ВЛИЯНИЕ СОЛЕЙ ЦИНКА НА СВОЙСТВА МОЛОЧНОГО СЫРЬЯ*

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

Анна Александровна Абабкова[1], канд. техн. наук, инженер-химик
Константин Борисович Сухарев[2], генеральный директор
E-mail: kost_yan@mail.ru
Ольга Владимировна Оксененко[2], директор по производству
E-mail: oksenenko@afsv.ru
Алла Львовна Новокшанова[3], д-р техн. наук, доцент, ведущий научный сотрудник
[1]АО «Учебно-опытный молочный завод» Вологодской государственной молочнохозяйственной академии им. Н. В. Верещагина», г. Вологда
[2]ООО «Пятигорский молочный комбинат», г. Пятигорск
[3]Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи, г. Москва

Исследована возможность введения лактата и цитрата цинка в молочное сырье с целью дальнейших разработок обогащенной и специализированной продукции для устранения у населения дефицитных в плане питания состояний. В качестве молочной основы использовали пахту, полученную в производстве сладко-сливочного масла. К пахте добавляли сухое обезжиренное молоко в таком количестве, чтобы в образцах массовая доля белка составляла не менее 5 %. Соли вносили по отдельности в подготовленное молочное сырье, с учетом требований нормативной документации, начиная с 15 % от адекватного уровня потребления, и заканчивая 100 % от верхнего допустимого уровня потребления в сутки. Образцы пастеризовали при температуре (87 ± 2) °С без выдержки. В условиях эксперимента обе соли были хорошо растворимы в молочном сырье. На уровне тенденции установлено, что при добавлении цитрата цинка в исследуемом интервале происходило понижение активной кислотности образцов. При добавлении лактата цинка наблюдали достоверное уменьшение pH по сравнению с контролем, начиная с навески лактата цинка 0,013 г в 100 г молочного сырья, что соответствует 30 % от адекватной суточной потребности в цинке. Титруемая кислотность при добавлении обеих солей была больше, чем это характерно для свежего молока и составляла от 37 до 42 °Т при добавлении лактата цинка и 35 °Т при добавлении цитрата цинка, что объяснимо разной силой кислотных остатков данных солей. Практически неизменная активная кислотность при возрастающей титруемой кислотности доказывает наличие большого запаса буферной емкости систем, которая увеличилась за счет белковой составляющей при внесении сухого обезжиренного молока. Добавление солей не повлияло на органолептические показатели.

Ключевые слова: сухое обезжиренное молоко, пахта, лактат цинка, цитрат цинка, пищевая ценность, органолептические показатели, активная кислотность, титруемая кислотность

Для цитирования: Влияние солей цинка на свойства молочного сырья / А. А. Абабкова, К. Б. Сухарев, О. В. Оксененко, А. Л. Новокшанова // Молочная промышленность. 2024. № 5. С 32–37. https://www.doi.org/10.21603/1019-8946-2024-5-5

ВВЕДЕНИЕ

Биологическая роль цинка проявляется в различных функциях: структурной, регуляторной, каталитической. С наличием цинка в организме связаны обмен белков, нуклеиновых кислот, липидов, углеводов, процессы клеточного дыхания, роста, развития и иммунной защиты организма [1, 2, 3]. Роль цинка в регуляции обмена веществ на уровне организма проявляется в активировании таких гормонов, как адреналин, тестостерон, фолликулин, пролан, антидиуретический и гонадотропный гормоны [1, 4, 5]. Цинк относится к необходимым регуляторам развития и функционирования иммунной системы, поскольку обеспечивает пролиферацию и созревание Т- и В-лимфоцитов, участвует в синтезе В-клеточных антител, фагоцитов и презентации антигенов [6]. Цинк необходим для стабилизации инсулина. В высокоочищенном кристаллическом инсулине содержится 0,36 % цинка. На уровне клетки цинк, как и ряд других двухвалентных металлов, принимает участие в электрофильном катализе в составе металлоэнзимов: дегидрогеназ, пептидаз, фосфатаз и пр.

Всасывание цинка происходит в тонком кишечнике. Известно, что из рациона усваивается примерно 20–40 % цинка, содержащегося в продуктах. При этом биодоступность цинка из растительных продуктов меньше, чем из продуктов животного происхождения. Это объясняется тем, что все злаки и большинство овощей содержат фитин, который может связывать цинк и тем самым снижать его всасывание в кишечнике. К другим компонентам растений, способным связывать цинк и уменьшать его биодоступность, относятся некоторые гемицеллюлозы и комплексы аминокислот с углеводами [7, 8]. В связи с этим у населения могут возникать цинк-дефицитные состояния. Недостаточное потребление цинка может привести к анемии, вторичному иммунодефициту и другим алиментарно-зависимым проблемам. С профилактической целью предлагают биологически-активные добавоки (БАД) к пище, содержащие цинк. В составе БАД, помимо действующего вещества, есть ряд вспомогательных ингредиентов, таких как микро-

*Материал подготовлен в рамках Государственного задания FGMF-2022-0002

кристаллическая целлюлоза, кальциевая или магниевая соли стеариновой кислоты, гидроксипропилметилцеллюлоза, желатин, титана диоксид, что может быть нежелательно для некоторых потребителей.

Для устранения у населения дефицитных в плане питания состояний целесообразно использование обогащенной и специализированной продукции. Хорошим вариантом для создания таких продуктов может стать молочное сырье.

Количества и формы минеральных веществ, разрешенных для использования в составе специализированных пищевых продуктов, регламентированы[1]. В настоящее время наблюдается кумулятивный рост данных о применении различных биологическиактивных веществ при создании специализированной пищевой продукции, в том числе и молочной. Однако методологические подходы, виды используемого сырья и ингредиентов, критерии оценки физико-химических свойств систем, качественные показатели готовых продуктов варьируются в большом диапазоне. Например, в вопросах актуальности разработки молочной продукции, обогащенной цинком, спектр исследований включает изучение содержания цинка и разработку методов определения цинка в исходном сырье [9, 10], выбор методов для анализа дисперсного состояния молока при внесении в него соединений цинка [11] и другие варианты наблюдений. Следовательно, для получения оптимального решения при обогащении молочного сырья цинком требуются дальнейшие исследования и систематизация знаний в этом направлении.

Новизна данного исследования заключается в получении научных данных о технологических параметрах одного из видов молочного сырья при его обогащении лактатом и цитратом цинка. Обе соли разрешены к использованию в производстве специализированной и обогащенной пищевой продукции для любых категорий потребителей, включая детское население. И лактат, и цитрат цинка присутствуют в молочном сырье в нативной форме, однако дополнительное внесение этих ингредиентов может привести к изменению дисперсности системы из-за сдвига солевого равновесия и ионной силы молока-сырья, а в дальнейшем повлиять на ход технологического процесса. В связи с этим в работе поставлена **цель** – исследовать ряд технологических параметров молочного сырья при добавлении в него солей цинка.

Источник изображения: freepik.com

[1]Единые санитарно-эпидемиологические и гигиенические требования к продукции (товарам), подлежащей санитарно-эпидемиологическому надзору (контролю). Утверждены решением Комиссии Таможенного союза № 299 от 28 мая 2010 г.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования служили образцы пахты. Пахта, являясь вторичным молочным сырьем, представляет собой уникальный ресурс с точки зрения пищевой ценности. Помимо низкой жирности, достоинство пахты заключается в концентрировании минорных молочных компонентов, таких как муцины, ксантиноксидаза, бутирофилин и фосфолипиды [12]. Несмотря на это, в практике молокоперерабатывающих предприятий пахту используют, главным образом, для нормализации другого сырья. Пахта была получена в производстве сладко-сливочного масла и соответствовала требованиям стандарта ГОСТ 34354-2017 «Пахта и напитки на ее основе». С целью увеличения пищевой плотности в пахту вносили сухое обезжиренное молоко (СОМ), показатели качества и безопасности которого соответствовали требованиям стандарта на этот вид сырья (ГОСТ 33629-2015 «Консервы молочные. Молоко сухое»). Данные образцы служили контрольными. В опытные образцы вносили соли цинка, соответствующие требованиям, предъявляемым к данным ингредиентам при использовании в специализированной пищевой продукции в ТР ТС 021/2011.

Источник изображения: freepik.com

Все образцы оценивали органолептически, согласно ГОСТ Р ИСО 22935-2-2011. Физико-химический состав определяли на спектрометре ИК-Фурье фирмы Bruker, титруемую кислотность – индикаторным методом, активную кислотность – с помощью pH-метра Hanna HI 2211. Тензиометр KRUSS K-20S использовали для исследования плотности образцов.

Исследования повторяли не менее трех раз. Математическую обработку данных проводили с использованием программного обеспечения Windows 10.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для приготовления образцов пахту нагревали до (55 ± 2) °С, вносили в нее СОМ, непрерывно помешивая до получения однородной консистенции. В опытные образцы также при помешивании вносили по отдельности лактат цинка и цитрат цинка. Затем пробы пастеризовали при температуре (87 ± 2) °С без выдержки. Полученные пробы охлаждали до (4 ± 2) °С.

Расчет количества солей, вносимых в молочное сырье, вели, ориентируясь на адекватный и верхний допустимые уровни потребления. При этом, чтобы продукт служил источником пищевого или биологически активного вещества, в данном случае цинка, его содержание в составе специализированной пищевой продукции должно быть не менее 15 % от суточного адекватного уровня потребления, но не должно превышать верхний допустимый уровень. Расчет количества цинка в составе солей выполнен на основании данных сертификатов соответствия производителей для лактата цинка и трехзамещенного цитрата цинка. Результаты расчета представлены в таблице 1.

Таблица 1
Количество солей, соответствующее определенному уровню потребления

Доля цинка от рекомендуемого в сутки адекватного уровня потребления, %	Масса соли, г	
	Лактат цинка	Цитрат цинка
15	0,007	0,005
30	0,013	0,011
50	0,022	0,018
70	0,031	0,025
100	0,045	0,035
100*	0,092	0,073

* Доля цинка от рекомендуемого в сутки верхнего уровня потребления, %

Источник изображения: freepik.com

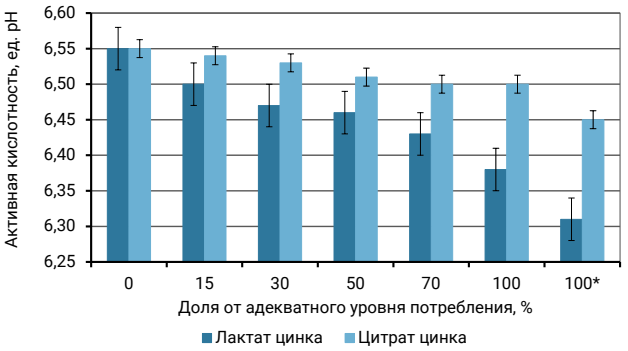
В условиях эксперимента обе соли были хорошо растворимы в молочном сырье. Внесение солей в указанных в таблице количествах не оказало влияния на содержание белка, жира, сухих веществ и плотность опытных образцов, поскольку они не отличались от результатов в контроле (табл. 2).

При исследовании активной и титруемой кислотности выявлен ряд отличий между образцами опытных вариантов. При добавлении цитрата цинка в исследуемом интервале наблюдали незначительное, на уровне тенденции, понижение активной кислотности образцов. При добавлении лактата цинка эта зависимость была более выражена (рис. 1). Достоверное уменьшение pH по сравнению с контролем выявлено, начиная с навески лактата цинка 0,013 г в 100 г молочного сырья, что соответствует 30 % от адекватной суточной потребности в цинке.

Однако, в целом, как видно на диаграмме (рис. 1), активная кислотность опытных образцов, содержащих добавленные соли, была в границах, типичных для свежего молока. Это хорошо согласуется с сенсорной оценкой, результаты которой убедили, что в исследуемом интервале, начиная с 15 % от адекватного уровня потребления, и заканчивая 100 % от верхнего допустимого уровня потребления в сутки, добавление обеих солей не оказало влияния на органолептические показатели молочного сырья. Вкус опытных образцов был чистый, молочный с выраженным привкусом сухого молока, цвет имел светло-желтый оттенок, характерный восстановленному молоку. Как известно, именно активная кислотность является эквивалентом свободных H^+, которые обусловливают восприятие кислого вкуса. Судя по полученным результатам, их количество было сопоставимым с содержанием в свежем молоке, поэтому вкус опытных образцов был чистым молочным без оттенка кислого вкуса, который чувствуется при большой концентрации свободных протонов.

Таблица 2
Некоторые физико-химические показатели опытных образцов

Показатели	Значения
Массовая доля белка, %	5,50 ± 0,06
Массовая доля жира, %	0,33 ± 0,08
Массовая доля сухих веществ, %	17,0 ± 0,4
Плотность, кг/м^3	1069,0 ± 1,0



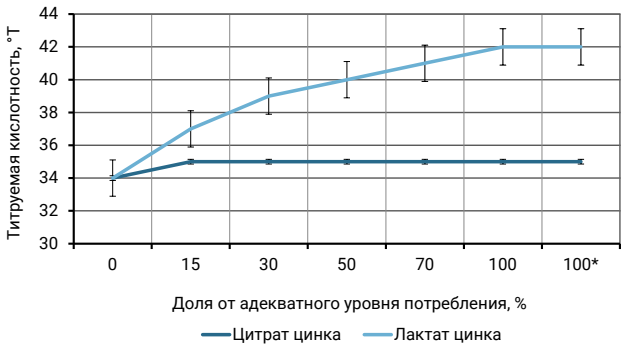
* Доля цинка от рекомендуемого в сутки верхнего уровня потребления, %

Рисунок 1. Зависимость активной кислотности молочного сырья от количества добавленных солей цинка

При этом титруемая кислотность, определяемая как результат нейтрализации всех карбоксильных групп, при добавлении обеих солей была больше, чем это характерно для свежего молока и составляла от 37 до 42 °Т при добавлении лактата цинка и 35 °Т – при добавлении цитрата цинка (рис. 2).

На рисунке 2 также видно, что титруемая кислотность образцов с лактатом цинка выше, чем в образцах с цитратом цинка. Это объяснимо разной силой кислотных остатков данных солей. Лактат с константой диссоциации $1{,}38 \times 10^{-4}$ более сильный кислотообразователь, чем цитрат, константа диссоциации которого на третьей ступени равна $3{,}98 \times 10^{-7}$ [13]. По этой причине использование трехзамещенного цитрата для обогащения молочного сырья цинком может быть более предпочтительным, чем использование лактата цинка.

Источник изображения: freepik.com



* Доля цинка от рекомендуемого в сутки верхнего уровня потребления, %

Рисунок 2. Изменение титруемой кислотности молочного сырья при внесении солей цинка

В совокупности эти данные – сохраняющаяся практически неизменной активная кислотность при возрастающей титруемой кислотности, доказывают наличие большого запаса буферной емкости систем, которая увеличилась за счет белковой составляющей при внесении сухого обезжиренного молока. Буферные свойства сырья особенно важны при изготовлении кисломолочных продуктов, заквасочные микроорганизмы которых активны только в определенном интервале pH.

С точки зрения структуры получаемого кисломолочного сгустка, наличие цитрата также может стать более предпочтительным, чем присутствие добавленного лактата, поскольку соли лимонной кислоты участвуют в формировании казеиновых мицелл [14]. В слабокислой среде более 30 % остатков лимонной кислоты находится в составе комплексных соединений с кальцием, магнием и фосфатами, действуя, как связующее звено между отдельными субмицеллами казеина. При подкислении среды более 90 % цитратов вытесняются в раствор, где могут служить субстратами для ряда молочнокислых микроорганизмов. Известно, что такие мезофилы заквасочных культур, как *L. lactis* ssp. *cremoris*, *L. lactis* ssp. *lactis var. diacetilactis* и рода *Leuconostoc*, синтезируют цитратлиазу [14]. В результате образуются уксусная и щавелевоуксусная кислоты. Последняя, при дальнейшем участии этих микроорганизмов, метаболизируется до диацетила и ацетоина. Следовательно, в случае производства кисломолочных продуктов цитрат цинка может быть задействован в синтезе ароматических соединений, что важно для формирования флейвора готового продукта.

ВЫВОДЫ

Путем использования стандартных и общепринятых в технологии молочных продуктов методов (измерения активной и титруемой кислотности) установлено, что цитрат цинка более предпочтителен для обогащения пахты цинком, чем лактат.

Исследования физико-химических свойств молочного сырья, в зависимости от вносимых с целью его обогащения пищевых или биологически активных веществ, планируется продолжать. ■

Источник изображения: freepik.com

EFFECT OF ZINC SALTS ON DAIRY RAW MATERIALS

Anna A. Ababkova[1], **Konstantin B. Sukharev**[2], **Olga V. Oksenenko**[2], **Alla L. Novokshanova**[3]
[1]Experimental Dairy Plant, Vologda State Dairy Academy, Vologda
[2]Pyatigorsk Dairy Plant, Pyatigorsk
[3]Federal Research Centre of Nutrition, Biotechnology, and Food Safety, Moscow

ORIGINAL ARTICLE

Functional dairy products fortified with zinc lactate and zinc citrate can eliminate nutritional deficiencies in human diet. This research featured buttermilk obtained as a by-product of sweet butter. It was combined with skimmed milk powder to provide 5% protein mass fraction. Salts were added separately, from 15% recommended intake to 100% permissible daily consumption. The resulting experimental samples underwent pasteurization at (87 ± 2) °C without exposure. Both salts proved highly soluble in buttermilk. Zinc citrate tended to reduce the active acidity of the samples whereas zinc lactate caused a significant pH decrease, starting with 0.013 g per 100 g buttermilk, which corresponded to 30% recommended daily zinc intake. Both salts raised the titrated acidity, but as their acid residues had different properties, this variable was 37-42 °T in the samples with zinc lactate and 35 °T in the samples with zinc citrate. The active acidity remained almost the same as titrated acidity grew, which means that the protein component in the skimmed milk powder increased the buffer capacity of the systems. However, neither zinc lactate nor zinc citrate affected the sensory properties of the experimental products.

Keywords: skimmed milk powder, buttermilk, zinc lactate, zinc citrate, nutritional value, sensory properties, active acidity, titrated acidity

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Трисветова, Е. Л.** Роль цинка в жизнедеятельности человека / Е. Л. Трисветова // Медицинские новости. 2021. № 9 (324). С. 37–42. https://www.elibrary.ru/cifxml
2. **Sanders, J. M.** Pharmacologic Treatments for Coronavirus Disease 2019 (COVID-19). A Review. / J. M. Sanders [et al.] // Journal of the American Medical Association. 2020. Vol. 323(18). P. 1824–1836. https://doi.org/10.1001/jama.2020.6019
3. **Громова, О. А.** Важность цинка для поддержания активности белков врожденного противовирусного иммунитета: анализ публикаций, посвященных COVID-19 / О. А. Громова, И. Ю. Торшин // Профилактическая медицина. 2020. Т. 23, № 3. С. 131–139. https://doi.org/10.17116/ profmed202023031131; https://www.elibrary.ru/mbejdo
4. **King, J. C.** Zinc Homeostasis in Humans / J. C. King [et al.] // The Journal of Nutrition. 2000. Vol. 130(5). P. 1360–1365. https://doi.org/10.1093/jn/130.5.1360S
5. **Scalny, A. V.** Chapter Eight – Zinc / A. V. Scalny [et al.] // Advances in Food and Nutrition Research. 2021. Vol. 96. P. 251–310. https://doi.org/10.1016/bs.afnr.2021.01.003
6. **Jarosz, M.** Antioxidant and anti-inflammatory effects of zinc. Zinc-dependent NF-κB signaling / M. Jarosz [et al.] // Inflammopharmacology. 2017. Vol. 25(1). P. 11–24. https://doi.org/10.1007/s10787-017-0309-4
7. **Новокшанова, А. Л.** Биогенное действие и источники минеральных элементов в питании спортсменов: Монография / А. Л. Новокшанова. – Вологда, 2014. – 115 с.
8. **Лысиков, Ю. А.** Роль и физиологические основы обмена макро- и микроэлементов в питании человека / Ю. А. Лысиков // Экспериментальная и клиническая гастроэнтерология. 2009. № 2. С. 120–131. https://www.elibrary.ru/mvahft
9. **Красовская, М. А.** Содержание цинка, меди, кадмия и свинца в молочных смесях и грудном молоке жительниц г. Омска / М. А. Красовская // Вестник Уральского государственного медицинского университета. № 1. 2019. С. 49–51.
10. **Матюшкина, Ю. И.** Ионометрическое определение цинка в молоке / Ю. И. Матюшкина, А. А. Шабарин // Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология. 2019. Т. 62, № 10. С. 70–75. https://doi.org/10.6060/ivkkt.20196210.5912; https://www.elibrary.ru/durjvu
11. **Блинов, А. В.** Разработка технологии обогащения молочной продукции коллоидной формой эссенциального микроэлемента цинка: дис. ... канд. техн. наук: 05.18.04 / Блинов Андрей Владимирович. – Ставрополь, 2019. – 231 с.
12. **Вышемирский, Ф. А.** Пахта: минимум калорий - максимум биологической ценности / Ф. А. Вышемирский, Н. Н. Ожгихина // Молочная промышленность. 2011. № 9. С. 54–56. https://www.elibrary.ru/oewxxn
13. **Лурье, Ю. Ю.** Справочник по аналитической химии / Ю. Ю. Лурье. – М.: Книга по Требованию, 2012. – 440 с.
14. **Тепел, А.** Химия и физика молока / А. Тепел. – СПб.: Профессия, 2012. – 832 с.