

The paper reveals the special role and importance of green manure crops in the effective conduct of resource-saving environment-friendly agricultural and production. The data about efficiency of green manure is presented in the article.

УДК 631.15:631.438.2

Наумов А.Д., Жданович В.П., Никитин А.Н.

РОЛЬ КАЛИЯ В СНИЖЕНИИ ПОСТУПЛЕНИЯ РАДИОИЗОТОПОВ ^{137}Cs И ^{90}Sr В ПРОДУКЦИЮ КУКУРУЗЫ

Введение. Главной задачей сельскохозяйственного производства на загрязненных радионуклидами ^{137}Cs и ^{90}Sr землях является получение нормативно чистой продукции, отвечающей требованиям санитарно-гигиенических нормативов (РДУ-99). Успешное решение её требует постоянного поиска путей и способов уменьшения поступления этих радиоизотопов по пищевой цепочке к человеку. Нет более доступных и эффективных способов снижения коллективной дозы, чем проведение комплекса агрохимических и агротехнических защитных мероприятий (контрмер): известкование почв, внесение органических, минеральных макро- и микроудобрений, подбор культур и сортов, которые направлены как на увеличение плодородия почв, повышение урожайности, так и одновременно способствующие уменьшению перехода ^{137}Cs и ^{90}Sr из почвы в растения.

В качестве контрмеры, обеспечивающей снижение поступления ^{137}Cs и ^{90}Sr в растения, поддержание бездефицитного баланса гумуса и почвенного плодородия в целом. Многие исследователи [1, 6] рекомендуют вносить органические удобрения разного состава. Установлено, что органические удобрения способствуют закреплению азота минеральных удобрений в почве, снижают потери этого элемента в результате вымывания и денитрификации, а также обеспечивают положительный баланс гумуса, повышают содержание в почве подвижных форм калия и фосфора. Наиболее высокую отдачу от удобрений можно получить только от совместного применения органических, известковых, азотных, фосфорных и калийных удобрений.

Если кукуруза высевается не по последствию органического удобрения, то для получения удовлетворительного урожая зелёной массы и, тем более, зерна на дерново-подзолистых почвах, помимо минеральных удобрений, внесение подстилочного навоза в средних дозах 40–60 т/га обязательно [5].

Известна огромная роль калия в питании растений. По эффективности калийные в большинстве случаев занимают третье место после азотных и фосфорных удобрений. Действие их зависит от содержания в почве подвижных форм (водорастворимый и обменный) калия, гранулометрического состава почвы, величины ёмкости поглощения и минералогического состава почвенного поглощающего комплекса, от кислотности и ряда других условий. [7]. Потребность в калийных удобрениях и величина дозы их внесения под кукурузу определяются, в первую очередь, содержанием подвижных форм K_2O в почве конкретного поля, величиной планируемого урожая, плотностью загрязнения ^{137}Cs и ^{90}Sr . Для получения максимально устойчивого урожая продукции кукурузы сбалансированные дозы минеральных удобрений должны быть внесены в пределах отношений действующего вещества N:P:K, как 1,62-1,94:1:2,22-2,98 или в среднем 1,8:1:2,6. При этом больший предел должен соответствовать более высокому уровню почвенного плодородия [4].

Следует отметить, что кукуруза является калиелюбивым растением и, даже избыточное калийное питание, не оказывает сколько-нибудь заметного влияния на рост, развитие и урожай кукурузы, так как содержание калия в тканях растений снижается вследствие вымывания этого элемента осадками и экзоосмосом через корневую систему в почву [3]. При внесении же фосфорных удобрений значительно повышается потребление кукурузой азота, фосфора и калия на формирование 1 т сухого вещества, особенно значительно возрастает потребление калия. Таким образом, достаточное обеспечение растений фосфором улучшает использование калия растениями кукурузы [4].

В настоящее время в Республике Беларусь сохраняется тенденция увеличения посевных площадей кукурузы на зерно (табл. 1), поскольку она обладает высокими потенциальной урожайностью и качеством зерна. Возделывание этой культуры в условиях радиоактивного загрязнения земель представляет особый интерес для решения проблемы дефицита чистых кормов и растительного белка. Разработка основных элементов технологии возделывания и изучение факторов, определяющих повышение урожайности и снижение величины перехода радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr в продукцию, является весьма актуальной в отдаленный период после аварии на Чернобыльской АЭС.

Исследований по снижению поступления радионуклидов в зерновую продукцию кукурузы практически не проводилось. Поэтому, для возделывания этой культуры с учетом плотности радиоактивного загрязнения почв, необходимо изучение накопления радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr зерном кукурузы.

Действие применения повышенных доз калийных удобрений, как агрохимического приема, ограничивающего поступление ^{137}Cs в урожай сельскохозяйственных культур, связано с антагонистическим характером отношений цезия и калия в почвенном растворе и эффективным влиянием последнего на величину урожая, особенно на бедных дерново-подзолистых песчаных и супесчаных почвах. За счёт внесения калийных удобрений можно в 2-20 раз снизить поступление ^{137}Cs и в 2-5 раз ^{90}Sr в урожай сельскохозяйственных культур. Многие отмечают, что положительный эффект накопления ^{90}Sr от внесения калийных удобрений особенно заметно проявляется на почвах с низкой концентрацией обменного калия (торфяно-болотные и дерново-подзолистые песчаные) и это объясняют антагонизмом между ионами K^+ , с одной стороны, и ионами Ca^{++} и Sr^{++} , с другой. Однако, внесение повышенных доз калийных удобрений для снижения накопления ^{90}Sr в урожае, как правило, приводит к снижению в нем содержания Ca, что сказывается на качестве урожая. Для получения растениеводческой кормовой продукции, отвечающей зоотехническим нормам, максимальная доза калийных удобрений на дерново-подзолистых почвах не должна превышать 250-300 кг д.в. на гектар, (не более 12,5% ёмкости поглощения почвы) [3].

Таблица 1. Урожайность и посевные площади кукурузы в Республике Беларусь (среднее 2000–2007 гг.)

Области	Зелёная масса		Зерно	
	площадь посева, тыс. га	урожайность, ц/га	площадь посева, тыс. га	урожайность, ц/га
Брестская	88,9	258	5,3	46,1
Витебская	41,1	124	2,3	42,5*
Гомельская	78,2	175	19,8	40,4
Гродненская	57,1	355	5,1	53,9
Минская	85,4	300	17,0	43,7
Могилёвская	67,1	103	4,9	35,1
Всего по РБ	417,8	219	54,4	43,6

* за 2007 г.

Таблица 2. Влияние доз калийных удобрений на продуктивность кукурузы, т/га

№№ вар.	Варианты	Урожай в годы исследований	Прибавка, ±		Окупаемость 1 кг удобрений кг з/м, зерном	
			Среднее	к контролю	в т. ч. за счёт калия	NPK
а) зелёная масса						
1	N ₀ P ₀ K ₀ (абсол. контроль)	27,4	–	–	–	–
2	N ₁₂₀ P ₀ K ₀ *	33,2	5,8	–	48,3	–
3	Навоз 60т/га - фон	35,6	8,2	–	–	–
4	Фон+N ₁₂₀ P ₉₀ K ₀ *	40,5	13,1	–	23,5	–
5	Фон+N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀ *	52,3	24,9	11,8	55,9	131,6
6	Фон+N ₁₂₀ P ₉₀ K ₁₅₀ *	53,9	26,4	13,4	50,8	89,3
7	Фон+N ₁₂₀ P ₉₀ K ₂₁₀ *	55,1	27,7	14,6	46,6	69,5
8	Фон+N ₁₂₀ P ₉₀ K ₁₅₀ **	54,4	27,0	13,9	52,4	92,7

НСР₀₅ ± т/га = 2005г. 2,43
 2006г. 1,89
 2007г. 2,64

б) зерно

1	N ₀ P ₀ K ₀ (абсол. контроль)	1,9	–	–	–	–
2	N ₁₂₀ P ₀ K ₀ *	3,1	1,2	–	9,8	–
3	Навоз 60т/га - фон	3,0	1,1	–	–	–
4	Фон+N ₁₂₀ P ₉₀ K ₀ *	3,8	1,9	–	6,7	–
5	Фон+N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀ *	5,1	3,1	1,3	6,9	14,4
6	Фон+N ₁₂₀ P ₉₀ K ₁₅₀ *	5,2	3,3	1,4	6,1	9,3
7	Фон+N ₁₂₀ P ₉₀ K ₂₁₀ *	6,0	4,1	2,3	7,3	11,0
8	Фон+N ₁₂₀ P ₉₀ K ₁₅₀ **	6,1	4,2	2,3	8,7	15,3

НСР₀₅ ± т/га = 2005г. 0,16
 2006г. 0,15
 2007г. 0,18

Примечания: здесь и далее

* Азот обычной мочевины;

** Азот медленнодействующей мочевины с добавкой гуминовых кислот (мдд)

Учитывая изложенное, основной целью данной работы является установить роль применения калийного удобрения при возделывании кукурузы на загрязнённой территории в эффективном снижении поступления радионуклидов ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr в кормовую продукцию.

Изучение влияния калийных удобрений на урожайность зеленой массы и зерна кукурузы и накопление в них ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr в годы исследований (2005–2007 г.г.) проводили в полевых стационарных опытах в КСУП «Дубовый Лог» Добрушского района Гомельской области. Почва экспериментального участка – дерново-подзолистая супесчаная, с глубины до 1м подстилается моренным суглинком. Пахотный горизонт характеризовался следующими агрохимическими показателями: содержание гумуса по Тюрину в модификации ЦИ-НАО (ГОСТ 26212-91), –1,55-2,10%; величина обменной кислотности рН_(КС) – потенциометрическим методом (ГОСТ 26483-85) – 5,3-6,3; гидролитическая кислотность Н_г по Каппену (ГОСТ 26212-84) – 1,5-1,7 смоль (*)/кг; подвижные Р₂О₅ – 138,0-265,0 и К₂О – 156,0-258,0 мг/кг - по Кирсанову (ГОСТ 26207-91); обменные Са – 629,0-858,0 и Mg – 185,0-258,0 мг/кг – на атомно-абсорбционном спектрофотометре ААС-30 (ГОСТ 26487-85); сумма поглощенных оснований – 9,6-10,2 смоль(*)/кг почвы – по Каппену-Гильковицу (ГОСТ 27821-88).

Плотность загрязнения почвы радионуклидами: ¹³⁷Cs – 565-989 кБк/м² (15,3-26,7 Ки/км²); ⁹⁰Sr – 15,2-21,5 кБк/м² (0,41-0,58 Ки/км²).

Содержание ¹³⁷Cs в образцах определяли на γ-спектрометрическом комплексе «Санберга» с погрешностью не более 20%. Удельную активность ⁹⁰Sr в золе растений определяли на β-спектрометрическом комплексе «Прогресс» с погрешностью не более 50%, в почве – радиохимическим методом по методике ЦИНАО с радиометрическим окончанием на β-спектрометрическом комплексе «Прогресс» с погрешностью не более 30%. Для количественной оценки поступления радионуклидов из почвы в растения рассчитывали коэффициенты пропорциональности (Kn)

$Kn = (\text{Бк/кг}): (\text{кБк/м}^2)$.

Полученные данные обрабатывали методами дисперсионного и регрессионного анализа с использованием современного компьютерного программного обеспечения (Excel 7.0, Statistic 7.0).

Схема исследований доз вносимого калия (хлористый калий, 60% д. в.) представлена в таблицах.

Технология возделывания кукурузы на зерно и силос проведена по типовым технологическим процессам, определенным отраслевым регламентом, разработанным Белорусским научно-исследовательским институтом аграрной экономики [5].

Кукуруза возделывалась по схеме многолетнего бессменного выращивания на одном поле. Экспериментами предусмотрено изучение влияния доз калийных удобрений на фоне навоза (60 т/га) и фосфорного удобрения (Р₉₀) с внесением минерального азота (N₁₂₀) в виде обычной и медленнодействующей мочевины с гуматами перед посевом (1/3) под культивацию и в подкормку (2/3 дозы). В качестве органических удобрений использовали подстилочный соломенный навоз КРС. Содержание радионуклидов и основных элементов питания в навозе было: ¹³⁷Cs - 955± 20 Бк/кг; ⁹⁰Sr - 114±15 Бк/кг; общий N – 0,32%, аммиачный N – 0,09%; Р₂О₅ – 0,21%; К₂О – 0,45%; Са – 0,28%; Mg – 0,08%.

В опыте высевали сорт кукурузы Белиз; норма высева 50 кг/га. Общая площадь делянки – 15 м², учетная – 10 м², повторность – 4-х кратная.

Оценка экономической эффективности исследуемых в опыте вариантов проведена из расчета стоимости 1 т кормовых единиц зеленой массы 130 тысяч рублей (по эквиваленту стоимости 1 т фуражного овса) и закупочной стоимости 1 т зерна кукурузы 430 тысяч рублей (табл. 3).

Таблица 3. Экономическая эффективность удобрений под кукурузу на зеленую массу и зерно на дерново-подзолистой супесчаной почве (в среднем за 2005–2007 гг.)

№ п/п	Варианты удобрений	Содержание к.ед. ц/га	Затраты, тыс. руб./га	Чистый доход, тыс. руб./га	Рентабельность, %
а) зеленая масса (при 82 % стандартной влажности)					
1	N ₀ P ₀ K ₀ (абсол. контроль)	49,3	380,5	260,4	68
3	Навоз 60т/га -фон, без NPK NPK	71,1	607,5	316,8	52
5	Фон + N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	102,0	859,6	466,4	54
6	Фон + N ₁₂₀ P ₉₀ K ₁₅₀	118,5	906,5	634,0	70
7	Фон + N ₁₂₀ P ₉₀ K ₂₁₀	121,3	924,1	652,8	71
8	Фон + N ₁₂₀ P ₉₀ K ₁₅₀	119,8	921,8	635,6	69
б) зерно (при 14% стандартной влажности)					
1	N ₀ P ₀ K ₀ (абсол. контроль)	19,0	380,5	436,5	115
3	Навоз 60т/га -фон, без NPK NPK	29,7	561,5	715,6	127
5	Фон + N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	50,4	813,4	1353,8	166
6	Фон + N ₁₂₀ P ₉₀ K ₁₅₀	51,6	860,3	1358,5	158
7	Фон + N ₁₂₀ P ₉₀ K ₂₁₀	60,3	877,9	1715,0	195
8	Фон + N ₁₂₀ P ₉₀ K ₁₅₀	61,0	875,6	1747,4	200

Результаты исследований и их обсуждение. Возделывание кукурузы без внесения удобрений на дерново-подзолистых почвах не допустимо. Технологическим процессом отраслевого регламента [5] предусматривается внесение органических удобрений, если кукурузой не используется их последствие. Оптимальной дозой внесения подстилочного навоза на супесчаных почвах считается 40-50 т/га. Доза азотных удобрений на фоне внесения органических – 90-120 кг/га д. в., из которых 1/3 вносят в предпосевную культивацию, а оставшуюся (2/3) часть – в подкормку во время вегетации кукурузы. Доза фосфорных удобрений – 60-80 кг/га д.в., из которых основную часть вносят до сева и 10-20 кг/га – в рядки при посеве. Дозу калийного удобрения –90-120 кг/га д.в. вносят под вспашку или в допосевной период под культивацию в зависимости от содержания калия в почве, чтобы не допустить его превышения в кормах более 3% на сухое вещество.

Результаты исследований (табл. 2) показывают, что применение азотных (вар. 2) и органических удобрений (вар. 3) значительно повышают урожай зелёной массы (в 1,4–1,7 раза) и зерна кукурузы (в 1,62–2,43 раза) по сравнению с контролем (соответственно 18,0 и 1,92 т/га). Урожай зелёной массы при внесении в почву 90 кг фосфора на фоне навоза и азота (вар. 4) повышался, но в пределах допустимой существенной разницы в сравнении с фоновым вариантом 3 (+ 1,1 т/га). Урожай зерна в этом варианте достоверно оказался выше контроля на 3,3 т/га и на 0,56 т/га фонового варианта (вар. 3).

Изменение уровня калийного питания (вар. 5–8) достоверно приводит к повышению урожая зелёной массы (от 7,1 до 19,2 т/га) к варианту без калия (вар. 4). При этом внесение азота в форме медленнодействующей мочевины с гуматом (вар. 8 – 48,5 т/га) не давал достоверной прибавки урожая зелёной массы к аналогичной дозе (вар. 6 – 47,1 т/га) обычной мочевины. Подобная закономерность проявляется и в получении урожая зерна кукурузы (прибавка 1,2 – 2,3 т/га). В этом случае достоверно повышается урожай зерна под влиянием азота медленнодействующей мочевины (вар. 8, прибавка 0,9 т/га) к равноценному уровню внесения азота обычной мочевины (вар. 6 – 5,2 т/га).

Таким образом, внесение калийного удобрения в дозах до 210 кг д. в. на дерново-подзолистых супесчаных почвах на фоне внесения 60 т/га подстилочного навоза, 90 кг д.в. фосфора и 120 кг д.в. азота обычной и медленнодействующей мочевины способствует увеличению урожая зелёной массы кукурузы до 55,1 т/га и зерна до 6,1 т/га.

Анализ экономической эффективности возделывания кукурузы на зелёную массу и зерновые цели (табл. 3) подтверждает целесообразность внесения под эту культуру органических, минеральных, и в их числе калийных, удобрений в соответствующих количествах на дерново-подзолистых супесчаных почвах как средство повышения продуктивности.

Возрастающие дозы калийных удобрений K₉₀, K₁₅₀, K₂₁₀ на супесчаной дерново-подзолистой почве с содержанием подвижного калия 156,0-258,0 мг/кг на фоне органических удобрений (60 т/га), азотных (120 кг д.в./га) и фосфорных (90 кг д.в./га) способствуют увеличению продуктивности зелёной массы от 3,1 до 5,0 т к. ед/га, повышению чистого дохода на 149,6–336,0 тыс. руб./га и повышению рентабельности производства на 2–19%, а также продуктивности зерна соответственно на 2,1–3,1 т к. ед./га, чистого дохода на 638,2–1 031,8 тыс. руб./га, и рентабельности производства на 31–73%. При этом самым высокопродуктивным с лучшими экономическими показателями оказался вариант, где вносили 210 кг д.в. калия в ряду с обычной мочевиной (вар.7). Использование медленно действующей мочевины при выращивании кукурузы на зерно позволяет увеличить все экономические показатели и при более низком (150 кг д.в./га) количестве вносимого калия. Окупаемость 1кг д.в. калия вносимого под кукурузу составила от 69,5 до 131,6 кг зелёной массы и от 9,3 до 15,3 кг зерна. При этом по окупаемости зелёной массы лучшим (131,6 кг) оказался вариант, где вносили 60 т навоза, P₉₀K₉₀и N₁₂₀ обычной мочевины (вар. 5), а по зерну (14,4–15,3 кг)–с дозами калия 90 кг д.в и стандартной мочевиной (вар. 5) и 150 кг д.в. и медленно действующей мочевиной (вар. 8).

Следует также отметить тенденцию преимущества урожайных и экономических показателей, как по зелёной массе, так и, особенно, по зерну кукурузы, варианта с внесением азота медленнодействующей мочевины (вар.8) в сравнении с обычной (вар. 6).

На почве с средним содержанием подвижных калия и фосфора (138–265 мг/кг) в вариантах (1, 2, 3), где их не вносили, получены вполне удовлетворительные уровни урожая зелёной массы (27,4–35,6 т/га) и зерна (1,9–3,1 т/га) с благоприятными показателями экономической эффективности (табл. 5) за счёт удобрения посевов азотными и органическими туками и низких производственных затрат. Несмотря на это, мы не можем рекомендовать для использования в производстве приведённые варианты (1, 2,) по причине истощения ими почвенного плодородия.

Лучшим вариантом, обеспечивающим высокий уровень продуктивности кукурузы при минимальных экономических издержках производства на супесчаных средне обеспеченных калием дерново-подзолистых почвах является вариант (вар. 7) внесения 60 т/га навоза с обычной мочевиной (120 кг д. в. азота), суперфосфатом (90 кг д. в. фосфора) и хлористым калием (210 кг д.в. калия).

Исходя из полученных результатов исследований для производства рекомендуется под посевы кукурузы на супесчаных дерново-подзолистых средне обеспеченных почвах калием вносить 60 т навоза совместно с N₁₂₀P₉₀K₁₅₀₋₂₁₀ на гектар.

В ряду сельскохозяйственных культур кукуруза известна как кормовая культура мало накапливающая своей продукцией

Таблица 4. Республиканские допустимые уровни содержания радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr в кормах из кукурузы

Вид кормов	Производимая продукция		
	Молоко цельное	Молоко сырьё для переработки на масло	Мясо, заключительный откорм
^{137}Cs			
Зерно на фураж	180	600	480
Зелёная масса	165	600	240
Силос	240	600	240
^{90}Sr			
Зерно на фураж	100	500	Не нормируется
Зелёная масса	37	185	
Силос	50	250	

Таблица 5. Влияние видов и доз удобрений на накопление радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr продукцией кукурузы, (среднее 2005–2007 гг.)

№ вар.	Варианты, виды и дозы удобрений	Активность продукции, Бк/кг							
		зеленой массы				зерна			
		^{137}Cs		^{90}Sr		^{137}Cs		^{90}Sr	
		Бк/кг	Кп	Бк/кг	Кп	Бк/кг	Кп	Бк/кг	Кп
1.	$\text{N}_0\text{P}_0\text{K}_0$ (абсол. контроль)	21,4±1,9	0,04	33,1±6,2	3,11	10,4±3,6	0,018	5,5±2,2	0,34
2.	$\text{N}_{120}\text{P}_0\text{K}_0^*$	38,4±2,3	0,06	39,8±7,5	3,74	11,3±4,3	0,019	4,9±1,7	0,36
3.	Навоз 60т/га -фон, без НРК	31,4±2,4	0,05	57,3±8,3	2,27	11,0±3,7	0,022	4,12±1,3	0,26
4.	Фон + $\text{N}_{120}\text{P}_{90}\text{K}_0^*$	32,0±2,6	0,04	44,9±7,8	2,18	12,1±4,3	0,023	4,91±1,9	0,35
5.	Фон + $\text{N}_{120}\text{P}_{90}\text{K}_{90}^*$	23,0±1,7	0,03	29,6±5,3	1,78	11,6±2,6	0,018	3,11±1,5	0,21
6.	Фон + $\text{N}_{120}\text{P}_{90}\text{K}_{150}^*$	19,4±1,9	0,03	27,7±6,0	1,58	11,1±2,9	0,014	1,92±0,9	0,12
7.	Фон + $\text{N}_{120}\text{P}_{90}\text{K}_{210}^*$	21,1±1,8	0,03	26,2±5,8	1,49	10,9±3,8	0,014	1,55±0,8	0,10
8.	Фон + $\text{N}_{20}\text{P}_{90}\text{K}_{150}^{**}$	20,2±2,0	0,03	22,8±5,5	1,30	11,8±3,4	0,015	1,83±0,8	0,10

радиоизотопы ^{137}Cs и ^{90}Sr . Это в большей мере связано с мощной корневой системой, которая способна поставлять питательные вещества с более глубоких почвенных слоёв, куда названные радиоизотопы не проникли. Однако часть из них поступает обычным порядком. Поэтому задача уменьшить поступление ^{137}Cs и ^{90}Sr в продукцию кукурузы, особенно в её зерновую часть является достаточно актуальной и мало изученной.

Анализ результатов трёхлетних (2005–2007 г.г.) экспериментов накопления радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr подтверждает факт низкого уровня накопления активности их продукцией кукурузы (табл.5).

Так, содержание ^{137}Cs в зелёной массе составляло в среднем за годы исследований 19,4–38,4 Бк/кг, что в 4,3–8,5 раз ниже нормативов для производства цельного молока, а ^{90}Sr – в пределах 22,8–57,3 Бк/кг при допустимом уровне содержания 37 Бк/кг для производства цельного молока (табл. 4).

Данные табл. 5 свидетельствуют, что накопление ^{137}Cs и ^{90}Sr зелёной массой и зерном кукурузы на загрязнённой территории находится в пределах допустимых уровней их содержания в сельскохозяйственном сырье и кормах. РДУ для зелёной массы на цельное молоко ^{137}Cs равно 165, а ^{90}Sr – 37 Бк/кг; для зерна на эти цели – соответственно: ^{137}Cs равно 180, а ^{90}Sr – 100 Бк/кг, а зерна для переработки на пищевые цели – соответственно: ^{137}Cs – 90 и ^{90}Sr – 11 Бк/кг (табл. 4). Несмотря на достаточно благоприятные показатели, снижение поступления радионуклидов в продукцию является актуальным на загрязнённой ими территории

Известно, что одностороннее удобрение азотом повышает поступление ^{137}Cs в растениеводческую продукцию. Подобное наблюдается и при возделывании кукурузы на зелёную массу (в 1,8 раза) и зерно (в 1,1 раза) по сравнению с вариантом без внесения удобрений (соответственно: 21,4 и 10,4 Бк/кг). Получить удовлетворительный урожай невозможно без использования азотных удобрений. А всякое повышение применяемой дозы азотных удобрений предполагает и повышение активности получаемой продукции. Поэтому приёмом, снижающим поступление радионуклидов в растениеводческую продукцию, является внесение в почву фосфорно-калийных и органических удобрений. При применении органики без минеральных удобрений (вар.3) коэффициенты перехода ^{137}Cs в зелёную массу

снижаются с 0,06 до 0,05, а в зерно повышаются – с 0,019 до 0,022. Лучшими для получения зелёной массы на навозном фоне оказались варианты с внесением $\text{N}_{120}(\text{мдд})\text{P}_{90}\text{K}_{150}$ (Кп 0,03) и $\text{N}_{120}\text{P}_{90}\text{K}_{210}$ (Кп 0,03), а для получения зерна – $\text{N}_{120}\text{P}_{90}\text{K}_{150}$ (Кп 0,014), $\text{N}_{120}\text{P}_{90}\text{K}_{210}$ (Кп 0,014) и $\text{N}_{120}(\text{гумат})\text{P}_{90}\text{K}_{150}$ (Кп 0,015).

Органическим и минеральным удобрениям отводится также значительная роль в снижении содержания ^{90}Sr в продукции растениеводства. В табл. 5 показано, что снижению перехода ^{90}Sr в зелёную массу относительно варианта на безнавозном фоне, где в почву вносили только N_{120} (Кп 3,74) способствовало внесение доз калия во всех вариантах (вар. 4, Кп-2,18; вар. 5 - 1,78; вар. 6 - 1,58; вар. 7 - 1,49; вар. 8 - 1,30) на фоне навоза 60 т/га и 90кг д.в. фосфора. Лучшим оказался вариант 8, где вносили $\text{N}_{120}(\text{мдд})\text{P}_{90}\text{K}_{150}$ (Кп 1,30). Он обеспечил снижение ^{90}Sr в зелёной массе кукурузы в 2,39 раза в сравнении с абсолютным контролем (Кп 3,11), что можно представить в качестве эффективного приёма.

Все варианты внесения калийного удобрения были эффективными в снижении перехода ^{90}Sr в зерновую продукцию кукурузы, за исключением вариантов одностороннего внесения N_{120} и навоза, в которых переход ^{90}Sr превысил абсолютный контроль более, чем в 1,03–1,05 раза. Лучшими оказались варианты $\text{N}_{120}(\text{мдд})\text{P}_{90}\text{K}_{150}$ (Кп 0,10), $\text{N}_{120}\text{P}_{90}\text{K}_{210}$ (Кп 0,10) и $\text{N}_{120}\text{P}_{90}\text{K}_{150}$ (Кп 0,12).

Изложенный материал подтверждает, что применение калийных удобрений под кукурузу на загрязнённых радионуклидами территориях является эффективным приёмом снижения удельной активности её продукции.

Для практического использования в производстве на среднеобеспеченных фосфором и калием супесчаных почвах загрязнённой радионуклидами территории предлагается агроприём применения удобрений при возделывании кукурузы, включающий внесение 50–60 т навоза, 120 кг д.в. азота обычной или медленно действующей мочевины, 90 кг д.в. фосфора и 150–210 кг д.в. калия на гектар.

Заключение. Наиболее продуктивными и экономически эффективными по зелёной массе и зерну кукурузы при дозах навоза в количестве 60 т, 120 кг д.в. азота и 90 кг д.в. фосфора на гектар, обеспечивающие снижение перехода ^{137}Cs и ^{90}Sr в зелёной массе (в

1,7–2,3 и 1,4–1,7 раза) и зерне (в 1,1–1,2 и 2,5–2,8 раза) на супесчаных среднеобеспеченных подвижными формами фосфора и калия дерново-подзолистых почвах следует считать варианты внесения калия в дозах 150–210 кг д.в. на гектар.

Эффективным приёмом снижения перехода ^{137}Cs и ^{90}Sr в зелёную массу и зерно кукурузы (в 1,2 раза) в сравнении с внесением обычной мочевины на фоне 60 т/га навоза и 90 кг д.в. фосфора является использование калия в дозе 150 кг д.в. совместно с азотом медленнодействующей мочевины с гуматсодержащими добавками в дозе 120 кг д.в. на гектар.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Алексахин, Р.М. Поведение ^{137}Cs в системе почва-растение и влияние внесения удобрений на накопление радионуклида в урожае / Р.М.Алексахин, И.Т.Моисеев, Ф.А. Тихомиров // *Агрохимия*. – 1992. – №8. – С. 127–138.
2. Рекомендации по ведению агропромышленного производства в условиях радиоактивного загрязнения земель Республики Беларусь на 2003–2005 гг. / Кол. авт. И.М. Богдевич (ред.). – Мн., 2003. – 72 с.
3. Володарский, Н.И. Биологические основы возделывания кукурузы / Н.И. Володарский – М.: Колос, 1975. – 28 с.
4. Вильдфлуш, И.Р. Формы фосфатов в дерново-подзолистых почвах Республики Беларусь и способы рационального использования минеральных удобрений / И.Р. Вильдфлуш // *Дисс. докт. тора с.-х. наук*. – Горки, 1994. – 363 с.
5. Организационно-технологические нормативы возделывания сельскохозяйственных культур: сборник отраслевых регламентов / Ин. аграр. экономики НАН Беларуси; рук. разработ. В.Г. Гусак [и др.]. – Мн.: Бел. наука, 2005. – 460 с. [Надточаев Н.Ф., Шлапунов В.Н., Мелешкевич М.А., Романюк Г.П. Возделывание кукурузы на силос и зерно: Отраслевой регламент. (Утверждён Первым зам. министра сельского хозяйства и продовольствия РБ Н.Н. Котковец 2 мая 2005, введён 2005-06-02), С. 270–286].
6. Пристер, Б.С. Оценка влияния агрохимических характеристик почв на поступление радиоцезия в сельскохозяйственные культуры и прогнозирование накопления его в урожае / Б.С. Пристер, Л.П. Перепелятникова, В.И. Дугинов // *Радиоэкология и контрмеры*: тез. докл. 1 семинара СО МСР, Киев, 27 апреля – 4 мая 1991 г. / Генеральная Ассамблея Советского отделения межд. Союза радиоэкологов. – Киев, 1991. – С. 80.
7. Юдин, Ф.А. Методика агрохимических исследований / Ф.А. Юдин. – М.: Колос, 1971. – 272 с.

Материал поступил в редакцию 20.01.12

NAUMOV A.D., ZHDANOVICH V.P., NIKITIN A.N. The role of potassium in reduction of ^{137}CS and ^{90}SR transfer in corn production

Presented in the article presents Experimental data about efficacy of potassium in different doses is. This technology provid high productivity and reduction of ^{137}Cs and ^{90}Sr transfer in feed products of corn in 2.8 times on the contaminated soil.

Proposed agronomic method of fertilizer application for practice of corn cultivation an the soils with enough amount of phosphorus and potassium and contaminated by radionuclides. This method include the introduction of 50-60 tons of manure, 120 kg ai Nitrogen (normal or slow action of urea), 90 kg ai phosphorus and 150-210 kg ai of potassium per hectare.

УДК [577.025:678.048]:[582.739:661.852]

Кобринец Л.А.

ИЗМЕНЕНИЕ АКТИВНОСТИ ФЕРМЕНТОВ АНТИОКСИДАНТНОЙ СИСТЕМЫ У ПРОРОСТКОВ ЛЮПИНА ВЫЗВАННОЙ ДЕЙСТВИЕМ СОЕДИНЕНИЙ СВИНЦА

Введение. С ростом промышленности и возрастающим влиянием антропогенного фактора на экосистему в последнее время наблюдается значительное накопление тяжелых металлов в окружающей среде. Их высокая токсичность для природной среды и здоровья человека доказана многими исследователями, а накопление металлов в верхних слоях почвы непосредственно действует на рост и развитие растений.

Любой тяжелый металл, накапливаясь в растении в большом количестве, может конкурировать с физиологически важными металлами, в том числе и с железом, за места в активных центрах каталитических систем, инактивируя их и нарушая тем самым важнейшие функции растительного организма, в том числе фотосинтез и дыхание [1].

Сейчас с использованием транспорта в различных отраслях деятельности человека в почве накапливаются значительные концентрации свинца. Свинец является широко распространенным во внешней среде элементом. В растениях в биологически важных обменных процессах он не участвует и является абсолютным токсином. Металл обладает слабой подвижностью, поскольку прочно сорбируется клеточными стенками. В связи с этим можно предположить, что максимальная концентрация свинца в растении наблюдается в корнях, минимальная – в генеративных и запасающих органах. Избыток свинца является токсичным и вызывает такие симптомы, как повреждение мембран, изменение активности ферментов, торможение роста корней растений [2].

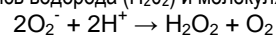
Учитывая то, что свинец относится ко второму классу опасности и его ПДК в природной среде составляет от 0,03 до 32 мг/л, возникла

необходимость в изучении действия солей Pb^{2+} на развитие сельскохозяйственных культур.

В последнее десятилетие появилось много работ, связанных с изучением активности антиоксидантных ферментов при токсическом воздействии тяжелых металлов. В них показано, что особое место в защитных реакциях растений на действие тяжелых металлов принадлежит антиоксидантным ферментам (супероксиддисмутазы, пероксидаза, каталаза), активность которых значительно возрастает в этих токсичных условиях [3–5]. Это приводит к нейтрализации свободных радикалов и пероксидов, образующихся под влиянием тяжелых металлов и оказывающих повреждающее действие на клетки, что способствует повышению устойчивости.

По увеличению активности данных ферментов, как следствие их накопления в растительном организме, можно судить о проявлении защитной реакции клеток к действию свинца.

Активно работающим ферментом растительных тканей является супероксиддисмутазы. Супероксиддисмутазы (СОД) — фермент, который присутствует в клетках растений там, где происходят окислительно-восстановительные процессы. В активном центре СОД содержатся ионы металлов (меди, железа, марганца, цинка). Так, в митохондриях содержится Mn СОД, в хлоропластах — Fe СОД, в цитоплазме, хлоропластах, митохондриях, пероксисомах, а также в апопласте — Cu-Zn СОД. СОД присутствует во всех аэробных организмах и служит для эффективного удаления супероксидных радикалов. СОД катализирует реакцию превращения двух анион-радикалов в перекись водорода (H_2O_2) и молекулярный кислород [6]:



Кобринец Л.А.