

ПИЩЕВЫЕ СИСТЕМЫ / FOOD SYSTEMS

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.133.95>

ДИНАМИКА РЕДОКС-АКТИВНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПРИ СОЛОЖЕНИИ ЗЕРНА РЖИ И АДАПТОГЕННЫЕ СВОЙСТВА ХЛЕБА НА РЖАНОМ СОЛОДЕ

Научная статья

Лесовская М.И.^{1*}, Кабак Н.Л.²¹ ORCID : 0000-0003-3665-3233;^{1,2} Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (lesmari[at]rambler.ru)

Аннотация

Изучена динамика редокс-активных соединений при соложении зерна ржи под влиянием фитоэкстрактов с доказанными антиоксидантными свойствами. Экстракты тимьяна характеризовались более высоким, чем экстракты душицы, стимулирующим влиянием на накопление редуцирующих сахаров и органических кислот. При сопоставлении пробных выпечек с эталоном (хлеб «Бородинский») и аналогом (ржаной хлеб «Vier») была выявлена более высокая антиоксидантная активность готового хлеба на основе ржаного солода, полученного под влиянием экстракта тимьяна и обогащённого экстрактом душицы. На основании антиоксидантной активности сделан вывод о наличии у хлеба на ржаном солоде способности регулировать кислородный гомеостаз, т.е. адаптогенных свойств.

Ключевые слова: ржаной солод, биоактивация, тимьян, душица, антиоксиданты, редуцирующие сахара, органические кислоты, адаптогены.

DYNAMICS OF REDOX-ACTIVE COMPOUNDS DURING RYE GRAIN STACKING AND ADAPTOGENIC PROPERTIES OF BREAD ON RYE MALT

Research article

Lesovskaya M.I.^{1*}, Kabak N.L.²¹ ORCID : 0000-0003-3665-3233;^{1,2} Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk, Russian Federation

* Corresponding author (lesmari[at]rambler.ru)

Abstract

The dynamics of redox-active compounds during rye grain stacking under the influence of phytoextracts with proven antioxidant properties was studied. Thyme extracts were characterized by a higher stimulating effect on the accumulation of reducing sugars and organic acids than oregano extracts. When comparing the test bakes with the reference ("Borodinsky" bread) and analogue ("Vier" rye bread), a higher antioxidant activity of ready bread based on rye malt obtained under the influence of thyme extract and enriched with oregano extract was revealed. On the basis of antioxidant activity, it was concluded that rye malt bread has the ability to regulate oxygen homeostasis, i.e. adaptogenic properties.

Keywords: rye malt, bioactivation, thyme, oregano, antioxidants, reducing sugars, organic acids, adaptogens.

Введение

Ржаной хлеб на протяжении столетий входил в базовый рацион людей различной социальной, профессиональной, возрастной принадлежности [10]. К настоящему времени доля ржаного хлеба и изделий из ржаной муки едва ли достигает 10%, что составляет в среднем менее ста граммов в день [8]. Ржаное зерно и мука являются источниками ценных пищевых адаптогенов, включая биосорбенты (пищевые волокна), витамины антиоксидантной группы А, Е и РР, значительные количества минеральных компонентов (железо, калий, магний), аминокислоты, в первую очередь лизин и другие важные микронутриенты, содержание которых кратно превышает аналогичные компоненты пшеничных субстратов.

При этом ассортимент ржаных изделий в продаже намного скуднее, чем пшеничных [5], хотя тотальные авитаминозы и другие алиментарно-обусловленные нарушения пищевого статуса расширяют охват с нарастающей скоростью. Это обуславливает актуальность исследований в направлении технологии и рецептуры ржаных хлебобулочных изделий, которые относятся к товарам неотложного спроса, т.е. предназначены для ежедневного удовлетворения базовых физиологических потребностей.

Известно, что источником многих адаптогенных компонентов является ржаной солод, который по общепринятому определению представляет собой пророщенные в искусственных условиях и измельченные ржаные зёрна. В процессе изготовления хлеба солод способен сформировать и/или усилить полезные свойства целевого продукта [9]. Ржаной ферментированный солод содержит декстрины и растворимые пищевые волокна (пектин, пентозаны) с высокой сорбционной способностью по отношению к холестерину, соединениям тяжёлых металлов и радионуклидов [3]. Солод содержит редуцирующие сахара, низкомолекулярные пептиды и белковые вещества, ферментные комплексы, обуславливающие высокую амилалитическую и протеолитическую активность пищевой системы. Немаловажным свойством солода является приятный натуральный вкус и аромат, который может быть дополнен и обогащён экстрактами пряноароматических растений. Можно полагать, что одновременно с органолептическими эффектами могут быть достигнуты и функциональные. Так, доказан бактерицидный эффект природных душистых соединений [12]. Кроме того, раннее внесение ароматического компонента в пищевую систему может способствовать проявлению

синергизма биорегуляторов и повышению антиоксидантного потенциала целевого продукта. Таким образом, ржаной ферментированный солод вполне обоснованно используют в качестве вкусо-ароматической добавки к хлебу, тогда как ржаной неферментированный солод используют для улучшения качества готового теста.

Химический состав и свойства ржаного солода подробно описаны. В то же время биохимические процессы, протекающие в процессе соложения зерна, изучены недостаточно. В частности, в литературе отсутствуют данные по особенностям состава водной среды для замачивания зерна ржи. Как правило, при эндоферментативной используется традиционная схема с использованием питьевой или фильтрованной воды, в которой выдерживается зерно при механическом перемешивании для аэрации. Ранее показано, что применение химических ускорителей позволяет сократить время проращивания до 12-14 ч. [6]. Внесение биологически активных активаторов позволит одновременно решать задачу обогащения пищевой матрицы. Такими биорегуляторами могут быть фитоэкстракты пряно-ароматических сибирских дикоросов тимьяна и душицы (сем. Яснотковые).

К числу эндогенных биорегуляторов зерна относятся редуцирующие сахара и органические кислоты. Эти соединения участвуют в окислительно-восстановительных процессах и регулируют окислительный метаболизм. В то же время неизвестно, каким образом отразится на динамике этих адаптогенов присутствие пряных фитоэкстрактов, химический состав которых даёт основания предполагать у них наличие антиоксидантной активности [6].

Целью работы была оценка динамики накопления редуцирующих сахаров и органических кислот в ржаном солоде при использовании экстрактов пряных растений в качестве заливки для зерна. Задачи работы включали сравнительную оценку антиоксидантной активности фитоэкстрактов пряных растений (тимьяна и душицы) с учётом температуры экспонирования настоя; изучение динамики редуцирующих соединений и органических кислот под влиянием пряных фитоэкстрактов; определение антиоксидантных свойств пробных выпечек ржаного хлеба на основе солода, полученного под воздействием пряных фитоэкстрактов.

Объекты и методы исследования

Очищенное от примесей зерно ржи массой 400 г проращивали в растворах фитоэкстрактов с добавлением пероксида водорода и железа по методике, описанной ранее [7]. Для приготовления фитоэкстрактов использовали высушенные листья и цветки тимьяна или душицы, собранные в августе-сентябре 2022 г. в Емельяновском районе Красноярского края и высушенные с соблюдением установленных требований [2]. Навеску фитомассы ($m=10$ г) заливали горячей кипячёной водой (900 мл, 80°C) и экспонировали в адиабатических условиях 1 ч.

Полученными настоями тимьяна (Т) или душицы (Д) заливали промытую в проточной воде рожь и оставляли на 5 часов для набухания (контроль – заливка зёрен фильтрованной водой). Набухшее зерно раскладывали тонким слоем (не более 0,5 см) в эмалированных кюветах, накрывали мягкой увлажнённой тканью и оставляли на 12 часов при комнатной температуре до появления проростков длиной не более 1 мм. Полученный солод гомогенизировали в блендере с порционным добавлением воды до конечного объёма 200 мл. Тесто готовили по регламентам ржаного хлеба [4]. Пробные выпечки производили в лабораторной печи с вентилятором СНО-4.6.5/4 И1.

Физико-химический анализ проводили с учётом требований действующих ГОСТ 2077-84 [1] в лабораториях Института пищевых производств Красноярского государственного агроуниверситета, а также на базе ООО «БиоХимАналит» (г. Красноярск). Определение общей кислотности и содержания редуцирующих сахаров проводили титриметрическими методами. Антиоксидантную активность измеряли хемилюминесцентным методом [7] с помощью комплекса «Биохемилюминометр-3606» (Красноярск, СКТБ «Наука»).

Статистическую обработку осуществляли с использованием параметрического t-критерия Стьюдента при уровне значимости $p < 0,05$.

Результаты и их обсуждение

В ходе работы были получены следующие результаты. На рис. 1 приведена сравнительная оценка антиоксидантной активности фитоэкстрактов тимьяна и душицы в зависимости от температуры воды. Из приведённого рисунка можно видеть, что оба вида экстрактов обладали достоверной антиоксидантной активностью, однотипно усиливающейся с повышением температуры воды в процессе приготовления настоя.

При этом антиоксидантная способность тимьяна была выше, поскольку под его влиянием продукция свободных радикалов снизилась на 80% против снижения на 55% под влиянием экстракта душицы. Менее выраженная АО-активность душицы может быть обусловлена инвертированием антиоксидантной активности в прооксидантную, о чём свидетельствуют данные других авторов [11].

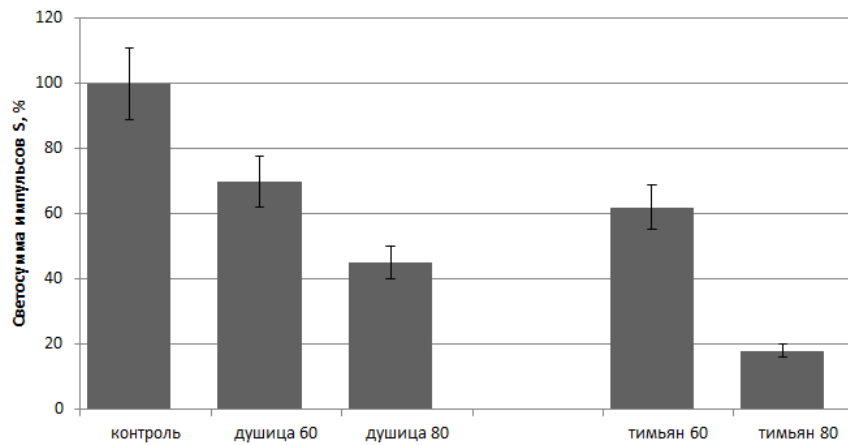


Рисунок 1 - Зависимость антиоксидантной активности фитоекстрактов тимьяна и душицы от температуры воды
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.133.95.1>

На рис. 2 отображены результаты исследования динамики содержания редуцирующих сахаров и общей кислотности в процессе соложения ржаного зерна.

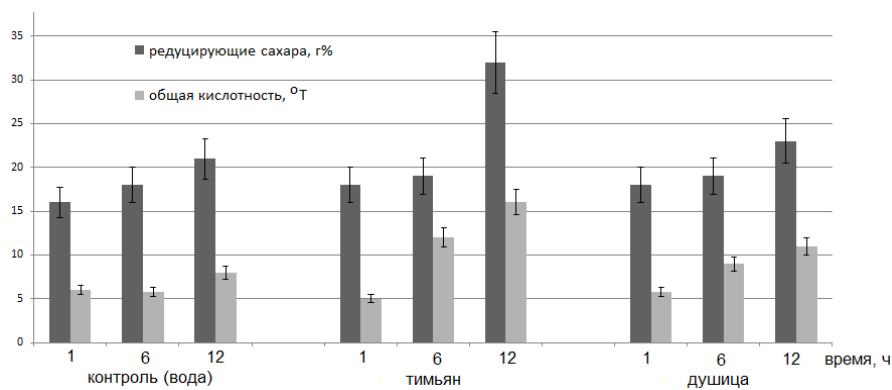


Рисунок 2 - Влияние пряных трав на динамику содержания редуцирующих сахаров и общей кислотности в процессе соложения ржаного зерна
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.133.95.2>

Из приведённых данных можно видеть, что наибольший прирост редуцирующих сахаров и органических кислот происходит под влиянием фитоекстракта тимьяна. К 12-му часу соложения содержание редуцирующих сахаров в зерне под влиянием тимьяна было на 39% выше, чем под влиянием душицы и на 52% выше, чем в контроле. Суммарное содержание органических кислот характеризовалось ещё более высокой динамикой. К шестому часу соложения содержание органических кислот в зерне под влиянием тимьяна было на 33% выше, чем под влиянием душицы и в два раза выше, чем в контроле. К двенадцатому часу соложения опережающие значения показателя составили уже 45% и 100%, соответственно. Таким образом, под влиянием фитоекстрактов тимьяна, обладающего более высокой антиоксидантной активностью, биоактивация зерна ржи протекает наиболее эффективно, что может быть основанием для использования препарата тимьяна на стадии эндоферментации. Фитоекстракт душицы в дальнейшем применяли для обогащения пищевой матрицы на стадии замешивания теста и подготовки к выпечке.

В ходе экспериментальной выпечки были получены пробные образцы. Основные этапы всего процесса отображены на рис. 3.



Рисунок 3 - Основные стадии изготовления хлеба на «растительных сливках» из ржаного солода
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.133.95.3>

Физико-химический анализ полученных пробных выпечек был проведён на базе лаборатории ООО «БиоХимАналит» (г. Красноярск). Результаты приведены в табл. 1.

Таблица 1 - Результаты пробной выпечки хлеба на основе неферментированного ржаного солода, полученного с использованием экстрактов пряных трав

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.133.95.4>

№	Параметр	Результат измерения ($M_x \pm m_x$)	Регламенты	Нормируемый диапазон
1	Массовая доля белковых веществ, %	11,2±0,7	ГОСТ 25832-89 п.3.5	не нормируется
2	Влажность, %	44,72±1,5	ГОСТ 21094-75	*19...55%; ** менее 46%
3	Растворимые сухие вещества, % а.с.м.	55,0±1,5	ГОСТ 21094-75	не нормируется
4	Массовая доля жира, %	1,1±0,7	ГОСТ 5668-68 п.2	не нормируется
5	Массовая доля жира, % в пересчете на сухое вещество	2,0±0,7	ГОСТ 5668-68 п.2	не нормируется
6	Хлориды в пересчёте на NaCl, %	1,1±0,1	ГОСТ 5698-51 п.2	не нормируется
7	Общая кислотность, град. Тернера	3,67±0,4	ГОСТ 6570-96 п. 5.1.1	*11...14%; ** менее 10%

Примечание: * – ГОСТ 31807-2018 Изделия хлебобулочные из ржаной хлебопекарной и смеси ржаной и пшеничной хлебопекарной муки; ** – ГОСТ 2077-84 Хлеб ржаной, ржано-пшеничный и пшенично-ржаной

Из данных, приведённых в таблицах 1 и 2, можно видеть, что пробные выпечки хлеба на основе ржаного солода, биоактивированного под влиянием пряных фиоэкстрактов, соответствуют нормативному диапазону физико-химических свойств и отвечают действующим требованиям микробиологической безопасности.

Таблица 2 - Показатели безопасности хлеба на основе неферментированного ржаного солода, полученного с использованием экстрактов пряных трав

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.133.95.5>

№	Параметр	Результат измерения	Регламенты	Нормируемый предел
1	Общая бактериальная обсемененность (КМАФАнМ), КОЕ/г	менее $1 \cdot 10^3$	СанПиН 2.3.2.1078-01	$1 \cdot 10^3$
2	Бактерии группы кишечной палочки (БГКП)	не обнаружено	ГОСТ 31747	не допускаются в пробе массой 1 г
3	<i>Staphylococcus aureus</i>	не обнаружено	ГОСТ 31746	не допускаются в пробе массой 1 г
4	Количество плесеней, КОЕ/г	менее 50	ГОСТ 10444.12	50 КОЕ/г
5	Бактерии <i>p. Proteus</i>	не обнаружено	ГОСТ 2560	–
6	Возбудители картофельной болезни хлеба	не обнаружено	ГОСТ 27669-88	–

Результаты сравнения антиоксидантных свойств пробных выпечек хлеба со стандартным образцом (хлеб «Бородинский») и аналогом («Vier» мультизерновой ржаной хлеб) отображены на рис. 4.

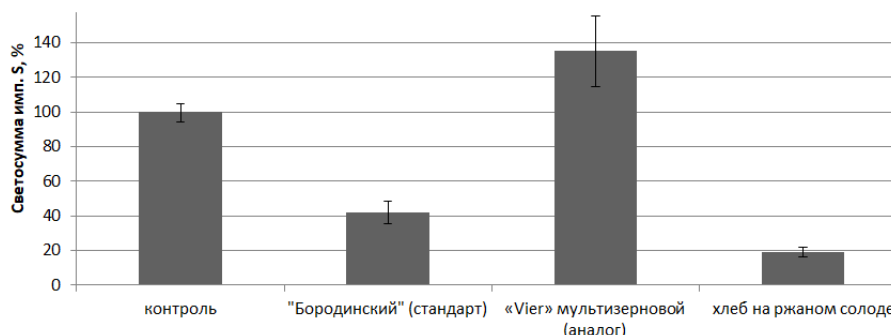


Рисунок 4 - Антиоксидантная активность пробной выпечки в сравнении со стандартом и аналогом

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.133.95.6>

Из приведённого рисунка можно видеть, что ржаной хлеб на солоде обладает более высокими адаптогенными свойствами, чем стандартный образец (хлеб ржаной «Бородинский»). Под влиянием экспериментального образца продукция свободных радикалов снижалась на 80% раз, тогда как соответствующее снижение под влиянием стандарта составило 60%.

У мультизернового продукта «Vier» были выявлены прооксидантные свойства, т.е. наблюдалось усиление продукции свободных радикалов на 35%, $p < 0,05$). Это не позволяет отнести этот образец к адаптогенным продуктам, тогда как данному условию отвечает стандартный продукт хлеб «Бородинский» и экспериментальный образец хлеба на ржаном солоде.

Заключение

1. По результатам данных хемилюминесцентного анализа установлено, что водные экстракты тимьяна обладают достоверно более высокой антиоксидантной активностью по сравнению с экстрактами душицы. Под влиянием экстрактов тимьяна продукция свободных радикалов снижалась на 80%, тогда как под влиянием душицы – на 55%;

2. На основании изучения динамики соединений с адаптогенной активностью при биоактивации зерна ржи под влиянием пряных фитоэкстрактов установлено, что наибольшим стимулирующим влиянием на накопление редуцирующих сахаров и органических кислот характеризуются экстракты тимьяна. Экстракты душицы следует вносить в пищевую систему на стадии подготовки теста;

3. На основании результатов сравнения пробных выпечек с эталоном (хлеб «Бородинский») и аналогом (ржаной хлеб «Vier») выявлена более высокая антиоксидантная активность хлеба на основе пророщенной ржи, биоактивированной под влиянием фитоэкстрактов тимьяна, и обогащённого экстрактом душицы.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

- ГОСТ 2077-84 Хлеб ржаной, ржано-пшеничный и пшенично-ржаной. — Введ. 1986-01-01. — М., 1991. — 6 с.
- ГОСТ 18691-88. Корма травяные искусственно высушенные. Технические условия. — Введ. 1988-12-22. — М., 1989. — 7 с.
- Казанская Л.Н. Что есть хлеб? / Л.Н. Казанская. — СПб.: Береста, 2004. — 146 с.
- Корячкина С.Я. Цельнозерновой хлеб, оптимизированный по пищевой ценности / С.Я. Корячкина, Т.Е. Максимова // Известия вузов. Пищевая технология. — 2005. — № 5-6. — С. 57-58.
- Лаптева Н.К. Ассортимент хлебобулочных и мучных кондитерских изделий с использованием ржаного сырья и его роль в питании современного человека / Н.К. Лаптева // Достижения науки и техники АПК. — 2012. — № 6. — С. 75-78.
- Лесовская М.И. Влияние антиоксидантов и прооксидантов на динамику прорастания зерна ржи / М.И. Лесовская, Н.Л. Кабак // Наука и образование: опыт, проблемы, перспективы развития. — Красноярск, 2022. — С. 226-230.
- Лесовская М.И. Хемилюминесцентный анализ как актуальный инструмент экспертизы качества фитонутриентов / М.И. Лесовская, Н.Л. Кабак, Б.А. Назиев и др. // Эксперт года 2020. — Пенза, 2020. — С. 18-23.
- Петров Н.Ю. Особенности технологии производства хлеба на основе ржаной муки грубого помола с использованием в качестве функциональных добавок ржаного солода и нардека / Н.Ю. Петров, В.Е. Древин, Е.С. Таранова и др. // Вестн. Волгogr. гос. ун-та. Сер. 10 Иннов. деят. — 2013. — № 2(9). — С. 144-148.
- Подобед Л.И. Проращивание зерна как способ повышения биологической и питательной ценности комбикормов / Л.И. Подобед, А.М. Никитин // Известия вузов. Пищевая технология. — 1992. — № 5-6. — С. 51-53.
- Рогов И.А. Медико-технологические аспекты разработки и производства функциональных пищевых продуктов / И.А. Рогов, Е.Н. Орешкин, В.Н. Сергеев // Пищевая промышленность. — 2017. — № 1. — С. 13-15.
- Ушакова А.А. Технологические аспекты экстрагирования биофлавоноидов из дикорастущего пряноароматического сырья / А.А. Ушакова, Ю.Г. Базарнова // Наука и современность. — 2014. — № 31. — С. 133-137.
- Шарапаева М.С. Взаимосвязь бактерицидных и антиоксидантных свойств эфирных масел / М.С. Шарапаева, М.И. Лесовская // Современные проблемы науки и образования. — 2011. — № 6. — С. 245.

Список литературы на английском языке / References in English

- GOST 2077-84 Hleb rzhanoj, rzhano-pshenichnyj i pshenichno-rzhanoj [Rye, rye-wheat and wheat-rye bread]. — Intr. 1986-01-01. — М., 1991. — 6 p. [in Russian]
- GOST 18691-88. Korma travjanye iskusstvenno vysushennyye. Tehnicheskie uslovija [Artificially dried grass fodder. Technical conditions]. — Intr. 1988-12-22. — М., 1989. — 7 p. [in Russian]
- Kazanskaja L.N. Chto est' hleb? [What is Bread?] / L.N. Kazanskaja. — SPb.: Beresta, 2004. — 146 p. [in Russian]
- Korjachkina S.Ja. Cel'nozernovoj hleb, optimizirovannyj po pishhevoj cennosti [Wholemeal Bread Optimized for Nutritional Value] / S.Ja. Korjachkina, T.E. Maksimova // Izvestija vuzov. Pishhevaja tehnologija [Proceedings of Higher Education Institutions. Food Technology]. — 2005. — № 5-6. — P. 57-58. [in Russian]
- Lapteva N.K. Assortiment hlebobulochnyh i muchnyh konditerskih izdelij s ispol'zovaniem rzhanogo syr'ja i ego rol' v pitanii sovremennogo cheloveka [Assortment of Bakery and Flour Confectionery Products with the Use of Raw Rye and its Role in the Nutrition of Modern People] / N.K. Lapteva // Dostizhenija nauki i tehniki APK [Achievements of Science and Technology in the AIC]. — 2012. — № 6. — P. 75-78. [in Russian]
- Lesovskaja M.I. Vlijanie antioksidantov i prooksidantov na dinamiku prorastanija zerna rzhi [Effect of Antioxidants and Prooxidants on the Dynamics of Rye Grain Germination] / M.I. Lesovskaja, N.L. Kabak // Nauka i obrazovanie: opyt, problemy, perspektivy razvitija [Science and Education: Experience, Problems, Development Prospects]. — Krasnoyarsk, 2022. — P. 226-230. [in Russian]
- Lesovskaja M.I. Hemiljuminescentnyj analiz kak aktual'nyj instrument jekspertizy kachestva fitonutrientov [A Chemiluminescence Analysis as a Relevant Tool for Phytonutrient Quality Expertise] / M.I. Lesovskaja, N.L. Kabak, B.A. Naziev et al. // Jekspert goda 2020 [Expert of the Year 2020]. — Penza, 2020. — P. 18-23. [in Russian]
- Petrov N.Ju. Osobennosti tehnologii proizvodstva hleba na osnove rzhanoj muki grubogo pomola s ispol'zovaniem v kachestve funkcional'nyh dobavok rzhanogo soloda i nardeka [Characteristics of Bread Production Technology Based on Rye Flour with the Use of Rye Malt and Nardek as Functional Additives] / N.Ju. Petrov, V.E. Drevin, E.S. Taranova et al. // Vestn. Volgogr. gos. un-ta. Ser. 10 Innov. dejat [Bulletin of the Volgograd State University. Ser. 10 Innov. Activity]. — 2013. — № 2(9). — P. 144-148. [in Russian]
- Podobed L.I. Prorashhivanie zerna kak sposob povyshenija biologicheskoj i pitatel'noj cennosti kombikormov [Grain Germination as a Way to Increase Biological and Nutritive Value of Combined Fodders] / L.I. Podobed, A.M. Nikitin // Izvestija vuzov. Pishhevaja tehnologija [Proceedings of Universities. Food Technology]. — 1992. — № 5-6. — P. 51-53. [in Russian]

10. Rogov I.A. Mediko-tehnologicheskie aspekty razrabotki i proizvodstva funkcional'nyh pishhevyh produktov [Medical and Technological Aspects of Development and Production of Functional Food Products] / I.A. Rogov, E.N. Oreshkin, V.N. Sergeev // Pishhevaja promyshlennost' [Food Industry]. — 2017. — № 1. — P. 13-15. [in Russian]
11. Ushakova A.A. Tehnologicheskie aspekty jekstragirovanija bioflavonoidov iz dikorastushhego prjanoaromaticheskogo syr'ja [Technological Aspects of Extraction of Bioflavonoids from Wild-growing Spicy and Aromatic Raw Materials] / A.A. Ushakova, Ju.G. Bazarnova // Nauka i sovremennost' [Science and Modernity]. — 2014. — № 31. — P. 133-137. [in Russian]
12. Sharapaeva M.S. Vzaimosvjaz' baktericidnyh i antioksidantnyh svojstv jefirnyh masel [Relationship between Bactericidal and Antioxidant Properties of Essential Oils] / M.S. Sharapaeva, M.I. Lesovskaja // Sovremennye problemy nauki i obrazovanija [Modern Problems of Science and Education]. — 2011. — № 6. — P. 245. [in Russian]