

Создание низколактозной молочной сыворотки с использованием бактериальной β -галактозидазы

Краснова Юлия Валерьевна

*Межрегиональное общественное учреждение «Институт инженерной физики»
Адрес: 142210, город Серпухов, Большой Ударный переулок, дом 1а
E-mail: krasnova@iifmail.ru*

Бутова Светлана Николаевна

*ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств»
Адрес: 125080, Москва, Волоколамское шоссе, дом 11
E-mail: zhirmgupp@mgupp.ru*

Вольнова Екатерина Романовна

*ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств»
Адрес: 125080, Москва, Волоколамское шоссе, дом 11
E-mail: volnovaer@mgupp.ru*

Николаева Юлия Владимировна

*ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств»
Адрес: 125080, Москва, Волоколамское шоссе, дом 11
E-mail: organikamgupp@mail.ru*

На сегодняшний момент существует проблема переработки отходов молочной промышленности, в частности молочной сыворотки. Молочная сыворотка является ценным белоксодержащим продуктом, однако на переработку поступает не более 30 % от объёма её выработки в России. В настоящей статье представлены результаты исследования, посвящённые ферментативной переработке молочной сыворотки, направленной на получение низколактозного молочного полуфабриката. В работе использовался фермент бактериальной природы – β -галактозидаза со стандартной активностью 5500 BLU/г. Изучалось влияние pH в интервале от 5,5 до 6,5, температуры в диапазоне от 40 до 45 °С, количества вносимой β -галактозидазы (0,01-0,07 % от массы сыворотки), продолжительности процесса (от 3 до 24 часов) на эффективность гидролиза молочной сыворотки. Установлено, что при pH= 6,0; температуре 40 °С; продолжительности гидролиза 3 часа β -галактозидаза в дозировке 0,05 % обеспечивает оптимальное остаточное количество лактозы в сыворотке, равное 0,6 %. Максимального снижения лактозы в сыворотке (массовая доля лактозы составила 0,1 %) также удалось добиться при следующих параметрах: pH=6,0; температура 40 °С, продолжительность 24 часа, количество фермента 0,07 %. Но проведение гидролиза при указанных параметрах было признано нерациональным и экономически нецелесообразным. Таким образом, были получены оптимальные параметры переработки молочной сыворотки при помощи бактериальной β -галактозидазы. Был получен низколактозный молочный полуфабрикат, который является перспективной сырьевой основой функциональных и специализированных продуктов питания, предназначенных для людей, страдающих лактозной непереносимостью.

Ключевые слова: β -галактозидаза, молочная промышленность, сыворотка, ферментативный гидролиз, низколактозный полуфабрикат

Введение

На сегодняшний день до сих пор остаётся нерешённой проблема, касающаяся переработки отходов молочной промышленности, особенно это касается молочной сыворотки – ценного белоксо-

держашего продукта. Для решения указанной проблемы особое значение приобретают биотехнологические процессы, позволяющие перерабатывать молочную сыворотку в новые виды функциональных и специализированных продуктов питания (Гаврилова, 2019).

Литературный обзор

Стоит отметить, что молочную сыворотку можно использовать в очищенном, но не изменённом виде, при производстве на её основе различных видов сывороточных напитков¹.

Использование молочной сыворотки в непреработанном виде в различных секторах пищевой промышленности ограничено. Это связано, в первую очередь, с наличием в её составе природного углевода – лактозы. В настоящее время число людей, страдающих непереносимостью лактозы, неуклонно растёт. По статистическим данным в России около 35 % населения столкнулись с данной проблемой, в Германии – 16 %, Италии – 41 %, Китае – 99 %, Таиланд – 98 % (Кисель, 2019).

Непереносимость лактозы вызвана дефицитом лактазы, фермента пищеварительного тракта здорового человека, и приводит к симптомам мальабсорбции лактозы (Lapides, 2018; Szilagyí, 2018). Главной причиной лактазной недостаточности считается существенное снижение потребления молочных продуктов (Zheng, 2015). В связи с этим существует острая необходимость в создании продуктов с низким содержанием лактозы или абсолютно безлактозных.

На сегодняшний день уже предложены пути и способы изменения состава и свойств молочной сыворотки. В первую очередь стоит отметить создание пробиотических микроорганизмов, способных облегчать и минимизировать симптомы нарушения работы ЖКТ (Кушугулова, 2010; Arhold, 2018). Эти микроорганизмы принадлежат родам *Lactobacterium* и *Bifidobacterium* (Красникова, 2012; Чернышова, 2016). Также положительные результаты дали исследования следующих микроорганизмов: *Kluveromyces lactis* и *Kluveromyces marxianus* (Mano, 2019).

Вторым путём коррекции сыворотки является её биотрансформация – ферментация. Существует ряд исследований, направленных на поиск микроорганизмов-подуцентов, способных синтезировать β -галактозидазу – фермент, наиболее активно гидролизующий лактозу (Остроумов, 2013; Серба, 2018). Был изучен огромный перечень микроорганизмов, к нему можно отнести:

1. дрожжи: *Saccharomyces fragilis*, *Candida preutotropicalis*, *Toryopsis versatilis* (Остроумов, 2013) *Cryptococcus flavescens* (Сапунова, 2014);

2. бактерии: *Streptococcus lactis*, *Lactobacillus plantarum* (CY.6) (Kim, 2018), *Bacillus pumilus*, *B. methylotrophicus* (Adiguzel, 2018), *B. Coagulans* NL01 (Liu, 2019);
3. грибы: *Aspergillus oryzae* (Thum, 2019), *Penicillium terlikowskii*, *P. multicolor*, *P. Canescens* и др. (Остроумов, 2013).

Применение ферментных препаратов, обеспечивающих гидролитическое расщепление лактозы, считается менее затратным путём, с точки зрения технического оснащения, а также путём, обеспечивающим требуемое качество продукта (Козлов, 2008).

Теоретическое обоснование

На современном этапе развития пищевой индустрии уже разработаны и созданы продукты питания (функциональные и специализированные) для людей с непереносимостью молочного сахара (Беркетова, 2018). Наибольшую долю составляют продукты с пониженным содержанием лактозы для детей и взрослых (Бедных, 2015)²: молочные смеси для детей, мороженое, молочные и кисломолочные напитки, йогурты, молочные консервы и т.д. (Добриян, 2010; Тихомирова, 2016; Судакова, 2017; Голубев, 2019; Афанасьева, 2019).

Исходя из всего вышперечисленного, направленная модификация молочной сыворотки при помощи биотехнологических процессов сегодня весьма актуальна. Ферментативный гидролиз позволяет создавать новые молочные продукты с заданными свойствами. Продукты имеют увеличенную сладость, сниженное содержание лактозы, которое обеспечит её лучшую сбраживаемость в ЖКТ, увеличит стабильность продукта при хранении, так как моносахариды, образующиеся в результате гидролиза лактозы, увеличивают осмотическое давление (Арсеньева, 2010; Поротова, 2015; Калинина, 2015).

Основное влияние на ход и эффективность ферментативного процесса оказывает вид ферментного препарата и его природа. Из представленных выше данных, наибольшим предпочтением пользуются β -галактозидазы дрожжевой и бактериальной природы. С этой точки зрения, несомненный интерес представляет *Bacillus licheniformis*. Возможность биосинтеза β -галактозидазы бактериями *B. licheniformis* доказана рядом исследований (Juajin, 2011; Костеневич, 2013).

¹ Ганина, А. Г. (2007). Значение функциональных продуктов в питании современного человека. *Методические указания к практическому занятию*. Оренбург: ИПК ГОУ ОГУ. с. 27

² Там же, с. 28.

Исходя из этого, β -галактозидаза, полученная методом глубоинной ферментации бактерий *B. licheniformis*, имеет перспективы при организации промышленной переработки молочной сыворотки. Данный факт обуславливает необходимость проведения исследования.

Целью настоящего исследования является создание низколактозной молочной сыворотки с использованием бактериальной β -галактозидазы. Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

1. определение наиболее благоприятной температуры гидролиза сыворотки;
2. определение оптимальной продолжительности гидролиза;
3. установление наиболее соответствующей pH среды;
4. определение оптимального количества вносимого ферментного препарата.

Материалы и методы

Материалы

Молочная сыворотка, ферментный препарат Nola Fit®, содержащий β -галактозидазу (производитель *Bacillus licheniformis*), стандартная активность 5500 BLU/г.

Методы

1. Определение содержания лактозы по методике, представленной в учебно-методическом пособии «Методы исследования молока и молочных продуктов» (Сучкова, 2015).
2. Определение водородного показателя при помощи анализатора жидкости.

Методика исследования

Оборудование

Весы AND DL-2000 WP; термометр жидкостной стеклянный ТС-7-М1; влагомер MB-23 Ohaus, магнитная мешалка MS-500 Intllab; термостат сушевоздушный TCO-1180 СПУ; фотоэлектроколориметр КФК-2УХЛ; холодильник Electolux ERN29850; электрическая плитка «Лазурь», водяная баня UT4308; автоклав лабораторный МПК-04; анализатор жидкости SevenCompact S220; встряхиватель лабораторный VM-2000; рефрактометр ИФР-454; лабораторная стеклянная посуда.

Процедура исследования

Осуществляли гидролиз молочной сыворотки при помощи ферментного препарата Nola Fit®. Исследовали влияние температуры (в диапазоне от 40 °С до 45 °С), продолжительности (3, 4 и 24 часа), количества ферментного препарата (от 0,01 % до 0,07 %) на эффективность гидролиза, которую контролировали по остаточному количеству лактозы в сыворотке. Для установления влияния pH среды на эффективность расщепления лактозы изучали действие ферментного препарата в количестве 0,01 %, 0,03 %, 0,05 % и 0,07 % при температуре 40 °С в течение 2 часов.

Анализ данных

Для обработки экспериментальных данных с целью снижения погрешности измерений рассчитывали среднее и стандартное отклонение, пользуясь пакетом прикладных программ STATISTICA.

Результаты

Изучили влияние температуры на содержание лактозы в сыворотке. Гидролиз проводили в течение 2 часов при pH=6,0, количество ферментного препарата составляла 0,01 %, 0,03 %, 0,05 % и 0,07 % к массе сыворотки. Указанная зависимость отражена на диаграмме 1.

Для оценки влияния параметров процесса на полноту расщепления лактозы гидролиз вели при температуре 40-45 °С, pH= 5,5-6,5 и количество препарата от 0,1 % до 0,07 %. Продолжительность варьировалась от 2 до 24 часов. Результаты в обобщённом виде демонстрирует таблица 1.

Результаты представлены в виде средних значений, величины доверительных интервалов средних арифметических значений составила 1,0-2,5 % при вероятности получения случайных отклонений 0,5.

В таблице 2 представлены оптимальные параметры гидролиза молочной сыворотки

Указанные в таблице 2 параметры обеспечили низкое содержание лактозы в сыворотке (0,61 %).

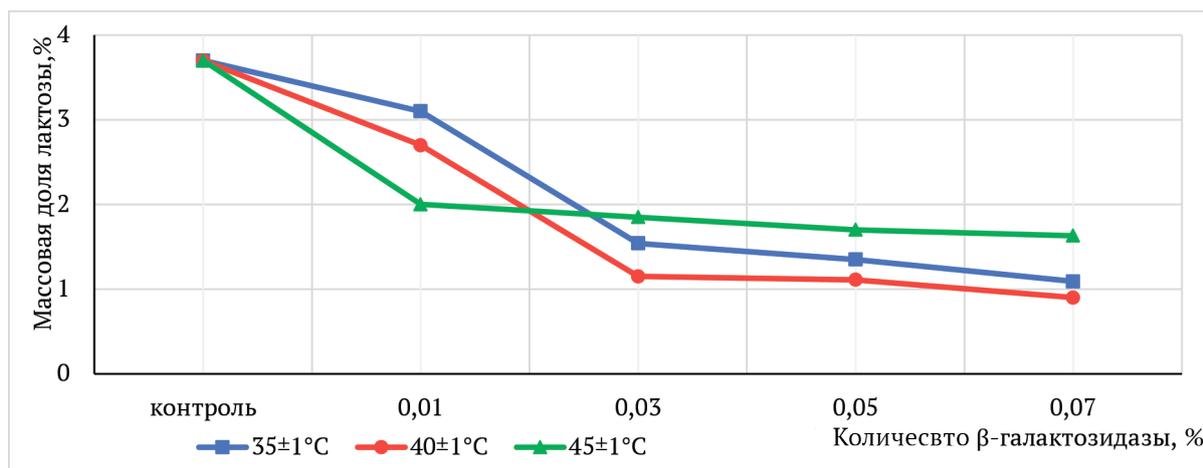


Диаграмма 1. Влияние температуры и количества фермента на остаточное количество лактозы в сыворотке

Таблица 1

Влияние параметров гидролиза на эффективность расщепления лактозы

№ п.п.	Количество β-галактозидазы, %	Массовая доля лактозы, %			
		2 часа	3 часа	4 часа	24 часа
1	контроль	3,70	3,70	3,70	3,70
2	0,01	2,70	2,50	2,50	0,60
3	0,03	1,15	1,00	0,61	0,60
4	0,05	1,11	0,61	0,60	0,45
5	0,07	0,90	0,45	0,45	0,10

Таблица 2

Оптимальные параметры гидролиза молочной сыворотки

№ п.п.	Количество β-галактозидазы, %	Параметры		
		pH	Температура, °C	Продолжительность, ч
1	0,05±0,005	6,0±0,1	40±1	3

Обсуждение полученных результатов

Из рисунка 1 видно, что существует прямая зависимость: при увеличении количества ферментного препарата содержание лактозы уменьшается. Существование данной зависимости подтверждается многими исследованиями (Остроумов, 2013; Калинина, 2015; Liu, 2019). Причём, резкое снижение наблюдается при использовании препарата в количестве 0,03%. Увеличение дозировки до 0,05% и 0,07% к существенным изменениям не приводили.

Что касается влияния температуры на эффективность гидролиза, было установлено, что при $t=45\pm 1^\circ\text{C}$ гидролиз протекал слабо, это обусловлено процессами тепловой денатурации β-галактозидазы, которые снижают ферментативную активность. Оптимальной является температура

$40\pm 1^\circ\text{C}$, так как при данном её значении наблюдали наименьшее содержание лактозы. Данные ранее проведённых исследований указывают другие значения температур, которые способствует максимальному расщеплению лактозы бактериальной β-галактозидазой (продуцент *Bacillus licheniformis*): 37°C (Juajun, 2011), 45°C (Костеневич, 2013). Данные расхождения можно объяснить, некоторыми различиями в геноме продуцента фермента.

Bacillus licheniformis DSM 13 (Juajun, 2011) был целенаправленно генетически изменён. Исходя из этого, можно утверждать, что термо-оптимум для каждого ферментного препарата – это индивидуальная характеристика, зависящая от многих факторов (вид и природа продуцента, особенности условий его культивирования, степень очистки ферментного препарата и пр.).

Следующим важным параметром гидролиза была величина рН. При рН=5,5 содержание лактозы уменьшалось незначительно. Даже увеличение количества фермента не приводило к существенным изменениям. При рН=6,5 и количестве фермента 0,01% гидролиз практически не протекал. При увеличении дозировки препарата до 0,03% и 0,05% интенсивность гидролиза увеличивалась, но, тем не менее, она оставалась ниже, чем при процессе, протекающем при рН= 6,0. Следовательно, оптимальным рН среды является значение 6,0. Однако ряд исследований указывает на то, что максимальную активность бактериальные β -галактозидазы имеют в диапазоне 6,5-7,5 (Костеневич, 2013; Juajin, 2011). Данное противоречие, еще раз доказывает тот факт, что оптимальные условия работы ферментов, полученных из разных микроорганизмов, существенно могут различаться, особенно в диапазонах рН.

Проведённое исследование, касающееся подбора оптимальной продолжительности гидролиза, позволило установить, что при длительности гидролиза 3 часа и количестве препарата 0,05%, 4 часа и количестве препарата 0,03% удалось добиться низкого содержания лактозы в сыворотке. При времени гидролиза 24 часа и количестве препарата 0,01%, 0,03%, 0,05% и 0,07% массовая доля лактозы достигала значения 0,6%. Стоит отметить, что данная продолжительность нерациональна, хоть и обеспечивает самое низкое количество лактозы (0,10%) в сыворотке при дозировке препарата 0,07%. Увеличение продолжительности процесса и количества фермента не приводило к ощутимым изменениям, поэтому было признано нецелесообразным с технологической и экономической точки зрения. Установленный оптимум продолжительности гидролиза сыворотки согласуется с данными, ранее проведенных исследований (Калинина, 2015; Поротова, 2015).

Таким образом, были установлены оптимальные параметры гидролиза молочной сыворотки: $t=40\pm 1$ °С, продолжительность 3 часа, рН=6,0 и количество ферментного препарата 0,05% от массы сыворотки.

Заключение

Подобранные оптимальные параметры процесса гидролиза позволят проводить модификацию молочной сыворотки. Таким образом возможна организация безотходных и малоотходных молочных производств. Получен низколактозный молочный полуфабрикат с массовой долей лактозы 0,61%,

который может стать перспективной сырьевой основой функциональных и специализированных продуктов питания, предназначенных для людей, страдающих лактозной непереносимостью.

Литература

- Арсеньева, Т. П. (2010). К чему приводит лактазная недостаточность. *Молочная промышленность*, 7, 28-30.
- Афанасьева, М. М., & Широкова, Н. В. (2019). Низколактозный кисломолочный продукт с растительным наполнителем. В *Научные основы создания и реализации современных технологий здоровьесбережения* (с. 229-232).
- Бедных, Б. С., & Евдокимов, И. А. (2015). Моделирование углеводного состава в продуктах детского питания. Научные и практические аспекты. *Молочная промышленность*, 9, 50-52.
- Беркетова, Л. В. (2018). Разработка продуктов с пониженным содержанием лактозы В Ю.Н. Зубцов (ред.), *Здоровьесберегающие технологии в ВУЗе: состояние и перспективы* (с.91-95).
- Гаврилова, Н. Б., & Бортникова, О. А. (2019). Перспективы использования молочной сыворотки в технологии производства специализированных молочных продуктов. В *Состояние и перспективы развития наилучших доступных технологий специализированных продуктов питания* (с.148-150).
- Голубев, А. Е., Ионова, И. И., & Машков В. В. (2019). Актуальность расширения низколактозных кисломолочных напитков. *Вестник науки*, 4 (4), 137-141.
- Добрянян, Е. И., & Зоров И. Н. (2010). Основные направления применения β -галактозидазы в производстве молочных консервов. В *Перспективные биокатализаторы для перерабатывающих отраслей АПК* (с. 354-359).
- Калинина, Е. Д., Гаврилов, А. В., & Филонов, Р. А. (2015). Исследование влияния массовой доли β -галактозидазы и продолжительности процесса на гидролиз лактозы молока. *Известия сельскохозяйственной науки Тавриды*, 2 (165), 98-103.
- Кисель, А. А. (2019). Растительные альтернативы молоку - развивающийся сегмент функциональных напитков. В *Конкурентоспособность территорий* (с. 184-186).
- Козлов, С. Г. (2008). *Исследование и разработка технологии сывороточных желеобразных продуктов с использованием растительного сырья* [Кандидатская диссертация, Кемеровский технологический институт пищевой промышленности]. Кемерово, Российская Федерация

- Костеневич, А. А., & Сапунова, Л. И. (2013). Бактериальные β -галактозидазы: биохимическое и генетическое разнообразие. *Труды БГУ* 2013, 8 (1), 52-63.
- Красникова, Л.В., Маркелова, В.В., Вербицкая, Н.Б., Добролеж, О.В. (2012). Функциональные продукты из молочной сыворотки с использованием антагонистически активных штаммов ацидофильных лактобактерий. *Известия высших учебных заведений. Пищевая технология*, 1 (325), 41-43.
- Кушугулова, А. Р. (2010). Актуальные вопросы исследований и производства пробиотической продукции. *Биотехнология. Теория и практика*, 2, 25-31.
- Остроумов, Л. А., & Гаврилов, В. Г. (2013). Биотрансформация лактозы ферментными препаратами β -галактозидазы. *Техника и технология пищевых производств*, 1, 1-5.
- Поротова, Е. Ю., Храмицев, А. Г., & Лодыгин, А. Д. (2015). Исследование закономерностей ферментативного гидролиза лактозы во вторичном молочном сырье. *Известия сельскохозяйственной науки Тавриды*, 3(166), 36-40.
- Сапунова, Л. И., & Костеневич, А. А. (2014). Внеклеточные полисахариды дрожжевого гриба *Cryptococcus flavescens* - продуцента β -галактозидазы. *Успехи медицинской микологии*, 12, 264-266.
- Серба, Е. М., Оверченко, М. Б., Игнатова, Н. И., Медриш, М. Э., & Римарева, Л. В. (2018). Обоснование метода определения β -галактозидазной активности ферментных препаратов. *Вестник российской сельскохозяйственной науки*, 6, 65-68. <https://doi.org/10.30850/vrnsn/2018/6/65-68>
- Судакова, О. А., Вийтив, И. М., & Лашеб, С. Л. (2017). Анализ рыночного предложения детских молочных смесей в Москве. *Тверской медицинский журнал*, 1, 51-52.
- Тихомирова, Н. А. (2016). Низколактозные и безлактозные продукты детского и лечебного питания. *Переработка молока*, 3 (197), 16-23.
- Чернышова, К. С., Андреева, А. А., & Кузнецова, Д. С. (2016). Вторичная лактазная недостаточность в аспекте симбионтного пищеварения. В *Молодежь, наука, медицина* (с. 536-537).
- Adiguzel, A., Nadaroglu, H., & Adiguzel, G. (2018). Purification and characterization of α -mannanase from *Bacillus pumilus* (M27) and its applications in some fruit juices. *Journal of Food Science and Technology-mysore*, 52(8), 5292-5298. <https://doi.org/10.1007/s13197-014-1609-y>
- Arnold, J. W., Simpson, J. B., Roach, J., Bruno-Barcena, J. M., & Azcarate-Peril, M. A. (2018). Prebiotics for Lactose Intolerance: Variability in Galacto-Oligosaccharide Utilization by Intestinal *Lactobacillus rhamnosus*. *Nutrients*, 10(157), <https://doi.org/10.3390/nu10101517>
- Bosso, A., Setti, A. C. I., Tomal, A. B., Guemra, S., Morioka, L. R. I., & Suguimoto, H. H. (2019). Substrate consumption and beta-galactosidase production by *Saccharomyces fragilis* IZ 275 grown in cheese whey as a function of cell growth rate. *Biocatalysis and agricultural biotechnology*, 21, UNSP 101335. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2019.101335>
- Juajin, O., Nguen, Thu-Ha, Maischberger, T., Iqbal, S., Haltrich, P., & Yamabhai, M. (2011). Cloning, purification, and characterization of β -galactosidase from *Bacillus licheniformis* DSM 13. *Biotechnologically Relevant Enzymes and Proteins*, 89, 645-654. <https://doi.org/10.1007/s00253-010-2862-2>
- Kim, S., Huang, E., Park, S., Holzapfel, W., & Lim, S. D. (2018). Physiological Characteristics and Anti-obesity Effect of *Lactobacillus plantarum* K10. *Korean Journal for Food Science of Animal resources*, 38(3), 554-569. <https://doi.org/10.5851/kosfa.2018.38.3.554>
- Lapides, R. A., & Savaiano, D. A. (2018). Gender, Age, Race and Lactose Intolerance: Is There Evidence to Support a Differential Symptom Response? A Scoping Review. *Nutrients*, 10(12). 1956. <https://doi.org/10.3390/nu10121956>
- Liu, P., Xie, J. X., Liu, J. H., & Ouyang, J. (2019). A novel thermostable beta-galactosidase from *Bacillus coagulans* with excellent hydrolysis ability for lactose in whey. *Journal of Dairy Science*, 102(11), 9740-9748. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-16654>
- Mano, M. C. R., Paulino, B. N., & Pastore, G. M. (2019). Whey permeate as the raw material in galacto-oligosaccharide synthesis using commercial enzymes. *Food Research International*, 124, 78-85. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.09.019>
- Szilagyi, A., & Ishayek, N. (2018). Lactose Intolerance, Dairy Avoidance, and Treatment Options. *Nutrients*, 10(12), 1994. <https://doi.org/10.3390/nu10121994>
- Thum, C., Weinborn, V., Barile, D., McNabb, W. C., Roy, N. C., & Bell, J. M. L. N. D. (2019). Understanding the Effects of Lactose Hydrolysis Modeling on the Main Oligosaccharides in Goat Milk Whey Permeate. *Molecules*, 24(18), 3294. <https://doi.org/10.3390/molecules24183294>
- Zheng, X., Chu, H., Cong, Y., Deng, Y., Long, Y., Zhu, Y., Pohl, D., Fried, M., Dai, N., & Fox, M. (2015). Self-reported lactose intolerance in clinic patients with functional gastrointestinal symptoms: prevalence, risk factors, and impact on food choices. *Neurogastroenterology and Motility*, 27(8), 1138-1146. <https://doi.org/10.1111/nmo.12602>

Creation of Low-Lactose Milk Serum using Bacterial β -Galactosidase

Yuliya V. Krasnova

*Interregional public organization «Institute of Engineering Physics»
1^a, Bolshoy Udarniy pereulok, Serpukhov, 142210, Russian Federation
E-mail: krasnova@iifmail.ru*

Svetlana N. Butova

*Moscow State University of Food Production
11 Volokolamskoe highway, Moscow, 125080, Russian Federation
E-mail: zhirmgupp@mgupp.ru*

Ekaterina R. Volnova

*Moscow State University of Food Production
11 Volokolamskoe highway, Moscow, 125080, Russian Federation
E-mail: volnovaer@mgupp.ru*

Julia V. Nikolaeva

*Moscow State University of Food Production
11 Volokolamskoe highway, Moscow, 125080, Russian Federation
E-mail: organikamgupp@mail.ru*

Today, there is a problem of processing waste of the dairy industry, in particular whey. Whey is a valuable protein-containing product, but no more than 30% of the volume of its generation in Russia goes into processing. This article presents the results of research on enzymatic processing of whey aimed at obtaining low-lactose dairy semi-finished product. The enzyme of bacterial nature - β -galactosidase with a standard activity of 5500 BLU/g was used in the research. The influence of pH in the range from 5.5 to 6.5, temperature in the range from 40 to 45 °C, amount of β -galactosidase introduced (0.01-0.07% of serum mass) and the duration of the process (from 3 to 24 hours) on the efficiency of whey hydrolysis was studied. It was found that at pH = 6.0; temperature of 40 °C and the duration of hydrolysis of 3 hours the dosage of β -galactosidase amounting to 0.05% provides optimal residual amount of lactose in serum equal to 0.6%. The maximum reduction of lactose in serum (the mass fraction of lactose was 0.1%) was also achieved at the following parameters: pH = 6.0; temperature 40 °C, duration 24 hours, the amount of enzyme 0.07%. But the hydrolysis at these parameters was considered irrational and economically inappropriate. Thus, optimal parameters for milk whey processing using bacterial β -galactosidase were determined. A low-lactose dairy semi-finished product was obtained, which is a promising raw material for functional and specialized food products intended for people suffering lactose intolerance.

Keywords: β -galactosidase, dairy industry, serum, enzymatic hydrolysis, low-lactose semi-finished product

References

- Arsen'eva, T. P. (2010). What lactase deficiency leads to. *Molochnaya promyshlennost'* [Dairy industry], 7, 28-30.
- Afnas'eva, M. M., & Shirokova, N. V. (2019). Low-lactic fermented milk product with vegetable filler. In *Nauchnye osnovy sozdaniya i realizacii sovremennyh tekhnologij zdorov'esberezheniya* [Scientific foundations for the creation and implementation of modern technologies for health conservation] (p.229-232).
- Bednyh, B. S., & Evdokimov, I. A. (2015). Modeling of carbohydrate composition in baby food. Scientific and practical aspects. *Molochnaya promyshlennost'* [Dairy industry], 9, 50-52.
- Berketova, L. V. (2018). Development of low lactose products. In *Zdorov'esberegayushchie tekhnologii v VUZe: sostoyanie i perspektivy* [Healthy-saving technologies in university: state and prospects]

- (p.91-95).
- Gavrilova, N. B., & Bortnikova, O. A. (2019). Prospects for the use of whey in the production technology of specialized dairy products. In *Sostoyanie i perspektivy razvitiya nailuchshih dostupnyh tekhnologij specializirovannyh produktov pitaniya* [State and development prospects of the best available technologies for specialized food products] (p.148-150).
- Golubev, A. E., Ionova, I. I., & Mashkov V. V. (2019). The relevance of expanding low-lactic fermented milk drinks. *Vestnik nauki* [Herald of Science], 4(4), 137-141.
- Dobriyan, E. I., & Zorov I. N. (2010). The main areas of application of β -galactosidase in the production of canned milk. In *Perspektivnye biokatalizatory dlya pererabatyvayushchih otraslej APK* [Promising biocatalysts for the processing industries of the agro-industrial complex] (p.354-359).
- Kalinina, E. D., Gavrilov, A. V., & Filonov, R. A. (2015). Investigation of the influence of the mass fraction of β -galactosidase and the duration of the process on the hydrolysis of milk lactose. *Izvestiya sel'skohozyajstvennoj nauki Tavridy* [News of agricultural science of Tauris], 2 (165), 98-103.
- Kisel', A. A. (2019). Plant-based alternatives to milk – a growing segment of functional beverages. In *Konkurentosposobnost' territorij* [Competitiveness of territories] (p.184-486).
- Kozlov, S. G. (2008). *Issledovanie i razrabotka tekhnologii syvorotochnyh geleobraznyh produktov s ispol'zovaniem rastitel'nogo syr'ya* [Research and development of technology for whey gel products using plant materials] [Candidate dissertation] Kemerovo.
- Kostenevich, A. A., & Sapunova, L. I.(2013). Bacterial β -galactosidases: biochemical and genetic diversity. *Trudy BGU 2013* [Proceedings of BSU 2013], 8 (1), 52-63.
- Krasnikova, L. V., Markelova, V. V., Verbickaya, N. B., & Dobrolezh, O. V. (2012). Functional whey products using antagonistically active strains of acidophilic lactobacilli. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Pishchevaya tekhnologiya* [News of higher educational institutions. Food technology], 1 (325), 41-43.
- Kushugulova, A. R. (2010). Current issues of research and production of probiotic products. *Biotehnologiya. Teoriya i praktika* [Biotechnology. Theory and practice], 2, 25-31.
- Ostroumov, L. A., & Gavrilov, V. G. (2013). Biotransformation of lactose with β -galactosidase enzyme preparations. *Tekhnika i tekhnologiya pishchevyh proizvodstv* [Technique and technology of food production], 1, 1-5.
- Porotova, E. YU., Hramicev, A. G., & Lodygin, A. D. (2015). The study of the patterns of enzymatic hydrolysis of lactose in secondary milk raw materials. *Izvestiya sel'skohozyajstvennoj nauki Tavridy* [News of agricultural science of Tauris], 3(166), 36-40.
- Sapunova, L. I., & Kostenevich, A. A. (2014). Extracellular polysaccharides of the yeast fungus *Cryptococcus flavescens* - producer of β -galactosidase. *Uspekhi medicinskoj mikologii* [Advances in Medical Mycology], 12, 264-266.
- Serba, E. M., Overchenko, M. B., Ignatova, N. I., Medrish, M. E., & Rimareva, L. V. (2018). Justification of the method for determining β -galactosidase activity of enzyme preparations. *Vestnik Rossijskoj sel'skohozyajstvennoj nauki* [Bulletin of the Russian agricultural science], 6, 65-68. <https://doi.org/10.30850/vrsn/2018/6/65-68>
- Sudakova, O. A., Vijtiv, I.M., & Lasheb, S. L. (2017). Analysis of the market supply of infant formula in Moscow. *Tverskoj medicinskij zhurnal* [Tver Medical Journal], 1, 51-52.
- Tihomirova, N. A. (2016). Low-lactose and lactose-free products for children and medical nutrition. *Pererabotka moloka* [Milk processing], 3(197), 16-23.
- Chernyshova, K. S., Andreeva, A. A., & Kuznecova, D. S. (2016). Secondary lactase deficiency in the aspect of symbiotic digestion. In *Molodezh', Nauka, Medicina* [Youth, Science, Medicine] 536-537.
- Adiguzel, A., Nadaroglu, H., & Adiguzel, G. (2018). Purification and characterization of α -mannanase from *Bacillus pumilus* (M27) and its applications in some fruit juices. *Journal of Food Science and Technology-mysore*, 52(8), 5292-5298. <https://doi.org/10.1007/s13197-014-1609-y>
- Arnold, J. W., Simpson, J. B., Roach, J., Bruno-Barcelona, J. M., & Azcarate-Peril, M. A. (2018). Prebiotics for Lactose Intolerance: Variability in Galacto-Oligosaccharide Utilization by Intestinal *Lactobacillus rhamnosus*. *Nutrients*, 10(157), <https://doi.org/10.3390/nu10101517>
- Bosso, A., Setti, A. C. I., Tomal, A. B., Guemra, S., Morioka, L. R. I., & Suguimoto, H. H. (2019). Substrate consumption and beta-galactosidase production by *Saccharomyces fragilis* IZ 275 grown in cheese whey as a function of cell growth rate. *Biocatalysis and agricultural biotechnology*, 21, UNSP 101335. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2019.101335>
- Juajin, O., Nguen, Thu-Ha, Maischberger, T., Iqbal, S., Haltrich, P., & Yamabhai, M. (2011). Cloning, purification, and characterization of β -galactosidase from *Bacillus licheniformis* DSM 13. *Biotechnologically Relevant Enzymes and Proteins*, 89, 645-654. <https://doi.org/10.1007/s00253-010-2862-2>
- Kim, S., Huang, E., Park, S., Holzapfel, W., & Lim, S. D. (2018). Physiological Characteristics and

- Anti-obesity Effect of *Lactobacillus plantarum* K10. *Korean Journal for Food Science of Animal resources*, 38(3), 554-569. [https://doi.org/10.5851 / kosfa.2018.38.3.554](https://doi.org/10.5851/kosfa.2018.38.3.554)
- Lapides, R. A., & Savaiano, D. A. (2018). Gender, Age, Race and Lactose Intolerance: Is There Evidence to Support a Differential Symptom Response? A Scoping Review. *Nutrients*, 10(12), 1956. <https://doi.org/10.3390/nu10121956>
- Liu, P., Xie, J. X., Liu, J. H., & Ouyang, J. (2019). A novel thermostable beta-galactosidase from *Bacillus coagulans* with excellent hydrolysis ability for lactose in whey. *Journal of Dairy Science*, 102(11), 9740-9748. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-16654>
- Mano, M. C. R., Paulino, B. N., & Pastore, G. M. (2019). Whey permeate as the raw material in galacto-oligosaccharide synthesis using commercial enzymes. *Food Research International*, 124, 78-85. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.09.019>
- Szilagyi, A., & Ishayek, N. (2018). Lactose Intolerance, Dairy Avoidance, and Treatment Options. *Nutrients*, 10(12), 1994. <https://doi.org/10.3390/nu10121994>
- Thum, C., Weinborn, V., Barile, D., McNabb, W. C., Roy, N. C., & Bell, J. M. L. N. D. (2019). Understanding the Effects of Lactose Hydrolysis Modeling on the Main Oligosaccharides in Goat Milk Whey Permeate. *Molecules*, 24(18), 3294. <https://doi.org/10.3390/molecules24183294>
- Zheng, X., Chu, H., Cong, Y., Deng, Y., Long, Y., Zhu, Y., Pohl, D., Fried, M., Dai, N., & Fox, M. (2015). Self-reported lactose intolerance in clinic patients with functional gastrointestinal symptoms: prevalence, risk factors, and impact on food choices. *Neurogastroenterology and Motility*, 27(8), 1138-1146. <https://doi.org/10.1111/nmo.12602>