

ЗООТЕХНИЯ

УДК 539.163

СОРБЕНТЫ ЦЕЗИЯ-137 ДЛЯ ЖИВОТНОВОДСТВА**А. Ф. КАРПЕНКО***ГНУ «Институт радиобиологии»,
г. Гомель, Республика Беларусь**(Поступила в редакцию 03.01.2020)*

После аварии на Чернобыльской АЭС в Беларуси возникла одна из острейших проблем в сельскохозяйственном производстве – получение продукции животноводства в пределах РДУ-99 по содержанию цезия-137. Данная проблема не утратила своей актуальности и в настоящее время [1]. Одним из направлений получения сельскохозяйственной продукции в рамках санитарно-нормативных требований является использование в кормлении животных энтеросорбентов, связывающих и выводящих из желудочно-кишечного тракта эндогенных и экзогенных радионуклидов [2, 3].

В статье анализируются результаты исследований по использованию в кормлении животных ферроцианидных сорбентов для связывания и выведения из желудочно-кишечного тракта эндогенного и экзогенного цезия-137. На загрязненной территории Беларуси ферроцианиды для ускорения выведения цезия-137 из организма животных были впервые испытаны в 1987 году. Для этого в серии опытов проведено изучение эффективности соли Гизе, калия железистосинеродистого с хлористым калием, хлористого калия, коллоидно-растворимых ферроцианидов кобальта, железа и смеси ферроцианидов кобальта, меди и цинка. Включение ферроцина в кормовую добавку «Антикет» способствует не только повышению молочной продуктивности на 10–15 %, но и снижению поступления цезия-137 из рационов в молоко до 7 раз. Разработаны рекомендации по вводу в комбикорм ферроцианидов молочным козам. Установлена доза применения ферроцина для кроликов. Изучен ферроцинсодержащий сорбент белорусского производства на основе торфяного угля.

Ключевые слова: сорбенты, цезий-137, КРС, козы, кролики.

After the accident at the Chernobyl nuclear power plant in Belarus, one of the most acute problems in agricultural production arose – obtaining livestock products within republican allowable level-99 in terms of cesium-137 content. This problem has not lost its relevance at the present time. One of the directions for obtaining agricultural products within the framework of sanitary and regulatory requirements is the use of enterosorbents in animal feed that bind and excrete endogenous and exogenous radionuclides from the gastrointestinal tract.

The article analyzes the results of studies on the use of ferrocyanide sorbents in animal feeding for binding and excretion of endogenous and exogenous cesium-137 from the gastrointestinal tract. In the contaminated territory of Belarus, ferrocyanides were first tested in 1987 to accelerate the excretion of cesium-137 from animals. To do this, in a series of experiments, the effectiveness of Guise salt, potassium ferruginate with potassium chloride, potassium chloride, colloidal soluble cobalt, iron ferrocyanides and a mixture of cobalt, copper and zinc ferrocyanides was studied. The inclusion of ferrocine in the feed additive «Antiket» contributes not only to an increase in milk productivity by 10–15 %, but also to a decrease in the supply of cesium-137 from rations to milk up to 7 times. Recommendations have been developed for introducing ferrocyanides to the feed of dairy goats. The dose of ferrocine for rabbits has been established. A ferrocine-containing sorbent of Belarusian production based on peat coal was studied.

Key words: sorbents, cesium-137, cattle, goats, rabbits.

Введение

В Государственной программе по преодолению последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС на 2011–2015 годы и на период до 2020 года, в комплексе защитных мероприятий в сельскохозяйственном производстве, предусмотрено обеспечение ферроцинсодержащим комбикормом молочного скота личных подсобных хозяйств. В соответствии с Государственной программой всего за период 2016–2020 гг. предусматривается произвести 452 т ферроцинсодержащего комбикорма. Для производства комбикорма с сорбентом ферроцин приобретает за валютные средства в ООО НПП «Экс-орб» в г. Екатеринбург Российской Федерации.

В настоящее время стоимость одного килограмма ферроцина, выпускаемого данным предприятием и которое является единственным производителем и поставщиком данного препарата на постсоветском пространстве, составляет 50 долларов США. При установленной норме ввода сорбента 6 кг/т комбикорма потребность в ферроцине для Республики Беларусь на пятилетний период составляет 2,7 т. Следовательно, для приобретения данного количества ферроцина необходимо изыскать бюджетные средства в сумме, эквивалентной 135 тысячам долларов США. В этой связи возникает вопрос импортозамещения и производства собственных сорбентов в Республике Беларусь.

Цель работы – проанализировать и оценить результаты исследований изучения эффективности применения ферроцианидных сорбентов, имеющиеся в лаборатории производства экологически безопасной продукции животноводства в условиях техногенного загрязнения территорий ГНУ «Институт радиобиологии» НАН Беларуси.

Основная часть

Материалы работы – результаты многолетних исследований сорбентов. Методы исследований – классические методы радиэкологии и зоотехнии. Кроме того, также использованы общенаучные методы – анализа и синтеза, аналогии и моделирования, абстрагирования и конкретизации.

Впервые на загрязненной территории Беларуси ферроцианиды для ускорения выведения цезия-137 из организма бычков на откорме были испытаны в 1987 году в совхозе «Стреличево» Хойникского района. Подопытные животные содержались на рационе с суммарной активностью $6,7 \pm 2,0 \cdot 10^{-6}$ Ки/сутки и в течение 30 дней, два раза в сутки с комбикормом получали химические препараты, контрольная группа препаратов не получала.

Эффективность ускорения выведения радиоцезия из мышечной ткани откормочных животных при применении препаратов железогексацианоферрата (3 г/гол/сутки – II группа) и калия железистосинеродистого (3 г/гол/сутки) в сочетании с литием углекислым (5 г/гол/сутки – III группа) и берлинской лазурью, осажденной на поверхности древесных опилок (500 г/гол/сутки – IV группа), была достигнута в сравнении с контролем (I группа) соответственно в 3,0, 3,9 и 1,6 раза [3].

В последующие годы в серии опытов проведено изучение эффективности соли Гизе, калия железистосинеродистого с хлористым калием, хлористого калия, коллоидно-растворимых ферроцианидов кобальта, железа и смеси ферроцианидов кобальта, меди и цинка для предупреждения всасывания цезия из ЖКТ. Опыты проводились как в стойловый, так и в пастбищный периоды содержания животных. Длительность опытов от 10 до 74 дней. В первом опыте, в совхозе «Стреличево», изучали эффективность коллоидного раствора ферроцианида кобальта, соли Гизе, калия железистосинеродистого в смеси с хлористым калием на молочных коровах. Для опыта было отобрано 4 группы животных, в котором первая группа служила контролем, второй группе животных раствор ферроцианида кобальта (0,5 л/гол) задавали путем орошения им сена в кормушках, третьей (3 г/гол/сутки соль Гизе) и четвертой (4 г/гол/сутки калия железистосинеродистого и 20 г/гол/сутки калия хлористого) группам добавки раздавали в смеси с концентратами. До постановки эксперимента молоко коров имело низкую удельную активность цезия-137 (находилась на пределе чувствительности прибора РКГ-0,5 П), поэтому её увеличили путем введения в рацион более «грязного» сена. В итоге радиоактивность рациона животных была повышена до $27,7 \pm 4$ кБк/рац. Заметно увеличилась и удельная активность молока, которая за время опыта в контрольной группе была на уровне $157,6 \pm 11$ Бк/кг. Однако, во II группе концентрация цезия в молоке оказалась в 6,3 раза, в III группе – 2,9 раза и в IV группе – в 3,3 раза ниже в сравнении с контрольной (разница достоверна при $P > 0,001$). Наибольший эффект снижения наблюдался в группе с ферроцианидом кобальта. Этот препарат примерно в 2 раза оказался более эффективным, чем другие препараты.

В связи с тем, что в зоне белорусского следа загрязнения рационы крупного рогатого скота достигали уровней загрязнения 150–370 кБк/сутки, была проверена эффективность препаратов на таких высоких уровнях. С этой целью для опыта было подобрано пять групп коров-аналогов. Приготовление препаратов, дозы и раздача их животным были такими же, что и в предыдущем опыте. Препараты использовали на фоне «загрязнения» животных. Суммарное содержание цезия-137 в рационе находилось в пределах 185–209 кБк. В результате скармливания препаратов во второй группе практически не отмечалось существенного увеличения радиоактивности молока по сравнению с исходными показателями, когда животные получали рацион с меньшей радиоактивностью. В данной группе в течение опыта определялось наиболее низкое содержание цезия-137 в молоке, которое оказалось в 17 раз, в то время как в третьей группе в 8,3 раза и в четвертой группе в 6,5 раза ниже в сравнении с контролем. Раствор ферроцианида кобальта, так же как и в предыдущем опыте, оказался наиболее эффективным. По своим сорбционным свойствам данный препарат превышал соль Гизе в 2,0 и калий железистосинеродистый с хлористым калием в 2,6 раза.

Параллельно с измерением удельной радиоактивности молока контролировали показатели прижизненной дозиметрии животных. В связи с тем, что животные во время эксперимента получали рацион с более высокой радиоактивностью, чем до него, показатели прижизненной дозиметрии во всех группах увеличились по сравнению с исходными. Однако, если увеличение их во II, III и IV группах составляло от 2,6 до 4,2 мкР/ч, то в контрольной группе на 15,6 мкР/ч. Это свидетельствовало о том, что

накопление радионуклида в мышечной ткани животных II-IV групп происходило в меньших объемах, чем в контрольной группе. В данном опыте одновременно с проведением радиометрии молока и прижизненной дозиметрии животных сравнивали концентрацию цезия-137 в кале II группы и контрольной. С этой целью отбирали средние пробы кала от каждого подопытного животного через 1–2 суток. В результате радиометрии проб было установлено, что во II группе радиоактивность кала в среднем составила 4181 ± 74 Бк/кг, в контрольной – 3311 ± 370 Бк/кг, или была на 26,2 % ниже. Это подтверждало то, что ферроцианиды образуют в пищеварительном тракте животных комплексные с радиоцезием соединения, которые и выводятся из организма.

Результаты опытов свидетельствовали о том, что среди апробированных препаратов наиболее эффективным оказался ферроцианид кобальта. Но ферроцианид кобальта применялся в состоянии раствора, а остальные препараты в виде порошков, поэтому потребовалось выяснить, насколько его эффективность была связана именно с этим. С этой целью было проведено сравнительное изучение ферроцианидных растворов: ферроцианида кобальта, ферроцианида железа и соли Гизе. Опыт проводили на коровах в летне-пастбищный период содержания на четырех группах животных. Для животных II группы (I группа – контроль) препараты готовили и раздавали следующим образом: брали по 3 г/гол. сухой соли Гизе, растворяли ее в 0,5 л воды и полученным раствором орошали комбикорм в кормушках. С учетом содержания ферроцианидов в 3 г соли Гизе приготавливали по 0,5 л/гол. раствора ферроцианида железа для III группы и ферроцианида кобальта для IV группы и задавали животным таким же способом, что и II группе. Растворы готовились непосредственно перед раздачей. Во время опыта животные с пастбищной травой ежедневно потребляли по 185–218 кБк суммарной активности радиоцезия. Уже с третьего дня опыта данные радиометрии молока показали, что удельная радиоактивность молока в опытных группах ниже, чем в контроле. Так, во II группе удельная радиоактивность надаиваемого молока, в сравнении с контрольными животными, была ниже в 3,7 раза, в III группе – в 6,6 раза и в IV группе – в 5,8 раза. Это свидетельствовало о том, что сорбционные свойства растворов ферроцианида железа и ферроцианида кобальта оказались примерно одинаковыми и что они в 1,5–1,8 раза выше, чем у соли Гизе.

Следовательно, результаты трех проведенных опытов позволяли заключить, что растворы ферроцианидов кобальта и железа, приготовленные непосредственно перед раздачей животным и задаваемые путем орошения ими кормов, являются эффективными препаратами в качестве сорбентов цезия-137 в ЖКТ сельскохозяйственных животных.

Из анализа рационов кормления животных в Гомельской области было известно, что в кормах наблюдается недостаток таких важных для организма минеральных элементов, как кобальт, цинк, медь и некоторых других. Поэтому была предложена и испытана добавка, которая являлась одновременно сорбентом цезия-137 и минеральной добавкой. Такую добавку получали следующим образом. Брали 4 г калия железистосинеродистого и растворяли его в 200 мл воды, потом брали по 1,1 г хлористого кобальта шестиводного, 1,2 г сульфата меди пятиводного, 1,4 г сульфата цинка семиводного и растворяли каждую соль отдельно в 100 мл воды. После этого все растворы солей смешивали с первым раствором и получали 0,5 л раствора, в котором находились ферроцианид кобальта, ферроцианид меди и ферроцианид цинка, а также соли кобальта, меди и цинка, которые были взяты несколько в избыточном количестве, необходимом для полного взаимодействия солей. В качестве контроля при испытании данной добавки использовали ферроцианид железа. Проверку препаратов проводили на молочных коровах в Добрушском районе в условиях стойлового содержания. Для опыта были подобраны три группы коров-аналогов по 5 голов в каждой. Первая группа животных служила контролем и добавок не получала, вторая группа получала с кормами по 0,5 л/гол. раствора ферроцианида железа, третья группа – по 0,5 л/гол. смеси ферроцианидов. Добавки вводились с помощью пульверизатора путем однократного разбрызгивания их на корм животных.

Ежедневное поступление цезия с кормами в организм коров составляло 749,2 кБк/сутки. Радиометрическое измерение молока коров показало, что в II и III группах содержание радиоцезия, в течение 22 дней, было примерно одинаковым и в 2,4–4,6 раза ниже в сравнении с I группой. Из данного опыта был сделан вывод о том, что добавки, сочетающие в себе одновременно возможности сорбента и минеральной подкормки, являются перспективными и могут применяться в животноводстве загрязненных районов.

Усилиями ученых Витебской государственной академии ветеринарной медицины для животноводства Беларуси был разработан состав углеводно-протеиново-минерально-витаминной кормовой

добавки «Антикет», в состав которой входит патока, белковое сырье, премиксы, кормовые фосфаты. Налажено ее производство на базе фермерского хозяйства в Минской области.

Для загрязненной территории сотрудники лаборатории животноводства РНИУП «Институт радиологии» предложили вводить в состав «Антикета» ферроцин в количестве 1,2 %. Новая модифицированная форма кормовой добавки получила название «Антикет-Ф». Изучение радиологической и зоотехнической эффективности «Антикета-Ф» в кормлении лактирующих коров на территории радиоактивного загрязнения показало, что она способствует не только повышению молочной продуктивности на 10–15 %, но и снижению поступления цезия-137 из рационов (в составе летнего и зимнего рационов) в молоко до 7 раз [4].

В проведенных лабораторией исследованиях изучено также применение ферроцианидных препаратов на козах личных подсобных хозяйств. Полученные результаты стали основой для разработки рекомендаций по вводу в комбикорм ферроцианидов в количестве 0,6 % и скармливанию комбикорма в объеме 0,15 кг/голову ежедневно (утром) в течение лактационного периода молочным козам и в течение 1,5–2 месяцев до убоя [5, 6].

В имеющейся литературе отсутствовали экспериментальные данные об эффективности ферроцин-содержащих препаратов и их дозах при выведении цезия-137 из организма мелких домашних животных и, прежде всего, кроликов [7]. С этой целью был проведен ряд опытов на кроликах калифорнийской породы. В первом опыте ферроцин задавался в дозах 20, 40, 60, 80 и 115 мг на 1 кг живой массы. В конце эксперимента, который длился 15 суток, был произведен забой животных и определено содержание цезия-137 в мышечной ткани. Результаты радиометрии показали, что кратность снижения цезия-137 в мышечной ткани опытных групп составила от 1,25 до 3,01 раз. За оптимальную дозу ферроцина, обеспечивающую максимальное снижение в расчете на его потребление, была принята доза 80 мг на 1 кг живого веса кролика.

Во время проведения второго опыта было сформировано 3 группы кроликов, в котором I группа получала основной рацион и выступала в качестве контроля, II опытная группа – основной рацион и 80 мг ферроцина на 1 кг живой массы кролика, III опытная группа – основной рацион и 40 мг ферроцина на 1 кг массы и в качестве питья получала вместо воды 1 % раствор рассола «Белоруссит». Кратность снижения радионуклида в сравнении с контролем составила во II и III группах соответственно 2,67 и 2,72 раза. Исследования показали, что совместное введение в рацион кроликов ферроцина и раствора рассола «Белоруссит» приводит к повышению эффективности ферроцина приблизительно в 2 раза. Это в определенной мере свидетельствовало о взаимодействии этих двух веществ. Было предположено, что эффект обусловлен высоким содержанием галогенов: хлоридов, иодидов, бромидов в растворе рассола «Белоруссит», влияющих на пространственное расположение ионов цезия в коллоидных частицах ферроцина.

В следующем опыте сравнили применение ферроцин в дозе 80 мг/1 кг живой массы и ферроцин в дозе 40 мг/1 кг живой массы совместно с 2 мг фторид иона на голову. Было показано, что кратность снижения удельного содержания радионуклида в мышечной ткани кроликов, в сравнении с контролем, соответственно составила 8,4 и 14,0 раз.

Следовательно, применение ферроцином в комплексе с раствором рассола «Белоруссит» усиливает эффект выведения радиоцезия [8].

С целью импортозамещения в Институте природопользования НАН Беларуси в период 1987–1990 гг. проведены исследования по получению сорбционных материалов, избирательно сорбирующих цезий-137, на основе гексацианоферратов меди, цинка, кобальта, железа, введенных в поры активированного угля. По результатам лабораторных исследований, модифицированные гексацианоферратом железа (ферроцином) активные угли показали результаты намного лучше, чем исходный ферроцин и препарат ЦИИОМ (ферроцин, нанесенный на травяную муку). Коэффициент распределения радиоцезия в препарате ЦИИОМ составил $5 \cdot 10^3$ мл/г, для модифицированного активного угля – $5 \cdot 10^4$ мл/г, или в десять раз лучше.

Испытание препаратов на лабораторных крысах показало, что введение сорбента ферроцина в рацион питания крыс позволило на 5–7 суток снизить период полувыведения радиоцезия из организма животных, при этом, если для исходного ферроцина доза составляла 100 мг/кг живой массы, то в составе активного угля доза была снижена до 5 мг/кг при сохранении той же эффективности.

Накопленный опыт, разработка новых препаратов и их изучение свидетельствуют, что в Беларуси при создании производства и выпуска, например, углеродного ферроцинсодержащего сорбента мож-

но отказаться от импорта и, соответственно, снизить расходы валютных средств и обеспечить импортозамещение.

На этом основании производство и выпуск препарата Институтом природопользования НАН Беларуси возможно в рамках выполнения инновационного проекта с Министерством энергетики Республики Беларусь на опытной базе «Свислочь» института (Пуховичский район Минской области), где предусматривается производство активированных углей мощностью 100 т/год. Сырьевой базой для выпуска активированных углей уже определено торфопредприятие «Туршовка» (Крупский район Минской области).

Экономическая эффективность от использования собственного сорбента цезия-137 может заключаться не только в отказе от закупок импортируемого ферроциана и экономии валютных средств, но и за счет повышенной сорбционной способности радионуклида. Потенциальными потребителями данного сорбента могут стать сопредельные с Гомельской областью территории Украины и Российской Федерации, также подвергшиеся радиоактивному загрязнению.

В лаборатории животноводства ГНУ «Институт радиобиологии» установлено, что разработанный углеродный ферроцинсодержащий сорбент на основе торфяного угля фосфорнокислой активации и гексацианоферрата железа (ферроциана), при вводе в составе комбикорма в суточный рацион кроликов в дозе 2 г/голову и 4 г/голову, в сравнении с ферроцином в дозе 0,2 г/голову, позволяет снизить накопление цезия-137 в мышечной ткани животных в 1,8 и 2,6 раза соответственно. Следовательно, модифицированный ферроцином (5 %) сорбент значительно (до 2,6 раз) эффективнее, чем чистый ферроцин.

Заключение

Анализ результатов исследований, проведенных лабораторией производства экологически безопасной продукции животноводства в условиях техногенного загрязнения территорий по изучению составов, доз, длительности применения и эффективности ферроцианидных сорбентов, свидетельствует о достаточно большом накопленном научном и производственном объеме опыта и знаний для того, чтобы наладить производство собственных сорбентов и уйти от их импорта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Подоляк, А. Г. Научные аспекты сельскохозяйственного производства в постчернобыльских условиях: монография / А. Г. Подоляк, В. В. Валегов, А. Ф. Карпенко. – Мозырь, МГПУ им. И. П. Шамякина, 2017. – 242 с.
2. Карпенко, А. Ф. Пути снижения радиоактивного цезия в продуктах животноводства / А. Ф. Карпенко. – Минск, 1991. – 44с.
3. Карпенко, А. Ф. Эколого-экономические проблемы агропроизводства Гомельской области после Чернобыльской катастрофы: монография / А. Ф. Карпенко. – Брянск: Дельта, 2012. – 258 с.
4. Макаровец, И. В. Радиологическая и зоотехническая эффективность использования кормовой добавки «Антикет-Ф» в рационах лактирующих коров / И. В. Макаровец // Чернобыль и наука: опыт преодоления последствий: материалы науч.- практ. конф., Гомель, 19–20 апреля 2018 г. / РНИУП «Институт радиологии»; редкол.: А. А. Зайцев (гл. ред.) [и др.]. – Гомель, 2018. – С. 84–87.
5. Наумчик, А. В. Особенности содержания коз в личных подсобных хозяйствах на территории радиоактивного загрязнения / А. В. Наумчик // Рекомендации по внедрению законченных научно-исследовательских разработок гомельских ученых-аграрников в сельскохозяйственное производство. – Гомель: РПУП «Полеспечать», 2002. – С. 66–68.
6. Наумчик, А. В. Особенности ведения козоводства в личных подсобных хозяйствах, расположенных на загрязненных радионуклидами территориях / А. В. Наумчик, А. А. Царенок, И. В. Яночкин // Тезисы докладов международной научно-практической конференции, посвященной 60-летию зоотехнической науки Беларуси (22–23 октября 2009 г.). / Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по животноводству; под редакцией И. П. Шейко. – Жодино, 2009. – С. 362–363.
7. Карпенко, А. Ф. Радиозоологические проблемы сельского населения на загрязненной территории / А. Ф. Карпенко // Проблемы социально-экономического и правового обеспечения инновационного развития Беларуси. Материалы ХУІ Межвузовской научно-практической конференции (3 февраля 2012 года, г. Гомель) / под общей ред. С. И. Ляха. – Гомель: Гомельский филиал Международного университета «МИТСО», 2012. – Ч.2. – С. 105–108.
8. Карпенко, А. Ф. Влияние рассола «Белоруссит» на прирост живой массы животных и птицы и миграцию радионуклидов / А. Ф. Карпенко, А. Г. Подоляк // Чернобыль: 30 лет спустя: материалы междунар. науч. конф. (Гомель, 21–22 апреля 2016 г.). – Гомель: Институт радиологии, 2016. – С. 310–313.