

## Липидный метаболизм у молочных коров

М. А. Ваттио

Международный Институт им. Бабкока

### Типы липидов

Обычно в рационе коровы содержится только от 4 до 6% липидов. Однако липиды играют очень важную роль в рационе, так как около 50% жира в молоке получается из липидов и они являются самыми концентрированными источниками энергии в рационе. Фуражи и зерна содержат незначительное количество липидов. Однако некоторые растения, такие как масличные культуры (хлопок, соя), содержат до 20% липидов в зернах. Обычно липиды выделяются из семян, которые могут использоваться в рационе коров в неэкстрагированном виде.

Липиды - это нерастворимые водой соединения, которые растворяются органическими растворителями (эфир, хлороформ, гексан и т.д.). Основными источниками **триглицеридов** являются пшеничные зёрна, семена масличных и животные жиры. Структура триглицерида содержит одну молекулу глицерина (сахар с тремя атомами углерода) и три остатка летучих жирных кислот (Рис. 1).

**Гликолипиды** составляют второй класс липидов, содержащийся в основном в фуражах (зерновые и бобовые). Эти соединения имеют структуру, похожую на триглицериды, только

одна из трех летучих жирных кислот заменена сахаром (обычно галактозой). Если одна из ЛЖК заменена фосфорной связью с другой комплексной структурой, то такой липид называется **фосфолипидом**. Корма содержат незначительное количество фосфолипидов, но их концентрация высока в рубцовых бактериях.

Обычные летучие жирные кислоты, содержащиеся в липидах растений, содержат от 14 до 18 атомов углерода (Таблица 1). Температура плавления липидов определяет, в каком состоянии (жидком или твёрдом) находятся липиды при комнатной температуре. Степень насыщения ЛЖК и, в меньшей степени, длина углеродных цепей определяют температуру плавления липидов. Липиды растений состоят на 70-80% из ненасыщенных ЛЖК, и поэтому они обычно находятся в жидком состоянии (масла). С другой стороны, животные жиры на 40-50% состоят из насыщенных ЛЖК, и поэтому они находятся в твёрдом состоянии при комнатной температуре (жиры). Степень насыщенности оказывает заметное влияние на то, насколько хорошо усваиваются липиды, и, у жвачных животных, насколько переваривание липидов интерферирует с рубцовой ферментацией углеводов.

### Гидролиз и насыщение липидов в рубце желудка

Основная часть липидов гидролизуется в рубце. Связь между глицерином и летучими жирными кислотами разрывается, давая молекулу глицерина и три молекулы летучих жирных кислот.

Глицерин быстро ферментируется на летучие жирные кислоты (см. углеводный метаболизм). Некоторые ЛЖК используются бактериями рубца для синтеза фосфолипидов,

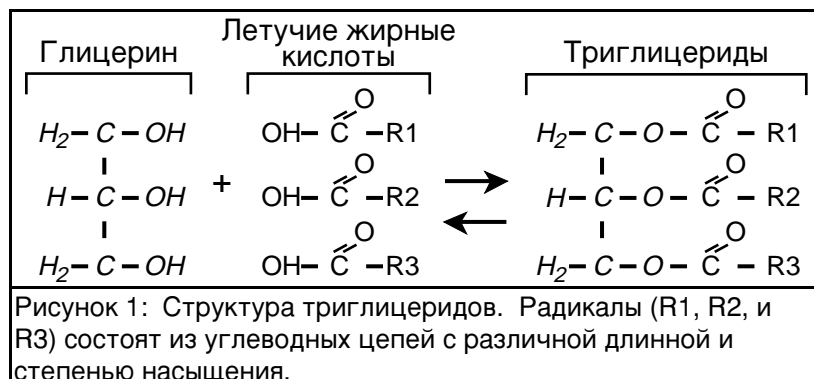


Таблица 1: Летучие жирные кислоты находящиеся в диете животного.

Общее название	Структура	Обозначение*	Температура таяния (°C)
..... Насыщенные кислоты .....			
Муристическая	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{12}\text{COOH}$	(C14:0)	54
Пальмитиновая	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$	(C16:0)	63
Стеариновая	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$	(C18:0)	70
..... Ненасыщенные кислоты .....			
Пальмитолиновая	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	(C16:1)	61
Олеиновая	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	(C18:1)	13
Линолевая	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}=\text{CH}\text{CH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	(C18:2)	-5
Линоленовая	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}=\text{CH}\text{CH}_2\text{CH}=\text{CH}\text{CH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	(C18:3)	-11

\* Первое число определяет общее количество углеводов и второе определяет количество двойных связей в молекуле.

необходимых для строительства клеточных мембран.

Другой важной функцией бактерий рубца является гидрирование ненасыщенных ЛЖК. В процессе гидрирования летучие жирные кислоты насыщаются поскольку происходит замена двойной связи двумя атомами водорода. Например, гидрирование превращает олеиновую кислоту в стеариновую (Таблица 1).

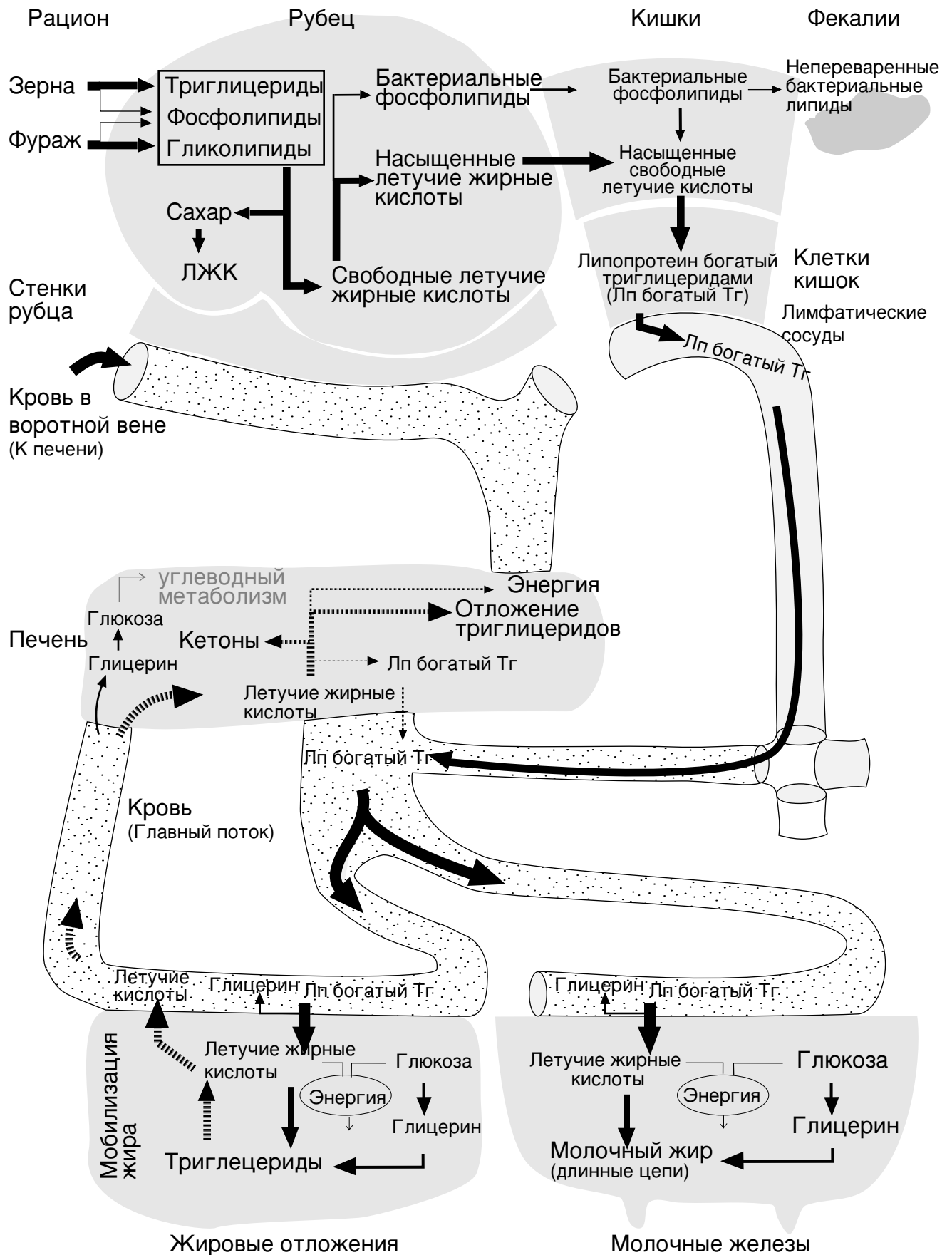
Свободные ЛЖК в рубце стремятся прикрепиться к кормовым и микробиологическим частицам, чем препятствуют процессу нормальной ферментации, особенно волокнистых углеводов. Избыток липидов в рационе (более 8%) может негативно сказаться на продуктивности коровы и жирности молока. Отрицательный эффект у ненасыщенных липидов сильнее, чем у насыщенных. Однако липиды могут быть "защищены" и процесс гидролиза в рубце значительно замедлен, что сделает их более "инертными". Шелуха защищает липиды, содержащиеся в семенах, и затрудняет протекание рубцового гидролиза по сравнению с открытым маслом. Кроме того, индустриальная переработка, при которой образуются мыльная пленка (кальциевая соль летучих жирных кислот), делает жирные кислоты нерастворимыми и, следовательно, инертными в рубце.

Микробные фосфолипиды составляют 10-15% от всех липидов, покидающих рубец, а оставшиеся 85-90% имеют форму насыщенных

ЛЖК, в основном в форме пальмитиновой и стеариновой кислот, связанных с кормовыми и микробными частицами.

### Кишечное впитывание липидов

Бактериальные фосфолипиды перевариваются в тонкой кишке и вносят вклад в общее количество ЛЖК, переработанных и впитанных через кишечные стенки. Желчь, выделяемая из печени, и сок поджелудочной железы, богатый ферментами и бикарбонатами, смешиваются с содержимым тонкой кишки. Эти выделения играют важную роль в подготовке липидов для впитывания в тонкой кишке, образуя водорастворимые частицы, называемые мицеллами, которые могут проникать в клетки кишки. Там основная часть летучих жирных кислот связывается с глицерином, получаемым из глюкозы крови, и формирует триглицериды. Затем триглицериды, некоторые свободные ЛЖК, холестерин и другие липидоподобные соединения обволакиваются протеином и формируют **липопротеины, богатые триглицеридами**. Липопротеины поступают в лимфатические сосуды и через грудные (торакальные) каналы (связывающие лимфатическую систему с кровяной) попадают в кровяную систему. В отличие от большинства питательных веществ, впитанных через гастрокишечный тракт, липиды попадают прямо в общую циркуляцию и используются всеми тканями организма без предварительной переработки в печени.



## Использование липидов рациона в вымени коровы

Около половины жира, содержащегося в молоке, производится из летучих жирных кислот, попадающих в молочные железы. Основным источником ЛЖК являются липопротеины, богатые триглицеридами, сформированными в процессе кишечного впитывания липидов. Увеличение в рационе количества ЛЖК с длинными цепями (летучие жирные кислоты с 16 и более атомами углерода) увеличивает их содержание в молоке, но в то же время это подавляет производство в молочных железах аминокислот с короткими и средними цепями (см. углеводный метаболизм). Таким образом, заметное уменьшение выделения жира, вызванное низким содержанием в рационе клетчатки, не может быть компенсировано увеличением жира в рационе.

## Роль печени и мобилизации жира

Во время периодов недокармливания или в ранней стадии лактации коровы удовлетворяют свои энергетические потребности, мобилизуя жировые отложения для получения из них дополнительной энергии. Летучие жирные кислоты, поступающие из триглицеридов, содержащихся в жировых отложениях (находящихся в основном под кожей, в брюшном отделе и в области почек), попадают в кровь. Летучие жирные кислоты, попавшие при этом в печень, используются как источник энергии или преобразуются в кетоны, которые затем попадают в кровь и могут быть использованы тканями организма как источник энергии. Печень не способна образовывать и экспортировать большое количество липопротеинов, богатых триглицеридами, и поэтому при чрезмерном количестве освобожденных летучих жирных кислот они откладываются в качестве триглицеридов в клетках печени. Жировые отложения в печени способствуют развитию метаболических расстройств (например кетоза и ожиревшая печень) в ранней стадии лактации.

## Добавление липидов в рацион

Липиды содержат приблизительно в 2,25 раз больше энергии, чем углеводы. Их также иногда называют "холодными" питательными веществами, потому что во время их утилизации организмом они выделяют меньше тепла, чем протеины и углеводы. Поэтому увеличение

содержания липидов в рационе дойной коровы может иметь следующие выгодные стороны:

- Увеличивает калорийность (энергетическую насыщенность) рациона, особенно когда потребление может быть ограничено, как например при рационе с большим содержанием фуража.
- Уменьшает потребность в концентратах, богатых углеводами, которые обычно требуются в ранней стадии лактации, когда энергетический баланс коровы отрицателен.
- В жаркую погоду липиды могут уменьшить тепловой стресс, испытываемый коровой в стадии лактации.

В зависимости от типа липидов, добавленных в корма, происходит значительное изменение в уровне потребления кормов и производства молока. Не рекомендуется добавлять в рацион более чем 1,5 кг липидов в день вдобавок к тому количеству, которое уже присутствует в кормах. Это соответствует общему количеству липидов, составляющему 6-8% в рационе молочной коровы, до того, как появятся явные признаки негативного влияния. При рационе, содержащем 5% липидов от сухого веса, производство молока достигает своего пика. Добавление в рацион жиров обычно уменьшает количество молочного протеина приблизительно на 0,1%. Вдобавок, избыток липидов может снизить потребление кормов, уровень надоев и жирность молока.

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