

Влияние витамина D и кальция в рационе на поступление стронция-90 в молоко на территории радиоактивного загрязнения

А.Ф. КАРПЕНКО¹, А.А. ЦАРЕНОК²

В статье анализируются результаты изучения уровней содержания кальция в кормах и рационе, витамина D в организме лактирующих коров и стронция-90 в молоке в зимне-стойловый период при разных способах дачи витамина D. Установлено, что применение препаратов витамина D вместе с кормом и инъекционно, на фоне его 88,9 % дефицита в рационе, способствует снижению поступления стронция-90 в молоко коров на 13,9 и 20,0 % соответственно. Наиболее эффективной формой использования витамина D для снижения перехода стронция-90 из рациона в молоко является инъекционное введение витамина животным. Исследования проводились на территории радиоактивного загрязнения Республики Беларусь в рамках шестой Государственной программы по преодолению последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС на 2021–2025 гг.

Ключевые слова: витамин D, кальций, всасывание, стронций-90, молоко.

The article analyzes the results of studying the levels of calcium in feed and diet, vitamin D in the body of lactating cows, and strontium-90 in milk during the winter stall period with different methods of giving vitamin D. It was found that the use of vitamin D preparations together with feed and injection, against the background of its 88,9 % deficiency in the diet, helps to reduce the intake of strontium-90 in cow's milk by 13,9 and 20,0 %, respectively. The most effective form of using vitamin D to reduce the transition of strontium-90 from the diet to milk is injecting the vitamin into animals. The research was conducted in the territory of radioactive contamination of the Republic of Belarus as part of the sixth State Program to overcome the consequences of the Chernobyl disaster for 2021–2025.

Keywords: vitamin D, calcium, absorption, strontium-90, milk.

Введение. На территории радиоактивного загрязнения Беларуси при поступлении стронция-90 в животноводческую продукцию защитное действие кальция заключается в том, что кальций является ближайшим химическим аналогом стронция и на основании этого может в известных пределах снижать всасывание стронция при их одновременном поступлении в желудочно-кишечный тракт сельскохозяйственных животных и птицы. Данный фактор, препятствующий всасыванию стронция в пищеварительной системе, получил название «дискриминация стронция в пользу кальция». Он проявляется в том, что при одновременном поступлении кальция и стронция организм предпочитает первый из них [1].

К настоящему времени хорошо изучена регулирующая роль витамина D в обмене кальция и фосфора в организме. Витамин D участвует в процессах всасывания кальция и фосфора в кишечнике (тонкий отдел) и тем самым обеспечивает повышение их концентраций, как в крови, так и отложение в костной ткани. Известно несколько форм этого витамина, но наиболее активны две из них: D₂ (эргокальциферол) и витамин D₃ (холекальциферол) [2], [3].

Витамин D отличается способностью накапливаться в организме, что имеет большое профилактическое значение. Особенно это важно для лактирующих животных. Дефицит в организме витамина D вызывает недостаточное поступление из кишечника в кровяное русло кальция и одновременно увеличение всасывания стронция-90 [1], [2], [4].

Ученые опытным путем определили норму ввода витамина D в рационы различных сельскохозяйственных животных. Так, например, норма ввода витамина D в рацион лактирующих коров установлена в количестве около 1,5 тыс. международных единиц (МЕ) на 1 кг сухого вещества (СВ) корма в первые 100 дней лактации и 1,4 тыс. МЕ на 1 кг СВ с 101-го по 305-й день лактации. В соответствии с рекомендациями справочного пособия «Нормы и рационы кормления сельскохозяйственных животных» [5] в кормосмеси необходимо включать витамин D в следующих количествах: для сухостойных коров живой массой 600 кг и плани-

руемой продуктивностью 7–8 тыс. кг молока в год – 1,2 тыс. МЕ на 1 энергетическую кормовую единицу (ЭКЕ), для новотельных коров с суточным удоем 30 кг – 0,9 тыс. МЕ на 1 ЭКЕ, для лактирующих коров с суточным удоем 15–20 кг – 0,8 тыс. МЕ на 1 ЭКЕ.

Исследования проводились в рамках выполнения шестой Государственной программы по преодолению последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС на 2021–2025 гг.

Цель работы – изучить уровни содержания кальция в кормах и рационе, витамина D в организме лактирующих коров и стронция-90 в молоке в зимне-стойловый период при разных способах дачи витамина D.

Материал и методы. Объекты исследования – поголовье лактирующих коров, корма и рационы кормления, показатели содержания витамина D в крови, стронция-90 в кормах и молоке.

Методы исследования – зоотехнический, биохимический, радиометрический, аналитический, статистический и др. [6], [7], [8].

Радиохимическое определение стронция-90 в исследуемых пробах проводилось на аттестованном низкофоновом α - β счетчике «Canberra-S5E» с погрешностью не более 20 %.

Определение содержания макро- и микроэлементов (Ca, K, Na, Fe, Mg, Mn, Zn, Co, Cu, Pb, Cd) в пробах кормов, молока и сыворотки крови было выполнено при помощи атомно-абсорбционного спектрометра Solaar M6.

Кровь отбирали для получения сыворотки утром до кормления животных. Для исследования брали по 7–10 мл крови от крупного рогатого скота. Определение содержания витаминов D₂ и D₃ в сыворотке крови проводилось при помощи обращенно-фазной высокоэффективной жидкостной хроматографии в ультрафиолетовом диапазоне на оборудовании фирмы Agilent Technologies (США) серии 1100.

Полученный цифровой материал подвергался математической и статистической обработке с использованием следующих программ: «Microsoft Excel», «Statistica». Оценка достоверности разницы проверялась по Стьюденту. Разницу считали достоверной при $P < 0,05$; $P < 0,01$; $P < 0,001$ [9].

Результаты исследований и их обсуждение. С целью определения питательности рационов и уровней содержания витамина D в рационах коров и организме животных в период зимне-стойлового содержания был проведен научно-хозяйственный эксперимент на базе МТФ «Дублин» ОАО «Маложинский» Брагинского района Гомельской области в период с 30 марта по 28 апреля 2023 г. (таблица 1).

Таблица 1 – Схема эксперимента

Группа животных	Количество голов в группе	Продолжительность эксперимента, сут.	Особенности кормления
Контрольная группа	10	30	ОР
1-я опытная группа	10		ОР + витамин D ₃ (перорально 10 мл на 1 голову в сутки; 500 000 МЕ/л)
2-я опытная группа	10		ОР + витамин D (инъекционно на 1-е; 10-е; 20-е сутки, препарат «Мультивит + минералы», с содержанием D ₃ – 25 000 МЕ/мл)

Примечание: ОР – основной рацион (сено злаковое – 3 кг/гол/сут; силос кукурузный – 12 кг/гол/сут; концентраты (ячмень – 50 %, овес – 50 %) – 2,4 кг/гол/сут).

Содержание и уход за животными опытной и контрольной групп были одинаковые, и соответствовали принятой на молочно-товарной ферме технологии содержания лактирующих коров, а также организации труда.

Животным перорально и инъекционно вводили витамин D в виде раствора (препарат «Чиктоник» в количестве 10 мл с кормом, содержание витамина D₃ – 500 000 МЕ/л) и внутримышечно (препарат «Мультивит + минералы», с содержанием D₃ – 25 000 МЕ/мл).

Таблица 2 – Химический состав и питательность рациона лактирующих коров живой массой 500–550 кг, со среднесуточным удоем молока жирностью 3,8–4 % – 8 кг

Показатели химического состава и питательности	Корма			Факт	Норма	Баланс (+/-)	
	Сено злаковое	Силос кукурузный	Концентраты			кг/г/мг	%
Суточное потребление кормов, кг	3	12	2,4				
Кормовые единицы, кг/кг	0,46	0,27	1,13	7,2	8,8	-1,6	-17,7
Обменная энергия, МДж/кг	6,97	2,88	11,45	83,0	107,0	-24,1	-22,5
Сухое вещество, кг/кг	0,87	0,32	0,84	8,4	11,9	3,5	-29,4
Сырой протеин, г/кг	126,4	24,50	101,0	915,5	1280,0	-364,5	-28,5
Переваримый протеин, г/кг	84,08	11,05	69,9	552,6	827,0	-274,4	-33,2
Сырая клетчатка, г/кг	321,25	112,35	78,5	2500,4	3008,0	-507,7	-16,9
Сахара, г/кг	14,42	3,31	36,85	171,4	538,0	-366,6	-68,1
Поваренная соль, г	–	–	–	58,0	58,0	0	0
Кальций, г/кг	7,37	1,88	2,2	49,9	59,0	-9,1	-15,5
Фосфор, г/кг	1,69	0,89	5,0	27,8	41,0	-13,3	-32,3
Магний, г/кг	3,48	1,01	1,35	25,8	21,0	4,8	22,9
Калий, г/кг	3,31	2,61	5,20	53,7	70,0	-16,3	-23,2
Железо, мг/кг	93,74	93,03	61,3	1544,6	688,0	856,6	124,5
Медь, мг/кг	1,94	1,50	3,45	32,1	75,0	-42,9	-57,2
Цинк, мг/кг	6,99	5,78	29,5	161,1	491,0	-329,9	-67,2
Кобальт, мг/кг	0,01	0,01	0,08	0,3	6,0	-5,7	-94,9
Марганец, мг/кг	0,06	0,02	40,0	96,3	491,0	-394,7	-80,4
Вит. D, тыс. МЕ	0,266	0,032	–	1,2	10,7	-9,5	-88,9

Представленный рацион имеет низкую сбалансированность по большинству нормируемых показателей. В рационе выявлен существенный дефицит отдельных значимых питательных веществ. Так, дефицит кормовых единиц составил 17,7 %, обменной энергии – 22,5 %, сырого и переваримого протеинов – 28,5 и 33,2 % соответственно, сахара – 68,1 %, кальция – 15,5 %, фосфора – 32,3 %, калия – 23,2 %, меди – 57,2 %, цинка – 67,2 %, кобальта – 94,9 %, марганца – 80,4 %. Вследствие не соответствия содержания питательных веществ норме, кальций-фосфорное отношение в рационе составляло 1,8:1, но которое в период лактации должно быть как 1,5–2:1. Сахаро-протеиновое отношение имело вид 1:0,3. В норме у крупного рогатого скота в среднем сахаро-протеиновое отношение 1:1, то есть на 1 грамм сахара должно приходиться 1 грамм протеина.

В связи с тем, что между содержанием кальция в кормах, витамина D в организме и поступлением стронция-90 в продукцию существует взаимосвязь, в рамках исследований был проведён анализ содержания кальция в основных кормах пострадавших районов Гомельской области. На рисунке представлены результаты анализа среднего содержания кальция в основных видах кормов сельскохозяйственных предприятий Гомельской области, расположенных на территории радиоактивного загрязнения.

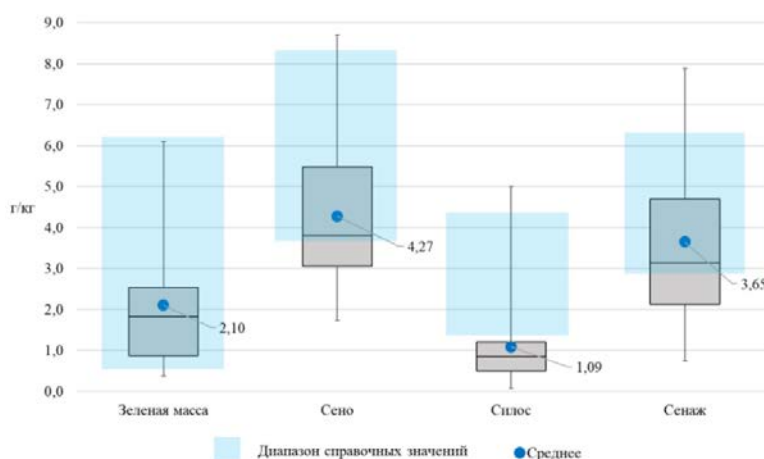


Рисунок – Анализ содержания кальция в основных видах кормов

Из показателей данных рисунка следует, что если содержание кальция в зелёной массе (в среднем 2,1 г/кг) укладывается в диапазон справочных значений, в сене (4,27 г/кг) и сенаже (3,65 г/кг) только часть его показателей находится ниже нижнего предела, то в силосе (1,09 г/кг) полностью выходит за нижний предел [5], [7].

Исследуемый рацион характеризуется крайне низким содержанием витамина D, дефицит которого (в сравнении с рекомендуемой нормой кормления) находился на уровне 88,9 %.

За время эксперимента проведено четырёхкратное изучение содержания витамина D в сыворотке крови контрольной и опытных групп, получавших витамин D₃ в виде масляного раствора (перорально) и в виде инъекции (внутримышечно).

В таблице 3 приведены данные по содержанию витамина D в сыворотке крови подопытных групп животных.

Таблица 3 – Результаты определения содержания витамина D в сыворотке крови подопытных животных, нг/мл

Группа животных	Витамины	Дата отбора			
		31.03.2023	06.04.2023	13.04.2023	20.04.2023
Контрольная	D ₂	8,88 ± 4,75	7,49 ± 3,35	3,22 ± 0,65	5,51 ± 1,33
	D ₃	4,16 ± 0,58	8,69 ± 5,96	6,08 ± 1,61	5,1 ± 1,27
	D ₂ + D ₃	13,04	16,18	9,30	10,61
1-я опытная ¹	D ₂	4,63 ± 1,2	8,22 ± 4,74	4,25 ± 1,52	10,54 ± 5,23*
	D ₃	3,84 ± 1,42	6,83 ± 4,47	6,71 ± 3,75	8,2 ± 3,78*
	D ₂ + D ₃	8,47	15,05	10,96	18,74
2-я опытная ²	D ₂	4,94 ± 1,79	8,59 ± 4,56	2,91 ± 0,79	5,96 ± 2,54
	D ₃	5,79 ± 3,26	27,01 ± 9,49**	13,55 ± 4,37**	14,63 ± 5,38**
	D ₂ + D ₃	10,73	35,60	16,46	20,59

Примечание: * – P < 0,05; ** – P < 0,001; ¹ – перорально; ² – инъекционно.

Из полученных данных следует, что при внутримышечном введении витамина сумма концентраций D₂ + D₃ на 6 сутки проведения эксперимента увеличилась до 35,6 нг/мл или в 2,2 раза в сравнении с контролем. При пероральном введении (с кормом) увеличение содержания витамина до 18,74 нг/мл или в 1,8 раза к контролю отмечено в конце проведения эксперимента. На основании этих результатов можно сделать вывод, что наиболее эффективным способом применения витамина животным является внутримышечное введение.

Проведенные радиометрические исследования удельной активности стронция-90 в кормах, включенных в состав рациона, показало их полное соответствие требованиям, предъявляемым РДУ-99 [8]. Так, содержание стронция-90 в сене находилось в пределах 20,39–199,69 Бк/кг, силоса – 6,12–10,82 Бк/кг. Суточная активность стронция-90 в рационе подопытных коров на протяжении всего периода проведения эксперимента составляла 0,13–0,73 кБк.

Радиометрические исследования отобранных проб молока в нулевые сутки эксперимента показали результаты измерений стронция-90 на уровне 1,23 ± 0,34 Бк/кг (таблица 4).

Таблица 4 – Удельная активность стронция-90 в молоке коров, Бк/кг

Номер отбора	Группа животных	Способ поступления витамина D	Результаты измерений, Бк/кг
0-й отбор	–	–	1,23 ± 0,34
1-й отбор	Контрольная	–	1,09 ± 0,3
	1-я опытная	перорально	1,13 ± 0,31
	2-я опытная	инъекционно	0,92 ± 0,26
2-й отбор	Контрольная	–	1,2 ± 0,33
	1-я опытная	перорально	1,44 ± 0,4
	2-я опытная	инъекционно	1,41 ± 0,39
3-й отбор	Контрольная	–	1,8 ± 0,49
	1-я опытная	перорально	1,55 ± 0,42
	2-я опытная	инъекционно	1,44 ± 0,4

В последующих отборах динамика изменения удельной активности молока коров контрольной группы составляла 1,09–1,8 Бк/кг, в 1-й опытной – 1,13–1,55 Бк/кг, во 2-й опытной – 0,92–1,44 Бк/кг. В заключительном периоде проведения эксперимента (3-й отбора проб молока) полученные результаты свидетельствуют о наибольшем снижении содержания стронция-90 в молоке коров 3-й опытной группы, получавшей витамин D инъекционно, в результате чего содержание изучаемого радионуклида в молоке снизилось на 20,0 % (до 1,44 Бк/кг) по сравнению с контролем (1,8 Бк/кг). В 1-й опытной группе, получавшей витамин D вместе с кормом (перорально), снижение удельной активности молока по сравнению с контролем составило 13,9 % (до 1,55 Бк/кг).

Заключение. Питательность силосно-сенного рациона имеет низкую сбалансированность по большинству нормируемых показателей. В рационе выявлен существенный дефицит питательных веществ. Так, дефицит кормовых единиц составил 17,7 %, обменной энергии – 22,5 %, сырого и переваримого протеинов – 28,5 и 33,2 % соответственно, сахара – 68,1 %, кальция – 15,5 %, фосфора – 32,3 %, калия – 23,2 %, меди – 57,2 %, цинка – 67,2 %, кобальта – 94,9 %, марганца – 80,4 %, витамина D – 88,9 %. Применение препаратов витамина D вместе с кормом и инъекционно, на фоне его дефицита в рационе, способствует снижению поступлению стронция-90 в молоко коров на 13,9 и 20,0 % соответственно. Наиболее эффективной формой использования витамина D для снижения перехода стронция-90 из рациона в молоко является инъекционное введение витамина животным.

Литература

1. Сельскохозяйственная радиология / Под ред. Р. М. Алексахина, Н. А. Корнеева. – М. : Экология, 1991. – 227 с.
2. Физиология сельскохозяйственных животных / А. П. Костин [и др.]. – М. : Колос, 1974. – 480 с.
3. Полноценное кормление высокопродуктивных коров / А. Ф. Карпенко [и др.]. – Минск : Беларуская навука, 2021. – 430 с.
4. Разумовский, Н. Балансируем рационы скота по минералам / Н. Разумовский // Животноводство России. – 2023. – № 1. – С. 53–55.
5. Нормы и рационы кормления сельскохозяйственных животных : справ. пособ. – М. : Агропромиздат, 1985. – 352 с.
6. Гусаров, И. В. Система нормированного кормления высокопродуктивных коров с учетом их биохимического статуса / И. В. Гусаров, О. Д. Обряева // Кормление сельскохозяйственных животных и кормопроизводство. – 2021. – № 12 (197). – С. 23–39.
7. Шпаков, А. П. Кормовые нормы и состав кормов : справ. пособ. / А. П. Шпаков, В. В. Назаров, К. Л. Певзнер. – Минск : Ураджай, 1991. – 384 с.
8. Рекомендации по ведению сельскохозяйственного производства на территории радиоактивного загрязнения Республики Беларусь на 2021–2025 годы / Н. Н. Цыбулько [и др.]. – Минск : ИВЦ Минфина, 2021. – 144 с.
9. Рокицкий, П. Л. Биологическая статистика / П. Л. Рокицкий. – Минск : Выш. шк., 1973. – 318 с.

¹Гомельский государственный
университет имени Франциска Скорины

²Институт радиобиологии НАН Беларуси

Поступила в редакцию 28.03.2025