

УДК 636.39.034.085.13/15:612.664.3.....doi: 10.25687/1996-6733.prodanimbiol.2018.3.65-74

## **ФОРМИРОВАНИЕ СУБСТРАТНОГО БАЛАНСА В МОЛОЧНОЙ ЖЕЛЕЗЕ И ПРОДУКЦИЯ БЕЛКА У КОЗ ПРИ СКАРМЛИВАНИИ ВЫСОКОПРОТЕИНОВОГО РАЦИОНА С ДОБАВКАМИ АЦЕТАТА ИЛИ ПРОПИОНАТА НАТРИЯ**

Макар З.Н., Черепанов Г.Г.

*ВНИИ физиологии, биохимии и питания животных - филиал ФНЦ животноводства  
ВИЖ им. Л.К. Эрнста, Боровск Калужской обл., Российская Федерация*

Опыт проведен методом латинского квадрата на трех группах коз по три головы в каждой, находившихся к началу опыта на 2-м месяце лактации. Продолжительность каждого из периодов опыта составляла три недели. В исходном периоде козы получали основной рацион (ОР) с рекомендуемым уровнем доступного протеина (ДП) и обменной энергии. В опытных периодах к основному рациону добавляли соевый шрот в количестве 150 г, соответствующем 10%-му приросту доступного сырого протеина, а также 90 г ацетата натрия 3-х водного и 36 г пропионата натрия на голову в сутки, что соответствовало 3% от обменной энергии рациона. В конце каждого опытного периода брали пробы молока и крови из яремной и молочной вен перед утренним кормлением и через 3 и 7 ч после кормления. Плазмоток через вымя определяли расчетным путем по соотношению выхода  $\alpha$ -аминоазота с белком молока и артериовенозной разности (АВР) концентрации аминокислот по молочной железе. Активность транспорта аминокислот в секреторные клетки ( $T$ , л/час), оценивалась в единицах клиренса по формуле:  $T=Q \cdot E / (1-E)$ , где  $Q$  – объёмная скорость кровотока (плазмотока) через молочную железу, мл/час и  $E$  – эффективность извлечения из крови;  $E=100 \cdot (c_a - c_v) / c_a$ ;  $c_a$  и  $c_v$  – концентрация субстрата в плазме крови яремной и молочной вен соответственно. При скормливании добавок СШ, СШ+А и СШ+П молочная продуктивность повысилась соответственно на 8,2%, 14,7% ( $P<0.05$ ), 13,3% ( $P<0.05$ ) и выход белка с молоком соответственно на 9,5%, 18,9% ( $P<0.05$ ), 16,1% ( $P<0.05$ ) по сравнению с ОР. Добавка ацетата или пропионата к высокопротеиновому рациону снижала уровень мочевины в молоке ( $P<0.05$ ), что свидетельствует о более эффективном использовании аминокислот на продуктивные цели. Включение в рацион протеиновой добавки увеличило плазмоток в молочной железе. Скармливание протеиновой добавки совместно с ацетатом или пропионатом натрия оказало дополнительное стимулирующее влияние на плазмоток. Активность транспорта аминокислот в секреторные клетки при включении в рацион кормовых добавок была выше, чем на основном рационе. Заключение, что выявленный продуктивный эффект был в существенной мере связан с положительными сдвигами в показателях органного кровотока и формировании субстратного баланса в молочной железе.

*Ключевые слова: козы, протеиновые и энергетические добавки, молочная железа, скорость кровотока, выход молочного белка*

*Проблемы биологии продуктивных животных, 2018, 4: 65-74*

### **Введение**

Хотя существующие стандарты товарной ценности молочного сырья ориентируют производителей на достижение высоких показателей белкомолочности и продукции молочного белка, они не всегда достигаются в реальных условиях, так как ассортимент способов и препаратов, применяемых с этой целью, намного более ограничен, по сравнению с набором кормовых и химических средств, применяемых для повышения содержания жира молока (Maskie, Ваuman, 1998; Черепанов и др., 2004). При попытках повысить продукцию

молочного белка за счет дополнительного введения аминокислот иногда наблюдается положительный эффект, но в целом результаты мало воспроизводимы и продуктивный отклик плохо прогнозируется на современном этапе. По мере роста отношения доступного для усвоения протеина к величине удоя наблюдается спад эффективности конверсии протеина в молочный белок, индуцируются процессы катаболизма аминокислот, и избыток азота выводится с мочой (Metcalf, 1996; Bauman, Mackle, 1997; Bequette et al., 1998; Hanigan et al., 1998; Черепанов, Макар, 2004). С другой стороны, накапливаются данные о том, что повышение поступления в организм энергетических субстратов может влиять на конверсию аминокислот в белок молока (Purdie et al., 2008; Huhtanen et al., 2002; Rigout et al., 2003; Rulquin et al., 2004). В основе этого эффекта могут лежать как общие закономерности взаимодействия протеина и энергии на уровне организма, так и специфические адаптивные сдвиги в кровоснабжении и метаболизме секреторных клеток желез. В опытах с инфузиями субстратов в пищеварительный тракт коров нами установлено, что аминокислоты в сочетании с глюкозой или пропионатом повышают продукцию молочного белка в результате увеличения кровотока вымени и поглощения аминокислот органом (Макар и др., 2007; Макар, 2012).

Цель исследования – изучение особенностей молокообразования и метаболизма у коз при обогащении их рациона протеином в сочетании с добавками натриевых солей уксусной и пропионовой кислот.

### Материал и методы

Опыт проведен в условиях вивария института методом латинского квадрата на трех группах коз по три головы в каждой, находившихся на стадии установившейся лактации. Продолжительность каждого периода опыта составляла три недели. Схема проведения опыта представлена в табл. 1.

Таблица 1. Схема проведения опыта

Группы животных	Уравнительный период	Опытный период		
		1	2	3
1	ОР	ОР+СШ	ОР+СШ+П	ОР+СШ+А
2	ОР	ОР+СШ+П	ОР+СШ+А	ОР+СШ
3	ОР	ОР+СШ+А	ОР+СШ	ОР+СШ+П

Примечания: ОР – основной рацион, СШ – соевый шрот, А – ацетат натрия, П – пропионат натрия.

Основной рацион, включавший сено, размолотое зерно и подсолнечный шрот, составляли индивидуально по детализированным нормам (Калашников и др., 2003) с учётом живой массы и продуктивности. В течение опытного периода к основному рациону добавляли соевый шрот в количестве 150 г, соответствующем 10% прироста доступного сырого протеина. Ацетат и пропионат натрия скармливали с комбикормом в дозе, в энергетическом эквиваленте соответствующей 3% от содержания обменной энергии в рационе (в среднем 90 г ацетата натрия 3-водного и 36 г пропионата натрия на голову в сутки). Доеение и кормление подопытных коз было двухразовым. Ежедневно учитывали поедаемость корма и суточный удой. В конце каждого периода опыта брали пробы молока и крови из яремной и молочной вен перед утренним кормлением и через 3 и 7 ч после кормления.

Состав молока определяли на анализаторе молока LactoStar («Funke-Dr.N.Gerber Labortechnik GmbH», Германия). Содержание мочевины в молоке определяли с помощью набора реагентов Urea 450 фирмы «Лаксема». В плазме крови определяли содержание α-аминоазота (Mitsukawa et al., 1971), глюкозы – глюкозооксидазным методом, триацилглицеролов – энзиматическим методом (набор реагентов фирмы «Витал Диагностик СПб»), β-оксибутирата и НЭЖК – энзиматическим методом (наборы реагентов Hydroxybutyrate и NEFA фирмы «Randox», Великобритания). Поскольку концентрация указанных субстратов в артериальной крови и крови яремной вены у продуктивных жвачных

животных различается незначительно (Sears et al., 1978; Gagliostro et al., 1991; Lykos, Varga, 1996; Nielsen et al., 2001), вместо показателей артериальной крови использовали данные по крови яремной вены.

Плазмоток через вымя определяли расчётным путем по соотношению выхода  $\alpha$ -аминоазота с белком молока и артерио-венозной разности (АВР) концентрации аминокислот по молочной железе (Yang et al., 1978).

Активность транспорта аминокислот в секреторные клетки ( $T$ , л/час), оценивалась в единицах клиренса по формуле (Черепанов и др., 2001):  $T=Q \cdot E / (1-E)$ , где  $Q$  – объёмная скорость плазмотока через молочную железу,  $E$  – эффективность извлечения из крови:  $E=100 \cdot (c_a - c_v) / c_a$ , где  $c_a$  и  $c_v$  – концентрация субстрата в плазме крови яремной и молочной вен соответственно.

## Результаты и обсуждение

Скармливание протеиновой добавки в сочетании с ацетатом и пропионатом натрия способствовало повышению удоя и продукции белка молока и лактозы (табл. 2). Кроме того, ацетат положительно влиял и на продукцию молочного жира.

Таблица 2. Среднесуточный удой и продукция основных компонентов молока (M $\pm$ m, n=3)

Показатели	Периоды опыта			
	ОР	ОР+СШ	ОР+СШ+А	ОР+СШ+П
Среднесуточный удой, г	1274 $\pm$ 121,3	1378 $\pm$ 50,7	1461 $\pm$ 47,9*	1443 $\pm$ 51,7*
Жир, г	46,4 $\pm$ 5,04	43,1 $\pm$ 2,06	49,3 $\pm$ 2,29	44,5 $\pm$ 2,20
Белок, г	37,9 $\pm$ 2,59	41,5 $\pm$ 1,67	45,1 $\pm$ 1,62*	44,0 $\pm$ 1,85*
Лактоза, г	59,1 $\pm$ 5,55	62,4 $\pm$ 2,28	66,4 $\pm$ 1,74*	67,0 $\pm$ 4,53

Примечания: здесь и далее в таблицах: ОР – основной рацион; СШ – соевый шрот; А – ацетат; П – пропионат; \*P<0,05 по  $t$ -критерию при сравнении с ОР.

При обогащении рациона протеином соевого шрота, ацетатом и пропионатом, содержание в крови  $\beta$ -оксибутирата, триацилглицеролов (ТАГ), глюкозы и аминокислот перед кормлением существенно не изменялось в сравнении с контролем (табл. 3). При даче ацетата и пропионата наблюдалась тенденция к повышению и снижению концентрации НЭЖК соответственно (табл. 3).

Через 3 ч после кормления наблюдалось снижение содержания в крови ТАГ при скармливании соевого шрота и соевого шрота в сочетании с ацетатом и пропионатом, в сравнении с основным рационом (табл. 4). Добавка пропионата понижала содержание в крови НЭЖК (табл. 4); при этом содержание в крови  $\beta$ -оксибутирата, глюкозы и аминокислот не изменялось.

Через 7 ч после кормления содержание в крови НЭЖК и ТАГ при скармливании соевого шрота в сочетании с пропионатом оставалось сниженным (табл. 5). Пониженное содержание ТАГ отмечено также при скармливании соевого шрота и соевого шрота в сочетании с ацетатом. По концентрации  $\beta$ -оксибутирата, глюкозы и аминокислот существенных изменений не отмечено.

Дача животным добавок соевого шрота и соевого шрота в сочетании с ацетатом и пропионатом не оказала влияния на артериовенозную разность (АВР) по глюкозе перед кормлением (табл. 6); через 7 ч после кормления АВР по глюкозе была понижена на фоне дачи соевого шрота в сочетании с пропионатом (табл. 8). Через 3 ч после кормления обе добавки понижали АВР по  $\alpha$ -аминоазоту (табл. 7).

При скармливании одной протеиновой добавки и в сочетании с энергетическими субстратами, АВР по ТАГ в молочной железе, измеренная перед кормлением, была в среднем ниже в сравнении с основным рационом (табл. 6). Через 3 и 7 ч после кормления при даче одного соевого шрота и соевого шрота в сочетании с пропионатом АВР по ТАГ оставалась

ниже, чем на основном рационе, а скармливание соевого шрота в сочетании с ацетатом её повышало (табл. 7, 8).

**Таблица 3. Содержание в крови яремной вены основных предшественников молока перед кормлением (M ±m, n=3)**

Показатели	Периоды опыта			
	ОР	ОР+СШ	ОР+СШ+А	ОР+СШ+П
НЭЖК, мг/дл	3,8±0,51	4,2±0,53	5,0±0,48	3,3±0,75
β-оксибутират, мг/дл	2,4±0,19	2,6±0,22	2,6±0,12	2,3±0,18
Триацилглицеролы, мг/дл	10,0±0,67	9,9±0,51	9,8±0,63	9,8±0,80
Глюкоза, ммоль/л	3,15±0,08	3,16±0,23	3,01±0,15	3,26±0,17
α-аминоазот, мг/дл	4,3±0,22	4,3±0,34	4,7±0,38	4,5±0,43

**Таблица 4. Содержание в крови яремной вены основных предшественников молока через 3 ч после кормления (M ±m, n=3)**

Показатели	Периоды опыта			
	ОР	ОР+СШ	ОР+СШ+А	ОР+СШ+П
НЭЖК, мг/дл	3,1±0,50	3,6±0,56	4,4±0,48*	2,7±0,56
β-оксибутират, мг/дл	2,7±0,12	2,8±0,12	2,7±0,10	2,5±0,14
Триацилглицеролы, мг/дл	11,8±0,49	10,0±0,63*	10,2±0,51*	9,9±0,65*
Глюкоза, ммоль/л	3,52±0,09	3,48±0,15	3,58±0,12	3,53±0,19
α-аминоазот, мг/дл	4,1±0,22	4,0±0,16	4,0±0,29	4,0±0,30

**Таблица 5. Содержание в крови яремной вены основных предшественников молока через 7 ч после кормления (M ±m, n=3)**

Показатели	Периоды опыта			
	ОР	ОР+СШ	ОР+СШ+А	ОР+СШ+П
НЭЖК, мг %	4,6±0,59	3,4±0,44	4,4±0,36	2,4±0,44*
β-оксибутират, мг%	2,5±0,15	2,3±0,08	2,4±0,12	2,3±0,07
Триацилглицеролы, мг%	11,2±0,41	10,9±0,65	10,5±0,97	9,1±0,65*
Глюкоза, ммоль	2,95±0,10	3,09±0,23	2,83±0,23	2,81±0,19
α-аминоазот, мг%	4,1±0,19	4,1±0,21	4,4±0,26	4,2±0,23

**Таблица 6. Артериовенозная разность концентраций основных предшественников компонентов молока в молочной железе перед кормлением (M ±m, n=3)**

Показатели	Периоды опыта			
	ОР	ОР+СШ	ОР+СШ+А	ОР+СШ+П
Глюкоза, моль/л	0,93±0,08	1,0±0,29	0,91±0,26	0,95±0,25
Триацилглицеролы, мг%	4,4±0,40	3,7±0,71	3,4±0,89	3,1±0,60
α-аминоазот, мг%	1,1±0,13	1,5±0,20	1,5±0,58	1,0±0,31

**Таблица 7. Артериовенозная разность концентраций в крови по основным предшественникам компонентов молока через 3 ч после кормления (M ±m, n=3)**

Показатели	Периоды опыта			
	ОР	ОР+СШ	ОР+СШ+А	ОР+СШ+П
Глюкоза, моль/л	0,97±0,06	0,76±0,11	0,88±0,07	0,77±0,09
Триацилглицеролы, мг/дл	5,4±0,56	3,6±0,26*	5,0±0,24	2,8±0,42*
α-аминоазот, мг/дл	1,7±0,18	0,7±0,27*	0,8±0,20*	0,9±0,17*

Введение в рацион энергетических добавок не оказало существенного влияния на АВР концентрации аминокислот, измеренную перед кормлением (табл. 6). Однако через 3 ч после кормления АВР по аминокислотам существенно снижалась на фоне дачи обеих добавок (табл. 7); через 7 ч после кормления во всех периодах опыта она была практически на одном уровне (табл. 8).

Эффективность извлечения из крови  $[E=(c_a-c_v)/c_a]$  ТАГ при скармливании одного соевого шрота и соевого шрота в сочетании с ацетатом перед кормлением была в среднем выше, чем на основном рационе, а при дачи соевого шрота в сочетании с пропионатом – ниже, чем в контроле (табл. 9).

*Таблица 8. Артериовенозная разность концентраций в крови по основным предшественникам компонентов молока через 7 ч после кормления (M±m, n=3)*

Показатели	Периоды опыта			
	ОР	ОР+СШ	ОР+СШ+А	ОР+СШ+П
Глюкоза, моль/л	0,77±0,03	0,76±0,13	0,83±0,15	0,64±0,04*
Триацилглицеролы, мг/дл	4,3±0,35	2,9±0,35*	4,4±0,76	2,8±0,68
α-аминоазот, мг/дл	1,1±0,17	0,9±0,16	0,9±0,18	1,0±0,15

*Таблица 9. Эффективность извлечения из крови основных предшественников компонентов молока перед кормлением, % (M±m, n=3)*

Показатели	Периоды опыта			
	ОР	ОР+СШ	ОР+СШ+А	ОР+СШ+П
Глюкоза, %	29,7±2,4	32,9±7,16	28,0±7,37	28,9±6,39
Триацилглицеролы, %	25,7±2,40	30,8±4,41	28,8±7,10	21,2±5,37
α-аминоазот, %	44,4±1,26	35,0±7,62	30,8±7,61	30,9±5,32*

*Таблица 10. Эффективность извлечения из крови основных предшественников компонентов молока через 3 ч после кормления, % (M±m, n=3)*

Показатели	Периоды опыта			
	ОР	ОР+СШ	ОР+СШ+А	ОР+СШ+П
Глюкоза, %	27,8±1,27	22,7±3,01	24,7±2,19	20,7±2,04*
Триацилглицеролы, %	43,6±2,93	36,3±5,44	47,9±4,49	26,8±4,30*
α-аминоазот, %	27,2±2,17	18,9±7,19	18,9±3,24*	21,7±4,43

Через 3 ч после кормления, при скармливании СШ в сочетании с пропионатом эффективность извлечения из крови ТАГ снижалась, по сравнению с ОР, а в сочетании с ацетатом натрия она повышалась (табл. 10).

*Таблица 11. Эффективность извлечения из крови основных предшественников компонентов молока через 7 ч после кормления (M±m, n=3)*

Показатели	Периоды опыта			
	ОР	ОР+СШ	ОР+СШ+А	ОР+СШ+П
Глюкоза, %	24,8±1,10	26,3±3,87	27,1±3,07	22,7±2,21
Триацилглицеролы, %	37,1±2,69	29,8±5,02	39,6±5,05	30,9±7,72
α-аминоазот, %	24,4±3,64	19,3±4,10	21,6±3,80	21,9±2,78

Через 7 ч после кормления эффективность извлечения из крови на фоне дачи СШ и СШ в сочетании с пропионатом оставалась пониженной. Обе добавки понижали эффективность извлечения из крови аминокислот перед кормлением и через 3 и 7 ч после кормления (табл. 9-11).

Введение в рацион протеиновой добавки увеличило плазмоток в молочной железе. Скармливание протеиновой добавки совместно с ацетатом или пропионатом оказало дополнительное стимулирующее влияние на плазмоток (рис. 1). При включении в рацион кормовых добавок активность транспорта аминокислот в секреторные клетки ( $T$ ) была выше, чем на основном рационе (рис. 2). При скармливании добавки соевого шрота величина поглощения ТАГ молочной железой ( $Q^*(c_a-c_v)$ , мг/мин) снизилась против контроля, при

применении добавки СШ+ацетат она было выше, чем в контроле (рис. 3). Введение в рацион каждой из добавок повышало поглощение глюкозы молочной железой (рис. 4).

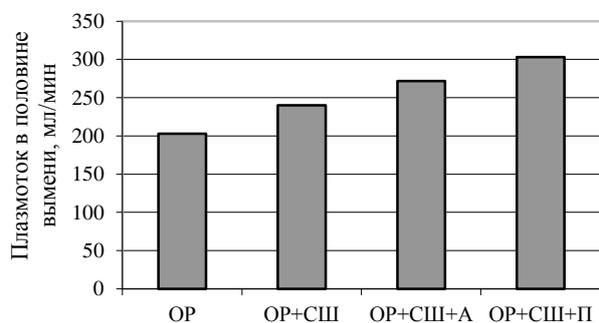


Рис. 1. Плазмоток в половине вымени, мл/мин.

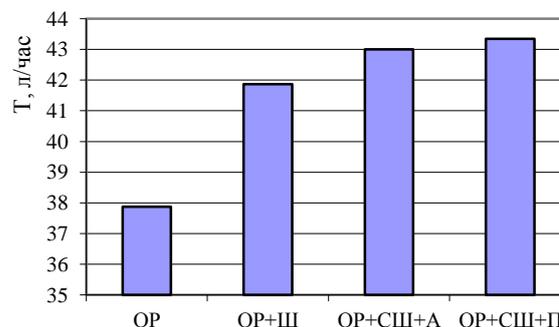


Рис. 2. Активность транспорта аминокислот в секреторные клетки (T), л/час.

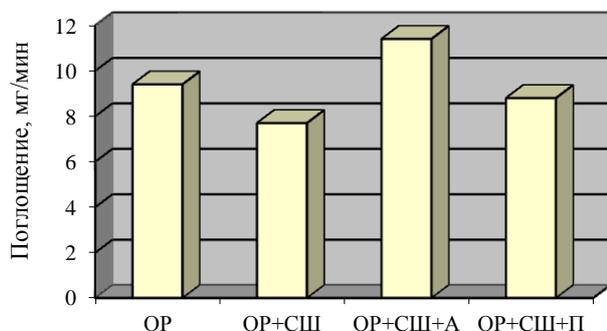


Рис. 3. Поглощение триацилглицеролов молочной железой.

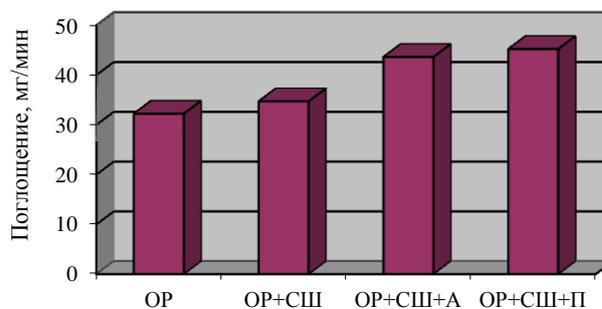


Рис. 4. Поглощение глюкозы молочной железой.

Положительный продуктивный эффект добавок ацетата и пропионата сопровождался более эффективным использованием аминокислот, по сравнению с применением высокопротеинового рациона, так как при этом снижалось содержание мочевины в молоке с 11,2 до 9,1 ммоль/л ( $P < 0,05$ ). Известно, что концентрация мочевины в молоке тесно коррелирует с содержанием ее в крови и моче (Kohn et al., 2002), поэтому можно предположить, что использование ацетата и пропионата способствовало предотвращению снижения конверсии протеина корма в молочный белок при скармливании высокопротеиновых рационов.

Судя по результатам исследования состава крови и артериовенозного баланса субстратов в молочной железе, действие ацетата и пропионата характеризуется разной степенью влияния на показатели обмена липидов, глюкозы и аминокислот. Положительный продуктивный эффект был связан со стимуляцией кровотока в вымени и активности транспорта аминокислот и глюкозы в секреторные клетки молочной железы.

Согласно существующим представлениям, система регуляции клеточного метаболизма в нормальных физиологических условиях действует по принципу поддержания баланса энергии, т.е. уравнивания энергозатрат на синтез компонентов молока с поступлением энергетических субстратов из крови. При отрицательном балансе происходит сдвиг пулов адениновых нуклеотидов в сторону накопления АМФ и аденозина, а диффундирующий из клетки аденозин (или функционально связанные с ним медиаторы) оказывает вазодилаторное действие, компенсируя недостаток энергии. Установлено также, что активность трансмембранного переноса основных субстратов синтеза в клетки секреторного

эпителия может регулироваться клеткой в зависимости от соотношения внутриклеточной концентрации метаболитов и потребности клетки в субстратах для биосинтеза компонентов молока (рис. 5).

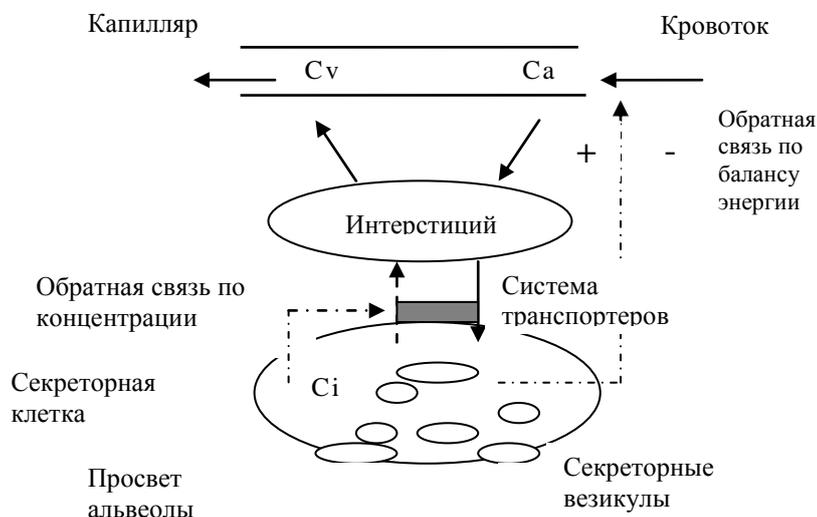


Рис. 5. Схема сопряженной регуляции кровоснабжения молочной железы и её функциональной активности.  $C_a$ ,  $C_v$  и  $C_i$  — концентрации основных водорастворимых субстратов (аминокислоты, глюкоза) соответственно в артериальной, венозной крови и в цитозоле секреторной клетки.

В ранее проведенных исследованиях было установлено, что активность транспорта аминокислот в клетки молочной железы положительно коррелирует со скоростью продукции молочного белка (Черепанов, Макар, 2010). Величину общего поглощения субстрата молочной железой (г/час) можно выразить произведением внеклеточной концентрации, которую в первом приближении можно считать уравновешенной с концентрацией в венозной крови  $c_v$  (г/л), и активности транспорта субстрата  $T$  (л/час) внутрь клеток. Вариации величины  $T$  связаны с количеством молекул переносчиков (транспортеров) на мембранах секреторного эпителия. При дефиците отдельных аминокислот в клетке, возникающем при интенсификации белкового синтеза (в том числе при применении энергетических добавок), индуцируются положительные сдвиги в системах транспортеров.

### Заключение

Повышенное потребление доступного протеина (в пределах 10% сверх рекомендуемых норм) в сочетании со скармливанием добавки ацетата или пропионата натрия (в энергетическом эквиваленте около 3% от обменной энергии) обеспечивает у коз на стадии установившейся лактации повышение удоя на 13-15% и продукции белка на 16-19%, по сравнению с основным рационом. Добавка ацетата или пропионата к высокопротеиновому рациону снижает уровень мочевины в молоке, что свидетельствует о более эффективном использовании аминокислот на продуктивные цели. Выявленный продуктивный эффект связан с положительными сдвигами в показателях органного кровотока и поглощения аминокислот и глюкозы молочной железой.

Полученные данные дают основание предполагать, что эмпирически устанавливаемая норма потребности лактирующих жвачных животных в доступном протеине (аминокислотах) не есть величина постоянная, и она может существенно модифицироваться в зависимости от уровня и соотношения поступающих в организм нутриентов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Калашников А.П. (Ред.) Нормы и рационы кормления сельскохозяйственных животных. Справочное пособие. – М.: Агропромиздат, 2003. – 456 с.
2. Макар З.Н., Корнеева Р.И., Сапунов М.И., Черепанов Г.Г. О механизмах влияния факторов питания на функциональную активность молочной железы у жвачных животных // Проблемы биологии продуктивных животных. – 2007. – № 1. – С. 52-61.
3. Макар, З.Н. Регуляция кровоснабжения и функциональной активности молочной железы у жвачных животных: автореф. дисс. ...д.б.н. – Боровск, 2012. – 48 с.
4. Черепанов Г.Г., Решетов В.Б., Агафонов В.И., Макар З.Н. Научно-технологические приоритеты в области производства молочного сырья // Зоотехния. – 2004. – № 12. – С. 17-20.
5. Черепанов Г.Г., Макар З.Н. Физиолого-биохимические аспекты регуляции продукции молочного белка у жвачных животных // Сельскохозяйственная биология. – 2004. – № 4. – С. 24-36.
6. Черепанов Г.Г., Макар З.Н. Физиологические факторы, лимитирующие молочную продуктивность при гормональной стимуляции лактопоеза у продуктивных жвачных животных // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2010. – № 6. – С. 50-53.
7. Bauman D.E., Mackle T.R. Amino acid supply and the regulation of milk protein synthesis // In: Proc. Cornell Nutr. Conf. Feed Manuf. – Rochester, NY., Cornell Univ., Ithaca, NY. – 1997. – P.196-207.
8. Bequette B.J., Backwell F.R.C. and Crompton L.A. Current concepts of amino acid and protein metabolism in the mammary gland of the lactating ruminant // J. Dairy Sci. – 1998. – Vol. 81. – No. 9. – P. 2540-2559.
9. Hanigan M.D., Cant J.P., Weakley D.C., Beckett J.L. An evaluation of postabsorptive protein and amino acid metabolism in the lactating dairy cow // J. Dairy Sci. – 1998. – Vol. 81. – No. 12. – P. 3385-3401.
10. Huhtanen P., Huhtanen P., Vanhatalo A., Varvikko T. Effects of abomasal infusions of histidine, glucose and leucine on milk production and plasma metabolites of dairy cows fed grass silage diets // J. Dairy Sci. – 2002. – Vol. 85. – No. 1. – P. 204-216.
11. Gagliostro G., Chilliard Y., Davicco Y.-J. Duodenal rapeseed oil infusion in early and midlactation cows. 3. Plasma hormones and mammary apparent uptake of metabolites // J. Dairy Sci. – 1991. – Vol. 74. – P. 59-67.
12. Kohn R.A., Kalscheur K.F., Russek-Cohen E. Evaluation of models to estimate urinary nitrogen and expected milk urea nitrogen // J. Dairy Sci. – 2002. – Vol. 85. – P. 227-233.
13. Lykos T., Varga GA. Varying degradation rates of total nonstructural carbohydrates: effects on nutrient uptake and utilization by the mammary gland in high producing Holstein cows // J. Dairy Sci. – 1997. – Vol. 80. – No. 12. – P. 3356-3367.
14. Mackie T.R., Bauman D.E. Recent developments in the regulation of milk protein production // In: Proceedings of the Cornell Nutrition Conference for Feed Manufacturers. – Cornell University, Ithaca, N.Y., 1998. – P. 104-113.
15. Metcalf J.A., Wray-Cahen D., Chettle E.E., Sutton J.D., Beever D.E., Crompton L.A., MacRae J.C., Bequette B.J., Backwell F.R.C. The effect of increasing levels of dietary crude protein as protected soybean meal on mammary metabolism in the lactating dairy cow // J. Dairy Sci. – 1996. – Vol. 79. – P. 603-611.
16. Mitsukawa H., Shimizu O., Nishi, H. Colorimetric determination of  $\alpha$ -amino nitrogen in urine and plasma with ninhydrin reaction // Agric. Biol. Chem. 1971. – Vol. 35. – No. 2. – P. 272-274.
17. Nielsen M.O., Madsen T.G., Hedeboe A.M. Regulation of mammary glucose uptake in goats: role of mammary gland supply, insulin, IGF-1 and synthetic capacity // J. Dairy Res. – 2001. – Vol. 68. – P. 337-349.
18. Purdie N.G, Trout D.R, Poppi D.P, Cant J.P. Milk synthetic response of the bovine mammary gland to an increase in the local concentration of amino acids and acetate // J. Dairy Sci. – 2008. – Vol. 91. – No. 1. – P. 218-228.
19. Rigout S., Hurtaud C., Lemosquet S., Bach A., Rulquin H. Lactational effect of propionic acid and duodenal glucose in cows // J. Dairy Sci. – 2003. – Vol. 86. – No. 1. – P. 243-253.
20. Rulquin H., Rigout S., Lemosquet S., Bach A. Infusion of glucose directs circulating amino acids to the mammary gland in well-fed dairy cows // J. Dairy Sci. – 2004. – Vol. 87. – P. 340-349.
21. Sears P.M., Paape M.J., Pearson R.E., Gwazdauskas F.C. Comparison between tail vein and jugular vein cannulation in cattle // J. Dairy Sci. – 1978. – Vol. 61. – No.7. – P. 974-979.
22. Yang, Y.T., Rohde J.M., Baldwin R.L. Dietary lipid metabolism in lactating cows // J. Dairy Sci. – 1978. – Vol. 61. – No. 10. – P. 1400-1406.

## REFERENCES

1. Bauman D.E., Mackle T.R. Amino acid supply and the regulation of milk protein synthesis. In: *Proc. Cornell Nutr. Conf. Feed Manuf.* Rochester, NY., Cornell Univ., Ithaca, NY, 1997, P. 196-207.
2. Bequette B.J., Backwell F.R.C. and Crompton L.A. Current concepts of amino acid and protein metabolism in the mammary gland of the lactating ruminant. *J. Dairy Sci.* 1998, 81(9): 2540-2559.
3. Cherepanov G.G., Reshetov V.B., Agafonov V.I., Makar Z.N. [Scientific and technological priorities in the production of dairy raw materials]. *Zootekhniya - Zootechnics.* 2004, 12: 17-20.
4. Cherepanov G.G., Makar Z.N. [Physiological and biochemical aspects of the regulation of milk protein production in ruminants]. *Sel'skokhosyaistvennaya biologiya - Agricultural Biology.* 2004, 4: 24-36.
5. Cherepanov G.G., Makar Z.N. [Physiological factors limiting milk production during hormonal stimulation of lactopoiesis in productive ruminants]. *Doklady Rossiiskoi Akademii Sel'skokhozyaistvennykh Nauk - Reports of Russian Agricultural Sciences.* 2010, 6: 50-53.
6. Gagliostro G., Chilliard Y., Davicco Y.-J. Duodenal rapeseed oil infusion in early and midlactation cows. 3. Plasma hormones and mammary apparent uptake of metabolites. *J. Dairy Sci.* 1991, 74: 59-67.
7. Hanigan M.D., Cant J.P., Weakley D.C., Beckett J.L. An evaluation of postabsorptive protein and amino acid metabolism in the lactating dairy cow. *J. Dairy Sci.* 1998, 81(12): 3385-3401.
8. Huhtanen P., Vanhatalo A., Varvikko K. Effects of abomasal infusions of histidine, glucose and leucine on milk production and plasma metabolites of dairy cows fed grass silage diets. *J. Dairy Sci.* 2002, 85(1): 204-216.
9. Kalashnikov A.P., Fisinin V.I., Sheglov V.V., Kleimenov N.I. (Eds.). *Normy i ratsiony dlya sel'skokhozyaistvennykh zhivotnykh* (Feeding norms and diets for farm animals). Moscow: Agropromizdat, 2003, 456 p.
10. Kohn R.A., Kalscheur K.F., Russek-Cohen E. Evaluation of models to estimate urinary nitrogen and expected milk urea nitrogen. *J. Dairy Sci.* 2002, 85: 227-233.
11. Lykos T., Varga GA. Varying degradation rates of total nonstructural carbohydrates: effects on nutrient uptake and utilization by the mammary gland in high producing Holstein cows. *J. Dairy Sci.* 1997, 80(12): 3356-3367.
12. Mackie T.R., Bauman D.E. Recent developments in the regulation of milk protein production. In: *Proceedings of the Cornell Nutrition Conference for Feed Manufacturers.* Cornell University, Ithaca, N.Y., 1998, P. 104-113.
13. Makar Z.N., Korneeva R.I., Sapunov M.I., Cherepanov G.G. [On the mechanisms of influence of nutritional factors on the functional activity of the mammary gland in ruminants]. *Problemy biologii produktivnykh zhivotnykh - Problems of Productive Animal Biology.* 2007, 1: 52-61.
14. Makar Z.N. *Regulyatsiya krovosnabzheniya i funktsional'noi aktivnosti molochnoi zhelezy u zhvachnykh zhivotnykh* (Regulation of blood supply and functional activity of the mammary gland in ruminants). Extended Abstract of Diss. Dr. Sci. Biol., Borovsk, 2012, 48 p.
15. Metcalf J.A., Wray-Cahen D., Chettle E.E., Sutton J.D., Beever D.E., Crompton L.A., MacRae J.C., Bequette B.J., Backwell F.R.C. The effect of increasing levels of dietary crude protein as protected soybean meal on mammary metabolism in the lactating dairy cow. *J. Dairy Sci.* 1996, 79: 603-611.
16. Mitsukawa H., Shimizu O., Nishi, H. Colorimetric determination of  $\alpha$ -amino nitrogen in urine and plasma with ninhydrin reaction. *Agric. Biol. Chem.* 1971, 35(2): 272-274.
17. Nielsen M.O., Madsen T.G., Hedeboe A.M. Regulation of mammary glucose uptake in goats: role of mammary gland supply, insulin, IGF-1 and synthetic capacity. *J. Dairy Res.* 2001, 68: 337-349.
18. Purdie N.G., Trout D.R., Poppi D.P., Cant J.P. Milk synthetic response of the bovine mammary gland to an increase in the local concentration of amino acids and acetate. *J. Dairy Sci.* 2008, 91(1): 218-228.
19. Rigout S., Hurtaud C., Lemosquet S., Bach A., Rulquin H. Lactational effect of propionic acid and duodenal glucose in cows. *J. Dairy Sci.* 2003, 86(1): 243-253.
20. Rulquin H., Rigout S., Lemosquet S., Bach A. Infusion of glucose directs circulating amino acids to the mammary gland in well-fed dairy cows. *J. Dairy Sci.* 2004, 87: 340-349.
21. Sears P.M., Paape M.J., Pearson R.E., Gwazdauskas F.C. Comparison between tail vein and jugular vein cannulation in cattle. *J. Dairy Sci.* 1978, 61(7): 974-979.
22. Yang, Y.T., Rohde J.M., Baldwin R.L. Dietary lipid metabolism in lactating cows. *J. Dairy Sci.* 1978, 61(10): 1400-1406.

**Formation of substrate balance in the mammary gland and production of milk protein in goats when feeding high-protein ration with supplements of acetate or sodium propionate salts**

Makar Z.N., Cherepanov G.G.

*Institute of Animal Physiology, Biochemistry and Nutrition - Branch of Ernst Federal Science Center for Animal Husbandry, Borovsk, Kaluga oblast, Russian Federation*

**ABSTRACT.** The experiment was carried out using the Latin square method on three groups of goats, 3 goats each, which were at the beginning of experiment at the 2nd month of lactation. The duration of each periods of experience was three weeks. In the initial period, goats were fed the basic ration (BR) with the recommended level of available protein (DP) and metabolizable energy. In the experimental periods, soybean meal (SBM) was added to the basic ration at an amount of 150 g, corresponding to a 10% increase in available crude protein, and also 90 g of sodium acetate (SA) and 36 g of sodium propionate (SP) per goat per day, which corresponded to 3% of the diet metabolizable energy. At the end of each experimental period, samples of milk and blood were taken from the jugular and milk veins before the morning feeding and 3 and 7 hours after the feeding. Plasma volume flow through the udder was determined by calculating the ratio of the  $\alpha$ -amino nitrogen output with milk and arteriovenous difference (ABD) concentration of amino nitrogen in the mammary gland. The activity of transport of amino acids to secretory cells ( $T$ , l/h), was estimated in units of clearance ( $T=Q*E/(1-E)$ , where  $Q$  is plasma flow rate, ml/min, and  $E$  is efficiency of extraction from the blood,  $E=100*(c_a - c_v)/c_a$ ;  $c_a$  and  $c_v$  are substrate concentration in the blood plasma of the jugular and dairy veins, respectively. When feeding supplements SBM, SBM+SA and SBM+SP, milk productivity increased by 8.2%, 14.7% ( $P<0.05$ ), 13.3% ( $P<0.05$ ) and the yield of milk protein by 9, 5%, 18.9% ( $P<0.05$ ), 16.1% ( $P<0.05$ ) respectively compared to BR. The addition of acetate or propionate salts to a high-protein diet reduced the level of urea in milk ( $P<0.05$ ), which indicates a more efficient use of amino acids for productive purposes. The inclusion of protein supplements in the diet increased plasma volume flow rate in the mammary gland. The feeding of protein supplements together with sodium acetate or sodium propionate had an additional stimulating effect on the plasma flow. When included of feed additives in the diet, the activity of amino acids transport to secretory cells was higher compared to BR. Concluded that the identified productive effect was significantly associated with positive changes in the indicators of organ blood flow and the formation of substrate balance in the mammary gland.

*Keywords: goats, protein and energy supplements, mammary gland, blood flow rate, milk protein yield*

**Problemy biologii produktivnykh zhivotnykh - Problems of Productive Animal Biology, 2018, 4: 65-74**

*Поступило в редакцию: 15.10.2018*

*Получено после доработки: 20.10.2018*

**Макар Зиновий Николаевич**, д.б.н., с.н.с.; zinoviy.makar@mail.ru;

**Черепанов Геннадий Георгиевич**, д.б.н., с.н.с., 89611243110@mail.ru