

УДК 504.064.4:633.282:620.952

ВИРОЩУВАННЯ МІСКАНТУСУ ГІГАНТСЬКОГО В УМОВАХ ПОЛІССЯ НА РАДІОАКТИВНО ЗАБРУДНЕНИХ ҐРУНТАХ

КВАК В.М.¹,
ПОТАПЕНКО Л.В.^{2*},
СКАЧОК Л.М.²,
ГОРБАЧЕНКО Н.І.²

¹Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН, 03110, м. Київ, вул. Клінічна, 25.

²Інститут сільськогосподарської мікробіології та агропромислового виробництва НААН, 14027, м. Чернігів, вул. Шевченко, 97,

*e-mail: potapienko74@ukr.net

Вступ. Чорнобильська катастрофа була найбільшою техногенною катастрофою, яка трапилася в зоні розвинутого аграрного виробництва. Одним з її негативних наслідків стало радіоактивне забруднення сільськогосподарських угідь, з яких найбільшого забруднення зазнали ґрунти Поліської зони (90%) [1].

В Україні радіоактивного забруднення зазнало 5345,4 тис. га (4,8% загальної площі), яке охопило 12 областей і 74 адміністративних районів [2]; з них 22 райони знаходяться в Чернігівській області. За результатами досліджень Чернігівської філії ДУ «Інститут охорони ґрунтів України» на стаціонарних контрольних ділянках, середній показник щільності забруднення ґрунту ¹³⁷Cs перевищив доварійний рівень у 12 разів, ⁹⁰Sr — у 5 разів. Серед забруднених сільськогосподарських територій найбільша кількість припадає на дерново-підзолисті ґрунти (43,6%), які характеризуються низьким рівнем родючості, підвищеною кислотністю та високою мобільністю радіонуклідів [3].

За час, що минув після Чорнобильської катастрофи ситуація змінилась у бік її покращення внаслідок проведеного комплексу заходів із послаблення наслідків аварії, фізичного розпаду радіонуклідів, змиву їх атмосферними опадами. В Чернігівській області станом на 2012 рік забруднення ¹³⁷Cs вище 1 Кі/км² становило 44 тис. га або 2,4% угідь та ⁹⁰Sr вище 0,02 Кі/км²–1624 тис. га або 88% угідь [4].

На забруднених територіях неможливе вирощування культур харчового призначення та обмежено вирощування кормових культур. Проте, на цих територіях можливе вирощування рослин на

промислові та енергетичні потреби. Окремими дослідниками пропонується вирощувати на радіоактивно забруднених ґрунтах міскантус гігантський (*Miscanthus giganteus* A.) [5, 6], який упродовж вегетації потребує мінімальної кількості мінеральних добрив завдяки активному розвитку кореневої системи, здатної проникати досить глибоко та використовувати поживні речовини з глибших горизонтів ґрунту [7]. Крім того, поживні речовини, які накопичуються в ризомах, використовуються повторно в новому вегетаційному періоді [8].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Нагромадження радіонуклідів у рослинницькій продукції залежить від щільності забруднення земель (Кі/км²), механічного складу ґрунту, вмісту в ньому біогенних елементів та коефіцієнту переходу (КП). Тому для ведення сільськогосподарського виробництва на забруднених радіоактивними речовинами ґрунтах важливо застосовувати, в першу чергу, такі агротехнічні й агрохімічні заходи, які знижують рівень забруднення продукції, проведення яких не потребує значних змін існуючих технологій вирощування сільськогосподарських культур. Найпоширенішими і найдоступнішими серед цих заходів є агрохімічні, а саме: вапнування, внесення підвищених доз фосфорно-калійних і органічних добрив та застосування мікродобрив [9].

Рівень забруднення врожаю однієї й тієї ж культури перш за все залежить від типу ґрунту та щільності забруднен-

ня. Накопичення радіонуклідів рослинами буде меншим на краще окультуреному ґрунті. Тому перехід радіонуклідів із чорноземів у рослини в 20–25 разів менший, ніж із дерново-підзолистих ґрунтів [10].

Внесення мінеральних добрив у дозі N⁶⁰P⁹⁰K¹²⁰ на ґрунтах дерново-підзолистого типу знижує забруднення продукції ¹³⁷Cs в 1,5–2,0 рази. Внесення вапна ефективно в дозах, що забезпечують нейтралізацію кислотності ґрунтового розчину з розрахунку 1,5 норми CaCO₃. На полях, де прогнозована активність ¹³⁷Cs у продукції перевищуватиме ДР-2006, необхідно проводити вапнування в нормах за гідролітичною кислотністю, внесення гною (50–80 т/га), застосування мінеральних добрив (N⁶⁰P⁹⁰K¹²⁰), які знижують забруднення продукції ¹³⁷Cs при сумісному їх застосуванні в 2,5–4,0 рази [11].

Внесення підвищених норм фосфорних добрив на радіоактивно забруднених ґрунтах створює резерви фосфору, зменшуючи надходження ⁹⁰Sr в рослини.

Рослини міскантуса накопичують незначну кількість радіоактивного ізотопу ¹³⁷Cs. За розрахунками коефіцієнтів переходу ¹³⁷Cs із ґрунту в рослини міскантуса можна стверджувати, що їх значення перебувають у межах 0,22–0,10 (Бк/кг/кБк/м²), які близькі до значень коефіцієнтів переходу ¹³⁷Cs у зернових культур (пшениці озимої, жита, ячменю).

Тому надзвичайно актуальним є розробка сучасних технологій виробництва перспективних відновлювальних джерел біопалива та впровадження їх у енерге-

Таблиця 1

Вміст ⁹⁰Sr в ґрунті та біомасі міскантуса залежно від агротехнічних прийомів вирощування (2016-2018 рр.)

№ вар.	Варіант	⁹⁰ Sr, Бк/кг		Система: ґрунт-рослина	
		ґрунт	біомаса	КН	КП
1	Контроль (умовно чистий ґрунт)	2,21±0,09	0,09±0,01	0,04	0,13
2	Забруднений радіонуклідами ґрунт	10,64±0,66	0,54±0,01	0,05	0,17
3	Забруднений ґрунт + NPK + «Поліміксобактерин» + «БіоМАГ»	9,69±0,66	0,49±0,02	0,05	0,16
4	Забруднений ґрунт + NPK + дефекакт + «Поліміксобактерин» + «БіоМАГ»	9,22±0,37	0,46±0,01	0,05	0,15

тичну галузь України на сільськогосподарських територіях, забруднених радіоактивними ізотопами, для подальшого відтворення їх родючості та безпечності. В зв'язку з цим основною метою досліджень було створення таких умов вирощування, які сприяли отриманню біомаси міскантусу з допустимим вмістом ¹³⁷Cs і ⁹⁰Sr для подальшого використання при виготовленні твердого біопалива.

Метою досліджень було дослідити накопичення радіонуклідів у біомасі міскантусу гігантського залежно від агротехнічних прийомів вирощування його на радіоактивно забруднених ґрунтах в умовах Полісся.

Матеріали і методика досліджень. Дослідження проводились (2016-2018 рр.) у стаціонарній лізиметричній установці у Відділі наукового забезпечення агропромислового виробництва (с. Прогрес) Інституту сільськогосподарської мікробіології та агропромислового виробництва НААН. За конструкцією лізиметри — бетонні, за типом — насипні з п'ятишаровою гідроізоляцією. Заповнення ґрунтом проводили, починаючи з материнської породи, з урахуванням потужності кожного генетичного горизонту при їх природному розміщенні. Шар ґрунту однієї чарунки — 155 см, його маса — 10,5 т. Посівна площа лізиметричної чарунки — 3,8 м².

Схема досліду включала чотири варіанти: 1. Контроль (умовно чистий ґрунт); 2. Забруднений радіонуклідами ґрунт; 3. Забруднений радіонуклідами ґрунт + NPK + «БіоМАГ» + «Поліміксобактерин»; 4. Еквівалентно вар. 3 + дефекаат. Агрохімічні аналізи ґрунту проводили за загальноприйнятими методиками [12]. Активність ¹³⁷Cs у ґрунті, рослинах та лізиметричних водах визначали за загальноприйнятною методикою із застосуванням аналізатору імпульсів СЕГ 0,5. Вміст ⁹⁰Sr у зразках ґрунту визначали згідно «Методические указания по определению ⁹⁰Sr и ¹³⁷Cs в почвах и растениях» [13], у рослинних зразках — «Методика измерения активности радионуклидов в счетных образцах

на сцинтилляционном бетта-спектрометре с использованием программного обеспечения «Прогресс» [14].

ґрунт у варіанті 1 — дерново-підзолистий, супіщаний. Орний шар характеризується вмістом: гумусу — 1,15%; азоту, що легко гідролізується — 60 мг; рухомого фосфору — 190 мг; обмінного калію — 60 мг на кг ґрунту;

pHсол — 5,5. Щільність забруднення радіонуклідом ¹³⁷Cs склала 0,89 Кі/км² та одночасно радіонуклідом ⁹⁰Sr — 0,019 Кі/км².

У варіантах 2–4 орний шар ґрунту замінювали на ґрунт, забруднений радіонуклідами з території Пакульської сільської ради Чернігівської області. ґрунт дерново-підзолистий, глеуватий, супіщаний, який характеризується вмістом: гумусу — 1,21%; азоту, що легко гідролізується — 68 мг; рухомого фосфору — 142 мг; обмінного калію — 76 мг на кг ґрунту; pHсол — 5,7. Щільність забруднення ґрунту радіонуклідом ¹³⁷Cs склала 3,00 Кі/км² та ⁹⁰Sr — 0,08 Кі/км².

Перед посадкою міскантусу в ґрунт вносили мінеральні добрива — N⁴⁵P⁴⁵K⁴⁵ та проводили вапнування дефекаатом із вмістом вуглекислого кальцію (CaCO₃) 60% на суху речовину 5,0 т/га. Ризомі обробляли «Поліміксобактерином», 3 л/т та «БіоМАГом», 2 л/т. «Поліміксобактерин» — мікробний препарат на основі фосфатмобілізівної бактерії *Raenibacillus polytuxa* KB. Механізм дії препарату пов'язаний із властивістю бактерій продукувати органічні кислоти та фермент фосфатазу, що сприяє розчиненню важкорозчинних мінеральних і органічних фосфатів ґрунту та добрив, унаслідок чого активізується процес засвоєння фосфору рослинами. Крім того, бактерії продукують фітогормональні речовини, які стимулюють ріст і розвиток рослин [15]. «БіоМАГ» — це органо-мінеральне, екологічно-безпечне добриво нового покоління на основі сапропелю, яке є біологічно активною речовиною з набором мікро- і макроелементів.

Таблиця 2

Вміст ¹³⁷Cs у ґрунті та біомасі міскантусу залежно від агротехнічних прийомів вирощування (2016-2018 рр.)

№ вар.	Варіанти досліду	¹³⁷ Cs, Бк/кг		Система: ґрунт-рослина	
		ґрунт	біомаса	КН	КП
1	Контроль (умовно чистий ґрунт)	72,2±5,7	4,9±0,42	0,07	0,23
2	Забруднений радіонуклідами ґрунт	242,3±6,8	18,6±0,90	0,08	0,26
3	Забруднений ґрунт + NPK + «Поліміксобактерин» + «БіоМАГ»	228,9±20,3	16,4±1,31	0,07	0,24
4	Забруднений ґрунт + NPK + дефекаат + «Поліміксобактерин» + «БіоМАГ»	204,0±8,3	14,7±1,14	0,07	0,24

Погодні умови впродовж вегетаційного періоду міскантусу характеризувалися підвищенням середньодобової температури на 1,6 3,4 °С порівняно з середньобагатрічними показниками та дефіцитом вологи — 40% від середньобагаторічної норми (142 мм).

Результати досліджень. Надходження радіонуклідів із ґрунту в рослини перш за все залежить від їх концентрації в ґрунті та видових особливостей культур. Зі збільшенням їх вмісту в ґрунті збільшувалось їх накопичення у господарсько-цінній частині рослин.

У середньому за роки досліджень, у варіантах, де біоенергетичну культуру вирощували на забрудненому радіонуклідами ґрунті, спостерігали накопичення ⁹⁰Sr в біомасі в межах 0,46–0,54 Бк/кг (табл. 1), що не перевищувало допустимий рівень для зерна злакових — 20 Бк/кг [16].

Накопичення ⁹⁰Sr в рослинах міскантусу на забрудненому радіонуклідами ґрунті було найменшим у варіанті, де застосовували мінеральні добрива поєднано з вапнуванням і за обробки ризомів міскантусу мікробним препаратом «Поліміксобактерин» і органо-мінеральним добривом «БіоМАГ», та становило 0,46 Бк/кг, що на 0,08 Бк/кг менше за показник варіанту 2, коефіцієнт накопичення (КН), відповідно, склав — 0,05, а коефіцієнт переходу (КП) — 0,15.

У контрольному варіанті (умовно чистий ґрунт) відмічено найменший показник вмісту ⁹⁰Sr як у ґрунті — 2,2 Бк/кг, так і в рослинах — 0,09 Бк/кг. Проте коефіцієнт переходу при цьому був дещо нижчим порівняно з варіантами 2–4 і становив — 0,13 в системі «ґрунт-рослина».

При застосуванні на забрудненому радіонуклідами ґрунті мінеральних добрив поєднано з вапнуванням та за обробки ризомів міскантусу мікробним препаратом «Поліміксобактерин» і органо-мінеральним добривом «БіоМАГ» коефіцієнт переходу зменшувався на 47% порівняно з варіантом 2.

У проведених нами дослідженнях, у варіантах, де біоенергетичну культуру вирощували на забруднених ґрунтах, спостерігалося накопичення радіоактивного ¹³⁷Cs в біомасі в межах 23,3 27,8 Бк/кг (табл. 2).

Слід відмітити, що в усіх варіантах досліду вміст ¹³⁷Cs не перевищував допустимий рівень радіоактивного цезію для зерна злакових (ДР — 50 Бк/кг) [17]. Накопичення радіонуклідів у біомасі міскантусу на забруднених ґрунтах було найменшим на варіанті при застосуванні мінеральних добрив разом із вапнуванням та за обробки ризомів міскантусу мікробним препаратом «Поліміксобактерин» і органо-мінеральним добривом «БіоМАГ» та становило 23,3 Бк/кг, коефіцієнт накопичення (КН) — 0,06, коефі-

цієнт поглинання (КП) — 0,21.

На контрольному варіанті (незабруднений ґрунт) було зафіксовано найменший показник вмісту радіонуклідів як в ґрунті — 110 Бк/кг, так і в біомасі — 8,0. Проте, коефіцієнт переходу був на рівні варіантів із забрудненого ґрунту й становив — 0,24.

У стаціонарній лізиметричній установці, в середньому за роки досліджень, отримано максимальну врожайність біомаси міскантусу у варіанті, де перед садінням вносили мінеральні добрива разом із дефекатом, а ризоми обробляли «Поліміксобактерином» поєднано з «БіоМАГом» — 27,1 т/га, що вище від показника контролю на 26% (табл. 3).

Відповідно, на цьому ж варіанті отримано найбільшу врожайність сухої речовини — 9,96 т/га, вихід твердого біопалива — 10,96 т/га та вихід енергії — 175,3 ГДж.

У середньому за трирічними даними врожайність біомаси у варіанті, де в забруднений радіонуклідами ґрунт вносили

мінеральні добрива разом із дефекатом, а ризоми обробляли «Поліміксобактерином» поєднано з «БіоМАГом», перевищила врожайність у варіанті 2 (забруднений радіонуклідами ґрунт) — на 4,1 т/га (18%), урожайність сухої речовини — на 1,58 т/га (19%), вихід твердого палива — на 1,75 т/га та по виходу енергії — на 27,9 ГДж.

Порівнюючи врожайність біомаси на варіантах 1 і 2 можна відмітити, що врожайність у варіанті 2 була вищою на 1,5 т/га, врожайність сухої речовини — на 0,6 т/га, вихід твердого біопалива — на 0,65 т/га і вихід енергії — на 10,5 ГДж порівняно з контролем (умовно чистий ґрунт).

Висновки. 1. Встановлено, що вміст радіоактивних ізотопів у біомасі міскантусу на забруднених радіонуклідами ґрунтах знаходився в межах: для ^{137}Cs — 14,7–18,6 Бк/кг, ^{90}Sr — 0,46–0,54 Бк/кг, що нижче ДР.

2. Досліджено, що застосування мінерального підживлення в комплексі з вап-

нуванням, інокуляцією ризомів мікробним препаратом «Поліміксобактерин» і допосадковою обробкою орґано-мінеральним добривом «БіоМАГ» сприяло зменшенню надходження радіонуклідів до біомаси, відповідно на 21% і 15% порівняно з показниками, що отримані на забрудненому радіоактивними речовинами ґрунті.

3. За використання агротехнічних прийомів: мінеральні добрива + дефекаат + «Поліміксобактерин» + «БіоМАГ» одержані коефіцієнти переходу радіонуклідів у біомасу міскантусу по ^{90}Sr — 0,15 та по ^{137}Cs — 0,24.

4. В середньому за роки досліджень максимальну врожайність біомаси було отримано на варіанті, де забруднений ґрунт підживлювали мінеральними добривами разом із дефекатом, а ризоми були оброблені «Поліміксобактерином» поєднано з «БіоМАГом», яка становить — 27,1 т/га, що вище від контролю на 26%, урожайність сухої речовини — 9,96 т/га, вихід твердого біопалива — 10,96 т/га та вихід енергії — 175,3 ГДж.

Таблиця 3

Вплив агротехнічних прийомів на продуктивність рослин міскантусу

№ вар.	Варіанти досліджу	Урожайність біомаси за роками, т/га			Урожайність сухої речовини (середнє)		Вихід твердого палива, т/га	Вихід енергії, ГДж
		2016 рік	2017 рік	2018 рік	т/га	приріст, %		
1	Контроль (умовно чистий ґрунт)	7,53±0,76	22,0±1,53	35,1±1,34	7,78	100	8,56	136,9
2	Забруднений радіонуклідами ґрунт	7,92±0,46	23,3±1,18	37,7±1,73	8,38	108	9,21	147,4
3	Забруднений ґрунт + NPK + «Поліміксобактерин» + «БіоМАГ»	8,14±0,49	24,5±1,78	40,4±1,03	9,05	116	9,95	159,2
4	Забруднений ґрунт + NPK + дефекаат + «Поліміксобактерин» + «БіоМАГ»	8,76±0,75	27,2±1,21	45,3±1,27	9,96	128	10,96	175,3

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ:

1. Веремієнко С. І., Мороз О. С. Розробка методики прогнозування вмісту радіонуклідів у сільськогосподарській продукції. Вісник ЖНАЕ. Екологія та охорона навколишнього середовища. 2016. № 1 (53), т. 1. С. 15–22.
2. Тридцять років Чорнобильської катастрофи: радіологічні та медичні наслідки: Національна доповідь України. К., 2016. 177 с.
3. Мельник А. І. Особливості ведення сільськогосподарського виробництва в умовах радіоактивного забруднення. Наукові основи агропромислового виробництва Чернігівської області; за ред. І. В. Гриника, А. Г. Бардакова. Чернігів: РВК «Деснянська правда», 2004. С. 267–288.
4. Двадцять п'ять років Чорнобильської катастрофи: безпека майбутнього: Національна доповідь України. К.: КІМ, 2011. 346 с.
5. 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. Вип. 24. С. 77–85.
6. Nishiwaki A., Mizuguti A., Kuwabara S. Discovery of natural *Miscanthus* (Poaceae) triploid plants in sympatric populations of *Miscanthus sacchariflorus* and *Miscanthus sinensis* in southern Japan. *American Journal of Botany*. 2011. vol. 98. P. 154–159.
7. Ратошнюк Т. М. Особливості землекористування в радіоактивно забрудненому регіоні. Наслідки аварії на ЧАЕС: реалії сьогодення. Збірник доповідей учасників Всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю, 25–27 березня 2019 року, м. Житомир. Житомир, ІСГП НААН. С. 59–62.
8. Кочик Г. М., Мельничук А. О., Гуреля В. В., Кучер Г. А. Сучас-

ний стан радіоактивно забруднених територій: ключові проблеми та шляхи їх вирішення. Наслідки аварії на ЧАЕС: реалії сьогодення. Збірник доповідей учасників Всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю, 25–27 березня 2019 року, м. Житомир. Житомир, ІСГП НААН. С. 3–16.

9. Роїк М. В., Сінченко В. М., Івашенко О. О. та ін. Міскантус в Україні. К.: ТОВ «ЦП «Компрінт», 2019. 256 с.

10. Мельник А. І. Агрохімічний стан ґрунтів та застосування добрив у Чернігівській області (інформаційно-аналітичний довідник). Чернігів, 2012. 92 с.

11. Роїк М. В., Ганженко О. М., Тимошук В. А. Концепція виробництва твердого біопалива з біоенергетичних рослин в Україні. Біоенергетика. 2015. № 1. С. 5–8.

12. Ковальчук В. П., Васильєв В. Г., Бойко Л. В., Зосимов В. Д. Сборник методов исследования почв и растений — К.: Труд-ГриПол-XXI вік, 2010–252 с.

13. Методические указания по определению ^{90}Sr и цезия-137 в почвах и растениях. М., 1985. 62 с.

14. Методика измерения активности радионуклидов в счетных образцах на сцинтилляционном бетта-спектрометре с использованием программного обеспечения «Прогресс». М.: ГНМЦ ВНИИФТРИ, 2003. 30 с.

15. Волкогон В. В., Заришняк В. С., Пилипенко Л. А. та ін. Мікробні препарати в сучасних агротехнологіях: науково-практичні рекомендації; за ред. В. В. Волкогона. Київ, 2015. 248 с.

16. Державні гігієнічні нормативи. Допустимі рівні вмісту радіонуклідів ^{137}Cs та ^{90}Sr у продуктах харчування та питної води (ДР-2006). Офіційний вісник України від 02.08.2006. 2006. № 29. Ст. 2114. С. 142–150.

REFERENCES

1. Veremienko, S. I. & Moroz, O. S. (2016). Rozrobka metodyky prohnozuvannya vmistu radionuklidiv u silskohospodarskii produktsii [Development of methods for forecasting the content of radionuclides in agricultural products]. *Visnyk ZhNAE. Ekolohiia ta okhrona navkolyshnoho seredovyscha*. № 1 (53), Vol. 1 15–22 [in Ukrainian].

2. Trydtsiat rokiv Chornobylskoi katastrofy: radiolohichni ta medychni naslidky: Natsionalna dopovid Ukrainy [Thirty years of the Chornobyl disaster: radiological and medical consequences: National report of Ukraine]. (2016). Kiev: 177 s. [in Ukrainian].

3. Melnyk A. I. Osoblyvosti vedennia silskohospodarskoho vyrobnytstva v umovakh radioaktyvnoho zabrudnennia. *Naukovi osnovy ahropromysloвого vyrobnytstva Chernihivskoi oblasti [Features of agricultural production in terms of radioactive contamination. Scientific bases of agro-industrial production of Chernihiv region].* (2004). I. V. Hrynyka, A. H. Bardakova. Chernihiv: RVK «Desnianska pravda», S. 267–288. [in Ukrainian].

4. Dvadsiat piat rokiv Chornobylskoi katastrofy: bezpeka maibutnoho: Natsionalna dopovid Ukrainy [Twenty-Five Years of the Chornobyl Accident: The Security of the Future: A National Report from Ukraine.]. (2011). Kiev: KIM., 346 s. [in Ukrainian].

5. Kurylo V. L., Humentyk M. Ya., Kvak V. M., Dubovy Yu. P. (2016). Udoshkonalennia elementiv tekhnolohii vyroshchuvannya miskantusu v umovakh Tsentralnoho Lisostepu Ukrainy dlia vyrobnytstva tverdogo biopalyva. *Nauk. praci Inst. bioenerg. kul't. cukrov. burakiv [Scientific papers of the Institute of bioenergy crops and sugar beet]*, 24, 77–85. [in Ukrainian].

6. Nishiwaki A., Mizuguti A., Kuwabara S. (2011). Discovery of natural *Miscanthus* (Poaceae) triploid plants in sympatric populations of *Miscanthus sacchariflorus* and *Miscanthus sinensis* in southern Japan. *American Journal of Botany*. vol. 98. P. 154–159.

7. Ratoshniuk T. M. (2019). Features of land use in a radioactively contaminated region. In *Zbirnyk dopovidei uchasnykiv Vseukrainskoi naukovo-praktychnoi konferentsii z mizhnarodnoiu uchastiu [Consequences of the Chernobyl accident: the realities of today. Collection of reports of the participants of the All-Ukrainian scientific-practical conference with international participation]*, (pp. 59–62). March 25–27, 2019, Zhytomyr, Ukrainian [in Ukrainian].

8. Kochyk H. M., Melnychuk A. O., Hurelia V. V., Kucher H. A. (2019). The current state of radioactively contaminated areas: key problems and ways to solve them. In *Zbirnyk dopovidei uchasnykiv Vseukrainskoi naukovo-praktychnoi konferentsii z mizhnarodnoiu uchastiu [Consequences of the Chernobyl accident: the realities of today. Collection of reports of the participants of the All-Ukrainian scientific-practical conference with international participation]*, (pp. 3–16). March 25–27, 2019, Zhytomyr, Ukrainian [in Ukrainian].

9. Roik M. V., Sinchenko V. M., Ivashchenko O. O. (2019) *Miskantus v Ukraini [Miscanthus in Ukraine]*. Kiev: TOV «TsP «Komprint». [in Ukrainian].

10. Melnyk A. I. (2012). *Ahrokhimichnyi stan gruntiv ta zastosuvannya dobryv u Chernihivskii oblasti (informatsiino-analitychnyi dovidnyk) [Agrochemical condition of soils and fertilizer application in Chernihiv region (information-analytical reference book)]*. Chernihiv. [in Ukrainian].

11. Roik M. V., Hanzhenko O. M., Tymoshchuk V. A. (2015). The concept of solid biofuel production from bioenergy plants in Ukraine. *Bioenerhetyka [Bioenergy]*, 1, 5–8. [in Ukrainian].

12. Koval'chuk V. P., Vasil'ev V. G., Boyko L. V., Zosimov V. D. (2010). *Sbornik metodov issledovaniya pochv i rastenyi [Collection of methods for the study of soils and plants]*. Kiev: Trud-HryPol- XXI vik. [in Russian].

13. *Metodycheskye ukazaniya po opredeleniyu 90Sr y tseyzia-137 v pochvakh y rastenyakh [Guidelines for the determination of 90Sr and cesium-137 in soils and plants]*. (1985). Moskva. [in Russian].

14. *Metodika izmereniya aktivnosti radionuklidov v schetnykh obraztsakh na stsintillyatsionnom beta-spektrometri s ispol'zovaniem programnogo obespecheniya «Progress»*. (2003). Moskva: GNMTS VNIIFTRI. [in Russian].

15. Volkohon V. V., Zaryshniak V. S., Pylypenko L. A. (2015). *Mikrobnii preparaty v suchasnykh ahrotekhnolohiyakh: naukovo-praktychni rekomendatsii [Microbial preparations in modern agrotechnologies: scientific and practical recommendations]*. V. V. Volkohona. Kyiv. [in Ukrainian].

16. *Derzhavni hihienichni normatyvy. Dopustymi rivni vmistu radionuklidiv 137Cs ta 90Sr u produktakh kharchuvannya ta pytnoi vody (DR-2006)*. (2006). Ofitsiynyi visnyk Ukrainy vid 02.08.2006. [Official Gazette of Ukraine dated August 2, 2006]. 29. St. 2114, 142–150. [in Ukrainian].

АНОТАЦІЯ

УДК 504.064.4: 633.282: 620.952

Вирощування міскантусу гігантського в умовах Полісся на радіоактивно забруднених ґрунтах

Квак В. М.¹, Потепенко Л. В.², Скачок Л. М.², Горбаченко Н. І.²

¹Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН. 03110, м. Київ, вул. Клінічна, 25.

²Інститут сільськогосподарської мікробіології та агропромислового виробництва НААН; 14027, м. Чернігів, вул. Шевченко, 97, *e-mail: potapienko74@ukr.net

Мета. Дослідити накопичення радіонуклідів ¹³⁷Cs і ⁹⁰Sr у біомасі міскантусу гігантського залежно від агротехнічних прийомів вирощування його на радіоактивно забруднених ґрунтах в умовах Полісся. **Методи дослідження:** біоморфологічний, радіометричний, лізометричний, статистичний, порівняльно-обчислювальний. **Результати.** В статті відображено результати досліджень із вивчення накопичення радіонуклідів ¹³⁷Cs і ⁹⁰Sr у біомасі міскантусу гігантського. Встановлено, що у варіантах, де біоенергетичну культуру вирощували на забруднених радіонуклідами ґрунтах, спостерігали накопичення в біомасі ¹³⁷Cs в межах 14,7–18,6 Бк/кг і ⁹⁰Sr — 0,46–0,54 Бк/кг. Застосування мінеральних добрив разом із вапнуванням та за инокуляції ризом міскантусу гігантського мікробним препаратом «Поліміксобактерин» і обробки органо-мінеральним добривом «БіоМАГ» сприяло зменшенню накопичення радіонуклідів у біомасі міскантусу гігантського по ⁹⁰Sr — на 15% та по ¹³⁷Cs — 21%. Досліджено, що використання цих агротехнічних прийомів сприяло формуванню врожайності сухої біомаси на рівні 9,96 т/га в середньому за три роки вирощування, що на 28% перевищує контроль. **Висновок.** Встановлено, що застосування мінерального підживлення в комплексі з вапнуванням, инокуляцією ризомів міскантусу гігантського мікробним препаратом «Поліміксобактерин» і передпосадковою обробкою органо-мінеральним добривом «БіоМАГ» сприяє істотному підвищенню врожайності сухої біомаси, зменшенню вмісту ⁹⁰Sr і ¹³⁷Cs у біомасі. Накопичення цих радіоактивних ізотопів у біомасі міскантусу гігантського при вирощуванні на забруднених радіонуклідами ґрунтах не перевищувало допустимий рівень для зерна злакових, а застосування агротехнічних прийомів сприяло зниженню вмісту ⁹⁰Sr — на 9–15% та ¹³⁷Cs — на 12–21% порівняно з контрольними варіантами. За використання мінеральних добрив разом із вапнуванням і за инокуляції ризом міскантусу гігантського «Поліміксобактерином» та обробки органо-мінеральним добривом «БіоМАГ» було отримано найменші коефіцієнти переходу радіонуклідів у біомасу міскантусу гігантського як по ⁹⁰Sr — 0,15 так і по ¹³⁷Cs — 0,24.

Ключові слова: мінеральні добрива, біомаса, біопаливо, радіонукліди, елементи технології.

ABSTRACT

UDC504.064.4:633.282:620.952

Growing giant miscanthus in Polissya on radioactively contaminated soils

Kvak V. M.¹, Potapenko L. V.², Skachok L. M.², Gorbachenko N. I.²

¹ Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet NAAS of Ukraine; 25 Klinichna Str., Kyiv, 03141, Ukraine

² Institute of Agricultural Microbiology and Agroindustrial Production of NAAS; 14027, Chernihiv, street Shevchenko, 97,

*e-mail: potapienko74@ukr.net

Purpose. Investigate the accumulation of ¹³⁷Cs and ⁹⁰Sr radionuclides in the biomass of giant miscanthus depending on the agronomic methods of growing it on radioactively contaminated soils in Polissia. **Method.** Biomorphological, radiometric, lysometric, statistical, comparative and computational. **Results.** The article presents the results of research to study the accumulation of radionuclides ¹³⁷Cs and ⁹⁰Sr in the biomass of giant miscanthus. It was found that in the variants where the bioenergy crop was grown on soils contaminated with radionuclides, the accumulation of ¹³⁷Cs in the biomass in the range of 14.7–18.6 Bq/kg and ⁹⁰Sr — 0.46–0.54 Bq/kg was observed. The use of mineral fertilizers together with liming and inoculation with giant miscanthus with the microbial preparation *Polymyxobacterin* and treatment with organo-mineral fertilizer *BioMAG* helped to reduce the accumulation of radionuclides in the biomass of giant miscanthus as following: ⁹⁰Sr — by 15% and ¹³⁷Cs by 21%. It was investigated that the use of these agronomic techniques contributed to the formation of dry biomass yield at the level of 9.96 t/ha on average over three years of cultivation, which is 28% higher than the control. **Conclusion.** It is established that the use of mineral fertilization in combination with liming, inoculation of rhizomes of giant miscanthus with the microbial drug *Polymyxobacterin* and pre-planting treatment with organo-mineral fertilizer *BioMAG* contributes to a significant increase in dry biomass yield with reducing ⁹⁰Sr and ¹³⁷Cs. The accumulation of these radioactive isotopes in the biomass of giant miscanthus when grown on radionuclide-contaminated soils did not exceed the permissible level for cereal grains, and the use of agronomic techniques helped to reduce the content of ⁹⁰Sr by 9–15% and ¹³⁷Cs by 12–21% compared to control. The lowest coefficients of radionuclide conversion into biomass of giant miscanthus were obtained for both ⁹⁰Sr (0.15) and ¹³⁷Cs (0.24) for the use of mineral fertilizers together with liming and inoculation of giant miscanthus rhizomes with *Polymyxobacterin* and treatment with *BioMAG* organo-mineral fertilizer.

Keywords: mineral fertilizers, biomass, biofuel, radionuclides, elements of technology.