

УДК 636.2.034.084:591.11:612.664:577.115.3
DOI: 10.25687/1996-6733.prodanimbiol.2020.4:92-98

**ВЛИЯНИЕ УРОВНЯ КРАХМАЛА В РАЦИОНЕ НА ПОСТУПЛЕНИЕ
ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ЛЖК В СИСТЕМУ ПОРТАЛЬНОЙ КРОВИ
У ЛАКТИРУЮЩИХ КОРОВ**

Панюшкин Д.Е.

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

Крахмал является главным компонентом, определяющим энергетическую ценность зерна и фактором, активно влияющим на синтез белка микроорганизмов. Цель данной работы – изучить влияние варьирования уровня крахмала в рационе на поступление летучих жирных кислот (ЛЖК) из ЖКТ. Исследования проведены на трёх коровах холмогорской породы, начиная с 60-го дня лактации, методом периодов, при суточном удое 22-18 кг. Состав рационов изменяли по периодам за счёт варьирования уровня соевого шрота, дерти ячменя и крахмала. В конце каждого периода определяли концентрацию индивидуальных летучих жирных кислот (ЛЖК) и глюкозы в крови воротной вены и сонной артерии для выявления сдвигов в среднесуточном поступлении ЛЖК от системы воротной вены к органам и тканям. О направленности сдвигов в поступлении ЛЖК из ЖКТ судили по изменениям концентрации ЛЖК в венозной и артериальной крови и величине коэффициента поглощения ($KП = (B-A)/B$, где B и A – концентрация индивидуальных ЛЖК в плазме воротной вены и артерии). Выявлено значительное варьирование поступления ЛЖК из ЖКТ при изменении уровня крахмала в рационе. Наибольшие сдвиги в значениях (B-A) выявлены для уксусной, пропионовой и капроновой кислот. Отрицательные значения (B-A) по глюкозе отмечены при снижении уровня крахмала в рационе и увеличении поступления пропионата в портальную систему крови. Полученные данные могут быть использованы для совершенствования систем оценки рационов за счёт количественного прогноза темпов образования субстратов и эффективности их использования для синтеза компонентов молока.

Ключевые слова: кормление, лактирующие коровы, глюкоза, крахмал, воротная вена, летучие жирные кислоты

Проблемы биологии продуктивных животных, 2020, 4: 92-98

Введение

Концентрированные корма в рационах высокопродуктивных коров составляют до 55-60% энергетической питательности рациона и включают до 60-80% крахмала, потребляемого животными. Крахмал является главным компонентом, определяющим энергетическую ценность зерна и фактором, активно влияющим на синтез белка микроорганизмов (Huntington et al., 1997; Chen et al., 1998; Vuuren et al., 1999). В мире проводится большая работа по изучению влияния крахмала на рубцовый метаболизм у жвачных животных, при этом используются как добавки чистого кормового крахмала в составе рациона (Beauchemin et al., 1999; Philippeau et al., 1999) так и его инфузии в рубец и сычуг (Knowlton et al., 1998). Немаловажное место занимают исследования, направленные на оценку влияния крахмала, поступающего в составе различных зерновых культур (Plascencia et al., 1996).

Летучие жирные кислоты (ЛЖК) и глюкоза являются основными энергетическими компонентами крови, необходимыми для обеспечения организма энергией. Кроме того, ЛЖК оказывают значительное влияние на липидный обмен. Исходными соединениями при биосинтезе жирных кислот молока является малонил-КоА и ацетил-КоА – ключевые метаболиты у коров во время лактации.

Известно, что образование ЛЖК у лактирующих коров варьирует в широких пределах, что связано с увеличением доли концентрированных кормов в рационе в интервале от 10 до 60%, с изменением компонентного состава клетчатки (особенно при низком уровне концентрированных кормов в рационе) и способом обработки корма (Michalet-Doreau et al., 1997). Однако, эти данные должны уточняться, так как они не всегда объективно отражают объёмы поступления метаболитов из желудочно-кишечного тракта. В условиях подвижного равновесия в системе преджелудков осуществляется синтез и всасывание ЛЖК, а также их частичный переход в двенадцатиперстную кишку. Если принять во внимание, что на объём содержимого рубца влияет слюноотделение и поступление воды, а часть кислот задерживается стенкой (Kristensen et al., 1998), то становится очевидной невозможность оценки продукции ЛЖК и их использования организмом животного только на основании их концентрации в рубцовой жидкости, для этого необходимо иметь сведения о поступлении метаболитов в портальную систему крови.

Цель данной работы – изучить влияние варьирования уровня крахмала в рационе на сдвиги в поступлении летучих жирных кислот из ЖКТ в портальную кровь.

Материал и методы

Эксперимент проведен на трёх коровах холмогорской породы, начиная с 60-го дня лактации, методом периодов. Живая масса коров в течение эксперимента изменялась незначительно и составляла 460-470 кг. Коровы содержались в условиях вивария ВНИИФБиП животных, в стандартных стойлах на привязи. Поение коров осуществлялось из автоматических поилок при трехразовом кормлении и доении. Суточный удой в I, II и III периодах опыта составлял $22,0 \pm 0,5$, $20,1 \pm 0,6$, $18,4 \pm 0,6$ кг, содержание жира молока - $3,23 \pm 0,03$, $3,12 \pm 0,03$ и $3,20 \pm 0,05\%$, соответственно.

Животные были хирургически подготовлены для проведения эксперимента путём наложения ангиостомической канюли на воротную вену для прижизненного отбора проб крови. Кроме того, животным была имплантирована лодочка под наружную сонную артерию для получения образцов артериальной крови.

Первый период эксперимента проводился для получения исходных данных при скармливании рациона, в состав которого включали комбикорм с добавлением 2 кг картофельного крахмала (20% по ОЭ от начального содержания в рационе). Во II периоде коровы получали на 1 кг крахмала меньше (10% по ОЭ от начального содержания). В III периоде в качестве комбикорма скармливали ячменную дерть с дополнительными минеральными добавками.

Таблица 1. Состав рациона по периодам опыта

Корма	Периоды эксперимента		
	I	II	III
Сено	4,5	4,5	4
Силос	24	24	20
Свекла	10	10	-
Комбикорм	7,2	6,2	8

Снижение уровня ОЭ и основных питательных веществ в рационе между II и III периодами опыта составляло (%): обменная энергия - 8,76, сухое вещество - 6,01, сырой протеин - 0,14, переваримый протеин - 0,11, сырой жир - 0,43, сырая клетчатка - 0,61, крахмал - 33,4, сахар - 0,16, между III и II периодами: 14,1; 8,85; 30,5; 25,0; 3,55; 13,1; + 95,4%; 80,0%, соответственно. Процентное отношение концентрированных кормов от всего рациона по обменной энергии, составило: в I периоде 49,1; во II - 44,5; в III - 54,6%.

Во время проведения опыта у животных отбирали пробы крови до кормления, через 2 и 5 часов после кормления для выявления сдвигов в среднесуточном поступлении ЛЖК в систему портальной крови и их суммарном использовании в процессах метаболизма. О направленности этих сдвигов судили по изменениям уровня ЛЖК в артериальной крови и величине коэффициента поглощения ($KП=1-A/B$, где B и A – концентрация индивидуальных ЛЖК в плазме воротной вены и артерии).

Таблица 2. Состав комбикорма, %

Компоненты комбикорма	Периоды эксперимента		
	I	II	III
Шрот соевый	48,6	56,4	-
Дерть ячменная (60% крахмала)	20,4	24,3	96,8
Крахмал картофельный	27,8	16,1	-
Соль поваренная	1,6	1,6	1,6
Трикальцийфосфат	1,6	1,6	1,6

Сумму летучих жирных кислот исследовали методом паровой дистилляции. Молярное соотношение ЛЖК определяли методом газожидкостной хроматографии на стеклянной колонке ($l=150$ см, $d=0,4$ см). Истинное значение количества ЛЖК получали с применением коэффициентов, рассчитанных для данной колонки по стандартной смеси летучих жирных кислот (Мартюшов, 1992). Концентрацию глюкозы определяли в безбелковом фильтрате крови по цветной реакции с орто-толуидином (Беляков И.М. Практикум по клинической диагностике с рентгенологией. М.: Колос, 1992).

Результаты и обсуждение

На протяжении трёх периодов опыта происходило снижение суточной продукции молока с 22 до 18 кг, что связано с уменьшением в рационе обменной энергии и основных питательных веществ и сроками лактации. Уменьшение крахмала на 1 кг во II периоде опыта снизило продукцию молока в среднем на 10% (2,2 кг) при снижении уровня обменной энергии на 8,9% (16,7 МДж). Соответственно, содержание молочного жира возрастало, что согласуется с общей динамикой лактационной кривой.

При уменьшении доли крахмала в рационе на 1 кг, происходило существенное увеличение уровня всех летучих жирных кислот в воротной вене, при практически мало варьирующем уровне в артериальной крови (табл. 3).

Более низкое поглощение тканями ЛЖК в I периоде можно объяснить тем, что 2 кг чистого картофельного крахмала являются нетипичным субстратом для рубцовой микрофлоры. Известно, что изменение уровня кормления сопровождается изменением процессов ферментации в преджелудках и кишечнике, что выражается в разном соотношении поглощаемых субстратов, их усвоении стенкой пищеварительного тракта и поступлении в портальную кровь. О преобладающем транспорте крахмала в двенадцатиперстную кишку в первом периоде эксперимента свидетельствует и высокий уровень поглощения глюкозы.

Многие исследования показывают, что в процессе переваривания крахмала снижается доля ацетата и повышается доля пропионата по отношению к общему количеству летучих жирных кислот (Overton et al., 1995; Ekinici et al., 1997; De Visser et al., 1998). В нашем эксперименте установлено, что в I периоде процентная доля ацетата, пропионата и: бутирата в суммарном содержании этих кислот составляла 75,4; 13,5; 11,1 соответственно. Во II периоде (при адаптации амилолитической микрофлоры), это соотношение изменилось (69,5; 21,2; 9,3). Такая же тенденция сохранилась и в III периоде (71,5; 22,0; 6,5), что свидетельствует о возрастании переваривания крахмала в рубце.

В III периоде замена картофельного крахмала крахмалом дерти практически не вызвала существенных сдвигов в величине ВАР по ЛЖК. Это, прежде всего, связано с более низкой распадаемостью данного вида крахмала в рубце (что возможно компенсировало его повышение в рационе), а также со снижением количества грубых и сочных кормов (сено, силос, свекла). Некоторые изменения прослеживались только в величине ВАР по изо-масляной кислоте. Снижение поступления бутирата в портальную кровь связано с повышением его концентрации в артериальной крови (на 51,6%) при возрастании уровня в крови воротной вены на 11,2%. Также в этот период наблюдалось повышение величины ВАР по изо-валериановой кислоте на 14,4%.

Таблица 3. Содержание ЛЖК в венозной и артериальной крови и показатели их поглощения у коров в разные периоды опыта (M±m, n=3)

Периоды опыта	Содержание в крови, мМ		ВАР, мМ	Коэф. поглощ. (КП=1-А/В)
	Артерия	Ворот. вена		
	Сумма ЛЖК			
I	1,520±0,162	2,511±0,258	0,991±0,165*	0,395
II	1,539±0,119	2,848±0,219	1,309±0,194*.D	0,460
III	1,696±0,275	3,023±0,439	1,327±0,267*	0,439
	Уксусная кислота			
I	1,172±0,123	1,949±0,221	0,777±0,168*	0,399
II	1,165±0,100	2,116±0,179	0,951±0,162*.D	0,450
III	1,208±0,177	2,190±0,295	0,982±0,192*	0,448
	Пропионовая кислота			
I	0,230±0,044	0,343±0,038	0,113±0,056*	0,328
II	0,243±0,024	0,478±0,039	0,235±0,045*.D	0,491
III	0,309±0,088	0,553±0,099	0,245±0,081**	0,442
	Масляная кислота			
I	0,081±0,017	0,160±0,019	0,079±0,016*	0,493
II	0,091±0,009	0,178±0,016	0,087±0,015*	0,487
III	0,138±0,032	0,198±0,052	0,060±0,033	0,305
	Изо-масляная кислота			
I	0,0107±0,0021	0,0182±0,0020	0,0075±0,0026*	0,414
II	0,0100±0,0014	0,0225±0,0040	0,0125±0,0041*	0,556
III	0,0096±0,0030	0,0182±0,0031	0,0086±0,0043**	0,474
	Изо-валериановая кислота			
I	0,0092±0,0029	0,0160±0,0047	0,0068±0,0036**	0,426
II	0,0129±0,0018	0,0226±0,0033	0,0097±0,0033*	0,430
III	0,0123±0,0040	0,0277±0,0063	0,0154±0,0037**	0,556
	Валериановая кислота			
I	0,0089±0,0023	0,0135±0,0031	0,0046±0,0019	0,342
II	0,0082±0,0010	0,0149±0,0020	0,0066±0,0023*	0,447
III	0,0102±0,0031	0,0179±0,0013	0,0077±0,0030*	0,429
	Капроновая кислота			
I	0,0083±0,0026	0,0117±0,0023	0,0034±0,0022	0,293
II	0,0084±0,0008	0,0156±0,0017	0,0072±0,0018*.D	0,462
III	0,0098±0,0022	0,0181±0,0015	0,0083±0,0024*	0,461

Примечание: P<0,01*; P<0,05** по t-критерию при сравнении венозной и артериальной крови; P<0,01^D по t-критерию при сравнении с предыдущим периодом опыта

Наиболее существенными факторами, влияющими на скорость поступления глюкозы из желудочно-кишечного тракта, является уровень потребления корма и состав рациона. В течение всего эксперимента отмечалось значительное варьирование поступления глюкозы в портальную кровь. В I периоде отмечалась наиболее высокая концентрация этого метаболита в крови воротной вены (табл. 4).

Таблица 4. Содержание глюкозы в плазме венозной и артериальной крови и показатели её поглощения у коров по периодам опыта (M±m, n=3)

Периоды опыта	Содержание в крови, мг/100 мл		ВАР, мг/100 мл	Коэф. поглощ. (К=1-А/В)
	Артерия	Ворот. вена		
I	47,45±1,39	49,97±3,20	2,52±2,52	0,05
II	45,73±2,52	44,37±1,68	-1,36±2,81	--
III	50,11±0,55	49,05±0,54	-1,06±0,45	--

Несмотря на то, что усвоение глюкозы в этот период сильно варьировало, прослеживалась общая тенденция высокого уровня её в артериальной крови, что обусловлено поступлением

большого количества крахмала в тонкий кишечник, что согласуется с данными, полученными другими авторами (Knowlton et al., 1998).

Известно, что жвачные удовлетворяют большую часть своей потребности в глюкозе за счет глюкогонеогенеза. Наиболее важным предшественником глюкозы является образующийся в рубце пропионат, около 60-80% которого утилизируется при синтезе глюкозы, что обеспечивает её образование на 50-70%.

Во II периоде опыта отрицательные величины венозно-артериальной разницы концентрации глюкозы связаны, прежде всего, с уменьшением доли доступного для её синтеза крахмала и возросшим поступлением пропионата в портальную систему крови. При этом в разное время суток поступление глюкозы из ЖКТ по воротной вене может снизиться до нуля или смениться на извлечение из артериальной крови, на что указывает значительное варьирование венозно-артериальной разности ($\pm 2,81$ мг/100 мл). Несмотря на повышение концентрации глюкозы в крови воротной вены (на 10,5%) при исключении из рациона картофельного крахмала (III период опыта), её концентрация в артериальной крови также возросла на 9,5%, что связано с практически одинаковым поглощением пропионата относительно II периода.

В целом, в проведенном исследовании выявлено значительное варьирование поступления ЛЖК из ЖКТ при изменении уровня крахмала в рационе. Наибольшие сдвиги в значениях В-А разности концентраций выявлены для уксусной, пропионовой и капроновой кислот. Отрицательные её значения по глюкозе отмечены при снижении уровня крахмала в рационе и увеличении поступления пропионата в портальную систему крови.

Заключение

Полученные данные выявили некоторые существенные аспекты влияния уровня в рационе высокоэнергетических питательных веществ на общее поступление конечных продуктов их переваривания – индивидуальных ЛЖК и глюкозы к органам и тканям лактирующих коров. Полученные данные могут быть использованы для совершенствования систем оценки рационов за счёт количественного прогноза темпов образования субстратов и эффективности их использования в процессах межклеточного обмена веществ и синтезе компонентов молока.

ЛИТЕРАТУРА

1. Beauchemin K.A., Yang W.Z., Rode L.M. Effects of grain source and enzyme additive on site and extent of nutrient digestion in dairy cows // *J. Dairy Sci.* – 1999. – Vol. 82. – No. 2. – P. 378-390.
2. Chen C.Y., Hsu J.T. The effects of starch and protein degradation rates, hay sources, and feeding frequency on rumen microbial fermentation in a continuous culture system // *Proc. Natl. Sci. Coun. Repub. China B.* – 1998. – Vol. 22. – No. 4. – P. 159-165.
3. De Visser H., Klop A., van der Meulen J., van Vuuren A.M. Influence of maturity of grass silage and flaked corn starch on the production and metabolism of volatile fatty acids in dairy cows // *J. Dairy Sci.* – 1998. – Vol. 81. – No. 4. – P. 1028-1035.
4. Ekinci C., Broderick G.A. Effect of processing high moisture ear corn on ruminal fermentation and milk yield // *J. Dairy Sci.* – 1997. – Vol. 80. – No. 12. – P. 3298-3307.
5. Huntington G.B. Starch utilization by ruminants: from basics to the bunk // *J. Anim. Sci.* 1997. – Vol. 75. – No. 3. – P. 852-867
6. Knowlton K.F., Dawson T.E., Glenn B.P., Huntington G.B., Erdman R.A. Glucose metabolism and milk yield of cows infused abomasally or ruminally with starch // *J. Dairy Sci.* – 1998. – Vol. 81. – No. 12. – P. 3248-3258.
7. Kristensen N.B., Danfaer A., Agergaard N. Absorption and metabolism of short-chain fatty acids in ruminants // *Arch. Anim. Nutr.* – 1998. – Vol. 51. – No. 2-3. – P. 165-175.
8. Michalet-Doreau B., Philippeau C., Doreau M. In situ and in vitro ruminal starch degradation of untreated and formaldehyde-treated wheat and maize // *Reprod. Nutr. Dev.* – 1997. – Vol. 37. – No. 3. – P. 305-312.
9. Overton T.R., Cameron M.R., Elliott J.P., Clark J.H., Nelson D.R. Ruminal fermentation and passage of nutrients to the duodenum of lactating cows fed mixtures of corn and barley // *J. Dairy Sci.* – 1995. – Vol. 78. – No. 9. – P. 1981-1998.
10. Philippeau C., Le Deschault de Monredon F., Michalet-Doreau B. Relationship between ruminal starch degradation and the physical characteristics of corn grain // *J. Anim. Sci.* – 1999. – Vol. 77. – No. 1. – P. 238-243.

11. Plascencia A., Zinn R.A. Influence of flake density on the feeding value of steam-processed corn in diets for lactating cows // *J. Anim. Sci.* – 1996. – Vol. 74. – No. 2. – P. 310-316.
12. Vuuren A.M., Klop A., van der Koelen C.J., de Visser H. Starch and stage of maturity of grass silage: site of digestion and intestinal nutrient supply in dairy cows // *J. Dairy. Sci.* – 1999. – Vol. 82. – No. 1. – P. 143-152.

REFERENCES

1. Beauchemin K.A., Yang W.Z., Rode L.M. Effects of grain source and enzyme additive on site and extent of nutrient digestion in dairy cows. *J. Dairy. Sci.* 1999, 82(2): 378-390.
2. Chen C.Y., Hsu J.T. The effects of starch and protein degradation rates, hay sources, and feeding frequency on rumen microbial fermentation in a continuous culture system. *Proc. Natl. Sci. Counc. Repub. China B.* 1998, 22(4): 159-165.
3. De Visser H., Klop A., van der Meulen J., van Vuuren A.M. Influence of maturity of grass silage and flaked corn starch on the production and metabolism of volatile fatty acids in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 1998, 81(4): 1028-1035.
4. Ekinci C., Broderick G.A. Effect of processing high moisture ear corn on ruminal fermentation and milk yield. *J. Dairy Sci.* 1997, 80(12): 3298-307.
5. Huntington G.B. Starch utilization by ruminants: from basics to the bunk. *J. Anim. Sci.* 1997, 75(3): 852-867
6. Knowlton K.F., Dawson T.E., Glenn B.P., Huntington G.B., Erdman R.A. Glucose metabolism and milk yield of cows infused abomasally or ruminally with starch. *J. Dairy Sci.* 1998, 81(12): 3248-3258.
7. Kristensen N.B., Danfaer A., Agergaard N. Absorption and metabolism of short-chain fatty acids in ruminants. *Arch. Anim. Nutr.* 1998, 51(2-3): 165-175.
8. Michalet-Doreau B., Philippeau C., Doreau M. In situ and in vitro ruminal starch degradation of untreated and formaldehyde-treated wheat and maize. *Reprod. Nutr. Dev.* 1997, 37(3): 305-312.
9. Overton T.R., Cameron M.R., Elliott J.P., Clark J.H., Nelson D.R. Ruminal fermentation and passage of nutrients to the duodenum of lactating cows fed mixtures of corn and barley. *J. Dairy Sci.* 1995, 78(9): 1981-1998.
10. Philippeau C., Le Deschault de Monredon F., Michalet-Doreau B. Relationship between ruminal starch degradation and the physical characteristics of corn grain. *J. Anim. Sci.* 1999, 77(1): 238-243.
11. Plascencia A., Zinn R.A. Influence of flake density on the feeding value of steam-processed corn in diets for lactating cows. *J. Anim. Sci.* 1996, 74(2): 310-316.
12. Vuuren A.M., Klop A., van der Koelen C.J., de Visser H. Starch and stage of maturity of grass silage: site of digestion and intestinal nutrient supply in dairy cows. *J. Dairy. Sci.* 1999, 82(1): 143-152.

Effect of various starch level in diet on supply of individual volatile fatty acids for portal vein system in lactating cows

Panyushkin D.E.

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

ABSTRACT. Starch is the main component that determines the energy value of grain and a factor that actively affects the protein synthesis of microorganisms. The aim of this work is to study the effect of varying the level of starch in the diet on the intake of volatile fatty acids (VFA) from the gastrointestinal tract. The studies were carried out by the method of periods on three cows of the Kholmogory breed with a daily milk yield of 22-18 kg, starting from the 60th day of lactation. The composition of the rations was changed by periods by varying the level of soybean meal, barley and starch. At the end of each period, the concentration of individual volatile fatty acids (VFA) and glucose in the blood of the portal vein and carotid artery was determined to identify shifts in the average daily intake of VFA from the portal vein system to organs and tissues. The direction of shifts in the intake of VFA from the gastrointestinal tract was judged by changes in the concentration of VFA in the portal vein and arterial blood and the value of the absorption coefficient ($AC = (V-A)/V$), where V and A are the concentration of individual VFA in the plasma of the portal vein and arteries). A significant variation in the intake of VFA from the gastrointestinal tract was revealed with a change in the level of starch in the diet. The largest shifts in the values (V-A) were found for acetic, propionic, and caproic acids. Negative values (V-A) for glucose were noted with a decrease in the level of starch in the diet and an increase in the supply of propionate to the portal blood system. The data obtained can be used to improve the systems for assessing rations by quantitatively predicting the rate of formation of substrates and the effectiveness of their use for the synthesis of milk components.

Key words: lactating cows, feeding, starch, volatile fatty acids, glucose, portal vein

Problemy biologii produktivnykh zhivotnykh - Problems of Productive Animal Biology, 2020, 4: 92-98

Поступило в редакцию: 07.12.2020

Получено после доработки: 23.12.2020

Панюшкин Дмитрий Евгеньевич, к.б.н., м.н.с., тел. 8(980)716-23-38, panyshkin@yandex.ru