

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет лісового господарства та екології

Кафедра екології
Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

Можар Ярослав Анатолійович

УДК 504.3:633:620.92

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ШЛЯХИ ФІТОРЕАБІЛІТАЦІЇ РАДІОАКТИВНО ЗАБРУДНЕНИХ
ТЕРИТОРІЙ ШЛЯХОМ ВИРОЩУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ КУЛЬТУР

101 – екологія

Подається на здобуття наукового ступеня магістр

кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень.
Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на
відповідне джерело _____ Я. А. Можар

Керівник роботи
Романчук Людмила Донатівна
д. с.-г. наук, професор

Житомир – 2022

АНОТАЦІЯ

Можар Я.А. Шляхи фітореабілітації радіоактивно забруднених територій шляхом вирощування енергетичних культур. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 101 – «Екологія». – Поліський національний університет, Житомир, 2022.

У кваліфікаційній роботі запропоновано шляхи фітореабілітації радіоактивно забруднених територій шляхом вирощування малопоширених енергетичних культур для отримання біопалива.

Одним із найактуальніших завдань сьогодення є скорочення споживання викопних видів палива та поступовий перехід на використання альтернативних джерел енергії. Тому виробництво енергії з відновлюваних джерел, зокрема фітомаси рослин, активно розвивається в Україні.

Енергетичні культури – це рослини, які вирощують для виробництва біопалива та фітореабілітації забруднених ґрунтів. Невибагливість до ґрунтово-кліматичних умов сприяє вирощуванню багаторічних фітоенергетичних рослин на малопродуктивних землях.

Енергетичні культури характеризуються низькою собівартістю вирощування, не потребують значного використання добрив і пестицидів, запобігають ерозії ґрунту. Енергетичні культури зменшують споживання викопних палив і розв'язують ряд екологічних проблем. Це дає можливість використання еродованих земель для вирощування енергетичних культур, що мінімізують ерозію ґрунту.

Тому, останнім часом стає актуальним вирощування малопоширених енергетичних культур як екологічно чистого й економічно ефективного заходу відновлення родючості та окультурення ґрунтів, забруднених радіонуклідами та важкими металами.

Ключові слова: енергетичні культури, фітореабілітація, ґрунт, еродовані землі, вирощування.

ANNOTATION

Mozhar Ya. A. Ways of phytorehabilitation of radioactively contaminated territories by growing energy crops. – Qualification work on manuscript rights.

Qualification work for obtaining a master's degree in the specialty 101 – "Ecology". – Polissia National University, Zhytomyr, 2022.

Ways of phytorehabilitation of radioactively contaminated territories by growing rare energy crops are proposed in this qualification work.

One of the most urgent tasks today is to reduce the consumption of fossil fuels and the gradual transition to the use of alternative energy sources. Therefore, the production of energy from renewable sources, in particular plant phytomass, is actively developing in Ukraine.

Energy crops are plants that are grown for biofuel production and phytoremediation of contaminated soils. Unpretentiousness to soil and climatic conditions promotes the cultivation of perennial phytoenergetic plants on low-productivity lands.

Energy crops are characterized by a low cost of cultivation, do not require significant use of fertilizers and pesticides, and prevent soil erosion. Energy crops reduce the consumption of fossil fuels and solve a number of environmental problems. This makes it possible to use eroded lands for growing energy crops that minimize soil erosion.

Therefore, the cultivation of rare energy crops has recently become relevant as an ecologically clean and economically effective measure to restore fertility and cultivate soils contaminated with radionuclides and heavy metals.

Key words: energy crops, phytorehabilitation, soil, eroded lands, cultivation.

ЗМІСТ

ВСТУП		5
РОЗДІЛ 1	АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ТА ОБГРУНТУВАННЯ ТЕМИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ	9
	1.1 Досвід вирощування енергетичних культур в Україні	9
	1.2 Перспективи розвитку біоенергетики в Україні	11
	1.3 Радіологічний стан ґрунтів Полісся України	13
	1.4 Фітореабілітація радіоактивно забруднених територій в умовах Полісся України	15
РОЗДІЛ 2	УМОВИ ТА МЕТОДИКА ВИКОНАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ	18
	2.1 Місце, умови та методика проведення досліджень	18
РОЗДІЛ 3	РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ ОБГРУНТУВАННЯ	21
	3.1 Міграція радіонуклідів у ланцюзі «ґрунт-рослина»	21
	3.2 Продуктивність міскантуса гігантського при вирощуванні на радіоактивно забрудненій території Полісся України	23
	3.3 Енергетичний потенціал досліджуваної культури	26
	3.4 Економічна оцінка	29
ВИСНОВКИ		32
РЕКОМЕНДАЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ		32
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ		33

ВСТУП

Актуальність роботи. Для широкого впровадження та використання новітніх технологій вирощування та переробки біомаси енергетичних культур Україна має всі передумови. Розвиток біоенергетичних технологій зменшить проблему забезпечення країни енергоресурсами та покращить екологічний стан. Біоенергетика стає перспективним напрямком сільськогосподарського виробництва. Стосовно безпеки вирощування сільськогосподарських культур, плантації енергетичних рослин ідеально підходять для засадження радіоактивно забруднених, малопродуктивних та порушених земель, ефективно застосовуються у протиерозійних заходах для укріплення ґрунтів, збагачують їх поживними речовинами природного походження. Енергетичні рослини є природними фільтрами для очищення ґрунтів.

Виробництво та переробка культур фіторемедіантів (міскантус, амарант, ріпак, сорго) дає змогу вирішувати не лише проблемні питання щодо фітореабілітації забруднених територій, покращення ґрунтових показників, але і вирішення низки інших важливих завдань, сприятиме залученню необхідних для розвитку території інвестиційних ресурсів, забезпечить зміну відношення до радіоактивно забруднених територій, як неперспективних, та покаже на реальному прикладі можливість їх ефективного розвитку. Стане основою для впровадження масштабної роботи з формування енергетичної незалежності даного регіону та країни в цілому [4, 5].

Для вирішення цих проблем науковцями впродовж останніх десятиліть ведеться активний пошук альтернативних та ефективних відновлюваних джерел енергії. Одним з перспективних напрямків розвитку відновлювальної енергетики є використання енергії фітомаси, яке сприяє економії традиційних видів палива. У переробленому стані фітомаса енергетичних культур у вигляді гранул, пелет чи брикетів застосовується для отримання як

теплової, так і електричної енергії.

Враховуючи наявність значних потенційних площ земельних ділянок, придатних для створення біоенергетичних плантацій, розроблених і апробованих технологій вирощування біоенергетичних культур нашу країну варто вважати інвестиційно привабливою для біоенергетичних проектів. Для України біоенергетика є одним зі стратегічних напрямів розвитку сектору відновлюваних джерел енергії, враховуючи високу залежність країни від імпортованих енергоносіїв, у першу чергу, природного газу, і значний потенціал біомаси, доступної для виробництва енергії. Біопаливо, на сьогодні, є єдиним альтернативним заміном мінерального палива [6, 7]. Основним виробником біологічного палива може стати саме сільське господарство, маючи величезний потенціал для виробництва біоенергії як основної, а також побічної продукції рослинництва й тваринництва.

Метою дослідження: є фітореабілітація ґрунтів шляхом вирощування міскантуса гігантського для отримання безпечної фітосировини на основі вивчення впливу мінеральних добрив на показники родючості ґрунту, врожаю, його якості, забруднення радіонуклідами.

Для досягнення поставленої мети вирішувались такі завдання:

- фітореабілітація ґрунтів шляхом вирощування міскантуса гігантського в умовах забруднення Полісся України;

- встановити концентрацію ^{137}Cs та ^{90}Sr в ґрунтах в умовах радіоактивного забруднення, визначити питому активність ^{137}Cs , ^{90}Sr у фітомасі культури;

- встановити вплив мінеральних добрив на формування урожайності культури;

- визначити економічну оцінку вирощування міскантуса гігантського в умовах радіоактивного забруднення Полісся України.

Наукова новизна дослідження:

- на забруднених радіонуклідами ґрунтах встановлено міграцію радіонуклідів в ланці «ґрунт-рослина» при вирощуванні міскантуса гігантського для виготовлення

палива залежно від застосування мінеральних добрив;

- доведено, що вміст ^{137}Cs , ^{90}Sr у ґрунті та рослинах міскантуса гігантського не перевищує межі ДР-2006;

- визначено вплив мінеральних добрив на урожайність міскантуса гігантського в умовах радіоактивного забруднення.

Практична цінність:

1. Запропоновано агроекологічні аспекти вирощування міскантуса гігантського в умовах радіоактивного забруднення;

2. Побудовано окремі регресійні моделі впливу природно-кліматичних, факторів та агрохімічних характеристик ґрунту на продуктивність міскантуса гігантського:

3. Запропоновано спосіб фітореабілітації радіоактивно забруднених територій.

Предметом є енергетична культура (*Miscanthus giganteus G.*), вміст радіонуклідів в ґрунтах та рослинах, мінеральні добрива.

Об'єкт досліджень процес накопичення ^{137}Cs , ^{90}Sr енергетичними культурами, формування фітомаси в умовах радіоактивного забруднення.

Методи дослідження. При виконанні досліджень використовували загальнонаукові і спеціальні методи досліджень:

польовий – для проведення стаціонарних польових дослідів;

вимірвальноваговий – для визначення продуктивності рослин;

аналітичний – для визначення вмісту ^{137}Cs , ^{90}Sr , в ґрунті та рослинах (*Miscanthus giganteus G.*);

порівняльно-розрахунковий для визначення енергетичної оцінки та економічної ефективності вирощування енергетичних культур.

Перелік публікацій автора за темою дослідження

Можарівська І., Можар Я. Формування врожаю міскантусу гігантського залежно від мінеральних добрив. І науково-практична конференція студентів «Екологічна безпека та збалансоване природокористування в

агропромислового виробництві» » – (11 жовтня 2022 р.). Поліський національний університет, Житомир, 2022. С – 11–13.

Можар Я. А. Використання біомаси рослин для виробництва альтернативного палива в умовах радіоактивного забруднення. X Всеукраїнська науково-практична конференція «Ліс, наука, молодь» – (24 листопада 2022 р.). Поліський національний університет, Житомир, 2022. С – 103–105.

Можар Я. А. Перспективи вирощування енергетичних культур як фактор впливу на розвиток біоенергетики. V студентська конференція «Магістерські читання – 2022», (02 грудня 2022 р.). Поліський національний університет, Житомир, 2022. С – 49.

Обсяг та структура роботи.

Основний зміст кваліфікаційної роботи викладено на 35 сторінці комп'ютерного тексту, містить вступ, 3 розділи, висновки, рекомендації виробництву, список використаних джерел 35 найменувань, у тому числі 5 – на іноземних мовах. Текст ілюстровано 10 таблицями.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ТА ОБГРУНТУВАННЯ ТЕМИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

1.1. Досвід вирощування енергетичних культур в Україні

Головне завдання, що стоїть перед державою, є скорочення споживання природного газу і пошук власних альтернативних відновлювальних джерел енергії з одночасним вирішенням екологічних проблем та фітореабілітації забруднених ґрунтів [8].

Проаналізовано, що через декілька років запаси газу будуть вичерпані на 70 %, а видобуток скоротиться на 30 %. За результатами досліджень багатьох вчених, розвіданих світових запасів природного газу вистачить лише на 50 років, а вугілля - на 500 років. Тому все більше виникає потреба використовувати нетрадиційні відновлювальні джерела енергії, створені на основі нергетичної біосировини.

Внаслідок аварії на ЧАЕС та на даний час в період військового стану значна частина земель зазнала забруднення. Досить шкідливим та небезпечним для живих організмів є забруднення природного середовища токсичними речовинами, важкими металами, радіонуклідами та боеприпасами.

Але останнім часом як у світі, так і в Україні зокрема, в зв'язку з подорожчанням енергоносіїв, все більше уваги почали приділяти біопаливу, що виробляється з високопродуктивних енергетичних культур.

Виробництво енергії з відновлювальних джерел, включаючи фітомасу, динамічно розвивається в нашій країні. Одним із альтернативних джерел енергії на сьогодні є тверда фітомаса органічного походження, в тому числі і рослинного, яка є екологічно чистим відновлювальним джерелом енергії.

Джерелом енергетичної сировини можуть бути як побічні продукти рослинного походження (солома, стебла, листя тощо), щорічні відходи яких

становлять до 60 млн тонн, так і спеціально призначені для цього енергетичні рослини, які є головним абсорбентом вуглекислого газу, зменшуючи його кількість в атмосфері. Вони утворюють високі врожаї біомаси, яку можна було б використати на енергетичні цілі для виробництва біопалива. Залучення цього потенціалу для виробництва енергії може задовольнити близько 20 % потреб України в первинній енергії.

Енергетичні рослини мають високу продуктивність та не вимогливі до вирощування. Відносно за короткий період часу можуть давати великі прирости фітомаси. Витрати на вирощування таких культур значно менші, ніж вартість енергоносіїв, отриманих від традиційних джерел енергії.

Вибір енергетичних культур залежить від багатьох факторів: типу ґрунту, природно-кліматичних умов, технології вирощування тощо.

Велика кількість рослин була досліджена для визначення потенційної можливості використання їх у якості енергетичних культур, але тільки декілька видів досягли комерційного рівня і вирощуються на великих площах. Серед них найпоширенішими є: міскантус гігантський, світчґрас, верба прутовидна, тополя, сільфій пронизанолистий, сорго цукрове та багаторічне.

На сьогодні в Україні є кілька компаній, що займаються вирощуванням енергетичних культур на комерційному рівні. В Україні також проводиться широка науково-дослідна робота щодо енергетичних культур. Чималий вклад в цей напрямок вносить Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України та Поліський національний університет.

Досліджуються питання продуктивності цукрового сорго, багаторічного сорго, міскантусу гігантського та інших культур. Незважаючи на досить активний в останні роки розвиток вирощування енергетичних культур в Україні, існує ряд проблем, які вимагають розв'язання.

Для прискорення розвитку даного сектора в Україні Біоенергетична асоціація України вважає за необхідне запровадити механізми державного

стимулювання вирощування енергетичних культур.

Стосовно вирощування плантацій енергетичних культур вони ідеально підходять для засадження радіоактивно забруднених, малопродуктивних та ефективно застосовуються у протиерозійних заходах для укріплення ґрунтів. Енергетичні рослини є фітомередіантами для очищення ґрунтів.

Виробництво та переробка культур фіторемедіантів (міскантус, сільфій, амарант, верба, сорго) дає змогу вирішувати не лише проблемні питання щодо реабілітації забруднених територій, покращення ґрунтових показників, але і вирішення низки інших важливих завдань. Крім того, стане основою для започаткування широкомасштабної роботи з формування енергетичної незалежності регіону та держави в цілому.

1.2. Перспективи розвитку біоенергетики в Україні

Важливим завданням науковців і сільськогосподарських виробників є оптимізація технологій вирощування, економічного та енергетичного обґрунтування технологічних процесів залежно від ґрунтово-кліматичних умов [10, 73].

Вітчизняний досвід використання відновлюваних джерел енергії описано в працях науковців М. В. Роїка, Я. Б. Блюма, Г. Г. Гелетухи, І. П. Григорюка, Ю. Б. Матвєєва, А. А. Долинського.

В Україні виробництво біопалива не значне, незважаючи на прийняття урядом законодавчих актів, які спрямовувалися на вирішення енергетичної проблеми. Це зумовлено непослідовністю в економічних механізмах розвитку біопаливної галузі.

Виробниче використання енергетичних рослин в Україні перебуває на стадії експериментальних досліджень. Важливі досягнення у біоенергетиці досягнуто у науково-дослідних установах НАН України і НААН та в окремих вищих навчальних закладах.

В Україні дослідження щодо перспектив вирощування енергетичних культур для виготовлення біопалива розпочаті 15 років тому.

Енергетичні культури – це швидко ростучі рослини, які спеціально вирощують для використання у якості біопалива. В Україні проводиться науково-дослідна робота щодо вирощування енергетичних культур.

На даний час досліджується більше 30 видів енергетичних культур, які доцільно вирощувати для отримання великої кількості фітомаси. До них належать різні види верби, тополі, однорічні та багаторічні рослини, наприклад, сорго багаторічне, міскантус гігантський, амарант, сільфій пронизанолистий [9, 10, 11].

В Україні значна кількість земель, виведених із сівобігу через їх низьку продуктивність, забрудненість радіонуклідами, токсикантами, боєприпасами [12, 13]. Тому, саме вирощування енергетичних культур на даних землях збільшить потужність гумусного шару, покращить екологічний та енергетичний стан країни.

Насадження енергетичних культур продуктивні протягом 30 років, а урожайність становить 50 т/га сухої маси на рік. Енергетичних культур є стійкими до морозів, ураження шкідниками і збудниками хвороб. Вони зростають на ґрунтах різного типу, на заболочених і непродуктивних землях або навіть забруднених радіонуклідами. Енергетичні культури адсорбують з ґрунту у велику кількість радіонуклідів, що сприяє фітореабілітації забруднених ґрунтів та покращання екологічних проблем.

Ідеально підходить для вирощування на забруднених радіонуклідами ґрунтах міскантус (*Miscanthus*). Міскантус має високу врожайність сухої фітомаси (до 30 т/га), високу теплотворну здатність (18 МДж/кг), у порівнянні з іншими енергетичними культурами, є найефективнішою рослиною для виробництва біопалива.

Вирощування міскантусу гігантського позитивно впливає на родючість ґрунту, оскільки у ґрунті накопичується майже 30 т/га кореневищ, що прирівнюється до 10 т/га органічних добрив [14, 15, 16].

Незважаючи на досить активний пошук альтернативних джерел енергії, вирощування енергетичних культур в Україні є досить проблематичним завданням

Для вирішення проблеми енергозабезпечення та з метою фітореабілітації радіоактивно забруднених ґрунтів в умовах Полісся України, доцільно вирощувати міскантус гігантський (*Miscanthus giganteus*). Міскантус гігантський є гарним фіторемедіантом.

1.3. Радіологічний стан ґрунтів Полісся України

В результаті аварії на АЕС території Полісся зазнали значного забруднення радіонуклідами та важкими металами. Радіоактивного забруднення зазнали території понад 50 тис. км² у 12 областях України [17]. Обстеження показали, що 950 тис. гектарів Житомирської області опинились у зоні забруднення ¹³⁷Cs [18].

Радіаційне забруднення завдало великої шкоди природному середовищу Житомирської області, що призвело до обмеження ведення сільськогосподарського господарства [19].

Встановлено, що підвищення вологості ґрунту викликає підвищення вертикальної міграції ¹³⁷Cs по ґрунтовому покриву [20].

На міграцію ¹³⁷Cs в ґрунтах дуже впливає рельєф місцевості [21]. Доведено, у процесі самоочищення відбувається перерозподіл радіонуклідів по елементах рельєфу.

Головним шляхом надходження радіонуклідів у рослини став кореневий спосіб [22, 23]. Доведено зв'язок між накопиченням радіонуклідів у фітомасі рослин і глибиною розташування корневих систем у відповідному шарі ґрунту [24].

На рівень забруднення фітомаси рослин ¹³⁷Cs впливають вид рослин, кліматичні умови, біохімічний стан рослин [25].

Вчені вважають, що надходження ¹³⁷Cs у рослини знаходиться у залежності від щільності забруднення ґрунту токсикантами. Дану закономірність відмічали такі вчені як О. Т. Демків [26], С. В. Зібцев, В. М. Худолій [27], та І. В. Мовчанов [28].

Дослідники вважають, що високі значення щільності радіоактивного забруднення ґрунту ^{137}Cs зумовлені наявністю у ґрунті “гарячих” частинок, які містять ^{137}Cs , недоступний для кореневого живлення рослин. На площах з меншими показниками щільності радіоактивного забруднення ґрунту ^{137}Cs радіоактивні частинки знаходяться у доступному стані і легко поглинаються рослинами [29, 30].

Вченими проаналізовано, що надходження ^{137}Cs корневим шляхом у рослини від фізико-хімічних властивостей ґрунтів.

Найбільше накопичення радіонуклідів у рослинах спостерігається на дерново-підзолистих ґрунтах. Найменше накопичення токсикантів відмічено на чорноземах [31].

Хімічний склад дерново-підзолистих ґрунтів викликає слабе протікання процесів необмінного поглинання ^{137}Cs . У зв'язку з цим у дерново-підзолистих ґрунтах ^{137}Cs характеризується підвищеною міграційною здатністю і біологічною доступністю [32].

Надходження радіонукліду у фітомасу пов'язане із поглинанням вологи рослинами. Відомо, що з підвищенням вологості ґрунту надходження радіонуклідів до фітомаси значно збільшується.

Встановлено, що загальний винос радіонуклідів рослинами з підвищенням вологості зростає за рахунок збільшення фітомаси рослин, а не концентрації в них радіонуклідів та важких металів [33].

Температурний режим також має вплив на накопичення радіонуклідів рослинами. Активність радіонуклідів відмічається за умов теплої, сталої температури повітря [34].

Слід відмітити, що значна частина Житомирської області, після аварії на ЧАЕС виявилася забрудненою радіонуклідами. При вирощуванні сільськогосподарських культур на забруднених ^{137}Cs дерново-підзолистих ґрунтах отримують рослинницьку та тваринницьку продукцію, забруднену радіонуклідами. Тому розробка та впровадження заходів з виробництва екологічно чистої продукції є і досі актуальною на даних територіях.

На даний час екологічна ситуація Житомирщини характеризується погіршенням якості навколишнього середовища, що пов'язано із забрудненням родючих ґрунтів радіоактивними елементами. Охорона навколишнього середовища включає раціональне використання природних ресурсів, забезпечення екологічної безпеки життєдіяльності людини, що є невід'ємною умовою сталого розвитку регіону. Тому, своєчасне виявлення та запобігання забрудненню навколишнього природного середовища є основною умовою для забезпечення збалансованого розвитку Житомирської області.

1.4. Фітореабілітація радіоактивно забруднених територій в умовах Полісся України

Швидкий розвиток промисловості призводить до все більшого забруднення навколишнього середовища, і в першу чергу відбувається деградація ґрунту. Внаслідок аварії на Чорнобильській АЕС радіаційному забрудненню піддалося в Україні понад 6,0 млн. га території з яких більше половини припадає на сільськогосподарські угіддя. На забруднених радіонуклідами територіях не можливе вирощування сільськогосподарських культур харчового призначення і також обмежене вирощування кормових культур.

Найбільше радіаційному забрудненню піддалась північна частина України. Діапазон значення щільності забрудненості ґрунту ^{137}Cs від 1 до 40 Кі/км^2 і більше. Близько 60 % площі сільськогосподарських угідь тут займають дерново – підзолисті ґрунти, серед них значна частка припадає на піщані і глинисто – піщані. Висока кислотність, перезволоження ґрунтів значно збільшує рухомість радіонуклідів. Вирощування в цих умовах енергетичних культур дасть змогу зменшити щільність забруднення ґрунтів, а отже відновити територію для ведення сільськогосподарського виробництва. Результати досліджень свідчать, що при урожайності зеленої маси міскантуса гігантеуса (125 т/га), озимого ріпаку (25 т/га) і люпину

(26 т/га), а також її питомої радіоактивності ^{137}Cs 8; 50; 253 Бк/кг відповідно, була розрахована сумарна радіоактивність вище згаданих культур в МБк/га і відсоток очищення ґрунту від радіоактивних речовин [35].

Ефективний спосіб фітореабілітації ґрунтів є вирощування традиційних сільськогосподарських культур на з метою отримання енергії та для відновлення ґрунтів. Це призведе до поступового зниження рівня забруднення території радіонуклідами та важкими металами. У багатьох країнах для фітореабілітації земель вирощують міскантус гігантський. Коренева система рослин «витягують» із ґрунту до 85 % радіонуклідів. Міскантус гігантський відрізняються продуктивністю фітомаси. Коренева система часом сягає навіть 5 м, корені пронизують не лише родючий шар ґрунту, але й проникають значно глибше.

Дослідження багатьох учених показали ефективність використання плантацій цієї культури. Міскантус відіграє роль фільтра, який разом із поживними речовинами вбирає також і важкі метали.

Вагомим аргументом також є закладка плантацій на енергетичні цілі та використання виведених із сівобігу ґрунтів. На таких ґрунтах можна висадити ліс, а також вирощувати енергетичні рослини, які не вимогливі до родючості ґрунтів.

Найбільш перспективною енергетичною культурою для України, особливо для регіонів з достатнім зволоженням, є міскантус гігантський. Технологія вирощування включає обробіток ґрунту, посадку, догляд та збирання фітомаси. Обробіток ґрунту для закладання енергоплантацій виконується традиційними машинами для ґрунтообробітку — дисковими боронами, плугами, культиваторами. Садіння ризом може здійснюватися як вручну, так і за допомогою спеціалізованих саджалок.

З метою охорони навколишнього природного середовища найбільш перспективні напрямки подальшого використання енергетичних культур повинно бути використання біомаси в енергетичних цілях. Стеблові форми найкраще підходять для спалювання, а листові форми для виготовлення

біогазу (хоч в цьому останньому випадку є тільки теоретичні можливості, тому що на даний час майже відсутні дослідження в цьому напрямку).

Зібрані в цьому стані рослини придатні для спалювання, виробництва брикетів, а також пелет. Деякі науковці із Польщі вважають, що міскантус гігантський є навіть ціннішою енергетичною сировиною ніж наприклад верба, завдяки значно нижчій вологості рослин.

Вважається що окрім спалювання можливі і інші методи переробки міскантуса гігантського на енергію.

Міскантус гігантський може використовуватись в якості біопалива у вигляді пелет, брикетів, зроблених із сухої біомаси. А також є цінною культурою для віднолення забруднених ґрунтів в умовах Полісся України.

РОЗДІЛ 2

УМОВИ ТА МЕТОДИКА ВИКОНАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Місце, умови та методика проведення досліджень

Дослідження особливостей продуктивності врожаю міскантусу гігантського (*Miscanthus giganteus*) в умовах радіоактивного забруднення проводили протягом 2020–2022 рр. с. Христинівка Народицького району Житомирської області.

Відповідно до завдань дослідження було закладено такі досліди:

Дослід 1. Вплив строків посадки ризом на врожайність міскантусу гігантського.

Схема розміщення рослин – 70×30 см. Загальна площа ділянки 30 м², облікової – 24 м². Повторність чотириразова, розміщення ділянок – систематичне.

Схема дослід 1

Варіант	Строк посадки	
	1	Ранньовесняний
2	Весняний	Квітень (I декада)

Дослід 2. Вплив схеми розміщення рослин на урожайність зеленої маси міскантусу гігантського.

Загальна площа ділянки – 30 м², облікової – 24 м². Повторність – чотириразова, розміщення ділянок – систематичне.

Схема дослід 2

Варіант	Схема розміщення, см	Площа живлення рослин, см ²	Щільність травостою, тис.шт./га
1	70 × 20	1400	71,5
2	70 × 30	2100	47,6

Дослід 3. Вплив доз мінеральних добрив на продуктивність фітомаси

міскантусу гігантського.

Дози мінеральних добрив визначали балансово-розрахунковим методом, за виносом поживних речовин з урожаєм з врахуванням ефективної родючості ґрунту і коефіцієнтів використання елементів живлення з мінеральних добрив. Для розрахунків доз добрив використовували формулу Ільйова–Благодарь [85]:

$$D = \left(B - \frac{PKn}{100} \right) \cdot \left(2 - \frac{Ky}{100} \right)$$

де D – доза добрив, в кг діючої речовини (д.р.) на 1 га,

B – винос поживних речовин із запланованим урожаєм, кг/га,

P – вміст поживних речовин у ґрунті, кг/га,

K_n – коефіцієнт використання поживних речовин із ґрунту, %,

K_y – коефіцієнт використання поживних речовин із добрив, %.

Коефіцієнти використання поживних речовин із ґрунту і мінеральних добрив взяті з літературних джерел [85, 96].

Схема досліду 3

Варіант	Доза добрив, кг/га д.р.
1	Контроль (без добрив)
2	$N_{50}P_{50}K_{50}$

Азотні, фосфорні та калійні добрива вносили перед посадкою ризом.

Схема розміщення – 70×30 см. Загальна площа ділянки – 30 м^2 , облікової – 24 м^2 . Повторність – чотириразова. Розміщення варіантів на площі – систематичне.

Полеві досліди проводили відповідно до «Методики полевого опыта» (Доспехов [74]).

Протягом вегетаційного періоду виконували такі обліки, спостереження та аналізи, як:

динаміка щільності травостою на всіх повтореннях у кожній фазі

розвитку на десяти погонних метрах [28];

облік урожаю зеленої маси з облікової ділянки методом прямого скошування [17, 30];

структура врожаю надземної маси (співвідношення листків, стебел) аналізом проб у кожному повторенні [14, 22].

Зразки ґрунту та рослин для аналізів відбирали й підготовляли за загальноприйнятими методиками [15]. Аналізи проводили у сертифікованій вимірювальній лабораторії Поліського національного університету.

Одержані експериментальні дані опрацьовували методами дисперсійного та кореляційного аналізу за Б.О. Доспеховим [19].

Енергетичну ефективність оцінювали за методиками О.К. Медведовського, П.І. Іванченка та інших [11, 20].

РОЗДІЛ 3

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ ОБГРУНТУВАННЯ

3.1. Міграція радіонуклідів у ланцюзі «грунт-рослина»

З моменту аварії пройшло 36 років, але радіонукліди і досі накопичуються у рослинницькій продукції [35]. Багато вчених дослідили окремі аспекти даного питання, але існує проблема підвищеної дози опромінення населення, що проживає та працює на радіоактивно забруднених територіях Полісся України.

Забруднення радіонуклідами мало значну плямистість території із низьким рівнем забруднення перемежуються з ділянками із підвищеними показниками забруднення ґрунту. Тому стало питання повернення забруднених ґрунтів у сільськогосподарське використання. Як показали результати аналізів попередніх досліджень з усієї сільськогосподарської продукції, найбільш забрудненими радіонуклідами є кормові багаторічні трави [34].

Тому впровадження промислових плантацій енергетичних культур на радіоактивно забруднених територіях зони Полісся є актуальне і мало вивчене.

Нами встановлено, що на дослідних ділянках, де вирощували міскантус гігантський, щільність забруднення ґрунту була досить високою.

Результатами наших досліджень встановлено, що щільність забруднення ґрунту ^{137}Cs при вирощуванні міскантусу гігантського варіювала в межах– 907,4–998,5 кБк/м².

Щільність забруднення ґрунту досліджуваних ділянок ^{90}Sr знаходилася у межах (17,7–19,0 Бк/кг).

За результатами досліджень також встановлено, що при застосуванні мінеральних добрив під урожай енергетичних культур спостерігається зниження щільності забруднення ґрунту радіонуклідами між варіантами

вирощування. Так, щільність забруднення ґрунту ^{137}Cs при вирощуванні міскантуса 8,7 % нижчою у порівнянні із щільністю ґрунту при вирощуванні культур у варіанті без добрив.

Щільність забруднення ґрунту ^{90}Sr у контролі при вирощуванні міскантуса, переважала показник ґрунту із застосуванням добрив відповідно на 6,8 %. Тобто найбільшу різницю радіонуклідів між варіантами відмічено при вирощуванні рослин на фоні мінерального удобрення (табл. 3.1).

Таблиця 3.1

Концентрація радіонуклідів та коефіцієнти переходу радіонуклідів із ґрунту у фітомасу міскантусу гігантського

Культура	Варіант	Щільність забруднення ґрунту, кБк/м ²		Питома активність фітомаси рослин, Бк/кг		КП	
		^{137}Cs	^{90}Sr	^{137}Cs	^{90}Sr	^{137}Cs	^{90}Sr
Міскантус гігантеус	контроль	998,5	19,0	184	94	0,18	4,95
	N ₅₀ P ₅₀ K ₅₀	907,4	17,7	152	78	0,17	4,22
НІР05		24,89	0,65	10,54	6,20		

Що стосується забруднення радіонуклідами фітомаси то найбільшу концентрацію ^{137}Cs відмічено (184 Бк/кг) на ділянках із внесенням мінеральних добрив. Концентрація ^{90}Sr варіювала від 78 Бк/кг на удобрених ділянках та 94 Бк/кг на контролі.

За результатами досліджень розраховано коефіцієнти переходу радіонуклідів із ґрунту у фітомасу міскантусу гігантського.

Коефіцієнти переходу ^{137}Cs із ґрунту у рослини при вирощуванні міскантуса гігантеуса становили – 0,17–0,18.

Коефіцієнти переходу ^{90}Sr із ґрунту у рослини при вирощуванні міскантуса – 4,22 та 4,95.

Отже, за результатами досліджень доведена можливість вирощування міскантуса гігантського у другій зоні радіоактивного забруднення.

3.2. Продуктивність міскантусу гігантського при вирощуванні на радіоактивно забрудненій території Полісся України

Особливості розвитку рослин залежно від умов вегетації

Ріст і розвиток рослин – це процеси, які відбуваються за генетично заданою програмою, координуються гормонами й модифікуються під впливом факторів навколишнього середовища [13].

В зоні Полісся рослини міскантусу гігантського у перший рік життя утворюють лише листки і розвинуту кореневу систему [1].

Спостереження за розвитком міскантусу гігантського при різних строках посадки показало, що в умовах радіоактивного забруднення можна одержати повні сходи як за посадки ризом у березні так і у квітні. У всіх варіантах, сходи з'являються практично одночасно. За одночасної посадки ризом міскантусу гігантського різниця в часі появи сходів становила 10 ± 2 діб. Ця різниця зберігалася й у подальшому розвитку рослин.

Результати дослідження щодо впливу схеми розміщення міскантусу гігантського на продуктивність фітомаси свідчать, що на другий рік вегетації загущеними посівами (за схем розміщення 70×20 та 70×30 см) формувалася врожай на 12 – 23 % вищий (табл. 3.2).

Таблиця 3.2

Залежність урожайності зеленої маси міскантусу гігантського від схеми розміщення і року життя, т/га (дані за 2020 – 2022 рр.)

Схема розміщення, см	Площа живлення, см ²	Урожайність сільфію залежно від року життя рослин			
		перший	другий	третій	середня за 3 роки вегетації
70 × 20	1400	44,2	70,3	47,9	54,1
70 × 30	2100	43,2	72,1	53,6	56,3
НІР ₀₅		4,4	6,0	6,8	2,5

На третій рік вегетації тенденція зберігалася, але різниця за врожайністю цих

варіантів зменшилася до 6 – 10 %.

У середньому за три роки використання максимальна врожайність зеленої маси формувалася за схеми розміщення 70×30 см, тобто при площі живлення 2100 см^2 , що переважає інший спосіб посадки на 6 – 8 %.

Доведено, що в умовах радіоактивного забруднення кількість стебел, що формуються на рослині, не залежить від схеми розміщення.

Встановлено, що маса стебел збільшувалася при розширенні площі живлення, відповідно зростала і продуктивність рослини. Найбільша маса формувалася за схеми розміщення 70×30 см. При скороченні площі живлення до 1400 см^2 маса рослини зменшувалася залежно від року життя.

Маса рослин змінювалася за роками дослідження. Як загальну закономірність можна відзначити, що на третій рік врожайність зеленої маси рослин у всіх варіантах досягали максимальних значень. На третій рік у порівнянні з другим роком вегетації маса рослин і стебел зменшувалася. Оскільки з віком маса рослин зменшувалася у всіх варіантах досліду без винятку, можна зробити висновок, що врожайність культури більшою мірою залежить від віку рослин і меншою – від схеми розміщення.

Залежність урожайності зеленої маси від рівня мінерального живлення

А.О. Ничипорович зазначав, що формування врожайності рослин є результатом їхнього живлення [13]. Тому велике практичне значення має правильне визначення доз добрив, оскільки рослини реагують як на низьку, так і на надмірну кількість поживних речовин. Надлишок азоту призводить, з одного боку, до надмірного росту надземної маси рослин, сильної кущистості, а з іншого – до слабкого розвитку кореневої системи, погіршення водного режиму ґрунту, зниження насінневої продуктивності. Підвищені дози фосфору на фоні низького рівня азотного живлення зменшують синтез білків і ДНК у листках. Нестача фосфору спричиняє розщеплення білків, що зумовлює глибоку перебудову метаболізму амінокислот [19].

Міскантус гігантський позитивно реагує на внесення добрив. Це пов'язано із значним виносом елементів живлення із високим урожаєм

зеленої маси [22]. Тому при вивченні технологічних аспектів вирощування цієї культури в умовах радіоактивного забруднення нами були проведені дослідження щодо встановлення впливу доз мінеральних добрив на формування врожайності міскантусу гігантського у різні вікові періоди.

Мінеральні добрива істотно впливали на формування біомаси рослин (табл. 3.3). Існує тенденція вірогідного зростання продуктивності культури із внесенням азотних, фосфорних та калійних мінеральних добрив. Мінімальна врожайність зеленої маси протягом усього періоду дослідження була у варіанті без внесення добрив (контроль), а максимальна – у варіантах із внесенням комплексних мінеральних добрив.

Таблиця 3.4

Урожайність зеленої маси міскантусу гігантського залежно від рівня мінерального живлення та віку рослин, т/га (дані за 2020–2022 рр.)

Ва-ріант	Доза добрив, кг /га д.р.	Урожайність зеленої маси в рік життя рослин				
		перший	другий	третій	сума за три роки	середнє за три роки
1	Контроль	43,2	72,1	53,6	168,9	56,3
2	N ₅₀ P ₅₀ K ₅₀	44,5	84,1	63,1	191,7	63,9
НІР ₀₅		4,4	5,6	5,1	–	3,7

На другий рік вегетації значно зросла врожайність зеленої маси за внесення повного мінерального добрива. Суттєвого приросту врожайності не виявлено на контролі. Ймовірно, що дози мінеральних добрив у цьому варіанті відіграли важливу роль, тому тут на другий рік вегетації була відмічена суттєва різниця з контролем.

В середньому за весь період дослідження найбільший приріст урожаю зеленої маси був на ділянках де вносили мінеральні добрива проти контролю.

3.3. Енергетичний потенціал досліджуваної культури

В умовах нестабільних ринкових цін, у тому числі на зняття та засоби виробництва, вартість кінцевої продукції, економічні показники швидко й суттєво змінюються, тому економічна оцінка є необ'єктивною [19]. У зв'язку з цим було розроблено методику енергетичної оцінки сільськогосподарських технологій. Суть її полягає в тому, що витрати всіх засобів і видів праці переводять за допомогою нормативних еквівалентів у енергетичні одиниці – джоулі (Дж) й зіставляють з енергетичністю одержаного врожаю, вираженою також у джоулях, тобто порівнюють енерговитрати на вирощування культури з вмістом енергії у зібраному врожаї. Головна перевага енергетичної оцінки у тому, що її застосування дає можливість порівнювати в єдиних енергетичних показниках витрати на впровадження технологій із результатами виробництва, незалежно від коливань ринкових цін.

Більша частина сукупної енергії на 1 га плантації витрачається у перший рік вирощування цієї культури, що становить 61 % загальних витрат. Найбільш енергоємні в цей період заходи щодо основного обробітку ґрунту та внесення добрив. Догляд за посівами на другий і в наступні роки потребує близько 1,8 ГДж. Значна частина енергетичних витрат (30 %) припадає на збирання й транспортування врожаю фітомаси.

Найбільша частка із статей витрат сукупної енергії як при вирощуванні міскантусу гігантського припадає на добрива, паливе та електроенергію.

Аналіз витрат в енергетичному еквіваленті показав, що технологія вирощування енергоємна. Для одержання врожаю фітомаси міскантусу гігантського за два роки вегетації витрачається 19,4 ГДж/га.

Енергетичний коефіцієнт (відношення валової енергії, яка нагромадилася в надземній біомасі, до витрат сукупної енергії на одиницю площі посіву) показує енергетичну ефективність агроценозу, оскільки вся вироблена енергія може бути утилізована.

Енергетичний аналіз технологій вирощування сільськогосподарських культур завершується визначенням коефіцієнта енергетичної ефективності

(К_ее), який розраховують як відношення обмінної енергії, одержаної з 1 га посіву, до витрат сукупної енергії на цій площі. У всіх варіантах К_ее значно вищий за одиницю, що свідчить про достатню енергетичну ефективність вирощування та використання міскантусу гігантського в умовах радіоактивного забруднення. Коефіцієнт енергетичної ефективності понад 4 є високим показником енергоощадності технологій вирощування культури.

Енергетична оцінка схем розміщення сільфію пронизанolistого показала, що різниця за варіантами у витратах сукупної енергії на одиницю площі не перевищує 0,5 ГДж.

Усі варіанти характеризуються високим К_ее – від 4,6 до 5,0. Максимальні значення К_ее та збільшення валової енергії на одиницю площі забезпечуються за схеми розміщення 70 × 30 см.

Як вказувалося раніше, при вирощуванні сільськогосподарських культур найбільші витрати сукупної енергії припадають на добрива, тому важливим є визначення енергетичної ефективності технології вирощування за внесення мінеральних добрив.

Таблиця 3.5

Енергетична ефективність вирощування міскантусу гігантського на фітомасу залежно від схеми розміщення рослин

Показник	Схема розміщення, см	
	70 × 20	70 × 30
Витрати сукупної енергії на 1 га, ГДж	19,2	19,1
Вихід з 1 га:		
продукції (сухої речовини), т	10,4	11,2
валової енергії, ГДж	148,1	160,9
обмінної енергії, ГДж	88,6	96,3
Енергоємність 1 т, ГДж:		
продукції (сухої речовини)	1,8	1,7
Енергетичний коефіцієнт	7,7	8,4
Коефіцієнт енергетичної ефективності виробництва зеленої маси	4,6	5,0

Як і передбачалося, найменш енергоємним виявився контрольний варіант, оскільки у ньому не вносили добрива. Тут найвищий коефіцієнт

енергетичної ефективності. Застосування азотних добрив збільшує енергоємність продукції на 18 %. За внесення азотного, фосфорного та повного мінерального добрива енергоємність зростає, а енергетична ефективність вирощування знизується відповідно в 1,6 раза порівняно з контролем. Проте необхідно зазначити, що у всіх варіантах коефіцієнт енергетичної ефективності значно вищий одиниці.

Таблиця 3.6

Енергетична ефективність вирощування міскантусу гігантського на фітомасу залежно від рівня мінерального живлення рослин

Показник	Доза добрив, кг /га д.р.	
	контроль	N ₁₅₀ P ₅₀ K ₆₀
Витрати сукупної енергії на 1 га, ГДж	12,7	34,9
Вихід з 1 га:		
продукції (сухої речовини), т	11,3	12,9
валової енергії, ГДж	134,5	157,2
обмінної енергії, ГДж	77,0	88,2
Енергоємність 1 т, ГДж:		
продукції (сухої речовини)	1,1	2,7
Енергетичний коефіцієнт	10,6	4,5
Коефіцієнт енергетичної ефективності виробництва зеленої маси	6,1	2,5
Збільшення валової енергії на 1 га, ГДж	121,8	122,3

Таким чином, результати економічної та енергетичної оцінки показали, що ефективність вирощування міскантусу гігантського значною мірою залежить від строків скошування, тривалості використання плантації, рівня мінерального живлення і менше – від схеми розміщення (площі живлення рослин).

Енергетичний аналіз свідчить, що на вирощування фітомаси міскантусу за два роки вегетації витрачається в 1,7 раза менше сукупної енергії. Використання врожаю дає змогу додатково одержати майже 60 ГДж валової

енергії.

3.4. Економічна оцінка вирощування міскантусу гігантського

У сучасних умовах для успішного розвитку сільськогосподарського виробництва України, необхідне застосування енерго- і ресурсозберігаючих технологій, які ґрунтуються на використанні значного потенціалу багаторічних культур. Тому завершальним етапом дослідження є економічна та енергетична оцінка вирощування і використання міскантусу гігантського.

Оскільки міскантус гігантський – культура багаторічна, економічну ефективність розраховували окремо по кожному року вегетації.

Догляд за посівами міскантусу гігантського не залежить від строків скошування зеленої маси, тому що складається з однакових технологічних операцій і потребує відповідних вкладень коштів. Проте витрати на збирання й транспортування продукції і як результат – на її собівартість, пов'язані із кількістю одержаного врожаю. Як показали наші розрахунки, за скошування фітомаси у другий рік використання у фазу стеблуння собівартість кінцевої продукції вища в порівнянні з пізнішими строками скошування. Витрати на вирощування, збирання й транспортування врожаю, на другий рік вегетації у фазу стеблуння було рентабельне.

У другий рік використання за одноразового скошування зберігається така тенденція: із розвитком рослин зростає врожайність, знижується собівартість, підвищується рентабельність. Максимальні прибутки – за скошування сухої фітомаси як у перший, так і на другий рік використання.

У фазу стеблуння (кінець травня – початок червня) культура формує велику кількість фітомаси.

Аналіз ефективності вирощування міскантусу гігантського на фітомасу за різних схем розміщення показав, що в перший рік вегетації різниця у витратах зумовлена вартістю садивного матеріалу.

Значна кількість садивного матеріалу необхідна для посадки за схемою

70 × 20 см і, як результат, у цьому варіанті найбільші витрати в перший рік вегетації.

На другий і в наступні роки вегетації різниця у витратах зумовлюється коштами, необхідними для збирання й транспортування одержаного врожаю. Мінімальне значення рентабельності за найвищої собівартості кінцевого продукту – у варіанті зі схемою розміщення 70 × 20 см – 37 % (табл. 3.6). Максимальний вихід продукції з 1 га, умовно чистий прибуток та рівень рентабельності забезпечуються за схеми розміщення 70 × 30 см.

Таблиця 3.7

Економічна ефективність вирощування міскантусу гігантського на фітомасу за різних схем розміщення рослин в перший рік використання

Показник	Схема розміщення, см	
	70 × 20	70 × 30
Витрати на 1 га за два роки вегетації, грн	3643	3500
Вихід з 1 га, т:		
зеленої маси	48,6	52,8
сухої речовини	10,4	11,2
Собівартість, грн/т:		
зеленої маси	75	66
сухої речовини	350	313
Вартість валового врожаю з 1 га, грн	4980	5400
Умовно чистий прибуток, грн	1337	1900
Рівень рентабельності, %	37	54

На другий рік використання міскантусу гігантського на фітомасу рівень рентабельності залежно від схеми розміщення зростає. Мінімальна собівартість продукції, максимальні умовно чистий прибуток і рентабельність за рахунок вищої врожайності – у варіанті зі схемою розміщення 70 × 30 см.

Аналіз результатів щодо економічної ефективності мінеральних добрив при вирощуванні культури показав, що в перший рік використання внесення (табл. 3.7).

Таблиця 3.8

Економічна ефективність вирощування міскантусу гігантського на фітомасу за різних способів сівби на другий рік використання

Показник	Схема розміщення, см	
	70 × 20	70 × 30
Витрати на 1 га за три роки вегетації, грн	4646	4560
Вихід за три роки з 1 га, т:		
зеленої маси	97,2	105,6
сухої речовини	20,7	22,5
Собівартість, грн/т:		
зеленої маси	48	43
сухої речовини	224	203
Вартість валового врожаю з 1 га, грн	9938	10797
Умовно чистий прибуток, грн	5292	6237
Рівень рентабельності, %	114	137

Норми добрив до $N_{50}P_{50}$ і N_{50} сприяло підвищенню рівня рентабельності (за скошування на другий рік вегетації). Мінімальна собівартість 1 т зеленої маси була на контролі.

Враховуючи високу продуктивність та відповідний винос поживних речовин із ґрунту, внесення мінеральних добрив – обов'язковий елемент технології вирощування для забезпечення стабільних урожаїв культури і збереження родючості ґрунту.

Як зазначалося раніше, в перший рік вегетації надземну масу не скошують, тому витрати на вирощування культури за перший рік входять у собівартість продукції, яку одержують у наступні роки. Таким чином, із подовженням строку використання плантації фітомаси знижується, а економічна ефективність зростає.

Отже, вирощування міскантусу гігантського економічно вигідне. Перше її скошування доцільно проводити на другий рік вегетації. Найвищої економічної ефективності досягають за схеми розміщення рослин 70 × 30 см. Застосування мінеральних добрив знижує економічну ефективність вирощування культури на зелену масу. Рівень рентабельності значно зростає за збільшення тривалості використання плантації.

ВИСНОВКИ

Наведено теоретичне узагальнення і нове вирішення наукової проблеми, що виявляється у розробці технології вирощування міскантусу гігантського в умовах радіоактивного забруднення Полісся України. Визначенні особливості продуктивності, енергетичної й економічної ефективності використання культури.

В цілому фітомасу міскантусу гігантського можна характеризувати як непогане паливо, що вимагає ретельного підходу до використання.

За результатами досліджень також встановлено, щільність забруднення ґрунту ^{137}Cs при вирощуванні міскантуса 8,7 % нижчою у порівнянні із щільністю ґрунту при вирощуванні культур у варіанті без добрив.

Щільність забруднення ґрунту ^{90}Sr у контролі при вирощуванні міскантуса, переважала показник ґрунту із застосуванням добрив відповідно на 6,8 %. Тобто найбільшу різницю радіонуклідів між варіантами відмічено при вирощуванні рослин на фоні мінерального удобрення

Використовувати плантації міскантусу гігантського не менше п'яти років. Рівень рентабельності значно зростає за збільшення тривалості використання плантації.

РЕКОМЕНДАЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ

Для відновлення продуктивності дерново-підзолистого ґрунту забрудненого радіонуклідами в умовах Полісся України, та для отримання екологічно безпечного біопалива господарствам різних систем власності рекомендуємо вирощувати міскантус гігантський.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Роїк М. В., Курило В. Л., Гадженко О. М., Гументик М. Я. Перспективи розвитку біоенергетики в Україні. Біоенергетика: вирощування біоенергетичних культур, виробництво та використання біопалива: зб. наук. праць. 2011. Вип. 12. С. 14–24.
2. Хіврич О., Курило В., Квак В., Каськів В. Енергетичні рослини як сировина для біопалива. Пропозиція. 2011. № 6. С. 68–73.
3. Сучасний стан та перспективи розвитку біоенергетики в Україні / Г. Гелетуха, Т. А. Железна, П. П. Кучерук, Є. М. Олійник. *Аналітична записка БАУ*. 2014. № 9. С. 9–10.
4. Гелетуха Г. Г., Железна Т. А. Перспективи використання відходів сільського господарства для виробництва енергії в Україні. *Аналітична записка БАУ*. 2014. № 7. С. 12–16.
5. Агрохімія: підручник / М. М. Городній, А. П. Сердюк, В. А. Копілевич та ін. Київ: Вища шк., 1995. 526 с.
6. Гументик М. Я. Атлас високопродуктивних біоенергетичних культур. *Біоенергетика*. 2013. № 2. С. 6–7.
7. Поведение радионуклидов в лесных почвах зоны аварии на ЧАЭС и переход их на продукцию леса / Н. Н. Давидов, А. Б. Загребин, Н. Н. Калетник и др. *Чернобыль – 96*: тез. докл. междунар. конф. Зеленый Мыс, 1996. С. 267.
8. Демків О. Т. Деякі закономірності розподілу радіоактивних ізотопів в органах високогірних рослин Карпат. *Укр. ботан. журн.* 1967. Т. XXIV, № 6. С. 50–54.
9. Десять лет после аварии на Чернобыльской АЭС: Нац. доклад Украины. Киев: Минчернобыль, 1996. С. 2–28.
10. Накопление и распределение ^{137}Cs в экосистеме соснового леса при различной плотности загрязнения почвы / С. В. Зибцев, В. Н. Худолий и др. *Чернобыль – 94*: сб. докл. междунар. конф. Чернобыль, 1996. Т. 1. С. 485.

11. Івахів В. Енергетична верба як рішення для малих міст України. URL: <http://ua-energy.org/post/27476>.
12. Фізико-хімічні форми випадень виброса ЧАЭС и долговременная динамика поведения радионуклидов выбросов компонентах агроэкосистем / Ю. А. Иванов, В. А. Кашпаров и др. *Чернобыль – 94: материалы IV междунар. науч.-техн. конф. Чернобыль*, 1996. С. 256–275.
13. Кабашникова Г. И., Блотских Т. Н. Видовые особенности аккумуляции радионуклидов растениями подлеска и подроста в сосновых фитоценозах мшистого типа. *Тез. докл. Третьего съезда по радиационным исследованиям* (Москва, 14–17 октября 1997 г.). Пушино, 1997. Т. 2. С. 351–352.
14. Караваева Е. Н., Куликов Н. В., Молчанова И. В. Накопление ^{90}Sr и ^{137}Cs растениями в зависимости от влажности почвы. *Радиобиология*. 1970. № 10, вып. 33. С. 78–82.
15. Клечковский В. М., Гулякин И. В. Поведение в почвах и растениях микроколичеств стронция, цезия, рутения и церкония. *Почвоведение*. 1958. № 3. С. 1–15.
16. Кравченко Ю. С., Болиев А. О. Вплив технологій вирощування культур на якісний склад гумусу чорнозему типового. *Агрохімія і ґрунтознавство*. 2013. № 4. С. 60–61.
17. Коровин А. И. Роль температуры в минеральном питании растений. Ленинград: Гидрометеиздат, 1972. 284 с.
18. Краснов В. П. Радіоекологія лісів Полісся України. Житомир: Волинь, 1998. 128 с.
19. Круглов С. В., Архипов Н. П. Особенности поведения ^{137}Cs и ^{90}Sr Чернобыльских выпадений в почвах ближней и дальней зоны аварии. *Чернобыль – 96: сб. тез. междунар. конф. Зеленый Мыс*, 1996. С. 230–231.
20. Сівозміни, обробіток ґрунту, добрива та забур'яненість посівів / А. О. Лимар, П. П. Островчук, В. А. Іщенко та ін. *Вісник с.-г. науки*. 1988. № 12. С. 28–32.

21. Лихочвор В. В. Рослинництво. Технології вирощування сільськогосподарських культур. 2-е вид., випр. Київ: Центр навч. літератури, 2004. 808 с.
22. Мазур Г. А. Проблема відтворення і регулювання родючості ґрунтів. *Зб. наук. пр. Інституту землеробства УААН*. 1999. Вип. 4. С. 48–56.
23. Романчук Л. Д. Радіоекологічна оцінка формування дозового навантаження у мешканців сільських територій Полісся України : монографія. Житомир: ЖНАЕУ, 2015. 300 с.
24. Основи землеробства: підручник / О. Ф. Смаглій, М. Ф. Рибак, Є. М. Данкевич та ін. Житомир: Держ. агрокол. ун-т, 2008. 514 с.
25. Агроекологія / М. М. Городній, М. К. Шикула, І. М. Гудков та ін.; за ред. М. М. Городнього. Київ: Вища шк., 1993. С. 156–160.
26. Минеев В. Г. Экологические проблемы агрохимии. Москва: Изд-во Моск. ун-та, 1988. С. 7–243.
27. Тойкка М. А. Содержание тяжелых металлов в растениях и почвах. *Химия в сельском хозяйстве*. 1985. № 6. С. 49–51.
28. Anderson A., Nilsson K. Influence on the levels of heavy metals in soil and plant from swage sludge used as fertilizer. *Swedish J. agric. Res.* 1976. arg. 6, № 2. S. 151–159.
29. Наукові основи агропромислового виробництва в зоні Полісся і Західному регіоні України / редкол.: В. М. Зубець (голова) та ін. Київ: Аграр. наука, 2010. 943 с.
30. Energy Content, Construction Cost and Phytomass Accumulation of Glycine max (L.) Merr. and Sorghum bicolor (L.) Moench Grown in Elevated CO₂ in the Field / Amthor J. S., Mitchell R. J., Runion G. B. et al. *New Phytologist*. 1994. Vol. 128, No. 3. P. 443–450.
31. Ethanol and lactic acid production as affected by sorghum genotype and location / Zhan X., Wang D., Tuinstra M. R. et al. *Ind. Crop Prod.* 2003. Vol. 18. P. 245–255.

32. Boale C. V., Bindt D. A., Long S. P. Leaf photosynthesis in the C4-grass *Miscanthus giganteus*, growing in a cool temperature climate of Southern England. *Journal of Experimental Botany*. 1996. Vol. 47, No. 295. P. 267–273.

33. Brogowski Z., Nalborczyk E. Prognoza skazenia gleb terenow rolniczych I mozliwosci ich recultiwacji. Prognoza ostrzegawcza zmian srodowiskowych warunkow zycia czlowieka w Polsce na poczатku XX1 wieku. *Zeszyty Naukowe Komitetu 'Cziowik I Srodowisko'*. 1995. 10. S. 81–86.

34. Можарівська І. А., Романчук Л. Д. Перспективи вирощування енергетичних рослин в Україні. Новітні технології в рослинництві: матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції (6 листопада 2014 р.). Біла Церква, 2014. С. 21–22.

35. Про альтернативні види палива: закон України від 21.05.2009 р. № 1391–VI. URL: <http://zacon.rada.gov.ua>.