

УДК 637.146

Н.Б. Гаврилова, Д.С. Рябкова

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ГИДРОЛИЗА ЛАКТОЗЫ ОБЕЗЖИРЕННОГО МОЛОКА-СЫРЬЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СЫРНОГО ПРОДУКТА

В статье приведены результаты исследований процесса гидролиза лактозы в обезжиренном молоке-сырье, используемом при производстве сырного продукта.

Лактоза, гидролиз, обезжиренное молоко, фермент.

### Введение

Низколактозные молочные продукты – это такие продукты молочного происхождения, у которых в результате физического, химического или микробиологического воздействия лактоза – основной углевод молока уменьшен в количественном соотношении, полностью удален или замещен на другой углевод [1, 4].

В настоящее время в науке и промышленности известно достаточное количество методов, позволяющих снижать или удалять лактозу из молочной среды.

Во многих странах для людей, страдающих непереносимостью лактозы, разрабатывают специальные низколактозные и безлактозные смеси. Это достигается различными способами: сбраживанием лактозы молока молочнокислыми бактериями, использованием ферментативного гидролиза, смешиванием различных компонентов с выделенным ультрафильтрацией молока молочным белком [2].

Ферментативный гидролиз лактозы осуществляется при помощи растворимых и иммобилизованных  $\beta$ -галактозидаз различной природы. Практически все промышленные ферменты лактазы продуцируются дрожжами рода *Kluyveromyces* или плесеньями рода *Aspergillus*. Основные отличия их заключаются в физико-химических и каталитических свойствах. Препараты  $\beta$ -галактозидаз дрожжевого происхождения имеют более высокую термостабильность и температурные оптимумы (60–65 °С), в отличие от  $\beta$ -галактозидаз грибкового происхождения (30–35 °С), они и более устойчивы к изменениям активной кислотности среды, чем дрожжевые, – 6,0–7,2. Недостатком  $\beta$ -галактозидаз грибкового происхождения является наличие примесей активных протеиназ, необходимость тщательной очистки от афлотоксинов и аллергенов. Последние недостатки в меньшей степени относятся к  $\beta$ -галактозидазам дрожжей. Обычно в молочной промышленности для гидролиза лактозы в молоке и сладкой сыворотке применяют нейтральную  $\beta$ -галактозидазу преимущественно из дрожжей вида *Kluyveromyces lactis* и *Saccharomyces lactis*, а для гидролиза лактозы в кислых средах применяют  $\beta$ -галактозидазу из грибов вида *Aspergillus niger* и *Aspergillus oryzae* [3].

На кафедре технологии молока и молочных продуктов ФГБОУ ВПО «ОмГАУ» ведутся исследования по разработке различных низколактозных молочных продуктов, при этом используются ферменты, такие как  $\beta$ -галактозидаза и *maxilact* и др.

Целью работы является проведение исследований и определение условий процесса гидролиза лактозы

в обезжиренном молоке-сырье, предназначенном для производства сырного продукта с минимизированным количеством углеводов.

### Объекты и методы исследований

Исследование процесса гидролиза лактозы проводилось с использованием фермента Na-Lactase – нейтрального препарата  $\beta$ -галактозидазы (лактазы), произведенного путем ферментации отобранного штамма дрожжей *Kluyveromyces fragilis*, выращенного на растительном субстрате. Na-Lactase гидролизует лактозу в смесь глюкозы и галактозы при следующих параметрах: активная кислотность 6–7 ед., температура 10–50 °С, активность 2850 NLU/л. В качестве основного объекта исследования использовалось обезжиренное молоко с массовой долей жира 0,05 %. Применение обезжиренного молока в качестве молочной основы нового сырного продукта обусловлено наличием в нем комплекса биологически активных веществ при небольшой энергетической ценности. Физико-химические показатели обезжиренного молока представлены в табл. 1.

Таблица 1

Физико-химические показатели обезжиренного молока

Объект исследования	Физико-химические показатели					
	Кислотность		Массовая доля, %			Плотность, г/см <sup>3</sup>
	титруемая, °Т	активная, ед. рН	белка	лактозы	жира	
Обезжиренное молоко	16–18	6,5	3,0	4,6	0,05	1,0325

Форма постановки эксперимента носила классический характер. Поскольку действие фермента зависит от ряда факторов, то проведено три серии эксперимента.

Серия I – изучена зависимость степени гидролиза лактозы от концентрации фермента (%) и температуры процесса гидролиза (°С): эксперимент проводился в интервале температур от 10 до 50 °С, в течение 4 ч, при постоянном значении активной кислотности (6,60±0,05) ед. рН

Серия II – исследована зависимость степени гидролиза лактозы от концентрации фермента (%) и продолжительности процесса (ч). Для определения влияния продолжительности процесса на степень гидролиза лактозы в пастеризованное и охлажденное до температуры (37±1) °С молоко вносился ферментный препарат с дозировкой от 0,02 до 0,10%.

Серия III – определялась зависимость степени гидролиза лактозы от концентрации фермента (%) и ак-

тивной кислотности (ед. pH). Для изучения влияния активной кислотности на процесс гидролиза лактозы ферментом готовились образцы обезжиренного молока с показателями кислотности от 5,5 до 8,0 ед. pH. Для этого в молоко вносился 4N раствор KOH. В полученные образцы после пастеризации и охлаждения до температуры 37 °С вводился ферментный препарат в количестве 0,02–0,10 %.

Массовую долю лактозы определяли йодометрическим методом по ГОСТ 29248–91, степень гидролиза – расчетным путем.

### Результаты и их обсуждение

Основной задачей данного этапа экспериментальных исследований является достижение степени гидролиза лактозы в обезжиренном молоке не менее 50%.

Серия I – количество вносимого фермента Na-Lactase варьировалось: опыт 1 – 0,02 %; опыт 2 – 0,04 %; опыт 3 – 0,06 %; опыт 4 – 0,08 %; опыт 5 – 0,10 %. Полученные результаты представлены на рис. 1.

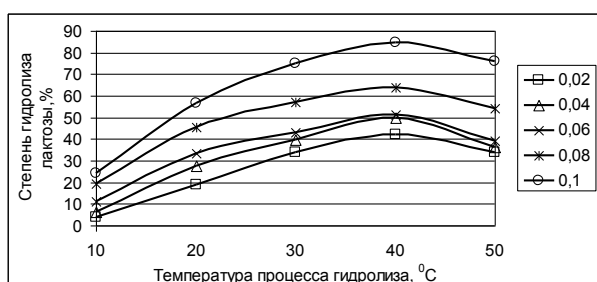


Рис. 1. Зависимость степени гидролиза лактозы в обезжиренном молоке от температуры и концентрации фермента

Анализ экспериментальных данных, представленных на рис. 1, демонстрирует, что с увеличением температуры с 10 до 40 °С степень гидролиза лактозы возрастает и заметно снижается с дальнейшим ее повышением до 50 °С. Результаты исследований свидетельствуют о том, что оптимальным температурным режимом для гидролиза лактозы в обезжиренном молоке является интервал температур 37–38 °С.

Уравнения регрессии (табл. 2) в виде полинома II степени с высоким уровнем адекватно отражают зависимость степени гидролиза лактозы от температуры процесса и концентрации фермента.

Таблица 2

Регрессионный анализ зависимости гидролиза лактозы в обезжиренном молоке от температуры и концентрации фермента

Концентрация фермента	Уравнения регрессии	Величина достоверности аппроксимации (R <sup>2</sup> )
0,1	$y = -6,5364x^2 + 52,38x - 21,872$	R <sup>2</sup> = 0,9979
0,08	$y = -5,4836x^2 + 41,716x - 16,964$	R <sup>2</sup> = 0,9936
0,06	$y = -4,8536x^2 + 36,316x - 20,38$	R <sup>2</sup> = 0,9907
0,04	$y = -5,1221x^2 + 38,936x - 28,504$	R <sup>2</sup> = 0,9688
0,02	$y = -3,8257x^2 + 31,268x - 25,272$	R <sup>2</sup> = 0,9671

Серия II – процесс гидролиза проводился при постоянном значении параметров: температура (37±1) °С, активная кислотность (6,60±0,05) ед. pH. Результаты, полученные в ходе эксперимента, представлены на рис. 2.

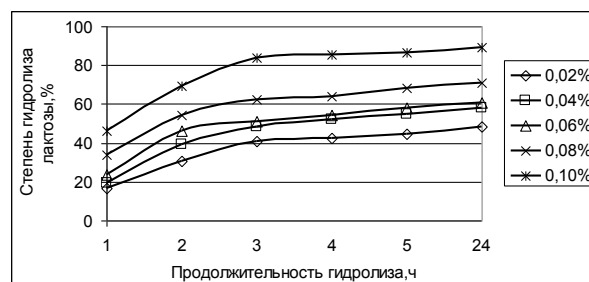


Рис. 2. Зависимость степени гидролиза лактозы в обезжиренном молоке от продолжительности процесса и концентрации фермента

Уравнения регрессии, характеризующие достоверность полученных данных, приведены в табл. 3.

Таблица 3

Регрессионный анализ зависимости гидролиза лактозы в обезжиренном молоке от продолжительности процесса и концентрации фермента

Концентрация фермента	Уравнения регрессии	Величина достоверности аппроксимации (R <sup>2</sup> )
0,1	$y = -2,7862x^2 + 27,126x + 23,993$	R <sup>2</sup> = 0,9649
0,08	$y = -1,8196x^2 + 19,246x + 19,164$	R <sup>2</sup> = 0,9541
0,06	$y = -1,8311x^2 + 19,248x + 9,472$	R <sup>2</sup> = 0,9359
0,04	$y = -1,9495x^2 + 20,61x + 2,707$	R <sup>2</sup> = 0,9718
0,02	$y = -1,4673x^2 + 15,994x + 3,549$	R <sup>2</sup> = 0,9719

Анализируя изменение степени гидролиза лактозы в обезжиренном молоке в зависимости от продолжительности процесса и количества вносимого фермента, следует отметить, что интенсивность получения одного и того же показателя степени гидролиза лактозы в обезжиренном молоке выше в образцах, где концентрация фермента больше. То есть, регулируя продолжительность процесса и концентрацию фермента, можно обеспечить необходимую степень гидролиза лактозы, что играет важную роль при снижении себестоимости продукта.

Серия III – процесс гидролиза осуществлялся при постоянном значении параметров: температура (37±1) °С, продолжительность 3 ч.

Результаты исследований степени гидролиза лактозы в обезжиренном молоке в зависимости от активной кислотности среды и при различной концентрации фермента представлены на рис. 3.

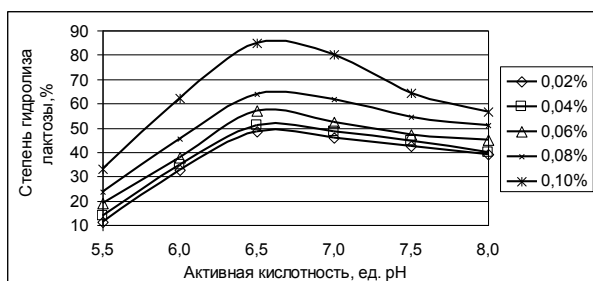


Рис. 3 Зависимость степени гидролиза лактозы в обезжиренном молоке от активной кислотности и концентрации фермента

Уравнения регрессии на высоком уровне адекватно описывают экспериментальные данные, что позволяет прогнозировать процесс гидролиза лактозы как внутри экспериментального поля, так и вне его.

Таким образом, на основании экспериментальных исследований и анализа полученных результатов установлены параметры процесса гидролиза лактозы обезжиренного молока-сырья в количестве не менее 50 % от ее первоначального содержания:

– концентрация фермента Na-Lactase 0,04 %;

– температура процесса гидролиза  $(37 \pm 1)$  °С;  
– продолжительность процесса гидролиза лактозы  $(3,0 \pm 0,5)$  ч.

Таблица 4

Регрессионный анализ зависимости гидролиза лактозы в обезжиренном молоке от активной кислотности и концентрации фермента

Концентрация фермента	Уравнения регрессии	Величина достоверности аппроксимации ( $R^2$ )
0,1	$y = -6,0332x^2 + 45,652x - 4,76$	$R^2 = 0,9147$
0,08	$y = -4,0673x^2 + 33,083x - 4,047$	$R^2 = 0,9359$
0,06	$y = 3,6125x^2 + 29,639x - 5,84$	$R^2 = 0,9092$
0,04	$y = -3,7118x^2 + 30,507x - 11,614$	$R^2 = 0,9502$
0,02	$y = -3,5907x^2 + 29,93x - 13,644$	$R^2 = 0,9473$

#### Список литературы

1. Гаврилова, Н.Б. Низколактозный кисломолочный напиток / Н.Б. Гаврилова, С.В. Мяло // Молочная промышленность. – 2005. – № 12. – С. 44.
2. Ефименко, А.В. Современные тенденции и развитие рынка молока и молочных продукции / А.В. Ефименко // Техника и технология пищевых производств. – 2011. – № 1. – С. 127–132.
3. Свириденко, Ю.Я. Продукты на основе ферментативного гидролиза лактозы и белков молочной сыворотки / Ю.Я. Свириденко // Переработка молока. – 2007. – № 1. – С. 56–57.
4. Бессонова, О.В. Исследование и разработка технологии низколактозного творожного продукта для детей школьного возраста: автореф. дис. ... канд. техн. наук / О.В. Бессонова. – Кемерово, 2009. – 20 с.

ФГБОУ ВПО «Омский государственный аграрный университет»,  
644008, Россия, г. Омск, Институтская пл., 2.  
Тел./факс: (3812) 65-11-46  
e-mail: adm@omgau.ru

#### SUMMARY

**N.B. Gavrilova, D.S. Ryabkova**

#### LACTOSE HYDROLYSIS OF SKIM MILK AS A RAW MATERIAL FOR CHEESE PRODUCT MANUFACTURE

The results of researches on lactose hydrolysis in skim milk used as a raw material for cheese product manufacture are given in the article.

Lactose, hydrolysis, skim milk, enzyme.

Omsk state agrarian university,  
644008, Russian Federation, Omsk city, Institutskaya sq.2.  
Tel./fax:(3812) 65-11-46  
e-mail: adm@omgau.ru

