

РЕГУЛЯЦИЯ МЕТАБОЛИЗМА РЕТИНОИДОВ У МОЛОЧНЫХ КОРОВ ЗА СЧЕТ ПЕРОРАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ БИОЭЛЕМЕНТОВ

А.А. ИВАНОВ

(Кафедра физиологии и биохимии животных)

Изучали механизмы взаимодействия цинка и ретиноидов в обмене веществ жвачных животных. В экспериментах использовали молочных коров, валухов и лактирующих коз. В опытах *in vitro*, *in situ*, а также *in vivo* методом групп и периодов изучали влияние разных оральных доз цинка в форме сульфата на показатели метаболизма ретиноидов. Установили, что превращение бета-каротина у жвачных животных начинается в преджелудках под влиянием симбиотических микроорганизмов, активность которых зависит от уровня цинка в рационе животных. Показана ключевая роль плотной эндогенной фракции химуса в гастро-энтеральном обмене каротина. Установили, что полостная слизь активно адсорбирует как цинк, так и каротин из пищевых частиц. Пришли к выводу, что в организме жвачных существует, по крайней мере, три различных сайта взаимодействия цинка и ретиноидов: преджелудки, энтеральная среда и печень. Заключение, что за счет оптимизации цинкового питания можно существенно повысить использование алиментарного каротина молочными коровами и суммарную (каротин + ретинол) А-витаминную ценность получаемого от них молока.

Среди глобальных проблем человечества А-витаминная недостаточность стоит на втором месте после белкового дефицита [9]. В силу географического положения и специфики климата в нашей стране жвачные животные имеют крайне неравномерную обеспеченность витамином А: летом они потребляют избыточное количество каротина (про-витамина А), зимой чаще всего испытывают недостаток каротина и витамина А. В зимний стойловый период основным источником каротина для скота служат грубые корма (сено, силос, сенаж), в которых содержание каротина изначально невелико и в процессе хранения снижается [7].

Функциональной особенностью микрорезлементов и витаминов является то, что они необходимы животному организму в ничтожно малых количествах. Однако недостаточность этих нутриентов может иметь катастрофичес-

кие последствия для продуктивных животных. Специфика алиментарной недостаточности как витамина А, так и цинка заключается в том, что ее клинические проявления имеют отсроченный, пролонгированный характер и маскируются системными патологиями [2, 4].

Положение усугубляется и тем, что между цинком и витамином А существует метаболическое взаимодействие. Недостаток (или избыток) одного нутриента провоцирует развитие недостаточности другого [10]. Помимо чисто физиологических эффектов А-витаминная недостаточность приводит к снижению продуктивности животных и витаминной ценности молока. Следовательно, предупреждение А-витаминной недостаточности у продуктивных животных, повышение эффективности использования ими каротина кормов остается важной задачей.

Исследования метаболизма ретиноидов под влиянием цинка у жвачных животных немногочисленны. Многие стороны взаимодействия ретиноидов и цинка в метаболизме жвачных остаются неясными. И прежде всего это относится к метаболизму ретиноидов в желудочно-кишечном тракте животных, их взаимодействию на уровне лактопоза у лактирующих самок.

Таким образом, обсуждаемая проблема представляется актуальной как в познавательном, так и прикладном отношении.

Основные цели исследования: изучение механизмов взаимодействия цинка и ретиноидов в организме жвачных животных; определение роли желудочно-кишечного тракта (ЖКТ) в метаболизме ретиноидов под влиянием цинка.

Материал и методика исследований

Для достижения поставленных целей проведено несколько серий экспериментов на жвачных животных: молочных коровах, валухах и козах молочного направления продуктивности. Кроме того, для решения ряда задач проводили опыты в условиях *in vitro* и *in situ*.

В первой серии опытов использовали 26 коров черно-пестрой породы 1 — 2-й лактации с продуктивностью 3500 кг с фистулой рубца и интактные с продуктивностью 4500 кг и 6000 кг молока за лактацию.

Большая часть исследований выполнена в зимне-стойловый период. В каждой продуктивной группе коров выделяли контрольных и подопытных животных. Подопытные животные получали *per os* добавку цинка ($ZnSO_4 \cdot 7H_2O$) с целью 2-кратного увеличения его уровня в сухом веществе рациона — с 25 до 50 мг/кг. Продолжительность исследований на фистульных животных — 12 мес, на интактных — 6 мес (с декабря по май).

Во второй серии опытов использовали 30 гол. высокоудойных (5000—

5500 кг за лактацию) коров черно-пестрой породы 2-й лактации. Животные были разделены на 3 группы, различия между которыми заключались только в том, что их рацион имел разный уровень цинка (1-я группа — 90 мг/кг, 2-я — 150 мг/кг, 3-я контрольная группа — 30 мг/кг сухого вещества).

Третью серию опытов провели на 6 валухах романовской породы в возрасте 15-18 мес с хронической фистулой рубца. Опыты проводили методом групп и периодов. Контрольная группа (3 гол.) получала основной рацион из сена разнотравного, кормовой свеклы и комбикорма. Опытная группа (3 гол.) к основному рациону получала добавку цинка с расчетом, что его концентрация в сухом веществе составляла 50, 75 и 150 мг/кг.

В условиях *in vitro* изучали рубцовый метаболизм при концентрации цинка в сухом веществе корма 25, 50, 75, 100, 150, 200, 300, 400 и 500 мг/кг. Рубцовый химус получали через хроническую фистулу рубца через 3 ч после кормления валухов или коров и инкубировали в атмосфере углекислого газа в темноте при температуре 37-39°C при постоянном покачивании колб.

В четвертой серии опытов использовали 6 коз, 3 из которых служили контролем (уровень цинка в рационе — 25 мг/кг), а 3 к основному рациону (зимнему) получали добавку цинка из расчета 25 мг/кг (суммарная концентрация цинка — 50 мг/кг). Опыт длился 6 мес (декабрь — май). По завершении опыта животные были подвергнуты барбитуратному наркозу. У наркотизированных животных получали кровь, молоко и химус из разных отделов желудочно-кишечного тракта. Химус фракционировали по методу, разработанному на кафедре физиологии и биохимии животных МСХА [3].

В соответствии со схемой исследований во всех опытах биологические среды (цельная кровь, сыворотка крови, молоко, химус) подвергали биохимическим исследованиям.

мическому (кровь дополнительно морфологическому) анализу по общепринятым методикам. Для количественного определения каротина и витамина А использовали классический метод Бессея, а также метод жидкостной хроматографии высокого разрешения [5, 8]. Цинк определяли методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии.

Цифровой материал обработан при помощи программного обеспечения Ms Excel и Straz.

Результаты исследований и их обсуждение

Влияние добавок цинка на рубцовый метаболизм

При добавлении сульфата цинка в рубцовую жидкость коров в расчете на 1 кг сухого вещества рациона 150-200 мг/кг отмечается активизация микробиологических процессов *in vitro*. Достоверное угнетение микробиологической активности в рубце зафиксировано лишь при 20-кратном увеличении уровня цинка в сухом веществе корма (снижается концентрация белкового азота, количество ЛЖК, концентрация аммиака в инкубируемой среде).

In vivo добавки сульфата цинка валухам через фистулу рубца вызывали аналогичные изменения рубцового обмена, что и в опытах *in vitro*. Восьмикратное увеличение концентрации цинка в сухом веществе корма валухов не оказывало отрицательного влияния на рубцовый метаболизм.

Влияние добавок цинка на обмен веществ коров с разным уровнем молочной продуктивности

В опыте использовали 26 коров 2—3-й лактации черно-пестрой породы с продуктивностью за предыдущую лактацию 3500, 4500 и 6000 кг. В каждой продуктивной категории коров выделяли контрольную (3-5 гол) и опытную (3-5 гол) группы. Базовый уро-

вень цинка в сухом веществе рационов (фактический) составил 25-28 мг/кг.

Опытные группы коров отличались повышенным (в 2 раза, т. е. 50 мг/кг) количеством цинка в сухом веществе корма, которое достигалось введением водного раствора сульфата цинка в комбикорм.

Двукратное увеличение уровня цинка в рационе не повлияло на состояние белкового, углеводного, жирового и минерального обменов.

Во всех опытных группах коров наблюдалось достоверное увеличение концентрации триидотиронина на 11-34%. В группе коров с удоем 6000 кг молока за лактацию наблюдалось повышение концентрации бетта-липопротеидов с 186 до 238 мг⁰%.

Влияние разного уровня цинка в рационе на метаболизм высокоудойных коров

Опыты проводили на протяжении первых 6 мес 2-й лактации в зимний период на 30 коровах-аналогах с продуктивностью за предыдущую лактацию 5000-5500 кг. Коровы были разделены на 3 группы по 10 гол. в группе, но находились в одинаковых условиях содержания, эксплуатации и кормления. Различия между группами заключались лишь в содержании цинка в рационе, который варьировали добавлением сульфата цинка в комбикорм.

Уровень цинка в рационе 1-й группы с учетом добавки составлял 90 мг/кг, во 2-й — 150 мг/кг, в 3-й (контрольной) — 30 мг/кг (фоновый уровень).

Исследования показали, что даже 5-кратное повышение содержания цинка в рационе высокопродуктивных лактирующих коров не оказывает достоверного влияния на основные показатели белкового, жирового и углеводного обмена.

Отмечены достоверные изменения показателей активности щитовидной железы, а также концентрации бетта-липопротеидов в крови животных.

*Обеспеченность коров цинком
и активность цинкзависимых
ферментов*

В обмене веществ животных выявлено несколько десятков ферментов, активность которых зависит от обеспеченности организма цинком [2, 11].

Двукратное увеличение уровня цинка в рационе коров не отразилось на активности щелочной фосфатазы.

Исследования показали, что алкогольдегидрогеназа (АДГ) крови молочных коров более отзывчива как по отношению к уровню продуктивности коров, так и к содержанию цинка в рационе животных. Этот фермент чувствителен к физиологическим изменениям, связанным с лактацией и беременностью. Так, у коров с удоем 3500 кг за лактацию максимум активности фермента приходится на середину лактации и минимум — на сухостойный и послеродовой период.

В группах коров с продуктивностью до 4500 кг наблюдалось снижение активности фермента АДГ на 23-55%. У коров с продуктивностью 5500 кг и выше реакция на добавку цинка была иной: наблюдалось существенное повышение активности фермента. У коров, не получавших добавок цинка, наблюдалась зависимость активности фермента АДГ от уровня продуктивности.

У низкопродуктивных коров активность АДГ была наиболее высокой. У коров с продуктивностью 4500 кг за предыдущую лактацию активность АДГ была ниже на 21,5%. У высокопродуктивных животных она составила 38,8%

от активности фермента коров 1-й группы.

Для прояснения ситуации мы изучили активность 3 цинкзависимых ферментов у коров-аналогов с высокой молочной доминантой и одинаковой продуктивностью, используя разные концентрации цинка в рационе (табл. 1).

Установлено, что высокие уровни цинка в рационе высокопродуктивных коров достоверно влияют на активность ферментных систем.

Тем не менее, имеются веские основания считать, что у высокопродуктивных лактирующих коров лишь алкогольдегидрогеназа крови может быть косвенным показателем обеспеченности цинком. Разница между 1-й и 3-й группой по данному показателю составила 3-кратную величину.

*Влияние добавок цинка в рацион
коров на содержание цинка в крови
и молоке*

Наши исследования показали, что повышение уровня цинка в рационе с 25 до 50 мг/кг сухого вещества оказывает несущественное влияние на концентрацию цинка в крови, молоке и молозиве коров с разной молочной продуктивностью. Лишь молозиво, полученное через 1 ч после отела, в опытной группе было достоверно богаче цинком (2173±79 мкг% против 1583±108 мкг%).

В среднем, в молозиве первого дня у коров опытной группы содержалось 2042 мкг% цинка, у коров контрольной группы — 1940 мкг%, что на порядок выше, чем в нормальном молоке этих животных (табл. 2 и 3).

Т а б л и ц а 1

Активность цинкзависимых ферментов крови коров при введении в рацион различных количеств цинка, ед. активности

Группа коров	АДГ	КАГ	ЩФ
1 (90 мг/кг)	104,2±18,60*	20,7±1,10	28,2±1,83
2 (150 мг/кг)	71,7±17,60	20,5±0,60	25,1±1,43
3 (контроль)	33,6±11,7*	17,6±1,65	25,6±2,46

П р и м е ч а н и е. Здесь и далее * — уровень достоверности 0,05.

Т а б л и ц а 2

Концентрация цинка в молозиве первого дня (продуктивность животных 3500 кг),

мкг%

Час после отела	Контроль	Опытная группа
0	1583+/108*	2173+/79*
2	2169+/26	2059+/94
4	2152+/121	2131+/15
6	1907+/167	1873+/27
12	1876+/55	1932+/42
24	1953+/137	2084+/44
В среднем	1940+/102	2042+/50

П р и м е ч а н и е. В табл. 2, 4, 5 в контроле уровень цинка в рационе 25 мг/кг, в опытной группе — 50 мг/кг.

Т а б л и ц а 3

Концентрация цинка в молоке коров

Группа коров	Уровень Zn в сухом веществе рациона, мг/кг	Содержание Zn в молоке, мкг%
1	90	269+/7
2	150	280+/4
3	30	286+/3

Введение в рацион больших доз сульфата цинка коровам с удоом 5000 кг привело к незначительному повышению концентрации цинка в крови. Разница между опытными и контрольной группами не превышала 14% и не всегда была достоверной. Не было изменений и в концентрации цинка в плазме крови, которая составила 83-94 мкг%.

Повышение уровня цинка в рационе до 90 и 150 мг/кг не оказало достоверного влияния на концентрацию элемента в молоке в условиях эксперимента (см. табл. 3).

В молоке коров всех 3 групп содержание цинка составляло 250-290 мкг%.

Показатели обмена каротина и витамина А у коров при разной обеспеченности цинком

Добавка сульфата цинка в рацион низкопродуктивных животных оказала существенное влияние как на концентрацию каротина, так и ретинола в крови.

За период наблюдений за счет добавки сульфата цинка концентрация каротина в крови коров достоверно повысилась на 20%, а концентрация ретинола — на 87%. Добавки сульфата цинка достоверно увеличивали концентрацию ретинола и в крови коров более высокой продуктивности — 4500 кг и 6000 кг.

В первом случае за период наблюдений увеличение в среднем составило 82%, во втором — 18%. Стимулирующий эффект цинка ярче проявлялся по отношению к ретинолу крови, а не к каротину. Межгрупповые различия по содержанию каротина были недостоверны.

Более высокие добавки сульфата цинка высокопродуктивным коровам (5000 кг) в зимний период наблюдений не изменили радикально картины предыдущих опытов. При фактическом потреблении цинка от 703 до 2700 мг на 1 гол. и потреблении каротина около 300 мг на 1 гол. уровень каротина в крови коров составлял 230-280 мкг%, витамина А — 15-20 мкг%. Статистически значимый прирост концентрации ретинола в крови коров 1-й группы составил 20%.

Содержание каротина и-витамина А в молоке изменялось под влиянием добавок цинка независимо от уровня продуктивности и типа рациона коров (табл. 4).

Для потребителя практическое значение имеет общая витаминная активность продукта. Расчеты показывают, что суммарная А-витаминная активность молока во всех опытах была выше при добавлении в корм сульфата цинка (рис. 1).

В группе коров с продуктивностью 3500 кг разница составила 17%, в категории продуктивности 4500 кг — 58%, в категории 6000 кг — 21%.

Трех- и пятикратное повышение цинка в рационе коров с продуктивностью 5000 кг так же, как и в выше описанных опытах повышало суммарную А-витаминную активность молока на 14-20%.

Таблица 4

Содержание каротина и витамина А в молоке коров с разным уровнем продуктивности, мкг%

Продуктивность коров, кг	Каротин		Витамин А	
	контроль	опытная группа	контроль	опытная группа
3500	52,1+1,37	62,8+0,73*	23,8+1,39	27,0+1,58
4500	29,3+0,88	32,0+1,11	8,2+1,27	13,7+1,28*
6000	33,0+0,95	35,1+1,49	10,9+1,10	15,6+1,13*

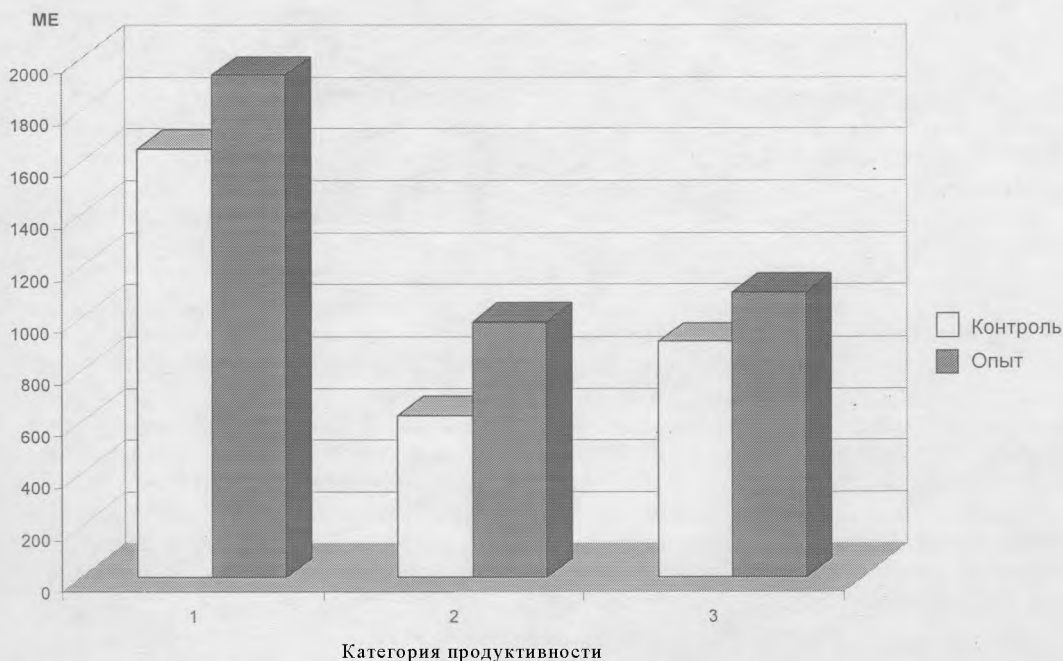


Рис. 1. Суммарная А-витаминная активность молока коров при 2-кратном увеличении цинка в сухом веществе корма (1 — 3500 кг, 2 — 4500 кг, 3 — 6000 кг)

Таким образом, во всех вариантах исследований за счет повышения содержания в рационе цинка в 2~5 раз по сравнению с фоновым уровнем имело место повышение суммарной А-витаминной ценности молока на 14-58% за счет выделения с молоком большего количества как провитамина (каротина), так и самого витамина А (ретинола).

Исследования показали, что добавки сульфата цинка могут существенно повлиять на концентрацию как каротина, так и ретинола в молозиве коров (табл. 5). Это важно, поскольку общая

резистентность новорожденных телят не в последнюю очередь определяется именно присутствием в их организме каротина и ретинола.

В первые 3 часа после отела коров в условиях обсуждаемого эксперимента содержание каротина в молозиве составляло 250-350 мкг%, а содержание ретинола — 300 — 700 мкг%. Однако уже через 5-6 ч после родов концентрация каротина в молозиве снизилась на 30-40%, витамина А — на 50-60%. За первые сутки после отела коров содержание каротина и витамина А в молозиве изменяется очень сильно.

Содержание каротина и ретинола (мкг%) в молозиве первого дня при различной обеспеченности коров цинком

Час после родов	Каротин		Ретинол	
	контроль	опытная группа	контроль	опытная группа
0	348+/13*	291+/8*	661+/23	650+/31
2	366+/27	345+/12	305+/17*	403+/20*
4	262+/20	228+/15	488+/21	424+/18
6	205+/17	187+/11	249+/16*	312+/16*
12	183+/6	167+/7	282+/18	296+/8
24	148+/9	159+/8	217+/13	231+/10
В среднем за день	262+/15	230+/10	350+/18	386+/17

Концентрация каротина в опытной и контрольной группах за 24 ч снизилась в 2 раза. Падение содержания ретинола составило 3-кратную величину по сравнению с его исходным уровнем.

Практически на протяжении всего периода наблюдений (12 дней) сохранялась тенденция более высокого уровня как витамина А, так и каротина в секрете молочной железы опытных коров. Достоверное снижение А-витаминной активности секрета молочной железы новотельных коров продолжается 3-5 дней.

Таким образом, повышение обеспеченности стельных коров цинком положительно сказалось на А-витаминной ценности молозива.

Уровни и механизмы взаимодействия цинка и ретиноидов в метаболизме жвачных животных

Наши исследования показали, что у жвачных животных из-за их морфофункциональных особенностей взаимодействие цинка с ретиноидами в обмене веществ носит сложный и многосторонний характер.

Взаимоотношения между цинком и ретиноидами на уровне преджелудков жвачных в литературе практически не освещены.

Трансформация каротина в рубце

Преджелудки сложного многокамерного желудка жвачных являются первым рубцом, на котором прослеживается взаимосвязь цинка с ретиноидами.

Анализ рубцовой жидкости коров на зимнем рационе при помощи метода жидкостной хроматографии высокого разрешения показал, что помимо каротина в ней присутствуют различные ретиноиды (рис. 2).

В составе ретиноидов рубцовой жидкости коров наибольший удельный вес приходится на эстерифицированную пальмитиновой кислотой форму витамина А — ретинилпальмитат (74%). Примерно в одинаковых частях присутствуют спиртовая форма витамина А — ретинол (13%) и ретинилацетат (12%). Остальные ретиноиды занимают менее 1%. Это ретиноевая кислота, ее эфиры и продукты нецентрального расщепления каротина ф-апо-8-каротиналь и др.).

Исследования показали, что за 3 ч инкубации нативной рубцовой жидкости коров разрушается более 80% ка-

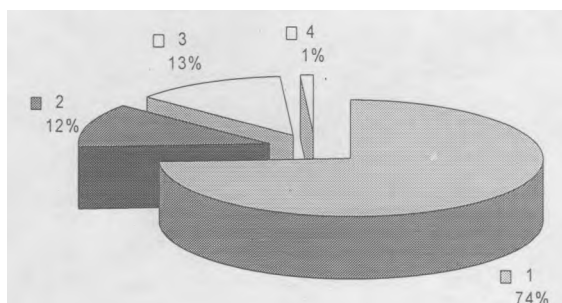


Рис. 2. Ретиноиды рубцовой жидкости коров на зимнем рационе (1 — ретинилпальмитат, 2 — ретинилацетат, 3 — ретинол, 4 — ретиноевая кислота, эфиры ретиноевой кислоты, апо-каротинали)

ротина. В противовес каротину содержание ретинола и ретинила за это время увеличилось. Спиртовая форма витамина А выросла на 12,7%, эстерифицированная форма — на 65,6%. Таким образом, исчезновение каротина из инкубационной среды представляется незаурядным разрушением его молекул, а трансформацией в ретиноиды. Однако коэффициент трансформации каротина в витамин А при этом невысок — всего 16,7%.

Следует подчеркнуть, что на соотношение отдельных ретиноидов в рубцовой жидкости большое влияние оказывает состав рациона и режим кормления. Так, у коров на концентратном рационе в рубцовой жидкости обнаружено больше эфиров витамина А, ретиноевой кислоты, метилретиноата. При кормлении коров люцерновым сеном в рубцовой жидкости животных выше доля витамина А в спирте. Через 2~3 ч после кормления концентрация всех ретиноидов в рубцовой жидкости понижается.

Для выяснения роли бактерий, инфузорий и плазмы рубцовой жидкости в процессе трансформации каротина в ретиноиды было проведено фракционирование рубцовой жидкости и раздельное инкубирование каждой фракции в предварительно автоклавированной плазме рубцовой жидкости с добавлением кристаллического каротина по методу [5].

В присутствии одних бактерий за 3ч из инкубационной среды исчезло 80,9% каротина и 13,9% ретинола. Параллельно в инкубационной среде концентрация ретинила увеличилась на 308%. При пересчете на молярную основу коэффициент трансформации каротина в условиях этого опыта за счет бактериальной деятельности составил 26%.

Инкубация каротина с инфузориями сопровождалась разрушением 66,6% каротина с образованием ретинола (+22,2%) и ретинила (+65,9%). На молярной основе это означает, что 10 ммоль каротина были трансформированы в 1 ммоль ретинола и 3 ммоль ретинила. Таким образом, коэффициент трансформации каротина составил 40%.

В плазме рубцовой жидкости (ее жидкой фракции), очищенной от микробов и пищевых частиц, зафиксирована высокая оксигенная активность (разрушение каротина составило 67,1%) и эстерифицирующая способность (приrost витамина А в эфирной форме составил 955%). За 3 ч инкубации образовалось 20 ммоль ретинила, из которых 5 ммоль могли быть результатом эстерификации ретинола, т. е. коэффициент трансформации каротина за счет плазмы рубцовой жидкости составил 66,6%.

Влияние добавок цинка на рубцовый метаболизм ретиноидов изучали *in vitro* с рубцовой жидкостью, которую получали от коров с хронической fistулой рубца через 3 ч после их кормления люцерновым сеном. Перед инкубацией в рубцовую жидкость добавляли (3-каротин в растворе Tween-80. Цинк вводили в виде сульфата в водном растворе. Результаты инкубации представлены в табл. 6.

Как видно из данных табл. 6, скорость редуции каротина зависела от концентрации цинка в инкубационной среде. Через 6 ч инкубации в контроле оставалось 48% каротина, в 1-м варианте — 52, во 2-м — 60, в 3-м — 59%. Добавки цинка не повлияли на концентрацию спиртовой формы витамина А. Наиболее высокая концентрация ретинила (243+32 мкг%) отмечена во 2-м варианте. Если в контроле ее максимальная концентрация (192+18 мкг%) наблюдалась через 2 ч инкубации (+44%), то в варианте 2 максимум приходился на 4-й час инкубации (+83%).

In vivo метаболизм каротина в желудке

Исследования проводили на 6 коз с разным уровнем цинка в рационе (25 и 50 мг/кг). У животных, подвергну-

Рубцовый метаболизм р-каротина *in vitro* под влиянием добавок сульфата цинка

Время инкубации, ч	Доза сульфата цинка по вариантам, мкг%	Каротин	Ретинол	Ретинил
0	Контроль — 190	2382+/181*	61+/6	133+/7*
2		1933+/178	73+/9	192+/18*
4		1612+/170*	66+/11	114+/16
6		1134+/227*	64+/10	141+/19
2	1 — 135	1651+/143*	81+/9	229+/12*
4		1276+/195	76+/8	243+/32*
6		1234+/164*	63+/10	241+/25*
2	2 — 180	1916+/140*	74+/7	203+/16*
4		1602+/170*	83+/12	187+/19
6		1433+/189*	86+/8	212+/21*
2	3 — 270	2014+/136	96+/15	209+/21
4		1875+/130*	83+/9	184+/17
6		1406+/192*	91+/13	196+/14*

ной анестезии, через 3 ч после кормления отбирали химус из разных отделов желудка.

Химус подвергали фракционированию и определяли в нативном химусе и его фракциях содержание каротина.

При потреблении животными одного и того же корма содержание каротина в сухом веществе химуса желудка опытных и контрольных животных было неодинаковым. Межгрупповые различия в преджелудках составили 20-50%, в сычуге — 19,8%.

Полученные результаты указывают на то, что в химусе опытных животных доля растворенного каротина была выше, чем в химусе контрольных животных. Следовательно, у животных опытной группы каротин корма, проходя через камеры желудка, лучше подготавливался для всасывания и трансформации в витамин А. Последний вывод убедительно доказывает следующая серия исследований.

Влияние добавок цинка на распределение каротина по фракциям желудочного химуса

Концентрация каротина в пищевых частицах химуса одинакова в опытной и контрольной группе и имеет тенден-

цию к повышению по мере движения химуса от рубца к сычугу (рис. 3).

Плотная эндогенная фракция аккумулирует каротин во всех отделах желудка. Однако этот процесс в опытной группе протекает более активно по всему желудку.

Если в рубце и сетке концентрация каротина в ПЭФ опытной группы на 15-56% превышает таковую контрольной группы, то межгрупповая разница показателя в сычуге достигает почти 3-кратной величины (160,3 против 57,5 мг/кг). В этой связи понятен смысл ассоциирования ПЭФ и каротина. Очевидно, что в наших исследованиях добавки цинка оптимизировали условия функционирования ПЭФ. Эта фракция химуса может влиять на трансформацию каротина в витамин А в нескольких направлениях: связывать и предохранять каротин от окисления в желудочно-кишечном тракте; обеспечивать активный транспорт молекул каротина к слизистой оболочке ЖКТ; связывать, предохранять от разрушения продукты гидролиза каротина, осуществлять их транспорт к слизистой тонкого отдела кишечника; активировать 15=15-каротиндиоxygenазу.

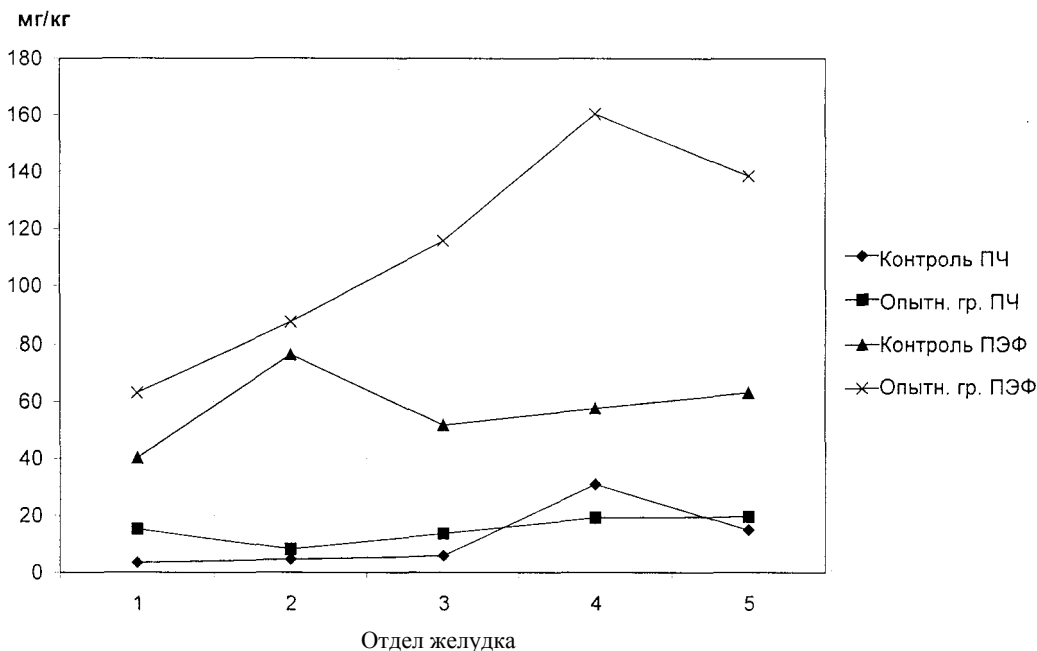


Рис. 3. Динамика изменения концентрации каротина в пищевых частицах (ПЧ) и плотной эндогенной фракции (ПЭФ) химуса (1 — рубец, 2 — сетка, 3 — книжка, 4 — сычуг, 5 — тощая кишка)

Распределение каротина по фракциям химуса в тонком и толстом отделах кишечника

В соответствии с традиционными представлениями тонкому кишечнику отводится роль места абсорбции каротина, его превращения в ретинол и абсорбции продуктов гидролиза каротина. Роль толстого отдела кишечника в метаболизме ретиноидов остается неясной. Здесь нет условий для абсорбции каротина или витамина А, молекулы которых имеют большую массу и размеры. К тому же гнилостные микроорганизмы толстого отдела способны разрушать различные органические вещества, включая ретиноиды. Тем не менее, у жвачных животных описан активный микробиологический синтез каротиноидов в толстом отделе, биологический смысл которого остается загадкой [6].

Наши исследования на козах показали, что после прохождения тонкого

отдела кишечника в химусе происходит накопление каротина, причем обеспеченность животных алиментарным цинком существенно влияет на этот процесс.

По мере прохождения химуса по толстому отделу кишечника (в расчете на сухое вещество) концентрация каротина в кишечном химусе контрольной группы возрастала на 218%, у животных опытной группы — на 249%.

Однако абсолютное значение данного показателя в контрольной группе значительно выше. Например, в химусе прямой кишки контрольных животных концентрация каротина достигла 145,6, в опытной — 31,2 мг/кг сухого вещества. В нативном химусе концентрация каротина была ниже.

Анализ распределения каротина по фракциям химуса указывает на то, что добавки цинка стимулировали ассоциирование каротина с плотной эндогенной фракцией не только в желудке, но и на протяжении всего кишечника.

Плотная эндогенная фракция в химусе тощей кишки подопытных коз содержала (в расчете на сухое вещество) 138,5 мг/кг каротина против 63,0 мг/кг в контроле. Существенной разницы оставалась и на уровне ободочной (+50%) и прямой кишки (+230%). Таким образом, при более высокой обеспеченности животных цинком изменяется распределение ретиноидов по фракциям, увеличивается доля каротина, ассоциированная с плотной эндогенной фракцией химуса. В конечном счете повышается эффективность использования и трансформации алиментарного каротина.

Выводы

1. В метаболизме жвачных животных существует многоуровневое взаимодействие между цинком и ретиноидами. Оптимизация цинкового питания жвачных животных улучшает статус витамина А в их организме.
2. Трансформация каротина у жвачных начинается в преджелудках. *In vitro* коэффициент трансформации каротина в рубце составил 16,7%. Набор ретиноидов рубцовой жидкости коров на зимнем рационе на 80-90% представлен эстерифицированной пальмитиновой и уксусной кислотами формой витамина А, на 10-15% — ретинолом-спиртом. Около 1% занимают ретиноевая кислота, метилретиноат и продукты нецентрального расщепления молекулы каротина (8-апо-Р-каротиналь и др.).
3. Особая роль в метаболизме каротина в ЖКТ жвачных принадлежит полостной слизи (ПЭФ). Высокая каротиноксигеназная и эстерифицирующая активность плазмы рубцовой жидкости, вероятно, связана с полост-

ной слизью. Концентрация каротина в сухом веществе ПЭФ рубца и сетки составляет 40-80, в пищевых частицах — 3-15 мг/кг.

4. Уровень цинка в рационе жвачных существенно влияет на адсорбцию каротина полостной слизью ЖКТ. При повышении уровня цинка в зимнем рационе коз с 25 до 50 мг/кг концентрация каротина в сухом веществе ПЭФ возрастала в рубце с 40,2 до 62,9 мг/кг, в сычуге — с 57,5 до 160,3, тощей кишке — с 63,0 до 138,5, ободочной кишке — с 75,4 до 113,1 и в прямой кишке с 47,5 до 199,9 мг/кг.

5. Концентрация каротина и витамина А в крови и молоке коров зависит от их обеспеченности цинком. Оптимизация цинкового питания лактирующих коров сопровождается повышением суммарной А-витаминной активности молока и молока.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Вальдман А.р.* Витамины в животноводстве. Рига: Зинатне, 1977. — 2. *Георгиевский В.И., Анненков Б.Н., Самохин В.Т.* Минеральное питание животных. М.: Колос, 1979. — 3. *Георгиевский В.И., Полякова Е.П.* Роль катионов в структурировании химуса // Докл. ТСХА, 1998. Вып. 265. С. 258-261. — 4. *Дмитровский А.А.* Витамин А. Экспериментальная витаминология. Минск: Наука и техника, 1979. С. 131-175. — 5. *Иванов А.А.* Трансформация каротина в рубце жвачных животных // Изв. ТСХА, 1994. Вып. 1. С. 173-181. — 6. *Пивняк И.Г., Тараканов Б.В.* Микробиология пищеварения жвачных. М.: Колос, 1982. — 7. *Cullison M.E., Lowry R.S.* // Reston Book, 1987. — 8. *Cullum M.E., Zile M.H.* // Analytical biochemistry, 1986, 153. P. 23-32. — 9. *Ong D.E.* // Nutr. Rev., 1985. V. 43, 8. P. 240-244. — 10. *Ross A.C.* // J.Nutr., 1993, 123. P. 346-350. — 11. *Valee B.L., Falchuk K.H.* // Physiol. Rev., 1993. V. 73, 1. P. 79-106.

SUMMARY

The mechanism of zinc-retinoids interaction in metabolism of ruminants was studied. Dairy cows, wethers and lactating goats were used in experiments. During experiments *in vitro*, *in situ* and also *in vivo* the influence of different oral zinc doses in sulphate form on retinoid metabolism indices was studied by groups and periods methods. It was determined that beta-carotin transformation in ruminants starts in proventriculuses under the influence of symbiotic microorganisms, whose activity depends on zinc level in animal ration. The key role of dense endogenous chime fraction in gastro-intestinal exchange of carotin was shown. It was determined that cavernous mucus absorbs both zinc and carotin from feed particles. The conclusion is that there are at least 3 different places of zinc-retinoids interaction: proventriculuses, intestinal environment and liver in organism of ruminants, it is possible to rise considerably the use of alimentary carotin and total (carotin + retinal) A -vitamin value of milk obtained due to zinc nutrition optimization.