



Научная статья
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)
УДК 573.6.086.83

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.03.022

 EDN: UORPYV

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ОЦЕНКИ ДЕЙСТВИЯ β -ГАЛАКТАЗИДАЗЫ НА ГИДРОЛИЗ ЛАКТОЗЫ В МОЛОКЕ

Медведев Александр Александрович¹, Пелеганчук Юрий Алексеевич²,
Оксана Владимировна Кольтюгина³, Юлия Геннадьевна Стурова⁴,
Татьяна Александровна Стопорева⁵

^{1,2,3,4,5} Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, Барнаул, Россия

¹ doctoralex661.com@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-6064-9096>

² peleganchuk2702@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7018-1271>

³ oksana2310@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6747-4049>

⁴ y_sturova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4492-6628>

⁵ orpd_sta@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4987-9509>

Аннотация. Продукты из молока играют важную роль в жизнедеятельности человека, но у некоторых категорий населения возникают проблемы переваривания лактозы в желудочно-кишечном тракте, так как их организм не вырабатывает фермент β -галактозидазу, который отвечает за гидролиз лактозы. В этом случае они вынуждены исключить из своего рациона молочные продукты, которые обладают высокой пищевой и биологической ценностью. Разработка и исследование технологии получения низколактозного молока с использованием фермента β -галактозидазы позволяет расширить ассортимент безлактозных и низколактозных молочных продуктов. Целью данной работы было определить оптимальное соотношение вносимого фермента и температурных условий, при которых фермент осуществляет гидролиз. Фермент вносился в количестве от 0,2 % до 2 %, действие фермента происходило в температурных условиях от 6 ± 2 °C до 38 ± 2 °C. При оценке полученных показателей принималось во внимание процентное значение оставшейся лактозы. Также для обоснования выводов, полученных в ходе исследования, проведена математическая и статистическая обработка результатов, построена математическая модель. Согласно анализу математической модели, были оценены оптимальные значения факторов.

Ключевые слова: лактоза, низколактозное молоко, лактаза, йодометрический метод, математическая обработка, β -галактазидаза, математическая модель.

Для цитирования: Математическая обработка результатов оценки действия β -галактозидазы на гидролиз лактозы в молоке / А. А. Медведев [и др.] // Ползуновский вестник. 2023. № 3. С. 163–169. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.03.022. EDN: <https://elibrary.ru/UORPYV>.

Original article

MATHEMATICAL PROCESSING OF RESULTS EVALUATION OF ACTION OF β -GALACTAZIDASE ON HYDROLYSIS OF LACTOSE IN MILK

Alexander A. Medvedev¹, Yuri A. Peleganchuk², Oksana V. Koltyugina³,
Yulia G. Sturova⁴, Tatiana A. Stoporeva⁵

^{1,2,3,4,5} Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russia

¹ doctoralex661.com@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-6064-9096>

² peleganchuk2702@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7018-1271>

© Медведев А. А., Пелеганчук Ю. А., Кольтюгина О. В., Стурова Ю. Г., Стопорева Т. А., 2023

³ oksana2310@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6747-4049>

⁴ y_sturova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4492-6628>

⁵ orpd_sta@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4987-9509>

Abstract. *Milk products play an important role in human life, but some categories of the population have problems digesting lactose in the gastrointestinal tract, since their body does not produce the enzyme β -galactosidase, which is responsible for the hydrolysis of lactose. In this case, they are forced to exclude dairy products from their diet, which have high nutritional and biological value. The development and research of technology for producing low-lactose milk using the enzyme β -galactosidase allows expanding the range of lactose-free and low-lactose dairy products. The purpose of this work was to determine the optimal ratio of the introduced enzyme and the temperature conditions under which the enzyme performs hydrolysis. The enzyme was introduced in an amount from 0.2% to 2 %, the action of the enzyme occurred in temperature conditions from $6 \pm 2^\circ\text{C}$ to $38 \pm 2^\circ\text{C}$. When evaluating the obtained indicators, the percentage value of the remaining lactose was taken into account. Also, to substantiate the conclusions obtained during the study, mathematical and statistical processing of the results was carried out, a mathematical model was built. According to the analysis of the mathematical model, the optimal values of the factors were estimated.*

Keywords: *lactose determination, low-lactose milk, lactase, iodometric method of lactose determination, mathematical processing, β -galactosidase, mathematical model.*

For citation: Medvedev, A. A., Peleganchuk, Yu. A., Koltyugina, O. V., Sturova, Yu. G. & Stoporeva, T. A. (2023). Mathematical processing of results evaluation of action of β -galactosidase on hydrolysis of lactose in milk. *Polzunovskiy vestnik*, (3), 163-169. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.03.022. <https://elibrary.ru/UORPYV>.

ВЕДЕНИЕ

В настоящее время возрастает число людей, которые из-за особенностей организма не могут употреблять молоко и молочные продукты в пищу из-за лактазной недостаточности или непереносимости лактозы, такие люди страдают непереносимостью лактозы. Непереносимость лактозы может быть врожденной, связанной с генетической предрасположенностью организма или приобретенной в результате влияния различных факторов [1, 2]. У жителей некоторых стран (Мексика, Вьетнам, Уганда, Кипр) утрата лактазной активности отмечается у подавляющего числа людей, причем в довольно раннем периоде жизни. В Таиланде 98 % населения не усваивают молочный сахар.

При недостаточности фермента лактазы гидролиз молочного сахара нарушается, что приводит к непереносимости молока. Непереносимость обусловлена тем, что лактоза не всасывается, и в таком случае ее начинают использовать кишечные бактерии. В результате этого образуются молочная, уксусная и другие органические кислоты, а также газы. Эти побочные продукты раздражают слизистую кишечника и задерживают всасывание воды, что и является причиной возникновения диареи или кишечной диспепсии. При старении организма, как правило, непереносимость молока, как и ряда других продуктов, возрастает, так как с возрастом снижается активность ферментов [1–3].

Для того чтобы не убирать из рациона человека молочные продукты, обладающие высокой пищевой и биологической ценностью, необходимо удалить лактозу из молока (получится безлактозное молоко с содержанием лактозы не более 0,1 г на 1 л готовой продукции) либо ее гидролизовать (низколактозное с содержанием лактозы – более 0,1 г на литр). Получение безлактозного и низколактозного молока возможно с использованием следующих технологических способов: удаление лактозы с помощью фильтрации, при внесении в молоко фермента β -галактозидазы и с помощью заквашивания молока закваской [4].

Суть первого способа состоит в следующем: сначала проводят гидролиз лактозы, затем гидролизованное молоко подвергают двухступенчатой нанофильтрации с целью отделения белка в ретентат первой нанофильтрации, а сахаров и минеральных веществ – в пермеат. Далее проводят вторую нанофильтрацию пермеата первой нанофильтрации для отделения сахаров в ретентат второй нанофильтрации, а минеральных веществ в пермеат второй нанофильтрации. В результате получают безлактозный или низколактозный молочный продукт с желаемой композицией, содержащий ретентат первой нанофильтрации, полученный на стадии 2, и пермеат второй нанофильтрации, полученный на стадии 3 [5–7].

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ОЦЕНКИ ДЕЙСТВИЯ β -ГАЛАКТАЗИДАЗЫ НА ГИДРОЛИЗ ЛАКТОЗЫ В МОЛОКЕ

Второй способ состоит в том, что в нормализованное, гомогенизированное молоко вносят фермент, гидролизующий лактозу, и выдерживают смесь при температуре от 2 °С до 62 °С в течение 24 часов [5–7].

Третий способ подразумевает использование микроорганизмов, что в результате дает продукт, который уже нельзя назвать молоком.

В настоящее время в России есть несколько крупных производителей безлактозного молока. К ним относятся: Останкинский молочный комбинат, компания «Братья Чебурашкины», молочный комбинат «Ставропольский», ООО «Фирма «Лактовит» в Иркутске, Parmalat в Белгородской области и ГК «Лосево» в Ленинградской области [9].

На сегодняшний день производство безлактозного и низколактозного молока является перспективной задачей в производстве молочных продуктов.

Целью работы было проведение исследований по влиянию различных температурных режимов на активность лактазы, под влиянием которой идет ферментативный гидролиз лактозы в молоке.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- определение содержания лактозы в исследуемых образцах с разной массовой долей внесения β -галактазидазы и выдержкой этих образцов при различных температурных режимах;
- проведение статистической обработки полученных результатов, получение корреляционных зависимостей;
- определение оптимальной дозы β -галактазидазы и температуры выдержки образцов с помощью построения математической модели двухфакторного эксперимента.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Показатели кислотности определялись согласно методике, описанной в ГОСТ Р 54669-2011 «Молоко и продукты переработки молока. Методы определения кислотности».

Показатели массовой доли жира опре-

делялись согласно методике, описанной в ГОСТ 5867-90 «Молоко и молочные продукты. Методы определения жира».

Показатели массовой доли сухого обезжиренного молочного остатка определялись согласно методике, описанной в ГОСТ Р 54761-2011 «Молоко и молочная продукция. Методы определения массовой доли сухого обезжиренного молочного остатка».

Показатели массовой доли белка определялись согласно методике, описанной в ГОСТ 25179-2014 «Молоко и молочные продукты. Методы определения массовой доли белка».

Показатели массовой доли лактозы определялись согласно ГОСТ Р 54667-2011 «Молоко и продукты переработки молока. Методы определения массовой доли сахаров».

Для обоснования полученных результатов физико-химической оценки проведена математическая обработка данных экспериментальных данных, получены корреляционные зависимости и построена математическая модель.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Для исследований использовалось молоко с физико-химическими показателями, представленными в таблице 1.

Таблица 1 – Физико-химические показатели молока

Table 1 – Physico-chemical parameters of the milk

Сырье	Кислотность, °Т	Активная кислотность, рН	Массовая доля жира, %	Массовая доля лактозы, %	Массовая доля белка, %
Молоко	18	6,3	2,23	4,6	2,75

Затем в подготовленное молоко вносили разные дозы β -галактазидазы и выдерживали при разных температурных режимах. Температура выдержки образцов и количество вносимого фермента представлены в таблице 2. По истечении 24 часов после внесения фермента в исследуемых образцах определялось остаточное количество лактозы.

Таблица 2 – Состав и температурные условия хранения исследуемых образцов

Table 2 – Composition and temperature storage conditions of the studied samples

Наименование образца	Температура выдержки образцов, °С	Доза вносимого фермента β -галактазидазы, ω_f , %	Массовая доля лактозы, ω_l , %
Образец 1	38±2	0,2	0,44±0,01
Образец 2	18±2	0,2	1,56±0,02
Образец 3	6±2	0,2	2,62±0,02
Образец 4	38±2	0,5	0,18±0,02
Образец 5	18±2	0,5	1,04±0,01
Образец 6	6±2	0,5	2,09±0,01
Образец 7	38±2	2,0	0,09±0,01
Образец 8	18±2	2,0	0,87±0,01
Образец 9	6±2	2,0	1,62±0,22
Контроль	при различных температурах исследования	0	4,6±0,1

Исходя из результатов, полученных в ходе исследования показателей массовой доли лактозы после внесения β -галактазидазы, можно составить следующие выводы: лучшие результаты гидролиза лактозы были получены у образцов № 1, № 4 и № 7, которые выдерживались при температуре (38 ± 2) °С, эта температура наиболее благоприятно влияет на наибольшую ферментативную активность. Худшее действие фермента наблюдалось в образцах № 3, № 6 и № 9, выдержка которых осуществлялась при температуре (6 ± 2) °С, вследствие того, что при низких температурах скорость ферментативной реакции замедляется. Образцы № 2, № 5 и № 8, хранившиеся при температуре (18 ± 2) °С, показали средние результаты. Также наблюдается зависимость между концентрацией добавленного фермента и количеством оставшейся лактозы во всех образцах.

Все образцы, подвергавшиеся выдержке при температуре (38 ± 2) °С, и образец № 8, хранящийся при температуре (18 ± 2) °С, можно отнести к низколактозным, так как массовая доля лактозы в нем не превышает 1 %.

ОБСУЖДЕНИЕ

С целью оценки достоверности, взаимосвязи, а также прогнозирования были применены математические методы анализа полученных результатов.

Изначально были определены статистические характеристики экспериментальных

данных. Для определения грубых ошибок измерений провели проверку нулевой гипотезы. Рассчитаны коэффициенты Стьюдента (t_p) и найден табличный коэффициент Стьюдента (t_r) для вероятности – 0,99 % и количеству степеней свободы равному количеству повторных опытов минус 1, $t_r = 9,92$.

Расчетный коэффициент Стьюдента найден по формуле:

$$t_{расч} = \frac{y_{max} - \bar{y}_{cp}}{\sigma}$$

В результате расчетов $t_p = 0...1$, это означает, что $t_p < t_r$ грубых ошибок в эксперименте нет.

Установим математическую и графическую зависимость содержания лактозы в коровьем молоке от количества внесения фермента β -галактазидазы при определённой температуре молока в момент действия фермента.

Графическое представление данных эксперимента на рисунке 1 показывает, что зависимость между внесением фермента при фиксировании температуры молока-сырья от 6 до 38 °С и содержанием лактозы полиномиальная второй степени. Построение графика, получение уравнения регрессии и оценка точности аппроксимации выполнена в пакете EXCEL.

На рисунке 1 можно увидеть, что коэффициенты детерминации находятся в пределах $0,75 \leq R^2 \leq 0,95$, это означает, что все уравнения в целом адекватно описывают ферментативный процесс при различных температурах выдержки молока.

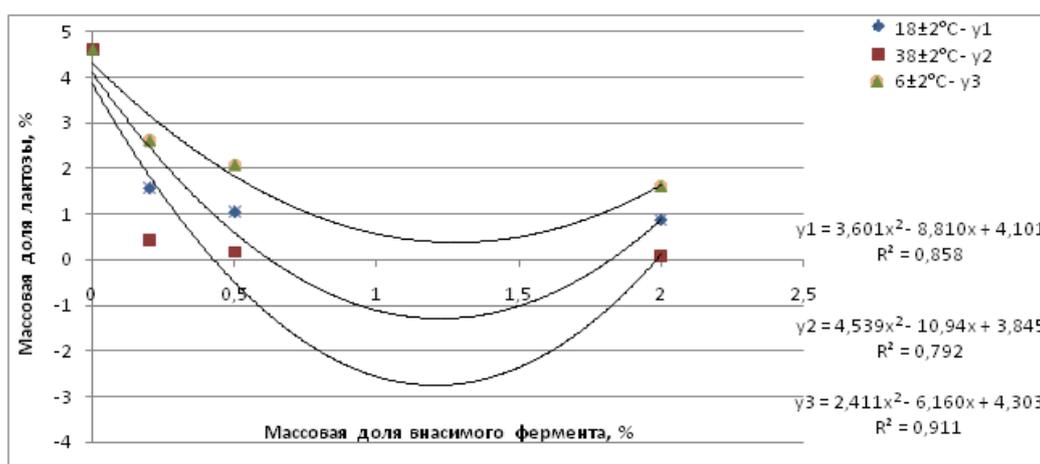


Рисунок 1 – Влияние внесения фермента β -галактазидазы на содержание лактозы при разных температурах выдержки молока

Figure 1 – The effect of the introduction of lactose on the lactose content at different temperatures of milk aging

Провели математическое описание процесса влияния фермента и температуры на

содержание лактозы методом планирования эксперимента ПФЭ 2^2 .

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ОЦЕНКИ ДЕЙСТВИЯ β -ГАЛАКТАЗИДАЗЫ НА ГИДРОЛИЗ ЛАКТОЗЫ В МОЛОКЕ

В эксперименте было выбрано два входных фактора: X_1 – доза внесения β -галактазидазы (0–2 %), X_2 – температура молока (6–38 °С).

Исследуемый процесс оценивали по содержанию лактозы (Y – выходной параметр).

Так как от количества внесения β -галактазидазы и температуры выдержки молока зависит концентрация лактозы, необходимо найти сочетание факторов, при котором мы получим минимальное количество лактозы в молоке. Был построен план эксперимента и сведен в таблицу 3.

По плану ПФЭ 2^2 количество коэффициентов в уравнении должно быть равно четырем, рассчитанные коэффициенты внесем в таблицу 3.

Было получено следующее уравнение:

$$y = 2,025 - 0,825 X_1 - 1,045 X_2 + 0,705 X_1 X_2.$$

Анализ уравнения позволяет сделать следующие выводы: повышение внесения β -галактазидазы и повышение температуры выдержки молока приводит к снижению лактозы в молоке, о чем свидетельствует минус перед этими коэффициентами. Наиболее существенное влияние на этот процесс оказывает температура выдержки молока, так как значение коэффициента фактора X_2 немного выше X_1 . Однако совместное влияние факторов может насторожить, так как значение это-

го коэффициента немного ниже коэффициентов факторов. Для этого необходимо проверить значимость коэффициентов через расчет коэффициента Стьюдента по формуле:

$$t_p = |b_i|/\sigma.$$

С уровнем вероятности 0,99 табличный коэффициент Стьюдента равен 3,1. Если $t_p > t_m$, то гипотеза о статистической значимости коэффициентов принимается (табл. 3). Значимые коэффициенты b_0, b_1, b_2 .

Уравнение будет иметь вид:

$$y = 2,025 - 0,825 X_1 - 1,045 X_2.$$

Если есть незначимые коэффициенты, то необходимо проверить уравнение на адекватность при помощи критерия Фишера по формуле:

$$F_p = S_a^2/S_e^2;$$

$$F_p = 2,95, F_m(0,95;1;8) = 5,32.$$

Если $F_p < F_m$, то гипотеза об адекватности математической модели принимается.

Для перехода от кодированной модели к натуральным значениям X_1 и X_2 выражают через их натуральные величины:

$$X_1 = \frac{\omega_\phi - \omega_{\phi 0}}{\Delta\omega_\phi} = \omega_\phi - 1;$$

$$X_2 = \frac{t - t_0}{\Delta t} = \frac{t - 22}{16}.$$

После преобразования получена математическая модель:

$$y = 4,3 - 0,825\omega_\phi - 0,065 t.$$

Таблица 3 – План постановки и результаты эксперимента

Table 3 – The staging plan and the results of the experiment

№ опыта	Значение факторов в натуральных величинах		Содержание лактозы, $\omega_n, \%$ (y_{cp})	Значения факторов в кодированных величинах		
	Доза лактазы, $\omega_\phi, \%$ (X_1)	Температура молока, t °С (X_2)		X_1	X_2	$X_1 X_2$
1	0	6	4,6	-1	-1	+1
2	2	6	1,54	+1	-1	-1
3	0	38	1,10	-1	+1	-1
4	2	38	0,86	+1	+1	+1
Основной уровень (X_{i0})	1	22	Коэффициенты регрессии	b_1	b_2	b_{12}
Интервал варьирования (ΔX_i)	1	16	$b_0 = 2,025$	-0,825	-1,045	0,705
Шаг движения (ΔX_i)	0,2	3,96				
Шаг движения (ΔX_i), округленный	0,2	4	Коэфф. Стьюдента t_p			
			8,559541	3,49	4,41	2,98
Результаты расчета кругого восхождения						
Опыты						
5	1,2	26	1,6			
6	1,4	30	1,2			
7	1,6	34	0,75			
8	1,8	38	0,32			
9	2	42	-0,106			

Расчет кругого восхождения для процесса получения безлактозного молока осуществлялся следующим образом:

1) Производился расчет составляющих градиента:

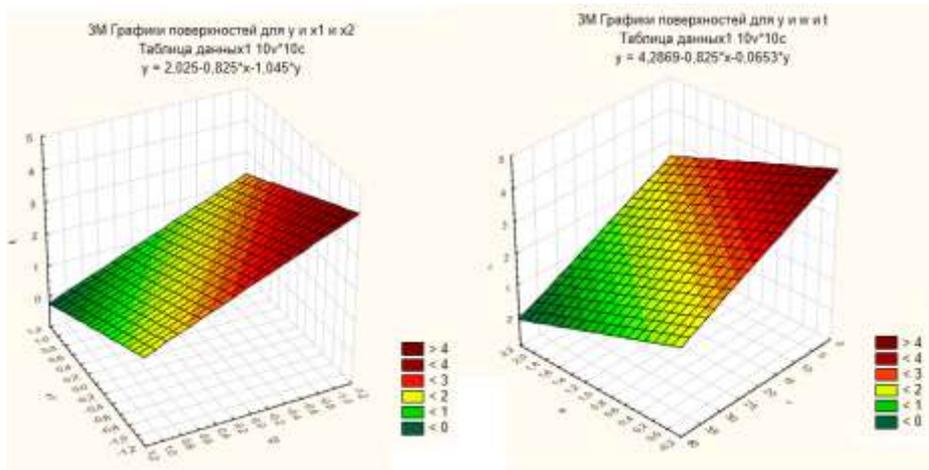
$$b_1 * \Delta X_1 = -0,825; b_2 * \Delta X_2 = -16,75.$$

Данный шаг не подходит, так как если взять условия опыта № 5: $X_1 = 0,175, X_2 = 5,28$, то уже в опыте № 6 будут нереальные значения.

2) Если умножить составляющие градиента на любое положительное число, то получим точки, лежащие на градиенте. В нашем случае удобно изменять дозу внесения фермента β -галактазидазы на 0,2, т. е. уменьшить составляющую градиента в 4,1 раза. Во столько же раз уменьшается и составляющая градиента по второму фактору (3,96) (табл. 3). Шаг по второму фактору округляется до 4.

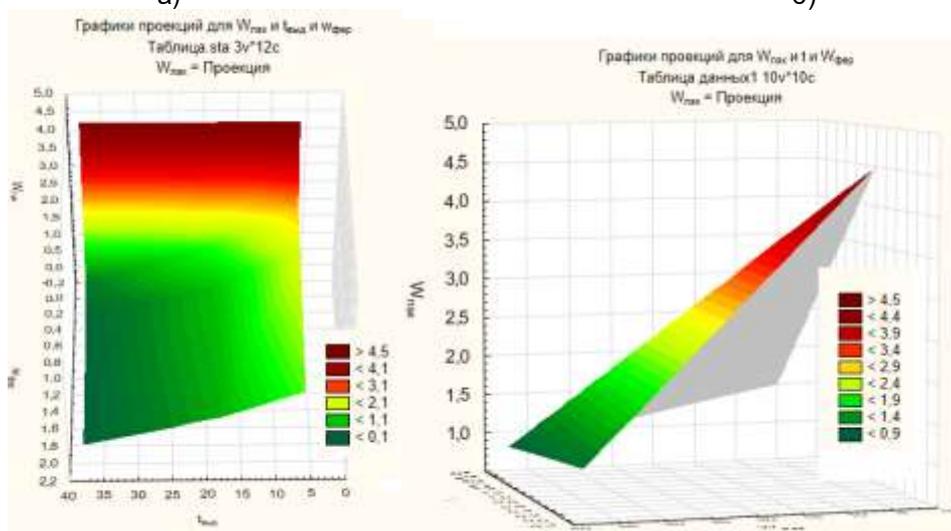
3) Последовательно прибавляем составляющие градиента к основному уровню (табл. 3, опыты 5–9).

Далее были найдены оптимальные значения факторов при $y \rightarrow \min$ (таблица 3): $\omega_{\phi} = 1,8 \%$, $t = 38 \text{ }^{\circ}\text{C}$; при этих значениях факторов достигается минимальное содержание лактозы $y = 0,32 \%$.



а)

б)



в)

Рисунок 2 – Графики поверхностей: а – в кодированных значениях; б) в натуральных величинах в) трехмерная проекция математической модели под разным углом рассматривания

Figure 2 – Graphs of surfaces: a) in coded values, b) in natural quantities, c) three-dimensional projection of a mathematical model

Результаты математического моделирования представлены на рисунке 2 (а, б, в). График 2, а выполнен по кодированным значениям факторов, а график 2, б – по натуральным значениям факторов, в виде линейных поверхностей. График 2, в выполнен в виде трехмерной проекции с разных углов рассматривания.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенного исследования было изучено изменение массовой доли лактозы в молоке в зависимости от количества вносимого фермента и влияние различных температур на ферментативный катализ.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ОЦЕНКИ ДЕЙСТВИЯ β -ГАЛАКТАЗИДАЗЫ НА ГИДРОЛИЗ ЛАКТОЗЫ В МОЛОКЕ

На основании полученных данных построена математическая модель, описывающая процесс гидролиза лактозы под влиянием различных доз фермента β -галактазидаза.

Согласно анализу математической модели, были оценены оптимальные значения факторов, которые составили: 1,8 % для фермента β -галактазидаза и 38 °С для температуры молока, при этих параметрах содержание лактозы в молоке будет минимальным. Данные расчетного эксперимента коррелируют с экспериментальными данными.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Добрян Е.И., Ильина А.М., Горлова А.И. Получение функциональных продуктов на основе ферментативного гидролиза // Пищевая промышленность. 2019. № 4. С. 36–37. DOI: 10.24411/0235-2486-2019-10017.
2. Горлова А.И., Ильина А.М. Физиологическая роль лактозы нативного и гидролизованного молока : обзор // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2022. № 84(2). С. 57–61. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2022-2-57-61>.
3. Мескина Е.Р. Мальабсорбция и непереносимость лактозы: современная концепция, диагностика и клинический контроль // Вопросы практической педиатрии. 2019. Т. 14. № 5. С. 39–57. DOI: 10.20953/1817-7646-2019-5-39-57.
4. Анцыперова М.А., Арсеньева Т.П., Короткова А.А. Подбор препарата и условий ферментации для получения низколактозного молока // Молочная промышленность. 2018. № 8. С. 24–26. DOI: 10.31515/1019-8946-2018-8-24-26.
5. Низколактозный и безлактозный молочный продукт и способ его получения: пат. 2551230 Рос. Федерации № 2011111399/10 ; заявл. 28.09.2009 ; опубл. 20.05.2015, Бюл. № 14.
6. Способ производства низколактозного молочного напитка: пат. 2704856 Рос. Федерации № 2017126848, заявл. 18.01.2019; опубл. 31.10.2019, Бюл. № 31.
7. Тимкин В.А., Новопашин Л.А. Производство безлактозного молока многоступенчатой

диафильтрацией // Научно-технический вестник : технические системы в АПК. 2018. № 5. С. 61–66.

8. Чумакова И.В., Донская Г.А. Изменение состава и физико-химических свойств молочного сырья при производстве безлактозного молока // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2020. № 4. С. 193–197.

9. Антонова Н. Как развивается рынок безлактозного молока в России и мире / Антонова Н. // milknews : [сайт]. URL : <https://milknews.ru/longridy/bezlaktoznoye-moloko.html> (дата обращения: 06.03.2023).

Информация об авторах

А. А. Медведев – магистрант кафедры «Технология продуктов питания».

Ю. А. Пелеганчук – магистрант кафедры «Технология продуктов питания».

О. В. Кольтюгина – кандидат технических наук, заведующая кафедрой «Технология продуктов питания».

Ю. Г. Стурова – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология продуктов питания».

Т. А. Стопорева – кандидат технических наук, начальник отдела развития публикационной деятельности.

Information about the authors

A. A. Medvedev - Master's student of the Department «Food Technology».

Yu. A. Peleganchuk - Master's student of the Department «Food Technology».

O. V. Koltyugin - Candidate of Technical Sciences, Head of the Department «Food Technology».

Yu. G. Sturova - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of «Food technology».

T. A. Stoporeva - Candidate of Technical Sciences, Head of the Publishing Development Department.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 28.03.2023; одобрена после рецензирования 13.08.2023; принята к публикации 11.09.2023.

The article was received by the editorial board on 28 Mar 2023; approved after editing on 13 Aug 2023; accepted for publication on 11 Sep 2023.