

# Масляная кислота: понимание её преимуществ и сравнение источников



**Ян ЛЕВЕР**

Специалист по техническому  
обслуживанию и поддержке  
GLOBAL NUTRITION - Франция



Масляная кислота-это короткоцепочечная жирная кислота (КЦЖК). КЦЖК обычно получают в результате микробиальной ферментации содержимого просвета кишечника. В питании животных экзогенная масляная кислота восполняет недостаток питательных веществ, поскольку улучшает структуру и функции пищеварительной системы, контролирует патогенные микроорганизмы, уменьшает воспаление, повышает усвояемость питательных веществ и модулирует микрофлору. Эти действия помогают улучшить рост, коэффициент конверсии корма и состав мяса (Ahsan & al, 2016; Moquet&. 2018; Bedford & al, 2018).

### Каковы основные действия масляной кислоты?

Масляная кислота обладает многими свойствами, играющими важную роль в улучшении целостности кишечника. Масляная кислота регулирует бокаловидные клетки, увеличивая выработку слизи, а также модулирует экспрессию белков плотного соединения, снижая проницаемость кишечного эпителия (рис. 1). Следовательно, масляная кислота защищает эпителий от таких патогенов, как бактерии, токсины, механическое воздействие или кокцидиоз. Эта защита также снижает риск воспаления, которое также может препятствовать эффективному перевариванию питательных веществ. Наконец, было показано, что масляная кислота снижает стресс и мощные потери энергии благодаря своей защитной способности (Peng et al. 2007; Song et al. 2017; Wu et al. 2018).



Масляная кислота модулирует гормональную регуляцию кишечника, увеличивая секрецию, такую как секреция поджелудочной железы, в сочетании с улучшенной ферментативной активностью, что позволяет улучшить усвояемость питательных веществ. Морфология кишечника также модулируется увеличением длины ворсинок и глубины крипт, что еще больше способствует поглощению питательных веществ. Благодаря снижению сильных стрессов и потерь энергии, улучшению усвояемости и усвояемости питательных веществ масляная кислота улучшает ростовые показатели. Масляная кислота позволяет увеличить рост, конечную массу тела и снижает коэффициент потребления корма (Lan et al. 2020). В сложных условиях, вызванных липополисахаридами (ЛПС), тепловым стрессом, Eimeria maxima, Некротическим энтеритом, индуцированным Clostridium perfringens, добавление масляной кислоты смягчает их негативное влияние на производительность (Zhang & al, 2011; Abdelqader & al, 2016; Ali & al, 2014; Song & al, 2017).

В заключение следует отметить, что масляная кислота является эффективной КЦЖК для поддержания и улучшения здоровья кишечника животных. Преимущества масляной кислоты обусловлены множеством факторов, позволяющих максимизировать ростовые показатели.

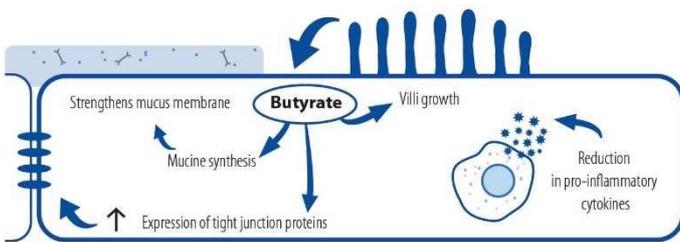
### Каковы основные источники масляной кислоты?

Масляная кислота не добавляется в чистом и жидком виде из-за ее летучести, плохого запаха и коррозионной стойкости. По этим причинам она дополняется в основном либо в солевой, либо в эфирной форме. Основными источниками масляной кислоты являются: Са-бутират, На-бутират и сложные эфиры масляной кислоты (такие как трибутирин и моно-бутирин).

### СОЛИ МАСЛЯНОЙ КИСЛОТЫ

#### Бутират натрия

Молекула масляной кислоты состоит из 4 атомов углерода. Последний углерод посвящен функции карбоновой кислоты, состоящей из атома кислорода с двойной ковалентной связью, к гидроксильной группе (-ОН). КД масляной кислоты составляет 4,83. На-бутират образуется в результате кислотно-щелочной реакции между гидроксидом натрия (NaOH) и масляной кислотой. Поскольку гидроксид натрия является сильным основанием, а масляная кислота-слабой кислотой,



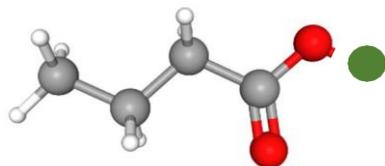
Благодаря другим механизмам, таким как модуляция путей NF-κB, ингибирование HDAC (ферментная группа гистондеацетилазы) и модуляция созревания иммунных клеток, масляная кислота модулирует выработку анти-и провоспалительных цитокинов. Как следствие, масляная кислота модулирует сильное воспаление кишечника, и эта модуляция воспаления, вероятно, уменьшает окислительные повреждения. Масляная кислота прямым или косвенным путем модулирует вирулентность и плотность популяций микробиоты. Стимуляция защитных пептидов хозяина, модуляция иммунных клеток и прямое воздействие на микробиоту могут объяснить, как масляная кислота взаимодействует с микробиотой. Благодаря этим взаимодействиям с микробиотой и снижению размножения патогенов масляная кислота уменьшает возникновение заболеваний, стресс и потерю энергии.



Масляная кислота модулирует гормональную регуляцию кишечника, увеличивая секрецию, такую как секреция поджелудочной железы, в сочетании с улучшенными ферментативными свойствами, что позволяет улучшить усвояемость питательных веществ

эта реакция завершается и образует натриевую соль масляной кислоты и воды (рис. 2). Молекулярная масса бутирата натрия составляет 110 г/моль. Na-бутират содержит 79% масляной кислоты и 21% натрия.

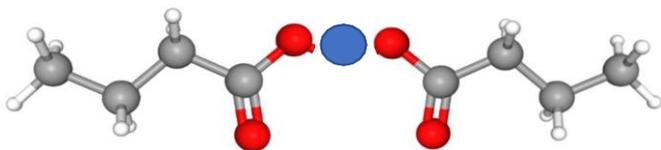
**Рис. 2:** Молекула бутирата натрия



### Бутират кальция

Кальций-бутират является продуктом реакции между гидроксидом кальция (Ca(OH)<sub>2</sub>) и двумя молекулами масляной кислоты (рис. 3). Эта реакция очень похожа на реакцию Натрий-бутирата. Молекулярная масса бутирата кальция составляет 215 г/моль и содержит 81% масляной кислоты. Ca-бутират более концентрирован, чем Na-бутират, на 2%. Кроме того, растворимость Ca-бутирата ниже, чем Na-бутирата (6 г/л против 115 г/л) (Mallo & al, 2012). Ca-бутират может иметь более низкую скорость растворимости, обеспечивая более прогрессивное высвобождение в кишечнике (Guilloteau & al, 2009).

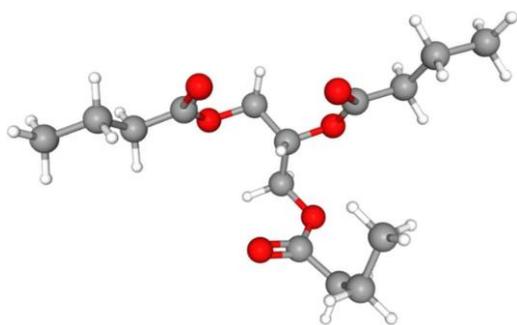
**Рис. 3:** Молекула бутирата кальция



### Эфиры масляной кислоты

Этерификация между глицерином и 1, 2 или 3 молекулами масляной кислоты приводит к образованию молекулы моно, ди или трибутирина (рис. 4). Его молекулярная масса составляет 302 г/моль (трибутирин). Концентрация масляной кислоты составляет 86%. Трибутирин на 86% состоит из масляной кислоты в жидком виде. Чтобы иметь твердую форму, трибутирин в основном поглощается кремнеземом, а конечное содержание в масляной кислоте составляет около 50-55%.

**Рис. 4:** Молекула трибутирина



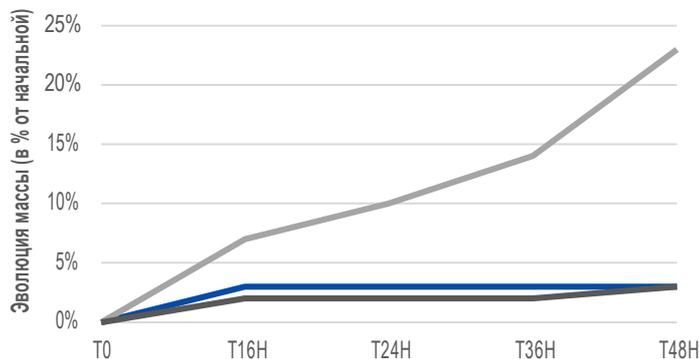
## Каковы основные различия между солями масляной кислоты и эфирами масляной кислоты?

### Гигроскопичность

Некоторые источники масляной кислоты могут быть чувствительны к влажности. Если продукт обладает высокой гигроскопичностью, он может быть нестабильным в кормах или в премиксах из-за влажности других компонентов. Это может даже высвободить немного

масляной кислоты в корме. Эти вопросы следует принимать во внимание, особенно в тропических условиях или при промышленном процессе, где существуют высокая температура и влажность. Для сравнения гигроскопичности Ca-бутирата, Na-бутирата и

**Рис. 5:** Сравнение гигроскопичности между источниками масляной кислоты



трибутирина, был проведен лабораторный тест (рис.5). Защищенный Ca-бутират (GLOBAMAX b700: мин. 65% масляной кислоты, 15% жира) был использован в этом тесте для сравнения с трибутирином (50-55% от МК) и с защищенным Na-бутиратом (50-55% масляной кислоты, 20-25% жира). Исследование показало, что Na-бутират очень чувствителен к гигроскопичности. Через 48 часов во влажной среде его масса увеличилась более чем на 20%. После 36 часов во влажной среде визуальный аспект Ca-бутирата и Na-бутирата сильно отличается. Ca-бутират (рис. 6) сохраняет свою свободную текучую форму и сухой вид. Напротив, Na-бутират кажется очень влажным, липким, и на его поверхности видны капельки воды. Этот тест позволяет нам сделать вывод, что при эквивалентном уровне жира Na-бутират менее стабилен, что также может препятствовать стабильности в процессе гранулирования или экструдирования. Чтобы уменьшить эту проблему, Na-бутират требует защитного слоя жира до 50-70%. По этой причине концентрация масляной кислоты в продуктах на основе Na-бутирата часто ниже по сравнению с продуктами Ca-бутирата.

**Рис. 6:** Визуальное сравнение бутирата во влажной



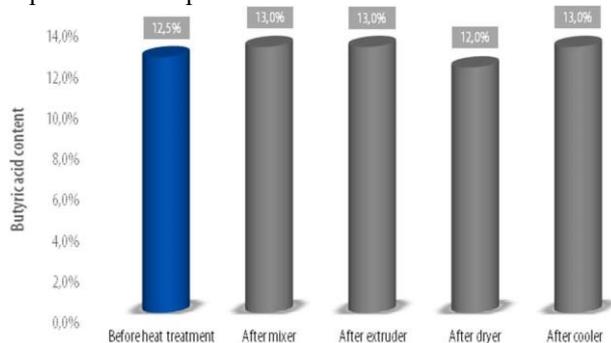
### Концентрация масляной кислоты

Целью всех продуктов с масляной кислотой является доставка наиболее активного вещества на тонну корма в нужное место в ЖКТ. Са-бутират в незащищенной форме содержит 81% масляной кислоты против 79% для Na-бутирата, а концентрация трибутирина в масляной кислоте составляет 86% - однако высвобождается только две трети масляной кислоты (т. е.  $86\% \times 2/3 = 56\%$ ) (Moquet et al. 2018). Большая часть трибутирина находится в порошкообразной форме с начальной концентрацией примерно 55%, что означает, что высвобождается и доступно только 36% масляной кислоты. Соли масляной кислоты часто защищают, чтобы уменьшить запах и увеличить выделение масляной кислоты в кишечнике, где она больше всего нужна. Как упоминалось ранее, Са-бутират в силу своей природы менее растворим, что позволяет более целенаправленно высвобождаться в кишечнике по сравнению с Na-бутиратом. Поскольку он также менее гигроскопичен, защищенный Са-бутират может быть получен с более высокой концентрацией масляной кислоты. Напротив, чтобы избежать каких-либо проблем со слеживанием, Na-бутират должен быть защищен 50% или 70% жира. Как следствие, уровень масляной кислоты снижается до 23-40%. В заключение следует отметить, что бутират кальция является наиболее высококонцентрированным источником масляной кислоты, позволяющим использовать меньшие дозы в кормах для животных.

### Термостойкость

Бутират кальция является очень стабильным и концентрированным источником масляной кислоты. Три разных исследования, проводимые GLOBAL NUTRITION для оценки стабильности GLOBAMAX b700, GLOBAMAX b700 MICRO и GLOBAMAX 1000 в условия гранулирования или экструдирования. В каждом случае продукты были очень стабильны. В условиях гранулирования 100% продукта оставалось неповрежденным. В условиях экструдирования одно испытание, проведенное при температуре 100-120°C, показало, что продукт остался неповрежденным (рис. 7). В другом эксперименте, более чувствительном и сложном при температуре 120°C и давлении 96 бар, более 70% продукта остается неповрежденным. Эти тесты показали, что бутират кальция и особенно линейка GLOBAMAX очень стабильны даже в чрезвычайно сложных условиях.

Рис. 7: Содержание масляной кислоты в корме после термической обработки



### Высвобождение и всасывание в кишечнике

Чтобы быть активной, масляная кислота должна высвобождаться из иона (Са или Na). Соли масляной кислоты, такие как Na-бутират и Са-бутират, высвобождают свою масляную кислоту путем диссоциации. После диссоциации молекулы масляной кислоты свободны и могут играть свою роль, как описано в первой части этой статьи (Ahsan et al. 2016).

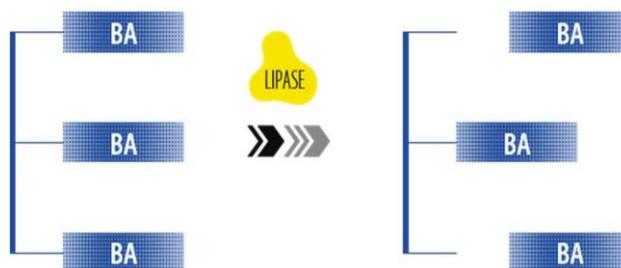


Из-за своей разницы в растворимости мы можем считать, что Na-бутират высвобождает молекулы масляной кислоты быстрее, чем Са-бутират.

Как объяснялось ранее, Na-бутират более растворим, чем Са-бутират. Из-за своей разницы в растворимости мы можем считать, что Na-бутират высвобождает молекулы масляной кислоты быстрее, чем Са-бутират (Guilloteau et al. 2009). По этой причине Са-бутират будет меньше всасываться в проксимальной части кишечника по сравнению с Na-бутиратом. У Са-бутирата больше шансов (даже в незащищенной форме) действовать в кишечнике, органи-мишени для введения масляной кислоты.

Катаболизм трибутирина или сложного эфира отличается от соли, даже если его метаболизм и эффективность остаются неясными. Постулируется, что трибутирин требует действия липазы для высвобождения масляной кислоты из глицерина. Однако, если высвобождение масляной кислоты требует липаз, то только 66% масляной кислоты может быть высвобождено. Действительно, эндогенные липазы могут менять положение сложноэфирных связей sn-1 и sn-3, но не sn-2 (рис. 8). По этой причине часть бутирата поглощается монобутирином sn-2. Следовательно, 33% содержания масляной кислоты не может быть активным в форме масляной кислоты (Moquet et al, 2018). Кроме того, у некоторых видов, например, у свиней, липазы могут выделяться в проксимальной части кишечника, препятствуя попаданию сложных эфиров масляной кислоты в кишечник. Другие исследователи объяснили, что липазы обычно разрывают связи сложных эфиров большой разницей полярностей, например, с длинноцепочечными жирными кислотами из 16 и более атомов углерода. В случае масляной кислоты липазы не могут распознавать глицериды с SFCA и не выделяют масляную кислоту. В этом случае, возможно, эфиры масляной кислоты могут просто действовать как источники энергии (Mallo et al. 2012). Наконец, действие сложных эфиров неясно, и невозможно сделать вывод, что этот источник действует как соль масляной кислоты из-за разницы в высвобождении. Соль масляной кислоты, и особенно Са-бутират, остается идеальным источником, потому что она высвобождает масляную кислоту в нужном месте в ЖКТ и высвобождает 100% ее содержания в масляной кислоте.

Рис. 8: Действие липаз на трибутирин





## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Масляная кислота все шире используется в кормлении животных. Она помогает регулировать здоровье кишечника и повышать его работоспособность благодаря своим свойствам влиять на целостность кишечника, уменьшать воспаление, модулировать микробиоту, положительно влиять на секрецию кишечника и его развитие. На рынке представлены различные источники, и все они не эквивалентны из-за их технологических и зоотехнических различий. Бутират кальция является важным источником масляной кислоты благодаря своей абсорбции, стабильности во влажных условиях, более высокой концентрации и высокой стойкости в процессе кормления. Используя новейшие технологии защиты, доступные для обеспечения максимальной доставки масляной кислоты, бутират кальция обеспечивает рациональный выбор, объединяя все преимущества масляной кислоты.

## ССЫЛКИ

- Abdelqader A, Al-Fataftah A-R. 2016. Влияние пищевой масляной кислоты на продуктивность, морфологию кишечника, состав микрофлоры и восстановление кишечника бройлеров, подверженных тепловому стрессу. Наука о животноводстве. 183:78–83.
- Ahsan U, Cengiz Ö, Raza I, Kuter E, Chacher MFA, Iqbal Z, Umar S, Çakir S. 2016. Бутират натрия в питании цыплят: динамика показателей, микробиота кишечника, морфология кишечника и иммунитет. Международный научный журнал по птицеводству. 72(2):265–275.
- Ali AM, Seddiek ShA, Khater HF. 2014. Влияние бутирата, клопидола и их комбинации на продуктивность бройлеров, инфицированных *Eimeria maxima*. Британская Птицеводческая наука. 55(4):474–482.
- Bedford A, Gong J. 2018. Влияние бутирата и его производных на здоровье кишечника и животноводство. Питание животных. 4(2):151–159.
- Guilloteau P, Zabielski R, David JC, Blum JW, Morisset JA, Biernat M, Woliński J, Laubitz D, Hamon Y. 2009. Натрий-бутират в качестве стимулятора роста в молочных смесях для молодых телят. Журнал науки о молочном скотоводстве. 92(3):1038–1049.
- Lan R, Li S, Chang Q, An L, Zhao Z. 2020. Бутират натрия повышает ростовые показатели и развитие кишечника у бройлеров. Czech J Anim Sci. 65(No. 1):1–12.
- Mallo JJ, Balfagón A, Gracia MI, Honrubia P, Puyalto M. 2012. Оценка различных защит масляной кислоты, направленных на высвобождение в последней части желудочно-кишечного тракта поросят. J Anim Sci. 90(suppl\_4):227–229.
- Moquet PCA, Hendriks WH, Kwakkel RP. 2018. Бутират в рационах бройлеров: влияние присутствия бутирата в отдельных сегментах желудочно-кишечного тракта на пищеварительную функцию, состав микробиоты и иммунные реакции.
- Peng L, He Z, Chen W, Holzman IR, Lin J. 2007. Влияние бутирата на барьерную функцию кишечника в клеточной монослойной модели кишечного барьера Caco-2. Педиатрические исследования. 61(1):37–41.
- Song B, Li H, Wu Y, Zhen W, Wang Z, Xia Z, Guo Y. 2017. Влияние микрокапсулированной пищевой добавки бутирата натрия на ростовые показатели и барьерную функцию кишечника цыплят-бройлеров, инфицированных некротическим энтеритом. Наука и техника кормления животных. 232:6–15.
- Wu W, Xiao Z, An W, Dong Y, Zhang B. 2018. Диетический бутират натрия улучшает развитие и функцию кишечника, модулируя микробное сообщество у бройлеров. PLoS One. 13(5). <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5967726/>
- Zhang WH, Jiang Y, Zhu QF, Gao DF, Dai SF, Chen J, Zhou GH. 2011. Бутират натрия поддерживает ростовые показатели, регулируя иммунный ответ у цыплят-бройлеров. Британская Птицеводческая наука. 52(3):292–301.