

УДК 637.07

# Антиоксидантная активность как функциональное преимущество кисломолочного продукта в процессе хранения

<sup>1</sup> ФГАНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности»

Л. Г. Креккер<sup>1</sup>, Е. В. Колосова<sup>1</sup>

**КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:**  
Креккер Людмила Геннадьевна  
Адрес: 115093, г. Москва,  
ул. Люсиновская 35, корпус 7  
E-mail: l\_krekker@vniimi.org

**ЗАЯВЛЕНИЕ О ДОСТУПНОСТИ ДАННЫХ:**  
данные текущего исследования доступны по запросу у корреспондирующего автора.

**ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:**  
Креккер Л. Г., & Колосова Е. В. (2022). Антиоксидантная активность как функциональное преимущество кисломолочного продукта в процессе хранения. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (2), 147-160. <https://doi.org/10.36107/10.36107/spfp.2022.348>

ПОСТУПИЛА: 20.05.2022

ПРИНЯТА: 26.06.2022

ОПУБЛИКОВАНА: 30.06.2022

**КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:**  
авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.



## АННОТАЦИЯ

**Введение.** Изучение антиоксидантного потенциала кисломолочного продукта в процессе хранения является актуальной проблемой предотвращения образования активных форм кислорода, активации перекисного окисления и окислительной модификации, приводящих к снижению функционального значения продукта питания.

**Цель.** Целью данного исследования является выбор и обоснование срока годности и технологических параметров приготовления продукта из бактериального концентрата на основании антиоксидантного потенциала симбиоза микроорганизмов.

**Материалы и методы.** В качестве объекта исследований была использована симбиотическая закваска, состоящая из лактобактерий и молочных дрожжей, из которой был приготовлен бактериальный концентрат и далее кисломолочный кумысный продукт. Методом метаанализа произведена систематизация наиболее значимых факторов влияния восстановленного глутатиона на антиоксидантную активность и связанную с ними продолжительность хранения кисломолочного продукта. Эмпирическим путем подобраны условия и режимы культивирования бактериального концентрата для получения кисломолочного продукта, определены основные физико-химические и микробиологические показатели качества, в том числе продукты метаболизма симбиотических микроорганизмов, осуществляющих антиоксидантный ответ. Выбран оптимальный метод исследования антиоксидантной активности и определена концентрация восстановленного глутатиона в готовом продукте.

**Результаты.** Подобраны технологические параметры приготовления симбиотического продукта из бактериального концентрата, с учетом его антиоксидантной активности. Оптимальная доза бактериального концентрата составляет 1,0–1,2 %, это позволяет приготовить продукт в течение 12 ч и максимально проявлять антиоксидантный потенциал симбиоза бактерий в процессе хранения. Количество глутатиона в готовом продукте составляет от 23,88 до 27,45 мг/%, в течение гарантированного срока годности оно изменяется не более чем на 14 %. Исследовано изменение показателей качества продукта в процессе хранения и уровень витаминов С и В<sub>12</sub>. На основе комплекса полученных данных установлен оптимальный срок хранения готового симбиотического продукта, который составляет 10 суток.

**Выводы.** Результаты исследований показали, что антиоксидантная активность гетероферментативного продукта увеличивается, по сравнению с окончанием сквашивания на 4-е сутки хранения, это по всей видимости связано с метаболизмом молочнокислых бактерий и дрожжей, образованием водорастворимых пептидов, накоплением ферментов и витаминов. На основании этих данных установлен гарантированный срок хранения продукта 10 суток, позволяющий максимально проявлять антиоксидантный потенциал. Определено количество проантиоксидантов в продукте: витамина С, витамина В<sub>12</sub>, восстановленного глутатиона, его количество в продукте составляет от 23,88 до 27,45 мг/%. В течение гарантированного срока годности оно изменяется не более чем на 14 %. Полученные результаты позволяют использовать потенциал антиоксидантной активности и количество восстановленного глутатиона для прогнозирования и увеличения срока хранения кисломолочного продукта.

## КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

симбиотическая закваска, антиоксидантная активность, хранение, ферменты, витамины, кумыс

# Antioxidant Activity as a Functional Advantage of a Fermented Milk Product During Storage

<sup>1</sup> Federal State Institution «All-Russian Research Institute of Dairy Industry»

Lyudmila G. Krekker<sup>1</sup>, Elena V. Kolosova<sup>1</sup>

## CORRESPONDENCE:

**Lyudmila G. Krekker**  
35 Lyusinovskaya str., building 7,  
Moscow, 115093, Russian Federation  
E-mail: l\_krekker@vniimi.org

## FOR CITATIONS:

Krekker L.G., Kolosova E. V. (2022). Antioxidant activity as a functional advantage of a fermented milk product during storage. *Storage and Processing of Farm Products*, (2), 147-160. <https://doi.org/10.36107/10.36107/spfp.2022.348>

RECEIVED: 20.05.2022

ACCEPTED: 26.06.2022

PUBLISHED: 30.06.2022

## DECLARATION OF COMPETING

INTEREST:

none declared.



## ABSTRACT

**Background.** The study of the antioxidant potential of a fermented milk product during storage is an urgent problem of preventing the formation of reactive oxygen species, activation of peroxidation and oxidative modification, leading to a decrease in the functional value of the food product.

**Purpose.** The purpose of this study is to select and substantiate the shelf life and technological parameters of the preparation of a product from bacterial concentrate based on the antioxidant potential of the symbiosis of microorganisms.

**Materials and Methods.** A symbiotic starter culture consisting of lactobacilli and milk yeast was used as an object of research, from which a bacterial concentrate was prepared and then a fermented milk koumiss product. The meta-analysis method systematized the most significant data on the effect of antioxidant activity on the functional potential of the fermented milk product during storage. The conditions and modes of bacterial concentrate cultivation during the production of fermented milk product were empirically selected, the main physico-chemical and microbiological parameters were determined, including the metabolic products of symbiotic microorganisms that carry out an antioxidant response. The optimal method for the study of antioxidant activity was chosen and the concentration of reduced glutathione in the finished product was determined.

**Results.** The technological parameters of the preparation of a symbiotic product from bacterial concentrate are selected, taking into account its antioxidant activity. The optimal dose of bacterial concentrate is 1.0–1.2 %, which allows you to prepare the product within 12 hours and maximize the antioxidant potential of bacterial symbiosis during storage. The amount of glutathione in the finished product ranges from 23.88 to 27.45 mg /%, during the guaranteed shelf life it changes by no more than 14 %. The changes in the quality indicators of the product during storage and the level of vitamins C and B<sub>12</sub> were investigated. The optimal shelf life of the finished symbiotic product has been established, which is 10 days.

**Conclusions.** The research results showed that the antioxidant activity of the heterofermentative product increases, compared with the end of fermentation on the 4th day of storage, this is apparently due to the metabolism of lactic acid bacteria and yeast, the formation of water-soluble peptides, the accumulation of enzymes and vitamins. Based on these data, a guaranteed shelf life of the product of 10 days has been established, which allows you to maximize the antioxidant potential. The amount of pro antioxidants in the product was determined: vitamin C, vitamin B<sub>12</sub>, reduced glutathione, its amount in the product ranges from 23.88 to 27.45 mg/%. During the guaranteed shelf life, it changes by no more than 14 %. The results obtained will make it possible to use the potential of antioxidant activity and the amount of reduced glutathione to predict and increase the shelf life of the fermented milk product

## KEYWORDS

symbiotic starter culture, antioxidant activity, storage, enzymes, vitamins, koumiss.

## ВВЕДЕНИЕ

Повышение антиоксидантной активности микроорганизмов, входящих в состав традиционных кисломолочных продуктов — это один из эффективных алиментарных путей предотвращения окислительного стресса. В настоящее время рядом ученых изложена концепция о роли пробиотиков в редукции стресса, которая основывается на антиоксидантной активности бактерий и бактерицидном действии (Han & Fioramonti, 2008; Järvenpää et al., 2007; Бегунова и др., 2019). Экспериментальным путем продемонстрировано, что бактерии желудочно-кишечного тракта способны синтезировать все основные нейромедиаторы, защищающие организм от стресса — серотонин, норадреналин, допамин, гамма-аминомасляную кислоту, повышать целостность кишечного барьера за счет экспрессии генов, увеличивающих пролиферацию клеток кишечного эпителия (Shulzhenko et al., 2011). Это предполагает необходимость включения симбиотических кисломолочных продуктов в рацион питания с целью формирования адекватного антиоксидантного ответа макроорганизма на стресс в процессе всего гарантированного срока годности.

Основные механизмы антиоксидантной активности, используемые пробиотическими бактериями для снижения окислительного стресса, в заквасках и кисломолочных продуктах реализуются при ферментации и в процессе хранения. Они включают окислительно-восстановительную передачу сигналов для повышения уровня ферментов, накопления резервных веществ и удаления активных форм кислорода. Доказано, что консорциумы молочнокислых бактерий и дрожжей, в отличие от чистых культур, способны более выражено проявлять проантиоксидантный эффект, синтезируя защитные биогенные пептиды, витамины и ферменты, в том числе глутатионпероксидазу, супероксиддисмутазу, каталазу (Креккер и др., 2021; Оганесянц и др., 2018; Никулин и др., 2013). С этим связано широкое распространение симбиозов молочнокислых бактерий и дрожжей в окружающей среде и их высокая выживаемость при окислительном стрессе.

Но при этом исследований по прогнозированию и увеличению срока годности кисломолочных продуктов с учетом антиоксидантного потенциала и изучения количества антистрессового фактора — восстановленного глутатиона, не было. Ра-

нее нами были определены оптимальные условия культивирования симбиоза на модифицированной питательной среде и получен бактериальный концентрат симбиотической закваски, обладающий выраженной антиоксидантной активностью. Установлено, что антиоксидантная активность лактосбраживающих дрожжей, входящих в состав симбиоза и синтез ими ферментов, осуществляющих редокс-регуляцию во многом обеспечивается восстановленным глутатионом (Креккер и др., 2021), в связи с этим в данной публикации были изучены возможности концентрата по увеличению срока хранения готового кумысного продукта.

В процессе хранения глутатион может стабилизировать мембранные структуры, удаляя ацильные перекиси, образующиеся в ходе продуктов окисления липидов, на кисломолочном объекте этот факт остается не изученным. Но, известно, что у аэробных культур дрожжей, в том числе входящих в состав кумысных продуктов<sup>1</sup>, при наступлении стационарной фазы уровень общего глутатиона возрастает (Pophaly et al., 2012; Scandalios, 1993).

Вторая часть заквасочной микрофлоры кумысных продуктов представлена молочнокислыми палочками. У молочнокислых лактококков способность к синтезу проантиоксиданта глутатиона, выражена не так явно, как у эукариот, дрожжей и грамотрицательных бактерий (Миледина и др., 2020). Но исследование их антиоксидантной активности представляет большой практический и научный интерес. Ведь подавляющее число исследований показали, что грамположительные бактерии содержат глутатион в небольшом количестве, например, бактерии рода *Streptococcus* (Hiraku et al., 2007), но прокариоты, в отличие от эукариот синтезируют глутатионзависимые белки, используя его молекулу для проведения разнообразных реакций, катализирующих превращение восстановленного глутатиона в его окисленную форму, и, в дальнейшем, регенерируя вновь восстановленную форму (Khan et al., 2019; Ки-Бейом и др., 2011). Это влияние в симбиозе может быть решающим и изменить срок предполагаемого хране-

<sup>1</sup> Федотова, О. Б., & Буянова, И. В. (2017). *Современные технологии упаковки и хранения молочных продуктов: Учебное пособие*. М.: Кемеровский технологический институт пищевой промышленности.

ния продуктов за счет взаимодействия эукариот и прокариот в кумысном симбиозе, что является целью данного исследования.

Основная проблема оценки антиоксидантной активности кисломолочных продуктов в процессе хранения заключается в сложности подбора методик для анализа биологических жидкостей. Большинство исследователей при оценке антиоксидантной активности подразумевают некоторую интегральную составляющую, которая отражает суммарный ответ и потенциальную проантиоксидантную активность. К сожалению, для правильной интерпретации полученных результатов антиоксидантной активности много задач остаются не решенными. Например, какой уровень антиоксидантной активности должен быть достаточным для повышения хранимоспособности и за счет каких веществ формируется общая интегральная величина антиоксидантной активности кисломолочных продуктов.

Для анализа антиоксидантной активности крови применяется вольтамперометрический метод, который заключается в регистрации интенсивности катодного восстановления кислорода на основании кинетического критерия, отражающего количество активных кислородных радикалов, прореагировавших с антиоксидантом за минуту времени. Реализуется также иммуноферментный метод анализа крови с использованием реакции циркулирующих биологических пероксидов с пероксидазой, в котором оценивается интенсивность окраски до и после добавления стоп — раствора, которую измеряют фотометрически на микропланшетном ридере (Воронова и др., 2013).

Относительно новым методом анализа антиоксидантной активности является хемилюминесценция сложных реакций с участием радикалов, с регистрацией скорости образования радикалов, без определения количества веществ. Для проведения метода требуется хемилюминометр и активаторы хемилюминесценции (Владимиров и др., 2011).

Кулонометрический метод предполагает использование электрогенерированного брома, вступающего во множество реакций с антиоксидантными соединениями. Он позволяет охватить большое количество антиоксидантных соединений различ-

ной структуры (Лапин и др., 2009). Но, к сожалению, наличие жира в молоке может влиять на конечный результат и являться причиной получения некорректных значений (Будкевич и др., 2015).

В пищевой промышленности наибольшее распространение получил амперометрический метод по ГОСТ Р 54037-2010<sup>2</sup> для оценки водорастворимых антиоксидантов в овощах, фруктах, продуктах их переработки, алкогольных и безалкогольных напитках с использованием кверцетина и амперметрический метод с использованием галловой кислоты, которые основаны на окислении фенольных (R-OH), тиоловых (R-SH) и других соединений.

При подборе метода анализа антиоксидантной активности мы руководствовались вышепредставленными данным об эффективности методик, в том числе рекомендациями Сажиной (2016) которая рекомендует амперометрический метод, обеспечивающий большую достоверность при определении АОА одного или двух не взаимодействующих между собой антиоксидантов, не зависит от жирности молока, является наиболее универсальным. Метод дает результат о содержании веществ в реальном времени и позволяет обнаружить малое количество антиоксидантов. В связи с этим, в данных исследованиях был использован амперметрический метод определения водорастворимых антиоксидантов с использованием в качестве эталона галловой кислоты.

Актуальность данного эксперимента обуславливается необходимостью поиска источников эффективной антиоксидантной защиты для увеличения срока хранения кисломолочных продуктов, а также анализа антиоксидантной активности симбиозов клеток, обладающих выраженной способностью накапливать восстановленный глутатион и эффективно реализовать антиоксидантный потенциал в течение всего срока годности.

Цель исследования: использование способности симбиотической микрофлоры накапливать восстановленную форму глутатиона и повышать антиоксидантную активность готового продукта с целью

<sup>2</sup> ГОСТ Р 54037-2010. (2019). *Продукты пищевые. Определение содержания водорастворимых антиоксидантов амперометрическим методом в овощах, фруктах, продуктах их переработки, алкогольных и безалкогольных напитках*. М.: Стандартинформ.

прогнозирования и увеличения срока хранения кисломолочного продукта. Задачи исследования: (1) проанализировать функциональные преимущества кисломолочных продуктов с учетом увеличения срока хранения и исследования антиоксидантной активности в процессе приготовления и хранения, (2) подобрать технологические параметры приготовления симбиотического продукта на основе бактериального концентрата, способствующие сохранению антиоксидантного потенциала; (3) определить продукты метаболизма симбиоза с про- и антиоксидантными свойствами; (4) установить сроки хранения функционального кумысного продукта, полученного с использованием нового бактериального концентрата.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

### Объект

Бактериальный концентрат симбиотической закваски, состоящий из *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus bulgaricus*, *Lactobacillus plantarum*, *Saccharomyces lactis*, в соотношении культур 0,2 : 0,2 : 0,6 : 1, приготовленный на модифицированной питательной среде из гидролизованного молока и картофельного отвара, для получения кумысного продукта из коровьего молока (Ж = 2,5 %).

### Оборудование и инструменты

При выполнении исследований было использовано следующее оборудование: термостат суховоздушный ТС-80, лабораторные весы ВК-1500, прибор Цвет Яуза-01-АА для суммарного определения антиоксидантов, рН-метр МАРК — 901, автоклав ВК-75, баня водяная RE300DB цифровая, спектрофотометр ПЭ-5300ВИ, предназначенный для измерения коэффициента пропускания и оптической плотности жидкостей с целью определения растворенных в них компонентов. Посуда химическая лабораторная: стаканы и колбы термостойкие из стекла, чашки Петри, пипетки мерные, резиновые груши и дозаторы для отбора реактивов, пергамент для подготовки посуды к стерилизации.

### Методы

Титруемую кислотность определяли по ГОСТ Р 54669-2011<sup>3</sup>; количество молочнокислых микроорганизмов — по ГОСТ 33951-2016<sup>4</sup>; количество дрожжей — по ГОСТ 33566-2015<sup>5</sup>; количество спирта — по ГОСТ 3629-47<sup>6</sup>; активную кислотность по ГОСТ 32892-2014<sup>7</sup>, содержание водорастворимых антиоксидантов — амперометрическим методом на приборе «Цвет Яуза-01-АА», [61 Используя полученное калибровочное уравнение и среднее значение площади хроматограмм, рассчитывали значение суммарного содержания антиоксидантов по формуле:

$$X = X_r \cdot V \cdot N / m \cdot 1000,$$

где  $X_r$  — значение антиоксидантной активности, найденное по градуировочному графику, эквивалентное мг галловой кислоты / дм<sup>3</sup>;

$V$  — объем раствора анализируемой пробы, см<sup>3</sup>;

$N$  — кратность разбавления анализируемого образца;

$m$  — навеска анализируемой пробы, г;

1000 — переводной коэффициент.

Глутатион в продукте определяли титрометрическим методом по уровню свободных SH-групп, оттитрованных йодноватистокислым калием, с переводом окисленного глутатиона в восстановленную форму с помощью цинковой пыли. Восстановленный глутатион определяют по разнице — общий глутатион минус окисленный.

Содержание в продукте витамина С определяли по ГОСТ 30627.2-98<sup>8</sup>; витамина В<sub>12</sub> — спектрофото-

<sup>3</sup> ГОСТ Р 54669-2011. (2011). *Молоко и продукты переработки молока. Методы определения кислотности*. М.: Стандартинформ.

<sup>4</sup> ГОСТ 33951-2016. (2016). *Межгосударственный стандарт. Молоко и молочная продукция. Методы определения молочнокислых микроорганизмов*. М.: Стандартинформ.

<sup>5</sup> ГОСТ 33566-2015. (2015). *Межгосударственный стандарт. Молоко и молочная продукция. Определение дрожжей и плесневых грибов*. М.: Стандартинформ.

<sup>6</sup> ГОСТ 3629-47. (2015). *Молочные продукты. Метод определения спирта (алкоголя)*. М.: Стандартинформ.

<sup>7</sup> ГОСТ 32892-2014. (2014). *Молоко и молочная продукция. Метод измерения активной кислотности*. М.: Стандартинформ.

<sup>8</sup> ГОСТ 30627.2-98. (2015). *Продукты молочные для детского питания. Методы измерений массовой доли витамина С (аскорбиновой кислоты)*. М.: Стандартинформ.

метрическим методом с измерением оптической плотности на спектрофотометре при длине волны 530 нм (Ляликов, 1984).

## Процедура

На первом этапе исследований методом метаанализа произведена систематизация данных о влиянии антиоксидантной активности на функциональный потенциал кисломолочного продукта в целом и срок его хранения. Составлена многоуровневая карта факторов антиоксидантной активности кисломолочного продукта для прогнозирования срока годности. Подобраны методы и материалы исследований.

На втором этапе получены образцы бактериального концентрата симбиотической закваски на модифицированной питательной среде. Произведена температурная обработка молока при температуре 92–95 °С 5 сек, условия и режимы культивирования бактериального концентрата при получении кисломолочного продукта.

Далее определены основные физико-химические и микробиологические показатели качества готового продукта. Изучена антиоксидантная активность кисломолочного продукта в процессе хранения.

На завершающем этапе установлен уровень проантиоксидантных и антиоксидантных веществ на конец срока годности. Определен оптимальный срок хранения кисломолочного кумысного продукта.

## Анализ данных

За результат измерений принимали среднее арифметическое результатов пяти параллельных определений при равных условиях, при получении схожимости результатов, рассчитывался коэффициент корреляции и достоверность.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

С целью установления срока годности нового продукта, приготовленного с использованием бактериального концентрата, способного накапливать восстановленную форму глутатиона и повышать

антиоксидантную активность, в данном исследовании решались задачи применения оптимального метода анализа антиоксидантной активности готового продукта в процессе подбора технологических параметров его приготовления и установления срока хранения на основании исследования традиционных качественных характеристик и дополнительных параметров антиоксидантоактивности кумысного продукта.

Как показал метаанализ данных, функциональная стабильность кисломолочного продукта в большой степени зависит от качества сырья и антиоксидантной активности исходной микрофлоры. При достижении определенного баланса между веществами антиоксидантного и прооксидантного характера возможно получить результат в виде продукта с выраженными функциональными свойствами и требуемой хранимоспособностью. На Рисунке 1 представлена многоуровневая карта взаимосвязей антиоксидантной активности и функционального качества кисломолочного продукта. Из данных, представленных в диаграмме видно, что суммарная антиоксидантная активность — это сложная многофакторная система, которая реализуется из про- и антиоксидантов ферментативного и не ферментативного происхождения, связанных с внешними и внутренними факторами.

Ферментативная глутатионовая антипероксидазная система эффективно защищает клетки от оксидативного стресса, который наиболее активно проявляется в процессе хранения. Но оценка антиоксидантной активности таких натуральных продуктов как молочные или сыворотка затрудняется сложным химическим составом, включающим целый ряд веществ, осуществляющих антиоксидантный ответ: аминокислоты, органические кислоты, витамины, глюкоза, ферменты, неорганические соли др. промежуточные и конечные продукты метаболизма.

В готовом продукте соотношение ферментов, витаминов, сывороточных белков, полипептидов и пептонов обеспечивает должный уровень антиоксидантной активности продукта. В процессе хранения антиоксидантная активность снижается, образующиеся перекиси и гидроперекиси способствуют разрушению жирорастворимых витаминов и полиненасыщенных жирных кислот, а накопление молочной кислоты значительно снижает ак-



**Рисунок 1**

Многоуровневая карта антиоксидантной активности в процессе хранения

тивную кислотность и понижает активность антиоксидантных ферментов. Органические пероксиды и гидропероксиды являются первыми продуктами реакций, происходящих между клеточными компонентами и активными формами кислорода в процессе окисления. Чувствительность к окислению продукта и закваски можно контролировать, измеряя его антиоксидантную активность дозой заквасочной микрофлоры.

В связи с этим, на первом этапе исследований было подобрано оптимальное количество бактериального концентрата при изготовлении кисломолочного продукта на молоке. Результаты представлены в Таблице 1 и Рисунке 1.

Данные эксперимента показали, что продолжительность сквашивания составляет при внесении от 0,1–1,2% бактериального концентрата от 12–16 ч. При

**Таблица 1**

Физико-химические показатели кисломолочного продукта

Доза бактериального концентрата, %	Активность сквашивания, ч	Титруемая кислотность, °Т (в момент образования сгустка)	Количество спирта, %	Активная кислотность, ед. рН	Содержание витамина С, мг/100 г	Содержание витамина В <sub>12</sub> , мкг/100 г
0,1	16	115	0,023	4,58	2,80	3,02
0,2	16	118	0,023	4,46	2,81	3,04
0,3	15	120	0,023	4,41	2,92	3,38
0,4	15	122	0,023	4,39	2,97	3,39
0,6	14	124	0,024	4,32	3,01	3,40
0,8	13	128	0,123	4,30	3,24	3,56
1,0	12	126	0,138	4,31	3,31	3,58
1,2	12	125	0,139	4,32	3,32	3,61

внесении 1,0–1,2% она минимальна и составляет не более 12 ч. Титруемая кислотность при этом у готового продукта 125–128 °Т, органолептические показатели готового продукта удовлетворительные. Уровень спирта в этих вариантах также несколько выше, по сравнению вариантом, где внесена доза бактериального концентрата 0,1–0,6%, он составляет при использовании 1,0–1,2% бактериального концентрата 0,138–0,139 %.

Важное значение в формировании антиоксидантного ответа играет уровень водорастворимых веществ, формирующих в дальнейшем ферментативное звено для регенерации антиоксидантов: содержание про- и витаминов в кисломолочном продукте. Установлено, что содержание водорастворимых витаминов увеличивается при изготовлении кисломолочного продукта внесением при внесении 0,8–1,2% бактериального концентрата симбиотической закваски, количество витамина С составляет 3,24–3,32 мг/100 г, витамина В<sub>12</sub> от 3,56–3,61 мкг/100 г соответственно.

Уровень жизнеспособной микрофлоры в продукте отражен на Рисунке 2.

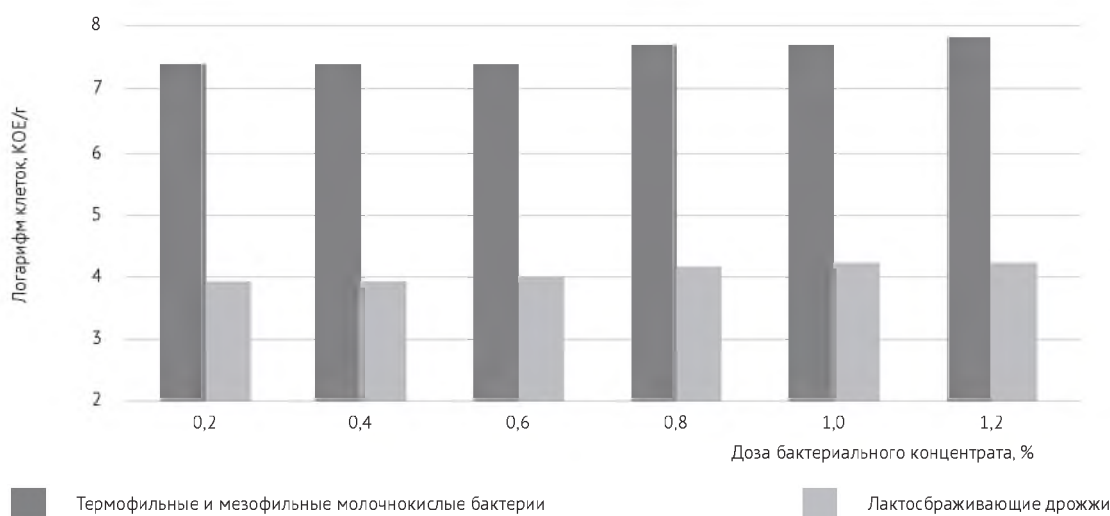
Экспериментальные исследования показали, что внесение глицина в количестве 1,0–1,2% способствует содержанию большего количества дрожжей, их уровень достигает  $2,3 \cdot 10^4$  КОЕ при внесении 1,2% бактериального концентрата и  $2,2 \cdot 10^4$  КОЕ при внесении 1,0% заквасочного материала.

Уровень молочнокислых бактерий достигает  $4 \cdot 10^7$  и  $6 \cdot 10^7$  КОЕ/г. В связи с этим, оптимальной дозой бактериального концентрата для приготовления продукта составляет 1–1,2%.

В результате приготовления продукта на основе симбиоза молочнокислых бактерий и дрожжей образуется довольно большое количество антиоксидантов, а кроме этого синтезируются вещества – синергисты, к которым относят молочную, лимонную, аскорбиновую и винную кислоты, лактаты калия и натрия, их синергетическое действие заключается в восстановлении окисленных форм антиоксидантов или связывании ионов тяжелых металлов в неактивные комплексы (Patterson et al., 2016). В связи с этим на следующем этапе эксперимента была изучена антиоксидантная активность в процессе хранения готового кисломолочного продукта. Уровень изменения антиоксидантной активности отражен на Рисунке 3.

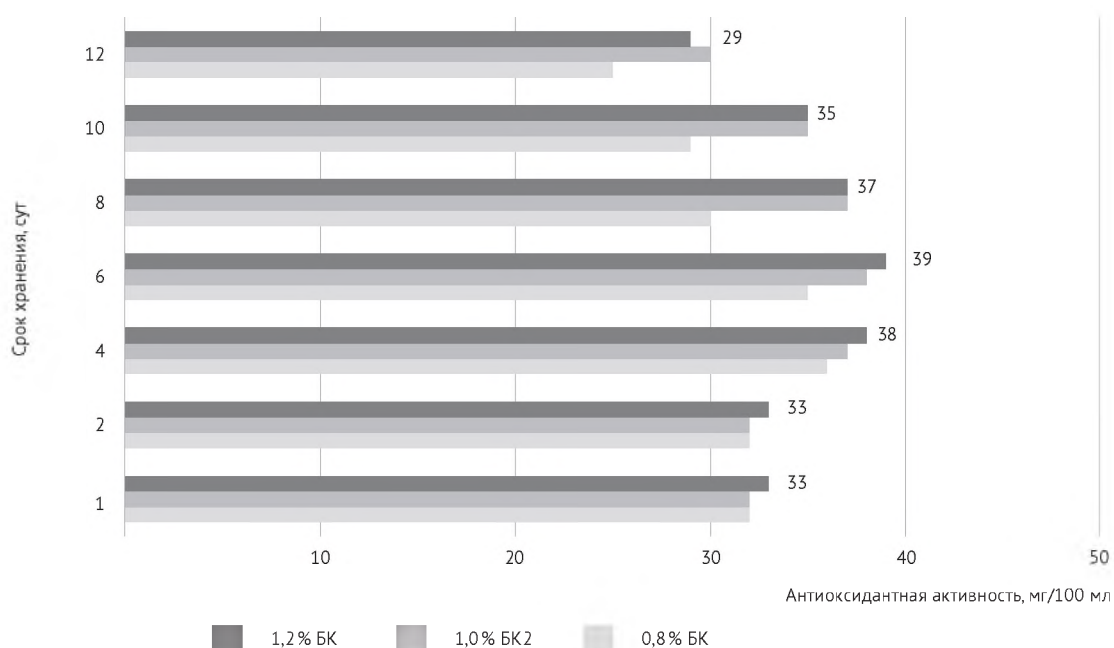
Данные, полученные при проведении эксперимента показали, что антиоксидантная активность увеличивается на 4-е сутки хранения, это по всей видимости связано с процессами созревания под воздействием молочнокислых бактерий и дрожжей, образованием водорастворимых пептидов, накоплением ферментов и витаминов.

Эти цифры коррелируют с данными ряда исследователей, показавших, что антиоксидантная активность связана с количеством водорастворимых пептидов,



**Рисунок 2**

Влияние концентрации бактериального концентрата на состав микрофлоры готового продукта



**Рисунок 3**

Динамика антиоксидантной активности в процессе хранения кисломолочного продукта

образуемых в процессе созревания кисломолочных продуктов (экзорфины  $\alpha$ - и  $\beta$ -казеинов, производные  $\beta$ -лактоглобулина) (Dullius et al., 2016).

Далее, через 8 суток хранения она начинает снижаться, что возможно связано с химическим антагонизмом антиоксидантов, когда при их взаимодействии образуются соединения с меньшей АОА, влияющие на конечный результат, в итоге она составляет 37 мг/100 мл, что все равно несколько выше, чем в готовом продукте, после окончания сквашивания. Данные исследований позволяет

сделать предварительное заключение о сохранении довольно высокого уровня антиоксидантной активности в течение 10-ти суток хранения готового продукта.

Глутатионовая антипероксидазная система эффективно защищает продукт от окислительного стресса в процессе хранения. На следующем этапе исследований была изучена качественная характеристика кисломолочного продукта и уровень восстановленного глутатиона. Данные представлены в Таблице 2.

**Таблица 2**

Качественные показатели симбиотического кисломолочного продукта

Показатели	Срок хранения, сут.		
	0	7	10
Консистенция	Жидкая, хлопьевидная, слегка газированная	Жидкая, хлопьевидная, слегка газированная	Жидкая, газированная
Вкус и запах	Чистый, кисломолочный, слегка щиплющий	Чистый, кисломолочный, щиплющий	Чистый, кисломолочный, терпкий
Кислотность, °Т	122 ± 3	127 ± 5	130 ± 3
Содержание спирта, % об.	0,23	0,36	0,41

Показатели	Срок хранения, сут.		
	0	7	10
Общее количество дрожжей, в 1 см <sup>3</sup> КОЕ, не менее	6 · 10 <sup>4</sup>	5 · 10 <sup>4</sup>	4 · 10 <sup>4</sup>
Общее количество молочнокислых бактерий, в 1 см <sup>3</sup> КОЕ, не менее	3 · 10 <sup>7</sup>	3 · 10 <sup>7</sup>	1 · 10 <sup>7</sup>
Клетки в микроскопическом препарате	Незернистые палочки, овальные дрожжи	Незернистые палочки, мелкие овальные дрожжи	Незернистые палочки, мелкие дрожжи
Содержание восстановленного глутатиона, мг/%	27,45	25,41	23,88

Качественная характеристика продукта в процессе всего срока хранения была удовлетворительной. Вкус и запах типичные для кумысного продукта на коровьем молоке, уровень жизнеспособной микрофлоры сохраняется на протяжении всего срока годности дрожжей не менее 10<sup>4</sup> КОЕ/г, молочнокислых бактерий не менее 10<sup>7</sup> КОЕ/г. Тируемая кислотность увеличивается не более, чем на 7 °Т. В продукте увеличивается содержание спирта, через 10 суток хранения его количество составляет 0,41 %. Морфология клеток не меняется. Уровень восстановленного глутатиона несколько снижается, но незначительно, через 10 суток хранения не более чем на 14 %.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Большинство исследований по увеличению срока годности, проведенные ранее, были направлены на дополнительное введение антиоксидантов, что ведет к увеличению затрат на производство, связано с необходимостью контроля качества используемых пищевых добавок и поиском зарубежных поставщиков (Мартемьянова и др., 2017; Семенова и др., 2014). В данном случае в качестве закваски рекомендуется использовать антиоксидантоактивные микроорганизмы, способствующие накоплению восстановленной формы глутатиона и естественным способом сохраняющие продукт длительное время. Данный подход имеет особую актуальность для производства продуктов гетероферментативного брожения, продолжительность которого гораздо выше, по сравнению с гомофер-

ментативным и связано с высокой вероятностью иницирования окислительных реакций.

Ранее ряд исследователей убедительно показали связь между видами микроорганизмов, применяемых в качестве заквасок, с количеством общего глутатиона и антиоксидантной активностью продукта (Джао и др., 2015; Ли и др., 2004; Толпыгина и др., 2012), но при этом взаимосвязанный с этой активностью срок годности не являлся объектом проведенных исследований.

Акцент на рост срока годности пищевых продуктов и кормов с изменением общего количества глутатиона и условиями ферментирования делали (Менг и др., 2022; Попхали и др., 2017; Луикенхуэс, 2017 и др.). Но в производстве кисломолочных продуктов гетероферментативного брожения исследованные культуры использованы не были. Кроме этого, восстановленный глутатион, который, в большей степени, влияет на антиоксидантный потенциал, по сравнению с общим, в кисломолочных продуктах не определялся (Джао и др., 2016; Попхали и др., 2017).

Представленные в данной публикации результаты наглядно демонстрируют, что своевременная оценка глутатионсинтезирующей способности микроорганизмов и ее повышение биотехнологическим методом способны изменить как хранимоспособность жидких продуктов, так и их функциональную пищевую значимость.

Полученные результаты показывают эффективность нового глутатионсинтезирующего бактериального концентрата из модифицированной среды для получения продукта с выраженной антиоксидантной активностью. Использование антиоксидантноактивной микрофлоры нового бактериального концентрата позволяет увеличить срок хранения кисломолочных продуктов до 10-ти суток и открывает новые перспективы оценки хранимоспособности при прогнозировании функционального качества.

Авторы рекомендуют использовать параметр антиоксидантной активности при прогнозировании и установлении срока годности функциональных продуктов лечебного и профилактического назначения, несмотря на интегральность антиоксидантной характеристики, которая является ограничением для данного исследования.

Уточняем, что авторами не проанализировано наличие антиоксидантных веществ, которые не являлись объектами данного исследования.

В целях совершенствования критериев оценки антиоксидантной активности в процессе хранения рекомендуем исследовать проантиоксиданты заквасочной микрофлоры к числу которых относятся витамины группы В и витамин С, а также уровень восстановленного глутатиона, особенно в таких продуктах длительного гетероферментативного брожения как кумыс, айран и др.

## ВЫВОДЫ

Решение поставленных в данном эксперименте задач, к числу которых относятся оценка антиоксидантной активности и ее влияние на хранимоспособность молочных продуктов гетероферментативного брожения, выбор метода и критериев активности, относятся к числу актуальных проблем пищевой промышленности. Интегральный характер антиоксидантной величины не позволяет использовать потенциал антиоксидантноактивности для оценки возможного срока хранения и функциональной активности.

В связи с этим, в результате проведенных испытаний были подобраны параметры приготовления продукта и изучены влияние витаминов и восстановленного глутатиона на срок годности с учетом их проантиоксидантных и антиоксидантных свойств. Выбрана оптимальная доза бактериального концентрата, позволяющая проявлять продуктом максимальную антиоксидантную активность и изучена динамика антиоксидантной активности в процессе хранения. Результаты исследований показали, что исходная антиоксидантная активность увеличивается на 4-е сутки хранения, это по всей видимости связано с процессами созревания под воздействием молочнокислых бактерий и дрожжей, образованием водорастворимых пептидов, накоплением ферментов и витаминов. Через 8 суток хранения она начинает снижаться и составляет 37 мг/100 мл, но это все равно несколько выше, чем в готовом продукте, после окончания сквашивания. С учетом полученных данных оптимальная доза бактериального концентрата и срок хранения продукта (10 суток), позволяющий максимально проявлять антиоксидантный потенциал. Определена качественная характеристика продукта в процессе хранения продукта и уровень в нем проантиоксидантов: витамина С, витамина В<sub>12</sub> и глутатиона. Количество глутатиона в продукте составляет от 23,88 до 27,45 мг/%, в течение гарантированного срока годности оно изменяется не более чем на 14 %.

Полученные результаты позволяют рекомендовать при оценке хранимоспособности функциональных кисломолочных продуктов определять антиоксидантную активность и уровень восстановленного глутатиона, в значимой степени влияющих на продолжительность хранения, как показали данные исследования.

## ЛИТЕРАТУРА

- Бегунова, А. В., Рожкова, И. В., Зверева, Е. А., Глазунова, О. А., & Федорова, Т. В. (2019). Молочнокислые и пропионовокислые бактерии: Формирование сообщества для получения функциональных продуктов с бифидогенными и гипотензивными свойствами. *Прикладная биохимия и микробиология*, 55(6), 566–577. <https://doi.org/10.1134/S0555109919060047>
- Будкевич, Р. О., Чаликова, А. В., Емельянов, С. А., & Слюсарев, Г. В. (2015). Антиоксидантная активность гидролизатов сыворогочных белков молока, полученных с применением фермента пепсина. *Вестник АПК Ставрополя*, 3, 18–21.
- Владимиров, Ю. А., Проскурнина, Е. В., & Измайлов, Д. Ю. (2011). Кинетическая хемилюминесценция как метод изучения реакций свободных радикалов. *Биофизика клетки*, 56, 1081–1090.
- Воронова, О. А., Короткова, Е. И., Плотников, Е. В., Гусакова, А. М., Суслова, Т. Е., Дорожко, Т. Е., Петрова, Е. В., & Кустова, А. А. (2013). Имунноферментный и вольтамперометрический методы анализа суммарной активности антиоксидантов в плазме крови при сердечно-сосудистой патологии. *Фундаментальные исследования*, 8-3, 570–574.
- Данью Чжао, Нагендра П Шах. Одновременный прием молочнокислых бактерий и черного чая синергически повышает биодоступность флавоноидов и ослабляет вызванный d-галактозой окислительный стресс у мышей посредством модуляции антиоксидантной системы глутатиона. *J Nutr Biochem*. Декабрь 2016; 38:116–124. doi: 10.1016/j.jnutbio.2016.09.005 (2016).
- Инь Ли, Гунъюань Вэй, Цзянь Чен. Глутатион: обзор биотехнологического производства. *Приложение Microbial Biotechnol*. 2004 Декабрь; 66 (3):233–42, DOI: 10.1007/s00253-004-1751-y (2004).
- Креккер, Л. Г. Донская, Г. А., & Колосова, Е. В. (2021). Изучение антиоксидантной и витаминсинтезирующей активности продукта «КуЭМсил» как потенциального «ангистрессового» фактора. *Пищевая промышленность*, 4, 22–25. <https://doi.org/10.52653/PPI.2021.11.11.015>
- Лапин, А. А., Горбунова, Е. В., Зеленков, В. Н., & Герасимов, М. К. (2009). Определение антиоксидантной активности вин кулонометрическим методом. М.: РАЕН.
- Ли Ки-Бейом, Л., Хо-Джин, К., Бейом-Сейоп, Р., Санг-Ки, К., & Юн-Джаи, К. (2011). Положительное влияние глутатиона на жизнедеятельность пробиотического микроорганизма — бактерии *Lactobacillus reuteri*. *Биохимия*, 76(4), 520–524.
- Ляликов, Ю. С. (1984). *Физико-химические методы анализа*. М.: Химия.
- Маргемьянова Л.Е., Савельева Ю.С. Применение антиоксидантов для производства колбасных изделий. *Вестник Омского университета*, 4(28), 2017, с. 228–233.
- Меледина, Т. В., Морозов, А. А., & Давыденко, С. Г. (2020). Дрожжи — продуценты глутатиона. *Техника и технология пищевых производств*, 50(1), 140–148. <http://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-1-140-148>
- Никучин, В. Н., Герасименко, В. В., Когкова, Т. В., Мустафин, Р. З., Милованова, Е. А., Шмаль, М. Г., & Пеграков, Е. С. (2013). Влияние комплекса пробиотика на основе лактобактерий и селенита натрия на некоторые показатели антиоксидантной защиты макроорганизма. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*, 3, 254–257.
- Оганесянц, Л. А., Галстян, А. Г., Хуршудян, С. А. (2018). Функциональные напитки из отечественного сырья. *Современные технологии функциональных пищевых продуктов*. М.
- Сажина, Н. Н. (2016). Определение антиоксидантной активности различных биоантиоксидантов и их смесей амперометрическим методом. *Химия растительного сырья*, 4, 71–76.
- Семнова Е.А., Сидоренко Ю.И. и др. Применение антиоксидантов для увеличения сроков годности рыбных консервов. *Пищевая промышленность* (8), 2014, с. 36–39.
- Топтыгина О.А. Роль глутатиона в системе антиоксидантной защиты (обзор). / О.А. Толпыгина *Acta Biomedica Scientifica*. — 2012; №2 (84). ч.2 — С.178–180.
- Dullius, A., Goettert, M. I., de Souza, C. F. V. (2018). Whey protein hydrolysates as a source of bioactive peptides for functional foods — Biotechnological facilitation of industrial scale-up. *Journal of Functional Foods*, 42, 58–74. <http://doi.org/10.1016/J.JFF.2017.12.063>
- Han, W., & Fioramonti, J. (2008). Anti-inflammatory properties of lactic acid bacteria producing superoxide dismutase. *American journal of physiology. Gastrointestinal and liver physiology*, 294(1), Article G353. <http://doi.org/10.1152/ajpgi.00517.2007>
- Hiraku, Y., Murata, M., & Kawanishi, S. (2002). Determination of intracellular glutathione and thiols by high performance liquid chromatography with a gold electrode at the femtomole level: Comparison with a spectroscopic assay. *Biochimica et Biophysica Acta*, 1570, 47–52. [http://doi.org/10.1016/s0304-4165\(02\)00152-6](http://doi.org/10.1016/s0304-4165(02)00152-6)
- Järvenpää, S., Tahvonen, R. L., Ouwehand, A. C., Sandell, M., Järvenpää, E., & Salminen, S. (2007). A probiotic, *Lactobacillus fermentum ME-3*, has antioxidative capacity in soft cheese spreads with different fats. *Journal of Dairy Science*, 90(7), 3171–3177. <http://doi.org/10.3168/jds.2006-810>
- Khan, I. T., Nadeem, M., Imran, M., Ullah, R., Ajmal, M., & Jaspal, M. H. (2019). Antioxidant properties of Milk and dairy products: A comprehensive review of the current knowledge. *Lipids in Health and Disease*, 8, Article 41. <https://doi.org/10.1186/s12944-019-0969-8>
- Patterson, E, Cryan, J. F., Fitzgerald, G. F., Ross, R. P., Dinan, T. G., & Stanton, C. (2014). Gut microbiota, the probiotics they produce and host health. *Proceedings of the*

- Nutrition Society*, 73(4), 477–489. <http://doi.org/10.1017/S0029665114001426>
- Pophaly, S. D., Singh, R., Pophaly, S. D., Kaushik, J. K., & Tomar, S., K. (2012). Current status and emerging role of glutathione in food grade lactic acid bacteria. *Microbial Cell Factories*, 11, Article 114. <https://doi.org/10.1186/1475-2859-11-114>.
- Pophaly S.D., Poonam S.D., Pophaly S.S., Kapila D.K., Nanda S.K. Tomar,R. Singh. Биосинтез глутатиона и активность зависимых ферментов у пищевых молочнокислых бактерий, несущих мультидоменный бифункциональный ген слияния (gshF) [Электронный ресурс] / S.D. Pophaly,S. Poonam,S.D. Pophaly,S. Kapila,D.K. Nanda,S.K. Tomar,R. Singh. — Режим доступа: <https://doi.org/10.1111/jam.13471> (Journal of Applied Microbiology, 2017).
- Sandra Luikenhuis, Gabriel Perrone, Ian W. Dawes, and Chris M. Grant. Дрожжи *Saccharomyces cerevisiae* содержат два гена глутаредоксины, которые необходимы для защиты от активных форм кислорода [Электронный ресурс] / Sandra Luikenhuis, Gabriel Perrone, Ian W. Dawes, and Chris M. Grant. — Режим доступа: <https://doi.org/10.1091/mbc.9.5.1081> (2017).
- Scandalios, Y. G. (1993). Oxygen stress and Superoxide Dismutase. *Plant Physiology*, 101(1), 7–12. <http://doi.org/10.1104/pp.101.1.7>
- Begunova, A. V., Rozhkova, I. V., Zvereva, E. A., Glazunova, O. A., & Fedorova, T. V. (2019). Molochnokislye i propionovokislye bakterii: Formirovanie soobshchestva dlya polucheniya funktsional'nykh produktov s bifidogenymi i gipotenzivnymi svoistvami [Lactic acid and propionic acid bacteria: Formation of a community for obtaining functional products with bifidogenic and hypotensive properties]. *Prikladnaya biokhimiya i mikrobiologiya [Applied Biochemistry and Microbiology]*, 55(6), 566–577. <https://doi.org/10.1134/S0555109919060047>
- Budkevich, R. O., Chalikova, A. V., Emel'yanov, S. A., & Slyusarev, G. V. (2015). Antioksidantnaya aktivnost' gidrolizatov syvorochnykh belkov moloka, poluchennykh s primeneniem fermenta pepsina [Antioxidant activity of whey protein hydrolysates obtained using the pepsin enzyme]. *Vestnik APK Stavropol'ya [Bulletin of the APK of Stavropol]*, 3, 18–21.
- Krekker, L. G. Donskaya, G. A., & Kolosova, E. V. (2021). Izuchenie antioksidantnoi i vitaminsinteziruyushchei aktivnosti produkta "KuEMsil" kak potentsial'nogo "antistressovogo" faktora [The study of the antioxidant and vitamin synthesizing activity of the product "KuEMsil" as a potential "anti-stress" factor]. *Pishchevaya promyshlennost' [Food Industry]*, 4, 22–25. <https://doi.org/10.52653/PPI.2021.11.11.015>
- Lapin, A. A., Gorbunova, E. V., Zelenkov, V. N., & Gerasimov, M. K. (2009). *Opreделение antioksidantnoi aktivnosti vin* Shulzhenko, N., Morgun, A., Hsiao, W., Battle, M., Yao, M., Gavrilova, O., Orandle, M., Mayer, L., Macpherson, A. J., McCoy, K. D., Fraser-Liggett, C., & Matzinger, P. (2011). Crosstalk between B lymphocytes, microbiota and the intestinal epithelium governs immunity versus metabolism in the gut. *Nature Medicine*, 17(12), 1585–1593. <http://doi.org/10.1038/nm.2505>.
- Xin Zhao, Ruokun Yi, Xianrou Zhou, Jianfei Mu, Xingyao Long, Yanni Pan, Jia-Le Song, Kun-Young Park. Профилактическое действие *Lactobacillus plantarum* KSFY02, выделенного из йогурта естественного брожения из Синьцзяна, Китай, на вызванное D-галактозой окислительное старение у мышей [Электронный ресурс] / Xin Zhao, Ruokun Yi, Xianrou Zhou, Jianfei Mu, Xingyao Long, Yanni Pan, Jia-Le Song, Kun-Young Park. — Режим доступа: <https://doi.org/10.3168/jds.2018-16033> (Journal of Dairy Science, 2019).
- Xiao Meng, Chun-lin Chen, Jia-yi Sun, Lin Jing, Lei-lei Zuo, Li-juan Wu. Облегчение окислительного стресса в ткани поджелудочной железы мышей с гипергликемией с помощью *Lactiplantibacillus plantarum* SCS4 [Электронный ресурс] / Xiao Meng, Chun-lin Chen, Jia-yi Sun, Lin Jing, Lei-lei Zuo, Li-juan Wu. — Режим доступа: <https://doi.org/10.1111/jfbc.14256> (Journal of Food Biochemistry, 2022).
- kulonometricheskim metodom [Determination of the antioxidant activity of wines by the coulometric method]*. Moscow: RAEN.
- Li Ki-Beiom, L., Kho-Dzhin, K., Beiom-Seiop, R., Sang-Ki, K., & Yun-Dzhai, K. (2011). Polozhitel'noe vliyanie glutationa na zhiznedeyatel'nost' probioticheskogo mikroorganizma — bakterii *Lactobacillus reuteri* [The positive effect of glutathione on the vital activity of a probiotic microorganism — the bacteria *Lactobacillus reuteri*]. *Biokhimiya [Biochemistry]*, 76(4), 520–524.
- Lyalikov, Yu. S. (1984). *Fiziko-khimicheskie metody analiza [Physical and chemical methods of analysis]*. Moscow: Khimiya.
- Meledina, T. V., Morozov, A. A., & Davydenko, S. G. (2020). Drozhzhi — produtsenty glutationa [Yeast is a producer of glutathione]. *Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv [Technique and Technology of Food Production]*, 50(1), 140–148. <http://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-1-140-148>
- Nikulin, V. N., Gerasimenko, V. V., Kotkova, T. V., Mustafin, R. Z., Milovanova, E. A., Shmal', M. G., & Petrakov, E. S. (2013). Vliyanie kompleksa probiotika na osnove laktobakterii i selenita natriya na nekotorye pokazateli antioksidantnoi zashchity makroorganizma [Influence of a probiotic complex based on lactobacilli and sodium selenite on some indicators of the antioxidant defense

- of the macroorganism]. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta [Proceedings of the Orenburg State Agrarian University]*, 3, 254–257.
- Oganesyants, L. A., Galstyan, A. G., Khurshudyan, S. A. (2018). *Funktsional'nye napitki iz otechestvennogo syr'ya. Sovremennye tekhnologii funktsional'nykh pishchevykh produktov [Functional drinks from domestic raw materials. Modern technologies of functional food products]*. Moscow.
- Sazhina, N. N. (2016). Opredelenie antioksidantnoi aktivnosti razlichnykh bioantioksidantov i ikh smesei amperometricheskim metodom [Determination of the antioxidant activity of various bioantioxidants and their mixtures by the amperometric method]. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya [Chemistry of plant raw materials]*, 4, 71–76.
- Vladimirov, Yu. A., Proskurnina, E. V., & Izmailov, D. Yu. (2011). Kineticheskaya khemilyuminestsentsiya kak metod izucheniya reaktsii svobodnykh radikalov [Kinetic chemiluminescence as a method for studying free radical reactions]. *Biofizika kletki [Biophysics of the Cell]*, 56, 1081–1090.
- Voronova, O. A., Korotkova, E. I., Plotnikov, E. V., Gusakova, A. M., Suslova, T. E., Dorozhko, T. E., Petrova, E. V., & Kustova, A. A. (2013). Imunnofermentnyi i vol'tamperometricheskii metody analiza summarnoi aktivnosti antioksidantov v plazme krovi pri serdechno-sosudistoi patologii [Enzyme Immunoassay and Voltammetric Methods for Analysis of the Total Activity of Antioxidants in Blood Plasma in Cardiovascular Pathology]. *Fundamental'nye issledovaniya [Basic Research]*, 8–3, 570–574.
- Dullius, A., Goettert, M. I., de Souza, C. F. V. (2018). Whey protein hydrolysates as a source of bioactive peptides for functional foods – Biotechnological facilitation of industrial scale-up. *Journal of Functional Foods*, 42, 58–74. <http://doi.org/10.1016/j.jff.2017.12.063>
- Han, W., & Fioramonti, J. (2008). Anti-inflammatory properties of lactic acid bacteria producing superoxide dismutase. *American journal of physiology. Gastrointestinal and liver physiology*, 294(1), Article G353. <http://doi.org/10.1152/ajpgi.00517.2007>
- Hiraku, Y., Murata, M., & Kawanishi, S. (2002). Determination of intracellular glutathione and thiols by high performance liquid chromatography with a gold electrode at the femtomole level: Comparison with a spectroscopic assay. *Biochimica et Biophysica Acta*, 1570, 47–52. [http://doi.org/10.1016/s0304-4165\(02\)00152-6](http://doi.org/10.1016/s0304-4165(02)00152-6)
- Järvenpää, S., Tahvonen, R. L., Ouwehand, A. C., Sandell, M., Järvenpää, E., & Salminen, S. (2007). A probiotic, *Lactobacillus fermentum ME-3*, has antioxidative capacity in soft cheese spreads with different fats. *Journal of Dairy Science*, 90(7), 3171–3177. <http://doi.org/10.3168/jds.2006-810>
- Khan, I. T., Nadeem, M., Imran, M., Ullah, R., Ajmal, M., & Jaspal, M. H. (2019). Antioxidant properties of Milk and dairy products: A comprehensive review of the current knowledge. *Lipids in Health and Disease*, 8, Article 41. <https://doi.org/10.1186/s12944-019-0969-8>
- Patterson, E, Cryan, J. F., Fitzgerald, G. F., Ross, R. P., Dinan, T. G., & Stanton, C. (2014). Gut microbiota, the pharmabiotics they produce and host health. *Proceedings of the Nutrition Society*, 73(4), 477–489. <http://doi.org/10.1017/S0029665114001426>
- Pophaly, S. D., Singh, R., Pophaly, S. D., Kaushik, J. K., & Tomar, S., K. (2012). Current status and emerging role of glutathione in food grade lactic acid bacteria. *Microbial Cell Factories*, 11, Article 114. <https://doi.org/10.1186/1475-2859-11-114>
- Scandalios, Y. G. (1993). Oxygen stressand Superoxide Dismutase. *Plant Physiology*, 101(1), 7–12. <http://doi.org/10.1104/pp.101.1.7>
- Shulzhenko, N., Morgun, A., Hsiao, W., Battle, M., Yao, M., Gavrilova, O., Orandle, M., Mayer, L., Macpherson, A. J., McCoy, K. D., Fraser-Liggett, C., & Matzinger, P. (2011). Crosstalk between B lymphocytes, microbiota and the intestinal epithelium governs immunity versus metabolism in the gut. *Nature Medicine*, 17(12), 1585–1593. <http://doi.org/10.1038/nm.2505>