ВЛИЯНИЕ СТАДИИ ГИДРОЛИЗА ЛАКТОЗЫ НА КАЧЕСТВО ФЕРМЕНТИРОВАННЫХ МОЛОЧНЫХ НАПИТКОВ

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

Марина Васильевна Каледина[1], канд. техн. наук, доцент, доцент технологического факультета
E-mail: Kaledina_MV@belgau.ru
Виктория Петровна Витковская[1], канд. с.-х. наук, старший преподаватель технологического факультета
Дарья Александровна Шемякина[1], ассистент
Елена Юрьевна Поротова[2], канд. техн. наук, доцент института «Агротехнологическая академия»
[1]Белгородский государственный аграрный университет им. В. Я. Горина, пос. Майский, г. Белгород
[2]Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского, г. Симферополь

В условиях глобальной распространенности лактазной недостаточности и тенденции к снижению потребления добавленных сахаров разработка технологий ферментированных молочных продуктов с гидролизованной лактозой приобретает высокую научно-практическую значимость. Полный или почти полный гидролиз лактозы в кисломолочных продуктах возможен при внесении фермента *β*-галактозидазы в молоко перед пастеризацией (предварительный гидролиз / прегидролиз) или добавлении лактазы вместе с закваской после пастеризации молока (совместный гидролиз / согидролиз). Цель исследования – сравнительная оценка влияния двух технологических подходов, прегидролиза и согидролиза при внесении ферментного препарата *β*-галактозидазы NOLA Fit 5500 на биохимические, реологические и органолептические характеристики модельных образцов йогурта и кефира. Установлено, что для термофильной закваски йогурта прегидролиз обеспечивает степень расщепления лактозы 91,7 %, ускорение достижения целевого pH 4,6 на 90 мин и формирование более плотного геля за счет усиленного синтеза экзополисахаридов. Для симбиотической микрофлоры кефира оптимальным является согидролиз, позволяющий достичь максимальной степени гидролиза – 92,2 %, повысить влагоудерживающую способность и снизить синерезис благодаря образованию гидрофильной полимерной сети вокруг казеиновых мицелл. Реологический анализ подтвердил, что прегидролиз способствует повышению вязкости йогуртового сгустка, а согидролиз улучшает стабильность структуры кефира при хранении. Органолептическая оценка показала улучшение вкусового профиля гидролизованных образцов за счет естественной сладости глюкозы и галактозы, что позволяет существенно минимизировать использование сахарозы и других подсластителей. Выбор стадии внесения фермента является критическим параметром, определяющим качество низколактозных и безлактозных ферментированных напитков и открывающим возможности целенаправленного моделирования их функционально-технологических свойств.

Ключевые слова: согидролиз, прегидролиз, *β*-галактозидаза, сквашивание, лактоза, йогурт, кефир, экзополисахариды

Для цитирования: Влияние стадии гидролиза лактозы на качество ферментированных молочных напитков / М. В. Каледина, В. П. Витковская, Д. А. Шемякина, Е. Ю. Поротова // Молочная промышленность. 2026. № 4. С. 58–65. https://doi.org/10.21603/1019-8946-2026-4-95

ВВЕДЕНИЕ

Выпуск кисломолочных напитков с гидролизованной лактозой сегодня актуален как никогда. Он позволяет решить две задачи: расширить ассортимент потребляемых молочных продуктов для людей с непереносимостью лактозы и снизить количество добавленных сахаров, особенно в детском питании [1, 2].

По современным оценкам, более 70 % взрослого населения мира страдает лактазной недостаточностью, а в некоторых регионах этот показатель превышает 90 % [3]. У таких людей традиционные молочные напитки вызывают дискомфорт – вздутие, боли в желудочно-кишечном тракте, диарею. Предварительный гидролиз лактозы с помощью фермента *β*-галактозидазы (лактазы) расщепляет молочный сахар на глюкозу и галактозу. В результате молочный продукт становится практически безлактозным и хорошо переносится даже при выраженной непереносимости [4].

Важным преимуществом гидролиза является естественное усиление сладости продуктов из-за высвобождения свободных моносахаридов. Благодаря этому в рецептуре можно существенно уменьшить или полностью исключить добавление сахарозы и других подсластителей [1]. Это особенно ценно для детей, у которых избыток свободных сахаров повышает риск ожирения, кариеса, инсулинорезистентности и других метаболических нарушений. Рекомендации ВОЗ и национальных органов здравоохранения ограничивают потребление добавленных сахаров в детском рационе (не более 25–50 г в сутки для возраста от 2 до 18 лет). Кисломолочные продукты с гидролизованной лактозой позволяют вводить в питание полезные пробиотики, кальций, белок и витамины группы В. При этом за счет естественной сладости продукты лучше воспринимаются детьми и не требуют дополнительной сахарной нагрузки [5].

Кисломолочные продукты, такие как йогурт, кефир и другие напитки, особенно подходят для снижения содержания лактозы благодаря свойственной лактозосбраживающей активности молочнокислых бактерий, используемых при ферментации [6]. Во время сквашивания молочнокислые бактерии сами частично расщепляют лактозу на 10–50 % в зависимости от штамма, времени и температуры. Полный или почти полный гидролиз лактозы в кисломолочных продуктах возможен при внесении фермента *β*-галактозидазы в молоко перед пастеризацией (предварительный гидролиз / прегидролиз) или добавлении лактазы вместе с закваской после пастеризации молока (совместный гидролиз / согидролиз) [7].

Цель настоящего исследования – сравнительная оценка влияния двух технологических подходов, прегидролиза и согидролиза, при внесении ферментного препарата *β*-галактозидазы (NOLA Fit 5500) на биохимические, реологические и органолептические характеристики модельных образцов йогурта и кефира.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектами исследования являлись:

- фермент *β*-галактозидаза NOLA Fit 5500 BLU/g – рекомбинантный фермент *Bifidobacterium bifidum*, синтезируемый *Bacillus licheniformis*, выделенный и очищенный от посторонних примесей из культуральной среды, реализуемый в жидком виде (Chr. Hansen, Дания);
- молоко нормализованное пастеризованное гомогенизированное (м. д. ж. = 2,5 %, м. д. б. = 3,2 %, массовая доля сухих веществ = 10,9 %). Исходное содержание лактозы в молоке составляло 4,82 ± 0,05 %;
- закваска прямого внесения для йогурта (*Streptococcus thermophilus* + *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*) JOINTEC (CSL, Италия), 1 DOSI на 500 л молочной смеси, в упаковке 4 DOSI. Для внесения закваски на 1 л молочной смеси готовили промежуточный раствор: 1 г сухой закваски растворяли в 1 л стерилизованного молока, после чего отбирали 5 мл полученного раствора для внесения в опытные образцы йогурта;
- кефирная закваска (ЗАО «Томмолоко», Россия), содержащая симбиоз мезофильных молочнокислых бактерий (*Lactococcus lactis, Lactobacillus kefiri, Lactobacillus casei, Lactobacillus parakefiri, Leuconostoc pseudomesenteroides*) и дрожжей (*Kluyveromyces marxianus, Saccharomyces cerevisiae*). Кефирную закваску вносили в количестве 5 % от объема молока.

В рамках эксперимента сравнивали два технологических подхода:

- Прегидролиз – фермент добавляли в молоко перед пастеризацией (доза 0,2 %, выдержка 8 ч при 4–6 °С), затем проводили пастеризацию при 85 °С в течение 10 мин, охлаждение до температуры заквашивания – 39 ± 2 °С (для йогурта) или 24 ± 2 °С (для кефира), внесение закваски.
- Согидролиз – фермент (доза 0,1 %) добавляли вместе с закваской в пастеризованное молоко, охлажденное до 39 ± 2°С (для йогурта) или 24 ± 2°С (для кефира).

Источник изображения: magnific.com




Источник изображения: magnific.com

Контролем являлось молоко без гидролиза. Дозировки фермента подобраны на основании предварительных экспериментов. Для прегидролиза выбранная дозировка позволяет достичь максимальной степени гидролиза за 8 ч при «холодной» ферментации. В случае согидролиза учитывали более высокую активность фермента при температурах сквашивания и ее сохранение в течение всего времени получения продукта.

Ферментацию проводили до достижения pH 4,6. Далее образцы выдерживали при 4 ± 2 °C в течение 24 ч. В процессе сквашивания отслеживали pH (ГОСТ Р 54669-2011, pH-метр / иономер Мультитест) и титруемую кислотность по ГОСТ Р 54669-2011.

Образцы кисломолочных напитков анализировали на 1 и 7 сутки хранения.

Содержание лактозы определяли по ГОСТ 34304-2017 (ферментативный метод). Пробоподготовка включала осаждение белков раствором сульфата цинка и гидроксида натрия, фильтрование. Измерение осуществляли при длине волны 340 нм на спектрофотометре UNICO-2804. Степень гидролиза рассчитывали как разницу между начальным и конечным содержанием лактозы в процентах.

Вязкость оценивали на ротационном вискозиметре TRL35 MULTI-SPEED (ООО «ТауРусЛаб», Россия) при температуре хранения образцов.

Синерезис сгустка определяли путем центрифугирования 10 мл образца при 1500 об/мин в течение 10 мин. Надосадочную жидкость сливали и взвешивали. Степень синерезиса (%) = (масса отделившейся сыворотки / масса образца) × 100 %.

Органолептическая оценка осуществлялась по ГОСТ Р ИСО 22935-3-2011. Дегустационная комиссия из 8 обученных специалистов оценивала образцы по пятибалльной шкале (5 – отлично, 1 – неудовлетворительно) с соблюдением всех правил дегустационного анализа. Образцы кодировали трехзначными числами и подавали в случайном порядке.

Все эксперименты проведены в трех повторностях, каждый образец анализировали трижды. Результаты представлены как среднее значение ± стандартное отклонение. Статистическую значимость различий оценивали с помощью однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA) и критерия Тьюки при уровне значимости $p < 0,05$. Использовали программное обеспечение Statistica 13.3.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате исследования были выявлены выраженные различия в эффективности гидролиза лактозы в зависимости от стадии внесения фермента и типа кисломолочного напитка (табл. 1). В йогурте предварительный гидролиз обеспечивал существенно более высокий уровень расщепления лактозы по сравнению с одновременным внесением фермента вместе с закваской. Это объясняется особенностями микрофлоры йогуртовых заквасок, в состав которых входят термофильные молочнокислые бактерии *S. thermophilus* и *L. delbrueckii* subsp. *bulgaricus*. Скорость метаболизма этих микроорганизмов ускоряется вследствие интенсивного использования для питания свободных моносахаридов, образующихся в результате гидролиза [8, 9].

Таблица 1. Изменение степени гидролиза лактозы при сквашивании

Наименование образца	Степень гидролиза, %	
	До сквашивания	После сквашивания
Йогурт		
Контроль	0^{a}	$12,1 \pm 0,78^{a}$
Прегидролиз	$81,26 \pm 1,01^{b}$	$91,7 \pm 0,65^{c}$
Согидролиз	0^{a}	$84,5 \pm 0,25^{d}$
Кефир		
Контроль	0^{a}	$14,78 \pm 0,66^{a}$
Прегидролиз	$79,56 \pm 0,54^{b}$	$86,44 \pm 0,41^{e}$
Согидролиз	0^{a}	$92,21 \pm 0,2^{c}$

Примечание: различные надстрочные индексы в пределах одного столбца указывают на статистически значимые различия между образцами ($p < 0,05$).



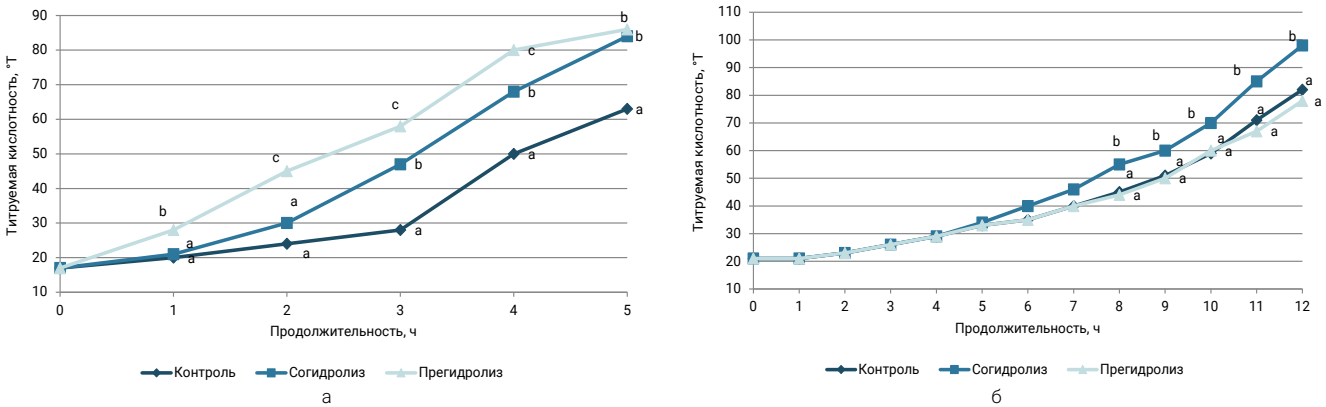
В кефире, напротив, одновременный гидролиз превосходил предварительный по степени расщепления лактозы. Очевидно, на это влияет сложный состав микрофлоры кефирных грибков, включающий не только молочнокислые бактерии, но и дрожжи, а также другие симбиотические микроорганизмы [10]. По всей видимости, разнообразный консорциум бактерий эффективнее работает именно при одновременной доступности лактозы и образующихся моносахаридов во время ферментации, когда условия позволяют всем видам микроорганизмов активно взаимодействовать.

Динамика сквашивания образцов (рис. 1) отличалась в зависимости от стадии внесения β-галактозидазы и вида напитка. В случае йогурта скорость сквашивания молока, подвергнутого предварительному гидролизу до пастеризации, опережает остальные варианты. Сквашивание начинается раньше, развивается интенсивнее и достигает целевого значения pH 4,6 примерно на 90 мин быстрее по сравнению с контролем. Кривая демонстрирует резкий подъем кислотности с самого начала процесса, что свидетельствует об ускоренном метаболизме молочнокислых бактерий. Согидролиз обеспечивает промежуточную скорость: нарастание кислотности происходит быстрее, чем в контроле, однако заметно медленнее, чем при предварительном гидролизе. Контрольный образец характеризуется самой продолжительной ферментацией.

В образцах кефира различия в скорости сквашивания проявляются значительно позже, примерно после шести часов от начала процесса. На ранних этапах темпы нарастания кислотности всех образцов напитков практически идентичны. Только после указанного времени в образце с согидролизом интенсифицируется процесс ферментации. В результате целевое значение кислотности достигается примерно на 60 мин раньше по сравнению с контролем и образцом с предварительным гидролизом. Контрольный образец и вариант с прегидролизом демонстрируют почти идентичную динамику сквашивания на протяжении всего периода, без ускорения или замедления.

Такие особенности динамики кислотности обусловлены различиями в предпочтениях микрофлоры к источникам углерода. В йогурте термофильные культуры закваски активно используют глюкозу и галактозу, поэтому предварительный гидролиз, создающий их высокий исходный уровень, немедленно стимулирует метаболизм и приводит к раннему ускорению подкисления. Согидролиз обеспечивает постепенное накопление моносахаридов, что дает умеренное ускорение относительно контроля.

В кефире симбиотическая микрофлора грибков проявляет инертность к измененному субстрату на начальных стадиях. Предварительный гидролиз не дает



Примечание: различные надстрочные индексы в пределах одного временного промежутка указывают на статистически значимые различия между образцами ($p < 0,05$).

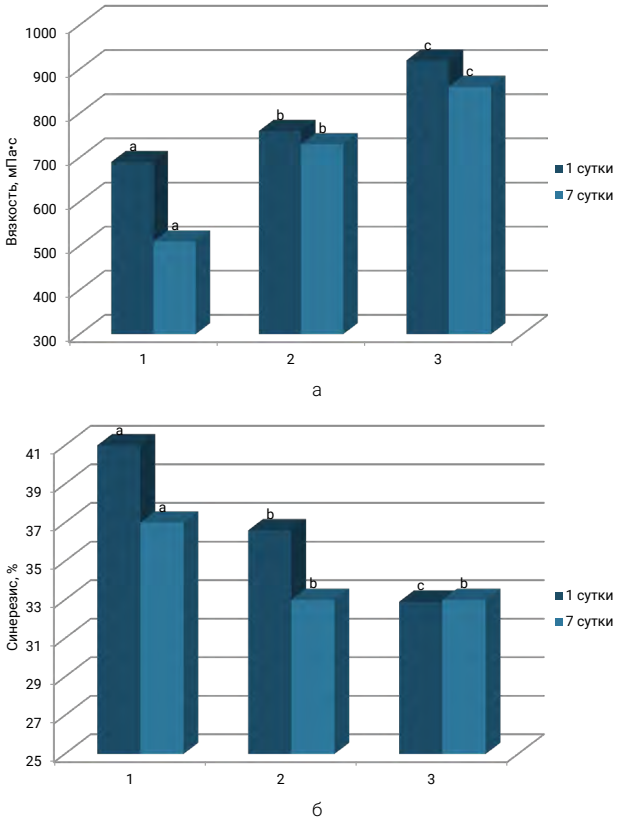
Рисунок 1. Динамика сквашивания кисломолочных напитков: а) йогурт, б) кефир

преимущества в первые часы сквашивания. Скорее всего, консорциум микроорганизмов лучше активируется при одновременной доступности лактозы и образующихся моносахаридов именно во время активной фазы ферментации. Это объясняет позднее, но выраженное ускорение нарастания кислотности при согидролизе после 6 ч, когда синхронизируется метаболизм всего симбиоза микроорганизмов [11].

Реологические характеристики образцов напитков представлены на рисунках 2 и 3. Предварительный гидролиз давал более плотный и стабильный гель в йогурте, что связано с усиленным синтезом экзополисахаридов (декстраны), укрепляющих белковую сеть [12, 13]. Способностью синтезировать декстраны обладают и болгарская палочка, и термофильный стрептококк, они практически не сбраживают галактозу, но катализируют из нее синтез декстранов. В полимеризации участвует только *β*-форма галактозы [14]. Именно декстраны-экзополисахариды и являются причиной снижения синерезиса, повышенной вязкости.

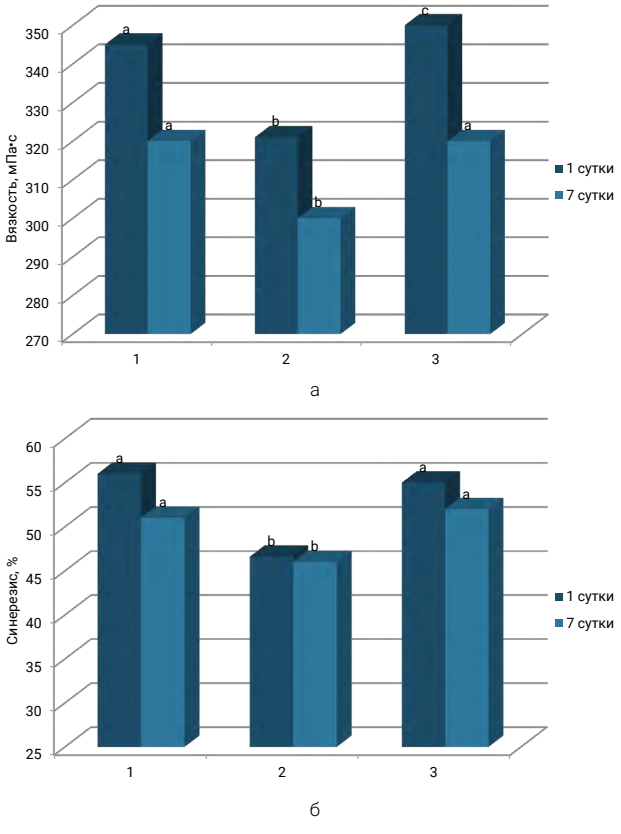
Вязкость в кефире с согидролизом оказалась немного ниже, чем в вариантах с предварительным гидролизом и контролем, в то время как влагоудерживающая способность – выше.

При согидролизе фермент *β*-галактозидаза действует параллельно с ферментацией, постепенно высвобождая глюкозу и галактозу в среде, где микроорганизмы активно растут и их метаболизируют. Такая смешанная доступность субстратов стимулирует синтез экзополисахаридов с повышенной молекулярной массой и лучшей водосвязывающей способностью [15]. Эти полисахариды образуют более рыхлую, но гидрофильную сеть вокруг казеиновых мицелл, что эффективно удерживает воду в структуре сгустка и уменьшает синерезис. В результате продукт приобретает повышенную стабильность к отделению сыворотки. Можно предположить, что микрофлора йогуртной закваски реагирует на готовые моносахариды формированием более жесткой матрицы кисломолочного сгустка, тогда как кефирная закваска, за счет наличия дрожжей и гете-



Примечание: различные надстрочные индексы в пределах одного времени хранения указывают на статистически значимые различия между образцами ($p < 0,05$).

Рисунок 2. Реологические показатели образцов йогурта: а) вязкость; б) синерезис



Примечание: различные надстрочные индексы в пределах одного времени хранения указывают на статистически значимые различия между образцами ($p < 0,05$).

Рисунок 3. Реологические показатели образцов кефира: а) вязкость; б) синерезис

роферментативных бактерий, производит дополнительные метаболиты, придающие продукту псевдопластичное поведение и лучшую текучесть [16, 17].

Органолептические показатели (табл. 2) также подтверждали преимущество гидролизованных напитков. На начальном этапе хранения одновременный гидролиз и сквашивание в кефире обеспечивали наилучший баланс вкуса и консистенции продукта за счет мягкой сладости от моносахаридов и наличия ароматических соединений от дрожжей и лейконостоков. Прегидролиз в кефире давал более выраженную сладость в готовом продукте, что, скорее всего, связано с высокой долей остаточной несброженной глюкозы, которая изначально содержалась в молоке после действия фермента.

Предварительный гидролиз в йогурте давал аналогично высокие органолептические характеристики, делая продукт более вязким и приятным на вкус. Экзополисахариды – декстраны, несладкие, как и все полимеры, но они усиливают «сливочный» вкус, повышая органолептические показатели.

Контрольные образцы уступали по всем параметрам, особенно по жидкой консистенции и излишне кислому вкусу. К седьмому дню хранения всем напиткам слегка снижали оценки из-за посткислотности. Однако гидролизованные варианты сохраняли преимущество: в кефире гидролиз способствовал сохранению консистенции, а в йогурте с прегидролизом лучше поддерживалась плотность кисломолочного геля и сладость.

Анализ исследований последних лет показывает, что выбор метода гидролиза значительно влияет на качество продукта. Согидролиз часто ускоряет процесс, сокращая время сквашивания на 0,5–1 ч, повышает конверсию лактозы до 97–99 %, усиливает аромат за счет большего количества летучих соединений и улучшает выживаемость пробиотических культур. Прегидролиз позволяет лучше контролировать остаточную лактозу и способствует повышению вязкости благодаря усиленному синтезу экзополисахаридов. Однако результаты варьируются в зависимости от вида бактерий и типа молока. Противоречивые данные в литературе по вязкости, синерезису и времени ферментации объясняются именно штамм-специфичностью заквасочных культур по отношению к различным источникам углерода [18].

ВЫВОДЫ

1. Для йогурта с термофильной закваской (*S. thermophilus + L. bulgaricus*) оптимальным являлся прегидролиз лактозы, обеспечивающий степень гидролиза 91,7 %, ускорение достижения pH 4,6 на 90 мин и формирование более плотного геля за счет усиленного синтеза экзополисахаридов.

Таблица 2. Органолептическая оценка кисломолочных напитков

Показатель	Вид образца	Кефир		Йогурт	
		1 сутки	7 сутки	1 сутки	7 сутки
Цвет	Контроль	5,00 ± 0,00^{a}	5,00 ± 0,00^{a}	5,00 ± 0,00^{a}	5,00 ± 0,00^{a}
	Прегидролиз	5,00 ± 0,00^{a}	5,00 ± 0,00^{a}	5,00 ± 0,00^{a}	5,00 ± 0,00^{a}
	Согидролиз	5,00 ± 0,00^{a}	5,00 ± 0,00^{a}	5,00 ± 0,00^{a}	5,00 ± 0,00^{a}
Запах	Контроль	5,00 ± 0,00^{a}	4,58 ± 0,01^{b}	5,00 ± 0,00^{a}	5,00 ± 0,00^{a}
	Прегидролиз	5,00 ± 0,00^{a}	4,30 ± 0,02^{c}	5,00 ± 0,00^{a}	5,00 ± 0,00^{a}
	Согидролиз	5,00 ± 0,00^{a}	4,40 ± 0,01^{c}	5,00 ± 0,00^{a}	5,00 ± 0,00^{a}
Вкус	Контроль	4,24 ± 0,10^{b}	3,89 ± 0,01^{b}	4,80 ± 0,02^{b}	4,50 ± 0,00^{b}
	Прегидролиз	5,00 ± 0,01^{a}	3,90 ± 0,03^{b}	5,00 ± 0,00^{a}	4,50 ± 0,00^{b}
	Согидролиз	4,56 ± 0,02^{c}	4,11 ± 0,02^{c}	5,00 ± 0,00^{a}	4,11 ± 0,00^{c}
Консистенция	Контроль	4,05 ± 0,01^{b}	2,89 ± 0,01^{b}	4,18 ± 0,02^{b}	4,00 ± 0,02^{b}
	Прегидролиз	4,21 ± 0,01^{c}	3,80 ± 0,01^{c}	4,80 ± 0,01^{c}	4,71 ± 0,03^{a}
	Согидролиз	4,80 ± 0,01^{a}	4,40 ± 0,02^{a}	5,00 ± 0,02^{a}	4,75 ± 0,03^{a}
Общая оценка	Контроль	4,57 ± 0,01^{b}	4,09 ± 0,01^{b}	4,70 ± 0,01^{b}	4,62 ± 0,01^{b}
	Прегидролиз	4,80 ± 0,01^{a}	4,25 ± 0,01^{c}	4,95 ± 0,01^{a}	4,80 ± 0,01^{a}
	Согидролиз	4,84 ± 0,015^{a}	4,47 ± 0,01^{a}	5,00 ± 0,00^{a}	4,71 ± 0,01^{c}

Примечание: различные надстрочные индексы в пределах одного показателя и срока хранения указывают на статистически значимые различия ($p < 0,05$).

2. Для кефира со сложным симбиотическим консорциумом предпочтителен согидролиз, позволяющий достичь максимальной степени гидролиза 92,2 %, повысить влагоудерживающую способность и снизить синерезис благодаря образованию гидрофильной полимерной сети вокруг казеиновых мицелл.

3. Гидролиз лактозы независимо от стадии улучшает органолептические показатели за счет естественной сладости глюкозы и галактозы, что позволяет снизить или исключить добавление сахарозы.

4. Выбор стадии гидролиза является критическим параметром, зависящим от состава заквасочной микрофлоры, что необходимо учитывать при разработке низколактозных и безлактозных кисломолочных напитков с контролируемыми функционально-технологическими характеристиками.

Проведенное исследование подтверждает, что эффективность гидролиза лактозы в ферментированных молочных напитках и итоговые свойства продукта определяются не столько самим фактом внесения β-галактозидазы, сколько согласованностью момента ее добавления с метаболическими особенностями заквасочной микрофлоры [18, 19]. Обоснование выбора стадии ферментативного гидролиза в зависимости от типа закваски позволит целенаправленно управлять технологическим процессом производства низколактозных и безлактозных кисломолочных продуктов. Предложенные подходы дают возможность оптимизировать реологические и органолептические характеристики готовых изделий, повысить их стабильность при хранении, а также снизить содержание добавленных сахаров за счет естественного усиления сладости. Результаты могут быть использованы при разработке рецептур и технологий ферментированных напитков для лиц с лактазной недостаточностью, в том числе в сегментах детского и функционального питания. Вместе с тем, для более точного прогнозирования свойств конечного продукта дальнейшие работы следует направить на углубленное изучение штамм-специфичности метаболизма моносахаридов. ■

Поступила в редакцию: 05.03.2026

Принята в печать: 09.06.2026

EFFECT OF LACTOSE HYDROLYSIS STAGE ON FERMENTED DAIRY BEVERAGES

Marina V. Kaledina[1], Viktorya P. Vitkovskaya[1], Daria A. Shemaykina[1], Elena Yu. Porotova[2]

[1]Belgorod State Agricultural University, Belgorod

[2]Crimean Federal University, Simferopol

ORIGINAL ARTICLE

Global lactase deficiency and the trend toward lower consumption of added sugars require new technologies for fermented dairy products with hydrolyzed lactose. Adding β-galactosidase to milk before pasteurization (pre-hydrolysis) or lactase with a starter culture after milk pasteurization (co-hydrolysis) provides complete or nearly complete hydrolysis of lactose in fermented dairy products. Two technological approaches, pre-hydrolysis and co-hydrolysis, were combined with the NOLA Fit 5500 β-galactosidase enzyme preparation. The authors studied their effect on the biochemical, rheological, and sensory profiles of model yogurt and kefir samples. Pre-hydrolysis provided a 91.7% lactose degradation rate for thermophilic yogurt starter cultures, accelerated the achievement of the target pH of 4.6 by 90 min, and formed a denser gel due to enhanced exopolysaccharide synthesis. Co-hydrolysis proved optimal for the symbiotic microflora of kefir: it achieved the highest hydrolysis rate of 92.2%, increased the water-holding capacity, and reduced syneresis by forming a hydrophilic polymer network around casein micelles. The rheological analysis confirmed that pre-hydrolysis increased the viscosity of the yogurt curd, while co-hydrolysis improved the stability of the kefir structure during storage. The sensory assessment revealed an improved flavor profile for the hydrolyzed samples: the natural sweetness of glucose and galactose significantly minimized the need for sucrose and other sweeteners. The enzyme addition stage proved to be a critical parameter determining the quality of low-lactose and lactose-free fermented beverages, opening opportunities for targeted modeling of their functional and technological profiles.

Keywords: co-hydrolysis, pre-hydrolysis, β-galactosidase, fermentation, lactose, yogurt, kefir, exopolysaccharides

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Li, A.** Advances in low-lactose/lactose-free dairy products and their production / A. Li [et al.] // Foods. 2023. Vol. 12(13). Art. no. 2553. https://doi.org/10.3390/foods12132553

2. **Ковалева, В. В.** Тенденции развития мирового и национального рынков функциональных молочных продуктов: безлактозные и низколактозные продукты / В. В. Ковалева, Л. Л. Богданова // Актуальные вопросы переработки мясного и молочного сырья. 2023. № 18. С. 34–41. https://elibrary.ru/ksxumx

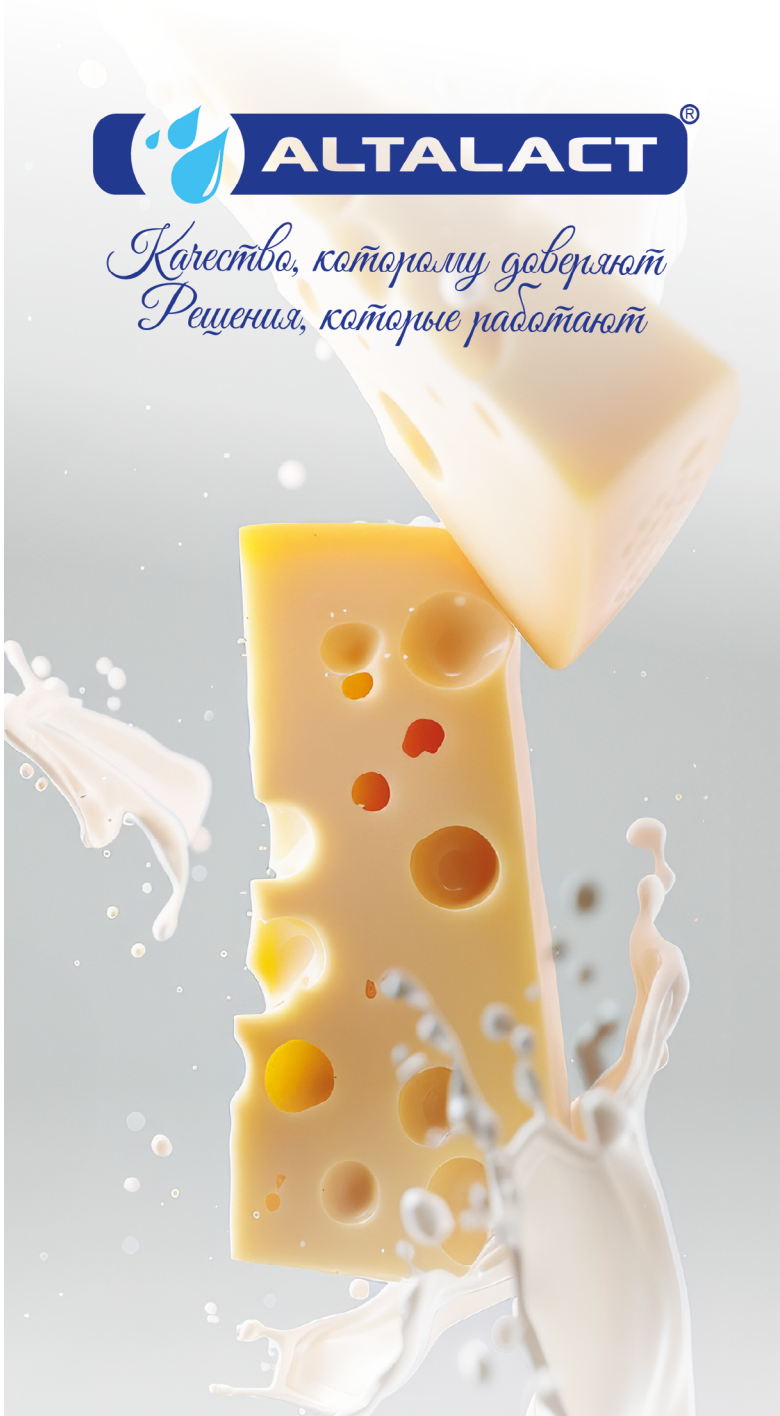
3. **Bayless, T. M.** Lactase non-persistence and lactose intolerance / T. M. Bayless, E. Brown, D. M. Paige. Current gastroenterology reports. 2017. Vol. 19(5). Art. no. 23. https://doi.org/10.1007/s11894-017-0558-9

4. **Крысанова, Ю. И.** Влияние гидролиза лактозы на свойства йогурта и простокваши / Ю. И. Крысанова, В. Г. Блиадзе // Молочная промышленность. 2023. № 5. С. 42–43. https://doi.org/10.21603/1019-8946-2023-5-23$ https://elibrary.ru/ikjmgs

5. **Антипова, Т. А.** Получение низколактозного молока для специализированных продуктов детского питания / Т. А. Антипова [и др.] // Пищевая промышленность. 2020. № 10. С. 41–44. https://doi.org/10.24411/0235-2486-2020-10105; https://elibrary.ru/ignlxk
6. **Yamamoto, E.** Effect of lactose hydrolysis on the milk-fermenting properties of *L. delbrueckii* ssp. *bulgaricus* and *S. thermophilus* / E. Yamamoto [et al.] // Journal of Dairy Science. 2021. Vol. 104(2). P. 1454–1464. https://doi.org/10.3168/jds.2020-19244
7. **Capcanari, T.** Development of lactose free yogurt technology for personalized nutrition / T. Capcanari [et al.] // Food and Nutrition Sciences. 2021. Vol. 12. P. 1116–1135. https://doi.org/10.4236/fns.2021.1211082
8. **Xu, Y.** Cloning, expression, and bioinformatics analysis and characterization of a β-galactosidase from *Bacillus coagulans* T242 / Y. Xu [et al.] // Journal of Dairy Science. 2021. Vol. 104(3). P. 2735–2747. https://doi.org/10.3168/jds.2020-18942
9. **Pachekrepapol, U.** Physicochemical, rheological, and microbiological properties of lactose-free functional yogurt supplemented with Fructooligosaccharides / U. Pachekrepapol, N. Somboonchai, W. Krimjai // Journal of Food Processing and Preservation. 2021. Vol. 45(1). Art. no. e15017. https://doi.org/10.1111/jfpp.15017
10. **Rutkowska, J.** Volatile composition and sensory profile of lactose-free kefir, and its acceptability by elderly consumers / J. Rutkowska [et al.] // Molecules. 2022. Vol. 27(17). Art. no. 5386. https://doi.org/10.3390/molecules27175386
11. **Oh, S.** Fermentation characteristics of starter cultures in lactose-hydrolyzed milk for the elderly / S. Oh [et al.] // Journal of Dairy Science and Biotechnology. 2021. Vol. 39(1). P. 20–26. https://doi.org/10.22424/jdsb.2021.39.1.20
12. **Tiwari, S.** Bacterial exopolysaccharides for improvement of technological, functional and rheological properties of yoghurt / S. Tiwari [et al.] // International Journal of Biological Macromolecules. 2021. Vol. 183. P. 1585–1595. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.05.140
13. **Jurášková, D.** Exopolysaccharides produced by lactic acid bacteria: From biosynthesis to health-promoting properties / D. Jurášková, S. Ribeiro, C. Silva // Foods. 2022. Vol. 11(2). Art. no. 156. https://doi.org/10.3390/foods11020156
14. **Luo, W.** Integrated transcriptomic and proteomic analyses revealed the mechanism of the osmotic stress response in *Lacticaseibacillus rhamnosus* ATCC 53103 / W. Luo [et al.] // Foods. 2025. Vol. 14(17). Art. no. 3112. https://doi.org/10.3390/foods14173112
15. **Ge, X.** Impact of exopolysaccharide-producing starter cultures on texture, syneresis, and sensory properties of fermented milk: A meta-analysis / X. Ge [et al.] // LWT – Food Science and Technology. 2025. Vol. 215. Art. no. 116892. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2024.116892
16. **Schmidt, C.** Fermented milk products: Effects of lactose hydrolysis and fermentation conditions on the rheological properties / C. Schmidt [et al.] // Dairy Science & Technology. 2016. Vol. 96(2). P. 199–211. https://doi.org/10.1007/s13594-015-0259-9
17. **Popa, A.** Hydrogel design based on bacterial exopolysaccharides: The biomedical promise of Levan / A. Popa, R. Carpa, A. Farkas // International Journal of Molecular Sciences. 2025. Vol. 26(22). Art. no. 10828. https://doi.org/10.3390/ijms262210828
18. **Крысанова, Ю. И.** Характеристики кисломолочных продуктов с пониженным содержанием лактозы, включающих микроорганизмы, входящие в состав консорциума кефирного грибка: обзор предметного поля / Ю. И. Крысанова // Пищевая Метаинженерия. 2023. Т. 1, № 2. С. 66–80. https://doi.org/10.37442/fme.2023.2.15; https://elibrary.ru/rkiker
19. **Голубев, А. Е.** Актуальность расширения низколактозных кисломолочных напитков / А. Е. Голубев, И. И. Ионова, В. В. Машков // Вестник науки. 2019. Т. 4, № 4(13). С. 137–141. https://elibrary.ru/zdqekd

ALTALACT®

Качество, которому доверяют
Решения, которые работают



- *Закваски для кисломолочных продуктов*
- *Закваски для сыров*
- *Ферменты*
- *Наполнители для сыров*
- *Покрытия для сыров*
- *Структурообразователи*
- *Тесты для определения антибиотиков*
- *Пищевые добавки для увеличения сроков годности*
- *Красители*
- *Ароматизаторы*
- *Консерванты*

На правах рекламы

www.altalact.ru

г. Москва
+7 (495) 785-09-13
msk@altalact.ru

г. Барнаул
+7 (3852) 505-546
brn@altalact.ru