

Л.Л. Богданова¹, к.т.н., доцент, В.В. Боброва¹, Ю.В. Бондаренко²
¹Институт мясо-молочной промышленности, Минск, Республика Беларусь
²ОАО «Молочный Мир»

ОПТИМИЗАЦИЯ СТЕПЕНИ ГИДРОЛИЗА НОРМАЛИЗОВАННОЙ МОЛОЧНОЙ СМЕСИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА БЕЗЛАКТОЗНЫХ СЫРОВ

L. Bahdanava¹, V. Bobrova¹, Y. Bondarenko²
¹Institute for Meat and Dairy Industry, Minsk, Republic of Belarus
²JSC «Molochny Mir»

OPTIMIZATION OF THE DEGREE OF HYDROLYSIS OF NORMALIZED MILK MIXTURE FOR LACTOSE-FREE CHEESE PRODUCTION

e-mail: bogdanova_ll@tut.by, viktoriakovaleva000@gmail.com, yurabondarenko91@gmail.com

В статье представлен анализ изучения и определения оптимальных технологических условий гидролиза нормализованной молочной смеси для разработки безлактозных сыров. Отобраны и изучены три ферментных препарата β -галактозидазы разных изготовителей. Установлены закономерности влияния на гидролиз температурного режима, дозировки ферментов и режимов перемешивания.

The article presents an analysis of the study and determination of optimal technological conditions of hydrolysis of normalized milk mixture for the development of lactose-free cheeses. Three enzyme preparations of β -galactosidase from different manufacturers were selected and studied. The effects of temperature, enzyme dosage and mixing modes on hydrolysis were determined.

Ключевые слова: лактоза, пастеризация, ультрафильтрация, гидролиз, фермент, сыр безлактозный.

Keywords: lactose, pasteurization, ultrafiltration, hydrolysis, enzyme, lactose-free cheese.

Введение. Для производства безлактозных продуктов в пищевой промышленности наиболее эффективным является ферментативный гидролиз лактозы, который осуществляется с помощью фермента β -галактозидазы (лактазы), воздействующего на сырье, содержащее лактозу. Этот процесс может выполняться как с использованием растворимых форм β -галактозидазы, так и с применением иммобилизованных ферментов [1–3]. Одним из основных преимуществ использования иммобилизованных ферментов в молочной промышленности является то, что иммобилизация позволяет увеличить диапазон температурных и pH-оптимумов для многих биокатализаторов, включая β -галактозидазу [4–6].

Несмотря на явные преимущества, технологии ферментативного гидролиза лактозы с использованием иммобилизованных ферментных систем имеют сложные технические аспекты и могут быть экономически нецелесообразными для производства безлактозных продуктов. В пищевой промышленности более целесообразно использовать β -галактозидазу в растворимой форме, особенно если не требуется полное (100%) расщепление молочного сахара в сырье [4, 7–9].

Цель работы – определение оптимальных технологических условий гидролиза нормализованной молочной смеси для разработки безлактозных сыров.

Методы исследований. Отбор проб молока и молочных продуктов, подготовку их к анализам проводили в соответствии с ГОСТ 26809-96; измерение pH – по ГОСТ 26781-85; определение титруемой кислотности – по ГОСТ 3624; измерение плотности молока – по ГОСТ 3625, п.2; измерение массовой доли жира – по ГОСТ 5867; измерение массовой доли влаги и сухого вещества – по ГОСТ 3626. Определение лактозы в гидролизованной молочной смеси проводили по: «Государственная система обеспечения единства измерений Республики Беларусь. Степень гидролиза лактозы». Методика выполнения измерений», утв. РУП «Институт мясо-молочной промышленности» 04.07.2022 г.

Средства измерений, вспомогательные оборудование: сыроизготовитель «Casaro» (Ярославль, Россия), лабораторная ультрафильтрационная установка Я23-ОУФ, лабораторная баромембранная установка Я23-ОУН, электроплита ЭПЧ 2,2, шкаф сушильный HS 61 А, магнитная мешалка MM2A, pH –метр HI 8314, ультратермостат U2, весы ВСЛ-400/1, хладотермостат воздушный ХТ-3/40, холодильник ШВУ-0,4-1,3-20, весы EW 6200, набор гирь 2 класса точности, печь муфельная SNOL 7,2/1100, прибор для определения влажности Testo 625, рулонные мембраны: мембрана производства Alfa Laval и мембрана НрНТ 8038-K131, центрифуга MPW-210.

Результаты и их обсуждение. Для проведения исследований отобраны три ферментных препарата β -галактозидазы разных изготовителей, относящихся к нейтральным лактазам:

- препараты «Maxilakt» компании DSM Food Specializaties – очищенные препараты лактазы, выделенные из штаммов дрожжей *Saccharomyces (Kluyveromyces) marxianus* var. *Lactis*, заявленной активностью 6500 NLU/г и 5000 NLU/г (Neutral Lactase Unit, далее в тексте NLU);

- лактаза «Biolactase L» компании Kerry – выделена из штаммов дрожжей *Kluyveromyces lactis* и относится к нейтральным ферментам. Оптимум действия данного фермента составляет около 6,0 ед. pH. Ассортиментный ряд ферментов «Biolactase L» представлен двумя видами препаратов «Biolactase L20» и «Biolactase L40» с активностями 20000 GU/ml NLU/г и 48000 GU/ml соответственно.

- лактаза «ASTROLACT LX» компании Calza Clemente (Италия) выделена из штаммов дрожжей *Kluyveromyces lactis* и также относится к нейтральным ферментам. Оптимум действия данного фермента составляет 6,6–6,8 ед. pH и 35–40 °C. Ассортиментный ряд ферментов «ASTROLACT LX» представлен двумя видами препаратов «ASTROLACT LX2000» и «ASTROLACT LX5000» с активностью 2000 и 5000 NLU/г соответственно.

Известно, что ферменты, обладающие одинаковой функцией, но выделенные из разных источников, отличаются друг от друга некоторыми свойствами, которые характерны лишь для данного фермента. Кроме того, различными компаниями-производителями заявляется абсолютно разная активность препаратов β -галактозидазы (от 2000 до 40000 ед). Причем активность может выражаться в NLU (Neutral Lactase Unit)/г (см³), BLU (Bifidobacterium Lactase)/г (см³) или GU (Gram Unit)/см³. BLU и GU не пересчитываются и не соотносятся с другими единицами, такими как NLU. В связи с изложенным, для того чтобы обеспечить максимальную воспроизводимость экспериментов, отработка основных параметров процесса гидролиза лактозы в рамках выполнения мероприятия проводилась в лаборатории технологий сыроделия и маслоделия РУП «Институт мясо-молочной промышленности» на модельных растворах лактозы. В первой серии экспериментов за основу взят 5 % раствор лактозы с активной кислотностью 6,91 ед. pH.

Массовую долю лактозы на первых этапах исследований определяли йодометрическим методом, т.к. в условиях производственной лаборатории йодометрический метод определения молочного сахара является наиболее

осуществимым. В процессе ферментативного гидролиза количество восстанавливающих сахаров возрастает за счет распада молекулы лактозы на глюкозу и галактозу, следовательно, возрастает и количество способных к окислению альдегидных групп. Таким образом, формула расчета, приведенная в арбитражном методе, будет учитывать суммарное количество редуцирующих сахаров (лактозы, глюкозы и галактозы).

В методике выполнения измерений, утвержденной РУП «Институт мясо-молочной промышленности», приведен расчет, согласно которому, зная объемы реактивов, пошедших на титрование исходного и гидролизованного образца, можно определить массовую долю оставшейся после гидролиза лактозы по следующей формуле (1):

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

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

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

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

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

На основании представленных расчетов определяли количество остаточной лактозы в гидролизованной молочной смеси и рассчитывали степень гидролиза образца на этапах технологического процесса.

Температурные режимы проведения гидролиза составили 8°C и 10°C и определены исходя из того, что в процессе изготовления сыров после заполнения сыроизготовителя нормализованной пастеризованной молочной смесью ни на одном из этапов температура процесса не превышает $(40 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ и, соответственно, нет возможности провести инактивацию ферментного препарата β -галактозидазы. Следовательно, проведение процесса ферментного гидролиза лактозы с последующей инактивацией ферментного препарата возможно только на этапе созревания молока перед выработкой сыра. Указанные температурные режимы соответствуют температурным режимам созревания молока. Перемешивание реакционной смеси в течение первых 8 часов проводилось периодически с интервалом 20 мин, затем 14 часов инкубации без перемешивания и в течение 2 часов перемешивание проводилось с интервалом 30 мин. Результаты экспериментов представлены в таблице 1.

При анализе результатов, представленных в таблице 1, очевидно, что за 24 ч гидролиза при температуре $(9 \pm 1)^{\circ}\text{C}$ и дозе внесения лактазы 0,1–0,2 % ни в одном из экспериментальных образцов на модельном растворе полный гидролиз лактозы не достигнут. Степень гидролиза раствора лактозы ферментным препаратом кислой лактазы «LACTASTAR 4025» компании Calza Clemente (Италия) сопоставима со степенью гидролиза раствора лактозы ферментным препаратом нейтральной лактазы «ASTROLACT LX» той же компании-изготовителя. Очевидно, что эффективность гидролиза раствора лактозы ферментным препаратом «Biolactase L» в условиях данного эксперимента немного ниже, чем другими препаратами лактазы. Вероятно, его фактическая активность ниже, чем активность остальных препаратов, либо pH модельного раствора не является оптимальным, и впоследствии потребуется пересчет дозы внесения в соответствии с фактической активностью препарата.

Таблица 1 – Результаты отработки параметров гидролиза различными препаратами β -галактозидазы

Доза внесения, %	Температура гидролиза, °C	Продолжительность гидролиза, ч	pH гидролизованного раствора	Остаточное содержание лактозы, %	Степень гидролиза лактозы, %
Контрольный 5 % раствор лактозы					
	10	48	6,91	5,31	0
Ферментный препарат β-галактозидазы «Максилакт» 6500					
0,1	8	24	6,79	2,026	61,85
0,2	8	24	6,47	1,292	75,67
0,1	10	24	6,45	1,222	76,99
0,1	8	48	6,83	0,558	89,49
0,2	8	48	6,56	0,210	96,05
0,1	10	48	6,44	0,384	92,77
Контрольный 5 % раствор лактозы					
Ферментный препарат β-галактозидазы «Biolactase L» 20000					
0,1	8	24	6,58	3,144	40,79
0,2	8	24	6,40	2,271	57,23
0,1	8	48	6,63	2,096	60,53
0,2	8	48	6,48	0,943	82,24
Ферментный препарат β-галактозидазы «ASTROLACT LX» 5000					
0,1	8	24	6,59	1,118	78,95
0,2	8	24	6,42	0,734	86,18
0,1	10	24	6,45	0,629	88,15
0,1	8	48	6,60	0,734	86,18
0,2	8	48	6,47	0,279	94,75
0,1	10	48	6,41	0	100
Ферментный препарат β-галактозидазы «LACTASTAR 4025» 5000					
0,2	8	24	6,38	0,664	87,50
0,2	8	48	6,45	0,419	92,11

Источник данных: собственная разработка.

Установлено, что при повышении температуры с 8°C до 10°C степень гидролиза лактозы за 24 ч увеличивается на 9,2 % – 15,14 %, а за 48 ч – на 3,28 % – 21,05 % и практически достигает 100 %. Кроме того, при увеличении дозы внесения ферментных препаратов лактазы в два раза степень гидролиза лактозы не увеличивается пропорционально увеличению дозы фермента применительно к любому из исследуемых препаратов лактазы. Это может быть обусловлено отсутствием постоянного перемешивания реакционной смеси.

В результате анализа первой серии экспериментов для дальнейшей работы отобрано два ферментных препарата нейтральной лактазы: «ASTROLACT LX» компании Calza Clemente (Италия) и «Maxilact» компании DSM Food Specializaties.

Во второй серии экспериментов использованы модельные растворы с концентрацией лактозы 4 % и 5 % с обеспечением непрерывного перемешивания реакционной среды. Результаты экспериментов представлены в таблице 2.

При анализе результатов, представленных в таблице 2, установлено, что в случае постоянного перемешивания ферментируемой смеси при повышении температуры с 8°C до 10°C степень гидролиза лактозы за 24 ч увеличивается не так существенно, как при периодическом перемешивании: на 1,85–4,63 %. Кроме того, очевидно, что при одинаковой заявленной активности гидролиз лактозы ферментным препаратом «Максилакт» 5000 в условиях постоянного перемешивания протекает интенсивнее, чем гидролиз ферментным препаратом «ASTROLACT LX» 5000: степень гидролиза при прочих равных условиях составляет 40,26 % и 32,41 %.

Таблица 2 – Результаты отработки параметров гидролиза на различных модельных растворах лактозы

Доза внесения, %	Температура гидролиза, °С	Продолжительность гидролиза, ч	рН гидролизованного раствора	Остаточное содержание лактозы, %	Степень гидролиза лактозы
Контрольный 5 % раствор лактозы					
	10	24	6,94	5,26	0
Ферментный препарат β-галактозидазы «Максилакт» 5000					
0,1	10	24	6,92	2,202	58,14
Ферментный препарат β-галактозидазы «ASTROLACT LX» 5000					
0,04	10	24	6,78	4,019	23,59
Контрольный 4 % раствор лактозы					
	10	24	6,93	3,78	0
Ферментный препарат β-галактозидазы «Максилакт» 5000					
0,04	10	24	6,92	2,258	40,26
0,04	8	24	7,02	2,328	38,41
Ферментный препарат β-галактозидазы «ASTROLACT LX» 5000					
0,04	10	24	6,84	2,555	32,41
0,1	10	24	6,87	1,873	50,45
0,04	8	24	6,87	2,730	27,78
	10	24	6,94	3,04	0
Ферментный препарат β-галактозидазы «ASTROLACT LX» 5000					
0,04	10	24	6,84	2,837	6,68

Источник данных: собственная разработка.

Совместно со специалистами ОАО «Молочный Мир» отработаны технологические параметры производства безлактозных сыров. Исходя из результатов проведенных исследований принято решение о корректировке параметров изготовления безлактозных сыров в производственных условиях посредством увеличения температуры созревания нормализованной молочной смеси с 8°С до 9–10°С.

На основании анализа всего объема проведенных исследований установлена модель зависимости количества гидролизованной лактозы от количества ферментного препарата β-галактозидазы «Максилакт», имеющего наибольшую эффективность при проведении гидролиза на модельных растворах с различными концентрациями лактозы. На рисунке 1 представлены модели процесса гидролиза лактозы для ферментного препарата «Максилакт» 5000 (время гидролиза – 24 ч).

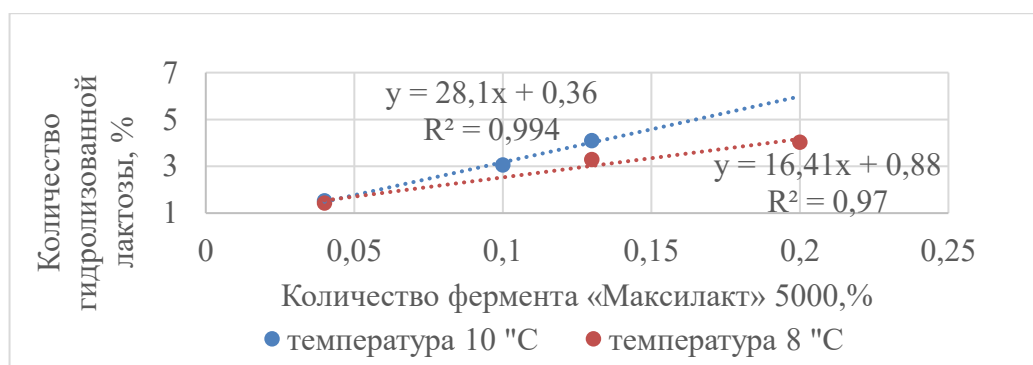


Рисунок 1 – Зависимость количества гидролизованной лактозы от количества ферментного препарата «Максилакт»

Источник данных: собственная разработка.

Из рисунка 1 видно, что полученные модели являются адекватными с коэффициентами детерминации: для модели при температуре гидролиза – 0,994, при температуре гидролиза 8°C – 0,97.

Исходя из полученных зависимостей, для осуществления полного гидролиза ферментируемого раствора с массовой долей лактозы 4,7 % (примерно такое количество лактозы обычно содержится в нормализованной молочной смеси для сыроделия) при температуре гидролиза 10°C потребуется достаточно большое количество ферментного препарата «Максилакт» 5000, равное 0,18 %. Следовательно, на следующих этапах работы имеется объективная необходимость снижения исходного количества лактозы в нормализованной молочной смеси.

Одним из способов концентрирования основных компонентов молочной смеси, за исключением лактозы и некоторых минеральных солей (фактически осуществляется нормализация молочной смеси по содержанию белка) является ультрафильтрация.

Обычно ультрафильтрацию молока применяют в сыроделии для повышения содержания белка. Получить сыр из молока, подвергнутого ультрафильтрационной обработке, можно тремя основными способами: нормализацией по белку; путем использования ретентата с промежуточной концентрацией; путем использования жидкого сырного полуфабриката. Для первого способа характерно концентрирование молока до степени концентрирования по белку в 1,5–2 раза, что позволяет производить сыры на обычном сыродельном оборудовании. Данный метод обеспечивает однородность молока по составу, поэтому его называют «нормализацией». Получение ретентатов со средней степенью концентрирования (в 2–6 раза) предполагает концентрирование молока до содержания сухих веществ 28,5–45 % (при необходимости большего повышения СВ можно проводить диафильтрацию). Применение такого ретентата требует использование специального оборудования, поскольку сгусток из него получается очень плотным и осуществлять резку и постановку зерна на традиционном сыродельном оборудовании достаточно сложно.

Технология работы с жидкими сырными полуфабрикатами не позволяет применять традиционное сыродельное оборудование, поскольку молоко подвергают ультрафильтрации до достижения состава, эквивалентного составу производимого сыра. Данный метод имеет наивысший потенциал увеличения выхода продукции благодаря минимальному отделению сыворотки и сохранению в сыре сывороточных белков, однако применимость данной технологии ограничена невозможностью достижения состава полуфабриката, соответствующего составу всех видов сыров [1, 7, 8]. При анализе результатов исследований, проведенных в рамках выполнения задания 4.7 «Разработать технологический регламент баромембранной подготовки смесей для сыроделия и внедрить его в производственную практику при изготовлении сыров» Государственной научно-технической программы «АГРОПРОМКОМПЛЕКС–2016–2020», подпрограмма «Агропромкомплекс – эффективность и качество» (№ госрегистрации 20164250), установлено, что при факторе концентрирования обезжиренного молока на лабораторной установке ультрафильтрации, равном 1,15, массовая доля лактозы снижалась примерно на 8 % (с 5,11 до 4,70 %).

На этапе выполнения работ на предприятии ОАО «Молочный Мир» с использованием баромембранного концентрирования методом ультрафильтрации получена нормализованная молочная смесь для сыроделия. Параметры баромембранного концентрирования: марка установки - GEA Filtration Unit, давление продукта на входе – 1,5 бар, скорость потока продукта – 29300 дм³/ч, скорость потока ретентата – 24000 дм³/ч, скорость отделения пермеата – 6700 дм³/ч, температура продукта – 6,5°C, давление в контуре – 4 бар, фактор концентрирования по белку – 1,32.

Основные физико-химические показатели молока-сырья перед концентрированием и нормализацией: массовая доля жира 3,5 %, массовая доля белка 3,27 %, массовая доля лактозы – 5,1 %; активная кислотность 6,65 ед. рН.

Основные физико-химические показатели нормализованной молочной смеси после концентрирования: массовая доля жира 3,20 %, массовая доля белка 4,33 %, в том числе казеина 3,65 %, активная кислотность 6,63 ед. рН, плотность 1031,4 кг/м³, массовая доля сухого вещества 13,0 %, массовая доля лактозы – 4,6 %. Указанная нормализованная молочная смесь подвергнута криоконсервации при температуре минус 45°C.

Часть смеси в количестве 1,5 кг дефростировали и подвергли процессу гидролиза. В результате анализа первой серии экспериментов для дальнейшей работы отобрано два ферментных препарата нейтральной лактазы: «ASTROLACT LX» компании Calza Clemente (Италия) и «Maxilact» компании DSM Food Specializaties. Температурный режим проведения гидролиза составил 10°C, доза внесения ферментных препаратов составила 0,36 г/600 г нормализованной молочной смеси. Для вариантов с использованием препарата «ASTROLACT LX» обеспечено непрерывное перемешивание реакционной среды в течение всего времени гидролиза, для вариантов с использованием препарата «Maxilact» перемешивание проводилось периодически. Результаты эксперимента представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты отработки параметров гидролиза различными препаратами β-галактозидазы

Доза внесения лактазы, %	Температура гидролиза, °C	Продолжительность гидролиза, ч	рН смеси в конце процесса	Остаточное содержание лактозы, %	Степень гидролиза лактозы, %
Контрольный образец нормализованной молочной смеси					
0	10	24	6,79	4,60	0,0
Ферментный препарат β-галактозидазы «Максиллакт» 5000					
0,06	10	6	6,75	1,259	72,6
0,06	10	24	6,67	0,245	94,7
Ферментный препарат β-галактозидазы «ASTROLACT LX» 5000					
0,06	10	17,75	6,59	0,0	100,0
0,06	10	24	6,54	0,0	100,0

Источник данных: собственная разработка.

При анализе результатов, представленных в таблице 3, установлено, что при одинаковых условиях постановки эксперимента эффективность гидролиза лактозы в нормализованной молочной смеси выше, чем в модельных растворах: в случае постоянного перемешивания ферментируемой смеси при температуре 10°C и продолжительности процесса 18 часов достигается степень гидролиза лактозы, равная 100 %.

В связи с вышеизложенным, во второй серии экспериментов предпринята попытка снизить количество используемого ферментного препарата, т.к. в настоящее время стоимость поставляемых из-за рубежа препаратов лактазы существенно повысилась и использование большого их количества приведет к существенному увеличению себестоимости готового продукта. Температурный режим проведения гидролиза составил 10°C, доза внесения ферментных препаратов «ASTROLACT LX» компании Calza Clemente (Италия) и «Maxilact» компании DSM Food Specializaties составила 0,28 см³/600 см³ дефростированной нормализованной молочной смеси. Для всех вариантов обеспечено непрерывное перемешивание реакционной среды в течение всего времени гидролиза. Определение остаточного количества лактозы проводили

ферментным методом по ГОСТ 34304. Результаты эксперимента представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Результаты отработки параметров гидролиза различными препаратами β -галактозидазы

Доза внесения лактазы, %	Температура гидролиза, °С	Продолжительность гидролиза, ч	рН смеси в конце процесса	Остаточное количество лактозы, %
Контрольный образец нормализованной молочной смеси				
0	10	20	6,69	н/опр
Ферментный препарат β -галактозидазы «Максилакт» 5000				
0,048	10	10	6,67	0,0098
0,048	10	15	6,65	0,0076
0,048	10	20	6,62	0,0073
Ферментный препарат β -галактозидазы «ASTROLACT LX» 5000				
0,048	10	10	6,58	0,0027
0,048	10	15	6,51	0,0020
0,048	10	20	6,48	0,0016

Источник данных: собственная разработка.

При анализе результатов, представленных в таблице 4, установлено, что в случае постоянного перемешивания ферментируемой смеси при температуре гидролиза 10°C и дозе внесения препарата лактазы с активностью 5000 NLU/г 0,048 % за 15 ч достигается степень гидролиза лактозы более 99,86 %.

С целью определения оптимальных технологических условий гидролиза нормализованной молочной смеси для получения сыров из-под пресса с массовой долей лактозы менее 0,01 % выполнены исследования процесса гидролиза ультрафильтрованной нормализованной молочной смеси для сыроделия. В качестве ферментного препарата использовали «ASTROLACT LX» компании Calza Clemente (Италия) при температуре процесса 7°C, одновременно предпринимая попытку снизить количество используемого фермента из-за значительного повышения стоимости зарубежных препаратов лактазы, что может привести к увеличению себестоимости готового продукта.

Для этого провели экспериментальную выработку в лаборатории технологий сыроделия и маслоделия РУП «Институт мясо-молочной промышленности». Исследовалась целесообразность и достаточность 5-часового гидролиза лактозы.

В ходе выработки получены следующие образцы сыра:

- сыр полутвердый – низко- или безлактозный, 5 часов гидролиза лактозы;
- сыр полутвердый – контроль.

Физико-химические показатели исходное молоко для выработки полутвердых сыров:

- массовая доля жира, % – 2,7;
- кислотность, °Т – 18;
- плотность при 20 °С (при 4±2°C), кг/м³ – 1029,3 (1032,0);
- степень чистоты по этал. группе – 1;
- массовая доля белка, % – 3,10.

На данном этапе работы гидролиз проводился при температуре 7–8°C и перемешивании со скоростью 10 об/мин в течение 5 часов. Выбор параметров гидролиза проведен на основании анализа результатов опытно-промышленных выработок безлактозных сыров на ОАО «Молочный Мир». Процесс контролировался определением исходной концентрации лактозы, по истечении 2,5 и 5 часов гидролиза.

Пастеризация проводилась при температуре $(73 \pm 1)^\circ\text{C}$, с последующим охлаждением до $(32 \pm 1)^\circ\text{C}$. Внесли 34 % раствор хлористого кальция в количестве 0,08 % от объема смеси.

В состав закваски входили лактококки разных видов и термофильный стрептококк, по истечении 30 мин сравнили pH с исходным (контроль работы закваски): исходный – 6,54 для гидролизованной смеси (6,38 для контрольной смеси), через 30 мин – 6,52 для гидролизованной смеси (6,34 для контрольной смеси), следовательно $\Delta\text{pH}=0,02$ ед. pH для гидролизованной смеси, $\Delta\text{pH}=0,04$ ед. pH для контрольной смеси.

Следующий этап – внесение сычужного фермента, перемешивание, свертывание смеси в течение 30 мин. Окончание свертывания смеси определяли по излому сгустка, затем проводили резку и постановку зерна. Удаляли сыворотку до 35 % от объема, добавляли пастеризованную воду до 10 %. Второе нагревание проводили при температуре $(37 \pm 1)^\circ\text{C}$.

После обсушки и формования проводили прессование сырного зерна.

Посолку осуществляли в рассоле 20 % хлорида натрия.

Результаты исследования степени гидролиза лактозы на разных технологических этапах приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Результаты исследования степени гидролиза лактозы на разных технологически стадиях

№ образца	Описание	Показатель, ед. изм.	Метод исследования	Результаты испытаний
1	Нормализованная молочная смесь для сыроделия. Экспериментальный образец. контроль	Лактоза, г/100 г	ГОСТ 34516	5,21
2	Нормализованная гидролизованная молочная смесь для сыроделия. Экспериментальный образец. 2,5 часа гидролиза		ГОСТ 34304	0,029
3	Нормализованная гидролизованная молочная смесь для сыроделия. Экспериментальный образец. 5 часов гидролиза			0,019
5	Сырное зерно после первого отката сыворотки. Экспериментальный образец			0,010
6	Сырное зерно после обработки. Экспериментальный образец			0,006

Источник данных: собственная разработка.

Из результатов, представленных в таблице 5, следует, что продолжительность гидролиза в течение 5 часов не обеспечивает в гидролизованной молочной смеси массовую долю лактозы менее 0,01 %, но в то же время в процессе обработки сырное зерно содержит менее 0,01 % лактозы.

Выводы. Повышение температуры с 8°C до 10°C значительно увеличивает степень гидролиза лактозы, достигая практически 100 % за 48 часов.

Установлено, что увеличение дозы фермента не приводит к пропорциональному увеличению степени гидролиза, что может быть связано с неравномерным перемешиванием реакционной смеси. При постоянном перемешивании степень гидролиза увеличивается значительно меньше (на 1,85 % – 4,63 %) по сравнению с периодическим перемешиванием.

В результате экспериментов были отобраны два препарата нейтральной лактазы – «ASTROLACT LX» и «Maxilact».

Исследования по гидролизу ультрафильтрованной нормализованной молочной смеси показали, что при температуре 7°C и использовании препарата «ASTROLACT LX» продолжительность гидролиза в 5 часов не обеспечивает необходимую массовую

долю лактозы менее 0,01 %. Однако после обработки сырное зерно содержит менее 0,01 % лактозы, что указывает на возможность получения желаемого результата при оптимизации времени и условий процесса.

В связи с высокой стоимостью зарубежных препаратов лактазы важно найти способы уменьшения их использования без ущерба для качества конечного продукта. Это также является ключевым фактором для снижения себестоимости сыров. Таким образом, результаты исследования подчеркивают необходимость комплексного подхода к оптимизации процесса гидролиза лактозы, учитывающего температурные режимы, дозировки ферментов и режимы перемешивания, чтобы достичь эффективных результатов.

Список использованных источников

1. Березин, Й. В. Основы физической химии ферментативного катализа / Й. В. Березин, К. Мартинек. – М. : Высшая школа, 1977. – 279 с.
1. Березин, Й. В. Основы физической химии ферментативного катализа [Fundamentals of physical chemistry of enzymatic catalysis] / Й. В. Березин, К. Мартинек. – М. : Высшая школа, 1977. – 279 с.
2. Свириденко, Ю. Я. Гидролиз лактозы: опыт и возможности использования в России / Ю. Я. Свириденко, В. Ю. Смурыгин // Молочная промышленность. – 1996. – № 8. – С. 19–20.
2. Sviridenko, YU. YA. Gidroliz laktozy: opyt i vozmozhnosti ispol'zovaniya v Rossii [Lactose hydrolysis: experience and potential for use in Russia] / YU. YA. Sviridenko, V. YU. Smurygin // Molochnaya promyshlennost'. – 1996. – № 8. – S. 19–20.
3. Корниш-Боуден, Э. Основы ферментативной кинетики / Э. Корниш-Боуден. – М. : 1979. – С. 81.
3. Korniš-Bouden, É. Osnovy fermentativnoj kinetiki [Fundamentals of Enzymatic Kinetics] / É. Korniš-Bouden. – М. : 1979. – S. 81.
4. Курганов, Б. И. Аллостерические ферменты / Б. И. Курганов. – М. : Наука, 1978. – 248 с.
4. Kurganov, B. I. Allostericheskiye fermenty [Allosteric enzymes] / B. I. Kurganov. – М. : Nauka, 1978. – 248 s.
5. Лайдсаар, Р. Б. Поиск способов стабилизации ферментов с целью повышения эффективности технологических биоорганических катализаторов (на примере дрожжевой бета-галактозидазы) : дис. ... канд. биол. наук : 03.00.04 / Лайдсаар Рейне Бадриковна. – Таллин, 1984. – 141 л.
5. Laydsaar, R. B. Poisk sposobov stabilizatsii fermentov s tsel'yu povysheniya effektivnosti tekhnologicheskikh bioorganicheskikh katalizatorov (na primere drozhzhevoy beta-galaktozidazy) [Search for methods of enzyme stabilization in order to increase the efficiency of technological bioorganic catalysts (using yeast beta-galactosidase as an example)] : dis. ... kand. biol. nauk : 03.00.04 / Laydsaar Reyne Badrikovna. – Tallin, 1984. – 141 l.
6. Mitchell, I. R. Uses for lactose-hydrolysed dairy products / I. R. Mitchell // CSIRO Food. – 1991. – Res. 51. – P. 107–113.
7. Арсеньева, Т. П. К чему приводит лактазная недостаточность / Т. П. Арсеньева // Молочная промышленность. – 2010. – № 7 – С. 28–30.
7. Arsen'yeva, T. P. K chemu privodit laktaznaya nedostatochnost' [What does lactose intolerance lead to] / T. P. Arsen'yeva // Molochnaya promyshlennost'. – 2010. – № 7 – S. 28–30.
8. Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology / ed.: Patrick F. Fox [et al.]. – Elsevier Academic Press, 2004. – P. 361.
9. Богданова, Л. Л. Влияние гидролиза лактозы на заквасочную микрофлору в процессе изготовления сыров / Л. Л. Богданова, В. В. Ковалева, Ю. В. Бондаренко // Актуальные вопросы переработки мясного и молочного сырья: сб. науч. тр. / РУП «Институт мясомолочной промышленности»; редкол.: Г.В. Гусаков (гл. ред.) [и др.]. – Мн., 2024. – Вып. № 18. – С. 150–157.
9. Bogdanova, L. L. Vliyaniye gidroliza laktozy na zakvasochnuyu mikrofloru v protsesse izgotovleniya syrov [The influence of lactose hydrolysis on starter microflora during cheese production] / L. L. Bogdanova, V. V. Kovaleva, YU. V. Bondarenko // Aktual'nyye voprosy pererabotki myasnogo i molochnogo syr'ya: sb. nauch. tr. / RUP «Institut myaso-molochnoy promyshlennosti»; redkol.: G.V. Gusakov (gl. red.) [i dr.]. – Mn., 2024. – Vyp. № 18. – S. 150–157.