобривами (дворазове внесення Хелатину Універсал на фоні $N_{30}P_{30}K_{30}$) [32; 33; 38]. Застосування органіки (до 30 т/га) повністю компенсує мінеральний комплекс [31], а біопрепарати та сидерати підвищують рентабельність палива на 62,5% [29]. Поєднання соломи й сидератів із бактеризацією ризом (Мікрогумін, Поліміксобактерин) на Поліссі збільшує врожайність на 14–16% проти стандартної схеми [25]. Використання золи комунальних осадів стічних вод виступає альтернативним джерелом фосфору

[29]. При культивуванні на нафтозабруднених землях стійкість та фотосинтез рослин підтримують гуматні препарати (Гуміфілд Форте Аміно, Фульвітал плюс) [32]. Високу синергетичну продуктивність і стійкість до вилягання демонструють також полікультури міскантусу з просом прутоподібним або бобовими компонентами (люпин, люцерна, конюшина) [28].

Через тривалий період появи сходів (20–35 діб) та повільний початковий ріст, перші 2–3 роки посіви доглядають як просапні культури. Зімкнутий щільний травостій надалі самостійно пригнічує бур'яни [30]. Засміченість посівів у перший рік знижує врожайність на 46–53% [30]. На маргінальних або прилеглих до водойм землях хімічний метод замінюють механічним: міжрядна культивація знижує кількість бур'янів на 77,8% (але пошкоджує коріння), триразове сітчасте боронування – на 79,7%, а найкращі результати забезпечує система послідовного зрізування бур'янів [29]. Надійний контроль бур'янів у перший рік гарантує стабільну конкурентоспроможність ценозу в майбутньому [27].

Для захисту від ґрунтових шкідників (личинок хрущів) ефективним є передсадивне інсектицидне замочування ризом у 1%-му розчині системних препаратів (імідаклоприд, тіаметоксам) [56].

З огляду джерел літератури можна зробити висновки, що міскантус гігантський є високопродуктивною енергетичною сировиною для отримання твердого палива (пелети, брикети) або біоетанолу [14; 18]. Культура виступає потужним фіторекультивантом для відновлення деградованих та забруднених нафтою чи важкими металами земель. Гідротермічний потенціал Лісостепу та Полісся України є сприятливим для накопичення високого врожаю біомаси.

РОЗДІЛ 2
УМОВИ ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Кліматичні умови проведення досліджень

Успішність реалізації генетичного потенціалу продуктивності міскантусу гігантського та динаміка розгортання його фотосинтетичної площі безпосередньо коригувалися погодними флуктуаціями протягом вегетаційних періодів 2023 та 2024 років. Аналіз метеорологічних параметрів свідчить про наявність істотних гідротермічних аномалій порівняно з середніми багаторічними показниками, що позначилося на біометричних параметрах культури.

Вегетаційний сезон 2023 року відзначився помірним термічним режимом та нерівномірним розподілом атмосферних опадів, що безпосередньо вплинуло на початкові етапи органогенезу. Квітень та травень характеризувалися затяжним характером із дещо зниженими нічними температурами, що дещо уповільнило проростання бруньок на ризомах та змістило фазу кущення. Проте достатні запаси продуктивної вологи у метровому шарі ґрунту компенсували температурний дефіцит. Червень та перша половина липня пройшли в умовах помірного тепла, що сприяло поступовому наростанню вегетативної маси. Проте серпень виявився посушливим – високі денні температури на фоні дефіциту опадів спровокували частковий гідротермічний стрес. Це обмежило максимальний розвиток листкового індексу на бездобривних ділянках і зумовило більш стримані показники маси одного пагона порівняно з наступним роком. Вересень продемонстрував утримання теплої та відносно сухої погоди, що стимулювало плавний перерозподіл (релокацію) асимілятів із надземної частини до підземних запасаючих органів (кореневищ), забезпечивши добру підготовку ценозу до зимового спокою.

Метеорологічні умови 2024 року виявилися значно динамічнішими і загалом сприятливішими для вирощування культури, що підтверджується

подвоєнням показників урожайності сухої речовини. Весна 2024 року розпочалася з інтенсивного й раннього потепління вже в третій декаді березня та протягом квітня. Фізична стиглість ґрунту та його швидкий прогрів створили ідеальні гідротермічні умови для ранньої активації ростових процесів. Відновлення вегетації відбулося у стислі строки, що забезпечило подовження загального періоду лінійного росту пагонів. Протягом червня та липня спостерігався підвищений температурний фон, який супроводжувався періодичними зливовими опадами продуктивного характеру. Таке поєднання високої інсоляції, тепла та вологи є оптимальним для С4-рослин. Самі ці чинники зумовили формування потужної площі листової поверхні на початку серпня (до 85,7 тис. $м^2$/га на фоні $N_{24}S_6$). Серпнева спека 2024 року хоч і була інтенсивною, але завдяки потужно розвиненій кореневій системі та пролонгованій дії амінокислотних antistress-препаратів, посіви ефективно утримували зелену масу. Початок осені характеризувався поступовим зниженням температур, що на фоні достатньої зволоженості ґрунту дозволило продовжити активне функціонування верхнього ярусу листя аж до першої декади вересня, максимізуючи фінальний збір біомаси.

Порівняльний аналіз двох років досліджень доводить, що 2024 рік за своїм гідротермічним коефіцієнтом (ГТК) та сумою ефективних температур був набагато ближчим до біологічного оптимуму міскантусу гігантського. Ранній старт весни та тривалий період високих температур влітку 2024 року дозволили рослинам повніше засвоїти як внесені через ґрунт макродобрива, так і мікрокомпоненти позакореневих підживлень, що матеріалізувалося у суттєвому зростанні маси пагонів і кінцевої врожайності порівняно з помірним та подекуди посушливим 2023 роком.

2.2. Методика проведення досліджень

Відповідно до методики польового досліду нами було проведено дослідження впродовж 2023 та 2024 років. Дослідну ділянку засаджували напочатку квітня ризомами міскантусу гіганського, глибина садіння становила 10 см, схема посадки 0,7х1 м, сорт Гулівер [15; 22]. Зазначений генотип є високопродуктивним триплоїдним культиваром міскантусу гігантського, виведеним увченими-селекціонерами Національного ботанічного саду імені М. М. Гришка НАН України та внесеним до державного реєстру у 2015 році. До ключових біолого-господарських параметрів цього цінного сорту належать: вирощується як спеціалізована сировина для виготовлення компресованого твердого палива (паливних гранул, брикетів), а також знаходить застосування у целюлозно-паперовому промисловому секторі. Збір сухої надземної маси варіює в межах 25–87 т/га, що безпосередньо зумовлюється віковою структурою плантації та агротехнічним фоном. Забезпечує отримання теплової енергії в обсязі близько 410 ГДж з кожного гектара насаджень. Рослини формують потужні прямі стебла та розгалужену підземну запасаючу систему. Промислова експлуатація створеного агроценозу без проведення рекультивації та пересаджування становить від 10 до 20 рокі.

Відповідно до програми дослідження, стрічково-локальне внесення аміачної селітри та сульфату амонію в міжрядні простори забезпечували у другій декаді квітня, до моменту появи перших проростків культури. Перше позакореневе обприскування посівів виконували на етапі формування п’яти листків, а дублювальну обробку здійснювали з інтервалом у 14 діб. На другому році життєдіяльності насаджень для пригнічення сегетальної рослинності було проведено одноразове механічне розпушування міжрядь. Контроль забур’яненості посівів упродовж усього вегетаційного циклу підтримувався за допомогою ручного прополювання в міру потреби.

Аміачна селітра є азотним мінеральним добривом амонійно-нітратної форми, у складі якого азот представлений у рівному співвідношенні амонійної (NH_4) та нітратної (NO_3) форм. Вміст загального азоту становить

34,4 %. Добриво випускається у гранульованому вигляді, гранули мають біле забарвлення з можливим жовтуватим або рожевим відтінком. За фізіологічними властивостями аміачна селітра належить до кислих добрив.

Таблиця 2.1

Схема досліду

Внесення добрив в ґрунт навесні	Позакореневе підживлення	
	добрива на основі гумітів (стимулятори росту)	добрива з амінокислотами
Без добрив	не застосовується	не застосовується
		Хелатин Універсал 0,5 л/га
	Гуміплюс 8 л/га	не застосовується
		Хелатин Універсал 0,5 л/га
	Гуміфілд Форте Аміно 0,4 л/га	Не застосовується
		Хелатин Універсал 0,5 л/га
Аміачна селітра +Сульфат амонію (N_{24} кг/га, S_6 кг/га)	Не застосовується	не застосовується
		Хелатин Універсал 0,5 л/га
	Гуміплюс 8 л/га	Не застосовується
		Хелатин Універсал 0,5 л/га
	Гуміфілд Форте Аміно 0,4 л/га	не застосовується
		Хелатин Універсал 0,5 л/га
Аміачна селітра (N_{24} кг/га)	не застосовується	не застосовується
		Хелатин Універсал 0,5 л/га
	Гуміплюс 8л/га	не застосовується
		Хелатин Універсал 0,5 л/га
	Гуміфілд Форте Аміно 0,4 л/га	не застосовується
		Хелатин Універсал 0,5 л/га

Її широко використовують у різних ґрунтово-кліматичних умовах як для основного внесення, так і для передпосівного удобрення та проведення підживлень сільськогосподарських культур. Особливо ефективним є застосування навесні під озимі та ярі зернові культури, а також овочеві рослини. Добриво можна вносити локальним або поверхневим способом. Норми використання визначаються відповідно до агрохімічного стану ґрунту, біологічних особливостей культури та прогнозованого рівня врожайності. Основною перевагою аміачної селітри є швидке та легке засвоєння азоту рослинами.

Сульфат амонію гранульований належить до універсальних азотно-сірковмісних добрив, придатних для вирощування широкого спектра

культур, зокрема зернових, технічних, овочевих, садових та кормових. У його складі міститься 21 % амонійного азоту та 24 % сірки. Сірка представлена у формі сульфат-іонів (SO_4^{2-}), які є доступними для засвоєння рослинами.

Наявність сірки у добриві сприяє кращому використанню азоту та бере участь у синтезі важливих амінокислот, серед яких цистеїн, метіонін, треонін і лізин. Це позитивно впливає на якість сформованої продукції. Крім того, сірка відіграє важливу роль у процесах утворення хлорофілу та сприяє інтенсивнішому накопиченню лігніну у стеблах рослин.

Сульфат амонію характеризується високою доступністю для рослин, при цьому елементи живлення малорухомі у ґрунті та незначною мірою піддаються вимиванню. Завдяки цьому добриво ефективне як при основному внесенні, так і під час весняних підживлень. Коефіцієнт засвоєння поживних елементів може досягати 90–95 %. Використання сульфату амонію дає змогу одночасно усунути дефіцит азоту й сірки у живленні рослин, що забезпечує підвищення продуктивності та покращення якісних характеристик урожаю. Норми внесення добрива встановлюють з урахуванням результатів агрохімічного аналізу ґрунту та потреб конкретної культури.

Препарат «Гуміплюс» є багатокомпонентним рідким добривом органічного походження, яке поєднує властивості стимулятора росту та біофунгіциду. Основою для його виготовлення слугує вермікомпост. Основа діючого комплексу: фізіологічно активні фракції гумусових сполук, зокрема гумінові та фульвокислоти. Набір есенціальних біогенних макро- та мікрокомпонентів у легкодоступній хелатованій (органічній) формі, що включає залізо, мідь, цинк), кобальт, молібден, марганець та бор.

Біостимулятор та антистресант Гуміфілд Форте Аміно є сучасним комплексним препаратом, що поєднує фізіологічну дію гуматів та вільних L-амінокислот. Основна сфера його застосування охоплює передпосівну обробку насіння, ризом чи бульб, а також позакореневе підживлення посівів овочевих, плодово-ягідних та польових культур. Аналітична характеристика

складу: діюча основа солі гумінових кислот – 135 г/л, вільні амінокислоти – 60 г/л, оксид калію – 20 г/л, комплексні мікроелементи – 5 г/л. Препарат миттєво (протягом однієї години) проникає у клітини рослин, нівелюючи деструктивну дію температурного стресу, опіків від пестицидних обробок, приморозків чи суховіїв. Сприяє формуванню потужної підземної архітектоніки рослин, підвищуючи їхній загальний коефіцієнт посухостійкості. Посилює інтенсивність фотосинтетичних процесів, активізує ендогенні захисні механізми та гарантує вагоме зростання біологічної продуктивності.

Високоефективний мікроелементний комплекс Хелатин Універсал призначений для попередження та ліквідації наслідків мінерального голодування рослин, а також для максимізації збору біомаси. Використання хелатних сполук у структурі препарату забезпечує практично повне (на 90–100%) засвоєння діючих речовин листовою поверхнею. Оптимальна матриця макро- (N, P, K) та мікроелементів (Fe, Zn, Cu, Mn, B, Mg), що повністю задовольняє біологічні потреби культури під час органогенезу. Виступає антистресантом у разі різких коливань температури, приморозків чи дефіциту вологи. Зміцнює імунну систему рослин, мінімізуючи скидання цвіту та недостиглих плодів. Стимулює репродуктивні процеси та нормалізує внутрішній обмін речовин.

РОЗДІЛ 3
РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ОСОБЛИВОСТЕЙ РОСТУ, РОЗВИТКУ ТА ПРОДУКТИВНОСТІ МІСКАНТУСУ ГІГАНТСЬКОГО ЗАЛЕЖНО ВІД ФАКТОРІВ ЖИВЛЕННЯ

Застосування позакореневого підживлення препаратами, що містять амінокислоти та регулятори росту на основі гуматів, може позитивно впливати на ріст і розвиток рослин міскантусу гігантського. Доступність елементів живлення та здатність рослин засвоювати їх, а також роль окремих елементів у формуванні стійкості до стресових умов дають змогу шляхом коригувального листкового підживлення необхідними поживними елементами впливати на формування структури врожайності культури.

Позакореневе внесення мікроелементів сприяє оптимізації засвоєння макроелементів живлення. За умов достатнього забезпечення рослин мікроелементами відбувається збільшення вегетативної маси приблизно на 15–20 % (у перерахунку на суху речовину), при цьому витрати вологи можуть зменшуватися до 20 %. Використання амінокислотних препаратів для листкового підживлення підвищує стійкість рослин до високих температур і посушливих умов, сприяє покращенню азотного обміну та гормонального балансу, а також забезпечує інтенсивніший перебіг процесів фотосинтезу. У зв’язку з цим важливим є визначення як комплексного, так і індивідуального впливу кожного з досліджуваних факторів.

3.1. Динаміка формування висоти рослин міскантусу гігантського

Формування надземної біомаси міскантусу гігантського, зокрема висоти рослин, зумовлюється морфологічними особливостями сорту, гідротермічними умовами вегетаційного періоду та елементами агротехнології, серед яких важливе місце займає система удобрення. Фенологічні спостереження за рослинами міскантусу другого року вегетації

протягом вегетаційного періоду 2023 року не виявили залежності тривалості окремих фаз розвитку від досліджуваних факторів. Зокрема, внесення аміачної селітри у дозі 24 кг/га діючої речовини азоту, а також суміші аміачної селітри з гранульованим сульфатом амонію (N_{24} кг/га та S_6 кг/га діючої речовини) не вплинуло на інтенсивність відростання пагонів і тривалість наступних міжфазних періодів. На всіх дослідних варіантах, незалежно від умов досліду, відростання рослин відбувалося одночасно – у третій декаді квітня.

Аналогічна тенденція спостерігалася і в 2024 році: весняне підживлення мінеральними добривами не вплинуло на темпи відростання пагонів. Водночас початок вегетації був на три дні пізнішим порівняно з 2023 роком і припав на кінець третьої декади квітня, що було зумовлено нижчими за середні багаторічні показниками температури повітря.

Так, дослідження ростових процесів міскантусу впродовж вегетаційного періоду 2023 року дозволили виявити чітку залежність лінійних параметрів культури від досліджуваних систем макро- та мікроудобрення (табл. 3.1). На початкових етапах розвитку (фаза трьох листків, облік від 02.05) висота проростків коливалася у межах 17,7–20,7 см.

У цей період істотного розмежування за варіантами живлення ще не спостерігалося, оскільки рослини переважно використовували ендогенні резерви підземних ризом. Проте вже на етапі кущення (кінець травня – червень) інтенсивність росту надземної маси суттєво прискорилася під дією внесених ранньовесняних удобрень.

У фазі виходу рослин у трубку (середина серпня) лінійний ріст досяг середніх значень 167,4–200,6 см. Абсолютний мінімум висоти стеблостою впродовж усього літньо-осіннього періоду стабільно фіксували на контрольних ділянках (без добрив), де до кінця вегетації (облік 25.11, фаза цвітіння) висота пагонів не перевищувала 207,2–256,5 см. Натомість оптимізація кореневого живлення за допомогою комбінації аміачної селітри та сульфату амонію ($N_{24}S_6$) викликала потужний стимулюючий ефект. Сама

лише мінеральна база без додаткових вегетаційних обробок забезпечила формування стебел заввишки 230,5 см у фазі цвітіння, що математично доведено у порівнянні з контрольними 207,2 см при $НІР_{0,05}$ = 2,7 см.

Таблиця 3.1

Вплив факторів досліду на висоту рослин міскантусу гігантського 2023 р., см

Весня не удобрення	Позакореневе підживлення		Фаза розвитку						
	гумати	амінокислоти	3-х листків 02.05	кущення		вихід у трубку		викидання волоті	цвітіння
				26.05	29.06	15.08	03.09	26.10	25.11
Без добрив	не застосовується	не застосовується	17,7	57,4	173,7	188,5	190,5	202,5	207,2
		Хелатин Універсал 0,5 л/га	19,4	61,7	176,5	196,2	199,9	204,2	220,4
	Гуміплюс	не застосовується	20,0	64,3	175,7	197,1	200,5	212,2	230,3
		Хелатин Універсал 0,5 л/га	19,0	60,6	178,2	207,3	209,5	215,9	243,0
	Гуміфілд Форте Аміно 0,4 л/га	не застосовується	20,1	61,3	167,4	198,3	201,9	221,9	226,6
		Хелатин Універсал 0,5 л/га	19,4	59,4	183,1	204,8	207,2	223,5	256,5
Аміачна селітра+сульфат амонію (N_{24} кг/га, S_6 кг/га)	не застосовується	не застосовується	20,5	61,4	178,0	206,9	214,5	218,5	230,5
		Хелатин Універсал 0,5 л/га	18,7	63,5	186,0	213,1	226,5	225,5	233,9
	Гуміплюс	не застосовується	19,1	58,9	180,6	213,1	223,5	244,9	277,9
		Хелатин Універсал 0,5 л/га	18,7	62,5	200,6	215,8	223,9	248,2	282,2
	Гуміфілд Форте Аміно 0,4 л/га	не застосовується	19,6	62,6	185,1	208,3	220,2	221,2	270,3
		Хелатин Універсал 0,5 л/га	18,7	57,7	190,2	220,3	225,9	230,5	280,3
Аміачна селітра (N_{24} кг/га)	не застосовується	не застосовується	19,4	59,4	175,6	200,9	203,2	211,2	220,3
		Хелатин Універсал 0,5 л/га	20,7	61,1	180,2	203,6	209,2	211,9	221,2
	Гуміплюс	не застосовується	19,3	65,2	176,1	206,0	221,5	225,9	249,2
		Хелатин Універсал 0,5 л/га	20,6	62,0	188,7	215,1	224,9	230,5	275,9
	Гуміфілд Форте Аміно 0,4 л/га	не застосовується	20,0	59,7	178,2	208,5	218,5	221,9	247,2
		Хелатин Універсал 0,5 л/га	18,3	59,9	181,5	218,0	225,9	236,5	274,5
$НІР_{0,05}$			*1,1*	*2,8*	*1,1*	*2,8*	*8,3*	*5,3*	*7,0*

Максимальні біометричні показники міскантусу гігантського наприкінці аграрного сезону було знято на варіантах комплексного поєднання сульфатно-азотних добрив із листовими інтервенціями органо-мінеральних комплексів. Зокрема, у фазі цвітіння найвищі рослини (282,2 см) сформувалися за сумісного внесення $N_{24}S_6$ навесні та наступного двокомпонентного обприскування препаратами Гуміплюс та Хелатин Універсал (0,5 л/га). Поодиноке використання азотного макротла також забезпечило високі результати (до 275,9 см при аналогічному листовому підживленні), що підтверджує високу синергетичну здатність С4-фотосинтетичного апарату культури реагувати на екзогенне введення гумінових кислот та мікроелементів у критичні фази органогенезу.

У ході проведення експериментальних досліджень у 2024 році було проаналізовано ростову активність насаджень міскантусу гігантського на третьому році вегетації залежно від систем кореневого та позакореневого підживлення (табл. 3.2). Результати травневих обліків (фаза 3-х листків, 10.05) засвідчили відносну вирівняність лінійних параметрів культури в усіх варіантах досліду (інтервал 24,9–27,0 см), що пояснюється інерційним ростом за рахунок накопичених поживних компонентів підземної маси.

На стадії кущення (обліки від 03.06 та 27.06) чітко проявилася диференціація за висотою пагонів. Наприкінці червня лінійні параметри рослин без мінеральної підтримки коливалися у межах 231,7–248,6 см. Внесення аміачної селітри пришвидшило темпи росту, збільшивши висоту стеблостою до 240,6–250,3 см. Оптимальний рівень асиміляційного росту на цьому етапі гарантувало бінарне азотно-сірчане добриво, де лінійні показники пагонів досягли 247,6–255,9 см.

Аналіз фази виходу в трубку (серпень–жовтень) виявив формування максимального біометричного потенціалу культури. До кінця жовтня лінійний статус рослин на контрольних варіантах обмежувався межами 328,5–384,9 см. Натомість насадження, які одержали комплексне макроживлення ($N_{24}S_6$), суттєво випередили контроль

Таблиця 3.2

Вплив факторів досліду на висоту рослин міскантусу гігантського 2024 р., см

Весна не удобрення	Позакореневе підживлення		Фаза розвитку					
	гумати	амінокислоти	3-х листків 10.05	кущення		вихід у трубку		викидання волоті 26.10
				03.06	27.06	08.08	06.09	
Без добрив	не застосовується	не застосовується	25,3	89,5	231,7	301,3	314,6	328,5
		Хелатин Універсал 0,5 л/га	25,4	93,5	242,4	313,5	323,5	340,4
	Гуміплюс	не застосовується	25,1	95,5	242,5	319,7	337,9	368,4
		Хелатин Універсал 0,5 л/га	25,4	89,4	248,6	327,7	338,9	365,1
	Гуміфілд Форте Аміно 0,4 л/га	не застосовується	25,4	92,5	239,1	321,7	359,1	378,7
		Хелатин Універсал 0,5 л/га	25,1	89,7	242,2	325,0	367,3	384,9
Аміачна селітра+сульфат амонію (N_{24} кг/га, S_6 кг/га)	не застосовується	не застосовується	24,9	92,6	247,6	327,5	331,8	374,3
		Хелатин Універсал 0,5 л/га	25,2	93,7	248,5	328,1	364,1	396,8
	Гуміплюс	не застосовується	27,0	97,6	251,6	328,2	367,0	391,1
		Хелатин Універсал 0,5 л/га	25,1	95,2	255,9	336,0	380,1	400,4
	Гуміфілд Форте Аміно 0,4 л/га	Не застосовується	25,7	95,1	250,6	329,9	376,0	376,6
		Хелатин Універсал 0,5 л/га	25,7	95,3	251,7	333,4	376,2	410,3
Аміачна селітра (N_{24} кг/га)	не застосовується	не застосовується	25,1	92,1	240,6	322,6	329,1	363,1
		Хелатин Універсал 0,5 л/га	25,5	94,8	245,5	325,5	352,2	383,9
	Гуміплюс	не застосовується	26,6	93,4	244,7	327,9	354,0	374,7
		Хелатин Універсал 0,5 л/га	26,0	93,3	249,6	324,3	370,4	402,7
	Гуміфілд Форте Аміно 0,4 л/га	не застосовується	26,4	93,3	247,7	323,0	374,8	378,0
		Хелатин Універсал 0,5 л/га	26,0	95,9	250,3	332,4	376,3	386,3
		$НІР_{0,05}$	*1,1*	*2,6*	*4,0*	*4,4*	*2,4*	*2,2*

Стабільний максимум лінійного росту наприкінці сезону зафіксовано на варіанті, де внесення $N_{24}S_6$ поєднувалося із обробкою Гуміфілд Форте

Аміно та Хелатин Універсал – 410,3 см, що суттєво перевищує фоновий показник (374,3 см) за математично підтвердженого $НІР_{0,05}$ = 2,2 см. Моноазотне підживлення у комбінації з Хелатин Універсал та Гуміплюс також сформувало високий показник – 402,7 см. Дисперсійний аналіз експериментальних даних довів провідну роль сульфатно-азотного живлення як базисного чинника активації меристематичних тканин міскантусу.

В цілому, по обох періодах аналізу показника висоти рослин нами отримані приблизно однакові частки впливу факторів досліду – весняного удобрення азотними добривами на 42 та 43 %, підживлення гуматами на 39 та 35 % та підживлення амінокислотами на 16 та 16 %.

3.2. Особливості розвитку асиміляційного апарату рослин міскантусу гігантського

Високий рівень продуктивності рослин міскантусу гігантського значною мірою залежить від ефективності використання сонячної енергії у процесі фотосинтезу. Фотосинтез є основним фізіологічним процесом, у результаті якого синтезуються органічні речовини, що становлять близько 95 % сухої маси рослини.

Інтенсивність фотосинтетичного процесу визначається впливом комплексу зовнішніх факторів, зокрема рівнем освітлення, температурою повітря, концентрацією вуглекислого газу, вологістю та іншими умовами середовища. Водночас важливу роль відіграють і біологічні особливості рослин, передусім їх специфічна реакція на зміну зовнішніх чинників. Отже, фотосинтез слід розглядати як результат взаємодії внутрішніх властивостей рослинного організму з умовами навколишнього середовища.

Розміри листкового апарату формуються під впливом біометричних показників рослин, тривалості функціонування листків та значною мірою залежать від умов мінерального живлення. Для детальнішого аналізу впливу весняного внесення добрив та позакореневого підживлення на ріст і розвиток

рослин міскантусу гігантського було проведено дослідження вмісту хлорофілу в листках, динаміки формування площі листкової поверхні, фотосинтетичного потенціалу та чистої продуктивності фотосинтезу.

Упродовж вегетаційного періоду, у першу декаду кожного місяця, визначали кількість зелених листків на стеблах міскантусу гігантського (табл. 3.3, рис. 3.1).

Таблиця 3.3

Динаміка кількості зелених листків на одному стеблі міскантусу гігантського залежно від дії досліджуваних факторів упродовж років досліджень, шт.

Удобрення навесні	Позакореневе підживлення		01.08		01.09	
	гумати	добрива з амінокислотами	2023	2024	2023	2024
Без добрив	не застосовується	не застосовується	9,51	8,09	7,69	6,71
		Хелатин Універсал 0,5 л/га	10,71	9,11	8,99	7,81
	Гуміплюс 8 л/га	не застосовується	9,51	8,49	7,99	7,71
		Хелатин Універсал 0,5 л/га	9,41	9,11	8,29	7,01
	Гуміфілд Форте Аміно 0,4 л/га	не застосовується	9,11	8,99	7,69	7,11
		Хелатин Універсал 0,5 л/га	10,11	8,99	8,29	7,31
Ам. селітра+ Сульфат амонію (N_{24} кг/га, S_6 кг/га)	не застосовується	не застосовується	8,31	8,59	6,99	6,91
		Хелатин Універсал 0,5 л/га	8,71	8,89	7,29	7,61
	Гуміплюс 8 л/га	не застосовується	9,11	8,69	7,69	7,31
		Хелатин Універсал 0,5 л/га	9,91	8,99	8,29	7,31
	Гуміфілд Форте Аміно 0,4 л/га	не застосовується	9,51	8,69	7,99	7,41
		Хелатин Універсал 0,5 л/га	10,31	9,41	8,69	7,71
Ам. селітра (N_{24} кг/га)	не застосовується	не застосовується	9,11	9,71	7,69	7,41
		Хелатин Універсал 0,5 л/га	9,11	9,71	7,69	8,11
	Гуміплюс 8л/га	не застосовується	9,91	8,89	8,29	7,11
		Хелатин Універсал 0,5 л/га	9,11	9,71	7,69	6,91
	Гуміфілд Форте Аміно 0,4 л/га	Не застосовується	8,71	9,21	7,29	7,51
		Хелатин Універсал 0,5л/га	8,71	8,29	7,29	7,31
		$НІР_{0,05}$	*0,40*	*0,50*	*0,30*	*0,40*

Аналіз експериментальних даних засвідчив чітку залежність між кількісним складом листового апарату на одному стеблі та обраною схемою мінерального живлення й позакореневого підживлення у різні фази вегетації. Так, на початку третього літнього місяця в обох річних циклах спостережень зафіксовано найвищі показники густоти листя на пагонах, що пов’язано з

активними ростовими процесами біомаси. У варіантах без азотного підживлення навесні максимальний ефект забезпечило дворазове обприскування посівів мікродобривом Хелатин Універсал (0,5 л/га), де кількість листків досягала 10,71 шт. (2023 р.) та 9,11 шт. (2024 р.), що суттєво перевищувало контрольний варіант (9,51 та 8,09 шт. відповідно).



Рис. 3.1. Порівняльний аналіз ефективності удобрення, середнє за 2023–2024 рр.

У варіантах із внесенням сульфатно-азотного комплексу ($N_{24}S_6$) найкращий результат на початку серпня продемонструвало поєднання препарату Гуміфілд Форте Аміно та Хелатину Універсал – 10,31 шт./стебло у 2023 році. Для варіантів із чистою аміачною селітрою (N_{24}) у цей же період виділився варіант одноосібного внесення Гуміплюс (8 л/га), де у 2023 році сформувалося 9,91 шт. зелених листків.

Ближче до початку осені спостерігається природна тенденція до зниження кількості функціонуючих листків на одному пагоні міскантусу, що зумовлено початком процесів відмирання нижнього ярусу листя та перерозподілом пластичних речовин. Проте інтенсивність цього процесу відрізнялася за варіантами досліду. Так, найбільш стабільне утримання зеленої маси на 1 вересня 2024 року відзначено на фоні внесення аміачної

селітри за умови вегетаційного оброблення Хелатином Універсал (8,11 шт.). Рослини на абсолютному контролі (без добрив та обприскувань) демонстрували найшвидшу деградацію асиміляційної площі, знижуючи показник до мінімальних 6,71 шт. наприкінці сезону 2024 року.

Оцінюючи дію позакореневих обробок, варто підкреслити, що біостимулятори на основі амінокислот та гуматів у більшості випадків виступали ефективними пролонгаторами життєздатності листових пластинок. Порівняльний аналіз років показує, що гідротермічні умови 2023 року виявилися більш сприятливими для збереження листового апарату міскантусу у літній період порівняно з 2024 роком. Усі зафіксовані відхилення між варіантами досліджень є математично доведеними, оскільки вони перевищують розраховані значення найменшої істотної різниці, яка перебувала в діапазоні від 0,30 до 0,50 шт. Динаміку формування листкової поверхні рослин у 2023 році наведено в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4

Параметри розвитку фотосинтетичного апарату посівів міскантусу гігантського залежно від факторів дослідження, тис. м²/га (2023 р.)

Удобрення навесні	Позакореневе підживлення		Фаза кущення	Вихід у трубку	Викидання волоті
	гумати	амінокислотами			
Без добрив	не застосовується	не застосовується	17,6	16,7	14,3
		Хелатин Універсал 0,5 л/га	29,5	24,3	22,2
	Гуміплюс 8 л/га	не застосовується	27,2	22,9	18,6
		Хелатин Універсал 0,5 л/га	21,5	21,4	17,3
	Гуміфілд Форте Аміно 0,4 л/га	не застосовується	28,3	26,0	20,4
		Хелатин Універсал 0,5 л/га	28,1	27,4	23,6
Аміачна селітра + Сульфат амонію (N_{24} кг/га, S_6 кг/га)	не застосовується	не застосовується	24,2	25,4	22,3
		Хелатин Універсал 0,5 л/га	33,9	32,6	30,8
	Гуміплюс 8 л/га	не застосовується	44,9	42,0	34,3
		Хелатин Універсал 0,5 л/га	44,4	41,6	32,7
	Гуміфілд Форте Аміно 0,4 л/га	не застосовується	44,0	41,4	31,6
		Хелатин Універсал 0,5 л/га	48,5	44,6	31,5
Аміачна селітра (N_{24} кг/га)	не застосовується	не застосовується	25,3	27,8	20,0
		Хелатин Універсал 0,5 л/га	31,0	26,3	23,5
	Гуміплюс 8 л/га	не застосовується	29,3	28,8	26,6
		Хелатин Універсал 0,5 л/га	30,9	33,3	24,8
	Гуміфілд Форте Аміно 0,4 л/га	не застосовується	31,0	29,0	24,8
		Хелатин Універсал 0,5 л/га	34,7	34,2	29,2
		$НІР_{0,05}$	*2,6*	*2,9*	*2,4*

Результати досліджень свідчать, що кількість зелених листків на одному стеблі міскантусу гігантського істотно змінювалася залежно від застосованих елементів живлення та позакореневих підживлень у різні фази росту рослин. Найменші показники зафіксовано на контрольному варіанті без внесення добрив і без використання позакореневих препаратів. У фазу кущення кількість зелених листків становила 17,6 шт., у фазу виходу в трубку – 16,7 шт., а під час викидання волоті – 14,3 шт.

Використання лише позакореневого підживлення Хелатин Універсал у контрольному варіанті сприяло помітному покращенню показників. У фазу кущення кількість листків збільшувалася до 29,5 шт., що на 11,9 шт. більше порівняно з контролем. Аналогічна тенденція спостерігалася і в наступні фази розвитку культури.

Застосування гуматів також позитивно впливало на облистненість рослин. За використання препарату Гуміплюс без мінерального удобрення кількість листків у фазу кущення досягала 27,2 шт., тоді як поєднання цього препарату з Хелатином Універсал забезпечувало 21,5 шт. У варіантах із препаратом Гуміфілд Форте Аміно показники були дещо вищими і становили відповідно 28,3 та 28,1 шт.

Найефективнішим виявилося сумісне застосування аміачної селітри із сульфатом амонію та позакореневих препаратів. Максимальну кількість зелених листків у фазу кущення – 48,5 шт. – отримано за поєднання мінерального удобрення з препаратом Гуміфілд Форте Аміно та обробкою Хелатином Універсал. У фазу виходу в трубку цей показник становив 44,6 шт., що також було найвищим серед усіх досліджуваних варіантів.

За внесення лише аміачної селітри показники облистненості були нижчими, ніж у варіантах із додатковим внесенням сірки, проте перевищували контроль. Найкращі результати у цьому варіанті забезпечувало поєднання аміачної селітри, Гуміфілд Форте Аміно та Хелатину Універсал, де кількість зелених листків становила 34,7 шт. у фазу

кущення, 34,2 шт. у фазу виходу в трубку та 29,2 шт. у період викидання волоті.

Загалом встановлено, що застосування мінеральних добрив у комплексі з гуматами та амінокислотними препаратами сприяло формуванню більшої кількості зелених листків на стеблі міскантусу гігантського протягом усього періоду вегетації. Найвищу ефективність забезпечувало комплексне використання азотних і сірковмісних добрив у поєднанні з позакореневими підживленнями.

Розвиток і розширення площі асиміляційного апарату є ключовим індикатором продуктивності біоенергетичних насаджень міскантусу гігантського (табл. 3.5).

Таблиця 3.5

Параметри розвитку фотосинтетичного апарату посівів міскантусу гігантського залежно від факторів дослідження, тис. м²/га (2024 р.)

Внесення добрив в ґрунт навесні	Позакореневе підживлення		Кущення	Вихід в трубку	
	гумати	амінокислоти	06.07	06.08	09.09
Без добрив	не застосовується	не застосовується	28,4	44,8	33,9
		Хелатин Універсал 0,5 л/га	34,2	62,4	49,9
	Гуміплюс 8 л/га	не застосовується	36,6	54,6	48,9
		Хелатин Універсал 0,5 л/га	38,5	60,6	45,2
	Гуміфілд Форте Аміно 0,4 л/га	не застосовується	35,4	64,2	47,1
		Хелатин Універсал 0,5 л/га	36,8	63,5	57,3
Аміачна селітра +Сульфат амонію (24 кг/га, S 6 кг/га)	не застосовується	не застосовується	44,2	67,9	53,6
		Хелатин Універсал 0,5 л/га	44,8	75,0	61,9
	Гуміплюс 8 л/га	не застосовується	43,9	77,8	63,9
		Хелатин Універсал 0,5 л/га	50,4	82,9	60,5
	Гуміфілд Форте Аміно 0,4 л/га	не застосовується	48,7	78,2	58,4
		Хелатин Універсал 0,5 л/га	49,0	85,7	66,0
Аміачна селітра (N_{24} кг/га)	не застосовується	не застосовується	39,8	64,5	46,9
		Хелатин Універсал 0,5 л/га	41,3	72,1	60,3
	Гуміплюс 8 л/га	не застосовується	40,6	68,3	49,5
		Хелатин Універсал 0,5 л/га	44,1	83,0	51,4
	Гуміфілд Форте Аміно 0,4 л/га	не застосовується	43,5	76,7	56,8
		Хелатин Універсал 0,5 л/га	44,6	70,3	61,5
		НІР0,05	*2,8*	*4,4*	*4,1*

Отримані результати польових спостережень зафіксували виражену нелінійну динаміку наростання вегетативної маси протягом літньо-осіннього періоду 2024 року, а також продемонстрували високу чутливість культури до оптимізації фону живлення Експериментально доведено, що процес формування фотосинтетичної площі мав куполоподібну криву.

У фазу кущення рослини активно формували первинну листкову масу. На абсолютній ізольованій зоні (без добрив) цей показник становив усього 28,4 тис. м^2/га. На етапі виходу рослин у трубку спостерігався експоненціальний стрибок розвитку листкових пластинок, що зумовлено максимальним сонячним інсоляційним навантаженням та гідротермічним оптимумом. Саме на початку серпня зафіксовано екстремальні значення площі асиміляційного дзеркала по всіх варіантах досліду. Ближче до вересня відбувалося закономірне зниження площі життєздатного листя (на 15–25% порівняно з серпневим піком). Це спричинено фізіологічним старінням нижніх ярусів ценозу та релокацією пластичних сполук до кореневищ.

Внесення макроелементів під час відновлення вегетації навесні забезпечило потужний стартовий імпульс. Використання азотно-сірчаного комплексу ($N_{24}S_6$ на базі аміачної селітри та сульфату амонію) виявилося найбільш збалансованим. Навіть без використання вегетаційних обприскувань (контроль другого блоку) площа листя у серпні становила 67,9 тис. м^2/га, що на 51,5% більше за аналогічний показник ділянки без добрив. Моновнесення чистої аміачної селітри також суттєво стимулювало вегетативну архітектоніку посіву (до 64,5 тис. м^2/га у серпні), проте дещо поступалося сірковмісному блоку живлення.

Інтеграція у схему вирощування бакових сумішей чи послідовних листових обприскувань стимулювала додаткову адаптивність рослин: на ділянках із комплексним підживленням $N_{24}S_6$ максимальну синергетичну дію забезпечило поєднання антистресанта Гуміфілд Форте Аміно та мікродобрива Хелатин Універсал – площа листя досягла абсолютного максимуму 85,7 тис. м^2/га. У варіанті з використанням звичайної аміачної

селітри високу біостимулюючу здатність продемонструвала комбінація Гуміплюс + Хелатин Універсал, піднявши показник площі до 83,0 тис. м^2/га. Біопрепарати з вмістом вільних амінокислот суттєво уповільнювали деградаційні процеси в тканинах рослин наприкінці сезону. Так, станом на 08.09.2024 на ділянках, оброблених Хелатином Універсал, утримувалися значно вищі параметри робочої фотосинтетичної площі (до 61,5–66,0 тис. м^2/га).

Усі зафіксовані ефекти та відхилення є повністю релевантними та репрезентативними, оскільки різниця між варіантами в кожному часовому зрізі перевищує поріг випадкової похибки, встановлений критерієм найменшої істотної різниці ($НІР_{0,05}$ = 2,8; 4,4; 4,1).

3.3. Урожайність сухої речовини міскантусу гігантського залежно від систем удобрення та позакореневого підживлення

Одними з ключових критеріїв оцінювання ефективності технології вирощування міскантусу гігантського є рівень урожайності біомаси. Урожайність біомаси виступає основним показником продуктивності фотосинтетичного апарату рослин і відображає вплив окремих елементів технології вирощування на формування врожаю. Її величина визначається кількістю пагонів, сформованих однією рослиною, їх масою.

Упродовж вегетаційних сезонів спостерігалося інтенсивне наростання пагонів міскантусу гігантського. Показники кількості продуктивних пагонів, сформованих однією рослиною, наведено в таблиці 3.6.

Загалом наприкінці вегетації рослин в 2023 р. одна рослина формувала в середньому 27,5 пагона. Найменшу кількість пагонів зафіксовано на контрольному варіанті досліду – 17,8 шт. Використання препарату Хелатин Універсал для позакореневого підживлення не забезпечило достовірного збільшення цього показника. Водночас на інших варіантах досліду

спостерігалося суттєве підвищення кількості пагонів порівняно з контролем. Найвищий показник становив 36,8 пагонів на одну рослину.

Таблиця 3.6

Особливості формування кількості пагонів однією рослиною міскантусу гігантського протягом вегетаційного періоду, шт.

Удобрення навесні	Позакореневе підживлення		Кількість пагонів	
	гумати	амінокислоти	2023 р.	2024 р.
Без добрив	не застосовується	не застосовується	17,8	36,8
		Хелатин Універсал 0,5 л/га	18,5	37,2
	Гуміплюс 8 л/га	не застосовується	20,0	38,0
		Хелатин Універсал 0,5 л/га	20,7	39,3
	Гуміфілд Форте Аміно 0,4 л/га	не застосовується	25,2	40,5
		Хелатин Універсал 0,5 л/га	26,5	41,9
Аміачна селітра + сульфат амонію (N_{24} кг/га, S_6 кг/га)	не застосовується	не застосовується	27,0	46,7
		Хелатин Універсал 0,5 л/га	29,5	47,2
	Гуміплюс 8 л/га	не застосовується	33,0	47,7
		Хелатин Універсал 0,5 л/га	35,0	49,1
	Гуміфілд Форте Аміно 0,4л/га	не застосовується	36,2	49,3
		Хелатин Універсал 0,5 л/га	36,8	50,2
Аміачна селітра (N_{24} кг/га)	не застосовується	не застосовується	26,0	42,3
		Хелатин Універсал 0,5 л/га	27,0	43,4
	Гуміплюс 8 л/га	не застосовується	27,0	44,8
		Хелатин Універсал 0,5 л/га	28,2	46,5
	Гуміфілд Форте Аміно 0,4 л/га	не застосовується	30,0	46,9
		Хелатин Універсал 0,5 л/га	31,0	47,7
		НІР$_{0,05}$	*1,6*	*2,6*

В наступному році вегетації середня кількість пагонів у рослин міскантусу зросла до 44,2 шт. Мінімальне значення показника відмічено на контрольному варіанті – 36,8 пагонів, тоді як максимальне – 50,2 шт. отримано за внесення аміачної селітри та сульфату амонію у поєднанні з позакореневим підживленням препаратами Гуміфілд Форте Аміно і Хелатин Універсал.

Результати накопичення біомаси рослинами міскантусу гігантського наведено в таблиці 3.7. Аналіз отриманих результатів показав, що формування біомаси міскантусу гігантського у фазу виходу в трубку значною мірою залежало від поєднання мінерального живлення та позакореневих

підживлень. Досліджувані елементи технології впливали як на масу окремого пагона, так і на масу однієї рослини в цілому.

Таблиця 3.7

Особливості формування біомаси міскантусу гігантського у фазу виходу в трубку (середнє за 2023–2024 рр.), г

Удобрення навесні	Позакореневе підживлення		Маса одного пагона	Маса однієї рослини
	гумати	амінокислоти		
Без добрив	не застосовується	не застосовується	76,6	2209
		Хелатин Універсал 0,5 л/га	88,6	2782
	Гуміплюс 8 л/га	не застосовується	91,0	2932
		Хелатин Універсал 0,5 л/га	95,3	3167
	Гуміфілд Форте Аміно 0,4 л/га	не застосовується	96,4	3344
		Хелатин Універсал 0,5 л/га	101,9	3660
Аміачна селітра + сульфат амонію (N_{24} кг/га, S_6 кг/га)	не застосовується	не застосовується	106,5	4313
		Хелатин Універсал 0,5 л/га	114,0	4713
	Гуміплюс 8 л/га	не застосовується	113,2	4927
		Хелатин Універсал 0,5 л/га	119,9	5356
	Гуміфілд Форте Аміно 0,4л/га	не застосовується	117,2	5409
		Хелатин Універсал 0,5 л/га	127,1	5976
Аміачна селітра (N_{24} кг/га)	не застосовується	не застосовується	94,2	3385
		Хелатин Універсал 0,5 л/га	102,5	3877
	Гуміплюс 8 л/га	не застосовується	102,8	3951
		Хелатин Універсал 0,5 л/га	109,6	4420
	Гуміфілд Форте Аміно 0,4 л/га	не застосовується	110,6	4621
		Хелатин Універсал 0,5 л/га	111,4	4804
		$НІР_{0,05}$	*2,6*	*170,1*

Найнижчі показники зафіксовано на контрольному варіанті без внесення добрив та без застосування позакореневих препаратів. У середньому за 2023–2024 рр. маса одного пагона становила 76,6 г, а маса однієї рослини – 2209 г. Використання лише амінокислотного препарату Хелатин Універсал у контрольному варіанті забезпечувало збільшення маси пагона до 88,6 г, а маси рослини – до 2782 г.

Позитивний вплив на накопичення біомаси спостерігався також при застосуванні гуматів. За використання препарату Гуміплюс без мінерального удобрення маса одного пагона досягала 91,0 г, а маса рослини – 2932 г. Поєднання цього препарату з Хелатином Універсал сприяло подальшому підвищенню показників до 95,3 г та 3167 г відповідно. Найкращі результати

серед варіантів без мінеральних добрив отримано за використання Гуміфілд Форте Аміно у поєднанні з Хелатином Універсал, де маса одного пагона становила 101,9 г, а маса рослини – 3660 г.

Суттєве підвищення показників формування біомаси відзначено у варіантах із внесенням аміачної селітри разом із сульфатом амонію. Без застосування позакореневих препаратів маса одного пагона становила 106,5 г, а маса однієї рослини – 4313 г. Додаткове використання Хелатину Універсал забезпечувало збільшення цих показників до 114,0 г та 4713 г відповідно.

Найвищі значення накопичення біомаси зафіксовано за комплексного застосування аміачної селітри, сульфату амонію, препарату Гуміфілд Форте Аміно та позакореневого підживлення Хелатин Універсал. У цьому варіанті маса одного пагона досягала 127,1 г, а маса однієї рослини – 5976 г, що було максимальним результатом серед усіх досліджуваних комбінацій.

За внесення лише аміачної селітри показники формування біомаси були дещо нижчими, ніж при поєднанні азотного та сірковмісного удобрення, однак перевищували контрольні варіанти. Максимальна маса одного пагона за цієї системи удобрення становила 111,4 г, а маса однієї рослини – 4804 г при сумісному застосуванні Гуміфілд Форте Аміно та Хелатину Універсал.

Отримані результати свідчать про високу ефективність комплексного використання мінеральних добрив і позакореневих підживлень у технології вирощування міскантусу гігантського. Поєднання азотного та сірковмісного живлення з гуматами й амінокислотними препаратами забезпечувало найінтенсивніше накопичення біомаси рослинами у фазу виходу в трубку.

У таблиці 3.8 представлені дані про масу пагонів та рослин після завершення вегетаційного періоду. Проведені дослідження засвідчили, що після завершення вегетаційного періоду показники накопичення біомаси міскантусу гігантського суттєво залежали від застосованих систем удобрення та позакореневих підживлень. Встановлено чітку тенденцію до збільшення

маси одного пагона і маси однієї рослини за комплексного використання мінеральних добрив, гуматів та амінокислотних препаратів.

Таблиця 3.8

Особливості формування біомаси міскантусу гігантського після закінчення періоду вегетації рослин (середнє за 2023–2024 рр.), г

Удобрення навесні	Позакореневе підживлення		Маса одного пагона	Маса однієї рослини
	гумати	амінокислоти		
Без добрив	не застосовується	не застосовується	77,8	2139
		Хелатин Універсал 0,5 л/га	83,6	2390
	Гуміплюс 8 л/га	не застосовується	84,5	2521
		Хелатин Універсал 0,5 л/га	86,9	2687
	Гуміфілд Форте Аміно 0,4 л/га	не застосовується	90,8	3072
		Хелатин Універсал 0,5 л/га	93,6	3303
Аміачна селітра + сульфат амонію (N_{24} кг/га, S_6 кг/га)	не застосовується	не застосовується	101,0	3869
		Хелатин Універсал 0,5 л/га	109,6	4272
	Гуміплюс 8 л/га	не застосовується	113,4	4627
		Хелатин Універсал 0,5 л/га	115,1	4902
	Гуміфілд Форте Аміно 0,4л/га	не застосовується	118,3	5126
		Хелатин Універсал 0,5 л/га	125,4	5554
Аміачна селітра (N_{24} кг/га)	не застосовується	не застосовується	94,6	3326
		Хелатин Універсал 0,5 л/га	98,7	3560
	Гуміплюс 8 л/га	не застосовується	103,0	3787
		Хелатин Універсал 0,5 л/га	104,8	3995
	Гуміфілд Форте Аміно 0,4 л/га	не застосовується	106,1	4158
		Хелатин Універсал 0,5 л/га	108,1	4328
		НІР0,05	*4,4*	*306,2*

Найнижчі показники отримано на контрольному варіанті без внесення добрив і без використання позакореневих препаратів. У середньому за 2023–2024 рр. маса одного пагона становила 77,8 г, а маса однієї рослини – 2139 г. Застосування лише препарату Хелатин Універсал на неудобреному фоні сприяло підвищенню цих показників до 83,6 г та 2390 г відповідно.

Використання гуматів на фоні без добрив також позитивно впливало на ріст рослин. За внесення препарату Гуміплюс маса одного пагона збільшувалася до 84,5 г, а маса рослини – до 2521 г. Поєднання Гуміплюсу з Хелатином Універсал забезпечувало додаткове зростання показників до 86,9 г та 2687 г. Вищі результати спостерігалися при застосуванні препарату

Гуміфілд Форте Аміно. Без додаткового амінокислотного підживлення маса одного пагона становила 90,8 г, а маса рослини – 3072 г, тоді як сумісне використання з Хелатином Універсал сприяло збільшенню показників до 93,6 г і 3303 г відповідно.

Найбільшу ефективність забезпечило внесення аміачної селітри разом із сульфатом амонію. Уже без застосування позакореневих препаратів маса одного пагона досягала 101,0 г, а маса рослини – 3869 г. Додаткове використання Хелатину Універсал підвищувало ці показники до 109,6 г та 4272 г.

Особливо високі результати відзначено у варіантах із використанням гуматів та амінокислотних препаратів на фоні азотно-сірчаного удобрення. За застосування Гуміплюсу маса одного пагона становила 113,4–115,1 г, а маса однієї рослини – 4627–4902 г залежно від використання позакореневого підживлення. Максимальні показники зафіксовано при поєднанні аміачної селітри, сульфату амонію, препарату Гуміфілд Форте Аміно та Хелатину Універсал. У цьому варіанті маса одного пагона досягала 125,4 г, а маса рослини – 5554 г, що було найвищим результатом серед усіх досліджуваних комбінацій.

За внесення лише аміачної селітри показники формування біомаси були нижчими порівняно з варіантами, де додатково застосовували сульфат амонію, однак суттєво перевищували контроль. Найкращі результати у цьому варіанті отримано при сумісному застосуванні Гуміфілд Форте Аміно та Хелатину Універсал, де маса одного пагона становила 108,1 г, а маса однієї рослини – 4328 г.

Таким чином, результати досліджень свідчать про високу ефективність комплексного застосування азотних і сірковмісних добрив у поєднанні з гуматами та амінокислотними препаратами. Такі технологічні елементи сприяли інтенсивнішому накопиченню біомаси міскантусу гігантського після завершення вегетації рослин.

Експериментальне оцінювання потенціалу накопичення надземної біомаси міскантусу гіганського виявило суттєву нерівномірність урожайності по роках, що безпосередньо корелює з кліматичними параметрами сезонів вегетації та варіюванням систем макро- і мікроживлення (табл. 3.9).

Таблиця 3.9

Урожайність рослин міскантусу гігантського, т/га

Удобрення навесні	Позакореневе підживлення		Урожайність, т/га	
	гумати	амінокислоти	2023 р.	2024 р.
Без добрив	не застосовується	не застосовується	14,51	30,97
		Хелатин Універсал 0,5 л/га	15,92	37,46
	Гуміплюс 8 л/га	не застосовується	16,38	37,16
		Хелатин Універсал 0,5 л/га	17,12	40,04
	Гуміфілд Форте Аміно 0,4 л/га	не застосовується	20,12	41,96
		Хелатин Універсал 0,5 л/га	22,62	47,65
Аміачна селітра + сульфат амонію (N_{24} кг/га, S_6 кг/га)	не застосовується	не застосовується	25,43	58,84
		Хелатин Універсал 0,5 л/га	33,43	62,04
	Гуміплюс 8 л/га	не застосовується	40,14	65,63
		Хелатин Універсал 0,5 л/га	39,56	64,54
	Гуміфілд Форте Аміно 0,4л/га	не застосовується	41,44	67,63
		Хелатин Універсал 0,5 л/га	43,54	74,52
Аміачна селітра (N_{24} кг/га)	не застосовується	не застосовується	22,42	48,65
		Хелатин Універсал 0,5 л/га	25,33	50,45
	Гуміплюс 8 л/га	не застосовується	25,18	51,25
		Хелатин Універсал 0,5 л/га	28,73	56,24
	Гуміфілд Форте Аміно 0,4 л/га	не застосовується	30,73	57,64
		Хелатин Універсал 0,5 л/га	34,13	62,54
		$НІР_{0,05}$	*1,81*	*4,82*

Загальний збір сухої речовини у 2024 році виявився практично вдвічі вищим проти попереднього року, що вказує на досягнення посівами фази повного експлуатаційного розвитку та сприятливіший гідротермічний режим.

Стартове азотне живлення навесні є визначальним фактором інтенсифікації ростових процесів. Так, найбільш вагому прибавку врожаю забезпечила бінарна тукосуміш аміачної селітри із сульфатом амонію ($N_{24}S_6$). Тільки за рахунок синергетичної взаємодії азоту та сірки збір сухої маси без додаткових обробок зріс до 25,43 т/га у 2023 році та до 58,84 т/га у 2024 році, що значно випереджає варіант безбазового живлення. Монокомпонентне внесення аміачної селітри (N_{24}) продемонструвало дещо нижчі, але

статистично доведені результати порівняно з сірковмісним аналогом: чистий збір біомаси без листових обробок зафіксовано на рівні 22,42 т/га та 48,65 т/га відповідно до аналізованих років.

Позакоренева диференціація посівів гуматами та сумішами з амінокислотами виступила дієвим інструментом розкриття адаптивного потенціалу плантації. Так, максимальну продуктивність в обох річних циклах сформувала багатокомпонентна технологічна схема, що базувалася на весняному внесенні сульфатно-азотного комплексу у поєднанні з літньою подвійною обробкою препаратами Гуміфілд Форте Аміно (0,4 л/га) та Хелатин Універсал (0,5 л/га). За цієї комбінації врожайність закономірно сягнула абсолютного максимуму по досліду – 43,54 т/га (2023 р.) та 74,52 т/га (2024 р.).

Позитивно відзначено варіант і на ділянках без основного добрива (контрольний блок), де покрокове використання стимулятора Гуміфілд Форте Аміно разом із Хелатином Універсал підняло вихід сухої сировини до 22,62 т/га у першому сезоні та до 47,65 т/га у другому, майже зрівнявши ці ділянки з варіантами суто мінерального живлення. Порівняння одноосібного внесення гумінових комплексів (Гуміплюс) та амінокислотних препаратів (Гуміфілд Форте Аміно) виявило перевагу останніх. Проте сумісне використання гуматів із хелатними мікродобривами (Гуміплюс + Хелатин Універсал) спричиняло компенсаторний ефект, вирівнюючи загальну продуктивність агроценозу.

Статистична обробка отриманих матриць урожайності підтверджує надійність сформованих висновків. Оскільки показники диференціації більшості варіантів перевищують межі помилки досліду усі зазначені трансформації продуктивності міскантусу гігантського є біологічно обумовленими.

ВИСНОВКИ

1. Встановлено, що формування асиміляційного апарату та накопичення надземної біомаси міскантусу гіганського мають чітко виражену залежність від поєднання гідротермічних умов вегетаційного періоду та схем мінерального живлення. Максимальні параметри площі листової поверхні та інтенсивність накопичення біомаси зафіксовано в сезоні 2024 року, що пов’язано з виходом плантації на повну експлуатаційну потужність та оптимумом зволоження порівняно з попередніми роками досліджень.

2. Динаміка формування площі листової поверхні рослин міскантусу гігантського має куполоподібний характер із досягненням максимуму на початку серпня (фаза виходу в трубку), після чого спостерігається природне відмирання нижнього ярусу листя. Застосування азотно-сірчаного добрива навесні дозволило суттєво інтенсифікувати розвиток листкового індексу посіву, забезпечивши формування площі асиміляційного дзеркала на рівні 67,9 тис. $м^2$/га (без додаткових обробок), що на 51,5% перевищувало показники абсолютного контролю.

3. За результатами досліджень доведено, що найбільший вплив на біометричні параметри індивідуального розвитку рослин має сумісне застосування ґрунтових макродобрив та позакореневих обробок. Найвищі усереднені показники маси одного пагона (127,1 г) та загальної ваги однієї рослини (5976 г) сформувалися за внесення сульфатно-азотного комплексу навесні та двокомпонентного листового підживлення сумішшю регулятора росту Гуміфілд Форте Аміно (0,4 л/га) з мікродобривом Хелатин Універсал (0,5 л/га).

4. Найвищу врожайність сухої речовини міскантусу гігантського в обох річних циклах сформувала багатокомпонентна технологічна схема, що передбачала весняне внесення тукосуміші аміачної селітри із сульфатом амонію у поєднанні з вегетаційними обробками посівів препаратами

Гуміфілд Форте Аміно (0,4 л/га) та Хелатин Універсал (0,5 л/га). За цієї комбінації збір сухої сировини сягнув абсолютного максимуму по дослідду і становив 43,54 т/га у 2023 році та 74,52 т/га у 2024 році.

5. Позакореневе внесення регуляторів росту на основі вільних амінокислот (Гуміфілд Форте Аміно, желатин Універсал) продемонструвало вищу біостимулюючу та антистресову здатність, ніж використання чистих гумінових комплексів (Гуміплюс). Водночас сумісне застосування гуматів із хелатними мікродобривами (Хелатин Універсал) забезпечувало стійкий компенсаторний ефект, пролонгувало життєздатність листових пластинок у критичні періоди вегетації та виступало ефективним інструментом підвищення врожайності навіть на бездобривних (контрольних) фонах, збільшуючи збір біомаси до 22,62–47,65 т/га.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ЛІТЕРАТУРИ

1. Агротехнологічні аспекти вирощування енергетичних культур в умовах півдня України: навчальний посібник. Херсон, 2017. 128с.

2. Барбаш В. А., Зінченко В. О., Трембус І. В. Ресурсозберігаючі технології перероблення стебел міскантусу. *Наукові вісті НТУУ «КПІ»*. 2012. № 5. С. 118-124.

3. Бех Н. С., Коцар М. О. Клональне мікророзмноження міскантусу, як спосіб отримання посадкового матеріалу. *Біоенергетика*. 2016. № 1. С. 26- 28.

4. Біоенергетичні проекти: від ідеї до втілення. Практичний посібник. Під загальною редакцією Тормосова Р. Ю. К.: ТОВ «Поліграф плюс». 2015. 208 с.

5. Бойко І. І., Грищенко В. О., Новікова Т. П., Шевченко О. П. Вміст сухої маси і золи у листках та стеблах біоенергетичних культур. *Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків*. 2021. № 29. С. 138 – 143.

6. Вирощування біоенергетичних культур: / За редакцією Гументика М. Я.. К.: ТОВ «ЦП «Компринт», 2018. С. 55 – 81.

7. Вишнівський П. С., Можарівська І. А. Особливості вирощування енергетичних культур на малопродуктивних землях Полісся України. *Таврійський науковий вісник*. 2023. № 129. С. 27 – 32.

8. Вірьовка В. М., Опанасенко О. Г., Перець С. В. Особливості технології вирощування міскантусу гігантського на осушуваних органогенних ґрунтах Лівобережного Лісостепу. *Вісник аграрної науки*. 2019. № 8. С. 60-66.

9. Ганженко О. М., Гументик М. Я., Квак В. М., Зиков П. Ю. Вплив глибини садіння ризомів міскантусу на їх проростання. *Біоенергетика*. 2013. № 1. С. 36-38.

10. Гелетуха Г. Г., Желєзна Т. А., Трибой О. В. Перспективи

вирощування та використання енергетичних культур в Україні. *Аналітична записка БАУ* №10.

11. Гументик М. Я. Вплив способу садіння міскантусу гігантського на продуктивність ризом в умовах Лісостепу України. *Біоенергетика*. 2017. № 1. С. 26-29.

12. Гументик М. Я., Квак В. М., Замойський О. І. Урожайність біомаси міскантусу. *Біоенергетика*. 2013. № 2. С. 32-35.

13. Гументик М. Я., Квак В. М., Замойський О. І. Урожайність біомаси міскантусу залежно від кліматичних умов, строків і глибини садіння ризомів у Західному лісостепу України. *Вісник Львівського національного аграрного університету*. Серія Агрономія. 2013. № 17 (1). С. 76-82.

14. Дековець В. О., Кулик М. І. Вплив удосконалення елементів технології вирощування на врожайність надземної вегетативної маси міскантусу гігантського. *Аграрні інновації*. 2023. № 17. С. 46 – 53.

15. Державний реєстр сортів рослин, придатних до поширення в Україні на 2023 рік.

16. Доронін В. А., Дрига В. В. Формування маточних кореневищ міскантусу залежно від якості садивного матеріалу. *Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Аграрна освіта та наука: досягнення, роль, фактори росту»* (27 – 28 вересня 2018 року, Біла церква). 2018. С. 6-7.

17. Доронін В. А., Дрига В. В., Кравченко Ю. А., Доронін В. В. Особливості формування садивного матеріалу міскантусу гігантського залежно від елементів технології вирощування. *Plant Varieties Studying and Protection*. 2017. Т. 13, № 4. С. 351-360.

18. Доронін В. А., Кравченко Ю. А., Дрига В. В, Доронін В. В. Мінливість маси кореневища міскантусу гігантського залежно від застосування абсорбенту за садіння ризом. *Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків*. 2017. Вип. 25. С. 17-25.

19. Доронін В. А., Дрига В. В., Кравченко Ю. А., Доронін В. В. Особливості росту та розвитку міскантусу залежно від якості садивного

матеріалу. *Вісник Уманського Національного Університету садівництва*. 2017. Випуск №2. С.19-25.

20. Доронін В. А., Кравченко Ю. А., Дрига В. В, Доронін В. В. Способи підвищення виходу садивного матеріалу міскантусу гігантського. *Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків*. 2018. Вип. 26. С. 11-20.

21. Доронін В. А., Кравченко Ю. А., Дрига В. В, Доронін В. В. Формування садивного матеріалу міскантусу в другому році вегетації залежно від елементів технології його вирощування. *Біоенергетика.* 2018. №2. С. 28-31.

22. Дідора В. Г. Методика наукових досліджень в агрономії : навч. посіб. / Дідора В. Г., Смаглій О. Ф., Ермантраут Е. Р. та ін.. К. : Центр учбової літератури. 2013. 264 с.

23. Дрига В. В., Доронін В. А. Формування садивного матеріалу міскантусу гігантського. Монографія. 2019.

24. Дрига В. В. Приживлюваність ризом міскантусу залежно від застосування абсорбенту за їх садіння. *Цукрові буряки*. 2018. № 1. С. 18-21.

25. Думич В., Журба Г. Динаміка росту міскантусу в перший рік вирощування в ґрунтово-кліматичних умовах Полісся України. *Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України*. 2013. Вип. № 17 (2). С. 302-309.

26. Енергоефективність та енергозбереження: економічний, техніко-технологічний та екологічний аспекти. Колективна монографія; за заг. ред. П. М. Макаренка, О. В. Калініченка, В. І. Аранчій. Полтава: ПП «Астрая». 2019. 603 с.

27. Зінченко В. О. Міскантус гігантеус – реалії і можливості. *Наукові читання – 2013 : наук.-теорет. зб. ЖНАЕУ*. 2013. Т. 1. С. 71–74.

28. Зінченко О. В. Оцінка впливу регуляторів росту рослин на інтенсивність фотосинтезу, приживаність, морфологічні показники міскантусу гігантеусу. *Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і*

цукрових буряків. Випуск 19. 2013. С.47-51.

29. Іваніна В. В., Гументик М. Я., Кателевський В. М. Продуктивність міскантусу гігантського та стан родючості ґрунту за внесення добрив. *Agrology*. 2021. Volume 4, Issue 3. P. 131-136.

30. 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. № 4-6. С. 19-21.

31. Каспрович І. К. Міскантус – альтернативне джерело поновлювальної енергії. *Механізація та електрифікація сільського господарства*. 2018. Вип. 7. С. 159-163.

32. Кателевський В. М., Гументик М. Я., Бондар В. С. Ефективність використання стимуляторів і регуляторів росту при вирощуванні біомаси міскантусу в умовах лівобережного Лісостепу України. *Наукові доповіді НУБіП України*. 2021. №5 (93).

33. Кателевський В. М., Філіпась Л. П., Біленко О. П. Вплив мінеральних добрив на розвиток та продуктивність міскантусу. *Матеріали X науково-практичної інтернет-конференції «Інноваційні аспекти сучасних технологій вирощування сільськогосподарських культур».* Полтава. 2021. С. 38-42.

34. Квак В. М. Вплив маси ризомів міскантусу та густоти їх садіння на енергетичну продуктивність біомаси. *Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків.* 2013. Вип. 17(1). С. 146-151.

35. Квак В. М. Вплив строків садіння та глибини загортання ризомів міскантусу на його польову схожість. *Цукрові буряки*. 2012. № 6. С. 15-17.

36. Квак В. М. Ріст, розвиток і продуктивність міскантусу (miscanthus) за різних норм добрив. *Збірник наукових праць Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків*. 2012. Вип. 14. С. 548-551.

37. Коваленко О. А., Ковбель А. І. Вплив елементів живлення на

стресовий стан польових культур. *Агроном*. 2013. № 2.

38. Кулик М. І., Сиплива Н. О., Рожко І. І. Урожайність та ефективність виробництва біомаси енергетичних культур залежно від елементів технології вирощування. *Таврійський науковий вісник*. 2018. № 104. С. 148-160.

39. Курило В. Л., Гументик М. Я., Квак В. М., Дубовий Ю. П. Удосконалення елементів технології вирощування міскантусу в умовах Центрального Лісостепу України для виробництва твердого біопалива. *Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків*. 2016. Випуск 24. С.77-85.

40. Лашук С. О. Біоморфологічна характеристика селекційних зразків представників роду Miscanthus, отриманих в умовах *in vitro*. *Plant Varieties Studying and Protection*. 2019. Volume 15, № 2. С.163-170.

41. Методичні рекомендації з оптимізації технології вирощування міскантусу в різних грунтово-кліматичних зонах України. Рахметов Д. Б. та ін. Херсонський державний аграрний університет. 2017. 23с.

42. Міскантус в Україні: монографія. М. В. Роїк, В. М. Сінченко, В. І. Пиркін, В. М. Квак та ін.. К.: ФОП Ямчинський О.В.. 2019. 256с.

43. Моргун І. А. Вирощування міскантусу для отримання садивного матеріалу в умовах краплинного зрошення. *Збірник наукових праць Уманського національного університету садівництва*. 2014. Вип. 86 (1). С. 204-209.

44. Осадчук В. Д., Семенчук В. Г., Гунчак Т. І., Сандуляк Т. М. Продуктивність міскантусу залежно від площі живлення в умовах Лісостепу західного. *Захист і карантин рослин*. 2018. Вип. 64. С. 128-133.

45. Пенькова С. В., Присяжнюк О. І. Продуктивність насаджень міскантусу гігантського залежно від застосованих елементів технології вирощування в умовах Лісостепу України. *Новітні агротехнології*. 2023. Т. 11, № 1.

46. Присяжний В. Г., Каспрович І. К. Лабораторно-польові

дослідження процесу поділу кореневищ міскантусу на частини. *Механізація та електрифікація сільського господарства*. 2020. № 11 (110). С. 101-107.

47. Присяжнюк О. І., Гончарук О. М. Оптимізація елементів технології вирощування міскантусу в умовах Лісостепу України. *Матеріали V інтернет-конференції молодих учених «Генетика та селекція сільськогосподарських культур – від молекули до сорту»* 21вересня 2021р., м.Київ. 2021. С. 22.

48. Присяжнюк О. І., Гончарук О. М. Особливості формування продуктивності та якості біомаси міскантусу гігантського під впливом елементів агротехніки. *Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків*. 2022. Випуск 30. С. 53-60.

49. Присяжнюк О. І., Пенькова С. В. Вплив азотного удобрення та позакореневого підживлення на продуктивність та енергетичну ефективність плантацій міскантусу гігантського. *Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків*. 2022. Випуск 30. С. 70 - 79.

50. Пришляк Р. І. Особливості технології культивування міскантусу в умовах *in vitro*. *Проблеми екологічної біотехнології.* 2017. № 2.

51. Роїк М. В, Бех Н. С., Коцар М. О. Отримання розсади *MISCANTHUS x GIGANTEUS* методом клонального розмноження. *Збірник наукових праць Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків*. 2013. Вип. 19. С. 104-108.

52. Роїк М. В, Коцар М. О. Динаміка анатомо-морфологічних показників рослин міскантусу з культури *in vitro* за вирощування у відкритому ґрунті. *Вісник аграрної науки*. 2018. № 9. С. 39-44.

53. Сінченко В. М. Міскантус – перспективна біоенергетична культура. *Біоенергетика*. 2017. № 2. С. 15-19.

54. Неділська У. І. Особливості вирощування та потенціал урожайності енергетичної культури. *Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка.* 2021. Вип. 34. С. 45 – 51.

55. Ястремська Л. С., Пришляк Р. І., Федонюк Ю. В. Міскантус –

енергетична культура для отримання біопалива. *Проблеми екологічної біотехнології.* 2017. № 1.

56. Tejera M. D., Miguez F. E., Heaton E. A. The older plant gets the sun: Age-related changes in *Miscanthus*×*giganteus* phenology. *GCB Bioenergy.* 2021. № 13. P. 4–20.

57. Heaton E. A, Dohleman F. G., Long S. P. Meeting US biofuel goals with less land:the potential of Miscanthus. *Global Change Bio*l. 2008. № 14. P. 2000-2014.