2. ЕКОЛОГІЯ ТА ДОВКІЛЛЯ

ISSN 1994-7836 (print)
ISSN 2519-2477 (online)

УДК 631.41

Article info

Received 20.02.2017

ВПЛИВ КРЕМНІЄВМІСНИХ СУМІШЕЙ НА МІГРАЦІЮ РАДІОНУКЛІДІВ У СИСТЕМІ ҐРУНТ – РОСЛИНА

Н. В. Заїменко¹, О. М. Слюсаренко², О. П. Юношева¹

¹Національний ботанічний сад ім. М. М. Гришка НАН України, м. Київ, Україна

²Ботанічний сад Одеського НУ ім. І. І. Мечнікова, м. Одеса, Україна

Після Чорнобильської катастрофи значні площі сільськогосподарських земель забруднено радіонуклідами з різними періодами напіврозпаду. На сьогодні найбільшу небезпеку становлять ¹³⁷Cs і ⁹⁰Sr. Навіть у незначних кількостях, внаслідок ефекту малих доз, вони можуть істотно впливати як на рослинні організми, так і на консументи різних порядків. Досліджено вплив сумішей сапропелю та наночастинок трепелу й анальциму у різних співвідношеннях на міграцію радіонуклідів у системі ґрунт – рослина. Встановлено, що використання запропонованих сумішей приводить до іммобілізації радіонуклідів Цезію та Стронцію у ґрунті й істотно зменшує їхню активність у рослині. Обґрунтовано можливий механізм іммобілізації радіонуклідів внаслідок формування у ґрунті золів полікремнієвих кислот.

Ключові слова: Цезій, Стронцій, Кремній, анальцим, трепел.

Вступ. В умовах підвищення рівня радіаційного забруднення природних біогеоценозів усі живі організми зазнають додаткової дії малих доз іонізуючого опромінення, тому дуже важливим є з'ясування процесів, які відбуваються при цьому в рослинному організмі. Радіаційний вплив на рослини, окрім прямої дії на їх метаболізм, інгібує або активізує захисні механізми, регуляторна роль яких полягає в компенсації впливу, мінімізації прямої дії опромінення, відновленні функцій. Ефект малих доз – це принципово нові шляхи радіаційного впливу на рослини, нові механізми клітинного метаболізму (Hrodzyskiy et al., 2008). При цьому більшість проявів віддалених ефектів не прямо індуковані, а опосередковано через систему регуляції, через збереження високих темпів спонтанної мінливості рослинних організмів.

Результати дослідження, отримані за останні роки, свідчать про чисельні структурні перебудови у клітинних мембранах рослин, що зберігаються тривалий час і призводять до зміни функціональної активності клітин. У структурно-метаболічній теорії О.М. Кузіна (Kuzin, 1986) та концепції "мембранного механізму доз" Л.Х. Ейдуса (Kudrjashov, 2004) наведено докази, що первинна мішень дії радіації в малих дозах – не ДНК, а саме клітинні мембрани, і в цьому полягає принципова відмінність ефектів, спричинених опроміненням у малих дозах порівняно з великими. Треба зауважити, що експерименти з вивчення дії іонізуючої радіації в малих дозах, в основному, проводять на об'єктах тваринного походження. При цьому практично не виконують роботи на рослинних об'єктах, яким зазвичай відводиться роль "передавачів" радіонуклідів по харчових ланцюгах (Hrodzyskiy et al., 2008). Між тим радіонукліди, що надходять у рослини із ґрунту і нагромаджуються в їх тканинах, впливають внаслідок опромінення в малих дозах на всі процеси,

які відбуваються у рослинному організмі.

З огляду на це, важливо запропонувати технології, пов'язані із зниженням надходження радіонуклідів у продукцію рослинництва, оскільки тривалість вегетаційного періоду, видові та сортові особливості сільськогосподарських культур, режим мінерального живлення та інші біологічні особливості рослин мають великий вплив на нагромадження радіонуклідів (Hrodzyskiy, Dembnovetskiy, & Levchuk, 2003). Зокрема, виявлено, що нагромадження ¹³⁷Cs різними видами рослин у перерахунку на суху речовину відрізняється у 20-180 разів, а ⁹⁰Sr – у 30 разів. Тому розроблення технологій сповільнення транспорту радіонуклідів із ґрунту у рослину є актуальним як з теоретичного, так і прикладного поглядів.

Істотного зменшення надходження радіонуклідів можна досягти за допомогою агрохімічних заходів, які охоплюють вапнування кислих ґрунтів, використання органічних добрив, внесення підвищених доз фосфорних і калійних добрив, обмеження дози азотних добрив відповідно до ґрунтово-кліматичних умов (Hrodzyskiy et al., 2012). Упродовж останніх років зростає увага до Кремнію як важливого регулятора росту і розвитку рослин (Наупес, 2014). Зокрема, наші попередні дослідження показали, що вміст доступного Кремнію істотно впливає на нітрифікаційну здатність ґрунту (Zaimenko, Bedernichek, & Slyusarenko, 2016b), доступність Фосфору для рослин (Zaimenko, Bedernichek, & Slyusarenko, 2016a), а також на сорбційну (водоутримувальну) здатність ґрунту (Zaimenko et al., 2014). З огляду на це, припустили, що вміст доступного Кремнію у ґрунті впливатиме на мобільність радіонуклідів у системі ґрунт – рослина, а внесенням кремнієвмісних сумішей у ґрунт можна зменшити швидкість надходження радіонуклідів, зокрема ¹³⁷Cs та ⁹⁰Sr із ґрунту до рослини.

Citation APA: Zaimenko, N., Slyusarenko, O., & Yunosheva, O. (2017). Application of Silicon-Containing Mixtures Slows down the Migration Rates of Radionuclides in Soil-Plant System. *Scientific Bulletin of UNFU*, 27(1), 106–108. Retrieved from <http://nv.nltu.edu.ua/index.php/journal/article/view/174>

Матеріали і методи. Територія дослідження розташована у межах Київського Полісся. Дослідні ділянки закладено на ясно-сірих лісових ґрунтах під монокультурою ячменю на дослідних полях ТОВ "Україна" (с. Мар'янівка, Поліський р-н, Київська обл.). Середньорічна кількість опадів 530-570 мм, сніговий покрив утримується до 100 днів.

Зразки ґрунту відбирали у п'ятиразовій повторності з орного шару (0-20 см). Вміст гумусу $1,48^{+0,51} \%$, pH_{KCl} 4,91-5,08. Зразки рослинного матеріалу відбирали одночасно зі зразками ґрунту у п'ятиразовій повторності у фазі молочні стиглості. Кремнієвмісні суміші вносили у кількості 300 кг/га. Суміш № 1 – сапропель + суміш наночастинок анальциму і трепелу – 70:30, суміш № 2 – сапропель + суміш наночастинок анальциму і трепелу – 50:50.

Активність радіонуклідів ^{137}Cs і ^{90}Sr визначали гамма-спектрометричним методом із сцинтиляційним детектором. Статистичний аналіз проводили у середовищі Statistica 7.1. Результати дослідження наведено у формі середнє значення $\pm$ похибка середнього. У роботі прийнято 5 %-й рівень значущості ($P \leq 0,05$).

Результати та обговорення. Внесення кремнієвмісних сумішей у ґрунт сприяло іммобілізації радіонуклідів і сповільненню їх міграції та нагромадження у рослинній біомасі. З наведених у табл. даних видно, що активність ^{137}Cs у ґрунті зросла на 22 % після застосування суміші сапропелю з наночастинами трепелу та анальциму у співвідношенні 70:30 та на 33 % за співвідношення 50:50. Синхронно спостерігали зменшення активності цього елемента в рослинах ячменю – на 29 та 36 % відповідно.

Табл. Вплив кремнієвмісних сумішей на розподіл ^{137}Cs і ^{90}Sr у ґрунті та рослинах ячменю, Бк/кг

Варіант досліджу	Ґрунт		Листя ячменю	
	^{137}Cs	^{90}Sr	^{137}Cs	^{90}Sr
Контроль (без внесення)	90^{+8}	5^{+3}	14^{+6}	17^{+5}
Сапропель+(трепел, анальцим), 70: 30	110^{+10}	6^{+2}	10^{+5}	12^{+5}
Сапропель+(трепел, анальцим), 50: 50	120^{+11}	7^{+2}	9^{+5}	10^{+4}

Активність ^{90}Sr у ґрунті була значно нижчою, ніж у біомасі рослин: у 3,5 раза у контролі й у 2 та 1,4 раза за внесення кремнієвмісних сумішей 70:30 та 50:50 відповідно. Як і у випадку з ^{137}Cs , виявлено істотне ($P \leq 0,05$) зменшення активності ^{90}Sr у рослинній біомасі, що може свідчити про іммобілізацію цього хімічного елемента у ґрунті. Відомо, що агрохімічні заходи можуть значно вплинути на потоки радіонуклідів у системі ґрунт – рослина (Hrodzynskiy, 2012). Окрім цього, здатність до нагромадження (фракціонування) радіонуклідів може істотно відрізнитись як на родовому, так і на видовому рівнях. З огляду на це, під час планування експерименту обрано монокультуру ячменю ярого, щоб звести до мінімуму "шум" у системі – вплив поживних решток культур-попередників, їхні прижиттєві та посмертні кореневі виділення тощо. Сировина для виготовлення кремнієвмісних сумішей проходила радіологічний контроль, тому в цьому досліді можна сказати напевне, що виявлені закономірності пов'язані із іммобілізацією радіонуклідів

у ґрунті, а не з можливими артефактами у вигляді привнесених з-за меж екосистеми ^{137}Cs та ^{90}Sr .

Відомо, що радіонукліди Цезію та Стронцію поводять себе у ґрунті неоднаково і, якщо вертикальні та латеральні переміщення першого можна описати за допомогою рівняння дифузії, то міграцію радіонуклідів Стронцію через нерівноважність та незворотність сорбції передбачити і змодельовати значно складніше (Evremov, Rahimova, & Yanchuk, 2005). Раніше зазначали, що рослини поглинають Кремній через кореневу систему і листки, нагромаджуючи його переважно у вигляді моно- і полікремнієвих кислот, причому вміст полікремнієвих кислот тісно пов'язаний із дисперсністю твердої фази ґрунту (Ellanska, Zaimenko, & Yunosheva, 2015; Zaimenko et al., 2015). Внесення суміші дрібнодисперсних частинок кремнієвмісних мінералів у ґрунт призводить до синтезу полікремнієвих кислот виду $nSiO_2 \cdot mH_2O$. Синтез полікремнієвих кислот відбувається за схемою:

У ґрунті більшість із кислот, що виникають на кожному з етапів, формують золі, які, на наш погляд, і приводять до сповільнення міграції радіонуклідів із ґрунтового середовища до рослин. Проте у цій роботі не з'ясовували вплив окремих полікремнієвих кислот (орто-, ди-, піро- та інших), а встановлювали їхню "буферну ємність" щодо радіонуклідів Цезію та Стронцію. Окрім цього, у подальших дослідженнях потрібно з'ясувати, чи спостерігатиметься згаданий ефект сповільнення міграції радіонуклідів за умов високих температур та дефіциту вологи у ґрунті, оскільки за таких умов можлива часткова дегідратація полікремнієвих кислот.

Висновки:

1. Вплив ефекту малих доз на рослинні організми вивчено недостатньо і потребує подальших досліджень, особливо на територіях, забруднених радіонуклідами Стронцію та Цезію із тривалим періодом напіврозпаду.
2. Внесення суміші сапропелю та наночастинок трепелу й анальциму істотно (на 36 %, $P \leq 0,05$) сповільнило надходження радіонуклідів ^{137}Cs та ^{90}Sr із ґрунту до рослин ячменю ярого.
3. Утворення золів полікремнієвих кислот у ґрунті призводить до іммобілізації ^{137}Cs та ^{90}Sr – їхня активність у ґрунті зростає, а в рослинній біомасі зменшується.

Перелік використаних джерел

- Ellanska, N. E., Zaimenko, N. V., & Yunosheva, O. P. (2015). Stan mikrobnogo tsenozu gruntu pid rıznyy silskohospodarskyy kulturalnyy za vnesennia sumishi kremniievmsnykh mineraliv. *Silskohospodarska mikrobiologiya*, 22, pp. 30–36. [in Ukrainian].
- Evremov, I. V., Rahimova, N. N., & Yanchuk, E. L. (2005). Osobennosti migratsii radionuklidov cezija-137 i stroncija-90 v sisteme pochva-rastenie. *Vestnik OGU*, 2, pp. 42–46. [in Russian].
- Haynes, R. J. (2014). A contemporary overview of silicon availability in agricultural soils. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 177(6), pp. 831–844.
- Hrodzynskiy, D., Dembnovetskiy, O., & Levchuk, O. (2003). Perspektivy vykorystannia ta utrymannia radiatsiino urazhenykh zemel. *Visnyk NAN Ukrainy*, 4, pp. 1–13. [in Ukrainian].

- Hrodzynskyi, D. M., Dembnovetskyi, O. F., Levchuk, O. M., & Pat-siuk, F. N. (2012). Radiobiologichni ta radioekologichni doslidzhennia Chornobyl'skoi katastrofy vchenymy NAN Ukrainy. *Visnyk NAN Ukrainy*, 6, pp. 30–40. [in Ukrainian].
- Hrodzynskyi, D. M., Hushcha, M. I., & Dmytriiev, O. P. et al. (2008). *Radiobiologichni efekty khronichnoho oprominennia roslin u zoni vplyvu Chornobyl'skoi katastrofy*. Kyiv: Nauk. dumka, p. 376. [in Ukrainian].
- Kudrjashov, Yu. B. (2004). *Radiacionnaja biofizika (ionizirujushhie izlucheniya)*. Moscow: FIZMATLIT, p. 448. [in Russian].
- Kuzin, A. M. (1986). *Strukturno-metabolicheskaja teorija v radiobiologii*. Moscow: Nauka, p. 288. [in Russian].
- Zaimenko, N., Bedernichek, T., & Slyusarenko, O. (2016). Nanoparticles of silicate minerals enhance phosphorus availability in soil. *8th International Phosphorus Workshop IPW8*, Rostock, Germany, p. 136.
- Zaimenko, N., Bedernichek, T., & Slyusarenko, O. (2016). Nitrification inhibition by peat enriched with nanoparticles of silicate minerals. *Efficient use of different sources of nitrogen in agriculture – from theory to practice*, (pp. 443–444). Skara, Sweden.
- Zaimenko, N., Didyk, N., Dzyuba, O., Zakrazov, O., Rositska, N., & Viter, A. (2014). Enhancement of drought resistance in wheat and corn by nanoparticles of natural mineral analcite. *Ecologia Balkanica*, 6(1), pp. 1–10.
- Zaimenko, N. V., Didyk, N. P., Ivanytska, B. O., Pavliuchenko, N. A., & Kharytonova, I. P. (2015). Vplyv kremniievmykh sumishei na rist prorostkiv kukurudzy, aleopatychni ta fizyko-khimichni vlastyivosti substratu za riznogo rinvnia yoho zakyslennia. *Fyzyolohiya rastenyi y henetyka*, 47(4), pp. 347–353.

Н. В. Заименко, А. Н. Слюсаренко, Е. П. Юношева

ВЛИЯНИЕ КРЕМНИЙСОДЕРЖАЩИХ СМЕСЕЙ НА МИГРАЦИЮ РАДИОНУКЛИДОВ В СИСТЕМЕ ПОЧВА – РАСТЕНИЕ

После Чернобыльской катастрофы значительные площади сельскохозяйственных земель загрязнены радионуклидами с различными периодами полураспада. На сегодня наибольшую опасность представляют ^{137}Cs и ^{90}Sr . Даже в незначительных количествах, в результате эффекта малых доз, они могут существенно влиять как на растительные организмы, так и на консументы различных порядков. Исследовано влияние смесей сапропеля и наночастиц трепела и анальцима в разных соотношениях на миграцию радионуклидов в системе почва – растение. Установлено, что использование предложенных смесей приводит к иммобилизации радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr в почве и существенно уменьшает их активность в растении. Обоснованно возможный механизм иммобилизации радионуклидов вследствие формирования в почве золь поликремниевых кислот.

Ключевые слова: цезий, стронций, кремний, анальцим, трепел.

N. V. Zaimenko, O. M. Slyusarenko, O. P. Yunosheva

APPLICATION OF SILICON-CONTAINING MIXTURES SLOWS DOWN THE MIGRATION RATES OF RADIONUCLIDES IN SOIL-PLANT SYSTEM

After the Chernobyl disaster in 1986 large areas of agricultural land were contaminated with radionuclides. Most of them had short periods of half-life time and are inactive now. However several radionuclides with relatively long periods of half-life time – especially ^{137}Cs and ^{90}Sr are not. Even small amounts of them still may be dangerous both plants and animals due to low-dose effect. In this paper we study impact of silicon-containing mixtures (nanoparticles of tripoli and analcime mixed with sapropel and peat) on the migration rates of ^{137}Cs and ^{90}Sr in soil-plant system. In order to conduct the research we chose the experimental plots located in Kyiv Polesie on Gleyic Phaeozems (0-20 cm). Humus content was $1.48 \pm 0.51\%$, pH_{KCl} 4.91-5.08. ^{137}Cs and ^{90}Sr contents were determined by ICP-MS method. Nonparametrical statistical analysis of experimental data was made. The difference was considered significant when $P < 0.05$. In the course of research we have found that application of the proposed mixtures leads to the immobilization of cesium and strontium in soil and significantly reduced their activity in plants by over 35 %. We suggest this fact to be caused by accumulation of sols of polysilicic acids in soil according to the scheme: $(\text{SiO}_2)_x + 2\text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{H}_4\text{SiO}_4 + (\text{SiO}_2)_{x-1}$, $2\text{H}_4\text{SiO}_4 \rightarrow (\text{HO})_3\text{SiOSi}(\text{OH})_3 + \text{H}_2\text{O}$. Additional experiments are needed to determine whether partial dehydration of these sols due to summer droughts may intensify transport of radionuclides from soil to plants. To conclude, application of the mixtures that consist of nanoparticles of tripoli and analcime mixed with sapropel and peat slows down the migration rates of ^{137}Cs and ^{90}Sr from soil to plants on Gleyic Phaeozems.

Keywords: cesium; strontium; silicon; analcime; tripoli.

Інформація про авторів:

Н. В. Заименко, д-р біол. наук, зав. відділу алелопатії, Національний ботанічний сад ім. М. М. Гришка НАН України, м. Київ,

E-mail: nbg@nbg.kiev.ua

О. М. Слюсаренко, д-р біол. наук, професор, Ботанічний сад Одеського НУ ім. І. І. Мечнікова, м. Одеса, Україна.

E-mail: slyusarenko@onu.edu.ua

О. П. Юношева, мол. наук. співроб. відділу алелопатії, Національний ботанічний сад ім. М. М. Гришка НАН України, м.

Київ, Україна. **E-mail:** vandae@ukr.net