

Л. Н. Емельянова¹, О. В. Дымар¹, Т. Л. Шуляк²

¹РУП «Институт мясо-молочной промышленности»,

²УО «Могилевский государственный университет продовольствия»

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОИЗВОДСТВА СЫВОРОТКИ СУХОЙ ГИДРОЛИЗОВАННОЙ

В статье представлены исследования по подбору оптимальных параметров ферментативного гидролиза лактозы в подсырной сыворотке, на основании которых разработана технология получения сухой гидролизованной сыворотки. Рассмотрены особенности нового низколактозного продукта и способ его производства.

Введение

Актуальность применения ферментативного гидролиза лактозы при производстве молочных продуктов основана на возрастающем внимании к проблеме лактозной непереносимости у значительной части населения Земли.

Ферментативный гидролиз лактозы является сложным с точки зрения химии процессом, ход которого зависит от ряда факторов, таких как температура и кислотность среды, продолжительность ферментации, расход гидролизующего агента и других. Исследование оптимальных параметров процесса ферментативного гидролиза лактозы позволяет разрабатывать технологии получения функциональных низколактозных продуктов. Данное направление открывает новые возможности в переработке такого вида вторичного молочного сырья, как подсырная сыворотка, которая является полноценным молочным сырьем. Производство низколактозных молочных продуктов с регулируемыми функционально-технологическими показателями на основе подсырной сыворотки, как для пищевых, так и для кормовых целей, значительно расширит пути переработки данного перспективного вида молочного сырья. Одновременно с этим применение ферментативного гидролиза лактозы в молочной промышленности позволит расширить узкий ассортимент низколактозных молочных продуктов для людей, страдающих непереносимостью лактозы.

Литературные данные свидетельствуют о том, что эффективность протекания реакции ферментативного гидролиза молочного сахара зависит от ряда факторов, которые определяют технологические особенности производства продуктов с гидролизованной лактозой [1]. Так, в зависимости от вида и источника ферментного препарата различными могут быть используемое сырье и, следовательно, конечный готовый продукт. В связи с тем, что подсырная сыворотка имеет оптимальный для

ферментативного гидролиза компонентный состав, уровень ее активной кислотности совпадает с оптимумом фермента марки Maxilakt L2000 и составляет 6,5–7,5 ед. рН, данный вид молочного сырья является оптимальным сырьем для производства низколактозных молочных продуктов [2]. Кроме технологических преимуществ, переработка подсырной сыворотки на низколактозные молочные продукты позволит решить и некоторые другие актуальные на сегодняшний день вопросы. Так, переработка подсырной сыворотки позволит в некоторой степени решить экологическую проблему сброса и засаливания почв.

В связи с этим **целью** настоящей работы является исследование процесса ферментативного гидролиза лактозы в подсырной сыворотке и разработка технологии получения низколактозного молочного продукта на ее основе.

Объекты и методы исследования

Объектом исследования являлась подсырная сыворотка, полученная при выработке ферментативного сыра.

В работе использовался ферментный препарат β-галактозидазы производства фирмы DSM (Голландия) Maxilakt L2000.

Массовую долю лактозы определяли йодометрическим методом по ГОСТ 29248-91 [3].

Массовую долю оставшейся после гидролиза лактозы ($C_{ост.}$ %) определяли расчетным путем по полученной нами формуле [2]:

$$C_{ост.} = C_{исх.} \times \left(1 - \frac{V_0 - V_\tau}{V_k - V_0}\right),$$

где $C_{исх.}$ – массовая доля лактозы в исходном образце, %;

V_0 – объем 0,1 н раствора тиосульфата натрия ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$), использованного на титрование йода в исходном образце, см^3 ;

V_τ – объем 0,1 н раствора тиосульфата натрия ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$), использованного на титрование йода в гидролизованном образце, см^3 ;

V_k – объем 0,1 н раствора тиосульфата натрия ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$), использованного на титрование йода в холостом опыте, см^3 .

Степень гидролиза (СГ, %) определяли расчетным путем по формуле:

$$СГ = \left(\frac{C_{исх.} - C_{ост.}}{C_{исх.}}\right) \times 100,$$

где $C_{ост.}$ – массовая доля лактозы, оставшейся в образце после гидролиза, %;

$C_{исх.}$ – массовая доля лактозы в исходном образце, %.

Остальные физико-химические показатели сыворотки подсырной в ходе и по окончании экспериментальных исследований проводили согласно требованиям, предъявляемым к данной группе продуктов.

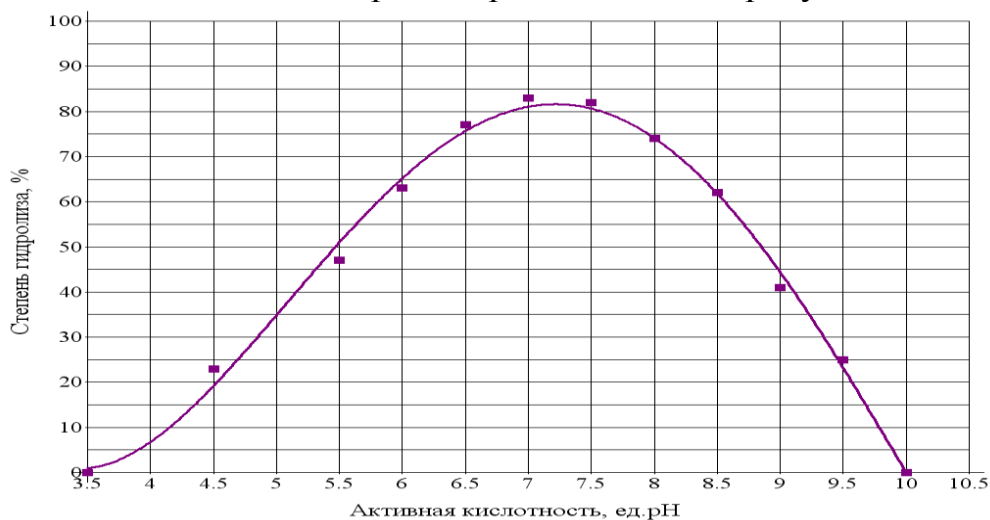
В условиях аккредитованной лаборатории химии пищевых продуктов ГУ «Республиканский научно-практический центр гигиены» проводились арбитражные исследования по определению физико-

химических показателей сыворотки сухой деминерализованной гидролизованной:

- определение индекса растворимости по ГОСТ 30305.4 (применительно к сухому обезжиренному молоку масса навески составляет 1,2 г) [4];
- определение золы [4, 5];
- определение массовой доли редуцирующих сахаров (лактозы, глюкозы, галактозы) *методом газожидкостной хроматографии* [6].

Результаты и их обсуждение

Определение оптимальных параметров ферментативного гидролиза лактозы в подсырной сыворотке. При подборе оптимальных параметров процесса ферментативного гидролиза лактозы в подсырной сыворотке в первую очередь определяли кислотный и температурный режимы процесса. В ходе исследований варьировали лишь один из исследуемых показателей, остальные значимые параметры оставались неизменными и базировались на литературных источниках. Результаты исследований по подбору оптимальной активной кислотности среды для ферментативного препарата Maxilact L2000 в сыворотке представлены на рисунке 1.

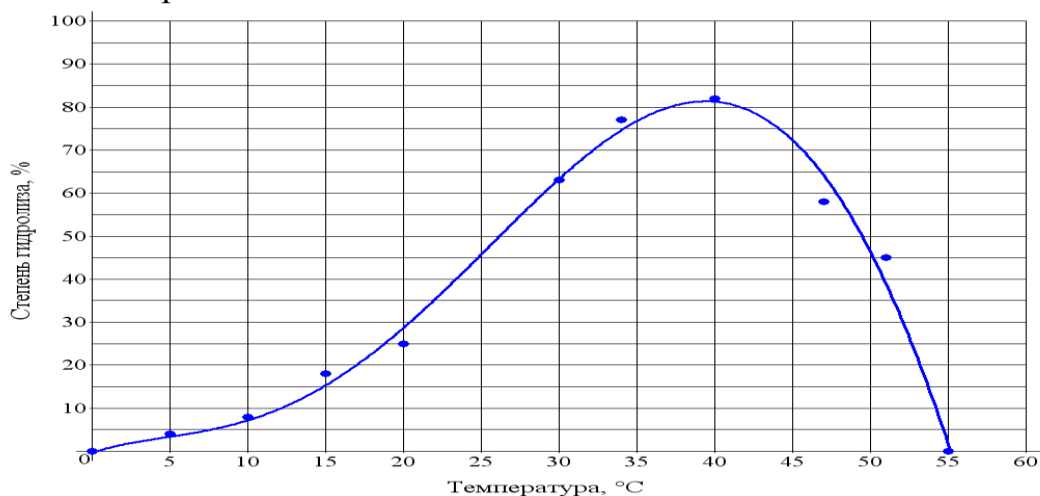


Параметры эксперимента: температура – $38\pm 2^{\circ}\text{C}$, продолжительность 4 часа, дозировка фермента – 0,3 % от массы образца сыворотки.

Рис. 1. Зависимость степени гидролиза лактозы от активной кислотности гидролизуемой сыворотки

Анализ полученных данных показал, что степень гидролиза значительно снижается при низких и высоких значениях активной кислотности, что объясняется белковой природой лактазы, которая изменяет свою нативную структуру в подобных условиях. Наиболее оптимальным диапазоном кислотности для проведения ферментативного гидролиза лактозы сыворотки является 6,5–8 ед. рН, что соответствует данному показателю для свежей подсырной сыворотки.

Проводились также исследования по подбору температуры, при которой обеспечивался наиболее эффективный гидролиз лактозы в сыворотке. При проведении реакции гидролиза поддерживали оптимальный уровень кислотности 6,5–8 ед. рН путем подщелачивания сыворотки гидрокарбонатом натрия. Результаты эксперимента представлены на рис. 2.



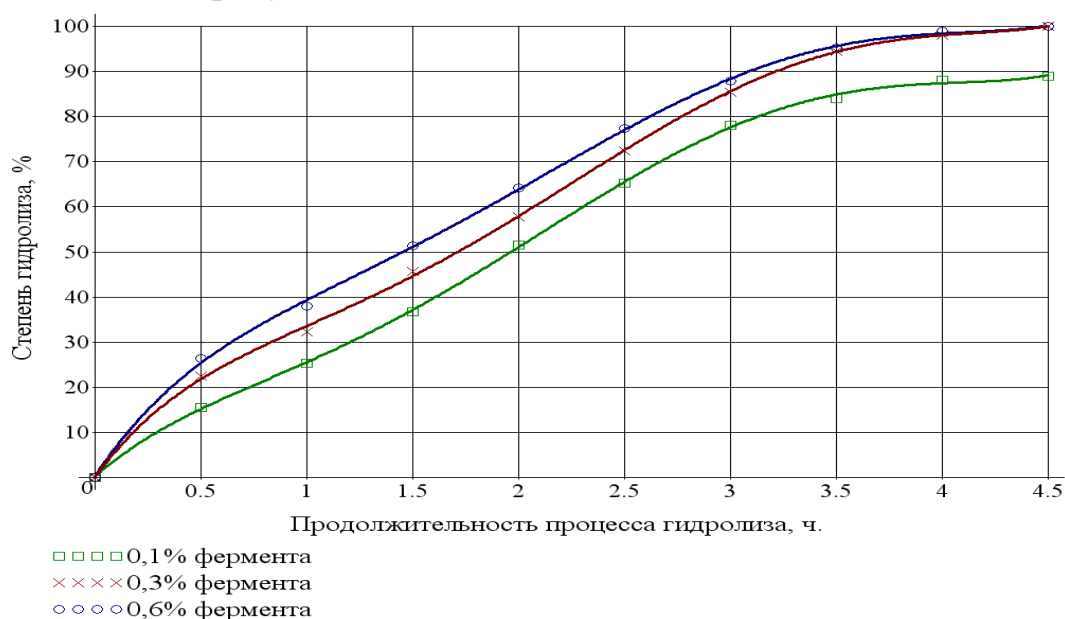
Параметры эксперимента: активная кислотность 6,5–8 ед. рН, продолжительность 4 часа, дозировка фермента – 0,3 % от массы образца сыворотки.

Рис. 2. Зависимость степени гидролиза лактозы сыворотки от температуры ферментации

На графике (см. рис. 2) видно, что наибольшая активность фермента наблюдалась при температуре 35–40 °C. Так же как и в случае активной кислотности, значительное отклонение от оптимальных температурных параметров может привести к частичной либо полной потере активности фермента. Повышение температуры выше 55 °C приводит к потере каталитических свойств β -галактозидазы и практически останавливает ход гидролитической реакции. При пониженных температурах реакция расщепления лактозы на составляющие ее моносахара значительно ингибировалась, но окончательно не прекращалась, фермент сохранял активность даже при низких температурах до 5 °C.

Важными и тесно взаимосвязанными параметрами процесса гидролиза лактозы являются дозировка вносимого фермента и продолжительность реакции ферментации. Данные параметры зависят от температуры, кислотности и желаемой степени гидролиза. В связи с этим проведены исследования по установлению оптимальной дозы ферментного препарата, обеспечивающего желаемую степень гидролиза лактозы. Для этого в подсырную сыворотку вносили фермент Maxilakt L2000 в концентрациях 0,1; 0,2; 0,3 % от массы сыворотки.

Ферментацию проводили в течение 4,5 часов, при подобранных оптимальных температуре и рН среды. Полученные результаты представлены на рисунке 3.

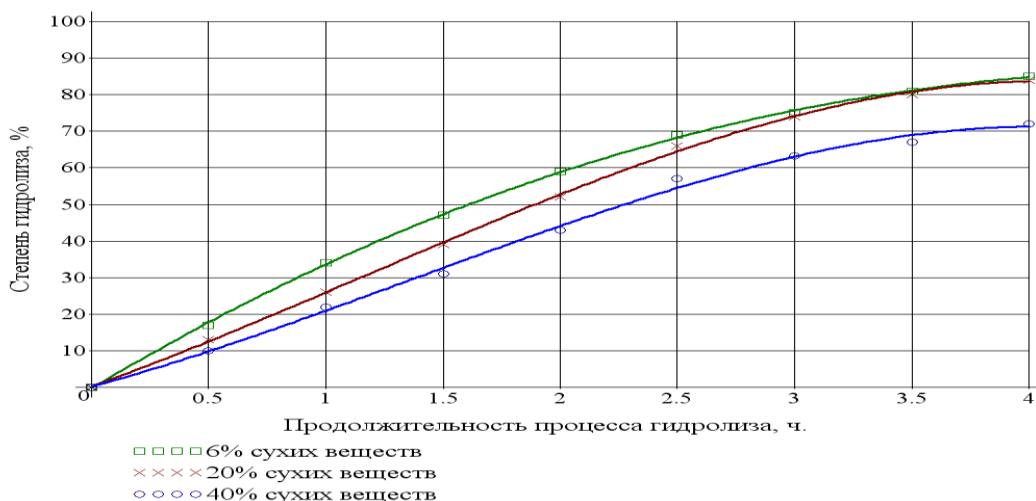


Параметры эксперимента: температура – 38 ± 2 °С, активная кислотность 6,5–8 ед. рН, продолжительность 4,5 часа.

Рис. 3. Зависимость степени гидролиза лактозы подсырной сыворотки от продолжительности процесса и количества вносимого фермента

Добавление 0,1% фермента от общей массы сыворотки обеспечивает частичное, но не полное расщепление лактозы. При внесении 0,3 % фермента возможен полный гидролиз лактозы в молочной сыворотке за 4,5 часа. Отмечается нецелесообразность увеличения расхода фермента в целях ускорения процесса гидролиза свыше 0,3 %, так как увеличение расхода фермента даже в 2 раза незначительно ускоряет процесс, но несомненно приведет к увеличению затрат на приобретение дорогостоящего ферментативного препарата.

На эффективность протекания реакции ферментативного распада молочного сахара предположительно оказывает влияние повышенное содержание сухих веществ в гидролизуемом субстрате. Для оценки целесообразности проведения ферментативного гидролиза лактозы в концентрированной или сгущенной подсырной сыворотке было изучено влияние массовой доли сухих веществ сырья на эффективность протекания гидролитической реакции. Эксперименты проводились с натуральной подсырной сывороткой с массовой долей сухих веществ 6,0 %, концентрированной методом нанофильтрации сывороткой с содержанием сухих веществ 20 % и сгущенной – 40 % сухих веществ. Результаты представлены на рис. 4.



Параметры эксперимента: температура – $38 \pm 2^\circ\text{C}$, активная кислотность 6,5–8 ед. рН, продолжительность 4 часа, дозировка фермента – 0,3% от массы образца сыворотки.

Рис. 4. Зависимость степени гидролиза лактозы от продолжительности процесса и массовой доли сухих веществ в подсырной сыворотке

Анализ результатов эксперимента показывает, что при гидролизе лактозы в образце с массовой долей сухих веществ 20 % при соблюдении всех оптимальных параметров достигается высокая эффективность процесса, так же как и в неконцентрированной натуральной сыворотке. Это подтверждает целесообразность предварительного концентрирования сыворотки и объясняется высокой вероятностью столкновения молекул лактозы и фермента β -галактозидазы. При гидролизе лактозы в сгущенной сыворотке с массовой долей сухих веществ 40 % наблюдалось снижение эффективности ферментативного процесса, что можно объяснить значительным увеличением вязкости субстрата и сложностью равномерного распределения в нем фермента.

На основании полученных данных можно заключить, что процесс ферментативного гидролиза в подсырной сыворотке при соблюдении определенных условий возможен и является одним из альтернативных путей переработки данного перспективного вида сырья.

Второй этап работы был посвящен разработке технологии низколактозного молочного продукта на основе подсырной сыворотки.

Одним из наиболее перспективных продуктов на основе сыворотки на сегодняшний момент является сыворотка сухая. Это обусловлено тем, что в сухом виде данный продукт применим не только в качестве полуфабриката для производства других молочных продуктов (мороженое, йогурт, напитки), но и находит широкое применение во многих других пищевых отраслях (мясная, хлебопекарная, кондитерская).

В этой связи изучены особенности процесса производства сухой сыворотки с гидролизованной лактозой: подсушивание (концентрирование) и сушка гидролизованной молочной сыворотки.

Концентрирование подготовленной подсырной сыворотки проводилось на установке нанофльтрации перед ферментативным расщеплением молочного сахара ферментом β -галактозидазой. Нанофльтрация позволяет успешно сконцентрировать молочную сыворотку до массовой доли сухих веществ 20 ± 2 % с минимальными энергетическими затратами, одновременно осуществляя частичную деминерализацию сырья. Процесс концентрирования осуществляется путем селективного удаления из сыворотки воды и растворенных в ней минеральных веществ. Данная операция отличается от обычного сгущения на вакуум-выпарной установке еще и тем, что не требует предварительного подогрева сыворотки до температуры 60 ± 3 °С, а предписывает использование сыворотки при температуре 20 ± 2 °С, что сохраняет большую часть ценных сывороточных белков в нативном состоянии. Инактивация β -галактозидазы впоследствии происходила в результате досгущения сыворотки на вакуум-выпарной установке.

Сушку сыворотки проводили в установке распылительного типа с прямоточным движением горячего воздуха при строгом соблюдении следующих режимов:

1) температура воздуха, поступающего в сушильную башню: от 150 до 170 °С;

2) температура воздуха на выходе из сушильной башни: от 70 до 85 °С.

Низкие режимы сушки в сравнении с аналогичными режимами производства сухой молочной сыворотки объясняются более низкими температурами плавления преобладающих в гидролизованной сыворотке моносахаров глюкозы и галактозы по сравнению дисахаридом лактозой. Так, температура плавления глюкозы в среднем составляет 140–150 °С, галактозы – 160–190 °С, а кристаллической лактозы – не менее 200 °С [1].

В процессе сушки продукт хорошо поддавался извлечению оставшейся после сгущения влаги, но наблюдалось незначительное налипание продукта в сушильной башне, что связано с повышенной термопластичностью моносахаров и недостаточной концентрацией белка в сыворотке. В ходе выполнения работ получены образцы сухой гидролизованной сыворотки. Сухая сыворотка представляет собой аморфный порошок желтого цвета, однородного по всей массе. По сравнению с обычной сухой молочной сывороткой она обладает более сладким вкусом, что объясняется расщеплением среднесладкой лактозы на более сладкие моносахара (глюкоза и галактоза).

Конечные показатели сухой гидролизованной сыворотки в сравнении с показателями сухой сыворотки представлены в таблице 1.

Таблица 1. Показатели сыворотки сухой гидролизованной и сыворотки сухой молочной

Показатель	Сыворотка сухая гидролизованная	Сыворотка молочная сухая
Массовая доля влаги, %	4,5	5,0
Степень гидролиза лактозы, %	85	0,0
Массовая доля редуцирующих сахаров, % В том числе:		
глюкозы	29,6	–
галактозы	28,5	–
лактозы	9,0	61,0
Титруемая кислотность, °Т	93	95
Индекс растворимости, сырого осадка см ³	0,3	0,6
Массовая доля золы, %	9,5	15,0
Органолептические показатели: внешний вид и консистенция	днородный мелкий сухой порошок с незначительным количеством комочков, рассыпающихся при легком механическом воздействии	
цвет	желтый, однородный по всей массе	светло-желтый, однородный по всей массе
вкус и запах	свойственный молочной сыворотке. Повышенная глюкозная сладость	свойственный молочной сыворотке сладкий с легкой кислинкой

По органолептике полученный продукт не уступает сыворотке молочной сухой, кроме того, он обладает более сладким вкусом, что позволит снизить использование сахарозы в сладких молочных продуктах при использовании гидролизованной сыворотки вместо классической сухой молочной сыворотки.

Вывод

В ходе исследований найдены оптимальные параметры процесса ферментативного гидролиза лактозы в подсырной сыворотке, на основании которых разработана технология получения сыворотки сухой гидролизованной. Особенности технологии данного продукта в сравнении с классическим способом производства сухой молочной сыворотки являются такие этапы как: предварительное концентрирование сыворотки на установке нанофильтрации до массовой доли 20 ± 2 % при температуре 20 ± 2 °С; ферментативный гидролиз лактозы в концентрированной сыворотке при температуре 38 ± 2 °С, продолжительности 4 часа, дозировке фермента 0,3 % от массы образца сыворотки и активной кислотности среды ферментации 6,5–8 ед. рН; инактивация фермента β-галактозидазы в процессе досушивания сыворотки до массовой доли сухих веществ 45 ± 3 % на вакуум-выпарной установке

при температуре 60 ± 3 °С; сушка сгущенной гидролизованной сыворотки при более низких режимах (температура воздуха, поступающего в сушильную башню – от 150 до 170 °С, температура воздуха на выходе из сушильной башни – от 70 до 85 °С). По разработанной технологии получен продукт «Сыворотка сухая гидролизованная», отличающийся низким содержанием лактозы и повышенной сладостью, который предполагается использовать как полуфабрикат в различных отраслях пищевой промышленности.

Литература

1. Емельянова, Л.Н. Исследование процесса ферментативного гидролиза лактозы в молочном сырье: дис. магистра техн. наук: 1-49 80 04 / Л.Н. Емельянова. – Могилев, 2012. – 101 С.
2. Консервы молочные. Йодометрический метод определения сахаров: ГОСТ 29248-91. – Введ. 01.07.1993. – Минск: Гос. комитет по стандартизации Республики Беларусь: Госстандарт, 1993. – 12 с.
3. Международный стандарт ISO 5545:2008 Rennet caseins and caseinates – Determination of ash (Reference method) Казеин и казеинаты. Определение золы (контрольный метод).
4. Подлегаева, Т.В. Методы исследования свойств сырья и продуктов питания: учеб. пособие / А.Ю. Просеков, Т.В. Подлегаева. – М.: РИОР, 2004.
5. Синельников, Б.М. Лактоза и ее производные / А.Г. Храмцов [и др.] – М.: Издательство «Профессия», 2007. – 767 с.
6. Сыворотка молочная сухая. Общие технические условия СТБ 2219-2011. – Введ. 01.01.2011. – Минск: Гос. комитет по стандартизации Республики Беларусь: Госстандарт, 2011. – 11 с.

L. Yemialyanava, O. Dymar, T. Shulyak

TECHNOLOGICAL FEATURES OF MANUFACTURE OF WHEY OF THE DRY HYDROLYZED

Summary

In article researches on selection of optimum parameters fermentable lactose hydrolysis in whey from cheese manufacture are presented, on which basis the technology of reception of the dry hydrolyzed whey is developed. Features new lowlactos a product and a way of its manufacture are considered.