

УДК 504.064.4:633.282:620.952

Вирощування міскантусу гігантського в умовах Полісся на радіоактивно забруднених ґрунтах

В. М. Квак¹, Л. В. Потапенко^{2*}, Л. М. Скачок², Н. І. Горбаченко²

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

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

Мета. Дослідити накопичення радіонуклідів ^{137}Cs і ^{90}Sr у біомасі міскантусу гігантського залежно від агротехнічних прийомів вирощування його на радіоактивно забруднених ґрунтах в умовах Полісся. **Методи.** Біоморфологічний, радіометричний, лізометричний, статистичний, порівняльно-обчислювальний. **Результати.** У статті відображено результати досліджень з вивчення накопичення радіонуклідів ^{137}Cs і ^{90}Sr у біомасі міскантусу гігантського. Встановлено, що у варіантах, де біоенергетичну культуру вирощували на забруднених радіонуклідами ґрунтах, спостерігали накопичення в біомасі ^{137}Cs в межах 14,7–18,6 Бк/кг і ^{90}Sr – 0,46–0,54 Бк/кг. Використання мінеральних добрив разом з вапнуванням та за інокуляції ризом міскантусу гігантського мікробним препаратом Поліміксобактерин і обробки органо-мінеральним добривом БіоМАГ сприяло зменшенню накопичення радіонуклідів у біомасі міскантусу гігантського по ^{90}Sr – на 15 % та по ^{137}Cs – 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. **Висновки.** Встановлено, що застосування мінерального підживлення в комплексі з вапнуванням, інокуляцією ризомів міскантусу гігантського мікробним препаратом Поліміксобактерином і передпосадковою обробкою органо-мінеральним добривом БіоМАГ сприяє істотному підвищенню врожайності сухої біомаси, зменшенню вмісту ^{90}Sr і ^{137}Cs 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 ^{90}Sr – на 9–15 % та ^{137}Cs – на 12–21 % порівняно з контрольними варіантами. За використання мінеральних добрив разом з вапнуванням і за інокуляції ризом міскантусу гігантського Поліміксобактерином та обробки органо-мінеральним добривом БіоМАГ було отриманно найменші коефіцієнти переходу радіонуклідів у біомасу міскантусу гігантського як по ^{90}Sr – 0,15, так і по ^{137}Cs – 0,24.

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

Вступ

Чорнобильська катастрофа була найбільшою техногенною катастрофою, яка трапилася у 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 ^{137}Cs перевищив доаварійний рівень у 12 разів, ^{90}Sr – 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 з послаблення наслідків аварії, фізичного розпаду радіонуклідів, змиву їх атмосферними опадами. В Чернігівській області станом на 2012 рік забруднення ^{137}Cs вище 1 Ки/км^2 становило 44 тис. га або 2,4 % угідь та ^{90}Sr вище $0,02 \text{ Ки/км}^2$ – 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 у новому вегетаційному періоді [8].

Нагромадження радіонуклідів у рослинницькій продукції залежить від щільності забруднення земель (Ки/км^2), 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 і застосування мікродобрив [9].

Рівень забруднення урожаю однієї і тієї ж культури перш за все залежить від типу ґрунту та щільності забруднення. Накопичення радіонуклідів рослинами буде меншим на краще окультуреному ґрунті. Тому перехід радіонуклідів з чорноземів у рослини в 20–25 разів менший, ніж із дерново-підзолистих ґрунтів [10].

Внесення мінеральних добрив в дозі $\text{N}_{60}\text{P}_{90}\text{K}_{120}$ на ґрунтах дерново-підзолистого типу знижує забруднення продукції ^{137}Cs в 1,5–2,0 рази. Внесення вапна ефективно в дозах, що забезпечують нейтралізацію кислотності ґрунтового розчину з розрахунку 1,5 норми CaCO_3 . На полях, де прогнозована активність ^{137}Cs у продукції перевищуватиме ДР-2006, необхідно проводити вапнування в нормах за гідролітичною кислотністю, внесення гною (50–80 т/га), застосування мінеральних добрив ($\text{N}_{60}\text{P}_{90}\text{K}_{120}$), які знижують забруднення продукції ^{137}Cs 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 ^{90}Sr в рослини.

Рослини міскантусу накопичують незначну кількість радіоактивного ізотопу ^{137}Cs . За розрахунками коефіцієнтів переходу ^{137}Cs із ґрунту в рослини міскантусу можна стверджувати, що їх значення перебувають у межах 0,22–0,10 (Бк/кг/кБк/м^2), які близькі до значень коефіцієнтів переходу ^{137}Cs у зернових культур (пшениці озимої, жита, ячменю).

Тому надзвичайно актуальним є розробка сучасних технологій виробництва перспективних відновлювальних джерел біопалива та впровадження їх у енергетичну галузь України на сільськогосподарських територіях, забруднених радіоактивними ізотопами, для подальшого відтворення їх родючості та безпечності. У зв'язку з цим основною метою досліджень було створення таких умов вирощування, які сприяли б отриманню біомаси міскантусу з допустимим вмістом ^{137}Cs і ^{90}Sr для подальшого використання при виготовленні твердого біопалива.

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

Матеріали та 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 України. 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 $3,8 \text{ м}^2$.

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 + дефека́т. Агрохімічні аналізи ґрунту проводили за загальноприйнятими методиками [12]. Активність ^{137}Cs у ґрунті, рослинах та лізиметричних водах визначали за загальноприйнятою методикою із застосуванням аналізатору імпульсів СЕГ 0,5. Вміст ^{90}Sr у зразках ґрунту визначали згідно «Методические указания по определению ^{90}Sr и ^{137}Cs 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; $\text{pH}_{\text{сол}}$ – 5,5. Щільність забруднення радіонуклідом ^{137}Cs склала 0,89 Кі/км² та одночасно радіонуклідом ^{90}Sr – 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; $\text{pH}_{\text{сол}}$ – 5,7. Щільність забруднення ґрунту – радіонуклідом ^{137}Cs склала 3,00 Кі/км² та ^{90}Sr – 0,08 Кі/км².

Перед посадкою міскантусу у ґрунт вносили мінеральні добрива – $\text{N}_{45}\text{P}_{45}\text{K}_{45}$ та проводили вапнування дефека́том з вмістом вуглекислого кальцію (CaCO_3) 60 % на суху речовину 5,0 т/га. Різони обробляли Поліміксобактерином, 3 л/т та БіоМАГом, 2 л/т. Поліміксобактерин – мікробний препарат на основі фосфатмобілізівної бактерії *Paenibacillus polymyxa* КВ. 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- й макроелементів.

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

Результати досліджень

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

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

Таблиця 1

Вміст ^{90}Sr в ґрунті та біомасі міскантусу залежно від агротехнічних прийомів вирощування (середнє за 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 + дефека́т + Поліміксобактерин + БіоМАГ	9,22±0,37	0,46±0,01	0,05	0,15

Накопичення ^{90}Sr в рослинах міскантусу на забрудненому радіонуклідами ґрунті було найменшим у варіанті, де застосовували мінеральні добрива поєднано з вапнуванням і за обробки різомів 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 ^{90}Sr 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, спостерігалось накопичення радіоактивного ^{137}Cs в біомасі в межах 23,3–27,8 Бк/кг (табл. 2).

Таблиця 2

Вміст ^{137}Cs у ґрунті та біомасі міскантусу залежно від агротехнічних прийомів вирощування міскантусу (2016–2018 рр.)

№ вар.	Варіанти досліджу	^{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 + фекалі + Поліміксобактерин + БіоМАГ	204,0±8,3	14,7±1,14	0,07	0,24

Слід зазначити, що в усіх варіантах досліджу вміст ^{137}Cs 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 з 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, коефіцієнт поглинання (КП) – 0,21.

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

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

Таблиця 3

Вплив агротехнічних прийомів на продуктивність рослин міскантусу (2016–2018 рр.)

№ вар.	Варіанти досліджу	Урожайність біомаси за роками, т/га			Урожайність сухої речовини (середнє)		Вихід твердого палива, т/га	Вихід енергії, ГДж
		2016	2017	2018	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 + фекалі + Поліміксобактерин + БіоМАГ	8,76±0,75	27,2±1,21	45,3±1,27	9,96	128	10,96	175,3

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 урожайність біомаси у варіанті, де в забруднений радіонуклідами ґрунт вносили мінеральні добрива разом з дефекатом, а ризоми обробляли Поліміксобактерином поєднано з БіоМАГом, перевищила урожайність 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 урожайність біомаси на варіантах 1 і 2 можна зазначити, що урожайність у варіанті 2 була вищою на 1,5 т/га, урожайність 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

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.

Застосування мінерального підживлення в комплексі з вапнуванням, 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, отриманими на забрудненому радіоактивними речовинами ґрунті.

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.

В середньому за роки досліджень максимальну урожайність біомаси було отримано на варіанті, де забруднений ґрунт підживлювали мінеральними добривами разом з 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.

Використана література

1. Веремієнко С. І., Мороз О. С. Розробка методики прогнозування вмісту радіонуклідів у сільськогосподарській продукції. *Вісник ЖНАЕУ*. 2016. № 1, Т. 1. С. 15–22.
2. Тридцять років Чорнобильської катастрофи: радіологічні та медичні наслідки: Національна доповідь України. Київ, 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 : Деснянська правда, 2004. С. 267–288.
4. Двадцять п'ять років Чорнобильської катастрофи: безпека майбутнього: Національна доповідь України. Київ : 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 ІБКіЦБ*. 2016. Вип. 24. С. 77–85. doi: 10.47414/np.24.2016.216897
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, Iss. 1. P. 154–159. doi: 10.3732/ajb.1000258
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 р., м. Житомир). Житомир, 2019. С. 59–62.
8. Кочик Г. М., Мельничук А. О., Гуреля В. В., Кучер Г. А. Сучасний 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 р., м. Житомир). Житомир, 2019. С. 3–16.
9. Роїк М. В., Сінченко В. М., Іващенко О. О. та ін. Міскантус в Україні. Київ : Компринт, 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., Васильев В. Г., Бойко Л. В., Зосимов В. Д. Сборник методов исследования почв и растений. Киев : Труд-ГриПол–XXI век, 2010. 252 с.
13. Методические указания по определению ^{90}Sr и цезия-137 в почвах и растениях. Москва, 1985. 62 с.
14. Методика измерения активности радионуклидов в счетных образцах на сцинтилляционном бетта-спектрометре с использованием программного обеспечения «Прогресс». Москва : 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. Veremiienko, S. I., & Moroz, O. S. (2016). Development of methods for forecasting the content of radionuclides in agricultural products. *Visnik Žitomir'skogo nacional'nogo agroekologičnogo universitetu*, 1(1), 15–22. [in Ukrainian]
2. *Trydtsiat rokiv Chornobyl'skoi katastrofy: radiolohichni ta medychni naslidky: Natsionalna dopovid Ukrainy* [Thirty years of the Chernobyl disaster: radiological and medical consequences: National report of Ukraine]. (2016). Kyiv: N.p. [in Ukrainian]
3. Melnyk, A. I. (2004). Features of agricultural production in terms of radioactive contamination. In I. V. Hrynyk, & A. H. Bardakov (Eds.), *Naukovi osnovy ahropromysloвого vyrobnytstva Chernihivskoi oblasti* [Scientific bases of agro-industrial production of Chernihiv region] (pp. 267–288). Chernihiv: Desnianska pravda. [in Ukrainian]
4. *Dvadsyat piat rokiv Chornobyl'skoi katastrofy: bezpeka maibutnoho: Natsionalna dopovid Ukrainy* [Twenty-Five Years of the Chernobyl Accident: The Security of the Future: A National Report from Ukraine]. (2011). Kyiv: KIM. [in Ukrainian]
5. Kurylo, V. L., Humentyk, M. Ya., Kvak, V. M., & Dubovyi, Yu. P. (2016). Udoskonalennia elementiv tekhnolohii vyroshchuvannia miskantusu v umovakh Tsentralnoho Lisostepu Ukrainy dlia vyrobnytstva tverdoho biopalyva. *Nauk. pracі Inst. bioenerg. kul't. cukrov. burâkiv* [Scientific Papers of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet], 24, 77–85. doi: 10.47414/np.24.2016.216897 [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*, 98(1), 154–159. doi: 10.3732/ajb.1000258
7. Ratoszniuk, T. M. (2019). Features of land use in a radioactively contaminated region. In *Naslidky avarii na ChAES: realii sohodennia: 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, Ukraine [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 *Naslidky avarii na ChAES: realii sohodennia: 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, Ukraine [in Ukrainian]
9. Roik, M. V., Sinchenko, V. M., Ivashchenko, O. O., Pyrkin, V. I., Kvak, V. M., Humentyk, M. Ya., ... Katelevskiy, V. M. (2019). *Miskantus v Ukraini* [Miscanthus in Ukraine]. Kyiv: Komprint. [in Ukrainian]
10. Melnyk, A. I. (2012). *Ahrokhimichni stan gruntiv ta zastosuvannia dobryv u Chernihivskii oblasti (informatsiino-analitychnyi dovidnyk)* [Agrochemical condition of soils and fertilizer application in Chernihiv region (information-analytical reference book)]. Chernihiv: N.p. [in Ukrainian]
11. Roik, M. V., Hanzhenko, O. M., & Tymoshchuk, V. A. (2015). The concept of solid biofuel production from bioenergy plants in Ukraine. *Bioenergetika* [Bioenergy], 1, 5–8. [in Ukrainian]
12. Kovalchuk, V. P., Vasil'ev, V. G., Boyko, L. V., & Zosimov, V. D. (2010). *Sbornik metodov issledovaniya pochv i rasteniy* [Collection of methods for the study of soils and plants]. Kyiv: Trud-HryPol-XXI vik. [in Russian]
13. *Metodycheskye ukazaniya po opredeleniyu ^{90}Sr y tseziya-137 v pochvakh y rastenyakh* [Guidelines for the determination of ^{90}Sr and cesium-137 in soils and plants]. (1985). Moscow: N.p. [in Russian]
14. *Metodika izmereniya aktivnosti radionuklidov v schetnykh obraztsakh na stsintillyatsionnom betta-spektrometre s ispol'zovaniem programmnoho obespecheniya "Progress"* [Method of measuring the activity of radionuclides in countable samples on a scintillation beta spectrometer using the software "Progress"]. (2003). Moscow: GNMTs VNIIFTRI. [in Russian]

15. Volkohon, V. V., Zaryshniak, V. S., & Pylypenko, L. A. (2015). *Mikrobni preparaty v suchasnykh ahrotekhnolohiiakh: naukovo-praktychni rekomendatsii* [Microbial preparations in modern agrotechnologies: scientific and practical recommendations]. V. V. Volkohon (Ed.). Kyiv: N.p. [in Ukrainian]
16. State hygienic standards. Permissible levels of ^{137}Cs and ^{90}Sr radionuclides in food and drinking water (DR-2006). (2006). *Ofitsiyni visnyk Ukrainy vid 02.08.2006*. [Official Gazette of Ukraine dated August 2, 2006], 29, St. 2114, 142–150. [in Ukrainian]

UDC 504.064.4:633.282:620.952

Kvak, V. M.¹, Potapenko, L. V.^{2*}, Skachok, L. M.², & Horbachenko, N. I.² (2020). Growing giant miscanthus in Polissia on radioactively contaminated soils. *Novitni agrotehnologii* [Advanced agritechnologies], 8. doi: <https://doi.org/10.47414/na.8.2020.226130>. [in Ukrainian]

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

²*Institute of Agricultural Microbiology and Agroindustrial Production of NAAS of Ukraine, 97 Shevchenko St., Chernihiv, 14027, Ukraine, *e-mail: potapienko74@ukr.net*

Purpose. Investigate the accumulation of ^{137}Cs and ^{90}Sr radionuclides in the biomass of giant miscanthus depending on the agronomic methods of growing 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 ^{137}Cs and ^{90}Sr 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 ^{137}Cs in the biomass in the range of 14.7–18.6 Bq/kg and ^{90}Sr 0.46–0.54 Bq/kg was observed. The use of mineral fertilizers together with liming and inoculation of 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, specifically ^{90}Sr by 15 % and ^{137}Cs 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 was found 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, reducing ^{90}Sr and ^{137}Cs . 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 ^{90}Sr by 9–15 % and ^{137}Cs by 12–21 % compared to controls. The lowest coefficients of radionuclide conversion into biomass of giant miscanthus were obtained for both ^{90}Sr (0.15) and ^{137}Cs (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; components of technology.

Надійшла / Received 12.11.2020
Погоджено до друку / Accepted 30.11.2020