

К.В. Костенко¹А.В. Блинов¹Ф.А. Пойдун¹М.А. Пирогов¹ ✉А.М. Серов¹М.Б. Ребезов^{2, 3}¹Северо-Кавказский федеральный университет, Ставрополь, Россия²Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова Российской академии наук, Москва, Россия³Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия

✉ pirogov.m.2002@gmail.com

Поступила в редакцию: 21.08.2024

Одобрена после рецензирования: 08.11.2024

Принята к публикации: 22.11.2024

© Костенко К.В., Блинов А.В., Пойдун Ф.А., Пирогов М.А., Серов А.В., Ребезов М.Б.

Konstantin V. Kostenko¹Andrey V. Blinov¹Philip A. Poydun¹Maxim A. Pirogov¹ ✉Alexander M. Serov¹Maksim B. Rebezov^{2, 3}¹North Caucasus Federal University, Stavropol, Russia²Gorbatov Research Center for Food Systems, Moscow, Russia³Ural State Agrarian University, Yekaterinburg, Russia

✉ pirogov.m.2002@gmail.com

Received by the editorial office: 21.08.2024

Accepted in revised: 08.11.2024

Accepted for publication: 22.11.2024

© Kostenko K.V., Blinov A.V., Poydun F.A., Pirogov M.A., Serov A.V., Rebezov M.B.

Функциональный напиток на основе восстановленной сухой молочной сыворотки и тройного хелатного комплекса эссенциального микроэлемента — цинка

РЕЗЮМЕ

В данной работе получен функциональный напиток на основе восстановленной сухой молочной сыворотки и тройного хелатного комплекса эссенциального микроэлемента — цинка. Синтез проводился путем механического смешивания 3-пиридинкарбоксамида, L-лизина моногидрохлорида, гидроксида бария 8-водного и сульфата цинка 7-водного с добавлением 30 мл дистиллированной воды. Далее был получен спектр поглощения образца, с помощью которого определен максимум полосы поглощения тройного хелатного комплекса ($\lambda = 260$ нм). На следующем этапе было проведено компьютерное квантово-химическое моделирование, в результате которого определено, что взаимодействие эссенциального микроэлемента (цинка) с 3-пиридинкарбоксамидом и L-лизиним происходит через вторичную аминогруппу и карбоксильную группу и через карбоксильную группу и α -аминогруппу соответственно. Затем была проведена оптимизация методики синтеза тройного хелатного комплекса. С помощью нейросетевой обработки данных установлено, что оптимальными концентрациями компонентов являются: C ($ZnSO_4$) = 0,376 моль/л, C ($C_6H_5NO_2$) = 0,545 моль/л, C ($C_6H_{14}N_2O_2$) = 0,528 моль/л. Далее был получен функциональный молочный напиток, содержащий 7,5% молочной сыворотки, 7,5% мелассы молочной и 0,13 мл комплекса. Потом напиток подвергся УЗ-обработке с различной амплитудой. Далее были исследованы титруемая кислотность, электропроводность, pH, антиоксидантная активность и средний гидродинамический радиус. В результате установлено, что при добавлении тройного хелатного комплекса в состав функционального молочного напитка, а также при максимальной амплитуде УЗ-обработки наблюдаются увеличение титруемой кислотности, электропроводности, уменьшение антиоксидантной активности и среднего гидродинамического радиуса, что позволяет сделать вывод о пользе использования комплекса, проведения УЗ-обработки с максимальной амплитудой. На следующем этапе была проведена органолептическая оценка полученного функционального напитка, в результате которой установлено, что для внедрения на предприятия молочной промышленности рекомендуется использовать образец, обогащенный хелатным комплексом цинка, который подвергся УЗ-обработке с максимальной амплитудой.

Ключевые слова: эссенциальный микроэлемент цинк, сухая молочная сыворотка, тройной хелатный комплекс

Для цитирования: Костенко К.В., Блинов А.В., Пойдун Ф.А., Пирогов М.А., Серов А.М., Ребезов М.Б. Функциональный напиток на основе восстановленной сухой молочной сыворотки и тройного хелатного комплекса эссенциального микроэлемента — цинка. *Аграрная наука*. 2024; 389(12): 158–165.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-389-12-158-165>

A functional drink based on reconstituted whey powder and a triple chelate complex of the essential trace element zinc

ABSTRACT

In this work, a functional drink was obtained based on reconstituted dry whey and a triple chelate complex of the essential trace element zinc. The synthesis was carried out by mechanically mixing 3-pyridinecarboxamide, L-lysine monohydrochloride, barium hydroxide 8-aqueous and zinc sulfate 7-aqueous with the addition of 30 ml of distilled water. Next, the absorption spectrum of the sample was obtained, using which the maximum of the absorption band of the triple chelate complex ($\lambda = 260$ nm) was determined. At the next stage, computer quantum-chemical modeling was carried out, as a result of which it was determined that the interaction of the essential trace element zinc with 3-pyridinecarboxamide and L-lysine occurs through the secondary amino group and carboxyl group and through the carboxyl group and α -amino group, respectively. Then, optimization of the synthesis technique of the triple chelate complex was carried out. Using neural network data processing, it was found that the optimal concentrations of the components are: C ($ZnSO_4$) = 0.376 mol/l, C ($C_6H_5NO_2$) = 0.545 mol/l, C ($C_6H_{14}N_2O_2$) = 0.528 mol/l. Next, a functional milk drink was obtained containing 7.5% whey, 7.5% molasses and 0.13 ml of the complex. Then the drink was subjected to ultrasonic treatment with different amplitudes. Then, titratable acidity, electrical conductivity, pH, antioxidant activity and average hydrodynamic radius were studied. As a result, it was found that when adding a triple chelate complex to the functional milk drink, as well as at the maximum amplitude of ultrasound treatment, an increase in titratable acidity, electrical conductivity, antioxidant activity and a decrease in the average hydrodynamic radius are observed, which allows us to conclude that the use of the complex is beneficial, as well as conducting ultrasound treatment with maximum amplitude. At the next stage, an organoleptic assessment of the resulting functional drink was carried out, as a result of which it was found that for implementation in dairy industry enterprises, it is recommended to use a sample enriched with a chelate zinc complex, which was subjected to ultrasound treatment with maximum amplitude.

Key words: essential trace element, zinc, whey powder, triple chelate complex

For citation: Kostenko K.V., Blinov A.V., Poydun F.A., Pirogov M.A., Serov A.M., Rebezov A.B. A functional drink based on reconstituted whey powder and a triple chelate complex of the essential trace element — zinc. *Agrarian science*. 2024; 389(12): 158–165 (in Russian).
<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-389-12-158-165>

Введение/Introduction

В последнее время появляются запросы на натуральные и сбалансированные в аспекте микро-, макроэлементного и нутриентного состава продукты питания, повышается спрос на функциональность¹ продуктов питания [1–5].

Молочная сыворотка обладает высокой усвояемостью, содержит большое количество микроэлементов, таких как натрий, калий, кальций, магний, фосфор и хлор [6].

Интересной особенностью молочной сыворотки является тот факт, что она, являясь отходом производства, по сути представляет собой относительно дешевое вторичное сырье [7, 8].

Рациональный способ внедрения молочной сыворотки — ее вторичное использование для изготовления продукта, несущего ценность для потребителя² [9–11].

Меласса молочная представляет собой продукт, содержащий лактозу, лактулозу, в ее составе присутствуют магний, кальций, фосфор и другие микроэлементы, характерные для молочной продукции. Лактулоза, содержащаяся в мелассе, представляет собой изомер лактозы, который производится из вторичного молочного сырья [12], а польза заключается в повышении роста бифидобактерий в организме и противотоксичном эффекте. Мелассу молочную с лактулозой эффективно применяют для изготовления йогурта [13].

Еще один способ увеличения функциональности продуктов питания — применение биодоступных форм жизненно важных микроэлементов [14–17].

Хелатные комплексы являются наиболее оптимальными, имеют высокую степень усвояемости, в связи с чем их применение выглядит наиболее логичным для функциональных продуктов питания [18–22]. Так, есть исследование, в результате которого был разработан функциональный напиток на основе молока, обогащенный хелатной формой аскорбатаизолейцината железа (II). Использование хелатного комплекса позволило повысить антиоксидантную активность напитка на 40% [23].

В данном исследовании рассматривается хелатный комплекс — инселинатолизинат цинка. Лизин является незаменимой аминокислотой, которая участвует в процессе создания гормонов, ферментов и антител в организме [24], в процессе формирования тканей и усвоения кальция, что напрямую влияет на состояние кожи и костей организма. Лизин наряду с цинком и никотиновой кислотой (3-пиридинкарбоксамидом) входит в состав лекарственных средств, применяемых для профилактики остеопороза у детей и подростков [25].

Никотиновая кислота участвует в процессах образования ферментов, способствует снижению уровня холестерина, улучшает белковый, углеводный и липидный обмен [26]. Доказана эффективность применения никотиновой кислоты в сочетании с другими средствами при иммунокоррекции в процессе лечения сильных обморожений конечностей, при лечении и профилактике ишемической болезни сердца, лечении дислипидемии и атеросклероза сосудов нижних конечностей [27, 28].

Цинк — эссенциальный микроэлемент, обладает высокими антиоксидантными свойствами, участвует в процессе работы нервной, иммунной, репродуктивной и других систем [29–33]. При этом недостаточное

потребление цинка в рационе человека может привести к анемии, циррозу печени и половой дисфункции [34–38]. Экспериментально доказана эффективность применения цинка в сочетании с аминокислотой глицин в снижении симптомов стресса и тревожности [39].

Цель данной статьи — получение функционального напитка на основе восстановленной сухой молочной сыворотки и тройного хелатного комплекса эссенциального микроэлемента (цинка) для восполнения дефицита данного микроэлемента.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Синтез тройного хелатного комплекса — 3-пиридинкарбоксамид, незаменимая аминокислота (L-лизин) и эссенциальный микроэлемент (цинк) — проводили с использованием следующих реактивов: 3-пиридинкарбоксамид (ч., АО «Ленреактив», г. Санкт-Петербург, Россия), L-лизина моногидрохлорида (ч., PanReac AppliChem, г. Дармштадт), гидроксида бария 8-водного и сульфата цинка 7-водного (ч. д. а., «Интерхим», г. Санкт-Петербург, Россия).

Для синтеза тройного хелатного комплекса в фарфоровой ступке смешивали 1,904 г 3-пиридинкарбоксамид и 2,063 г L-лизина моногидрохлорида и перетерали в течение 5 мин. до однородной массы. На следующем этапе добавляли 4,875 г гидроксида бария 8-водного и перемешивали до однородной светло-белой пастообразной субстанции. Далее добавляли 30 мл дистиллированной воды и 4,5357 г сульфата цинка 7-водного, тщательно перемешивали и отстаивали в течение 20 мин. Полученный образец центрифугировали при 3000 об/мин в течение 5 мин.

Исследование оптических свойств тройного хелатного комплекса проводили с помощью метода оптической спектроскопии на спектрофотометре СФ-56 (ОКБ «Спектр», Россия).

Компьютерное квантово-химическое моделирование тройного хелатного комплекса — 3-пиридинкарбоксамид, незаменимая аминокислота (L-лизин) и эссенциальный микроэлемент (цинк) — проводили в программе QChem³ на оборудовании Центра обработки данных (Schneider Electric, Франция) ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет» с использованием молекулярного редактора IQmol⁴.

Моделирование проводилось посредством хелатирования атома цинка 3-пиридинкарбоксамидом через функциональные группы (гидроксильная, аминогруппа) и L-лизином через гидроксильную группу и α -аминогруппу или ϵ -аминогруппу. Расчеты проводили со следующими параметрами: расчет — Energy, метод — B3LYP, базис — 6-31G*, convergence — 5, силовое поле — Chemical.

В рамках компьютерного квантово-химического моделирования рассчитывали полную энергию молекулярного комплекса (E), энергию высшей заселенной (E_{HOMO}) и низшей свободной (E_{LUMO}) молекулярных орбиталей. После вычисляли значения разности полной энергии L-лизина и тройного хелатного комплекса (ΔE), химической жесткости (η), равной половине разницы

¹ Зинина О.В., Меренкова С.П., Вишнякова Е.А., Ребезов М.Б. Композиция для получения белкового обогатителя пищевых продуктов. Патент на изобретение от 23.11.2022 № RU 2783982 С1. Заявка от 01.03.2022 № 2022105365.

² Догарева Н.Г. и др. Безотходные технологии в молочной промышленности. Екатеринбург: Уральский государственный аграрный университет. 2018.

³ Q-Chem is a comprehensive ab initio quantum chemistry software for accurate predictions of molecular structures, reactivities, and vibrational, electronic and NMR spectra. — URL: <https://www.q-chem.com>

⁴ Gilbert, A. Introduction to IQmol. — URL: <http://iqmol.org/downloads/IQmolUserGuide.pdf>

низшей свободной и высшей заселенной молекулярных орбиталей.

На следующем этапе проводили оптимизацию методики синтеза тройного хелатного комплекса при различных концентрациях компонентов.

В качестве входных параметров рассматривали:

- концентрацию прекурсора цинка ($ZnSO_4 \cdot 7H_2O$), (С, моль/л);
- концентрацию L-лизина моногидрохлорида ($C_6H_{14}N_2O_2 HCl$) (С, моль/л);
- концентрацию 3-пиридинкарбоксамиды ($C_6H_5NO_2$) (С, моль/л).

В качестве выходного параметра рассматривали средний гидродинамический радиус частиц. Матрица многофакторного эксперимента представлена в таблице 1.

Статистическую обработку экспериментальных данных проводили с использованием программы Statistica 12.0⁵ и пакета прикладных программ Statistica Neural Networks⁶.

Получение функционального напитка на основе восстановленной сухой молочной сыворотки и тройного хелатного комплекса эссенциального микроэлемента (цинка) проводилось посредством добавления 0,13 мл комплекса (данное количество содержит 30% от суточной дозы микроэлемента (цинка), потребляемой организмом) в раствор, содержащий 7,5% молочной сыворотки и 7,5% мелассы молочной.

На следующем этапе проводилась ультразвуковая обработка образцов при параметрах, представленных в таблице 2.

Затем полученные образцы исследовали методами кондуктометрии с помощью электрода Starter 300С (Ohaus, США), рН-метрии с помощью электрода ST320 (Ohaus, США).

Проводили исследование титруемой кислотности молочного напитка титриметрическим методом согласно ГОСТ 3624-92⁷ (метод базируется на титровании молока раствором щелочи (гидроксидом натрия или калия) в присутствии индикатора фенолфталеина), среднего гидродинамического радиуса с помощью метода динамического рассеяния света на приборе Photocor-Complex (ООО «Антекс-97», Россия).

Компьютерную обработку полученных результатов осуществляли с использованием программного обеспечения DynalS⁸.

Далее проводили расчет антиоксидантной активности образцов по следующей методике: раствор АБТС разбавляли дистиллированной водой до оптической плотности $0,70 \pm 0,02$ при 734 нм. С помощью метода оптической спектроскопии на спектрофотометре СФ-56 (ОКБ «Спектр», Россия) к 1,98 мл раствора АБТС добавляли 0,02 мл анализируемой пробы и через 3 мин. после смешивания измеряли оптическую плотность при 734 нм.

Затем была проведена дегустационная оценка следующих образцов:

- ✓ партия 1 — на основе восстановленной сухой молочной сыворотки и мелассы молочной (амплитуда УЗ-обработки 20%);
- ✓ партия 2 — на основе восстановленной сухой молочной сыворотки и мелассы молочной (амплитуда УЗ-обработки 60%);

Таблица 1. Матрица многофакторного эксперимента

Table 1. Matrix of a multivariate experiment

№ образца	С ($ZnSO_4$), моль/л	С ($C_6H_{14}N_2O_2 HCl$), моль/л	С ($C_6H_5NO_2$), моль/л
1	0,376	0,269	0,368
2	0,376	0,377	0,516
3	0,376	0,528	0,722
4	0,526	0,269	0,516
5	0,526	0,377	0,722
6	0,526	0,528	0,368
7	0,736	0,269	0,722
8	0,736	0,377	0,368
9	0,736	0,528	0,516

Таблица 2. Параметры УЗ-обработки

Table 2. Ultrasonic processing parameters

№ образца	Наличие комплекса в составе	Амплитуда, %	Параметры УЗ-обработки
Партия 1	нет	20	t = 60 с цикличность = 1
Партия 2		60	
Партия 3		100	
Партия 4	да	20	
Партия 5		60	
Партия 6		100	

✓ партия 3 — на основе восстановленной сухой молочной сыворотки и мелассы молочной (амплитуда УЗ-обработки 100%);

✓ партия 4 — на основе восстановленной сухой молочной сыворотки, мелассы молочной и тройного хелатного комплекса эссенциального микроэлемента (цинка) (амплитуда УЗ-обработки 20%);

✓ партия 5 — на основе восстановленной сухой молочной сыворотки, мелассы молочной и тройного хелатного комплекса эссенциального микроэлемента (цинка) (амплитуда УЗ-обработки 60%);

✓ партия 6 — на основе восстановленной сухой молочной сыворотки, мелассы молочной и тройного хелатного комплекса эссенциального микроэлемента (цинка) (амплитуда УЗ-обработки 100%);

✓ партия 7 — на основе восстановленной сухой молочной сыворотки, мелассы молочной и неорганической формы цинка — сульфата цинка.

Все исследования проведены в соответствии с ГОСТ Р ИСО 22935-2-2011⁹. Количество привлекаемых экспертов ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет» — 10. Исследования проводили на базе школы прикладных междисциплинарных исследований ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет».

Изготавливались 7 экспериментальных партий напитков по 5 образцов в каждой партии.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

На первом этапе исследовали оптические свойства тройного хелатного комплекса, в результате чего получены спектры поглощения тройного хелатного комплекса (рис. 1).

На основе полученных данных можно сделать вывод, что у полученного комплекса наблюдается полоса поглощения с максимумом поглощения в ультрафиолетовой области при $\lambda = 260$ нм.

⁵ URL: <https://statistica.software.informer.com/12.0/>

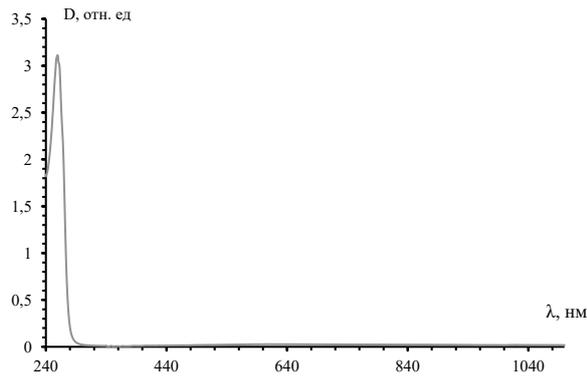
⁶ URL: <https://docs.tibco.com/pub/stat/14.0.0/doc/html/UsersGuide/GUID-F60C241F-CD88-4714-A8C8-1F28473C52EE.html>

⁷ ГОСТ 3624-92 Молоко и молочные продукты. Титриметрические методы определения кислотности.

⁸ URL: https://bio.pnpi.nrcki.ru/wp-content/uploads/2020/01/Photocor-Compact-Z_Manual.pdf

⁹ ГОСТ Р ИСО 22935-2-2011 Молоко и молочные продукты. Органолептический анализ. Ч. 2. Рекомендуемые методы органолептической оценки.

Рис. 1. Спектр поглощения тройного хелатного комплекса
Fig. 1. Absorption spectrum of the triple chelate complex



На следующем этапе проводили компьютерное квантово-химическое моделирование тройного хелатного комплекса. Результаты компьютерного квантово-химического моделирования представлены в таблице 3.

На основе полученных данных установлено, что формирование тройного хелатного комплекса является энергетически выгодным ($\Delta E > 1774$ ккал/моль) и химически стабильным ($0,027 \leq \eta \leq 0,030$ эВ).

Установлено, что наиболее вероятной моделью является взаимодействие атома цинка с 3-пиридинкарбоксамидом через вторичную аминогруппу и карбоксильную группу и с L-лизинном через карбоксильную группу и α -аминогруппу (рис. 2).

На следующем этапе проводили оптимизацию методики синтеза тройного хелатного комплекса при различных концентрациях компонентов. В результате получены тернарные поверхности отклика, описывающие зависимость оптической плотности максимума полосы поглощения при $\lambda = 260$ нм от концентрации компонентов (рис. 3).

Анализ полученных данных показал, что концентрации исходных реагентов оказывают значимое влияние на оптическую плотность комплекса. Увеличение концентрации сульфата цинка приводит к уменьшению оптической плотности, в то время как увеличение концентрации 3-пиридинкарбоксамид — к увеличению оптической плотности. Однако концентрация L-лизина гидрохлорида не влияла на оптические свойства комплекса. Установлено, что оптимальными концентрациями компонентов являются: $C(\text{ZnSO}_4) = 0,376$ моль/л, $C(\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_2) = 0,545$ моль/л, $C(\text{C}_6\text{H}_{14}\text{N}_2\text{O}_2) = 0,528$ моль/л.

Далее были исследованы физико-химические показатели молочных напитков на основе комплекса: 3-пиридинкарбоксамид, незаменимая аминокислота (L-лизин) и эссенциальный микроэлемент (цинк). Результаты исследования представлены в таблице 4.

Установлено, что полученные значения активной кислотности образцов молока находятся в допустимом диапазоне согласно ГОСТ Р 56833-2015¹⁰. Увеличение

Рис. 2. Результаты моделирования тройного хелатного комплекса, в котором взаимодействие атома цинка с 3-пиридинкарбоксамидом происходит через вторичную аминогруппу и карбоксильную группу, а с L-лизинном — через карбоксильную группу и α -аминогруппу: а) модель молекулярного комплекса; б) распределение электронной плотности; в) градиент распределения электронной плотности; г) высшая заселенная молекулярная орбиталь (HOMO); д) низшая свободная молекулярная орбиталь (LUMO)

Fig. 2. Results of modeling a triple chelate complex in which the interaction of a zinc atom with 3-pyridine carboxamide occurs through a secondary amino group and a carboxyl group, and with L-lysine through a carboxyl group and an α -amino group: a) a model of the molecular complex; b) electron density distribution; c) an electron density distribution gradient; d) the highest inhabited molecular orbital (HOMO); e) the lowest free molecular orbital (LUMO)

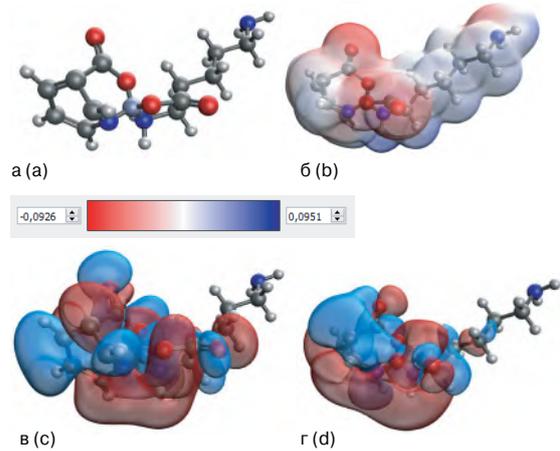
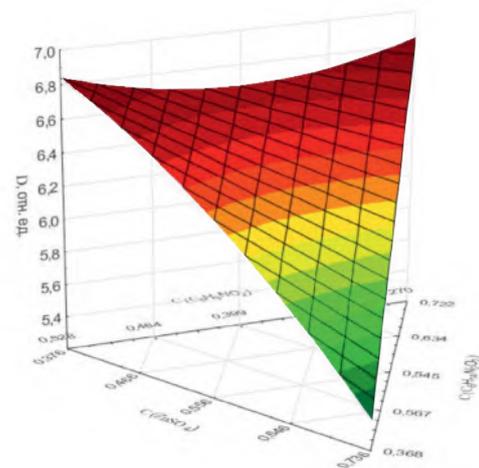


Рис. 3. Тернарная поверхность отклика зависимости оптической плотности от концентрации компонентов

Fig. 3. The ternary surface of the response of the dependence of the optical density on the concentration of components



электропроводности образцов связано с добавлением комплекса, с увеличением числа свободных ионов и молекул после УЗ-обработки с различной амплитудой.

Установлено, что титруемая кислотность образцов увеличивается при повышении амплитуды УЗ-обработки как в чистых молочных напитках, так и в обогащенных. Стоит отметить, что антиоксидантная активность при обогащении молочного напитка носит непрямолинейный характер и варьируется от 0,25 до 0,84%, однако образцы напитков, не обогащенных хелатным комплексом эссенциального

Таблица 3. Результаты компьютерного квантово-химического моделирования

Table 3. Results of computer quantum chemical modeling

Молекулярный комплекс	Взаимодействие с L-лизинном	E, ккал/моль	ΔE , ккал/моль	E_{HOMO} , эВ	E_{LUMO} , эВ	η , эВ
L-лизин	—	-496,991	—	-0,219	0,004	0,112
Тройной хелатный комплекс — 3-пиридинкарбоксамид, незаменимая аминокислота (L-лизин) и эссенциальный микроэлемент (цинк)	через карбоксильную группу и α -аминогруппу	-2708,200	1774,371	-0,154	-0,095	0,030
	через карбоксильную группу и ϵ -аминогруппу	-2708,106	1774,277	-0,147	-0,094	0,027

¹⁰ ГОСТ Р 56833-2015 Сыворотка молочная деминерализованная. Технические условия.

Таблица 4. Результаты исследования молочного напитка на основе комплекса: 3-пиридинкарбоксамид, незаменимая аминокислота (L-лизин) и эссенциальный микроэлемент (цинк)

Table 4. The results of the study of a milk drink based on the complex: 3-pyridine carboxamide, an essential amino acid (L-lysine) and an essential trace element (zinc)

№ образца	Титруемая кислотность, °Т	Электропроводность, мкСм/м	pH	Антиоксидантная активность, %	R _{ср} , нм
Партия 1	14	9,36	5,68	-0,34	254
Партия 2	14	9,36	5,70	-0,26	299
Партия 3	15	9,4	5,71	-0,36	192
Партия 4	16	9,57	5,73	0,84	233
Партия 5	16	9,71	5,72	0,25	120
Партия 6	17	9,8	5,75	0,77	202

Таблица 5. Результаты дегустационной оценки образцов (A_{ср} = ±0,1)

Table 5. The results of the tasting evaluation of the samples (A_m = ±0.1)

Наименование образцов	Запах и вкус	Оценка, баллы (по 5-балльной шкале)
Партия 1	недостаточно выраженный, слегка сладковатый	3,44
Партия 2	чистый, приятный, слегка сладковатый	3,71
Партия 3	чистый, приятный, слегка сладковатый	3,78
Партия 4	недостаточно выраженный, пустой, без посторонних запахов и привкусов	3,83
Партия 5	недостаточно выраженный, слегка сладковатый	3,89
Партия 6	чистый, приятный, слегка сладковатый	4,37
Партия 7	недостаточно выраженный, слегка сладковатый	3,83

микроэлемента (цинка), обладают меньшим значением антиоксидантной активности.

Гидродинамический радиус образцов, обогащенных никотинатолизинатом цинка, находится в диапазоне 120–200 нм, что меньше, чем у контрольных образцов (190–250 нм). Данный факт связан с наличием хелатного комплекса, препятствующего процессу коагулирования белковых структур.

При обработке дегустационных листов представленных образцов были получены средние оценки в баллах (табл. 5).

В результате органолептической оценки экспериментальных образцов молочных напитков было установлено, что партия 6 обладает чистым, приятным, слегка сладковатым вкусом и запахом. Полученные результаты дегустационных испытаний позволили членам комиссии рекомендовать для внедрения на предприятиях молочной промышленности образец функционального

молочного напитка из партии 6 на основе восстановленной сухой молочной сыворотки, мелассы молочной и тройного хелатного комплекса эссенциального микроэлемента (амплитуда УЗ-обработки — 100%) — никотинатолизината цинка.

Введение/Introduction

В рамках данной работы разработан функциональный молочный продукт на основе восстановленной сухой молочной сыворотки, мелассы молочной и тройного хелатного комплекса эссенциального микроэлемента (цинка).

На первом этапе были исследованы оптические свойства комплекса, в результате определена его полоса поглощения. Далее было проведено компьютерное квантово-химическое моделирование, в результате которого установлена оптимальная модель взаимодействия 3-пиридинкарбоксиамида, L-лизина и атома цинка. На следующем этапе проведена оптимизация методики синтеза в зависимости от различного содержания компонентов, в результате чего определены оптимальные концентрации сульфата цинка,

незаменимой аминокислоты (L-лизина) и 3-пиридинкарбоксиамида.

Затем были получены образцы функциональных напитков на основе восстановленной сухой молочной сыворотки, мелассы молочной и тройного хелатного комплекса эссенциального микроэлемента (цинка) при различных параметрах УЗ-обработки. У данных образцов были исследованы физико-химические свойства, проведена дегустационная оценка, в результате которой установлено, что для внедрения на предприятиях молочной промышленности рекомендовано использовать функциональный напиток на основе восстановленной сухой молочной сыворотки, мелассы молочной и тройного хелатного комплекса эссенциального микроэлемента (цинка), который подвергался УЗ-обработке с максимальной амплитудой, так как он обладает повышенными дегустационными характеристиками, чем остальные представленные образцы.

Все авторы несут ответственность за работу и представленные данные. Все авторы внесли равный вклад в работу. Авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Авторы объявили об отсутствии конфликта интересов.

All authors bear responsibility for the work and presented data. All authors made an equal contribution to the work. The authors were equally involved in writing the manuscript and bear the equal responsibility for plagiarism. The authors declare no conflict of interest.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-26-00167.
<https://rscf.ru/project/24-26-00167/>

FUNDING

The research was carried out at the expense of a grant from the Russian Science Foundation No. 24-26-00167.
<https://rscf.ru/project/24-26-00167/>

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Молибога Е.А., Сухостав Е.В., Козлова О.А., Зинич А.В. Анализ рынка функционального питания: российский и международный аспект. *Техника и технология пищевых производств*. 2022; 52(4): 775–786. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-4-2405>
- Alekseev A., Krotova O., Tupolskikh T., Onkaev V., Kedeeva O., Gucheva N. The Use of Pumpkin Plants as a Natural Biocorrector in the Technology of Functional Meat Products. Zokirjon ugli K.S., Muratov A., Ignatieva S. (eds.). *Fundamental and Applied Scientific Research in the Development of Agriculture in the Far East (AFE-2022). Agricultural Cyber-Physical Systems. Conference proceedings*. Lecture Notes in Networks and Systems; vol. 733. Cham: Springer. 2024; 1: 1119–1129. https://doi.org/10.1007/978-3-031-37978-9_108
- Наумова Н.Л., Ребезов М.Б. Микроэлементный статус челябинцев как обоснование развития производства обогащенных продуктов питания. *Фундаментальные исследования*. 2012; (4–1): 196–200. <https://elibrary.ru/pazfxv>

REFERENCES

- Moliboga E.A., Sukhostav E.V., Kozlova O.A., Zinich A.V. Functional Food Market Analysis: Russian and International Aspects. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2022; 52(4): 775–786 (in Russian). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-4-2405>
- Alekseev A., Krotova O., Tupolskikh T., Onkaev V., Kedeeva O., Gucheva N. The Use of Pumpkin Plants as a Natural Biocorrector in the Technology of Functional Meat Products. Zokirjon ugli K.S., Muratov A., Ignatieva S. (eds.). *Fundamental and Applied Scientific Research in the Development of Agriculture in the Far East (AFE-2022). Agricultural Cyber-Physical Systems. Conference proceedings*. Lecture Notes in Networks and Systems; vol. 733. Cham: Springer. 2024; 1: 1119–1129. https://doi.org/10.1007/978-3-031-37978-9_108
- Naumova N.L., Rebezov M.B. Microelement status of the population of Chelyabinsk as basis of production fortified foods. *Fundamental research*. 2012; (4–1): 196–200 (in Russian). <https://elibrary.ru/pazfxv>

4. Serikova A. *et al.* Development of technology of fermented milk drink with immune stimulating properties. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*. 2018; 9(4): 495–500. <https://elibrary.ru/xrwrf>
5. Statsenko E., Omarov R., Shlykov S., Nesterenko A., Rebezov M. Chicken Nuggets Recipe and Technology Development with Dietary Fiber. *International Transaction Journal of Engineering, Management, & Applied Sciences & Technologies*. 2021; 12(11): 12A11T. <https://doi.org/10.14456/ITJEMAST.2021.230>
6. Serbova T.V., Serova O.P., Brekhova S.A., Slozhenkina M.I., Mosolova N.I. Compound whey dessert. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020. 548: 82049. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/548/8/082049>
7. Lebedyantseva E.A., Selezneva I.S., Geide I.V., Ivantsova M.N. Study of possibility to use whey in the production of fermented dairy products. *AIP Conference Proceedings. Proceedings*. 2022; 2390(1): 030047. <https://doi.org/10.1063/5.0068944>
8. Alekseeva Y.A., Khoroshailo T.A., Brichagina A.A., Svitenco O.V. Ecological and raw material aspects of the production of fermented milk drinks. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2022; 981: 022082. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/981/2/022082>
9. Кручинин А.Г., Бигаева А.В., Туровская С.Н., Илларионова Е.Е. Современное состояние рынка вторичных сырьевых ресурсов молочной промышленности. *Ползуновский вестник*. 2022; 1(4): 140–148. <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2022.04.018>
10. Золоторева М.С., Володин Д.Н., Топалов В.К., Евдокимов И.А., Чаблин Б.В. О переработке молочной сыворотки и внедрении наилучших доступных технологий. *Переработка молока*. 2016; (7): 17–19. <https://elibrary.ru/wicfql>
11. Ребезов М.Б., Зинина О.В., Нурымхан Г.Н., Нургазезова А.Н., Смольникова Ф.Х. Вторичное сырье молочной отрасли: современное состояние и перспективы использования. *АПК России*. 2016; 75(1): 150–155. <https://elibrary.ru/vsaoyh>
12. Борисенко А.А., Костенко Е.Г., Борисенко А.А., Костенко К.В., Олешкевич О.И., Рзепакровский И.В. Использование мелассы молочной сухой с лактулозой в технологии производства йогурта с ультразвуковой обработкой. *Индустрия питания*. 2024; 9(1): 16–25. <https://doi.org/10.29141/2500-1922-2024-9-1-2>
13. Рябцева С.А., Храмов А.Г., Будкевич Р.О., Анисимов Г.С., Чулко А.О., Шпак М.А. Физиологические эффекты, механизмы действия и применение лактулозы. *Вопросы питания*. 2020; 89(2): 5–20. <https://elibrary.ru/tnxhmv>
14. Блинов А.В., Рехман З.А., Гвозденко А.А., Голик А.Б., Нагдалян А.А., Ребезов М.Б. Молочный продукт, обогащенный тройным марганецсодержащим комплексом. *Аграрная наука*. 2024; (5): 117–123. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-382-5-117-123>
15. Блинов А.В., Рехман З.А., Голик А.Б., Гвозденко А.А., Нагдалян А.А., Ребезов М.Б. Инновационная форма эссенциального микроэлемента меди для обогащения молочной продукции. *Аграрная наука*. 2024; (4): 153–159. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-381-4-153-159>
16. Блинов А.В. и др. Наночастицы селена, стабилизированные хитозаном, для обогащения молочной продукции. *Аграрная наука*. 2024; (9): 130–135. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-386-9-130-135>
17. Burmistrov D.E. *et al.* Bacteriostatic and Cytotoxic Properties of Composite Material Based on ZnO Nanoparticles in PLGA Obtained by Low Temperature Method. *Polymers*. 2022; 14(1): 49. <https://doi.org/10.3390/polym14010049>
18. Караваев А.П., Мелкозерова Н.О., Шишкин А.В. Оценка биохимических показателей в сыворотке крови мышей при исследовании хронической токсичности на фоне применения нового комплекса хелатных соединений микроэлементов. *Наука и молодежь: новые идеи и решения в АПК. Материалы Национальной научно-практической конференции молодых ученых с международным участием, посвященной 10-летию науки и технологий и 80-летию Удмуртского ГАУ*. Ижевск: Удмуртский государственный аграрный университет. 2023; 109–114. <https://elibrary.ru/dfgywa>
19. Ишмакаева А.М. Синтез хелатных комплексов металлов с L-аргинином. *Современные технологии композиционных материалов. Материалы VIII Всероссийской научно-практической молодежной конференции с международным участием*. Уфа: Уфимский университет науки и технологий. 2023; 199–203. <https://elibrary.ru/vrbmpv>
20. Мельников Н.А., Селиванова Н.М. Триазол-хелатные комплексы лантаноидов как химически стабильные и нетоксичные агенты для биоимиджинга. *Достижения молодых ученых: химические науки. Тезисы докладов VIII Всероссийской (заочной) молодежной конференции*. Уфа: Уфимский университет науки и технологий. 2023; 259–261. <https://elibrary.ru/tgctft>
21. Галимов М.Н. Синтез и моделирование структуры хелатных разнотетрааминных аминокислотных N₂O-комплексов переходных металлов. *XXIX Казанские чтения. Ежегодная Всероссийская научно-техническая конференция студентов и молодых ученых. Тезисы докладов*. Тверь: Тверской государственный университет. 2023; 54. <https://elibrary.ru/nyqmev>
22. Гвозденко А.А., Голик А.Б., Пирогов М.А., Леонтьев П.С., Блинов А.В. Компьютерное квантово-химическое моделирование строения тройных хелатных комплексов цинка с витамином В₂ и незаменимыми аминокислотами. *Инновации. Интеллект. Культура. Материалы V Международной научно-практической конференции, посвященной 435-летию основания г. Тобольска, году Даниила Чулкова в г. Тобольске*. Тюмень: Тюменский индустриальный университет. 2022; 20–23. <https://elibrary.ru/taazvx>
4. Serikova A. *et al.* Development of technology of fermented milk drink with immune stimulating properties. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*. 2018; 9(4): 495–500. <https://elibrary.ru/xrwrf>
5. Statsenko E., Omarov R., Shlykov S., Nesterenko A., Rebezov M. Chicken Nuggets Recipe and Technology Development with Dietary Fiber. *International Transaction Journal of Engineering, Management, & Applied Sciences & Technologies*. 2021; 12(11): 12A11T. <https://doi.org/10.14456/ITJEMAST.2021.230>
6. Serbova T.V., Serova O.P., Brekhova S.A., Slozhenkina M.I., Mosolova N.I. Compound whey dessert. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020. 548: 82049. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/548/8/082049>
7. Lebedyantseva E.A., Selezneva I.S., Geide I.V., Ivantsova M.N. Study of possibility to use whey in the production of fermented dairy products. *AIP Conference Proceedings. Proceedings*. 2022; 2390(1): 030047. <https://doi.org/10.1063/5.0068944>
8. Alekseeva Y.A., Khoroshailo T.A., Brichagina A.A., Svitenco O.V. Ecological and raw material aspects of the production of fermented milk drinks. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2022; 981: 022082. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/981/2/022082>
9. Kruchinin A.G., Bigaeva A.V., Turovskaya S.N., Illarionova E.E. Current state of the market of secondary raw material resources of the dairy industry. *Polzunovskiy vestnik*. 2022; 1(4): 140–148 (in Russian). <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2022.04.018>
10. Zolotoreva M.S., Volodin D.N., Topalov V.K., Evdokimov I.A., Chablin B.V. On the processing of whey and the introduction of the best available technologies. *Milk Processing*. 2016; (7): 17–19 (in Russian). <https://elibrary.ru/wicfql>
11. Rebezov M.B., Zinina O.V., Nurymkhan G.N., Nurgazezova A.N., Smolnikova F.H. Secondary raw materials of the dairy industry: the current state and prospects. *AGRO-industrial complex of Russia*. 2016; 75(1): 150–155 (in Russian). <https://elibrary.ru/vsaoyh>
12. Borisenko A.A., Kostenko E.G., Borisenko A.A., Kostenko K.V., Oleshkevich O.I., Rzhepakovsky I.V. Use of Dry Milk Molasses with Lactulose in the Yogurt Production Technology with Ultrasonic Treatment. *Food Industry*. 2024; 9(1): 16–25 (in Russian). <https://doi.org/10.29141/2500-1922-2024-9-1-2>
13. Ryabtseva S.A., Khramtsov A.G., Budkevich R.O., Anisimov G.S., Chuklo A.O., Shpak M.A. Physiological effects, mechanisms of action and application of lactulose. *Problems of nutrition*. 2020; 89(2): 5–20 (in Russian). <https://elibrary.ru/tnxhmv>
14. Blinov A.V., Rekhman Z.A., Gvozdenko A.A., Golik A.B., Nagdaljan A.A., Rebezov M.B. Dairy product enriched with triple manganese complex. *Agrarian science*. 2024; (5): 117–123 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-382-5-117-123>
15. Blinov A.V., Rekhman Z.A., Golik A.B., Gvozdenko A.A., Nagdaljan A.A., Rebezov M.B. An innovative form of the essential trace element copper for fortification of dairy products. *Agrarian science*. 2024; (4): 153–159 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-381-4-153-159>
16. Blinov A.V. *et al.* Selenium nanoparticles stabilized with chitosan for fortifying dairy products. *Agrarian science*. 2024; (9): 130–135 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-386-9-130-135>
17. Burmistrov D.E. *et al.* Bacteriostatic and Cytotoxic Properties of Composite Material Based on ZnO Nanoparticles in PLGA Obtained by Low Temperature Method. *Polymers*. 2022; 14(1): 49. <https://doi.org/10.3390/polym14010049>
18. Karavaev A.P., Melkozherova N.O., Shishkin A.V. Evaluation of biochemical parameters in the blood serum of mice in the study of chronic toxicity against the background of the use of a new complex of chelate compounds of trace elements. *Science and youth: new ideas and solutions in the agro-industrial complex. Materials of the National Scientific and Practical Conference of Young Scientists with international participation dedicated to the 10th anniversary of science and technology and the 80th anniversary of the Udmurt State University*. Izhevsk: Udmurt State Agrarian University. 2023; 109–114 (in Russian). <https://elibrary.ru/dfgywa>
19. Ishmakaeva A.M. Synthesis of chelate complexes of metals with L-arginine. *Modern technologies of composite materials. Proceedings of the VIII All-Russian scientific and practical youth conference with international participation*. Ufa: Ufa University of Science and Technology. 2023; 199–203 (in Russian). <https://elibrary.ru/vrbmpv>
20. Melnikov N.A., Selivanova N.M. Triazole-chelate complexes of lanthanides as chemically stable and non-toxic agents for bioimaging. *Achievements of young scientists: chemical sciences. Abstracts of reports of the VIII All-Russian (correspondence) youth conference*. Ufa: Ufa University of Science and Technology. 2023; 259–261 (in Russian). <https://elibrary.ru/tgctft>
21. Galimov M.N. Synthesis and modeling of the structure of chelate mixed-ligand amino acid N₂O-complexes of transition metals. *XXIX Kargin'skiy readings. Annual All-Russian scientific and technical conference of students and young scientists. Abstracts of reports*. Tver: Tver State University. 2023; 54 (in Russian). <https://elibrary.ru/nyqmev>
22. Gvozdenko A.A., Golik A.B., Pirogov M.A., Leontiev P.S., Blinov A.V. Computer quantum-chemical modeling of the structure of zinc triple chelate complexes with vitamin B₂ and essential amino acids. *Innovations. Intelligence. Culture. Proceedings of the V International Scientific and Practical Conference dedicated to the 435th anniversary of the foundation of Tobolsk, the year of Danila Chulkov in Tobolsk*. Tyumen: Industrial University of Tyumen. 2022; 20–23 (in Russian). <https://elibrary.ru/taazvx>

23. Блинов А.В., Маглакелидзе Д.Г., Гвозденко А.А., Голик А.Б., Колодкин М.А., Рехман З.А. Функциональный молочный напиток, обогащенный аскорбатозелеицином железа (II). *Индустрия питания*. 2023; 8(3): 87–96. <https://doi.org/10.29141/2500-1922-2023-8-3-9>
24. Манаева Н.И., Сумная Д.Б., Кинзерский А.А., Садова В.А., Титухов Р.Ю. Изменение биохимического статуса у спортсменов с болезнью Осгуда — Шлаттера. *Педагогико-психологические и медико-биологические проблемы физической культуры и спорта*. 2022; 17(2): 191–197. <https://elibrary.ru/spkfrn>
25. Дедов Д.В. Применение витамина D, российского препарата «Остео-Вит D₃» в комплексной профилактике остеопороза и остеопоротических переломов у детей и подростков. *Фармация*. 2022; 71(2): 5–10. <https://doi.org/10.29296/25419218-2022-02-01>
26. Резниченко И.Ю., Донченко Т.А. Формирование рациона с учетом биологической ценности печенья. *Ползуновский вестник*. 2024; (1): 120–125. <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2024.01.014>
27. Кардовский А.Г., Шардаков В.И. Роль иммунокоррекции в комплексном лечении больных с глубокими отморожениями конечностей. *Вятский медицинский вестник*. 2022; (2): 29–34. <https://elibrary.ru/bkuxlo>
28. Кулешова З.В., Панов А.В. Хроническая ишемическая болезнь сердца (практическое руководство). *Кардиология: новости, мнения, обучение*. 2022; 10(3): 63–78. <https://elibrary.ru/bvaqok>
29. Jain R.B. Thyroid Function and Serum Copper, Selenium, and Zinc in General U.S. Population. *Biological Trace Element Research*. 2014; 159(1–3): 87–98. <https://doi.org/10.1007/s12011-014-9992-9>
30. Трухан Д.И., Друк И.В., Викторова И.А. Не йодом единым. Роль селена, цинка, витаминов А, С, Е в физиологии и патологии щитовидной железы. *Клинический разбор в общей медицине*. 2024; 5(4): 34–45. <https://doi.org/10.47407/kr2024.5.4.00417>
31. Косюра С.Д., Ливанцова Е.Н., Варяева Ю.Р., Копелев А.А., Червякова Ю.Б., Стародубова А.В. Витаминно-минеральные комплексы, содержащие селен и цинк. *Лечебное дело*. 2019; (1): 58–61. <https://doi.org/10.24411/2071-5315-2019-12090>
32. Попова В.А., Кожин А.А., Мегидь Ю.И. Микроэлементозы и проблемы здоровья детей. *Педиатрия*. 2015; 94(6): 140–144. <https://elibrary.ru/vbborp>
33. Severo J.S. et al. The Role of Zinc in Thyroid Hormones Metabolism. *International Journal for Vitamin and Nutrition Research*. 2019; 89(1–2): 80–88. <https://doi.org/10.1024/0300-9831/a000262>
34. Табакаев А.В., Табакаева О.В. Пептидный обогащенный модуль функциональной направленности для профилактики ожирения и гиперлипидемии. *Ползуновский вестник*. 2024; (1): 37–44. <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2024.01.005>
35. Костина О.В., Загреков В.И., Преснякова М.В., Пушкин А.С., Лебедев М.Ю., Ашкинази В.И. Взаимосвязь уровня цинка с патогенетически значимыми нарушениями гомеостаза у тяжелообожженных пациентов. *Клиническая лабораторная диагностика*. 2022; 67(6): 330–333. <https://doi.org/10.51620/0869-2084-2022-67-6-330-333>
36. Wang X., Zhang M., Li X. Advances in the research of zinc deficiency and zinc supplementation treatment in patients with severe burns. *Zhonghua shao shang za zhi*. 2018; 34(1): 57–59 (на кит. яз.). <https://doi.org/10.3760/cma.j.issn.1009-2587.2018.01.012>
37. Baranauskas M.N. et al. Influence of Zinc on the Acute Changes in Erythropoietin and Proinflammatory Cytokines with Hypoxia. *High Altitude Medicine and Biology*. 2021; 22(2): 148–156. <https://doi.org/10.1089/ham.2020.0190>
38. Xu X., Meng J., Fang Q. Prognostic value of serum trace elements Copper and Zinc levels in sepsis patients. *Zhonghua wei zhong bing ji jiu yi xue*. 2020; 32(11): 1320–1323 (на кит. яз.). <https://doi.org/10.3760/cma.j.cn121430-20200313-00216>
39. Шишкова В.Н., Нарциссов Я.Р., Титова В.Ю., Шешегова Е.В. Молекулярные механизмы, определяющие применение комбинации глицина и цинка в коррекции основных проявлений стресса и тревоги. *Фармация и фармакология*. 2022; 10(5): 404–415. <https://doi.org/10.19163/2307-9266-2022-10-5-404-415>
23. Blinov A.V., Maglakelidze D.G., Gvozdenko A.A., Golik A.B., Kolodkin M.A., Rekhman Z.A. Functional Milk Drink Enriched with Iron (II) Ascorbate Isoleucinate. *Food Industry*. 2023; 8(3): 87–96 (in Russian). <https://doi.org/10.29141/2500-1922-2023-8-3-9>
24. Manaeva N.I., Sumnaya D.B., Kinzersky A.N., Sadova V.A., Titukhov R.Yu. Changes in biochemical status of athletes with Osgood — Schlatter disease. *Russian Journal of Physical Education and Sport*. 2022; 17(2): 191–197 (in Russian). <https://elibrary.ru/spkfrn>
25. Dedov D.V. Application of vitamin D, Russian drug “Osteo-Vit D₃” in the complex prevention of osteoporosis and osteoporotic fractures in children and teenagers. *Pharmacy*. 2022; 71(2): 5–10 (in Russian). <https://doi.org/10.29296/25419218-2022-02-01>
26. Reznichenko I.Yu., Donchenko T.A. Formation of a diet taking into account the biological value of cookies. *Polzunovskiy vestnik*. 2024; (1): 120–125 (in Russian). <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2024.01.014>
27. Kardovsky A.G., Shardakov V.I. Immunocorrecting drugs in the complex treatment for deep frostbite of limbs. *Medical newsletter of Vyatka*. 2022; (2): 29–34 (in Russian). <https://elibrary.ru/bkuxlo>
28. Kuleshova Z.V., Panov A.V. Chronic coronary heart disease (practice guidelines). *Cardiology: news, opinions, training*. 2022; 10(3): 63–78 (in Russian). <https://elibrary.ru/bvaqok>
29. Jain R.B. Thyroid Function and Serum Copper, Selenium, and Zinc in General U.S. Population. *Biological Trace Element Research*. 2014; 159(1–3): 87–98. <https://doi.org/10.1007/s12011-014-9992-9>
30. Trukhan D.I., Druk I.V., Viktorova I.A. Not iodine alone. Role of selenium, zinc, vitamins A, C, E in the physiology and pathology of the thyroid gland. *Clinical review for general practice*. 2024; 5(4): 34–45 (in Russian). <https://doi.org/10.47407/kr2024.5.4.00417>
31. Kosyura S.D., Livantsova E.N., Varayeva Yu.R., Kopelev A.A., Chervyakova Yu.B., Starodubova A.V. Vitamin and Mineral Complexes Containing Selenium and Zinc. *Lechebnoye delo*. 2019; (1): 58–61 (in Russian). <https://doi.org/10.24411/2071-5315-2019-12090>
32. Popova V.A., Kozhin A.A., Megid Yu.I. Microelementoses and children’s health problems. *Pediatrics*. 2015; 94(6): 140–144 (in Russian). <https://elibrary.ru/vbborp>
33. Severo J.S. et al. The Role of Zinc in Thyroid Hormones Metabolism. *International Journal for Vitamin and Nutrition Research*. 2019; 89(1–2): 80–88. <https://doi.org/10.1024/0300-9831/a000262>
34. Tabakaev A.V., Tabakaeva O.V. Peptide enriched module of functional orientation for the prevention of obesity and hyperlipidemia. *Polzunovskiy vestnik*. 2024; (1): 37–44 (in Russian). <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2024.01.005>
35. Kostina O.V., Zagrekov V.I., Presnyakova M.V., Pushkin A.S., Lebedev M.Yu., Ashkinazi V.I. Relationship of zinc level with pathogenetically significant homeostasis disorders in severely burned patients. *Russian Clinical Laboratory Diagnostics*. 2022; 67(6): 330–333 (in Russian). <https://doi.org/10.51620/0869-2084-2022-67-6-330-333>
36. Wang X., Zhang M., Li X. Advances in the research of zinc deficiency and zinc supplementation treatment in patients with severe burns. *Chinese Journal of Burns and Wounds*. 2018; 34(1): 57–59 (in Chinese). <https://doi.org/10.3760/cma.j.issn.1009-2587.2018.01.012>
37. Baranauskas M.N. et al. Influence of Zinc on the Acute Changes in Erythropoietin and Proinflammatory Cytokines with Hypoxia. *High Altitude Medicine and Biology*. 2021; 22(2): 148–156. <https://doi.org/10.1089/ham.2020.0190>
38. Xu X., Meng J., Fang Q. Prognostic value of serum trace elements Copper and Zinc levels in sepsis patients. *Chinese critical care medicine*. 2020; 32(11): 1320–1323 (in Chinese). <https://doi.org/10.3760/cma.j.cn121430-20200313-00216>
39. Shishkova V.N., Nartsissov Ya.R., Titova V.Yu., Sheshogova E.V. Molecular mechanisms defining application of glycine and zinc combination in correction of stress and anxiety main manifestations. *Pharmacy & Pharmacology*. 2022; 10(5): 404–415. <https://doi.org/10.19163/2307-9266-2022-10-5-404-415>

ОБ АВТОРАХ

Константин Васильевич Костенко¹

кандидат технических наук, и. о. руководителя школы прикладных междисциплинарных исследований, доцент кафедры технологии машиностроения и технологического оборудования Инженерного института
kvkostenko@ncfu.ru
<https://orcid.org/0000-0001-8779-359X>

Андрей Владимирович Блинов¹

кандидат технических наук, доцент кафедры физики и технологии наноструктур и материалов
blinov.a@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-4701-8633>

Филипп Андреевич Пойдун¹

лаборант кафедры технологии машиностроения и техносферной безопасности инженерного института
fapoidun@ncfu.ru
<https://orcid.org/0009-0003-6654-027X>

ABOUT THE AUTHORS

Konstantin Vasilyevich Kostenko¹

Candidate of Technical Sciences, Acting Head of the School of Applied Interdisciplinary Research, Associate Professor of the Department of Mechanical Engineering and Technological Equipment of the Engineering Institute
kvkostenko@ncfu.ru
<https://orcid.org/0000-0001-8779-359X>

Andrey Vladimirovich Blinov¹

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Physics and Technology of Nanostructures and Materials
blinov.a@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-4701-8633>

Philip Andreevich Poydun¹

Laboratory Assistant at the Department of Mechanical Engineering Technology and Technosphere Safety of the Engineering Institute
fapoidun@ncfu.ru
<https://orcid.org/0009-0003-6654-027X>

Максим Александрович Пирогов¹

лаборант научно-исследовательской лаборатории керамики и технохимии научно-лабораторного комплекса «Чистые зоны» физико-технического факультета
pirogov.m.2002@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-9217-6262>

Александр Михайлович Серов¹

студент кафедры физики и технологии наноструктур и материалов
Sanyka_stavzan@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0001-2929-4191>

Максим Борисович Ребезов^{2, 3}

доктор сельскохозяйственных наук, профессор, главный научный сотрудник²;
доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры биотехнологии и пищевых продуктов³
rebezov@ya.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0857-5143>

¹Северо-Кавказский федеральный университет, ул. им. Пушкина, 1, Ставрополь, 355002, Россия

²Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова Российской академии наук, ул. им. Талалихина, 26, Москва, 109316, Россия

³Уральский государственный аграрный университет, ул. им. Карла Либкнехта, 42, Екатеринбург, 620075, Россия

Maxim Alexandrovich Pirogov¹

Laboratory assistant at the Research Laboratory of Ceramics and Technochemistry of the "Clean Zones" Scientific Laboratory Complex of the Faculty of Physics and Technology
pirogov.m.2002@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-9217-6262>

Alexander Mikhailovich Serov¹

Student of the Department of Physics and Technology of Nanostructures and Materials
Sanyka_stavzan@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0001-2929-4191>

Maksim Borisovich Rebezov^{2, 3}

Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Chief Researcher²;
Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department of Biotechnology and Food Products³
rebezov@ya.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0857-5143>

¹North Caucasus Federal University, 1 Pushkin Str., Stavropol, 355002, Russia

²Gorbatov Research Center for Food Systems, 26 Talalikhin Str., Moscow, 109316, Russia

³Ural State Agrarian University, 42 Karl Liebknecht Str., Yekaterinburg, 620075, Russia