
ПИТАНИЕ

УДК 636.2.034:612.397:612.015.3:612.39

DOI: 10.25687/1996-6733.prodanimbiol.2020.4:75-81

**ВЛИЯНИЕ УРОВНЯ И СОСТАВА ЛЕГКОФЕРМЕНТИРУЕМЫХ УГЛЕВОДОВ
В РАЦИОНАХ КОРОВ НА ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СУБСТРАТОВ В МОЛОЧНОЙ
ЖЕЛЕЗЕ И МОЛОЧНУЮ ПРОДУКТИВНОСТЬ**

Макар З.Н.

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

Опыты проведены методом периодов на трёх коровах-первотелках чёрно-пестрой породы с живой массой 490 кг в начальный период лактации. В первый период опыта содержание ЛФУ в рационе составляло 20,7% от сухого вещества (СВ) (3499 г распадаемого крахмала и 1497 г сахара), а во 2-й и 3-й периоды – 17,3% при разном соотношении крахмала и сахара (2427 и 462 г во 2-м, 2412 и 455 г в 3-м соответственно). В конце каждого периода опыта брали пробы молока и крови из хвостовой артерии и молочной вены через 3 ч после кормления. В плазме крови определяли содержание α -аминоазота (свободных аминокислот), глюкозы, триацилглицеролов, неэтерифицированных жирных кислот (НЭЖК) и β -гидроксипирватата. Объёмную скорость плазмотока оценивали по величине отношения выхода α -аминоазота с молоком к разнице его концентраций в плазме крови хвостовой артерии и молочной вены. Снижение в рационах содержания сахара при повышенном уровне нераспадаемого крахмала привело к росту объёмной скорости кровотока через молочную железу, увеличению поглощения глюкозы ($P < 0,05$), триацилглицеролов и аминокислот. В третьем периоде, при содержании ЛФУ 17,3% от СВ и соотношении распадаемого крахмала и сахара 84:16, среднесуточный удой 4%-й базисной жирности повысился по сравнению с 1-м и 2-м периодами на 6 и 13% соответственно. В 3-м периоде опыта повысился также выход молочного белка, жира и лактозы. Заключение: увеличение в рационе доли нераспадаемого крахмала при сниженном содержании сахаров оказывает положительное влияние на суточные удои, продукцию молочного белка, жира и лактозы за счёт увеличенного поглощения молочной железой аминокислот, глюкозы и триацилглицеролов.

Ключевые слова: лактирующие коровы, молочная продуктивность, легкоферментируемые углеводы, кровоснабжение молочной железы

Проблемы биологии продуктивных животных, 2020, 4: 75-81.

Введение

В настоящее время кормление высокопродуктивных молочных коров основывается на использовании высокоэнергетических рационов, т.е. рационов с высоким содержанием крахмала и сахара. При высоком уровне сахара его ферментация в рубце приводит к повышению концентрации летучих жирных кислот (ЛЖК), лактата и пропионата, что может спровоцировать развитие ацидоза рубца и метаболические нарушения в организме (Gressley et al., 2011). С другой стороны, пропионат и другие глюкогенные субстраты могут стимулировать функциональную активность молочной железы (Huhtanen et al., 2002; Rigout et al. 2003; Vanhatalo et al. 2003; Raggio et al., 2006; Макар и др., 2008; Lemosquet et al. 2009; Макар 2012; Макар, Черепанов, 2018). Следовательно, необходимо обеспечить образование адекватного количества пропионовой кислоты в рубце.

В настоящее время в разработанных нормах и в практике исследований учитывают только общее содержание в рационах крахмала и сахара (Калашников и др., 2003; Макар, 2015). Однако разные кормовые источники крахмала имеют различную скорость ферментации в рубце. Поэтому нормирование крахмала необходимо проводить не по общему его содержанию в кормах, а по распадаемой его части в рубце. Необходимо также учитывать и скорость ферментации в рубце сахаров.

Цель исследований – изучить влияние разного уровня легкодоступных углеводов в рационах на поглощение молочной железой основных предшественников молока и молочную продуктивность у высокоудойных коров на ранней стадии лактации.

Материал и методы

Эксперимент проведен в условиях вивария института методом периодов на трёх коровах-первотелках чёрно-пестрой породы с живой массой 490 кг. в начальной фазе лактации. В разные периоды опыта животные содержались на рационах с разным содержанием легкоферментируемых углеводов (табл. 1, 2).

Таблица 1. Рационы кормления коров по периодам опыта

Корма, кг	Периоды		
	I	II	III
Сено разнотравное	2	2	2
Сенаж злаковый	25	25	25
Комбикорм	8	8	8
Подсолнечный жмых	1	1	1
Ячменный размол	0	0	1,3
Кукурузный размол	0	1,3	0
Патока кормовая	1,5	0	0

Таблица 2. Состав и питательность кормов по периодам опыта

Показатели	Периоды		
	I	II	III
Обменная энергия, МДж	154,6	152	149
Сухое вещество, кг	16,8	16,7	16,5
Сырой протеин, г	2764	2729	2716
Распадаемый протеин, г	1817	1735	1760
Нераспадаемый протеин, г	947	994	956
Обменный белок, г	1437	1411	1385
Сырой жир, г	489	541	533
НДК, г	6899	7049	7086
Сырая клетчатка, г	3109	3157	3155
Крахмал, г	2390	3014	2869
Распадаемый крахмал, г	2002	2427	2412
Сахар, г	1497	462	455
Сумма легкоферментируемых углеводов	3499	2889	2867
ЛФУ, % от СВ рациона	20,7	17,3	17,3
Крахмал, % от ЛФУ	57,7	80,5	84,0
Сахар, % от ЛФУ	42,3	19,5	16,0

Кормление животных проводили в 8 и 20 ч равными дачами кормов рациона. Доеение трёхкратное, содержание животных привязное. Ежедневно учитывали поедаемость корма и суточный удой. В конце каждого периода опыта брали пробы молока и крови из хвостовой артерии и молочной вены через 3 ч после кормления.

Состав молока определяли на анализаторе молока LactoStar («Funke-Dr.N.Gerber Labortechnik GmbH», Германия). В плазме крови определяли содержание α -аминоазота, т.е. свободных аминокислот (Mitsukawa et al., 1971), глюкозы – глюкозооксидазным методом, триацилглицеролов – энзиматическим методом (набор реагентов фирмы «Витал Диагностика СПб, неэтерифицированных жирных кислот (набор реагентов фирмы «Randox»), β -гидроксипутирата (набор реагентов фирмы «Randox»).

Объёмную скорость плазмотока в вымени (Q) определяли расчётным путём по величине отношения выхода α -аминоазота с молоком к разности концентрации α -аминоазота в плазме крови хвостовой артерии и молочной вены (Yang et al., 1978). Оценивались также уровень извлечения экстракции субстратов молочной железой из крови (E) и их поглощение органом (P).

$$E=100 (c_a - c_v)/c_a; P = Q(c_a - c_v),$$

где c_a и c_v – концентрация субстрата в плазме хвостовой артерии и молочной вены соответственно.

Результаты и обсуждение

Содержание субстратов в артериальной крови соответствовало стадии лактации и продуктивности (табл. 3).

Таблица 3. Содержание основных предшественников молока в плазме артериальной крови через 3 ч после кормления по периодам опыта (M \pm m, n=3).

Показатели	Периоды опыта		
	I (патока) 20,7% ЛФУ	II (ячмень) 17,3% ЛФУ	III (кукуруза) 17,3% ЛФУ
α -аминоазот, ммоль/л	3,95 \pm 0,07	3,86 \pm 0,15	3,41 \pm 0,03 ^{I, II}
Глюкоза, ммоль/л	3,36 \pm 0,06	3,45 \pm 0,13	3,51 \pm 0,075
Триацилглицеролы, ммоль/л	0,08 \pm 0,01	0,090 \pm 0,003	0,080 \pm 0,001
НЭЖК, ммоль/л	0,26 \pm 0,10	0,27 \pm 0,13	0,20 \pm 0,08
β -гидроксibuтират, ммоль/л	1,27 \pm 0,15	1,11 \pm 0,19	1,27 \pm 0,16

Примечание: ^{I, II} P<0,05 по t - критерию при сравнении с указанными периодами опыта

Снижение доли сахара и повышение доли нераспадаемого крахмала в рационах несущественно влияло на уровень извлечения молочной железой аминокислот, глюкозы, триацилглицеролов и β -гидроксibuтирата (табл. 4).

Таблица 4. Извлечение выменем основных предшественников молока по периодам опыта, % (M \pm m, n=3).

Показатели	Периоды опыта		
	I	II	III
α -аминоазот	27 \pm 0,8	26 \pm 2,0	27 \pm 1,2
Глюкоза	31 \pm 2,6	33 \pm 2,5	31 \pm 2,9
Триацилглицеролы	41 \pm 0,5	42 \pm 0,5	41 \pm 0,4
НЭЖК	16 \pm 7,7	30 \pm 11,7	-22 \pm 13,9 ^{I, II}
β -гидроксibuтират	43 \pm 5,8	40 \pm 4,1	34 \pm 6,0

Примечание: ^{I, II} P<0,05 по t - критерию при сравнении с указанными периодами опыта

В третьем периоде существенно понизился уровень извлечения молочной железой неэстерифицированных жирных кислот по сравнению с первым и вторым периодами опыта, по-видимому, из-за того, что к этому времени произошло снижение мобилизации жировых депо. Это привело к исчезновению артериовенозной разности (ABP) по молочной железе НЭЖК (табл. 5). А ABP триацилглицеролов, напротив, в этом периоде повысилась.

Повышение доли нераспадаемого крахмала в рационе привело к росту плазмотока через молочную железу, увеличению поглощения глюкозы (P<0,05), триацилглицеролов и аминокислот (табл. 6). Схожие данные о влиянии ЛФУ на кровоснабжение молочной железы и поглощение ею субстратов получены другими исследователями (Lykos, Varga, 1997в).

Таблица 5. Артерио-венозная разность концентраций основных предшественников молока у коров по периодам опыта (M±m, n=3).

Показатели	Периоды опыта		
	I	II	III
α-аминоазот, мМ	1,06±0,02	1,02±0,07	0,93±0,04
Глюкоза, мМ	1,06±0,11	1,15±0,10	1,09±0,11
Триацилглицеролы, мМ	0,031±0,005	0,031±0,002	0,043±0,001 ^{II}
НЭЖК, мМ	0,05±0,03	0,12±0,09	-0,005±0,03
β-гидроксibuтират, мМ	0,53±0,06	0,42±0,05	0,41±0,06

Примечание: ^{II} P<0,05 по *t*- критерию при сравнении со вторым периодом опыта

Таблица 6. Объёмная скорость плазмотока и поглощение основных предшественников молока в вымени по периодам опыта (M±m, n=3).

Показатели	Периоды опыта		
	I (патока)	II (ячмень)	III (кукуруза)
Плазмоток, л/мин	6,1±0,3	6,0±0,4	7,3±0,6
Поглощение, мМ/ч:			
α-аминоазота	384±31	364±446	403±43
глюкозы	377±15	406±32	460±23 ^I
триацилглицеролов	12,2±1,1	12,2±1,9	16,9±2,3 ^{I, II}
НЭЖК	15±11	37±23	-6±12
β-гидроксibuтират	190±18	151±27	178±30

Примечание: ^I P<0,05, ^{I, II} P<0,05 по *t*- критерию при сравнении с указанными периодами опыта

В третьем опытном периоде, при содержании в рационе 17,3% ЛФУ от СВ и соотношении распадаемого крахмала и сахара 84:16, среднесуточный удой 4%-ной базисной жирности повысился по сравнению с I и II периодами о на 6 и 13% соответственн (табл. 7).

Таблица 7. Молочная продуктивность коров по периодам опыта (M±m, n=3).

Показатели	Периоды		
	I (20,7% ЛФУ; крахмал: сахар – 57,7:42,3	II (17,3% ЛФУ; крахмал: сахар – 80: 20	III (17,3% ЛФУ; крахмал: сахар – 84: 16
Среднесуточный удой, кг	26,0±2,0	24,0±2,6	26,7±2,6
Жир, %	3,5±0,3	4,0±0,2	3,9±0,4
Выход жира, г	1060±100	1036±159	1141±128
Среднесуточный удой*, кг	23,5±2,1	24,1±3,9	26,6±2,9
Белок, %	3,2±0,02	3,2±0,03	3,2±0,04
Выход белка, г	824±7	778±93	863±92
Лактоза, %	5,10±0,03	5,20±0,04	5,20±0,06
Выход лактозы, г	1330±112	1254±151	1393±155

Примечание: удой молока 4% базисной жирности

В III периоде повысился также выход молочного белка, жира и лактозы. Полученные данные о влиянии уровня ЛФУ на молочную продуктивность коров согласуются с результатами других исследований (Lukos at al., 1997a; Головин 2018).

Заключение

Увеличение в рационе доли нераспадаемого крахмала при сниженном содержании сахаров оказывает положительное влияние на суточные удои, продукцию молочного белка, жира и лактозы за счёт увеличенного поглощения молочной железой аминокислот, глюкозы и триацилглицеролов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Головин А.В. Влияние соотношения легкопереваримых углеводов в рационе новотельных коров на метаболизм в рубце и продуктивность // Молочное и мясное животноводство. – 2018. – № 8. – С. 24
2. Калашников А.П. (Ред.) Нормы и рационы кормления сельскохозяйственных животных. – М.: Агропромиздат, 2003. – 456 с.
3. Макар З.Н., Корнеева Р.И., Сапунов М.И. Особенности метаболизма и молокооб-разования у коз при обогащении рациона протеином и пропиленгликолем // Проблемы биологии продуктивных животных. – 2008. – № 2. – С. 85-91.
4. 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.
5. Макар З.Н. Регуляция кровоснабжения и функциональной активности молочной железы у жвачных животных: автореф. дисс. ...д.б.н. – Боровск, 2012. – 48 с.
6. Макар З.Н. Влияние разного уровня в рационе источников труднораспадаемого в рубце протеина и крахмала на продукцию молочного белка у коров // Проблемы биологии продуктивных животных. – 2015. – № 2. – С. 59-66.
7. Макар З.Н., Черепанов Г.Г. Формирование субстратного баланса в молочной железе и продукция белка у коз при скармливании высокопротеинового рациона с добавками ацетата или пропионата натрия // Проблемы биологии продуктивных животных. – 2018. – № 4. – С. 65-72.
8. 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.
9. Gressley T.F., Hall M.B. and Armentano L.E. Productivity, digestion, and health responses to hindgut acidosis in ruminants // J. Anim. Sci. – 2011. – Vol. 89. – P. 1120-1130.
10. Lemosquet S., Delamairie E., Lapierre H., Blum J.W., Peyraud J.L. Effects of glucose, propionic acid, and nonessential amino acids on glucose metabolism and milk yield in Holstein dairy cows // J. Dairy Sci. – 2009. – Vol. 92. – No. 7 – P.3244–3257.
11. Lykos, T., G. A. Varga, D. Casper. Varying degradation rates of total nonstructural carbohydrates: effects on ruminal fermentation, blood metabolites, and milk production and composition of high producing Holstein cows // J. Dairy Sci. – 1997a. – Vol. 80. – No. 12. – P. 3341-3355.
12. 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. – 1997b. – Vol. 80. – No. 12. – P. 3356-3367.
13. Mitsukava H., Shimizu O., Nishi H. Colorimetric determination of α -amino nitrogen in urine and plasma with ninhydrin reaction // Agr. Biol. Chem. – 1971. – Vol. 35. – No. 2. – P. 272-274.
14. Raggio G., Lemosquet S., Loble G.E., Rulquin H., Lapierre H. Effect of casein and propionate supply on mammary protein metabolism in lactating dairy cows // J. Dairy Sci. – 2006. – Vol. 89. – No. 11. – P. 4340-4351.
15. 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.
16. Vanhatalo A., T. Varvikko, and P. Huhtanen. Effects of various glucogenic sources on production and metabolic responses of dairy cows fed grass si-lage-based diets // Dairy Sci. – 2003 – Vol. 86. – No. 10. – P. 3249-3259.
17. Yang, Y.T., Rohde J.M., Baldwin R.L. Dietary lipid metabolism in lactating cows // J. Dairy Sci. – 1978. – Vol. 61. – No. 10. – P. 1400-406.

REFERENCES

1. 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, 85: 204-216.

2. Gressley T.F., Hall M.B., Armentano L.E. Productivity, digestion, and health responses to hindgut acidosis in ruminants. *J. Anim. Sci.* 2011, 89: 1120-1130.
3. Lemosquet S., Delamaille E., Lapierre H., Blum J.W., Peyraud J.L. Effects of glucose, propionic acid, and nonessential amino acids on glucose metabolism and milk yield in Holstein dairy cows. *J. Dairy Sci.* 2009a, 92 (7): 3244-3257.
4. Kalashnikov A.P., Fisinin V.I., Shcheglov V.V., Kleimenov N.I. (Eds.). *Normy i ratsiony kormleniya sel'skokhozyaistvennykh zivotnykh* (Feeding norms and diets for farm animals). Moscow: Agropromizdat, 2003, 456 p.
5. Lykos, T., G. A. Varga, D. Casper. Varying degradation rates of total nonstructural carbohydrates: effects on ruminal fermentation, blood metabolites, and milk production and composition of high producing Holstein cows. *J. Dairy Sci.*: 1997a, 80(12): 3341-3355.
6. Lykos T., Varga G.A. 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.* 1997b, 80 (12): 3356-3367.
7. Makar Z.N. *Regulyatsiya krovosnabzheniya i funktsional'noi aktivnosti molochnoi zhelezy u zhvachnykh zivotnykh* (Regulation of blood supply and functional activity of mammary gland in ruminants). Extended Abstract of Diss. Dr. Sci. Biol., Borovsk, 2012, 48 p. (In Russian)
8. Makar Z.N. [The influence of different levels in the diet of sources of protein and starch, which is difficult to decompose in the rumen, on milk protein production in cows]. *Problemy biologii produktivnykh zivotnykh - Problems of Productive Animal Biology.* 2015, 2: 59-66.
9. Makar Z.N., Korneeva R.N., Sapunov M.I., Cherepanov G.G. [On the mechanisms of the influence of nutritional factors on the functional activity of the mammary gland in ruminants]. *Problemy biologii produktivnykh zivotnykh - Problems of Productive Animal Biology.* 2007, 1: 52-61. (In Russian)
10. Makar Z.N., Cherepanov G.G. [The formation of substrate balance in the mammary gland and protein production in goats when feeding a high protein diet with the addition of acetate or sodium propionate]. *Problemy biologii produktivnykh zivotnykh - Problems of Productive Animal Biology.* 2018, 4: 65-72.
11. Mitsukava H., Shimizu O. Nishi H. Colorimetric determination of α -amino nitrogen in urine and plasma with ninhydrin reaction. *Agr. Biol. Chem.* 1971, 35(2): 272-274.
12. Raggio G., Lemosquet S., Lobleby G.E., Rulquin H., Lapierre H. Effect of casein and propionate supply on mammary protein metabolism in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 2006, 89: 4340-4351.
13. 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: 243-253.
14. Vanhatalo A., Varvikko T., Huhtanen P. Effects of Various Glucogenic Sources on Production and Metabolic Responses of Dairy Cows Fed Grass Silage-Based Diets. *J. Dairy Sci.* 2003, 86: 3249-3259.
15. Yang, Y.T., Rohde J.M., Baldwin R.L. Dietary lipid metabolism in lactating cows. *J. Dairy Sci.* 1978, 61(10): 1400-1406.

Effect of different levels of easily fermentable carbohydrates in the diets of cows on nutrient utilization by the mammary gland and milk productivity

Makar Z.N.

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

ABSTRACT. The experiments were carried out by the method of periods on three first-calf cows of the black-and-white breed with a live weight of 490 kg in the initial period of lactation. In the first period of the experiment, the easily fermentable carbohydrates (EFC) content in the diet was 20.7% of dry matter (DM) (3499 g of decomposable starch and 1497 g of sugar), and in the 2nd and 3rd periods - 17.3% with different ratios of starch and sugar (2427 and 462 g in the 2nd, 2412 and 455 g in the 3rd, respectively). At the end of each period of the experiment, milk and blood samples were taken from the tail artery and milk vein 3 hours after feeding. The content of α - Amino nitrogen (free amino acids), glucose, triacylglycerols, non-esterified fatty acids (NEFA) and β -hydroxybutyrate. The volumetric plasma flow rate was estimated by the ratio of the yield of α -amino nitrogen with milk to the difference in its concentration in the blood plasma of the tail artery and the milk vein. sugar content with an increased level of non-degradable starch led to an increase in the volumetric blood flow rate through the mammary gland, an increase in the absorption of glucose ($P < 0.05$), triacylglycerols and amino acids. In the third period, when the LFA content was 17.3% of the DM and The ratio of decomposed starch and sugar 84:16, the average daily milk yield of 4% base fat content increased in comparison with the 1st and 2nd periods by 6 and 13%, respectively. In the 3rd period of the experiment, the yield of milk protein, fat and lactose also increased ... It was concluded that an increase in the proportion of non-degradable starch in the diet with a reduced sugar content has a positive effect on daily milk yield, production of milk protein, fat and lactose due to an increased absorption of amino acids, glucose and triacylglycerols by the mammary gland.

Keywords: lactating cows, milk productivity, easily fermentable carbohydrates, absorption of substrates by the mammary gland

Problemy biologii produktivnykh zivotnykh - Problems of Productive Animal Biology, 2020, 4: 75-81

Поступило в редакцию: 14.10.2020

Получено после доработки: 08.11.2020

Макар Зиновий Николаевич, д.б.н., с.н.с., тел. 8(903)026-52-47; zinoviy.makar@mail.ru