

ПРЕБИОТИЧЕСКИЙ КОНЦЕНТРАТ ИЗ МЕЛАССЫ МОЛОЧНОЙ

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

Алексей Дмитриевич Лодыгин¹, д-р техн. наук, доцент, главный научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории пищевой и промышленной биотехнологии, заведующий кафедрой прикладной биотехнологии
E-mail: allodygin@yandex.ru

Сергей Владимирович Анисимов², канд. техн. наук, генеральный директор

Александр Владимирович Рудковский^{1,2}

Георгий Сергеевич Анисимов^{1,2}, канд. техн. наук, директор центра биотехнологического инжиниринга

Роман Русланович Халкечев¹

Артем Витальевич Логвиненко¹

¹Северо-Кавказский федеральный университет, г. Ставрополь

²АО Молочный комбинат «Ставропольский», г. Ставрополь

Основным побочным продуктом производства высококачественной лактозы является меласса молочная, которая содержит значительное количество растворенной лактозы, а также ценные минеральные компоненты и небелковые азотистые вещества. К перспективным методам переработки мелассы молочной следует отнести получение сухих концентратов, обогащенных производным лактозы – пребиотиком лактулозой. Теоретически обоснована возможность использования мелассы молочной в качестве сырья для производства сухого пребиотического концентрата, предназначенного для пищевых и кормовых целей. Целью работы являлось экспериментальное обоснование технологии получения пребиотического концентрата из мелассы молочной на основе щелочной изомеризации лактозы в лактулозу. Исследованы буферные свойства мелассы молочной по щелочи. Установлены кинетические закономерности изомеризации лактозы в лактулозу в мелассе молочной. Методом высокоэффективной жидкостной хроматографии изучен углеводный состав мелассы молочной изомеризованной. Разработана технологическая схема производства пребиотического концентрата из мелассы молочной. Результаты исследований подтверждают целесообразность применения мелассы молочной для производства сухого пребиотического концентрата, предназначенного для использования в технологии продуктов функционального питания и кормовых средств.

Ключевые слова: меласса молочная, лактоза, щелочная изомеризация, лактулоза, пребиотический концентрат

Для цитирования: Пребиотический концентрат из мелассы молочной / А. Д. Лодыгин, С. В. Анисимов, А. В. Рудковский [и др.] // Молочная промышленность. 2025. № 6. С. 57–61. <https://doi.org/10.21603/1019-8946-2025-6-62>

ВВЕДЕНИЕ

Одним из перспективных направлений в молочной промышленности является развитие безотходного производства, предполагающего глубокую переработку вторичных сырьевых ресурсов, таких как молочная сыворотка, обезжиренное молоко и пахта [1]. С развитием мембранных технологий появилась возможность концентрировать и разделять на фракции различные компоненты молока, в частности, молочный сахар – лактозу [2].

При производстве молочного сахара побочным продуктом является меласса молочная.

Термин «меласса» был привнесен в молочную промышленность из свеклосахарного производства, где используется для обозначения маточного раствора, полученного после выделения кристаллов сахарозы из ее пересыщенных растворов [3, 4]. По инициативе академика РАН Андрея Георгиевича Храпцова было предложено на официальном уровне использовать термин «меласса молочная» для обозначения побочного продукта от производства кристаллической лактозы.

Меласса молочная содержит значительное количество растворенной лактозы, а также ценные минеральные компоненты и небелковые азотистые вещества [3]. В последнее время за рубежом были предприняты попытки использовать мелассу в качестве корма для коров, удобрения для почвы и альтернативы соли [5, 6]. Однако наиболее целесообразным способом переработки мелассы, с учетом высокого содержания лактозы, является получение ее производных, в первую очередь, лактулозы – общепризнанного во всем мире «пребиотика № 1» [7, 8].

Лактулоза широко используется во многих странах в качестве профилактического и терапевтического средства при ряде заболеваний, особенно при формировании дисбиотических нарушений [9, 10]. Лактулоза при кишечном дисбиозе воздействует на рост различных штаммов и групп бактерий, населяющих толстую кишку, физико-химические параметры содержимого толстой кишки (рН и осмотическое давление) и перистальтику как толстой, так и тонкой кишки, особенно терминального отдела подвздошной кишки [11, 12].

В ряде стран с развитым животноводством запрещают применение антибиотиков для профилактики заболеваний у животных: в Европе с 2006 г., в России с 2020 г. [13, 14]. Это обстоятельство актуализировало поиск альтернативных способов снижения риска патогенных инфекций. Одним из решений видится системное применение лактулозы в кормлении сельскохозяйственных животных [15].

Целью исследования являлось экспериментальное обоснование технологии получения пребиотического концентрата из мелассы молочной на основе щелочной изомеризации лактозы в лактулозу.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве объектов исследования применялись:

- меласса молочная (ТУ 10.51.56-009-02067965-2024), полученная при производстве лактозы на АО Молочный комбинат «Ставропольский»;
- пищевая добавка E524 (гидроксид натрия) по действующей нормативно-технической документации производителя;
- пищевая добавка E330 (лимонная кислота) по действующей нормативно-технической документации производителя;
- вода питьевая по СанПин 1.2.3685-21.

Физико-химические показатели мелассы молочной соответствуют требованиям СТО

10.51.56-009-02067965-2024 (табл. 1).

Физико-химические показатели исходного сырья и опытных образцов определяли согласно стандартным методам анализа:

- массовая доля сухих веществ – ГОСТ 30305.1-95 «Консервы молочные сгущенные. Методики выполнения измерений массовой доли влаги»;
- активная кислотность – потенциметрически по ГОСТ 32892-2014 «Молоко и молочная продукция. Метод измерения активной кислотности»;
- массовая доля лактозы – по ГОСТ 34304-2017 «Молоко и молочные продукты. Метод определения лактозы и галактозы», ГОСТ Р 54667-2011 «Молоко и

продукты переработки молока. Методы определения массовой доли сахаров», ГОСТ Р 54760-2011 «Продукты молочные составные и продукты детского питания на молочной основе», ГОСТ 29248-91 «Консервы молочные. Йодометрический метод определения сахаров».

Углеводный состав образцов мелассы молочной изомеризованной определяли методом ВЭЖХ на приборе Shimadzu LS20, оснащенный колонкой Carbo Sep CHO 87C. В качестве элюента использовалась деионизированная вода с электросопротивлением выше 18,2 МОм со скоростью потока 0,6 мл/мин при температуре 85 °С. Растворы углеводов для построения калибровочного графика были приготовлены из образцов с чистотой 99,9 % (SUPELCO: лактоза, лактулоза, галактоза, глюкоза, фруктоза).

В качестве выходного параметра при исследовании кинетики изомеризации лактозы в лактулозу использовалась степень изомеризации (S_i , %), определяемая по формуле:

$$S_i = \frac{C_{л2}}{C_{л1}} \quad \text{или} \quad S_i = \frac{C_{л2}}{C_{л1}} \times 100$$

где $C_{л2}$ – концентрация в реакционной смеси лактулозы; $C_{л1}$ – исходная концентрация лактозы.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Изучение буферных свойств мелассы молочной проводилось с целью установления зависимости pH сырья от количества внесения щелочного реагента – 20 % раствора гидроксида натрия, т. к. реакция изомеризации лактозы в лактулозу протекает при значениях pH реакционной смеси не менее 10,0.

Таблица 1. Требования к физико-химическим показателям мелассы молочной

Наименование показателя	Норма
Массовая доля сухих веществ, %	11,0–16,0
Массовая доля лактозы, %, не менее	8,0
Активная кислотность, ед. pH	4,0–4,9
Массовая доля кальция, %, не менее	0,4
Зола, %, не менее	0,9



На рисунке 1 представлена зависимость активной кислотности мелассы молочной от количества 20 % раствора гидроксида натрия. Данные позволили установить оптимальные дозировки внесения щелочного реагента (0,017–0,019 % от массы мелассы молочной), необходимые для достижения значений pH реакционной смеси на уровне 11,0–11,2.

Кинетика синтеза лактулозы исследовалась в образцах мелассы молочной при постоянных

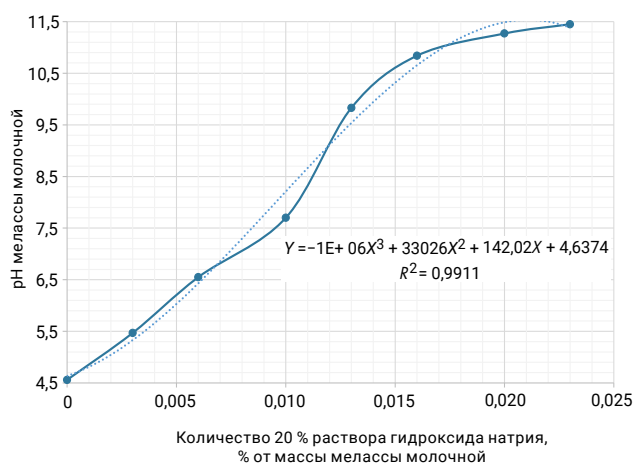


Рисунок 1. Зависимость pH мелассы молочной от количества вносимого 20 % раствора гидроксида натрия

значениях температуры 55, 65, 75 °С. В образцы мелассы молочной, нагретые до заданной температуры, вносили расчетные количества 20 % раствора гидроксида натрия до достижения значений pH реакционной смеси $11,1 \pm 0,1$. В процессе термостатирования через равные промежутки времени производился отбор проб, которые резко охлаждали до температуры не выше 20 °С, затем в них добавляли расчетное количество 20 % раствора лимонной кислоты до достижения значений pH 6,5–7,0 для остановки реакции изомеризации.

В таблице 2 представлены данные по содержанию углеводов в мелассе молочной в зависимости от времени экспозиции при заданных значениях температуры. Анализ данных свидетельствует о быстром накоплении лактулозы в реакционной смеси на начальном этапе термостатирования и последующем снижении скорости реакции изомеризации, при температуре 75 °С происходило снижение абсолютных значений концентрации лактулозы. Снижение концентрации лактулозы после достижения максимального значения свидетельствует о том, что процесс изомеризации лактозы в лактулозу сопровождается щелочным гидролизом этих углеводов и последующим окислением образующихся моносахаров, причем потери лак-

Таблица 2. Содержание углеводов в мелассе молочной в процессе щелочной изомеризации лактозы в лактулозу

Продолжительность, мин	Содержание углеводов, мг/л			
	Лактоза	Лактулоза	Галактоза	Фруктоза
T = 55 °C				
0	61 055	0	105	0
10	51 490	7815	520	101
20	46 468	11 356	931	268
30	45 527	12 856	1245	427
40	43 219	13 431	1586	728
T = 65 °C				
0	61 055	0	105	0
7	39 614	19 482	785	205
14	32 738	26 820	1250	506
21	29 141	29 511	1817	781
28	25 248	29 580	2213	1058
T = 75 °C				
0	61 055	0	105	0
5	38 543	19 982	935	312
10	30 971	28 136	1281	520
15	28 152	30 458	2157	697
20	23 470	29 486	3062	920

Примечание: $p \leq 0,05$, $n = 3$.

тулозы являются более значимыми по сравнению с потерями лактозы. Данное положение подтверждается снижением значений pH реакционной смеси в процессе термостатирования (рис. 2).

На основании полученных экспериментальных данных (табл. 2) по формуле рассчитаны значения степени изомеризации лактозы в лактулозу в мелассе молочной и построены графические зависимости, описывающие кинетические закономерности изомеризации лактозы в лактулозу при постоянных значениях температуры (рис. 3).

Анализ кинетических закономерностей, представленных на рисунке 3, позволяет сделать вывод о том, что скорость процесса изомеризации лактозы существенно возрастает в интервале температур 55–75 °С. При этом максимальный выход лактулозы при температурах 65–75 °С более чем в 2,2 раза превышает аналогичный показатель при проведении процесса при 55 °С. В то же время степень изомеризации не значительно увеличивается в интервале

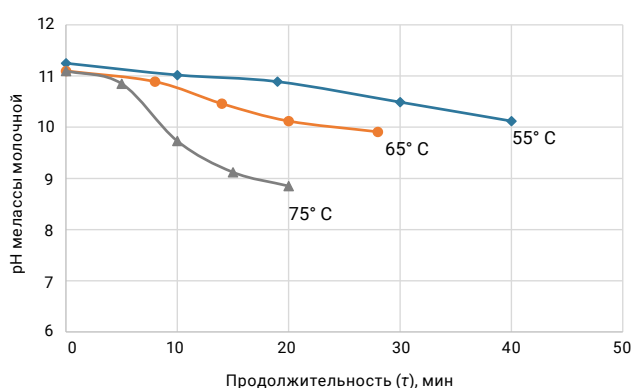


Рисунок 2. Зависимость pH от продолжительности термостатирования мелассы молочной в процессе щелочной изомеризации лактозы в лактулозу

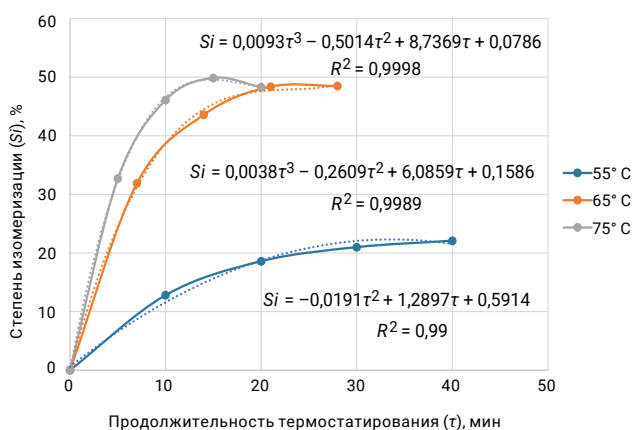


Рисунок 3. Кинетические закономерности изомеризации лактозы в лактулозу в мелассе молочной при различной температуре

температур 65–75 °С при существенном возрастании скорости реакций автокаталитического распада лактулозы, о чем свидетельствует повышение концентрации галактозы и снижение pH среды в образцах мелассы молочной изомеризованной.

Проведенный анализ дает основание к выбору умеренных значений температуры проведения процесса щелочной изомеризации лактозы в мелассе молочной, на уровне 65–70 °С.

По результатам проведенных исследований разработана технологическая схема производства пребиотического концентрата из мелассы молочной, представленная на рисунке 4.

Выводы

Установлены оптимальные дозировки внесения щелочного реагента (0,017–0,019 % от массы мелассы молочной), необходимые для достижения значений pH реакционной смеси на уровне

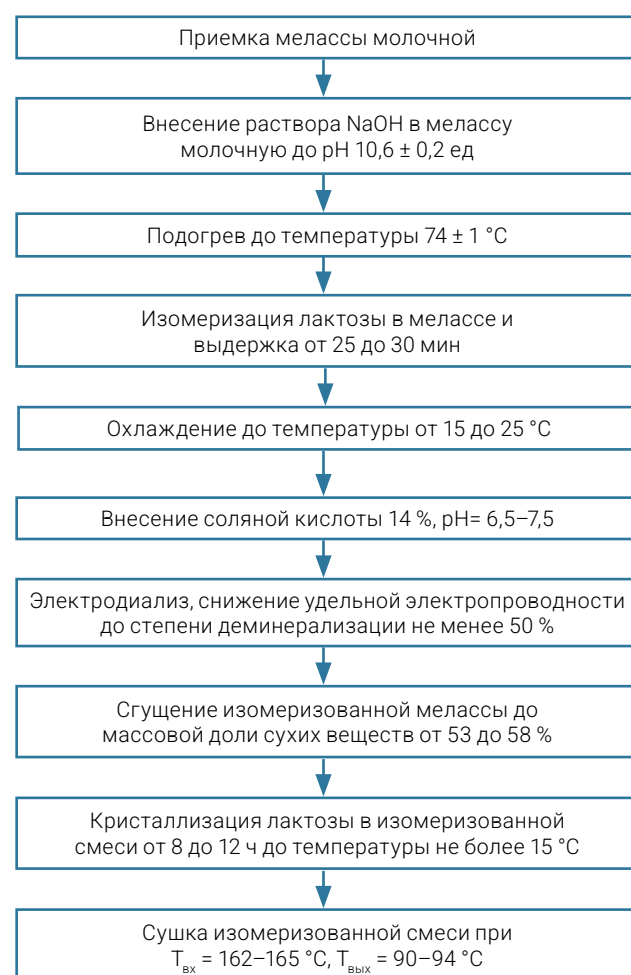


Рисунок 4. Принципиальная технологическая схема производства мелассы молочной изомеризованной сухой

11,0–11,2, обеспечивающих эффективное протекание реакции изомеризации лактозы в лактулозу.

На основании полученных кинетических закономерностей синтеза лактулозы в мелассе молочной рекомендовано проведение процесса в интервале температур 65–70 °С, обеспечивающем высокие значения степени изомеризации лактозы при незначительном

образовании продуктов автокаталитического распада дисахаридов. Результаты проведенных исследований подтверждают целесообразность применения мелассы молочной для производства сухого пребиотического концентрата, предназначенного для использования в технологии продуктов функционального питания и кормовых средств. ■

Поступила в редакцию: 15.09.2025
Принята в печать: 20.11.2025

PREBIOTIC CONCENTRATE BASED ON DAIRY MOLASSES

Alexei D. Lodygin¹, Sergei V. Anisimov², Alexander V. Rudkovskiy^{1,2}, Georgiy S. Anisimov^{1,2}, Ruslan R. Khalkechev¹, Artyom V. Logvinenko¹

¹North Caucasian Federal University, Stavropol

²JSC Stavropolskiy Dairy Plant, Stavropol

ORIGINAL ARTICLE

Dairy molasses is the main by-product of high-quality lactose production. It is rich in lactose, minerals, and non-protein nitrogenous substances. Advanced dairy molasses processing includes the production of concentrate powders fortified with lactulose, e.g., lactose prebiotics. Dairy molasses can be a raw material for prebiotic concentrates in foods and feeds. The article introduces a new technology that relies on the alkaline isomerization of lactose into lactulose. It provides kinetic patterns of lactose-to-lactulose isomerization in refined molasses. The carbohydrate composition of isomerized dairy molasses was studied by the method of high-performance liquid chromatography and resulted in a block diagram for the production of prebiotic concentrate from refined dairy molasses. The research confirmed the expediency of dairy molasses as a source of prebiotic concentrate powders to be used in functional foods and feed products.

Keywords: dairy molasses, lactose, alkaline isomerization, lactulose, prebiotic concentrate

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пономарев, А. Н. Современное состояние и перспективы развития молочной промышленности / А. Н. Пономарев // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. 2013. № 1. С. 33–38. <https://elibrary.ru/sdzddh>
2. Гнездилова, А. И. Технологические аспекты мелассообразования при кристаллизации лактозы / А. И. Гнездилова // Молочнохозяйственный вестник. 2019. № 4(36). С. 155–164. <https://elibrary.ru/ttmyaf>
3. Дымар, О. В. Технологические аспекты переработки мелассы молочной. Часть 1. Физико-химический состав мелассы / О. В. Дымар [и др.] // Молочная промышленность. 2018. № 10. С. 17–21. <https://elibrary.ru/yamktz>
4. Евдокимов, И. А. Обработка молочного сырья мембранными методами / И. А. Евдокимов [и др.] // Молочная промышленность. 2012. № 2. С. 34–37. <https://elibrary.ru/opeyhf>
5. Durham, R. J. Modern approaches to lactose production / R. J. Durham // Dairy-Derived Ingredients. Ed. by M. Corredig. – Elsevier, 2009. – 144 p. <https://doi.org/10.1533/9781845697198.1.103>
6. Schumann, C. Medical, nutritional and technological properties of lactulose. An update / C. Schumann // European Journal of Nutrition. 2002. Vol. 41(1). P. 17–25. <https://doi.org/10.1007/s00394-002-1103-6>
7. Рябцева, С. А. Технология лактулозы / С. А. Рябцева. – М.: ДеЛи принт, 2003. – 232 с.
8. Серов, А. В. Химия и физика лактозы и ее производных / А. В. Серов. – Ставрополь: СевКавГТУ, 2003. – 116 с.
9. Дегтярева, И. И. Дуфалак: Классическое применение и перспективы / И. И. Дегтярева, С. В. Скопиченко. – Киев: Атлант ЮЭМСИ, 2003. – 233 с.
10. Синельников, Б. М. Лактоза и ее производные / Б. М. Синельников [и др.]. – СПб.: Профессия, 2007. – 768 с.
11. Губергриц, Н. Б. Лактулоза - калейдоскоп плейотропных эффектов (обзор литературы и собственные данные) / Н. Б. Губергриц, Н. В. Беляева, Г. М. Лукашевич // Вестник клуба панкреатологов. 2020. № 2(47). С. 89–99. <https://doi.org/10.33149/vkp.2020.02.11>; <https://elibrary.ru/imsmub>
12. Рябцева, С. А. Физиологические эффекты, механизмы действия и применение лактулозы / С. А. Рябцева [и др.] // Вопросы питания. 2020. Т. 89, № 2. С. 6–21. <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2020-10012>; <https://elibrary.ru/tnxhmv>
13. Афанасьев, В. А. Сравнительная оценка клинического, биохимического и морфологического статуса телят на разных стадиях патологического процесса при диспепсии / В. А. Афанасьев, А. А. Эленшлегер // Ветеринарная медицина. 2017. № 4. С. 116–122. <https://elibrary.ru/yjgswp>
14. Широкова, И. Антибиотикотерапия – взгляд специалистов / И. Широкова, И. Сидорова // Ремедиум. 2015. № S13. С. 142–149. <https://elibrary.ru/yftgkz>
15. Капитонова, Э. К. Пребиотики в лечении и профилактике неинфекционных заболеваний / Э. К. Капитонова // Медицинские новости. 2018. № 9. С. 54–57. <https://elibrary.ru/vjvvnv>

**СЫРОДЕЛИЕ
МАСЛОДЕЛИЕ**

**Подписка
на журнал**

podpiska.kemsu@mail.ru

