

DOI: <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-4-554-560>

Поступила 21.07.2023

Поступила после рецензирования 20.12.2023

Принята в печать 22.12.2023

© Юраскина Т. В., Соколова Е. Н., Фурсова Н. А., Серба Е. М., 2023



<https://www.fsjour.com/jour>

Научная статья

Open access

ИННОВАЦИОННЫЙ ПОДХОД К ОБОГАЩЕНИЮ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ХЛЕБОПЕКАРНЫХ ДРОЖЖЕЙ

Юраскина Т. В.^{*}, Соколова Е. Н., Фурсова Н. А., Серба Е. М.

Всероссийский научно-исследовательский институт пищевой биотехнологии — филиал ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии», Москва, Россия

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: АННОТАЦИЯ

хлебопекарные
дрожжи,
микроэлементы,
пищевые
ингредиенты,
Saccharomyces
cerevisiae

В настоящее время актуальной остается проблема дефицита макро- и микронутриентов в рационах населения. Одним из перспективных направлений ее решения является разработка способов производства отечественных пищевых ингредиентов с целью создания на их основе обогащенных микронутриентами пищевых продуктов. Биотехнологический способ получения таких ингредиентов считается одним из актуальных, а наиболее широко применяемым микроорганизмом в пищевой промышленности являются дрожжи *Saccharomyces cerevisiae*. Целью данной работы стало изучение возможности обогащения хлебопекарных дрожжей микроэлементами: цинком и хромом. В ходе исследования подтверждена возможность фортификации дрожжей в процессе культивирования периодическим способом на солодовом сусле с добавлением растворов солей — источников микроэлементов: сульфата цинка ($\text{ZnSO}_4 \times 5\text{H}_2\text{O}$) и хлорида хрома (III) ($\text{CrCl}_3 \times 6\text{H}_2\text{O}$). Оптимальными дозировками выбранных солей микроэлементов для обогащения были 250 мг Zn/дм³ и 500 мкг Cr/дм³. При этом наблюдалось увеличение содержания сырого протеина (СП) на 11,6±0,5%. При использовании данного сочетания (250 мг Zn/дм³ + 500 мкг Cr/дм³) удалось достичь оптимальных результатов в процессе одновременного обогащения объекта двумя микроэлементами. Это позволило получить образец с концентрацией 263,4±13 мг Zn/100 г дрожжей (процент встраивания — 58,8%) и 308,2±15 мкг Cr/100 г дрожжей (процент встраивания — 34,4%). Также наблюдалось повышение количества сырого протеина на 30±1,5%. Была изучена возможность включения полученных экспериментальных образцов в состав пищевых продуктов, и в качестве модели было выбрано изделие массового потребления — хлеб. Образцы хлеба были произведены с полной заменой дрожжей без обогащения на фортифицированные цинком и хромом. Органолептическая оценка и исследование таких важных показателей, как влажность и кислотность, продемонстрировали, что экспериментальные образцы могут быть использованы в пищевой промышленности после прохождения необходимых тестов на безопасность. Для восполнения рекомендуемой суточной нормы поступления в организм микроэлементов при употреблении 100 г экспериментального образца хлеба были рассчитаны значения: 68,5±3,4% для цинка и 19,2±1,0% для хрома.

ФИНАНСИРОВАНИЕ: Исследования проведены за счет средств субсидии на выполнение государственного задания № 0410-2022-0006.

Received 21.07.2023

Accepted in revised 20.12.2023

Accepted for publication 22.12.2023

© Yuraskina T. V., Sokolova E. N., Fursova N. A., Serba E. M., 2023

Available online at <https://www.fsjour.com/jour>

Original scientific article

Open access

AN INNOVATIVE APPROACH TO FOOD FORTIFICATION USING BAKER'S YEAST

Tatyana V. Yuraskina^{*}, Elena N. Sokolova, Natalya A. Fursova, Elena M. Serba

Russian Research Institute of Food Biotechnology is a Branch of Federal State Budget Institution of science "Federal Research Center of Food, Biotechnology and Food Safety", Moscow, Russia

KEY WORDS:

baker's yeast,
trace elements,
food ingredients,
Saccharomyces
cerevisiae

ABSTRACT

Currently, the problem of deficiency of macro- and micronutrients in the diet of the population remains relevant. One of the promising areas for solving this problem is the development of methods for the production of domestic food ingredients with the aim of creating food products fortified with microelements on their basis. The biotechnological method for production of such ingredients is considered one of the most relevant. The most widely used microorganism in the food industry is the *Saccharomyces cerevisiae* yeast. The aim of the research was to study the possibility of baker's yeast enrichment with microelements: zinc and chromium. The possibility of yeast fortification during batch fermentation on malt wort with the addition of salt solutions — sources of trace elements (zinc sulfate ($\text{ZnSO}_4 \times 5\text{H}_2\text{O}$) and chromium (III) chloride ($\text{CrCl}_3 \times 6\text{H}_2\text{O}$)) was confirmed. The optimal dosages of the selected trace element salts for fortification were 250 mg Zn/dm³ and 500 µg Cr/dm³. An increase in the crude protein content by 11.6±0.5% was also observed. When using this combination (250 mg Zn/dm³ + 500 µg Cr/dm³), it was possible to reach optimal results in the process of simultaneous enrichment of the object with two microelements. It makes possible to obtain a sample with a concentration of 263.4±13 mg Zn/100 g of yeast (percentage of incorporation was 58.8%) and 308.2±15 µg Cr/100 g of yeast (percentage of incorporation was 34.4%). An increase in the crude protein content by 30±1.5% was also observed. The possibility of including the produced experimental samples in food products was studied. Bread as a mass consumer product was chosen as a model. Experimental bread samples were produced with a complete replacement of yeast without enrichment with yeast fortified with zinc and chromium. Organoleptic evaluation and study of important parameters such as moisture and acidity demonstrated that the experimental samples can be used in the food industry after passing the necessary safety tests. The values of replenishing the norms of physiological needs in microelements when consuming 100 g of the experimental bread sample were calculated: 68.5±3.4% for zinc and 19.2±1.0% for chromium.

FUNDING: The research was funded by State Assignment № 0410-2022-0006.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Юраскина, Т. В., Соколова, Е. Н., Фурсова, Н. А., Серба, Е. М. (2023). Инновационный подход к обогащению пищевых продуктов с применением хлебопекарных дрожжей. *Пищевые системы*, 6(4), 554-560. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-4-554-560>

FOR CITATION: Yuraskina, T. V., Sokolova, E. N., Fursova, N. A., Serba, E. M. (2023). An innovative approach to food fortification using baker's yeast. *Food Systems*, 6(4), 554-560. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-4-554-560>

1. Введение

В настоящее время перспективным направлением развития пищевой промышленности является получение новых отечественных натуральных пищевых ингредиентов. Одним из возможных способов их производства является биотехнология, позволяющая с минимальными усилиями достичь заданных свойств конечной продукции [1,2]. Широко используемыми биологическими объектами в пищевой отрасли являются дрожжи [1,2]. Дрожжи применяют в качестве ведущего элемента в производстве хлебобулочных изделий и этанола, в пивоварении, виноделии, и т. д. Также дрожжи используют в качестве источника биологически ценных компонентов, таких как белок, витамины группы В, провитамин D₂ и др. Стоит отметить, что скор незаменимых аминокислот у дрожжевых белков приближен к содержанию данных аминокислот в белках животного происхождения [3,4]. Хлебопекарные дрожжи рода *Saccharomyces cerevisiae* считаются подробно изученными микроорганизмами, что позволяет использовать их в качестве модельного объекта для различных исследований [5]. Особенностью *S. cerevisiae* является высокая лабильность к внешнему воздействию, что способствует необходимому отклику и обеспечивает высокий потенциал для производства целевых метаболитов и биопродуктов [6].

На сегодняшний день наблюдается несовершенство пищевых паттернов населения, приводящих к микронутриентной недостаточности, что является остро стоящей проблемой [7]. Дефицит микронутриентов играет важную роль в развитии алиментарно-зависимых состояний, которые, в свою очередь, могут способствовать возникновению различных заболеваний. Одним из таких заболеваний является сахарный диабет II-типа (СД2), который, по данным Федерального регистра, распространен среди ~ 4,6 млн человек в России [8]. СД 2 — патологическое состояние, при котором нарушена эффективность использования гормона углеводного обмена — инсулина. В условиях низкой производительности инсулина снижается проницаемость плазматических мембран для глюкозы, в связи с чем уровень сахара в биологических жидкостях повышается. Этому сопутствует рост осмотического давления, что приводит к обезвоживанию организма. На фоне этого состояния может возникнуть дефицит электролитов (Na, K, Ca, Mg). В свою очередь такой дисбаланс приводит к общей и мышечной слабости, к снижению функциональности крови и регенерации, а также к поражению глаз и к другим негативным последствиям [9]. Поддержанию нормального физиологического состояния организма и уменьшению риска прогрессирования СД 2 способствует употребление важных для синтеза и секреции инсулина микроэлементов [10]. Инсулин производят β-клетки островков Лангерганса, чувствительные к концентрации глюкозы в крови. В зрелых секреторных гранулах кроме инсулина находятся ионы Zn²⁺, которые отвечают за биосинтез и хранение гормона. Цинк не только входит в состав многих ферментов, но и участвует в процессах метаболизма, регуляции экспрессии генов и др. Дефицит цинка, наблюдаемый примерно у 12 млрд человек, может привести к развитию анемии, к нарушению иммунологической реактивности, к циррозу печени и к другим негативным последствиям [11,12]. Хром (Cr) — эссенциальный микроэлемент, который нормализует проницаемость клеточных мембран для глюкозы, управляет процессами использования и депонирования сахара клетками и увеличивает чувствительность рецепторов тканей к инсулину, а также отвечает за нормальное функционирование сердечно-сосудистой системы. Хром также благотворно влияет на организм при инфекционных процессах и в условиях окислительного стресса. Дефицит хрома может приводить к снижению толерантности к глюкозе и уровня ЛПВП, а также к повышению холестерина [13,14]. Таким образом, для микроэлементной профилактики прогрессирования СД 2 необходимо ежедневное потребление цинка (Zn) и хрома (Cr) в количестве (согласно МР 2.3.1.0253–21¹) 12 мг и 40 мкг соответственно.

Источниками биодоступного цинка являются продукты животного происхождения, такие как мясо (говядина, баранина, свинина, домашняя птица), рыба и морепродукты (устрицы), имеющие высокую стоимость [15]. Ценными источниками хрома могут служить также яйца, мясо, печень, сыр [16]. При этом стоит отметить ингибирующее влияние продуктов, в составе которых содержится фитин или фитиновая кислота, на усвоение цинка из таких источников, например, из пшеницы и из других злаковых культур [17,18].

Во многих работах отечественных и зарубежных исследователей отмечена более высокая биологическая доступность микроэлементов из микробиологических источников по сравнению с неорганическими формами, а также их экологическая чистота и способность снижать токсичность металлов. В работах [19–20] показана возможность получения органических форм селена (Se) с использованием микроорганизмов: селенометионин-обогащенные *Bifidobacterium bifidum*, а также селеноцистеин-обогащенные *Streptococcus thermophilus* и *Enterococcus faecium*. В исследовании [21] отмечено преимущество селенообогащенных дрожжей как натурального органического источника селенометионина, имеющего более высокую эффективность по сравнению с неорганическим селеном в терапии когнитивных нарушений у мышей. Рядом ученых описано успешное получение микроорганизмов, обогащенных органическими формами микроэлементов, путем культивирования дрожжей *Yarrowia lipolytica* на средах с добавлением неорганической соли Se (селенита) [22], а также бактерий *Lactobacillus rhamnosus* и *Lactococcus lactis* на средах с добавлением хлорида магния [23]. По результатам отмечено, что полученные магни-обогащенные бактерии были успешно применены в производстве фортифицированного мороженого. В работе [24] исследовали влияние биодоступности обогащенных хромом (Cr) дрожжей и хлорида хрома на показатели роста цыплят-бройлеров. Отмечена более высокая биодоступность хрома из органических источников по сравнению с неорганическими, а также улучшение показателей роста цыплят и характеристик тушек при использовании в рационах Cr-обогащенных дрожжей. В работах [25,26,27,28] рассматривали возможность применения различных родов бактерий (*Lactobacillus*, *Streptococcus*, *Enterococcus*, *Bifidobacterium*, *Bacillus*) в качестве объектов для обогащения микроэлементными: селеном (Na₂SeO₃), цинком (ZnO), марганцем (MnCl₂), медью (CuCl₂). Результаты данных работ подтверждают перспективность проведения исследований по фортификации микробной биомассы эссенциальными микроэлементами.

В ряде работ показано, что дрожжи являются перспективной системой для обогащения микроэлементными, т. к. содержат витамины, играющие регуляторную роль в метаболизме человека. К ним относится, например, рибофлавин, образующий с цинком более эффективное соединение [29,30], а также эргостерин — провитамин D₂ [31]. Дефицит витамина D, как известно, является глобальной проблемой, затрагивающей примерно 1 млрд человек, из которых чуть более 123 млн являются гражданами России [32–33]. Недостаток витамина D в рационе может приводить к нарушениям метаболизма кальция и фосфатов, что, в свою очередь, вызывает некорректную минерализацию костной ткани [34]. Также дефицит витамина D снижает иммунную защиту организма и несет риск возникновения сердечно-сосудистых заболеваний [35].

Таким образом, биотехнологический способ получения пищевых ингредиентов на основе обогащенных микроэлементными микроорганизмов является актуальным и перспективным. Однако практически отсутствуют систематизированные данные о влиянии способов фортификации дрожжей на уровень встраивания микроэлементов, на их биодоступность, а также на технологические показатели обогащенных дрожжей при использовании их в хлебопечении.

Целью данной работы стало исследование возможности обогащения хлебопекарных дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* эссенциальными микроэлементами (цинком и хромом).

Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие задачи:

- 1) Исследовать возможность обогащения хлебопекарных дрожжей микроэлементами (Zn и Cr) индивидуально и сочетано;
- 2) Исследовать возможность использования обогащенных дрожжей в производстве пищевых продуктов (на примере хлеба).

2. Объекты и методы

Объектом данного исследования стали дрожжи рода *Saccharomyces cerevisiae* из коллекции микроорганизмов ВНИИ пищевой биотехнологии. В качестве источников микроэлементов были выбраны неорганические соли, разрешенные ТР ТС 021/2011² для использования в пищевой промышленности, в том числе в производстве биологически активных добавок (БАД): сульфат цинка (ZnSO₄ × 5H₂O) и хлорид хрома (III) (CrCl₃ × 6H₂O).

Экспериментальные образцы обогащенных дрожжей получали периодическим способом культивирования в течение 18 ч. при 30 ± 2 °C, 200 RPM. Биофортификацию осуществляли путем внесения

¹ МР 2.3.1.0253–21 «Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации» Москва: ЦЕНТРАМ, 2023. — 80 с.

² ТР ТС 021/2011 Технический регламент Таможенного союза «О безопасности пищевой продукции», утв. решением Комиссии Таможенного союза от 9 декабря 2011 г. № 880.

растворов солей в питательную среду. В качестве значимого фактора рассматривали дозировку микроэлемента.

Экспериментальные образцы хлебобулочных изделий были изготовлены из одной партии сырья, включающей муку пшеничную (ГОСТ Р 26574–2017³), сахар (ГОСТ 33222–2015⁴), не йодированную соль (ГОСТ Р 51574–2018⁵), сухое молоко (ГОСТ 33629–2015⁶), масло подсолнечное (ГОСТ 1129–2013⁷), а также на основе одного штамма дрожжей.

Содержание микроэлементов в дрожжах определяли методом атомно-адсорбционной спектрометрии с электротермической атомизацией на приборе Agilent 240Z (Agilent Technologies, США) по ГОСТ Р 57162–2016⁸.

Определение содержания сырого протеина в образцах дрожжей проводили по методу Кельдаль согласно ГОСТ Р 57221–2016⁹ на установке Vapodest (Gerhardt, Германия).

Аминокислотный состав образцов хлеба определяли методом ВЭЖХ согласно ГОСТ 32195–2013¹⁰ на хроматографе AZURA (Knauer, Германия). Детектирование осуществляли при $\lambda = 570$ нм и $\lambda = 440$ нм (для пролина).

Для органолептической характеристики полученных образцов хлеба проводили оценку по 5-балльной шкале по следующим показателям: форма, поверхность, цвет, пропеченность, промес, пористость, вкус, запах. Определение кислотности и влажности проводили согласно ГОСТ 5670–96¹¹ и ГОСТ 21094–2022¹² соответственно.

В таблицах приведены средние арифметические значения и их стандартные отклонения ($\bar{x} \pm SD$; $n = 3$). Статистическая обработка результатов исследования выполнена с использованием пакета программ STATISTICA 6.0. Критический уровень значимости нулевой статистической гипотезы (p) принимали равным 0,05.

3. Результаты и обсуждение

3.1. Исследование возможности обогащения хлебопекарных дрожжей микроэлементами (Zn и Cr) индивидуально и сочетанно

Основываясь на теоретических и практических данных о способности дрожжей аккумулировать минеральные вещества [36], изучали возможность получения обогащенных ингредиентов на их основе.

Первым этапом исследования стала фортификация дрожжей микроэлементами индивидуально. В качестве значимого фактора была выбрана дозировка Zn, в качестве соли-источника которого использовали сульфат цинка ($ZnSO_4 \times 5H_2O$). Полученный вариант должен был отличаться повышенным содержанием СП и показать накопление цинка дрожжами. Результаты фортификации хлебопекарных дрожжей сульфатом цинка приведены на Рисунке 1.

По результатам отмечено, что внесение сульфата цинка в дозировках 250 и 500 мг Zn/дм³ позволяет достичь статистически значимого ($p < 0,05$) увеличения содержания сырого протеина в фортифицированных дрожжах по сравнению с контролем, что соответствовало нашей гипотезе. При этом между вариантами обогащенных дрожжей отличия были незначительны, что дает возможность использовать меньшую дозировку соли микроэлемента для получения целевого ингредиента. Таким образом, оптимальной выбрали дозировку 250 мг Zn/дм³, вызывающую повышение содержания сырого протеина на $11,6 \pm 0,5\%$. Это позволяет получить дрожжи со степенью обогащения 82,1%, при которой концентрация микроэлемента составляет 683 ± 34 мг Zn на 100 г дрожжей. Полученные данные коррелируют с результатами Sheykhi et al. [36], которые установили, что накопление цинка в дрожжах увеличивается при повышении концентраций сульфата цинка в питательных средах.

³ ГОСТ 26574–2017 «Мука пшеничная хлебопекарная. Технические условия». — Москва: Стандартинформ, 2018. — 21 с.

⁴ ГОСТ 33222–2015 «Сахар белый. Технические условия». — Москва: Стандартинформ, 2019. — 22 с.

⁵ ГОСТ Р 51574–2018 «Соль пищевая. Общие технические условия». — Москва: Стандартинформ, 2018. — 12 с.

⁶ ГОСТ 33629–2015 «Консервы молочные. Молоко сухое. Технические условия». — Москва: Стандартинформ, 2017. — 13 с.

⁷ ГОСТ 1129–2013 «Масло подсолнечное. Технические условия». — Москва: Стандартинформ, 2019. — 20 с.

⁸ ГОСТ Р 57162–2016 «Вода. Определение содержания элементов методом атомно-адсорбционной спектрометрии с электротермической атомизацией». — Москва: Стандартинформ, 2019. — 23 с.

⁹ ГОСТ Р 57221–2016 «Дрожжи кормовые. Методы испытаний». — Москва: Стандартинформ, 2020. — 57 с.

¹⁰ ГОСТ 32195–2013 «Корма, комбикорма. Метод определения содержания аминокислот». — Москва: Стандартинформ, 2020. — 23 с.

¹¹ ГОСТ 5670–96 «Хлебобулочные изделия. Методы определения кислотности». — Москва: Стандартинформ, 2006. — 9 с.

¹² ГОСТ 21094–2022 «Изделия хлебобулочные. Методы определения влажности». — Москва: Стандартинформ, 2022. — 17 с.

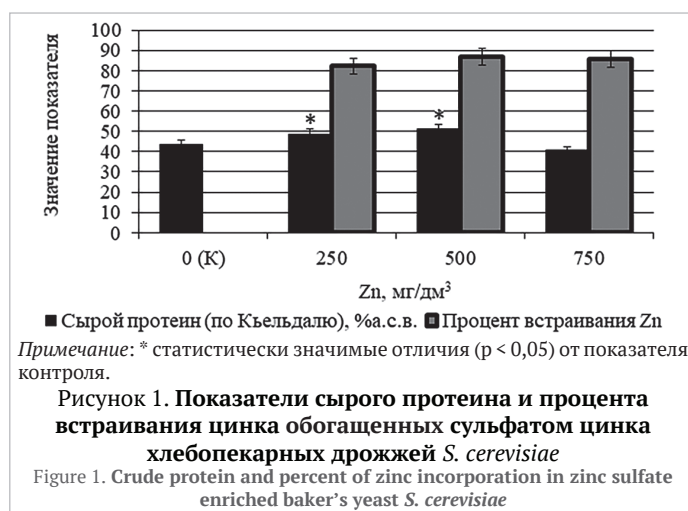


Рисунок 1. Показатели сырого протеина и процента встраивания цинка обогащенных сульфатом цинка хлебопекарных дрожжей *S. cerevisiae*

Figure 1. Crude protein and percent of zinc incorporation in zinc sulfate enriched baker's yeast *S. cerevisiae*

Далее, основываясь на результатах собственных исследований [37] и данных Zhang S. Q. et al. [38] о невысокой абсорбции неорганического и пищевого хрома и способности образования пептидными структурами дрожжевой клетки биоплексов с ионами Cr, изучали возможность получения обогащенных ингредиентов — источников биодоступного Cr. В данном эксперименте дозировка хрома варьировала в пределах от 100 до 1000 мкг/дм³, в качестве соли-источника использовали хлорид хрома (III) ($CrCl_3 \times 6H_2O$) [37]. Результаты фортификации дрожжей хлоридом хрома представлены на Рисунке 2.

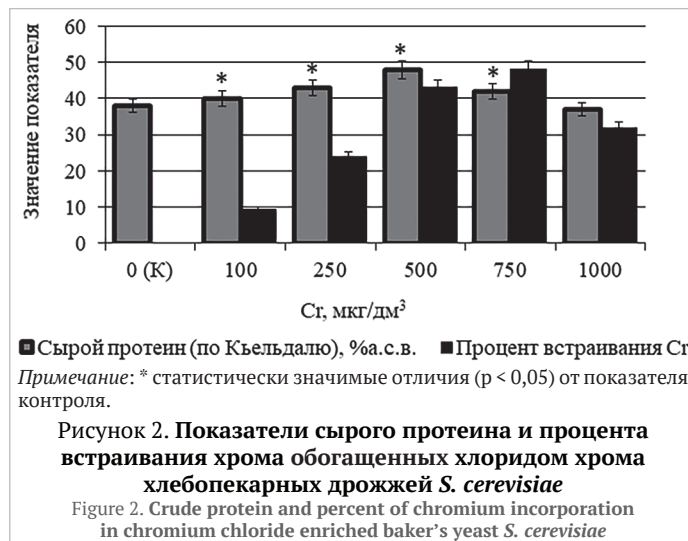


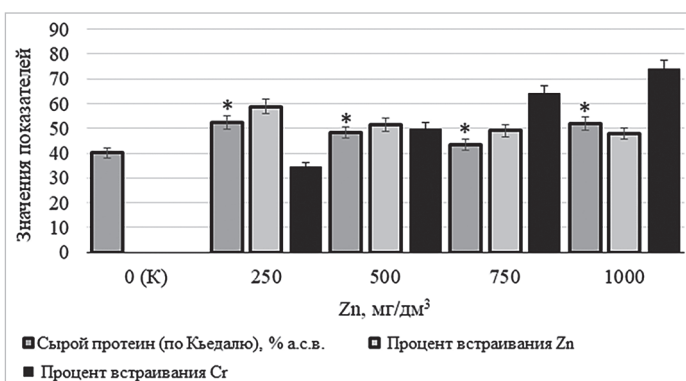
Рисунок 2. Показатели сырого протеина и процента встраивания хрома обогащенных хлоридом хрома хлебопекарных дрожжей *S. cerevisiae*

Figure 2. Crude protein and percent of chromium incorporation in chromium chloride enriched baker's yeast *S. cerevisiae*

По результатам отмечено, что внесение хлорида хрома в дозировках менее 1000 мкг Cr/дм³ позволяет достичь статистически значимого ($p < 0,05$) увеличения содержания сырого протеина в фортифицированных дрожжах по сравнению с контролем. Дозировка свыше 750 мкг Cr/дм³ вызвала ингибирование развития культуры, что соотносится с данными Lipinska E. et al. [39], в исследовании которых отмечается, что в высоких дозах хром может подавлять рост дрожжей. Среди вариантов обогащенных дрожжей также имелись значимые различия, при этом оптимальной оказалась дозировка 500 мкг Cr/дм³, вызывающая повышение содержания сырого протеина на $26 \pm 1,3\%$, при которой обогащение составило 43,1% — концентрация микроэлемента $512,5 \pm 25$ мкг Cr на 100 г дрожжей.

Полученные данные подтверждают возможность обогащения хлебопекарных дрожжей *S. cerevisiae* микроэлементами со статистически значимым улучшением технологических показателей. Положительный отклик культуры на обогащение дает возможность для проведения дальнейших исследований фортификации дрожжей сочетано с целью получения вариантов с накоплением одновременно цинка и хрома.

В ходе следующего эксперимента были рассмотрены различные дозировки цинка, при оптимальной дозировке хрома, равной 500 мкг Cr/дм³. Результаты фортификации дрожжей сочетано представлены на Рисунке 3.



Примечание: * статистически значимые отличия ($p < 0,05$) от показателя контроля.

Рисунок 3. Показатели сырого протеина и процента встраивания цинка и хрома обогащенных сульфатом цинка и хлоридом хрома хлебопекарных дрожжей *S. cerevisiae*

Figure 3. Crude protein and percent of zinc and chromium incorporation in baker's yeast *S. cerevisiae* enriched with zinc sulfate and chromium chloride

По результатам отмечено, что обогащение дрожжей цинком и хромом одновременно позволяет достичь значимого ($p < 0,05$) увеличения содержания сырого протеина по сравнению с контролем. Среди фортифицированных вариантов также отмечены значимые различия, при этом оптимальными были дозировки 250 мг Zn/дм³ и 500 мкг Cr/дм³, вызывающие повышение содержания сырого протеина на $30 \pm 1,5\%$. Это позволяет достичь обогащения цинком 58,8% и хромом 34,4%, концентрации микроэлементов достигали $263,4 \pm 13$ мг Zn/100 г дрожжей и $308,2 \pm 15$ мкг Cr/100 г дрожжей соответственно.

Полученные данные подтверждают возможность сочетанного обогащения хлебопекарных дрожжей *S. cerevisiae* со статистически значимым улучшением технологических показателей.

3.2. Исследование возможности использования обогащенных дрожжей в производстве пищевых продуктов (на примере хлеба)

Для подтверждения возможности применения полученных обогащенных хлебопекарных дрожжей в пищевой промышленности проводили наработку экспериментальной партии фортифицированных дрожжей с подобранными оптимальными дозировками микроэлементов. Затем были изготовлены образцы хлеба с полной заменой дрожжей, при этом не производилось обогащение в рецептуре контрольного образца. Результаты представлены на Рисунке 4.

Влажность и кислотность полученных образцов соответствовали требованиям ГОСТ Р 58233–2018¹⁵ и составляли 42,60% и 3,0 град. у контроля и 44,07% и 3,0 град. у опытного образца.

Проводили органолептическую оценку полученных образцов хлебобулочных изделий по восьми качественным показателям. Результаты представлены на Рисунке 5.

Как видно из профилограммы, при органолептической оценке были отмечены незначительные различия в показателях хлеба с внесением в рецептуру экспериментальных дрожжей по сравнению с контролем. Показано, что в основном эти различия касались таких показателей хлеба, как «форма», «поверхность» и «пористость».

¹⁵ГОСТ Р 58233–2018 «Хлеб из пшеничной муки. Технические условия». — Москва: Стандартинформ, 2019. — 14 с.



Рисунок 5. Профилограмма экспериментальных образцов хлебобулочных изделий: контроль — с дрожжами, без обогащения; опыт — с дрожжами, обогащенными цинком и хромом

Figure 5. Profilogram of the experimental samples of bakery products: control — with yeast, without enrichment; experimental sample — with yeast enriched with zinc and chromium

Сопутствующей частью данного исследования было определение аминокислотного и элементного состава для подтверждения повышения пищевой ценности получаемого продукта. Поэтому далее был проведен аминокислотный анализ полученных экспериментальных образцов хлеба. Результаты представлены в Таблице 1.

Таблица 1. Аминокислотный состав белковых веществ образцов хлеба

Table 1. Amino acid composition of protein substances in bread samples

Аминокислота, мг/100 г	Хлеб Контроль	Хлеб Zn+Cr
Валин (Val)	325,02 ± 42,25	319,02 ± 41,47
Изолейцин (Ile)	304,35 ± 36,52	323,69 ± 38,84*
Лейцин (Leu)	597,65 ± 77,69	594,70 ± 77,31
Лизин (Lys)	98,58 ± 6,90	257,42 ± 18,02*
Метионин (Met)	111,15 ± 8,89	121,38 ± 9,71*
Треонин (Thr)	255,44 ± 30,65	234,18 ± 28,10*
Триптофан (Trp)	1356,72 ± 176,37	1870,98 ± 243,23*
Фенилаланин (Phe)	377,09 ± 26,40	380,93 ± 26,67
Незаменимые, всего	3426,03 ± 171,30	4102,3 ± 205,12*
Аспарагиновая кислота (Asp)	412,21 ± 32,98	384,59 ± 30,77*
Серин (Ser)	440,49 ± 39,64	401,78 ± 36,16*
Глутаминовая кислота (Glu)	3037,55 ± 212,63	2824,06 ± 197,68*
Пролин (Pro)	871,40 ± 61,00	908,30 ± 63,58
Глицин (Gly)	268,58 ± 18,80	262,91 ± 18,40
Аланин (Ala)	241,45 ± 16,90	246,75 ± 17,27
Тирозин (Tyr)	124,06 ± 14,89	128,35 ± 15,40
Гистидин (His)	80,86 ± 6,47	256,99 ± 20,56*
Аргинин (Arg)	126,16 ± 8,83	295,97 ± 20,72*
Заменимые, всего	5602,77 ± 280,13	5709,70 ± 285,49
Всего:	9028,77 ± 496,58	9812,01 ± 539,66*
Незаменимые: Заменимые	1: 1,63	1: 1,39

Примечание: * статистически значимые ($p < 0,05$) отличия от показателя хлеба с дрожжами без обогащения.



Рисунок 4. Экспериментальные образцы хлебобулочных изделий: (А) — контроль с дрожжами без обогащения; (В) — опыт с дрожжами, обогащенными цинком и хромом

Figure 4. Experimental samples of bakery products: (A) — control with yeast without enrichment; (B) — experiment with yeast enriched with zinc and chromium

Отмечено, что в опытных образцах хлеба содержалось достоверно большее количество незаменимых аминокислот (в 1,2 раза), чем у контрольных образцов, полученных в аналогичных условиях.

Далее определяли содержание исследуемых микроэлементов в образцах хлеба с обогащенными дрожжами для выявления возможности обеспечения профилактики микронутриентной недостаточности. Расчет количества необходимых веществ для восполнения рекомендуемой суточной нормы физиологической потребности (РСНП) в цинке и хроме согласно МР 2.3.1.0253–21 приведен в Таблице 2.

Таблица 2. Расчетное значение восполнения рекомендуемой суточной нормы физиологической потребности согласно МР 2.3.1.0253–21 при употреблении хлеба с добавлением обогащенных ингредиентов

Table 2. Calculated value of replenishment of the recommended daily physiological requirement according to MR2.3.1.0253–21 when eating bread with the addition of enriched ingredients

Наименование микроэлемента	РСНП	Верхний допустимый уровень потребления	Хлеб Zn + Cr, 100 г
Цинк (Zn)	12 мг/сут.	25 мг/сут.	68,5 ± 3,4%
Хром (Cr)	50 мкг/сут.	250 мкг/сут.	19,2 ± 1,0%

Как видно из Таблицы 2, необходимо употребление не более 100 г опытного образца хлеба для восполнения более 15% от РСНП, что подтверждает возможность использования обогащенных дрожжей для получения пищевых продуктов, одним из направлений применения которых будет являться профилактика микронутриентной недостаточности.

4. Выводы

Таким образом, экспериментально доказана возможность получения обогащенных цинком и хромом хлебопекарных дрожжей с улучшенными технологическими показателями для внесения их в состав продуктов питания на примере хлебобулочных изделий. Обогащенные пищевые продукты с применением данных образцов могут быть использованы для профилактики микронутриентной недостаточности. Так как данная форма «обогащенных микроэлементными хлебопекарных дрожжей» не входит в перечень разрешенных к применению в пищевом производстве согласно ТР ТС 021/2011, необходимо проведение дальнейших исследований их биобезопасности. После прохождения всех контрольных испытаний данные ингредиенты будут представлять собой перспективный источник микронутриентов для производителей и потребителей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Тутельян, В. А., Шарафетдинов, Х. Х., Лапик, И. А., Воробьева, И. С., Суханов, Б. П. (2014). Приоритеты в разработке специализированных пищевых продуктов оптимизированного состава для больных сахарным диабетом 2 типа. *Вопросы питания*, 83(6), 41–51.
- Серб, Е. М., Юраскина, Т. В., Римарева, Л. В., Ревякина, В. А., Медриш, М. Э., Потгоржельская, Н. С. (2022). Ферментализат *Saccharomyces cerevisiae*: научно-практическое обоснование использования в качестве биологически активной добавки. *Биотехнология*, 38(4), 107–113. <https://doi.org/10.56304/S0234275822040123>
- Мазо, В. К., Зорин, С. П. (2008). Перспективы биотехнологического получения новых пищевых источников органических соединений селена. *Успехи современного естествознания*, 11, Статья 15.
- Comitini, F., Agarbat, A., Canonico, L., Ciani, M. (2021). Yeast interactions and molecular mechanisms in wine fermentation: A comprehensive review. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(14), Article 7754. <https://doi.org/10.3390/ijms22147754>
- Nielsen, J. (2019). Yeast systems biology: Model organism and cell factory. *Biotechnology Journal*, 14(9), Article e1800421. <https://doi.org/10.1002/biot.201800421>
- Jordá, T., Puig, S. (2020). Regulation of ergosterol biosynthesis in *Saccharomyces cerevisiae*. *Genes*, 11(7), Article 795. <https://doi.org/10.3390/genes11070795>
- Al-Fartusie, F. S., Mohsan, S. N. (2017). Essential trace elements and their vital roles in human body. *Indian Journal of Advances in Chemical Science*, 5(3), 127–136.
- Дедов, И. И., Шестакова, М. В., Вихолова, О. К., Железнякова, А. В., Исаков, М. А., Сазонова, Д. В. и др. (2023). Сахарный диабет в Российской Федерации: динамика эпидемиологических показателей по данным Федерального регистра сахарного диабета за период 2010–2022 гг. *Сахарный диабет*, 26(2), 104–123. <https://doi.org/10.14341/DM13035>
- Waleed, A., Ahmed, A. A. (2022). Disturbance of Electrolytes (Na, K and Cl) Homeostasis among Patients with Type II Diabetes Mellitus. *Libyan Journal of Medical Research*, 16(2), 153–160.
- Dubey, P., Thakur, V., Chattopadhyay, M. (2020). Role of minerals and trace elements in diabetes and insulin resistance. *Nutrients*, 12(6), Article 1864. <https://doi.org/10.3390/nu12061864>
- Шейбак, В. М. (2015). Синтез и секреция инсулина: роль катионов цинка. *Журнал Гродненского государственного медицинского университета*, 1(49), 5–8.
- Prasad, A. S. (2017). Discovery of zinc for human health and biomarkers of zinc deficiency. Chapter in a book: *Molecular, genetic, and nutritional aspects of major and trace minerals*. Molecular, Genetic, and Nutritional Aspects of Major and Trace Minerals. Academic Press, 2016. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802168-2.00020-8>
- Khodavirdipour, A., Haddadi, F., Keshavarzi, S. (2020). Chromium supplementation negotiation with diabetes mellitus, hyperlipidemia and depression. *Journal of Diabetes and Metabolic Disorders*, 19(1), 585–595. <https://doi.org/10.1007%2Fs40200-020-00501-8>
- Swaroop, A., Bagchi, M., Preuss, H. G., Zafra-Stone, S., Ahmad, T., Bagchi, D. (2019). Benefits of chromium (III) complexes in animal and human health. Chapter in a book: *The nutritional biochemistry of chromium (III)*. Elsevier, 2019. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64121-2.00008-8>
- Bohrer, B. M. (2017). Review: Nutrient density and nutritional value of meat products and non-meat foods high in protein. *Trends in Food Science and Technology*, 65, 103–112. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.04.016>
- Gharibzadeh, S. M. T., Jafari, S. M. (2017). The importance of minerals in human nutrition: Bioavailability, food fortification, processing effects and nano-encapsulation. *Trends in Food Science and Technology*, 62, 119–132. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.02.017>
- Handa, V., Sharma, D., Kaur, A., Arya, S. K. (2020). Biotechnological applications of microbial phytase and phytic acid in food and feed industries. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 25, Article 101600. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2020.101600>
- Gibson, R. S., Raboy, V., King, J. C. (2018). Implications of phytate in plant-based foods for iron and zinc bioavailability, setting dietary requirements, and formulating programs and policies. *Nutrition Reviews*, 76(11), 793–804. <https://doi.org/10.1093/nutrit/nuy028>
- Krausova, G., Kana, A., Vecka, M., Hyrslova, I., Stankova, B., Kantorova, V. et al. (2021). In vivo bioavailability of selenium in selenium-enriched *Streptococcus thermophilus* and *Enterococcus faecium* in CD IGS rats. *Antioxidants*, 10(3), Article 463. <https://doi.org/10.3390/antiox10030463>
- Jin, W., Yoon, C., Johnston, T. V., Ku, S., Ji, G. E. (2018). Production of selenomethionine — enriched *Bifidobacterium bifidum* BGN4 via sodium selenite biocatalysis. *Molecules*, 23(11), Article 2860. <https://doi.org/10.3390/molecules23112860>
- Zhang, Z.-H., Wu, Q.-Y., Chen, C., Zheng, R., Chen, Y., Ni, J.-Z. et al. (2018). Comparison of the effects of selenomethionine and selenium — enriched yeast in the triple — transgenic mouse model of Alzheimer's disease. *Food and Function*, 9(7), 3965–3973. <https://doi.org/10.1039/C7FO02063E>
- Kieliszek, M., Dourou, M. (2021). Effect of selenium on the growth and lipid accumulation of *Yarrowia lipolytica* yeast. *Biological Trace Element Research*, 199(4), 1611–1622. <https://doi.org/10.1007/s12011-020-02266-w>
- Góral, M., Kozłowiec, K., Pankiewicz, U., Góral, D. (2018). Magnesium enriched lactic acid bacteria as a carrier for probiotic ice cream production. *Food Chemistry*, 239, 1151–1159. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.07.053>
- Król, B., Stupczyńska, M., Kinal, S., Bodarski, R., Tronina, W., Mońka, M. (2017). Bioavailability of organic and inorganic sources of chromium in broiler chicken feeds. *Journal of Elementology*, 22(1), 283–294. <https://doi.org/10.5601/jelem.2016.21.1.1119>
- Yang, J., Wang, J., Yang, K., Liu, M., Qi, Y., Zhang, T. et al. (2018). Antibacterial activity of selenium — enriched lactic acid bacteria against common food — borne pathogens *in vitro*. *Journal of Dairy Science*, 101(5), 1930–1942. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13430>
- Pieniz, S., Andreazza, R., Mann, M.B., Camargo, F., Brandelli, A. (2017). Bioaccumulation and distribution of selenium in *Enterococcus durans*. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 40, 37–45. <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2016.12.003>
- Pophaly, S. D., Poonam, Singh, P., Kumar, H., Tomar, S.K., Singh, R. (2014). Selenium enrichment of lactic acid bacteria and bifidobacteria: A functional food perspective. *Trends in Food Science and Technology*, 39(2), 135–145. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2014.07.006>
- Adiwena, M., Murtillaksono, A., Egra, S., Hoesain, M., Asyiah I. N., Pradana, A. P. et al. (2023). The effects of micronutrient-enriched media on the efficacy of *Bacillus subtilis* as biological control agent against *Meloidogyne incognita*. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 24(1), 33–39. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d240105>
- Averianova, L. A., Balabanova, L. A., Son, O. M., Podvolotskaya, A. B., Tekutyeva, L. A. (2020). Production of vitamin B2 (riboflavin) by microorganisms: An overview. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 8, Article 570828. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2020.570828>
- Rai, A. K., Pandey, A., Sahoo, D. (2019). Biotechnological potential of yeasts in functional food industry. *Trends in Food Science and Technology*, 83, 129–137. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.11.016>
- Liu, J.-F., Xia, J.-J., Nie, K.-L., Wang, F., Deng, L. (2019). Outline of the biosynthesis and regulation of ergosterol in yeast. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 35, Article 98. <https://doi.org/10.1007/s1274-019-2673-2>
- Amrein, K., Scherkl, M., Hoffmann, M., Neuwersch-Sommeregger, S., Köstenberger, M., Berisha, A.T. et al. (2020). Vitamin D deficiency 2.0: An update on the current status worldwide. *European Journal of Clinical Nutrition*, 74(11), 1498–1513. <https://doi.org/10.1038/s41430-020-0558-y>
- Петрушкина А. А., Пигарова Е. А., Рожинская Л. Я. (2018). Эпидемиология дефицита витамина D в Российской Федерации. *Остеопороз и остеопатия*, 21(3), 15–20. <https://doi.org/10.14341/osteo10038>

34. Berger, M. M., Pantet, O., Schneider, A., Ben-Hamouda, N. (2019). Micronutrient deficiencies in medical and surgical inpatients. *Journal of Clinical Medicine*, 8(7), Article 931. <https://doi.org/10.3390/jcm8070931>
35. de la Guía-Galipienso, F., Martínez-Ferran, M., Vallecillo, N., Lavie, C. J., Sanchis-Gomar, F., Pareja-Galeano, H. (2021). Vitamin D and cardiovascular health. *Clinical Nutrition*, 40(5), 2946–2957. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2020.12.025>
36. Sheykhi F. et al. (2018). The effect of different concentrations of organic and inorganic zinc on the growth and zinc content in yeast (*Saccharomyces cerevisiae*). *Biological Journal of Microorganism*, 7(28), 103–109. <https://doi.org/10.22108/BJM.2018.107135.1090>
37. Серб, Е. М., Соколова, Е. Н., Римарева, Л. В., Фурсова, Н. А., Волкова, Г. С., Курбатова, Е. И. и др. (2020). Перспективные расы хлебопекарных дрожжей для получения пищевых ингредиентов, обогащенных селеном и хромом. *Вопросы питания*, 89(6), 48–57. <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2020-10078>
38. Zhang, S.-Q., Qin, X.-W., Zhang, Y. (2023). Pharmacokinetics of chromium-enriched yeast in rats following oral administration. *Naunyn-Schmiedeberg's Archives of Pharmacology*, 396(1), 167–170. <https://doi.org/10.1007/s00210-022-02334-z>
39. Lipinska, E., Błażej, S., Koczoń, P., Piwowarek, K. (2019). Research on the quality of baker's yeast enriched with chromium. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 596, 13–21. <https://doi.org/10.22630/zppnr.2019.596.2>

REFERENCES

1. Tutelyan, V. A., Sharafetdinov, Kh. Kh., Lapik, I. A., Vorobyeva, I. S., Sukhanov, B. P. (2014). Priorities in the development of specialized food products with optimized composition for patients with type 2 diabetes mellitus. *Problems of Nutrition*, 83(6), 41–51. (In Russian)
2. Serba, E. M., Yuraskina, T. V., Rimareva, L. V., Revyakina, V. A., Medrish, M. E., Pogorzelskaya, N. S. (2022). *Saccharomyces cerevisiae* enzymatic hydrolysis: scientific and practical substantiation of its use as a biologically active supplement. *Biotechnologiya*, 38(4), 107–113. <https://doi.org/10.56304/S0234275822040123> (In Russian)
3. Mazo, V. K., Zorin, S. P. (2008). Prospects for the biotechnological production of new food sources of organic selenium compounds. *Advances in Current Natural Sciences*, 11, Article 15. (In Russian)
4. Comitini, F., Agarbati, A., Canonico, L., Ciani, M. (2021). Yeast interactions and molecular mechanisms in wine fermentation: A comprehensive review. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(14), Article 7754. <https://doi.org/10.3390/ijms22147754>
5. Nielsen, J. (2019). Yeast systems biology: Model organism and cell factory. *Biotechnology Journal*, 14(9), Article e1800421. <https://doi.org/10.1002/biot.201800421>
6. Jordá, T., Puig, S. (2020). Regulation of ergosterol biosynthesis in *Saccharomyces cerevisiae*. *Genes*, 11(7), Article 795. <https://doi.org/10.3390/genes11070795>
7. Al-Fartusie, F. S., Mohssan, S. N. (2017). Essential trace elements and their vital roles in human body. *Indian Journal of Advances in Chemical Science*, 5(3), 127–136.
8. Dedov, I. I., Shestakova, M. V., Vikulova, O. K., Zheleznyakova, A. V., Isakov, M. A., Sazonova, D. V. et al. (2023) Diabetes mellitus in the Russian Federation: Dynamics of epidemiological indicators according to the Federal Register of diabetes mellitus for the period 2010–2022. *Diabetes Mellitus*, 26(2), 104–123. <https://doi.org/10.14341/DM13035> (In Russian)
9. Waled, A., Ahmed, A. A. (2022). Disturbance of Electrolytes (Na, K and Cl). Homeostasis among Patients with Type II Diabetes Mellitus. *Libyan Journal of Medical Research*, 16(2), 153–160.
10. Dubey, P., Thakur, V., Chattopadhyay, M. (2020). Role of minerals and trace elements in diabetes and insulin resistance. *Nutrients*, 12(6), Article 1864. <https://doi.org/10.3390/nu12061864>
11. Sheybak, V. M. (2015). Synthesis and secretion of insulin: Role of zinc cations. *Journal of the Grodno State Medical University*, 1(49), 5–8. (In Russian)
12. Prasad, A. S. (2017). Discovery of zinc for human health and biomarkers of zinc deficiency. Chapter in a book: *Molecular, genetic, and nutritional aspects of major and trace minerals. Molecular, Genetic, and Nutritional Aspects of Major and Trace Minerals*. Academic Press, 2016. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802168-2.00020-8>
13. Khodavirdipour, A., Haddadi, F., Keshavarzi, S. (2020). Chromium supplementation negotiation with diabetes mellitus, hyperlipidemia and depression. *Journal of Diabetes and Metabolic Disorders*, 19(1), 585–595. <https://doi.org/10.1007/s40200-020-00501-8>
14. Swaroop, A., Bagchi, M., Preuss, H. G., Zafra-Stone, S., Ahmad, T., Bagchi, D. (2019). Benefits of chromium (III) complexes in animal and human health. Chapter in a book: *The nutritional biochemistry of chromium (III)*. Elsevier, 2019. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64121-2.00008-8>
15. Bohrer, B. M. (2017). Review: Nutrient density and nutritional value of meat products and non-meat foods high in protein. *Trends in Food Science and Technology*, 65, 103–112. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.04.016>
16. Gharibzadeh, S. M. T., Jafari, S. M. (2017). The importance of minerals in human nutrition: Bioavailability, food fortification, processing effects and nano-encapsulation. *Trends in Food Science and Technology*, 62, 119–132. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.02.017>
17. Handa, V., Sharma, D., Kaur, A., Arya, S. K. (2020). Biotechnological applications of microbial phytase and phytic acid in food and feed industries. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 25, Article 101600. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2020.101600>
18. Gibson, R. S., Raboy, V., King, J. C. (2018). Implications of phytate in plant-based foods for iron and zinc bioavailability, setting dietary requirements, and formulating programs and policies. *Nutrition Reviews*, 76(11), 793–804. <https://doi.org/10.1093/nutrit/nuy028>
19. Krausova, G., Kana, A., Vecka, M., Hyrslova, I., Stankova, B., Kantorova, V. et al. (2021). In vivo bioavailability of selenium in selenium-enriched *Streptococcus thermophilus* and *Enterococcus faecium* in CD IGS rats. *Antioxidants*, 10(3), Article 463. <https://doi.org/10.3390/antiox10030463>
20. Jin, W., Yoon, C., Johnston, T. V., Ku, S., Ji, G. E. (2018). Production of selenomethionine — enriched *Bifidobacterium bifidum* BGN4 via sodium selenite biocatalysis. *Molecules*, 23(11), Article 2860. <https://doi.org/10.3390/molecules23112860>
21. Zhang, Z.-H., Wu, Q.-Y., Chen, C., Zheng, R., Chen, Y., Ni, J.-Z. et al. (2018). Comparison of the effects of selenomethionine and selenium — enriched yeast in the triple — transgenic mouse model of Alzheimer's disease. *Food and Function*, 9(7), 3965–3973. <https://doi.org/10.1039/C7FO02063E>
22. Kieliszek, M., Dourou, M. (2021). Effect of selenium on the growth and lipid accumulation of *Yarrowia lipolytica* yeast. *Biological Trace Element Research*, 199(4), 1611–1622. <https://doi.org/10.1007/s12011-020-02266-w>
23. Góral, M., Kozłowiec, K., Pankiewicz, U., Góral, D. (2018). Magnesium enriched lactic acid bacteria as a carrier for probiotic ice cream production. *Food Chemistry*, 239, 1151–1159. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.07.053>
24. Król, B., Słupczyńska, M., Kinal, S., Bodarski, R., Tronina, W., Mořka, M. (2017). Bioavailability of organic and inorganic sources of chromium in broiler chicken feeds. *Journal of Elementology*, 22(1), 283–294. <https://doi.org/10.5601/jelem.2016.21.1.1119>
25. Yang, J., Wang, J., Yang, K., Liu, M., Qi, Y., Zhang, T. et al. (2018). Antibacterial activity of selenium — enriched lactic acid bacteria against common food — borne pathogens *in vitro*. *Journal of Dairy Science*, 101(3), 1930–1942. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13430>
26. Pieniz, S., Andrazza, R., Mann, M. B., Camargo, F., Brandelli, A. (2017). Bioaccumulation and distribution of selenium in *Enterococcus durans*. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 40, 37–45. <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2016.12.003>
27. Pophaly, S. D., Poonam, Singh, P., Kumar, H., Tomar, S. K., Singh, R. (2014). Selenium enrichment of lactic acid bacteria and bifidobacteria: A functional food perspective. *Trends in Food Science and Technology*, 39(2), 135–145. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2014.07.006>
28. Adiwena, M., Murtiaksano, A., Egra, S., Hoesain, M., Asyiah I. N., Pradana, A. P. et al. (2023). The effects of micronutrient-enriched media on the efficacy of *Bacillus subtilis* as biological control agent against *Meloidogyne incognita*. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 24(1), 33–39. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d240105>
29. Averianova, L. A., Balabanova, L. A., Son, O. M., Podvolotskaya, A. B., Tekutyeva, L. A. (2020). Production of vitamin B2 (riboflavin) by microorganisms: An overview. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 8, Article 570828. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2020.570828>
30. Rai, A. K., Pandey, A., Sahoo, D. (2019). Biotechnological potential of yeasts in functional food industry. *Trends in Food Science and Technology*, 83, 129–137. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.11.016>
31. Liu, J.-F., Xia, J.-J., Nie, K.-L., Wang, F., Deng, L. (2019). Outline of the biosynthesis and regulation of ergosterol in yeast. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 35, Article 98. <https://doi.org/10.1007/s11274-019-2673-2>
32. Amrein, K., Scherkl, M., Hoffmann, M., Neuwersch-Sommeregger, S., Köstnerberger, M., Berisha, A. T. et al. (2020). Vitamin D deficiency 2.0: An update on the current status worldwide. *European Journal of Clinical Nutrition*, 74(11), 1498–1513. <https://doi.org/10.1038/s41430-020-0558-y>
33. Petrushkina, A. A., Pigarova, E. A., Rozhinskaya, L. Ya. (2018). The prevalence of vitamin D deficiency in Russian Federation. *Osteoporosis and Bone Diseases*, 21(3), 15–20. <https://doi.org/10.14341/osteo10038> (In Russian)
34. Berger, M. M., Pantet, O., Schneider, A., Ben-Hamouda, N. (2019). Micronutrient deficiencies in medical and surgical inpatients. *Journal of Clinical Medicine*, 8(7), Article 931. <https://doi.org/10.3390/jcm8070931>
35. de la Guía-Galipienso, F., Martínez-Ferran, M., Vallecillo, N., Lavie, C. J., Sanchis-Gomar, F., Pareja-Galeano, H. (2021). Vitamin D and cardiovascular health. *Clinical Nutrition*, 40(5), 2946–2957. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2020.12.025>
36. Sheykhi F. et al. (2018). The effect of different concentrations of organic and inorganic zinc on the growth and zinc content in yeast (*Saccharomyces cerevisiae*). *Biological Journal of Microorganism*. 7(28), 103–109. <https://doi.org/10.22108/BJM.2018.107135.1090>
37. Serba, E. M., Sokolova, E. N., Rimareva, L. V., Fursova, N. A., Volkova, G. S., Kurbatova, E. I. et al. (2020). Promising races of baker's yeast for the production of food ingredients enriched with selenium and chromium. *Problems of Nutrition*, 89(6), 48–57. <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2020-10078> (In Russian)
38. Zhang, S.-Q., Qin, X.-W., Zhang, Y. (2023). Pharmacokinetics of chromium-enriched yeast in rats following oral administration. *Naunyn-Schmiedeberg's Archives of Pharmacology*, 396(1), 167–170. <https://doi.org/10.1007/s00210-022-02334-z>
39. Lipinska, E., Błażej, S., Koczoń, P., Piwowarek, K. (2019). Research on the quality of baker's yeast enriched with chromium. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 596, 13–21. <https://doi.org/10.22630/zppnr.2019.596.2>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	AUTHOR INFORMATION
Принадлежность к организации	Affiliation
Юраскина Татьяна Владимировна — аспирант, младший научный сотрудник, отдел биотехнологии ферментов, дрожжей, органических кислот и БАД, Всероссийский научно-исследовательский институт пищевой биотехнологии — филиал ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» 111033, Москва, Самокатная ул., 4Б Тел.: +7-495-362-45-72 E-mail: tatyana.vlad.yuraskina@gmail.com ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6877-9933 * автор для контактов	Tatyana V. Yuraskina, Postgraduate Student, Junior Researcher, Department of Biotechnology of Enzymes, Yeasts, Organic Acids and Dietary Supplements, Russian Research Institute of Food Biotechnology is a Branch of Federal State Budget Institution of science "Federal Research Center of Food, Biotechnology and Food Safety" 4B, Samokatnaya str., 111033, Moscow, Russia Tel.: +7-495-362-45-72 E-mail: tatyana.vlad.yuraskina@gmail.com ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6877-9933 * corresponding author
Соколова Елена Николаевна — кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, отдел биотехнологии ферментов, дрожжей, органических кислот и БАД, Всероссийский научно-исследовательский институт пищевой биотехнологии — филиал ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» 111033, Москва, Самокатная ул., 4Б Тел.: +7-495-362-45-72 E-mail: elenani.sokolova@inbox.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6084-7786	Elena N. Sokolova, Candidate of Sciences in Biology, Leading Researcher, Department of Biotechnology of Enzymes, Yeasts, Organic Acids and Dietary Supplements, Russian Research Institute of Food Biotechnology is a Branch of Federal State Budget Institution of science "Federal Research Center of Food, Biotechnology and Food Safety" Tel.: +7-495-362-45-72 E-mail: elenani.sokolova@inbox.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6084-7786
Фурсова Наталья Александровна — заведующий лабораторией биотехнологии пекарных дрожжей, Всероссийский научно-исследовательский институт пищевой биотехнологии — филиал ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» 111033, Москва, Самокатная ул., 4Б Тел.: +7-495-362-36-31 E-mail: pekardroj@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3903-6644	Natalya A. Fursova — Head of the Laboratory of Baker's Yeast Biotechnology, Russian Research Institute of Food Biotechnology is a Branch of Federal State Budget Institution of science "Federal Research Center of Food, Biotechnology and Food Safety" 4B, Samokatnaya str., 111033, Moscow, Russia Tel.: +7-495-362-36-31 E-mail: pekardroj@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3903-6644
Серба Елена Михайловна — доктор биологических наук, доцент, профессор РАН, член-корреспондент РАН, Заместитель директора по научной работе, Всероссийский научно-исследовательский институт пищевой биотехнологии — филиал ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» 111033, Москва, Самокатная ул., 4-Б Тел.: +7-916-515-92-73 E-mail: serbae@mail.ru ORCID: http://orcid.org/0000-0002-1660-2634	Elena M. Serba, Doctor of Biological Sciences, Docent, Professor of the Russian Academy of Sciences, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Deputy Director for Research, Russian Research Institute of Food Biotechnology is a Branch of Federal State Budget Institution of science "Federal Research Center of Food, Biotechnology and Food Safety" 4-B, Samokatnaya str., 111033, Moscow, Russia Tel.: +7-916-515-92-73 E-mail: serbae@mail.ru ORCID: http://orcid.org/0000-0002-1660-2634
Критерии авторства	Contribution
Авторы в равных долях имеют отношение к написанию рукописи и одинаково несут ответственность за плагиат.	Authors equally relevant to the writing of the manuscript, and equally responsible for plagiarism.
Конфликт интересов	Conflict of interest
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.	The authors declare no conflict of interest.