

Углеводный метаболизм у молочных коров

М. А. Ваттио

Международный институт им. Бабкока

Л. А. Арментано

Факультет молочного животноводства

Типы углеводов

Углеводы являются самым важным источником энергии для молочных животных. Кроме того, они выступают в роли предшественников жиров и сахаров в организме коровы. Микроорганизмы, живущие в рубце, позволяют корове получать энергию из волокнистых углеводов (целлюлоза и гемицеллюлоза), которые связаны с лигнином в клетках стенок растений (клетчатке). Клетчатка весьма объемна, и находится в рубце коровы длительного времени где постепенно ферментируется целлюлоза и гемицеллюлоза. В процессе созревания растений содержание лигнина увеличивается, что уменьшает степень переваривания целлюлозы и гемицеллюлозы. Клетчатка в виде длинных частиц существенно необходима для стимуляции жевания жвачки, в процессе которого измельчаются крупные частицы корма, что улучшает ферментацию клетчатки. При этом стимулируется сжатие рубца и увеличивается количество слюны, попадающей в желудок. Слюна коровы содержит бикарбонат натрия (двууглекислый натрий) и фосфорную соль, которые помогают поддерживать нейтральную кислотность (pH) в среде рубца. Рацион, бедный клетчаткой, приводит к снижению жирности молока и нарушению пищеварения (например смещение сычуга, ацидоз рубца).

Неволокнистые углеводы (крахмал и простые сахара) ферментируются в рубце быстро и почти полностью. Наличие в рационе неволокнистых углеводов увеличивает его энергетическую насыщенность и определяет количество бактериального протеина, выработанного в рубце. Однако неволокнистые углеводы не стимулируют жевание жвачки и

производство слюны. Более того, в чрезмерных количествах они могут оказать негативное влияние на ферментацию клетчатки.

Поэтому балансирование волокнистых и неволокнистых углеводов имеет важное значение при кормлении животного и достижении наивысшей молочной продуктивности. Рисунок 1 обобщает переработку углеводов в различных органах. У коровы в период лактации рубец, печень и молочная железа являются основными органами, вовлечёнными в метаболизм углеводов.

Производство летучих жирных кислот в рубце коровы

В процессе рубцовой ферментации популяция микроорганизмов, главным образом бактерии, ферментирует углеводы и производит энергию, газы (метан - CH_4 , и углекислый газ - CO_2), тепло и кислоты. Основную часть производимых в рубце кислот (>95%) составляют уксусная, пропионовая и масляная кислоты. Эти кислоты называются летучими жирными кислотами (ЛЖК) (Рис 1). Кроме того, при ферментации аминокислот вырабатываются изокислоты. Энергия и изокислоты, полученные в процессе ферментации, используются бактериями для питания и роста (т.е. в основном для синтеза протеина). Газы (CO_2 и CH_4) из рубца выходят наружу при отрыжке и энергия, содержащаяся в них, считается потерянной. Вырабатываемое в процессе ферментации тепло также рассеивается, если только это тепло не используется для поддержания температуры тела животного. Впитывание летучих жирных кислот, конечного продукта ферментации, происходит через стенки рубца.

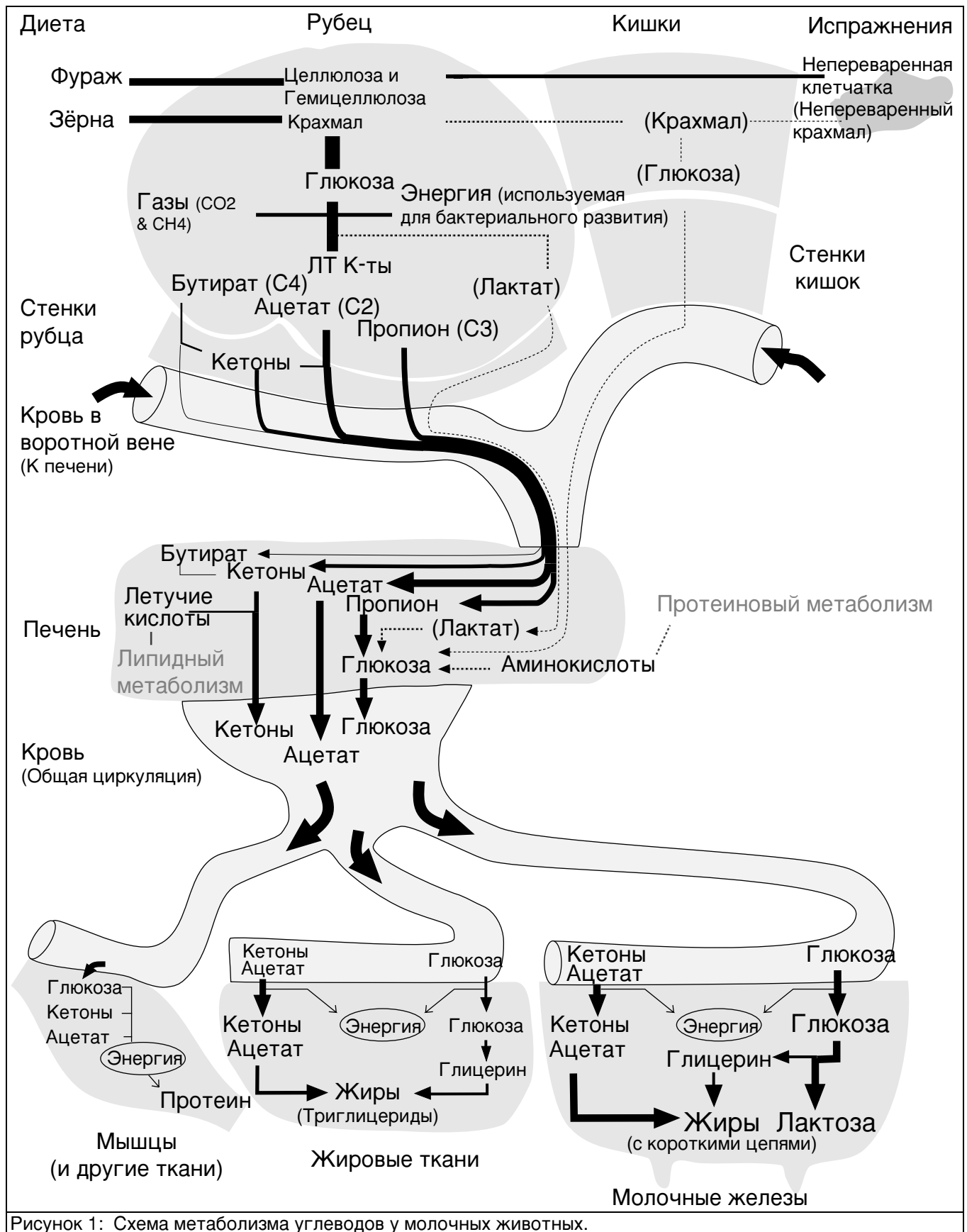


Рисунок 1: Схема метаболизма углеводов у молочных животных.

Большинство ацетатов и все пропионаты поступают в печень, тогда как основная доля

Таблица 1: Летучие жирные кислоты, получающиеся при рубцовой ферментации.

Название	Структура
Уксусная	$\text{CH}_3\text{-COOH}$
Пропионовая	$\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-COOH}$
Масляная	$\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-COOH}$

бутиратов в стенках рубца превращается в кетоновые тела, называемые β -гидроксibuтиратами. Кетоновые тела являются важными источниками энергии (топливом для горения) для большинства тканей в организме. Основным источником кетоновых тел является масляная кислота, производимая в рубце, однако в ранней стадии лактации жировые ткани выступают в качестве дополнительного их источника.

Производство глюкозы в печени коровы

Большая часть пропионатов, попадающих в печень, превращается в глюкозу. Кроме того, для синтеза глюкозы печень использует аминокислоты. Этот процесс имеет важное значение, так как глюкоза не впитывается через стенки пищеварительного тракта, и весь сахар, находящийся в молоке (около 900 г на 20 кг молока), должен производиться в печени. Исключение составляет только случай, когда в диете содержится большое количество концентратов, богатых крахмалом или источником крахмала, устойчивого к рубцовой ферментации. В этом случае крахмал, избежавший ферментации, попадает в тонкую кишку. Там происходит ферментация оставшегося крахмала, и выделенная при этом глюкоза впитывается через стенки тонкой кишки и попадает в печень, обеспечивая тем самым дополнительный источник глюкозы для коровы.

Лактат (эфир молочной кислоты) - это ещё один возможный источник глюкозы в печени. Он содержится в хорошо сохранившихся силосах, но производство лактата в рубце происходит только, если диета перенасыщена крахмалом. Возникновение такой ситуации весьма нежелательно, так как кислотность среды в рубце резко повышается, ферментация клетчатки прекращается и, в тяжелых случаях, корова перестаёт есть.

Синтез лактозы и жира в вымени коровы

В период лактации молочные железы имеют высокую потребность в глюкозе, которая используется, главным образом, для

производства лактозы. Количество синтезированной в вымени лактозы зависит от количества произведённого в день молока. Концентрация лактозы в молоке остаётся относительно постоянной, и вода добавляется к выделенной лактозе в количестве, необходимом для поддержания уровня концентрации лактозы в молоке около 4,5%. Таким образом, количество глюкозы, полученной из пропионатов, выработанных в рубце, оказывает большое влияние на продуктивность коровы.

Глюкоза превращается в глицерин, используемый как "костяк" для синтеза молочного жира. Ацетаты и β -гидроксibuтираты используются для построения летучих жирных кислот, которые соединяясь с глицерином образуют молочный жир. Молочные железы синтезируют насыщенные летучие жирные кислоты, содержащие от 4 до 16 углеродов (летучие жирные кислоты с короткими цепями). Около половины всего молочного жира синтезируется молочными железами. Другая половина образуется из липидов, содержащихся в рационе, включая ненасыщенные летучие жирные кислоты, содержащие от 16 до 22 углеродов (летучие жирные кислоты с длинными цепями).

При сжигании кетонов выделяется энергия, которая используется для синтеза жиров и лактозы. Ацетаты и глюкоза также могут выступать в качестве источника энергии в клетках многих тканей.

Влияние рациона на ферментацию в рубце и уровень надоев

Источник углеводов в рационе определяет количество и пропорции летучих жирных кислот, произведенных в рубце. Когда рацион содержит большое количество фуража, популяция микроорганизмов превращает 65% ферментированных углеводов в уксусную, 20% в пропионовую и 15% в масляную кислоты. В этом случае производство ацетатов может быть достаточно для максимального производства молока, однако количество пропионатов, получаемых в рубце, может ограничить молочную продуктивность вследствие недостатка глюкозы (особенно в ранней стадии лактации).

Неволокнистые углеводы, присутствующие во многих концентратах, стимулируют производство пропионовой кислоты, в то время как волокнистые углеводы, присутствующие в фуражах, способствуют производству уксусной кислоты. Вдобавок, из неволокнистых углеводов получается больше летучих жирных кислот (т.е. больше энергии), поскольку они ферментируются быстрее и более полно.

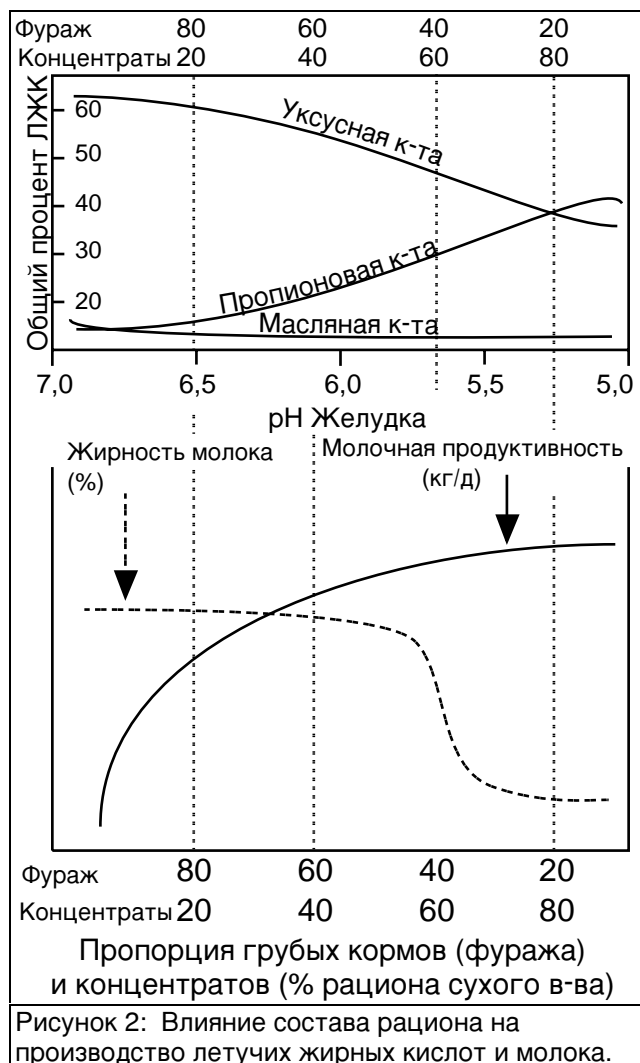
Таким образом, подача концентратов обычно увеличивает производство летучих жирных кислот и процент производства пропионатов за счёт ацетатов (Рис. 2). При подаче большого количества концентратов (или если фуражи не содержат длинных грубых частиц) процент производства уксусной кислоты может упасть ниже 40%, а пропионовой - возрасти выше 40%. Производство молока может возрасти вследствие увеличения доступного количества глюкозы, получаемой из пропионатов, однако при этом может возникнуть нехватка уксусной кислоты, необходимой для синтеза жиров. В общем, нехватка уксусной кислоты ассоциируется с уменьшением синтеза жиров и падением жирности молока. Кроме того, избыток пропионовой кислоты по отношению к уксусной вызывает запасание энергии в качестве жира (прибавка веса) вместо использования её для синтеза молока.

Таким образом, чрезмерное содержание в рационе концентратов может привести к ожирению коровы. Длительная подача такого

рациона может иметь негативные последствия для здоровья коровы, такие как ожирение печени, кетоз и дистоция (затруднение родов). С другой стороны, недостаточное количество концентратов в рационе ограничивает количество доступной энергии, молочную продуктивность и производство молочного протеина.

Суммируя сказанное, можно заключить, что изменение соотношения количества концентратов и фуража в рационе коренным образом влияет на количество и процентное содержание каждой летучей жирной кислоты. В свою очередь, летучие жирные кислоты имеют большое влияние на:

- Производство молока
- Жирность молока
- Эффективность превращения кормов в молоко
- Использования рациона для производства молока, а не для отложения жира



Международный Институт по Исследованию и Развитию Молочного Животноводства им. Бабкока является подразделением Университета Висконсина.

Эта публикация финансировалась специальным Грантом от USDA CSRS номер Гранта 92-34266-7304, а также U.S. Livestock Genetics Export, Inc.

Номер публикации DE-NF-1-122994-R

Эта и другие публикации могут быть затребованы из Института им. Бабкока по следующему адресу:

240 Agricultural Hall
1450 Linden Drive
Madison, WI 53706-1562 USA
Tel. (608) 262 4621
Fax (608) 262 8852