УДК 613.292: 637.138 https://doi.org/10.21603/1019-8946-2024-5-1

МОДИФИКАЦИЯ КИСЛОМОЛОЧНЫХ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ СЕЛЕНСОДЕРЖАЩИМИ НАНОРАЗМЕРНЫМИ СИСТЕМАМИ*

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

Зафар Абдулович Рехман, ассистент кафедры физики и технологии наноструктур и материалов физико-технического факультета
E-mail: zafrehman1027@gmail.com
Анастасия Александровна Блинова, канд. техн. наук, доцент кафедры физики и технологии наноструктур и материалов
Алексей Борисович Голик, ассистент кафедры физики и технологии наноструктур и материалов
E-mail: lexgooldman@gmail.com
Алина Салмановна Аскерова, студентка
Екатерина Дмитриевна Назаретова, студентка
Андрей Владимирович Блинов, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры физики и технологии наноструктур и материалов
Северо-Кавказский федеральный университет, г. Ставрополь

Разработана методика синтеза селенсодержащих наноразмерных систем, стабилизированных биологически активными веществами. В качестве стабилизатора был выбран бычий сывороточный альбумин, селенсодержащим прекурсором являлась селенистая кислота, а восстановителем – аскорбиновая кислота. Проводили фотонно-коррелляционную спектроскопию, установили, что средний гидродинамический радиус составляет 40 нм. В результате физико-химического анализа было установлено, что разрабатываемая добавка не оказывает существенного влияния на титруемую кислотность и активную кислотность среды, однако влияет на органолептические показатели кисломолочного продукта. Дегустационная оценка показала, что органолептические свойства кисломолочного продукта с добавкой наноразмерного селена выше, чем у контрольного образца.

Ключевые слова: кисломолочный продукт, селен, обогащение, дефицит микроэлементов, титруемая кислотность, сквашивание

Для цитирования: Модификация кисломолочных продуктов питания селенсодержащими наноразмерными системами / З. А. Рехман, А. А. Блинова, А. Б. Голик [и др.] // Молочная промышленность. 2024. № 5. С 22–25. https://www.doi.org/10.21603/1019-8946-2024-5-1

Источник изображения: unsplash.com

ВВЕДЕНИЕ

Селен является незаменимым микроэлементом в организме человека [1]. Он фигурирует в естественном синтезе селенопротеинов, участвующих в антиоксидантной системе[1]. При недостаточном потреблении селена повышается уровень свободных радикалов в клетке, что приводит к ее гибели. Низкий уровень селена способствует развитию раковых клеток [2].

Основным источником селена растительного и животного происхождения является селенсодержащая аминокислота – селенометионин. Искусственное обеспечение организма селеном обеспечивается благодаря таким пищевым добавкам как селениты и селенаты натрия, а также органическим соединениям селена микробиального происхождения [3, 4].

Экспериментальным путем было доказано взаимодействие селенита с окисляющими сульфгидрильными группами, в результате которого образуются дисульфиды и нестабильное соеди-

* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-16-00120, https://rscf.ru/project/23-16-00120

[1]Пономарева, Е. А. Влияние дефицита и избытка селена на организм человека / Е. А. Пономарева, Н. Ю. Русецкая // Young people and science: results and perspectives. Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции студентов и молодых ученых с международным участием. Саратов: Саратовский государственный медицинский университет им. В. И. Разумовского, 2023. С. 165. https://elibrary.ru/ssyexc

нение, содержащее связи –S–Se–S–. Окисление тиолов приводит к образованию супероксид-радикала, что доказывает токсичное воздействие селенитов на организм человека[2].

Наночастицы селена, по сравнению с его неорганической формой, проявляют антиоксидантную активность, обладают большей биодоступностью и меньшей токсичностью [5, 6], однако для сохранения данных эффектов нуждаются в стабилизации [7, 8]. Наноразмерная форма селена обладает потенциальной антибактериальной активностью, а также может использоваться в качестве пищевой добавки для восполнения дефицита эссенциального микроэлемента селена [9, 10].

Целью данной работы является разработка наноразмерной формы селена и модификация кисломолочных продуктов питания селенсодержащими наноразмерными системами.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для получения биологически доступной формы наноразмерного селена использовали метод химического восстановления в водной среде. В качестве стабилизатора использовался бычий сывороточный альбумин (ч.д.а., Диаэм, г. Санкт-Петербург). Прекурсором являлась селенистая кислота (ч.д.а., ИНТРЕРХИМ, г. Санкт-Петербург), а восстановителем – аскорбиновая кислота (ч.д.а., ИНТРЕРХИМ, г. Санкт-Петербург).

Синтез образцов наночастиц селена, стабилизированных бычьим сывороточным альбумином, проводили следующим образом: в 100 см^3 0,036 М раствора селенистой кислоты растворяли 0,0804 г бычьего сывороточного альбумина. На втором этапе готовили 0,088 М раствор восстановителя путем растворения 0,773 г аскорбиновой кислоты в 50 см^3 дистиллированной воды. На третьем этапе в раствор селенистой кислоты и стабилизатора при интенсивном перемешивании (500 об/мин) добавляли раствор аскорбиновой кислоты и перемешивали полученный образец в течение 5–10 минут. Синтез проводили при постоянной температуре и перемешивании. Полученные образцы исследовали методом фотонно-корреляционной спектроскопии на приборе PhotocorComplex (ООО «Антек-97», Российская Федерация).

В ходе модификации принципа обогащения молока биологически активной наноразмерной формой селена использовалось молоко жирностью 3,2 % производства АО Молочный комбинат «Ставро-

Источник изображения: unsplash.com

[2]Салимова, Х. А. Биологическая активность и токсичность соединений селена / Х. А. Салимова, Н. Ю. Русецкая // Week of Russian science (WeRuS-2023). Сборник материалов XII Всероссийской недели науки с международным участием, посвященной Году педагога и наставника. Саратов: Саратовский государственный медицинский университет имени В. И. Разумовского, 2023. С. 241–242. https://elibrary.ru/nrqxsb

польский» [11]. Исследование сквашивания молока, обогащенного наночастицами селена, стабилизированными бычьим сывороточным альбумином, проводили с применением культуры *Lactobacillus acidophilus*. Для приготовления лабораторной закваски использовали 1 литр цельного молока, предварительно стерилизованного при 120 °С в течение 20 минут. Далее молоко охладили до температуры 39 °С. Внесли 0,5 г заквасочной культуры. Заквашенное молоко инкубировали в термостатах при температуре 39 °С. Заквасочный сгусток образовался через 20 ч, после чего его охладили и хранили при 4–6 °С до дальнейшего использования.

Исследования органолептических свойств проводили в соответствии с ГОСТ 28283-15 «Молоко коровье. Метод органолептической оценки запаха и вкуса», ГОСТ Р ИСО 22935-2-2011 «Молоко и молочные продукты. Органолептический анализ». Активную кислотность среды определяли на pH-метре-(иономере) «Эксперт-001» (завод-производитель ООО «Эконикс-Эксперт», Россия). Титруемую кислотность кисломолочного продукта определяли титриметрическим методом согласно ГОСТ 3624-92. Исследование вязкости проводили методом ротационной вискозиметрии на приборе IKA ROTAVISC lo-vi.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На начальном этапе исследования с использованием метода химического восстановления в водной среде получены наночастицы селена, стабилизированные бычьим сывороточным альбумином.

На рисунке 1 представлена гистограмма образца наночастиц селена, стабилизированных бычьим сывороточным альбумином. В результате проведения спектроскопии динамического рассеяния света установлено, что средний гидродинамический радиус образцов наночастиц селена составляет 40 нм, а распределение по размеру является мономодальным.

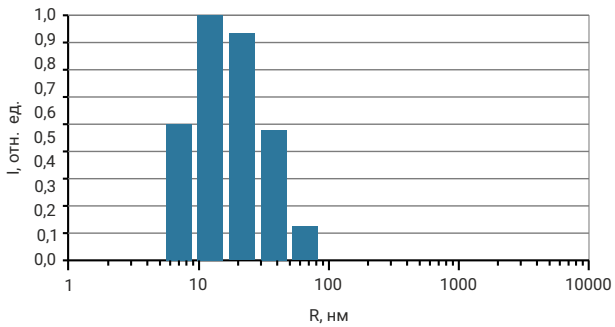

Рисунок 1. Гистограмма распределения гидродинамического радиуса наночастиц селена, стабилизированных бычьим сывороточным альбумином

В ходе модификации принципа обогащения молока биологически активной наноразмерной формой селена получили два образца кисломолочного продукта: контрольный без добавления наночастицами селена и опытный с наночастицами селена, стабилизированными бычьим сывороточным альбумином (рис. 2). Результаты исследования физико-химических показателей полученных образцов представлены в таблице.

Исследование влияния селенсодержащей добавки на физико-химические параметры кисломолочного продукта показало, что добавка не оказывает значимого влияния на активную кислотность и титруемую кислотность среды. Наблюдается несущественное изменение pH с 4,48 до 4,43, а понижение титруемой кислотности со 115 до 105 °Т не является критическим и соответствует норме. Повышение вязкости до 886 мПа·с, предположительно, обусловлено наличием на поверхности наночастиц селена бычьего сывороточного альбумина, который вступает во взаимодействие с белками молока. Тем самым, наличие альбумина служит фактором увеличения элементов структуры при сквашивании молока, обогащенного селенсодержащей добавкой.

Таблица
Результаты физико-химических исследований

Образец	Активная кислотность среды, ед. pH	Титруемая кислотность среды, °Т	Вязкость, мПа·с
Контроль	4,48	115	525
Опытный	4,43	105	886

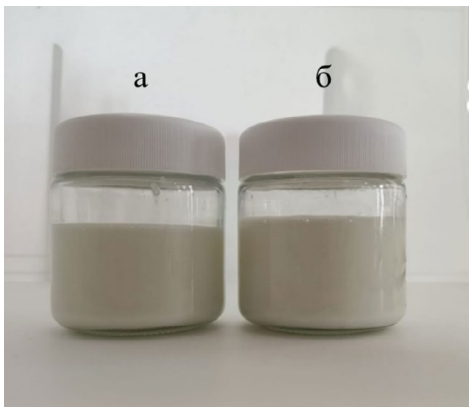

Рисунок 2. Образцы кисломолочного продукта: контрольный (а) и опытный (б)

По результатам органолептической оценки (рис. 3) опытный образец (оценка 4,5 балла) отличался от контрольного (оценка 3,8 балла). По внешнему виду, запаху и аромату, консистенции образцы характеризовались наличием комочков, сливочным цветом, кислым запахом и вкусом, комковатой, текучей структурой.

ВЫВОДЫ

В данной работе был проведен синтез наночастиц селена, стабилизированных бычьим сывороточным альбумином, а также модификация кисломолочного продукта наночастицами селена, стабилизированными бычьим сывороточным альбумином. Для получения наночастиц использовали метод химического восстановления в водной среде, средний гидродинамический радиус образцов составил 40 нм. В результате исследования физико-химических параметров кисломолочного продукта установлено, что разработанный продукт с селенсодержащей добавкой не отличается от контрольного образца. Результаты органолептической оценки образцов показали, что показатели опытного продукта выше, чем у контрольного. Таким образом, разработанная селенсодержащая система может применяться как эффективная добавка для молока и молочных продуктов. ■

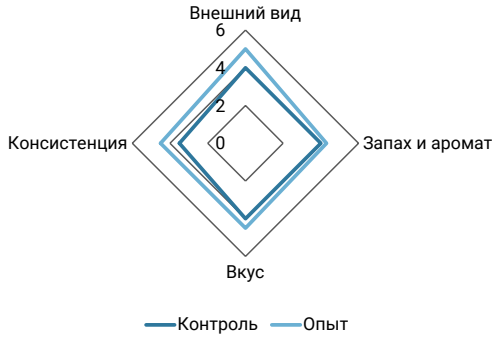

Рисунок 3. Органолептическая оценка образцов

MODIFYING FERMENTED DAIRY PRODUCTS WITH SELENIUM-BASED NANOSYSTEMS

Zafar A. Rekhman, Anastasia A. Blinova, Alexey B. Golik, Alina S. Askerova, Ekaterina D. Nazaretova, Andrey V. Blinov
North-Caucasian Federal University, Stavropol

ORIGINAL ARTICLE

The article introduces a new method of synthesizing selenium-based nanosystems stabilized by biologically active substances. Bovine serum albumin served as the stabilizer with selenic acid as the precursor and ascorbic acid as the reducing agent. The method of photon correlation spectroscopy demonstrated the average hydrodynamic radius of 40 nm. The physicochemical analysis revealed no significant effect on the titratable or active acidity of the medium. However, the additive improved the sensory profile of the final fermented product.

Keywords: fermented dairy product, selenium, fortified food, micronutrient deficiency, titratable acidity, fermentation

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Бубнова, Н. В.** Биологическая роль селена (обзор литературы) / Н. В. Бубнова, Н. Ю. Тимофеева, О. Ю. Кострова, [и др.] // Acta Medica Eurasica. 2023. №. 2. С. 114–123. https://doi.org/10.47026/2413-4864-2023-2-114-123; https://elibrary.ru/gpwvyw
2. **Sayehmiri, K.** The association between Selenium and Prostate Cancer: a Systematic Review and Meta–Analysis / K. Sayehmiri [et al.] // Asian Pacific journal of cancer prevention. 2018. Vol. 19. № 6. P. 1431–1437. https://doi.org/10.22034/apjcp.2018.19.6.1431
3. **Kieliszek, M.** Selenium as in important factor in various disease states – a review / M. Kieliszek, I. Bano // EXCLI Journal. 2022. Vol. 5. № 21. P. 948–966. https://doi.org/10.17179 %2Fexcli2022-5137
4. **Okladnikova, E. V.** Features of metabolism and spectrum of action of Selenium, possibilities of application of Selene-containing food supplements under SARS-CoV-2 pandemic conditions / E. V. Okladnikova [et al.] // Questions of Biological, Medical and Pharmaceutical Chemistry. 2022. Vol. 25. №. 3. P. 23–33. https://doi.org/10.29296/25877313-2022-03-04
5. **Yu, B.** Positive surface charge enhances selective cellular uptake and anticancer efficacy of selenium nanoparticles. / B. Yu [et al.] // Inorganic chemistry. 2012. Vol. 51. № 16. P. 8956–8963. https://doi.org/10.1021/ic301050v
6. **Zhang, J. S.** Biological effects of a nano red elemental selenium. / J. S. Zhang [et al.] // Biofactors. 2001. Vol. 15. № 1. P. 27–38. https://doi.org/10.1002/biof.5520150103
7. **Blinov, A. V.** Synthesis and characterization of selenium nanoparticles stabilized with cocamidopropyl betaine / A. V. Blinov [et al.] // Scientific Reports. 2022. Vol. 12. № 1. P. 21975. https://doi.org/10.1038/s41598-022-25884-x
8. **Blinov, A. V.** Investigation of the Effect of Dispersion Medium Parameters on the Aggregative Stability of Selenium Nanoparticles Stabilized with Catamine AB / A. V. Blinov [et al.] // Micromachines. 2023. Vol. 14. № 2. P. 433. https://doi.org/10.3390/mi14020433
9. **Blinova, A.** Synthesis, Characterization and Potential Antimicrobial Activity of Selenium Nanoparticles Stabilized with Cetyltrimethylammonium Chloride / A. A. Blinova [et al.] // Nanomaterials. 2023. Vol. 13. № 24. P. 3128. https://doi.org/10.3390/nano13243128
10. **Garza-García, J. J.** The role of selenium nanoparticles in agriculture and food technology / J. J. Garza-García [et al.] // Biological Trace Element Research. 2022. Vol. 200. P. 2528–2548. https://doi.org/10.1007/s12011-021-02847-3
11. **Храмцов, А. Г.** Обогащение молочных продуктов биологически активными формами селена / А. Г. Храмцов, А. В. Серов, А. В. Блинов [и др.] // Молочная промышленность. 2023. № 6. С. 49–51. https://doi.org/10.21603/1019-8946-2023-6-13, https://www.elibrary.ru/lneulf