

*О.В. Дымар, к.т.н., И.Н. Скакун
РУП «Институт мясо–молочной промышленности»*

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГИДРОЛИЗА ЛАКТОЗЫ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ МОЛОЧНЫХ ПРОДУКТОВ

В статье рассмотрены вопросы усвоения в организме человека лактозы, ее биологической ценности, а также проблема недостаточной выработки в организме некоторых людей фермента лактазы. Обоснована необходимость изучения путей применения гидролиза лактозы, выявления дальнейших перспектив его использования при производстве безлактозных и низколактозных молочных продуктов, а также при производстве концентратов молочной сыворотки.

Лактоза – молочный сахар, как и все углеводы, служит в организме человека источником энергии, необходимой для осуществления биохимических процессов. Энергетическая ценность лактозы составляет 3750 ккал/кг, т.е. примерно равноценна энергетической ценности сахарозы и белковых веществ, поступающих в организм человека. Лактоза, поступающая в организм, практически полностью (99,7%) усваивается. Ей, как углеводу животного происхождения, присущи специфические функции. Считается, что лактоза является в большей степени структурным углеводом, тогда как другие – энергетическими [1].

Благодаря медленному поглощению в организме потребление лактозы не приводит к значительному повышению уровня сахара в крови, обеспечивает организм энергией на длительное время. Достигая отдела толстого кишечника, лактоза стимулирует жизнедеятельность полезной микрофлоры. Учитывая, что лактоза, имея высокую пищевую, биологическую и лечебную ценность, оказывает незначительное влияние на уровень сахара в крови, она может быть использована в качестве подсластителя в производстве продуктов для диабетиков.

Биологическая ценность лактозы обусловлена тем, что она способствует усвоению кальция, а также магния и фосфора, она препятствует декальцинированию костей, вследствие чего предупреждается развитие рахита у детей, что особенно важно для растущего организма, также ей

присуща бифидогенная активность и способность оказывать остеогенное и гепатозащитное действие.

Известно, что некоторая часть взрослого населения Земли страдает лактазной интолерантностью, что обусловлено низкой кишечной активностью лактазы, поэтому не все люди способны одинаково легко переваривать лактозу молока. Процентное соотношение лактозной интолерантности у представителей европеоидной расы варьируется от 2% (датчане) до 19% (белые американцы). Непереносимость лактозы может проявляться в следующих случаях.

Из-за *очень редких врожденных болезней* некоторые люди испытывают недостаток активности лактазы – фермента, расщепляющего лактозу с самого рождения. Это приводит к серьезным нарушениям нормальной работы желудочно-кишечного тракта, которые могут стать фатальными.

Преждевременное рождение может стать причиной ненормально низкой активности лактазы. Однако активность лактазы почти полностью *восстанавливается* в пределах одного или двух месяцев.

У *сильно недокормленных детей*, у которых есть нарушение всасываемости белковых калорий, временно активность лактазы может полностью отсутствовать.

Из-за нарушения работы кишечника активность лактазы может быть временно потеряна. В этом случае стоит либо отказаться от молочных и молочносодержащих продуктов, либо снизить потребление молочного сахара до 4–5 г в день. Однако существует и не столь кардинальное решение. Речь идет о безлактозных молочных продуктах, которые получают путем гидролиза лактозы.

В настоящее время при производстве различных видов молочной продукции используется целенаправленный процесс гидролиза лактозы, который способствует получению продуктов с заданными органолептическими и физико-химическими свойствами.

Актуальность получения продуктов на основе гидролиза лактозы обусловлена их востребованностью в производстве продуктов обычного, детского и лечебно-профилактического питания, медицине, а также при микробиологических и биохимических исследованиях. В этой связи считаем целесообразным изучить пути применения гидролиза лактозы, выявить дальнейшие перспективы его использования при производстве

безлактозных и низколактозных молочных продуктов, а также при производстве концентратов молочной сыворотки. Рассмотреть особенности гидролиза лактозы при производстве вареного сгущенного молока с сахаром.

Необходимость гидролиза лактозы обусловлена ее низкой сладостью и растворимостью. Процесс гидролиза лактозы способствует решению еще одной проблемы – технологической, которая возникает при производстве продуктов, в которых лактоза, при определенных условиях, выпадает в осадок в виде кристаллов. Это наблюдается при производстве мороженого и сгущенных молочных консервов и приводит к значительному ухудшению товарного вида и качественных показателей продуктов. В данном случае гидролиз лактозы используют для предотвращения указанных пороков и создания возможности получения ряда новых продуктов с заданными функциональными свойствами: сладость, растворимость, стойкость при хранении.

Известно несколько способов гидролиза лактозы. Теоретически гидролиз лактозы в модельных системах растворов молочного сахара и молочном лактозосодержащем сырье может быть осуществлен термическим, химическим (кислотным), безреагентным (с использованием электрохимически активных водных растворов и ионообменных смол) и ферментативным способами [2].

Гомогенный способ. Использование преимуществ гомогенного кислотного способа гидролиза лактозы в сочетании с методами ультрафильтрации и электродиализа позволяет создать рентабельную технологию глюкозо-галактозного сиропа пищевых кондиций. На практике данный способ гидролиза лактозы может быть осуществлен при температуре 60–140 °С и рН 1–2 с использованием депротеинизированного лактозосодержащего сырья: растворов молочного сахара различной доброкачественности, осветленной молочной сыворотки, ультрафильтратов обезжиренного молока и молочной сыворотки.

Гетерогенный способ. Использование этого способа позволяет регулировать величину рН гидролизатов, проводить достаточно глубокую их деминерализацию и получать в итоге глюкозо-галактозный сироп пищевых кондиций. Гетерогенный способ осуществляют при высоких температурах (97–150 °С) с помощью сильнокислых ионообменных смол.

Ферментативный гидролиз лактозы с использованием дрожжевой и грибной β -галактозидаз. Для осуществления данного способа используют ферментные препараты β -галактозидазы, которые в зависимости от оптимального для их действия рН делят на две группы: кислые и нейтральные. К первым относят β -галактозидазы с оптимумом рН 3,0–5,0 продуцируемые промышленными штаммами мицелиальных грибов *Aspergillus niger*, *Aspergillus oryzae*. К промышленно ценным продуцентам нейтральных лактаз относят дрожжи *Kluyveromyces lactis*, *Kluyveromyces fragilis*, бактериальные культуры *Escherichia coli*, *Lactobacillus thermophilus*, *Leuconostoc citrovorum*. При использовании дрожжевых лактаз проводят нейтрализацию среды до рН 6,4–7,2 путем внесения пищевой соды динатрийфосфата. Действия этих реактивов аналогичны и не оказывают заметных влияний на процесс гидролиза. Существенными факторами являются: температура, количество вносимого фермента и продолжительность его воздействия.

Ферментативный гидролиз лактозы с использованием иммобилизованного фермента. Перспективным направлением применения метода иммобилизации при получении гидролизатов лактозы является использование неразрушенных иммобилизованных клеток микроорганизмов с высокой лактазной активностью. Подбор подходящего иммобилизующего агента позволяет свести к минимуму снижение лактазной активности клеток продуцента. Проблемами, ограничивающими широкое применение данного метода в технологии гидролизатов лактозы, являются значительные капитальные затраты на аппаратное оформление и системы контроля биореакторов, а также сложность поддержания стабильности биокаталитической системы и стерильности процесса в условиях длительной непрерывной ферментации.

В настоящее время гидролиз лактозы осуществляется с использованием ферментов, данный способ находит все более широкое применение в странах с развитой молочной промышленностью. Так, например, обработка молочной сыворотки ферментом β -галактозидазой (лактазой) позволяет получить продукты, обогащенные более сладкими по сравнению с лактозой, легко растворимыми усваиваемыми монозами – глюкозой и галактозой. Процесс гидролиза лактозы представлен на рис.1.

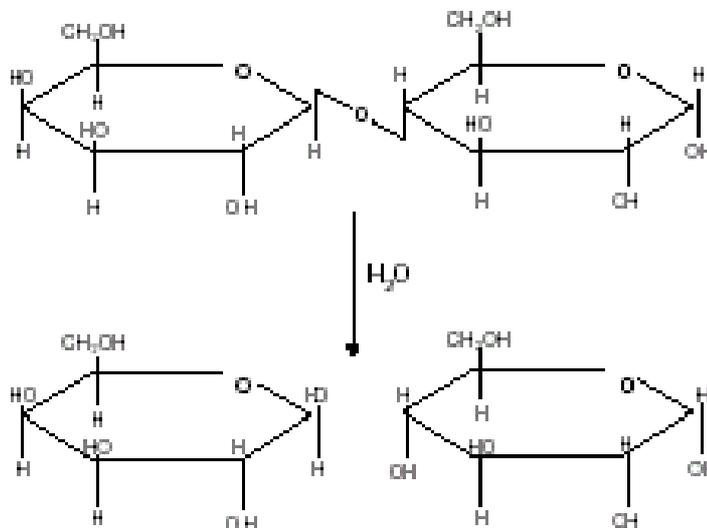


Рисунок 1 – Гидролиз лактозы

Для применения ферментативного гидролиза лактозы используются ферменты, относящиеся к классу гидролаз и расщепляющие β -D-галактозу. Специалисты, занимающиеся проблемой гидролиза лактозы в молоке, отмечают, что для этой цели более подходящим являются дрожжевые β -галактозидазы, у которых оптимум pH (6,3–6,8) практически совпадает с активной кислотностью молока. Следует отметить, что грибные β -галактозидазы также используются для гидролиза молока, однако проявляемая при этом активность несколько ниже максимальной. При ферментативной обработке молока более рентабельным считается процесс гидролиза лактозы иммобилизованной β -галактозидазой, хотя в настоящее время широкое применение для производства «безлактозного» молока находят и растворимые β -галактозидазы.

В настоящее время известно несколько ферментных препаратов, с помощью которых осуществляют процесс гидролиза среди них: «Maxilact», «Ha-Lactase-2100», «Галактосил», «Лактоканесцин». Наибольшую известность завоевал ферментный препарат «Maxilact» [3]. Maxilact® компании DSM – это очищенный препарат лактазы, выделенный из штаммов дрожжей *Saccharomyces (Kluveromyces) marxianus var. lactis*. Эти дрожжи, впервые охарактеризованные Бейэринком в 1889 г., хорошо известны как микроорганизмы, которые используются в производстве некоторых видов йогурта. В зависимости от уровня гидролиза обработанное Максилактом молоко будет иметь более сладкий вкус. Обычно нет необходимости в 100%-ном гидролизе лактозы, за исключением

чрезвычайных случаев нарушения всасываемости лактозы, так как баланс между потребляемым молоком, уровнем нарушения всасываемости лактозы и процентом гидролиза определяет, проявятся ли эти симптомы или нет. На практике должен быть найден компромисс между уровнем гидролиза, который достаточен в большинстве случаев и возмещения издержек. Этот уровень находится примерно при гидролизе 70–80%. При применении данных препаратов следует учитывать их активность, дозу вносимого фермента, температуру реакции.

Еще одним продуктом, при производстве которого может быть использован гидролиз лактозы, является вареное сгущенное молоко с сахаром, которое предназначено как для непосредственного употребления в пищу, так и для дальнейшей переработки на предприятиях, изготавливающих молочные десерты, глазированные сырки, мороженое [4]. Наиболее существенная проблема при выработке сгущенного молока с сахаром – это нерегулируемый процесс кристаллизации лактозы. Хаотичный рост ее кристаллов приводит к образованию в продукте лактозы с линейным размером более 15 мкм, что негативно отражается на структуре и органолептике продукта. Содержание лактозы в водной части вареного сгущенного молока с сахаром составляет 26–30%, из них в растворенном состоянии находится около 16% (при 20 °С), остальные 10–14% – в кристаллическом состоянии. В процессе охлаждения вареного сгущенного молока с сахаром из-за пересыщенности раствора сахарами часть лактозы переходит из раствора в кристаллическое состояние. Проблема состоит в том, что при охлаждении продукта и достижении температуры массовой кристаллизации (30–37 °С) вареное сгущенное молоко с сахаром обладает высокой вязкостью, что делает чрезвычайно сложным процесс равномерного распределения затравки в массе продукта. Также неконтролируемая кристаллизация приводит к формированию мучнистой, песчанистой консистенции, а в некоторых случаях образованию крупных, видимых кристаллов лактозы. Этот недостаток снижает потребительскую ценность, ухудшает технологические свойства продукта.

В производственной практике варка сгущенного молока с сахаром осуществляется по схеме, представленной на рис. 2.

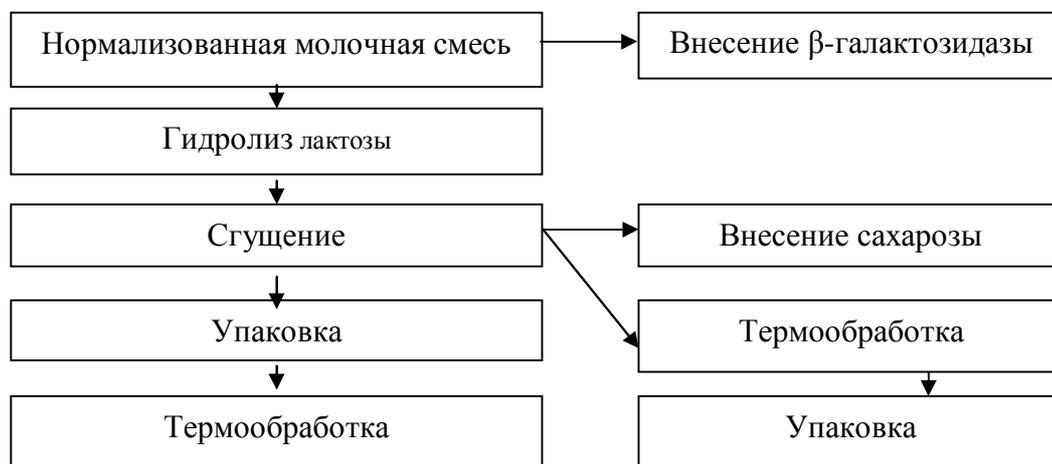


Рисунок 2 – Технология выработки вареного сгущенного молока с сахаром с применением процесса сгущения

Приготовленную согласно рецептуре нормализованную смесь пастеризуют, охлаждают и направляют на хранение. В охлажденную нормализованную смесь вносят ферментный препарат из расчета 200–360 г на 1 т готового продукта и оставляют на 10–15 ч. Если рН нормализованной смеси требует коррекции (повышения), то рекомендуется это делать, используя гидроксид калия, поскольку ионы калия интенсифицируют активность ферментного препарата.

В процессе гидролиза нормализованную смесь периодически перемешивают, а по окончании направляют на сгущение. Ускорить процесс можно путем увеличения концентрации препарата или повышения температуры гидролиза.

В результате проведения гидролиза лактозы образуются два моносахара – глюкоза и галактоза, наличие которых значительно увеличивает скорость реакции Майяра, что имеет важное значение при производстве вареного сгущенного молока с сахаром. Таким образом, ферментативный гидролиз лактозы решает две основные проблемы – позволяет избавиться от необходимости проведения кристаллизации и ускоряет в 3–4 раза процесс варки сгущенного молока с сахаром, улучшает вкус продукта, усиливает консервирующий эффект в результате повышения осмотического давления в продукте.

В настоящее время в ряде стран действуют опытные и промышленные установки по гидролизу лактозы в молочной сыворотке [10].

Блок-схема получения сыворотки с гидролизованной лактозой представлена на рис. 3.



Рисунок 3 – Схема получения сыворотки с гидролизованной лактозой

Гидролиз лактозы в сыворотке осуществляется с помощью β -галактозидазы из *Aspergillus niger*, иммобилизованной на фенолформальдегидной смоле Дуолит S-761 с размером частиц 0,5–1,0 мм. Исходная активность фермента (рН 4,5; 45 °С) составляет 150 ед/г влажного препарата.

Рекомендуемые для проведения гидролиза параметры: температура сыворотки 30–50 °С, рН 4,0–4,5. Творожная сыворотка имеет рН 4,2–4,6; содержание лактозы 3,5–4,3%; содержание жира $\leq 0,1\%$; осадок казеиновой пыли $< 0,1\%$.

Для реализации технологической схемы получения сыворотки с гидролизованной лактозой на стадии осветления целесообразно использовать адсорбент бентонит. Содержание бентонита в осветляемом

растворе 4–5%, продолжительность процесса сорбционной очистки 1–15 мин. Оптимальными параметрами ферментативного гидролиза лактозы в сыворотке являются: концентрация препаратов иммобилизованных ферментов в реакционной смеси 5–10%, температура 50 °С, продолжительность гидролиза 200–250 мин. Далее такую гидролизованную сыворотку используют для производства сиропов.

В настоящее время из всех продуктов с гидролизованной лактозой наибольшими объемами продаж характеризуется гидролизованное молоко. Кислый привкус натурального йогурта может приглушаться за счет добавления гидролизованной лактозы, увеличивая сладость, что является положительным фактором для покупателей. Сыворотка с гидролизованной лактозой и пермеат обладают сладким привкусом и могут использоваться для замены сахарозы. Сыворотка с гидролизованной лактозой используется также для частичной замены обезжиренного молока в производстве молочных десертов, например, мороженого (уменьшает дефекты кристаллизации лактозы в консистенции и уменьшает точку замерзания, что придает мягкость и нежность продукту). Концентрированная гидролизованная сыворотка также может быть использована в качестве корма, а в кондитерском производстве – для усиления вкуса и увлажнения готовых изделий.

Таким образом, продукты с гидролизованной лактозой обладают функциональными свойствами и широкими возможностями их использования. На мировом рынке в основном представлены питьевое пастеризованное и УВТ-молоко со степенью гидролиза лактозы 70–80%.

Гидролиз лактозы также применен и к другим продуктам, таким как молочно-шоколадный напиток, сливочное мороженое, молочные коктейли и сливки, которые сейчас находятся на разных стадиях освоения промышленностью. При их использовании в составе белковых продуктов из-за высокой реакционной способности продуктов гидролиза легко образуются меланоидины, усиливающие цвет и обладающие антиоксидантными свойствами, что в ряде случаев является важным, например, при приготовлении хлеба и выпечных кондитерских изделий.

Однако, следует отметить, что в результате реакции гидролиза лактозы растворимой β -галактозидазой было обнаружено образование побочных продуктов, представляющих собой олигосахариды [6]. Структура и количество образующихся олигосахаридов зависит от продуцента фер-

мента и условий гидролиза, и хотя концентрация их достаточно мала, это явление нежелательно, поскольку действие образующихся олигосахаридов на организм человека изучено недостаточно.

Таким образом, среди основных направлений использования препаратов лактазы при переработке цельного молока и молочной сыворотки можно выделить следующие.

- *Получение продуктов* цельномолочного производства *функционального назначения* для людей с лактозной интолерантностью.
- *Сокращение сроков сквашивания* при производстве кисломолочных напитков и молока, предварительно обработанного лактазой.
- Производство *концентратов* молочной сыворотки с регулируемыми функционально-технологическими показателями и *пробиотическими свойствами*.
- Получение *сахарозаменителей (глюкозо-галактозных сиропов)*, более дешевых и сладких по сравнению с сахарозой для производства мороженого, хлебобулочных, кондитерских изделий и других продуктов.

Анализ приведенного материала позволяет выявить перспективы для дальнейшего использования процесса гидролиза лактозы с целью улучшения качества продуктов, увеличения сроков их хранения, создания новых функциональных продуктов для людей с лактозной интолерантностью. Ведь, исходя из опыта наших северных соседей – финской компании «Valio», так хорошо известной на данном сегменте рынка, потребление безлактозных продуктов ежегодно растет на 20%, т.е., каждый финн съедает и выпивает 3 кг безлактозной продукции. Дело в том, что в этой стране многие годы наблюдалась тенденция сокращения потребления молока, а новая разработка привлекла новых потребителей. Надо сказать, им очень повезло: такой большой ассортимент безлактозных продуктов есть только в Финляндии [7]. Финский опыт вдохновил и другие страны. Сейчас безлактозные продукты производятся и поставляются на рынки Швейцарии, Швеции, Испании, Южной Кореи, Бельгии, США, Канады, стран Азии. Лицензию компании приобрели Швейцария, Испания и Южная Корея. Поскольку 80% корейцев страдают недостатком «молочного фермента», эта технология подарила им возможность вновь вернуться к молоку.

Таким образом, на настоящий момент в нашей стране назрела необходимость создания своего рынка безлактозных молочных продуктов, что позволило бы нам удовлетворить спрос населения на продукты этой группы, а также наладить их экспорт в Россию, поскольку там эта ниша рынка по-прежнему остается не занятой.

Литература

1. Синельников, Б.М. «Лактоза и ее производные»/ Б.М. Синельников и др. – М.: Профессия, – 2007.30 с.
2. Применение ферментативного гидролиза лактозы [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.ncstu.ru>. – Дата доступа: 18.10.2009.
3. «Максилакт» [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.maxilact.ru>. – Дата доступа: 01.11.2009.
4. Петров, А.Н. Пути повышения качества вареного сгущенного молока / А.Н. Петров // Переработка молока. – 2008. – № 7. – С. 12
5. Гидролизированные продукты [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www/lactose.ru>. – Дата доступа: 11.11.2009.
6. Евдокимов, И.А. Получение и использование сиропов гидролизованной лактозы в хлебопекарной и кондитерской промышленности / И.А. Евдокимов [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.ncstu.ru>. – Дата доступа: 10.11.2009.
7. Семенова, Е. Лактоза без наказания / Е. Семенова [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://aif.ru/health/article/18551>. – Дата доступа: 25.10.2009.

О. Дымар, I. Skakun

PROSPECTS OF USING LACTOSE HYDROLYSIS IN MANUFACTURE OF DAIRY PRODUCTS

Summary

In article mastering questions in a human body of lactose, its biological value, and also a problem of insufficient development in an organism of some people of enzyme лактазы for which the milk use can be fraught with adverse consequences are considered. Necessity of studying of ways of application of hydrolysis of lactose, revealing of the further prospects of its use is proved by manufacture free-lactose and low-lactose dairy products, and also by manufacture of concentrates of dairy whey.