УДК:637.044
DOI: 10.31515/1019-8946-2023-04-67-70

Исследование изомеризации лактозы в процессе производства молочных продуктов

Андрей Георгиевич Храмцов[1], акад. РАН, профессор, д-р техн. наук, профессор-консультант кафедры прикладной биотехнологии
Сергей Владимирович Анисимов[2], канд. техн наук, заслуженный работник пищевой индустрии РФ, генеральный директор
Левон Ервандович Давыдянц[2], начальник приемно-аппаратного цеха
Марина Владимировна Скороходова[2], инженер-технолог
Вера Юрьевна Ромахова[1], канд биол. наук, научный сотрудник Центра биотехнологического инжиниринга
Марина Анатольевна Жилина[2], начальник цеха розлива
[1]ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет»
[2]АО Молочный комбинат «Ставропольский»
E-mail: zolotoreva@mokostav.com

Исследовано содержание лактулозы в молочных продуктах, подвергнутых различным уровням тепловой обработки, синтезируемой за счет термоиндуцированной изомеризации лактозы в лактулозу. Обнаружена зависимость процесса изомеризации от времени температурной экспозиции. Установлены уровни лактулозы в топленых молочных продуктах, способные обеспечить до 15 % суточной потребности взрослого человека в ценном пребиотике. На основании полученных результатов сделан вывод о проявлении функциональных свойств топленого молока и ряженки. Освоена методика Международной организации по стандартизации для хроматографического исследования содержания лактулозы в молочных продуктах ISO 11868:2007/IDF 147:2007. Информация, полученная в данном исследовании, может быть использована для оценки влияния режимов тепловой обработки на другие молочные продукты, в том числе длительного хранения, включая продукты для функционального питания.
Ключевые слова: *лактулоза, пребиотик, молочные продукты.*

Khramtsov A. G.[1], Anisimov S. V.[2], Davydyants L. E.[2], Skorokhodova M. V.[2], Romahova V. Yu.[1], Zhilina M.A.[2] Study of lactose isomerization in the dairy production process
[1]North Caucasus Federal University
[2]JSC Stavropol Milk factory

The article presents the results of a study of the lactulose content in dairy products subjected to various levels of heat treatment synthesized by thermally induced isomerization of lactose into lactulose. The dependence of the isomerization process on the time of temperature exposure was found. Lactulose levels in melted dairy products have been established that can provide up to 15 % of an adult's daily need for a valuable prebiotic. Based on the results obtained, a conclusion was made about the manifestation of the functional properties of melted milk and fermented baked milk. The methodology of the International Organization for Standardization for chromatographic study of lactulose content in dairy products ISO 11868:2007/IDF 147:2007 has been mastered. The information obtained in this study can be used to assess the effect of heat treatment modes on other dairy products, including long-term storage, including products for functional nutrition.
Key words: *lactulose, prebiotic, dairy products.*

Сырое молоко не может долго храниться, особенно при комнатной температуре, поэтому все поступающее на промышленную переработку молоко подвергают обязательной термической обработке, позволяющей сделать продукт безопасным для потребления и продлить срок хранения. В молочной отрасли приняты различные режимы термической обработки в зависимости от качества исходного сырья, технологической задачи и вида готового продукта, которые не только обеспечивают микробиологическую безопасность, но и позволяют управлять технологическими и органолептическими свойствами молочного сырья. Эффект тепловой обработки зависит как от температуры, так и времени ее воздействия. Традиционно приняты следующие виды тепловой обработки, обеспечивающие молочной продукции сроки хранения от нескольких суток до нескольких месяцев:

- кратковременная пастеризация при 74–78 °С с выдержкой 15–20 с;
- мгновенная пастеризация при температуре не менее 85 °С с выдержкой 5 с;
- мгновенная стерилизация — ультравысокотемпературная (УВТ) обработка при 130–150 °С с выдержкой 2–3 с;
- стерилизация в таре при 110–130 °С длительностью не менее 20 мин.

Для отдельных видов продукции, например, топленого молока, ряженки, используют особые режимы тепловой обработки с длительной выдержкой (90–95 °С не менее 4 ч), позволяющие добиться требуемых органолептических характеристик продукта.

Наряду с основной задачей пастеризации/стерилизации — обеспечение микробиологической безопасности продукта, тепловая обработка неизбежно вызывает в сырье различные реакции и химические превращения, в том числе необратимые. Одним из основных химических изменений является термоиндуцированная изомеризация лактозы с образованием лактулозы, которая в сыром молоке отсутствует.

Лактулоза — углевод, относящийся к классу олигосахаридов, под-

Таблица 1

Характеристики тепловой обработки образцов

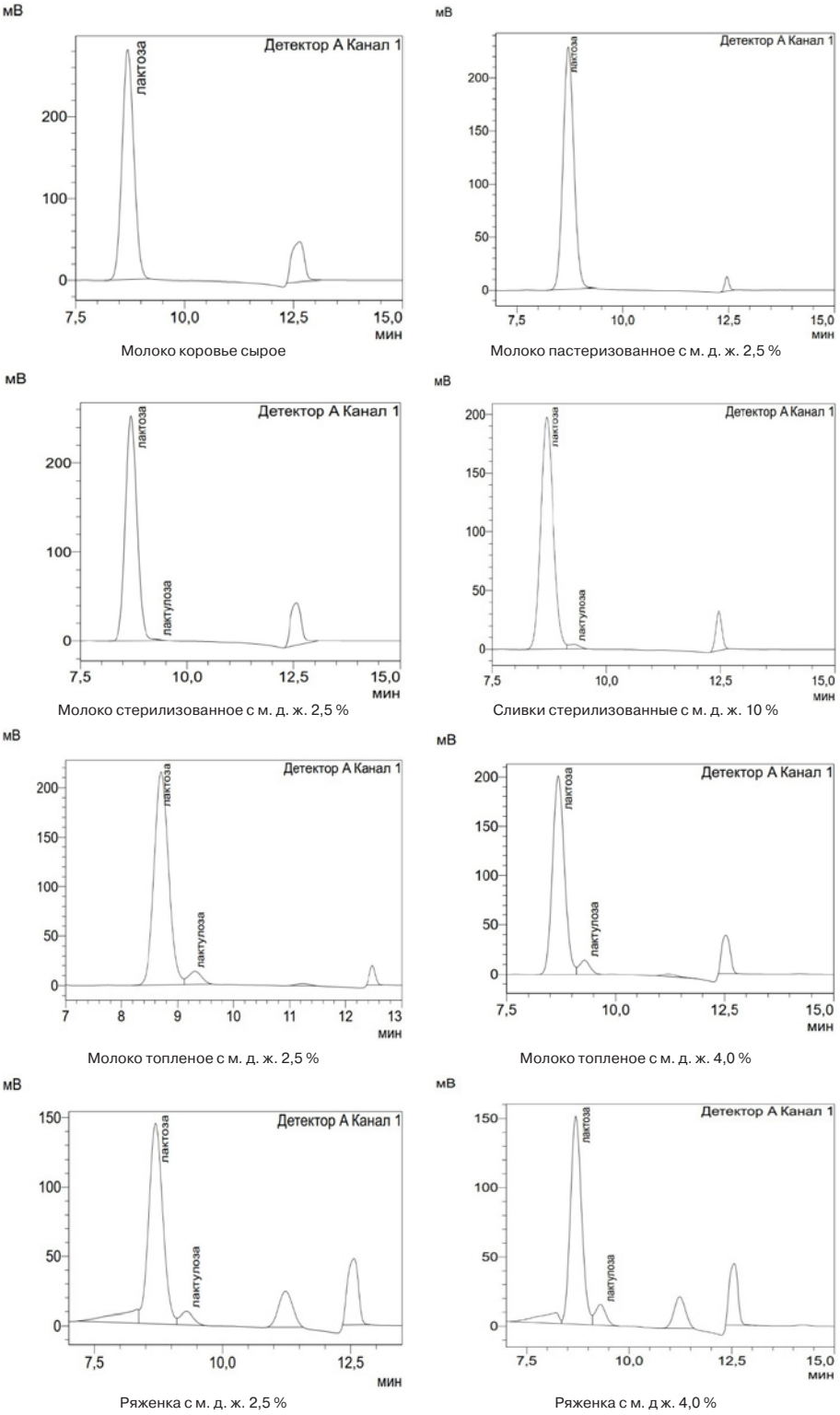
Продукт	Вид тепловой обработки	Температура обработки, °С	Время выдержки
Молоко питьевое пастеризованное с м. д. ж. 2,5 %	Пастеризация на промышленной ПОУ	78±2	20 с
Молоко питьевое стерилизованное с м. д. ж. 2,5 %	Мгновенная стерилизация на автоматизированной линии УВТ-обработки	140±1	3 с
Сливки питьевые стерилизованные с м. д. ж. 10 %			
Молоко топленое с м. д. ж. 2,5 %	Пастеризация на ПОУ с выдержкой в емкости	92±2	5 ч
Ряженка с м. д. ж. 2,5 %			
Молоко топленое с м. д. ж. 4 %	Стерилизация в автоклаве	120±1	28 мин
Ряженка с м. д. ж. 4 %		110±1	2 ч 10 мин

классу дисахаридов, ее название β-D-галактопиранозил-(1,4)-β-D-фруктофураноза (β-D-Gal-(1-4)-β-D-Fru). В настоящее время это наиболее изученный в плане медицинского применения олигосахарид с высоким пребиотическим эффектом [1]. Она наилучшим образом способствует созданию, поддержанию и восстановлению симбионтной кишечной микрофлоры человека, что обеспечивает нормальное функционирование всех жизненно важных органов, в том числе мозга. Лактулоза посредством стимулирования жизнедеятельности симбионтной микрофлоры (в первую очередь, бифидобактерий и лактобацилл) в кишечнике человека предотвращает, как и другие пребиотики, негативное воздействие на организм патогенных микроорганизмов и токсичных продуктов метаболизма.

Лактулоза — синтетический дисахарид, состоящий из фруктозы и галактозы. Ее синтез заключается в образовании енольной промежуточной формы лактозы в эпилактозе с превращением глюкозы в молекуле лактозы во фруктозу при переходе альдозной формы в кетозную форму [1, 2].

Отсутствие лактулозы в сыром молоке используется в мировой практике, чтобы различать стерилизованное и пастеризованное молоко. Лактулоза также предложена Международной молочной федерацией и Европейским союзом в качестве параметра, позволяющего отличить УВТ-молоко от стерилизованного в таре автоклавированием. Диапазон содержания лактулозы 100–600 мг/л предлагается как характеристика процесса ультрапастеризации. Значения ниже 100 мг/л связывают с процессом пастеризации, а выше 600 мг/л — с процессом стерилизации [3]. Таким образом возможно подтвердить качество УВТ-молока и эффективность процесса ультрапастеризации [4].

Целью работы являлось обнаружение лактулозы, как индикатора интенсивности термического воздействия, в традиционных молочных продуктах, выпускаемых АО «Молочный комбинат «Ставропольский», при различных режимах тепловой обработки. Также оценивался потенциал функциональности продукции, содержащей лактулозу, синтезируемую за счет стандартных в молочной промышленности технологических операций. Это исследование дает новые данные



Результаты хроматографического исследования образцов

об образовании лактулозы применительно к традиционным молочным продуктам, подвергнутым тепловой обработке, к конкретному промышленному производству.

Для исследования были отобраны образцы продукции, вырабатываемой на АО «Молочный комбинат «Ставропольский», подвергнутые тепловой обработке при различных режимах (табл. 1).

Для сравнения использовались образцы молока коровьего сырого, полученного от поставщика высококачественного сырья (АО Агрохолдинг «Степь»), владеющего технологичны-

ми молочными комплексами в Ставропольском крае.

Содержание лактулозы в образцах определяли согласно специально разработанной для этих целей методике, рекомендованной Международной молочной федерацией (IDF): ISO 11868:2007/IDF 147:2007 «Молоко термически обработанное. Определение содержания лактулозы. Метод с использованием высокоэффективной жидкостной хроматографии» (Heat-treatedmilk — Determination of lactulose content — Method using high-performance liquid chromatography) на приборе LC-20 Prominence фирмы SHIMADZU с рефрактометрическим детектором RID-20A, колонка CarboSep 87C 300*7,8 mm, подвижная фаза — деионизированная вода, скорость потока 0,6 мл/мин, температура 85 °С.

В соответствии с методикой анализируемые образцы должны представлять собой истинные растворы. Так как исследуемые молочные продукты являются сложными полидисперсными системами, содержащими высокомолекулярные вещества, то пробоподготовку образцов осуществляли согласно [5, 6]. Таким образом, для определения углеводов необходимо использовать методику предварительной подготовки проб, которая устраняет помехи, составляющие сложную полидисперсную матрицу молочного сырья. Это особенно важно для лактулозы, концентрация которой очень низкая по сравнению с лактозой. Суть пробоподготовки заключалась в удалении белковых, пептидных молекул и жирового компонента путем введения осадителя, центрифугирования и фильтрования при определенных условиях.

Результаты хроматографического исследования образцов представлены в виде хроматограмм на рисунке, исходные данные к хроматограммам, обработанные с помощью программного обеспечения SHIMADZU LabSolutions, release 5.73, сведены в табл. 2. Содержание лактулозы в исследуемых молочных продуктах представлено в табл. 3.

Анализ полученных данных позволяет сделать вывод о наличии лактулозы в термобработанных продуктах, причем ее количество увеличивается при повышении не только температуры обработки, но и продолжительности термического воздействия. Обнаружено, что время температурной экспозиции вносит значимый вклад в процесс термоиндуцированной изомеризации лактозы в лактулозу даже при температуре ниже 100 °С (уровни режимов пастеризации).

Анализ литературы и опыт использования стандарта в аналитической практике [3, 4, 7] указывают на ожидаемые уровни лактулозы для пастеризованного, стерилизованного в таре и УВТ-молока. В зарубежных статьях нами не обнаружены исследования уровня содержания лактулозы в топленом молоке и продуктах, приготовленных на его основе,

Таблица 2

Данные анализа образцов для построения хроматограмм

Номер пика	Время удерживания	Площадь	Концентрация, мг/л	Вещество	Площадь, %
Молоко коровье сырое					
1	8,967	5300680	18772,865	Лактоза	84,315
2	12,640	986079	0,000	Моносахариды	15,685
Сумма		6286758			100,000
Молоко пастеризованное с м.д.ж. 2,5 %					
1	8,713	4049268	14374,019	Лактоза	97,620
2	12,461	98722	0,000	Моносахариды	2,380
Сумма		4147991			100,000
Молоко стерилизованное с м.д.ж. 2,5 %					
1	8,686	4809883	17047,663	Лактоза	84,875
2	9,275	4298	86,566	Лактулоза	0,076
3	12,571	852821	0,000	Моносахариды	15,049
Сумма		5667002			100,000
Сливки стерилизованные с м.д.ж. 10 %					
1	8,695	3754354	13337,364	Лактоза	90,627
2	9,285	65396	242,075	Лактулоза	1,579
3	12,462	322877	0,000	Моносахариды	7,794
Сумма		4142627			100,000
Молоко топленое с м.д.ж. 2,5 %					
1	8,709	3846369	15612,498	Лактоза	90,786
2	9,315	215996	834,005	Лактулоза	5,098
3	11,179	34724	0,000	Моносахариды	0,820
4	12,480	139665	0,000		3,297
Сумма		4236754			100,000
Молоко топленое с м.д.ж. 4,0 %					
1	8,686	3804612	13514,025	Лактоза	81,964
2	9,288	257970	732,224	Лактулоза	5,558
3	11,207	63058	0,000	Моносахариды	1,358
4	12,528	516155	0,000		11,120
Сумма		4641794			100,000
Ряженка с м.д.ж. 2,5 %					
1	8,335	318871	0,000		7,216
2	8,694	2747049	11148,291	Лактоза	62,169
3	9,296	166842	646,736	Лактулоза	3,776
4	11,229	493690	0,000	Моносахариды	11,173
5	12,564	692201	0,000		15,665
Сумма		4418653			100,000
Ряженка с м.д.ж. 4,0 %					
1	8,213	279775	0,000		6,230
2	8,695	2852044	10165,647	Лактоза	63,507
3	9,295	267074	755,397	Лактулоза	5,947
4	11,231	442577	0,000	Моносахариды	9,855
5	12,559	649440	0,000		14,461
Сумма		4490910			100,000

Таблица 3

Содержание лактулозы в исследуемых образцах молочных продуктов

Продукт	Содержание лактулозы, г/100г
Молоко коровье сырое	–
Молоко питьевое пастеризованное с м.д.ж. 2,5 %	–
Молоко питьевое стерилизованное с м.д.ж. 2,5 %	0,0312
Сливки питьевые стерилизованные с м.д.ж. 10 %	0,0864
Молоко топленое с м.д.ж. 2,5 %	0,3
Ряженка с м.д.ж. 2,5 %	0,233
Молоко топленое с м.д.ж. 4 %	0,264
Ряженка с м.д.ж. 4 %	0,272

так как данные продукты не характерны для зарубежных стран. Собственные исследования указывают на достаточно высокий уровень содержания лактулозы в топленых продуктах (табл. 3). Как указывалось ранее, лактулоза обладает доказанным пребиотическим действием и является биологически активным компонентом пищи. Рекомендуемые для взрослых величины суточного потребления БАВ, не содержащихся в пищевом сырье, а образующихся в ходе технологической обработки [8], показывают адекватный уровень суточной дозы лактулозы 2 г, с верхним допустимым уровнем 10 г. Таким образом, можно рассчитать процент от суточной дозы потребления для лактулозы, содержащейся в исследуемых продуктах (см. табл. 3).

Продукты, полученные путем томления молока, показывают достаточно высокий процент от адекватного суточного потребления лактулозы для взрослого человека — до 15,0 %.

Согласно ГОСТ Р 52349–2005 «Продукты пищевые функциональные. Термины и определения»:

- функциональный пищевой продукт: Пищевой продукт, предназначенный для систематического употребления в составе пищевых рационов всеми возрастными группами здорового населения, снижающий риск развития заболеваний, связанных с питанием, сохраняющий и улучшающий здоровье за счет наличия в его составе физиологически функциональных пищевых ингредиентов;
- физиологически функциональный пищевой ингредиент: Вещество или комплекс веществ животного, растительного, микробиологического, минерального происхождения или идентичные натуральным, а также живые микроорганизмы, входящие в состав функционального пищевого продукта, обладающие способностью оказывать благоприятный эффект на одну или несколько физиологических функций, процессы обмена веществ в организме человека при систематическом употреблении в количествах, составляющих от 10 до 50 % от суточной физиологической потребности.

Исходя из приведенных формулировок, можно сделать вывод о принадлежности топленого молока и ряженки к функциональным продуктам, которые согласно ГОСТ Р 55577–2013 могут маркироваться как «способствующие улучшению перистальтики и микробиоценоза кишечника» с ожидаемым благоприятным эффектом при систематическом потреблении.

Интерес представляют дальнейшие исследования о влиянии режимов тепловой обработки (варьирование температуры, времени выдержки) и других технологических факторов на образование лактулозы в более широком спектре молочных продуктов, в том числе специального назначения, для установления возможных диапазонов содержания лактулозы и подтверждения функциональности продуктов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ***Храмцов, А. Г.*** *Пребиотики как функциональные пищевые ингредиенты: терминология, критерии выбора и сравнительной оценки, классификация/А. Г. Храмцов, С. А. Рябцева, Р. О. Будкевич, В. Р. Ахмедова [и др.]// Вопросы питания. 2018. Т. 87. № 1. С. 5–17.*
2. ***Лактоза и ее производные****/Б. М. Синельников, А. Г. Храмцов, И. А. Евдокимов, С. А. Рябцева, А. В. Серов; науч. ред. акад. РАСХН А. Г. Храмцов. — СПб.: Профессия, 2007. — 768 с.*
3. ***Zhou, Guo, S., Xu, C.-Y., Chang, F.-J., Chen, H., Liu, P., & Ming, B.*** *(2020). Stimulate hydropower output of mega cascade reservoirs using an improved Kidney Algorithm// Journal of Cleaner Production. 2020, 244, 118613.*
4. ***Marconia, E.*** *Heat-treated milk differentiation by a sensitive lactulose assay/E. Marconia, M. C. Messiaa, A. Amineb [et al.]// Food Chemistry 84 (2004) 447–450.*
5. ***ГОСТ Р 54760–2011*** *«Продукты молочные составные и продукты детского питания на молочной основе. Определение массовой концентрации моно- и дисахаридов методом высокоэффективной жидкостной хроматографии».*
6. ***ISO 11868 IDF 147*** *Heat-treated milk — Determination of lactulose content — Method using high-performance liquid chromatography.*
7. ***De Oliveira Neves, L. N.*** *Lactulose determination in UHT milk by CZE-UV with indirect detection/de Oliveira Neves L. N., Marques R., da Silva P. H. F., de Oliveira M. A. L.// Food Chemistry. 2018, 258, 337–342.*
8. ***Рекомендуемые уровни потребления пищевых и биологически активных веществ:*** *Методические рекомендации. — М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004. — 46 с.*

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках реализации комплексного проекта по созданию высокотехнологичного производства по теме: «Создание первого в России высокотехнологичного производства пребиотика лактулозы и функциональных молочных ингредиентов для импортозамещения в медицине, ветеринарии, детском питании, производстве лечебно-профилактических продуктов для людей и животных». Научный консультант проекта академик РАН, профессор, д-р техн. наук Андрей Георгиевич Храмцов.

Соглашение о предоставлении из федерального бюджета субсидии на развитие кооперации государственного научного учреждения и организации реального сектора экономики в целях реализации комплексного проекта по созданию высокотехнологичного производства № 075112022021 от 07.04.2022 г. в рамках Постановления Правительства РФ от 9 апреля 2010 г. № 218 на базе ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет».