

Г.А. ЧЕРНУХА, А.В. ЧЕРВЯКОВ, А.Р. ЦЫГАНОВ, М.И. ЧЕРКАШИН
ВЛИЯНИЕ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ НОВЫМ ПОЛИМЕРОМ-СОРБЕНТОМ
НА УРОЖАЙНОСТЬ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР
И ПАРАМЕТРЫ НАКОПЛЕНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ

(Поступила в редакцию 26.01.11)

Приведены результаты исследований по применению нового полифункционального полимера-сорбента – полипирролидиния галогенида для обработки почвы, загрязненной в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС радионуклидами ^{137}Cs и ^{90}Sr . Установлено, что его применение позволяет уменьшить переход радионуклидов из почвы в растениеводческую продукцию и одновременно повысить урожайность сельскохозяйственных культур. Оптимальной дозой применения нового полимера для обработки загрязненной радионуклидами почвы является 10 мг на 1 кг почвы.

We have presented results of research into the application of new poly-functional polymer-sorbate – polypyrrolidiny halogenide for the treatment of soils contaminated after the Chernobyl accident by radionuclides of ^{137}Cs and ^{90}Sr . We have established that its application helps to decrease transition of radionuclides from the soil into plant-growing produce and increase crop productivity. The optimal dose of the new polymer for the treatment of soil contaminated by radionuclides is 10 mg per 1 kg of soil.

Введение

В настоящее время сельскохозяйственное производство в Республике Беларусь ведется на 1,0 млн. гектаров земель, загрязненных ^{137}Cs с плотностью 37-1480 кБк/м² (1-40 Ки/км²), из них 0,34 млн. гектаров загрязнены ^{90}Sr , с плотностью 6-111 кБк/м². В этих условиях для получения растениеводческой продукции, соответствующей требованиям радиологического качества (РДУ-99), используются такие защитные мероприятия, как внесение повышенных доз фосфорных, калийных и известковых удобрений, применение медленнодействующих форм азотных удобрений, подбор видов и сортов культур с минимальным накоплением радионуклидов и др. Однако это не всегда позволяет получать нормативно-чистую продукцию, что заставляет вести дальнейший поиск новых, более эффективных как с радиологической, так и экономической точки зрения способов снижения поступления радионуклидов в растениеводческую продукцию.

Анализ источников

Проблема исследования поведения радиоактивных изотопов, особенно ^{90}Sr , ^{137}Cs , в почве, растениях и в других звеньях биологического цикла круговорота веществ в природе возникла в 50–60-е годы прошлого века в результате загрязнения окружающей среды радиоактивными продуктами деления в связи с испытаниями ядерного оружия и радиационными авариями. Чернобыльская катастрофа 1986 г. придала мощный импульс продолжению этих исследований.

В постчернобыльский период было проведено большое число исследований, направленных на решение проблем дезактивации почвы и реабилитации загрязненных территорий. Был предложен целый ряд методов: различные варианты электрохимического способа дезактивации, экстракционные технологии, предполагающие применение химических реагентов, фиторемедиация, внесение в почву сорбентов и др. Многие из них в конечном счете оказались несостоятельными, другие пока находятся в стадии разработки [7, 8].

Миграция ^{137}Cs и ^{90}Sr в глубь почвы происходит очень медленно. Поэтому в почвах сельскохозяйственного использования до сих пор основное количество этих радионуклидов находится в пахотном слое, на необрабатываемых землях – в верхнем 5-сантиметровом слое. Самоочищение корнеобитаемого слоя почв за счет вертикальной миграции радионуклидов в ближайшей перспективе не произойдет [1].

Влиять на содержание радионуклидов в продуктах питания можно на трех этапах: 1 – почва-растение, 2 – корм-животное, 3 – доработка и переработка сельскохозяйственного сырья. Ключевым в трофической цепи является звено почва-растение. Свядав радионуклиды в почве, мы прерываем их движение по всей цепи. Контрмеры, применяемые на данном этапе, являются наиболее рациональными и оправданными [9].

Поиск препаратов, позволяющих блокировать поступление радионуклидов из почвы в растения, ведется уже достаточно давно. Внесение в почву природных сорбентов, увеличивающих ее поглотительную способность и избирательно связывающих ионы цезия и стронция, ожидаемого эффекта не дало [2, 5, 6]. В литературе имеются сообщения об использовании композиционных материалов для снижения поступления радионуклидов из почвы в растения, но до практического их применения дело не дошло [3, 4].

Фундаментальные исследования последних лет позволили разработать концепцию создания нового класса полифункциональных олигомеров, содержащих заряженные атомы в каждом звене цепи или полиеновые «заряженные» блоки, а также функциональные, комплексобразующие и другие группы. Эти полимеры, близкие по строению и структуре к природным системам, способны осуществлять электронный и ионный перенос в молекуле, а также комплексобразующие и окислительно-восстановительные процессы.

Строение нового поколения полимеров обуславливает получение многочисленных и разнообразных по составу и структуре водо- и органорастворимых полимеров и сополимеров с молекулярным весом от

нескольких тысяч до миллиона, а также трехмерных полимеров.

Наличие большого заряда на макроцепи, определенных функциональных групп, а также строение и структура полимеров обеспечивает высокую комплексообразующую и хемосорбирующую активность полимеров по отношению к радионуклидам (^{90}Sr , ^{137}Cs , ^{239}Pu и др.), ионам тяжелых металлов, анионам (Cl^- , F^- , NO_3^- и др.) и ряду органических веществ (фенолы, хлорсодержащие продукты и др.).

Методы исследования

Для изучения влияния нового полифункционального полимера – полипирролидиния галогенида, обладающего антисептическими, бактерицидными, фунгицидными свойствами и высокой комплексообразующей и сорбирующей способностью, на урожайность сельскохозяйственных культур и накопление радионуклидов ^{90}Sr , ^{137}Cs был заложен полевой опыт на территории радиоактивного загрязнения в УСПК «Краснопольский». Схема опыта включала 8 вариантов, которые отличались дозами применения полимера на единицу массы почвы (табл. 1). Обработка почвы полимером производилась однократно – при закладке опыта, с помощью ранцевого опрыскивателя после посева овса.

В первый год исследования проводились с овсом (зерно), во второй – с горохо-овсяной смесью (зеленая масса).

Общая площадь делянки полевого опыта составляла 15 м^2 , учетная – 12 м^2 . Почва опытного участка дерново-подзолистая песчаная, характеризовалась следующими агрохимическими показателями: pH в KCl – 5,0, содержание гумуса – 1,16%, содержание подвижного фосфора и калия – 317 и 250 мг/кг почвы соответственно.

Для установления размеров перехода ^{90}Sr и ^{137}Cs в сельскохозяйственную продукцию определялось содержание этих радионуклидов в сопряженных пробах растениеводческой продукции и почвы, а затем рассчитывались коэффициенты перехода (Кп) по формуле: $\text{Кп} = \frac{\text{удельная активность растительного образца (Бк/кг)}}{\text{поверхностная активность почвы (кБк/м}^2\text{)}}$.

Основная часть

Результаты исследований приведены в табл.

Таблица. Влияние обработки почвы новым полифункциональным полимером на урожайность сельскохозяйственных культур и параметры накопления радионуклидов.

№ п/п	Вариант опыта	Урожайность, ц/га		Прибавка, %		Кп			
		овес (зерно)	горохо-овсяная смесь (зеленая масса)	овес (зерно)	горохо-овсяная смесь (зеленая масса)	^{137}Cs		^{90}Sr	
						овес (зерно)	горохо-овсяная смесь (зеленая масса)	овес (зерно)	горохо-овсяная смесь (зеленая масса)
1	Контроль (без обработки)	14,9	125,4	-	-	0,0161	0,0160	1,495	3,95
2	0,5 мг/кг	13,7	113,2	-8,1	-9,7	0,0131	0,0115	1,041	2,10
3	1 мг/кг	16,5	121,0	10,1	-3,5	0,0076	0,0066	0,826	1,40
4	5 мг/кг	15,7	138,4	4,7	10,4	0,0124	0,0042	1,140	1,60
5	10 мг/кг	23,8	148,8	59,7	18,7	0,0100	0,0091	1,309	1,98
6	20 мг/кг	21,9	133,6	47,0	6,5	0,0144	0,0124	1,420	1,85
7	30 мг/кг	18,7	135,2	25,5	7,8	0,0131	0,0076	1,408	3,41
8	40 мг/кг	16,0	141,0	7,4	12,4	0,0085	0,0154	1,465	2,65
НСР ₀₅		1,8	15,4	-	-	-	-	-	-

Обработка почвы новым полимером-сорбентом оказала положительное влияние на урожайность зерна овса в большинстве вариантов опыта. Наиболее существенную прибавку зерна обеспечили варианты опыта, где обработка почвы полимером производилась из расчета 10 и 20 мг полимера на 1 кг пахотного слоя почвы – 8,9 и 7,0 ц/га, что составило 59,7 и 47,0% соответственно. Т.е. было установлено, что как низкие дозы полимера, так и высокие оказались неэффективными.

При этом значения коэффициентов перехода ^{137}Cs из почвы в зерно овса во всех вариантах, где применялся полимер, оказались ниже, чем на контроле, где полимер не использовался. Минимальные значения Кп были получены в вариантах, где полимер вносился из расчета 1 и 40 мг на кг почвы – 0,0076 и 0,0085, что составляло снижение относительно контроля в 1,9 и 2,1 раз, или на 47,2 и 52,8% соответственно. По урожайности эти варианты незначительно отличались от контроля, что позволяет сделать вывод, что снижение значений Кп в них обусловлено в основном связыванием ^{137}Cs в почве полимером, а не биологическим разбавлением концентрации радионуклида (за счет увеличения массы зерна). Значительно ниже, чем в контрольном варианте, было значение Кп и в варианте с дозой внесения 10 мг/кг. Однако в данном случае его снижение было обусловлено в большей степени биологическим разбавлением радионуклида, т.к. этот вариант обеспечил максимальную урожайность зерна овса.

Применение полимера оказало влияние и на параметры накопления ^{90}Sr зерном овса. Положительный эффект был достигнут в диапазоне доз применения полимера от 0,5 до 10 мг/кг почвы, т.е. в вариантах, в которых урожайность зерна овса не имела существенных различий с контролем, а значения Кп снизились на 12,4÷44,7%. При более высоких дозах применения полимера различия с контролем были незначительными.

Результаты, полученные в течение следующего вегетационного периода, т.е. через год после обработки почвы полимером, показали, что он обладает последствием, что отразилось как на урожайности зеленой массы горохо-овсяной смеси, так и параметрах накопления радионуклидов ^{90}Sr и ^{137}Cs .

Урожайность зеленой массы в вариантах опыта, где полимер применялся в небольших дозах, была на уровне контроля. Последствие полимера в варианте, где доза его применения составляла 5 мг/кг, обеспечило прибавку урожая зеленой массы на 13,0 ц/га, что составило 10,4%. Еще более эффективной оказалась доза 10 мг/кг, в этом варианте опыта была достигнута максимальная урожайность – 148,8 ц/га, при этом прибавка составила 23,4 ц/га, или 18,7%. Урожайность в вариантах с более высокими дозами полимера – 20, 30 и 40 мг/кг – осталась на уровне предыдущих вариантов, однако во всех этих вариантах она была выше, чем на контроле.

Во всех вариантах опыта, где применялся полимер, значения Кп были ниже, чем в контрольном варианте. Снижение значений Кп составляло для ^{137}Cs на 4,3–73,9%, для ^{90}Sr – на 13,7–64,6%. Максимальный радиологический эффект во второй год исследований был достигнут в вариантах с дозами применения полимера 1 и 5 мг/кг почвы по обоим радионуклидам. При этом в вариантах с низкими дозами применения полимера (0,5 и 1 мг/кг) снижение значений Кп составило 1,4 и 2,4 раза по ^{137}Cs и 1,9 и 2,8 – по ^{90}Sr и было обусловлено в основном связыванием радионуклидов полимером в почве, а в остальных как связыванием радионуклидов, так и биологическим разбавлением.

Анализ полученных результатов показал, что с агрономической точки зрения наиболее эффективными оказались варианты, в которых доза внесения полимера составляла 10, 40 и 20 мг/кг, с радиологической точки зрения – 1, 5 и 10 мг/кг почвы. Исходя из этого, считаем, что оптимальной дозой применения полимера для обработки загрязненной радионуклидами почвы является 10 мг на 1 кг почвы, т.к. при этом достигается максимальная урожайность и существенное снижение концентрации радионуклидов.

Заключение

Установлено, что обработка почвы новым полифункциональным полимером повышает урожайность сельскохозяйственных культур. Максимальную прибавку урожая за 2 года обеспечил вариант с обработкой почвы полимером из расчета 10 мг полимера на 1 кг пахотного слоя почвы. В первый год урожайность зерна овса повысилась относительно контроля за счет обработки почвы полимером на 4,7–59,7%, во второй год за счет его последствия урожайность зеленой массы повысилась на 6,5–18,7%.

Применение полимера оказало существенное влияние на параметры накопления радионуклидов возделываемыми культурами. Максимальная кратность снижения значений Кп в 1-й год составила для ^{137}Cs 2,1 и ^{90}Sr 1,8 раз, во 2-й – 3,8 и 2,8 раз соответственно. Следовательно, радиологическая эффективность применения полимера на второй год была в 1,6–1,8 раз выше, чем первый. Снижение значений Кп радионуклидов ^{90}Sr и ^{137}Cs из почвы в растения обусловлено как связыванием этих радионуклидов полимером, так и биологическим разбавлением.

Полимер оказывает влияние на урожайность сельскохозяйственных культур и параметры накопления радионуклидов как в год его применения для обработки почвы, так и на следующий год.

Оптимальной дозой применения нового полимера для обработки загрязненной радионуклидами почвы является 10 мг на 1 кг почвы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Агеец, В.Ю. Система агроэкологических контрмер в атмосфере Беларуси / В.Ю. Агеец; РНИУП «Институт радиологии». Минск, 2001. С. 55–68.
2. Бакунов, Н.А. К вопросу о снижении накопления ^{137}Cs в растениях при обогащении почв природными сорбентами / Н.А. Бакунов, Е.В. Юдинцева // Агрохимия. 1989. №6. С. 90–96.
3. Копытков, В.В. Влияние полимерных сорбентов на поглощение радионуклидов овощными культурами / В.В. Копытков, М.М. Жишкевич, И.И. Подобедов [и др.] // Овощеводство: сб. науч. тр. / Белорусский научно-исследовательский институт овощеводства; Минск, 1998. Вып. 10. С. 145–149.
4. Копытков, В.В. Использование композиционных материалов при выращивании сельскохозяйственных культур на радиоактивно загрязненных землях / В.В. Копытков, Л.С. Корецкая, Ю.В. Гончарова [и др.] // Агроэкология: сб. науч. тр. УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия». г. Горки, 2004. Вып. 1. С. 90–93.
5. Круглов, С.В. Показатели специфической сорбционной способности почв и минеральных сорбентов в отношении ^{137}Cs / С.В. Круглов, В.С. Анисимов, Л.Н. Анисимова, Р.М. Алексахин // Почвоведение. 2008. №6. С. 693–703.
6. Лиштван, И.И. Органо-минеральные мелиоранты почв для снижения поступления радионуклидов в продукцию растениеводства / И.И. Лиштван, А.М. Абрамец, М.М. Жишкевич, И.О. Матвиенко // Сельскохозяйственная деятельность в условиях радиоактивного загрязнения: материалы Междунар. науч.-практ. конф. (г. Горки 29 июня – 2 июля). Горки, 1998. С. 84–85.
7. Сельскохозяйственная радиоэкология / Р.М. Алексахин [и др.]; под ред. Р.М. Алексахина, Н.А. Корнеева. М.: Экология, 1992. С. 207–209.
8. Серова, И.Б. Очистка почв от радионуклидов Cs, Sr ферромагнитными природными и синтетическими цеолитами / И.Б. Серова, В.А. Никашина // Радиоактивность после ядерных взрывов и аварий: труды Междунар. конф., М., 5–6 дек. 2005. Т. 3: Воздействие радиоактивного загрязнения на антропогенные и сельскохозяйственные экосистемы. Дозы облучения населения в результате радиоактивного загрязнения окружающей среды при ядерных взрывах и авариях. Стратегия и контрмеры. СПб: Гидрометеоздат, 2006. С. 455–460.
9. Чернобыльская катастрофа: Причины и последствия: Экспертное заключение. В 4-х ч. Ч. 3: Последствия катастрофы на Чернобыльской АЭС для Республики Беларусь / под ред. В.Б. Нестеренко / Междунар. сообщество восстановления среды обитания и безопас. проживания человека «СЭНМУРВ». Объединен. эксперт. ком. (Минск-Москва-Киев). Минск: Скарына, 1992. С. 62.