

ВЛИЯНИЕ НАНОЧАСТИЦ СЕЛЕНА НА ОРГАНОЛЕПТИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ И ХРАНИМОСПОСОБНОСТЬ КИСЛОМОЛОЧНОГО НАПИТКА*

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

Андрей Владимирович Блинов, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры физики и технологии наноструктур и материалов
Иван Алексеевич Евдокимов, д-р техн. наук, чл.-корр. РАН, профессор, заведующий базовой кафедрой технологии молока и молочных продуктов
Алексей Дмитриевич Лодыгин, д-р техн. наук, доцент, заведующий кафедрой прикладной биотехнологии, главный научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории пищевой и промышленной биотехнологии
Зафар Абдулович Рехман, ассистент кафедры физики и технологии наноструктур и материалов физико-технического факультета
E-mail: zafrehman1027@gmail.com
Александр Владимирович Серов, д-р техн. наук, доцент, профессор кафедры неорганической и физической химии Северо-Кавказский федеральный университет, г. Ставрополь

Представлен синтез наночастиц селена методом химического восстановления в водной среде с использованием селенсодержащего прекурсора (селенистой кислоты), стабилизатора (неионогенного ПАВ – Kolliphor HS 15) и восстанавливающего агента (аскорбиновой кислоты). Проведена выработка кисломолочного напитка с использованием закваски на чистой культуре *Lactobacillus acidophilus*, обогащенного полученными наночастицами из расчета 30 % от суточной дозы эссенциального микроэлемента селена, потребляемой взрослым организмом. Полученный ацидофильный кисломолочный напиток характеризуется слабовязкой консистенцией, чистым кисломолочным вкусом и запахом. Установлено, что наноразмерный селен не оказывает влияния на качество, физико-химические параметры, хранимостпособность и дегустационные характеристики кисломолочного напитка. Исследовано влияние наночастиц селена на динамику изменения титруемой и активной кислотности (потенциометрическим и титриметрическим методом соответственно) в процессе хранения кисломолочного напитка. Установлено, что активная кислотность среды и титруемая кислотность на момент окончания срока годности соответствуют регламентированным значениям согласно ГОСТ 32923-2014 «Продукты кисломолочные, обогащенные пробиотическими микроорганизмами. Технические условия». Исследовано влияние наночастиц селена, стабилизированных Kolliphor HS 15, на рост и развитие культуры *Lactobacillus acidophilus* методом микроскопирования, а также проведен подсчет колониеобразующих единиц. Установлено, что наноразмерные частицы селена оказывают стимулирующее действие на рост бактерий *Lactobacillus acidophilus*, так как в опытном образце кисломолочного напитка наблюдается увеличение количества колониеобразующих единиц молочнокислых бактерий по сравнению с контролем.

Ключевые слова: дефицит микроэлементов, наноразмерный селен, ацидофильный кисломолочный напиток, органолептические характеристики, хранимостпособность

Для цитирования: Влияние наночастиц селена на органолептические показатели и хранимостпособность кисломолочного напитка / А. В. Блинов, И. А. Евдокимов, А. Д. Лодыгин [и др.] // Молочная промышленность. 2024. № 5. С. 26–30. <https://www.doi.org/10.21603/1019-8946-2024-5-7>

ВВЕДЕНИЕ

В последнее время актуальной является проблема дефицита макро- и микроэлементов, которые являются жизненно необходимыми для организма человека. Одним из 19 эссенциальных микронутриентов, которые важны в жизнедеятельности, является селен [1]. Он выполняет функцию поддержания иммунной системы, обладает синергетическим эффектом по отношению к витаминам А и Е, участвует в антиоксидантной защите организма, а также входит в состав около 20 белков [2]. Доза селена, необходимая для поддержания нормальной жизнедеятельности организма, составляет 70 мкг [3]. Стоит отметить, что практически все территории Российской

Федерации являются селендефицитными, то есть наблюдается недостаток и пониженное содержание селена. По данным эпидемиологических исследований, более чем у 80 % населения РФ обеспеченность селеном ниже оптимальной (70 мкг в сутки) [4, 5]. Для восполнения существующего дефицита эссенциального микроэлемента селена проводят обогащение различных продуктов питания, в том числе молока и молочных продуктов¹ [6, 7].

Молочные продукты характеризуются высокой пищевой и биологической ценностью, так как содержат все необходимые человеку ингредиенты, находящиеся в легко усвояемой форме [8]. Молочнокислые

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

¹ Глотова, И. А. Научное обеспечение производства пробиотических продуктов для профилактики селендефицитных состояний / И. А. Глотова, Н. А. Галочкина // Актуальные проблемы агротехнологий XXI века и концепции их устойчивого развития: материалы национальной заочной научно-практической конференции. – Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, 2016. – С. 74–77. <https://elibrary.ru/vzfeq>



Источник изображения: shutterstock.com

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Наночастицы селена получали методом химического восстановления в водной среде. В качестве стабилизатора использовалось неионогенное поверхностно-активное вещество – Kolliphor HS 15 (ч., ЗАО «ВЕКТОН», Россия). Селенсодержащий прекурсор – селенистая кислота (ч.д.а., ИНТЕРХИМ, г. Санкт-Петербург), а восстановитель – аскорбиновая кислота (ч.д.а., ИНТЕРХИМ, г. Санкт-Петербург). Синтез проводили в несколько этапов:

1. Готовили 0,036 М раствора селенистой кислоты, в котором растворяли 0,2979 г стабилизатора.
2. Готовили 0,088 М раствора аскорбиновой кислоты путем растворения 0,773 г аскорбиновой кислоты в 50 см³ дистиллированной воды.
3. Раствор восстановителя по каплям при постоянном перемешивании (500 об/мин) заливали в раствор стабилизатора и селенсодержащего прекурсора и перемешивали полученный образец в течение 5–10 минут. Синтез проводили при постоянной температуре и перемешивании.

продукты, в свою очередь, обладают диетическими и лечебными свойствами, которые связаны с большим количеством молочнокислых бактерий [9, 10]. Полноценный состав таких продуктов и полезные свойства обуславливают целесообразность создания продуктов функционального питания [11, 12].

В то же время качество и безопасность продуктов питания являются основополагающими факторами, способными удовлетворять потребности человека [13].

Следует отметить, что, ввиду повышенной биологической активности, ученые используют коллоидную форму микроэлемента селена для обогащения продуктов питания² [14]. Селен, который находится в наноразмерном состоянии, полностью сохраняет свои свойства и биологическую активность [15]. Таким образом, обогащение продуктов питания добавкой на основе наночастиц селена является весьма целесообразным и перспективным решением.

В связи с этим, **целью работы** является исследование влияния вносимой селенсодержащей наноразмерной добавки на органолептические, физико-химические показатели и хранимоспособность ацидофильного кисломолочного напитка [16].

При обогащении продукции наноразмерным селеном использовали молоко жирностью 3,2 %.

Исследование сквашивания молока, обогащенного наночастицами селена, стабилизированными Kolliphor HS 15, проводили с применением чистой культуры *Lactobacillus acidophilus*. Для приготовления лабораторной закваски использовали 1 дм³ цельного молока, предварительно стерилизованного при 120 °С в течение 20 минут. Далее молоко охлаждали до температуры 39 °С, оптимальной для развития культуры *Lactobacillus acidophilus*. Вносили 0,5 г заквасочной культуры с активностью 1и на 100 л заквашиваемого молока. Разливали молоко по стаканам объемом 150 см³ и вносили исследуемый образец наночастиц селена, стабилизированных Kolliphor HS 15, из расчета 30 % (21 мкг) от суточной дозы микроэлемента селена, потребляемой организмом взрослого человека, которая составляет 70 мкг. Также подготавливали контрольный образец молока, в который не были добавлены наночастицы селена. Опытный образец молока с добавленной закваской и наночастицами селена инкубировали в термостатах при температуре 40 °С. Сквашивание проводили в течение 6–8 ч до образования кисломолочного сгустка. Титруемая кислотность образцов на момент окончания процесса

²Кушмет, А. Безопасность наноматериалов в производстве и упаковке пищевых продуктов / А. Кушмет, М. Салихова, В. Александров // Роль технического регулирования и стандартизации в условиях цифровой экономики: материалы V Международной научно-практической конференции молодых ученых. – Екатеринбург: Издательский дом «Ажур», 2023. – С. 90–95. <https://elibrary.ru/bhrwqd>

сбраживания составила 100 ± 2 °Т. После чего полученные образцы ацидофильного молока охлаждали и хранили при 4 ± 2 °С до дальнейших исследований.

Влияние наночастиц селена, стабилизированных Kolliphor HS 15, на органолептические характеристики кисломолочной продукции изучали в соответствии с методиками испытания согласно ГОСТ Р ИСО 22935-2-2011. Активную кислотность среды образцов определяли на рН-метре (ионмере) «Эксперт-001» (завод-производитель ООО «Эконикс-Эксперт», Россия). Титруемую кислотность образцов определяли титриметрическим методом согласно ГОСТ 3624-92 «Молоко и молочные продукты. Титриметрические методы определения кислотности».

Для исследования влияния наночастиц селена на рост и развитие бактерий *Lactobacillus acidophilus* использовали микроскоп модели ZEISS Axio Imager.A2 (Carl Zeiss, Германия). На приготовленные и окрашенные препараты наносили каплю иммерсионного масла и помещали препарат на предметный столик, после чего проводили микроскопирование при увеличении 90х.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На первом этапе вырабатывали две партии кисломолочных напитков: контрольного и обогащенного наночастицами селена, стабилизированными Kolliphor HS 15, в расчете 30 % от суточной дозы микроэлемента селена, потребляемой организмом.

Проводили дегустационную оценку полученных образцов (см. табл.). Далее исследовали хранимоспособность ацидофильных кисломолочных напитков, в качестве выходных параметров в эксперименте использовали рН и титруемую кислотность. Результаты представлены на рисунках 1 и 2. Микропрепараты контрольного и опытного образцов кисломолочных напитков на 21 сутки хранения представлены на рисунке 3.

Таблица

Результаты дегустационной оценки образцов

Наименование показателя	Необогащенный ацидофильный напиток	Ацидофильный напиток, обогащенный наноселеном
Внешний вид, консистенция	Однородная слабвязкая жидкость с незначительными пузырьками газа	Слабвязкая жидкость с пузырьками газа
Цвет	Молочно-белый	Молочно-белый
Вкус	Кисломолочный, в меру кислый, без посторонних привкусов	Кисломолочный, выраженный кислый, без посторонних привкусов
Запах	Чистый кисломолочный, без посторонних запахов	Чистый кисломолочный, без посторонних запахов

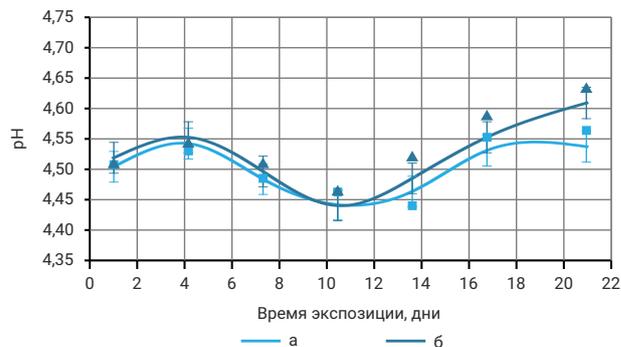


Рисунок 1. Влияние концентрации наночастиц селена на pH кисломолочных напитков: а – контрольный образец; б – кисломолочный напиток, обогащенный наночастицами селена, стабилизированными Kolliphor HS 15

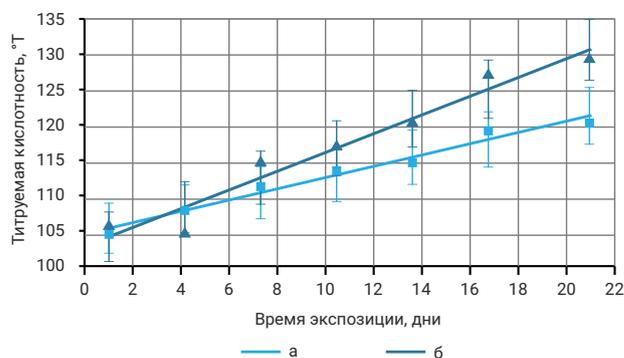


Рисунок 2. Влияние концентрации наночастиц селена на титруемую кислотность кисломолочных напитков: а – контрольный образец; б – кисломолочный напиток, обогащенный наночастицами селена, стабилизированными Kolliphor HS 15

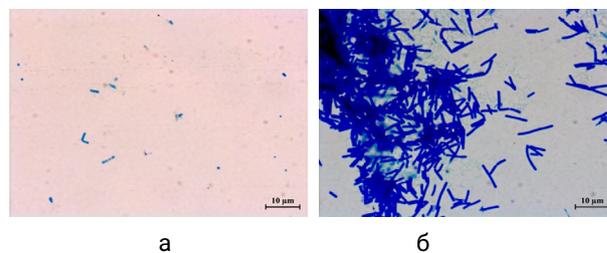


Рисунок 3. Микропрепараты образцов кисломолочных напитков с *Lactobacillus acidophilus*: а – контрольного; б – с добавлением наночастиц селена

Результаты органолептической оценки кисломолочного напитка, обогащенного наночастицами селена, стабилизированными Kolliphor HS 15, незначительно отличаются от результатов контрольного образца. В обогащенном напитке наблюдается более выраженный кислый вкус, что обусловлено наличием большего количества молочнокислых организмов и повышенной кислотностью. Органолептически полученный кисломолочный напиток представляет собой слабовязкую жидкость с чистым кисломолочным вкусом ацидофильного молока.

Анализ результатов изменения pH показал, что зависимость для образца, обогащенного наноселеном, схожа с контролем. Первые 5 суток происходит незначительное повышение pH до $4,52 \pm 0,2$; последующие 6 суток хранения наблюдается понижение кислотности среды до $4,42 \pm 0,1$; заключительные 10 суток кислотность равномерно повышается до 4,57 и 4,52 (у опытного и контрольного образцов соответственно). В течение всего срока хранения активная кислотность среды колеблется в диапазоне 4,45–4,6, что допустимо для данного вида кисломолочных напитков³. Выбор экспозиции в 21 день обусловлен исследованиями отечественных ученых в области молочной промышленности⁴.

Как видно из рисунка 2, титруемая кислотность образца кисломолочного напитка, обогащенного наночастицами селена, стабилизированными Kolliphor HS 15, на протяжении всего срока хранения превышает значение кислотности контрольного образца. После 3 недель хранения изменение титруемой кислотности обогащенного продукта произошло с 105 до 126 °Т, а контрольного – с 104 до 117 °Т. Данный факт, предположительно, обусловлен наличием внесенной наноразмерной селенсодержащей добавки [17].

По результатам микроскопии можно прийти к заключению о выраженном стимулирующем действии наночастиц селена, стабилизированных Kolliphor HS 15, на рост и развитие бактерий *Lactobacillus acidophilus* при определенных концентрациях. В контрольном образце без добавления наночастиц селена наблюдается умеренный рост бактерий (1×10^6 КОЕ/см³ на конец сквашивания), собранных в короткие цепи, либо расположенных обособленно (рис. 3а). При внесении наночастиц селена с расчетом 30 % от суточ-

ной дозы в заквашенный образец, наблюдается прирост количества микроорганизмов ($1,5 \times 10^7$ КОЕ/см³ на конец сквашивания) (рис. 3б). При микроскопии наблюдали массовые скопления *Lactobacillus acidophilus*, собранных в длинные цепочки. Стоит отметить, что в процессе хранения контрольного и опытного напитков происходило снижение численности молочнокислых бактерий: на 14 суток – 8×10^5 КОЕ/см³ у контрольного и 3×10^6 КОЕ/см³ у опытного, на 21 сутки – менее 1×10^4 КОЕ/см³ у контрольного и 1×10^6 КОЕ/см³ у опытного. Можно заключить, что добавление наноразмерного селена оказывает стимулирующий эффект на рост и развитие кисломолочных бактерий *Lactobacillus acidophilus*.

ВЫВОДЫ

В работе представлен метод синтеза наночастиц селена, стабилизированных Kolliphor HS 15. В качестве прекурсора, содержащего селен, использовали селенистую кислоту, восстановителем выбрали аскорбиновую кислоту. Установлено, что наноразмерная добавка с селеном не оказывает существенного влияния на органолептические показатели кисломолочного продукта. Характеристики обогащенного образца не отличаются от характеристик контрольного.

В результате исследования влияния концентрации наночастиц селена на устойчивость ацидофильного кисломолочного напитка при хранении установлено, что pH образцов в течение 21 суток меняется незначительно, а титруемая кислотность увеличивается, однако данные показатели не превышают значений, предъявляемых нормативными документами к данному виду продуктов. Стоит отметить, что титруемая кислотность образца с наноселеном превышает значение данного показателя у контрольного образца во всем диапазоне исследования.

Изучение влияния концентрации наночастиц селена на развитие бактерий *Lactobacillus acidophilus* показало, что добавление наноразмерной добавки с селеном, оказывает выраженное стимулирующее действие на рост молочнокислых бактерий, происходит увеличение численности молочнокислых организмов с 1×10^6 КОЕ/см³ до $1,5 \times 10^7$ КОЕ/см³ в период сквашивания. В напитке с наноразмерным селеном в процессе

³Битютская, О. Е. Исследование ассортиментного ряда обогащенных кисломолочных продуктов / О. Е. Битютская, Н. Ф. Мазалова, Т. А. Сухова // Морские технологии: проблемы и решения - 2023: Сборник трудов по материалам научно-практических конференций. – Керчь: ФГБОУ ВО «Керченский государственный морской технологический университет», 2023. – С. 224–228. <https://elibrary.ru/nxcedz>

⁴Патент 2681291 РФ «Способ производства кисломолочного продукта, обогащенного фитоконпонентами и пребиотиком»: № 2017144164 : заявл. 15.12.2017 : опубл. 05.03.2019 / А. И. Клименко, В. В. Крючкова, П. В. Скрипин [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Донской государственный аграрный университет". – 11 с.

хранения наблюдается большее содержание микроорганизмов, чем в контрольном образце. Таким образом, рекомендуется использовать добавку наночастиц селена, стабилизированных неионогенным поверхностно-активным веществом Kolliphor HS 15, в виде раствора в размере 30 % от суточной дозы эссенциального микроэлемента селена (21 мкг), что составляет 0,55 мл образца на 1 л кисломолочного напитка.

В дальнейшем планируется изучение процесса биотрансформации наночастиц селена в кисломолочном продукте для подтверждения возможного положительного воздействия на здоровье человека, однако, несмотря на это, данные продукты являются потенциальным способом внедрения биодоступного эссенциального микроэлемента селена в рацион человека. ■

EFFECT OF SELENIUM NANOPARTICLES ON PHYSICOCHEMICAL PROFILE AND SHELF-LIFE OF FERMENTED DAIRY DRINKS

Andrey V. Blinov, Ivan A. Evdokimov, Alexey D. Lodygin, Zafar A. Rekhman, Alexander V. Serov

North Caucasian Federal University, Stavropol

ORIGINAL ARTICLE

The article describes the synthesis of selenium nanoparticles by chemical reduction in an aqueous medium using selenious acid as a precursor, nonionic surfactant Kolliphor HS15 as a stabilizer, and ascorbic acid as a reducing agent. The new acidophilic fermented dairy drink contained a starter based on a pure culture of *Lactobacillus acidophilus*. It was fortified with selenium nanoparticles at the rate of 30 % of recommended daily intake for adult consumers. The experimental drink had a slightly viscous consistency but tasted and smelled like pure fermented milk. Nanoselenium had no effect on the quality, physicochemical parameters, storage capacity, and sensory profile of the experimental fermented dairy drink. The changes in titratable and active acidity were studied during storage by potentiometric and titrimetric methods, respectively. The active acidity of the medium and the titratable acidity at the end of shelf-life corresponded to State Standard GOST 32923-2014 for fermented milk products fortified with probiotic microorganisms. The method of microscopy made it possible to study the effect of selenium nanoparticles stabilized by Kolliphor HS15 on the growth of *Lactobacillus acidophilus*. Nanoselenium stimulated the growth of *Lactobacillus acidophilus*: the experimental fermented dairy drink demonstrated a significant increase in lactic acid bacterial count compared to the control sample.

Keywords: micronutrient deficiency, selenium nanoparticles, acidophilic fermented dairy drink, sensory profile, shelf-life

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Щигарцова, В. В. Обогащение селеном продуктов питания / В. В. Щигарцова // Образование и наука без границ: социально-гуманитарные науки. 2017. № 6. С. 249–252. <https://elibrary.ru/ylyjqx>
2. Синдирева, А. В. Влияние селенита и селената натрия на рост и развитие растений / А. В. Синдирева, А. К. Мангутова, Е. С. Швец // Проблемы региональной экологии. 2023. № 6. С. 87–95. <https://doi.org/10.24412/1728-323X-2023-6-87-95>; <https://elibrary.ru/gtenww>
3. Маллаходжаев, А. А. Селен И Его Соединения, Метаболизм И Участие В Функциях Организма / А. А. Маллаходжаев, Б. А. Юсупов, М. С. Саидмуродов, Ф. А. Жамалова // Central Asian Journal of Medical and Natural Science. 2022. Т. 3. № 2. С. 351–364. <https://doi.org/10.17605/cajms.v3i2.675>
4. Горбачев, А. Л. Особенности взаимосвязи элементного состава и иммунных реакций у представителей этнодемографических групп Северо-Востока России / А. Л. Горбачев, А. А. Киричук, Н. В. Похилик // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2023. Т. 31. № 1. С. 55–69. <https://doi.org/10.22363/2313-2310-2023-31-1-55-69>; <https://elibrary.ru/kkzvfb>
5. Князева, Н. В. Влияния селена на организм человека и животных / Н. В. Князева // Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства. 2020. № 22. С. 392–398. <https://elibrary.ru/tnvwhk>
6. Мосолова, Н. И. Обогащение козьего молока и продуктов детского питания на его основе органическим йодом и селеном / Н. И. Мосолова, А. А. Короткова, В. Н. Храмова // Хранение и переработка сельхозсырья. 2012. № 3. С. 55–57. <https://elibrary.ru/pappnv>
7. Голубкина, Н. А. К вопросу обогащения пищевых продуктов селеном / Н. А. Голубкина, С. А. Хотимченко, В. А. Тутьянян // Микроэлементы в медицине. 2003. Т. 4, № 4. С. 1–5. <https://elibrary.ru/mhnnse>
8. Проскурина-Ткачева, А. С. Состояние и перспективы совершенствования технологии кисломолочных продуктов для функционального питания / А. С. Проскурина-Ткачева // Grand Altai Research & Education. 2016. № 2. С. 70–78. <https://elibrary.ru/yidobt>
9. Sharma, H. Impact of lactic acid bacteria and their metabolites on the techno-functional properties and health benefits of fermented dairy products / H. Sharma [et al.] // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2023. Vol. 63(21). P. 4819–4841. <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.2007844>
10. Зобкова, З. С. Совершенствование и разработка всего спектра технологий цельномолочных продуктов, в том числе традиционных, специального назначения и с новыми потребительскими свойствами / З. С. Зобкова // Идеи академика Владимира Дмитриевича Харитонов в наукоемких технологиях переработки молока. – М.: ФГАНУ «ВНИМИ», 2021. – С. 109–128. <https://elibrary.ru/rqlbl>
11. García-Burgos, M. New perspectives in fermented dairy products and their health relevance / M. García-Burgos [et al.] // Journal of Functional Foods. 2020. Vol. 72. 104059. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2020.104059>
12. Kantorová, V. Determination of selenium nanoparticles in fermented dairy products / V. Kantorová [et al.] // Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy. 2023. Vol. 199. 106592. <https://doi.org/10.1016/j.sab.2022.106592>
13. Румянцева, Л. А. К вопросу о качестве и гигиенической безопасности кисломолочных продуктов (обзорная статья) / Л. А. Румянцева, О. В. Ветрова, А. В. Истомин // Здоровье населения и среда обитания. 2021. № 8. С. 39–47. <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2021-29-8-39-47>; <https://elibrary.ru/tqotmq>
14. Белокурова, Е. В. Подбор микроэлементов для иммобилизации их коллоидных структур на природном носителе с целью обогащения основных пищевых продуктов / Е. В. Белокурова, Е. С. Попов, М. А. Саргсян // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2022. Т. 84, № 1(91). С. 162–166. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2022-1-162-166>; <https://elibrary.ru/haqkfk>
15. Панов, Д. А. Синтез и свойства наночастиц селена в матрице природных полисахаридов / Д. А. Панов, А. М. Кацев, А. В. Омельченко // Химия растительного сырья. 2022. № 1. С. 81–91. <https://doi.org/10.14258/jcrpm.2022019275>; <https://elibrary.ru/joedea>
16. Уточкина, Е. А. Влияние арабиногалактана на микробиологические показатели и хранимоспособность кисломолочного продукта / Е. А. Уточкина, Е. И. Решетник // Техника и технология пищевых производств. 2012. № 4(27). С. 72А–76. <https://elibrary.ru/pilqhh>
17. Osman, A. H. Chemical, microbiological, rheological and sensory properties of yoghurt fortified with selenium / A. H. Osman [et al.] // Assuit Journal of Agricultural Sciences. 2020. Vol. 50. № 4. P. 51–63. <https://doi.org/10.21608/ajas.2020.70972>