УДК 616-003.725:637.138 https://doi.org/ 10.21603/1019-8946-2024-1-1

# ИННОВАЦИОННЫЕ ФОРМЫ ЭССЕНЦИАЛЬНОГО МИКРОЭЛЕМЕНТА ЖЕЛЕЗА ДЛЯ ОБОГАЩЕНИЯ МОЛОЧНЫХ ПРОДУКТОВ*

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

**Андрей Владимирович Блинов**, канд. техн. наук, доцент кафедры
**Алексей Борисович Голик**, ассистент кафедры
**E-mail**: lexgooldman@gmail.com
**Алексей Алексеевич Гвозденко**, ассистент кафедры
**Александр Владимирович Серов**, д-р техн. наук, доцент, профессор кафедры
**Зафар Абдулович Рехман**, ассистент кафедры
Северо-Кавказский федеральный университет, г. Ставрополь

Цель работы – разработка методики синтеза биологически активных комплексов аскорбиновой кислоты, микроэлемента железа и незаменимых аминокислот (L-лизин, L-фенилаланин, L-изолейцин, L-триптофан, L-метионин, L-валин, L-треонин, L-лейцин) для обогащения молочных продуктов. Проведено компьютерное моделирование строения комплексов, определено оптимальное взаимодействие компонентов. Результаты исследования показали, что наиболее выраженной антиоксидантной активностью обладает комплекс аскорбиновой кислоты, эссенциального микроэлимента железа и аминокислоты L-триптофан.

**Ключевые слова**: молоко, обогащение, микроэлемент, железо, витамин, аминокислота, антиоксидантная активность

**Для цитирования**: Инновационные формы эссенциального микроэлемента железа для обогащения молочных продуктов / А. В. Блинов [и др.] // Молочная промышленность. 2024. № 1. С. 36–39. https://doi.org/ 10.21603/1019-8946-2024-1-1

## ВВЕДЕНИЕ

Известно, что здоровье и микроэлементный профиль населения напрямую зависит от потребления продуктов питания [1–3]. Например, в южных регионах высокий объем производства фруктов, овощей и мяса сельскохозяйственных животных, а Дальний Восток богат морепродуктами [4–7]. Поэтому жители прибрежных регионов не испытывают дефицита йода и фосфора, но нуждаются в таких эссенциальных микроэлементах как железо, марганец и медь. В частности, в Краснодарском крае наблюдается дефицит меди и марганца [8]. Жители регионов центральной России наоборот нуждаются в йоде и цинке. Известно, что в Республике Тыва частота йоддефицитного зоба составляет 64 до 80 % [9]. Один из способов регуляции количества нутриентов в рационе населения – обогащение продуктов питания эссенциальными микроэлементами [8–11].

Одним из наиболее перспективных продуктов для обогащения является молоко. По соотношению количества питательных веществ к единице объема, молоко – один из самых востребованных продуктов питания, богатый белком, фосфором и кальцием [14–16]. Также молоко представляет собой сложную коллоидную систему, что делает его уникальным функциональным продуктом с высокой биоусвояемостью.

Источник изображения: Freepik.com

*Исследование выполнено за счет гранта Российского Научного Фонда № 22-76-00029, https://rscf.ru/project/22-76-00029/

**Целью исследования** являлась разработка инновационных форм эссенциального микроэлемента железа для обогащения молочных продуктов. Основными задачами исследования стали синтез биологически активных комплексов аскорбиновой кислоты, микроэлемента железа и незаменимых аминокислот, а также обогащение молока и исследование его свойств.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для получения инновационных форм микроэлемента железа использовали сульфат железа, аскорбиновую кислоту, гидроксид бария и аминокислоты – валин, лейцин, изолейцин, треонин, метионин, триптофан, лизин и фенилаланин.

Синтез аскорбатоизолейцината железа (II) проводили с использованием следующих реактивов: L-валин, L-лейцин, L-изолейцин, L-треонин, L-метионин, L-триптофан, L-лизин и L-фенилаланин (ч., PanReac Applichem, Германия), аскорбиновая кислота (ч. д. а., «ЛенРеактив», Россия), гидроксид бария и сульфат железа (ч. д. а., «ИНТРЕРХИМ», Россия). На первом этапе смешивали аминокислоту с аскорбиновой кислотой в мольном соотношении 1:1. Далее к системе добавляли гидроксид бария, сульфат железа (II) и дистиллированную воду. Полученный образец отмывали методом центрифугирования при 3000 об/мин в течение 5 мин в трехкратной повторности. Процесс синтеза представлен на рисунке 1.

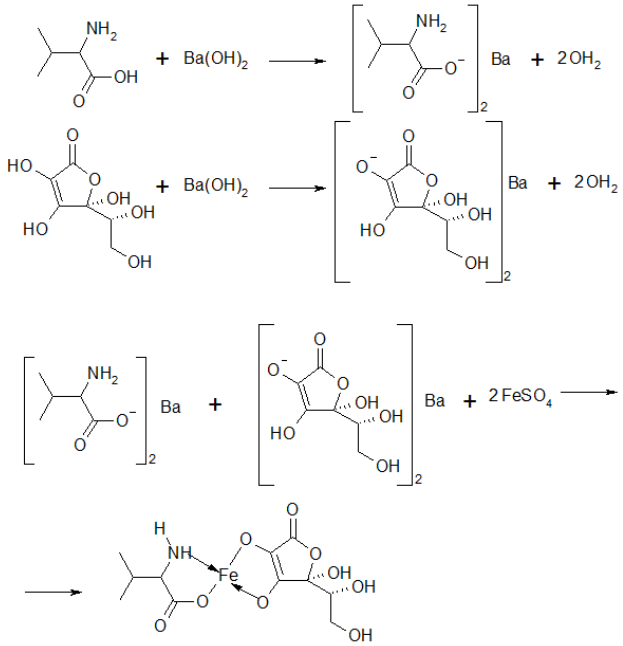


Рисунок 1. Схема синтеза инновационных форм эссенциального микроэлемента железа

Источник изображения: Freepik.com

Для исследования процесса комплексообразования применялось компьютерное квантово-химическое моделирование с использованием ПО Q-Chem с молекулярным редактором IQmol [17].

Для оценки влияния инновационных форм микроэлемента железа на дисперсную систему молока путем исследования антиоксидантной активности обогащенного продукта в 100 мл молока с жирностью 2,5 % добавляли 0,25 мл образца разработанных комплексов эссенциального микроэлемента железа [18].

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате исследования разработанной в рамках работы инновационных форм микроэлемента железа получены компьютерные модели процесса образования комплекса. На рисунке 2 представлена модель аскорбатоизолейцината железа и его структурная формула.

Данные полученные в ходе исследования антиоксидантной активности молока, обогащенного инновационными формами микроэлемента железа, представленны в таблице.

В результате компьютерного квантово-химического моделирования определены оптимальные модели взаимодействия компонентов аскорбиновой кислоты, микроэлемента железа и незаменимых аминокислот. Таким образом, наиболее оптимальное взаимодействие аминокислот с аскорбиновой кислотой и железом происходит через карбоксильную группу и $\varepsilon$-аминогруппу аминокислоты, $C_3$ и $C_5$ атомы аскорбиновой кислоты. Интервал энергии рассматриваемых молекулярных систем в зависимости от аминокислоты и изменяется от –2735,82

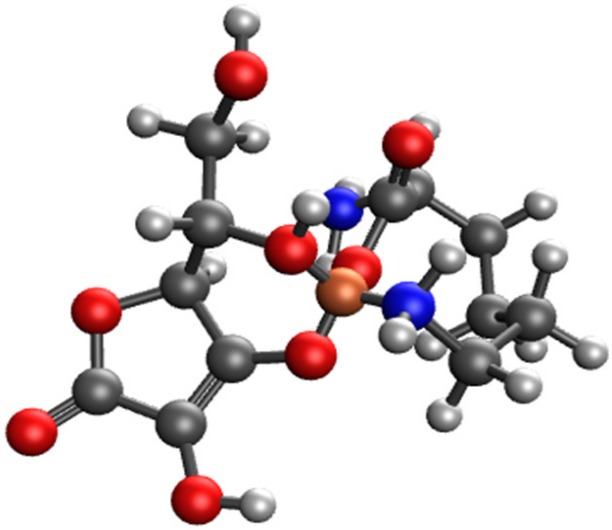

Рисунок 2. Компьютерная модель молекулы комплекса аскорбиновой кислоты, железа и аминокислоты L-лизина

до –2338,12 ккал/моль, химическая жесткость изменяется от 0,058 до 0,109 эВ. Компьютерное моделирование позволяет получить информацию о строении вещества, физико-химических свойствах, стабильности при различных параметрах. Это значительно упрощает и дополняет результаты, полученные с помощью таких методов, как ИК-спектроскопия, спектрофотометрия, рентгенофазовый анализ и т. д. Также это позволяет проверить сходимость экспериментальных данных с теоретическими.

Исследование антиоксидантной активности молока, обогащенного инновационными формами микроэлемента железа показало, что наибольшей антиоксидантной активностью обладает комплекс аскорбиновой кислоты, микроэлемента железа и аминокислоты L-триптофан, антиоксидантнаяактивность составляет 0,92 мМ троллокс.

**Таблица**
**Результаты исследования антиоксидантной активности молока, обогащенного инновационными формами железа**

| Комплекс аскорбиновой кислоты с железом и аминокислотой | Оптическая плотность холостого образца, отн. ед. | Оптическая плотность опытного образца, отн. ед. | Активность, отн. ед. | Активность, % | Активность в троллоксах, мМ троллокс |
|---|---|---|---|---|---|
| Лизин | 0,700 | 0,638 | 0,0886 | 17,7 | 0,66 |
| Фенилаланин | 0,694 | 0,609 | 0,1225 | 24,5 | 0,92 |
| Изолейцин | 0,697 | 0,628 | 0,0990 | 19,8 | 0,74 |
| Триптофан | 0,707 | 0,645 | 0,0877 | 17,5 | 0,66 |
| Метионин | 0,697 | 0,645 | 0,0746 | 14,9 | 0,56 |
| Валин | 0,704 | 0,645 | 0,0838 | 16,8 | 0,63 |
| Треонин | 0,702 | 0,652 | 0,0712 | 14,2 | 0,53 |
| Стандарт | 0,727 | 0,533 | 0,2669 | 26,7 | 1,00 |

## ВЫВОДЫ

В результате исследования разработана методика получения инновационных форм микроэлемента железа – тройных комплексов аскорбиновой кислоты, эссенциального микроэлемента железа и незаменимых. В рамках компьютерного квантово-химического моделирования установлены оптимальные способы координирования компонентов. На следующем этапе проведено обогащение молока жирностью 2,5 % разработанными инновационными формами микроэлемента железа. Исследована антиоксидантная активность образцов молока, установлено, что наибольшим значением обладает комплекс аскорбиновой кислоты, железа и аминокислоты триптофан – активность составляет 0,92 мМ тролокса. На основании полученных данных можно сделать вывод, что включение в состав молока разработанных комплексов аскорбиновой кислоты, железа и незаменимых аминокислот потенциально способно оказывать положительное влияние на общий антиоксидантный статус организма человека. Разработанный комплекс потенциально способен проявлять консервирующее действие, что может увеличить хранимоспособность молочного продукта. ■

## INNOVATIVE FORMS OF IRON AS ESSENTIAL TRACE ELEMENT IN DAIRY FORTIFICATION

**Andrey V. Blinov, Alexey B. Golik, Alexander V. Serov, Alexey A. Gvozdenko, Zafar A. Rekhman**
North Caucasus Federal University, Stavropol

ORIGINAL ARTICLE

This article introduces a new method for fortification of dairy products. It is based on a synthesis of biologically active complexes of ascorbic acid, trace iron, and such essential amino acids as lysine, phenylalanine, isoleucine, tryptophan, methionine, valine, and threonine. The computer modeling of the complex structure made it possible to define the optimal interaction parameters of the formulation components. The complex of ascorbic acid, iron, and tryptophan demonstrated the most potent antioxidant activity.

**Keywords**: milk, fortification, microelement, iron, vitamin, amino acid, antioxidant activity

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Просянникова, О. И.** Концентрация микроэлементов в пахотных почвах Кемеровской области / О. И. Просянникова, В. И. Просянников В. // Агрохимический вестник. 2012. №. 2. С. 8–11.
2. **Евстафьева, Е. В.** Обеспеченность селеном городских жителей на территории Крымского полуострова / Е. В. Евстафьева [и др.] // Гигиена и санитария. 2021. Т. 100. №. 2. С. 147–153. https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-2-147-153
3. **Дегтярева, Т. В.** Особенности трансформации микроэлементного состава почв города Ставрополя под влиянием урбогенеза / Т. В. Дегтярева // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. 2023. №. 1 (217). С. 49–60. https://doi.org/10.18522/1026-2237-2023-1-49-60
4. **Сокол, Э. В.** Микроэлементный состав нефролитов как маркер воздействия окружающей среды на человека / Э. В. Сокол [и др.] // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2007. №. 2. С. 151–163.
5. **Агаджанян, Н. А.** Сравнительный анализ содержания макро и микроэлементов в волосах детей и подростков, проживающих в южных и северных регионах России / Н. А. Агаджанян [и др.] // Новые технологии. 2011. №. 3. С. 175–179.
6. **Катола, В. М.** Элементный портрет здоровых жителей Благовещенска / В. М. Катола // Вопросы геологии и комплексного освоения природных ресурсов Восточной Азии. Пятая Всероссийская научная конференция с международным участием. 2018. С. 120.
7. **Таловская, В. С.** Особенности микроэлементного состава волос детского населения Приамурья / В. С. Таловская, Ю. А. Форина // Дальневосточный медицинский журнал. 2002. №. 3. С. 22–26.
8. **Текуцкая, Е. Е.** Мониторинг врожденных пороков развития челюстно-лицевой области в условиях неблагоприятного воздействия факторов окружающей среды / Текуцкая Е. Е., Гусарук Л. Р. // Экология человека. 2013. №. 5. С. 18–23.
9. **Баканов, К. Б.** Йодный дефицит как гетерогенное полиэтиологическое состояние человека / Баканов, К. Б. [и др.] // Экология человека. 2006. №. 6. С. 18–24.
10. **Мазуренко, Е. А.** Высокие технологии обогащения химического состава пищевых продуктов эссенциальными компонентами / Е. А. Мазуренко [и др.] // Наука и инновации – современные концепции. М.: Инфинити, 2020. С. 112–117.
11. **Голик, А. Б.** Разработка элементосбалансированного комплекса лизинаторибофлавината с эссенциальными микроэлементами / А. Б. Голик [и др.] // Инновационное развитие аграрно-пищевых технологий: Материалы международной научно-практической конференции, Волгоград, 17–18 июня 2021 года. Под общей редакцией И. Ф. Горлова. – Волгоград: Общество с ограниченной ответственностью «СФЕРА», 2021. – С. 211.
12. **Игнатьева, Н. Л.** Содержание и структура белка в молоке коров-дочерей быков отечественной и импортной селекции / Н. Л. Игнатьева // Передовые достижения науки в молочной отрасли. 2019. С. 216–221.
13. **Ельчанинов, В. В.** Жировые глобулы молока: структура и белковый состав / В. В. Ельчанинов // Сыроделие и маслоделие. 2010. №. 4. С. 54–56.
14. **Розанова, Т. П.** Рынок молока и молочной продукции России: тенденции и перспективы / Т. П. Розанова, А.-Н. Д. Магомедов // Вестник Российского экономического университета им. ГВ Плеханова. 2013. №. 2 (56). С. 45–54.
15. **Гвозденко, А. А.** Квантово-химическое моделирование типа координирования марганца с витамином $B_2$ и незаменимыми аминокислотами / А. А. Гвозденко [и др.] // Современная наука и инновации. 2023. №. 4. С. 58–67. https://doi.org/10.37493/2307-910X. 2022.4.6
16. **Rzhepakovsky, I.** Anti-arthritic effect of chicken embryo tissue hydrolyzate against adjuvant arthritis in rats (X-ray microtomographic and histopathological analysis) / I. Rzhepakovsky [et al.] // Food Science & Nutrition. 2021. V. 9. №. 10. P. 5648–5669. https://doi.org/10.1002/fsn3.2529