

ПИЩЕВЫЕ СИСТЕМЫ / FOOD SYSTEMS

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.125.1>

РАЗДЕЛЬНОЕ И СОВМЕШНОЕ ВЛИЯНИЕ РЕГУЛЯТОРОВ КИСЛОРОДНОГО МЕТАБОЛИЗМА НА ПРОРАЩИВАНИЕ РЖИ

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

Длительная стадия проращивания (биоактивации) ржаного зерна, занимающая от 48 до 72 часов, является технологическим барьером процесса солодоращения, важной стадии производства функциональных хлебобулочных изделий. Актуальной проблемой является поиск способа сокращения этой стадии за счёт стимулирования процессов проращивания зерна. Целью работы являлось исследование динамики биоактивации зерна ржи под отдельным и сочетанным влиянием химического (пероксид водорода, Fe²⁺) и биогенного (фитоэкстракт тимьяна) стимуляторов свободнорадикального кислородного обмена. Установлено, что под влиянием 0,1%-ной концентрации экстракта тимьяна при замачивании зерна ржи энергия прорастания повышалась в 1,6 раза после 12-часовой экспозиции. Под влиянием химического прооксиданта (пероксид водорода+Fe²⁺) процесс биоактивации зерна ржи ускорялся с повышением энергии прорастания с кратностью от 3,3 (0,0001 М) до 5,1 раз (0,0008 М) после 12-часовой экспозиции при наибольшей эффективности концентраций 0,0004 и 0,0008 М. Под сочетанным влиянием экстракта тимьяна и 0,0004 М растворов пероксида водорода (+Fe²⁺) на протяжении всей 32-часовой экспозиции наблюдалась наибольшая кратность повышения энергии прорастания. Увеличение в 5,4 раза выше контроля наблюдалось после 12-часовой экспозиции. Использование сочетания биогенного и химического регуляторов позволяет сократить не менее чем в два раза наиболее длительную фазу солодоращения ржаного зерна.

Ключевые слова: зерно ржаное, биоактивация, антиоксиданты, прооксиданты, пероксид водорода, тимьян.

SEPARATE AND COMBINED EFFECTS OF OXYGEN METABOLISM REGULATORS ON RYE GERMINATION

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 long stage of germination (bioactivation) of rye grain, taking from 48 to 72 hours, is a technological barrier to the malting process, an important stage in the production of functional bakery products. The urgent problem is to find a way to reduce this stage by stimulating the processes of grain germination. The aim of the work was to study the dynamics of bioactivation of rye grain under the separate and combined influence of chemical (hydrogen peroxide, Fe²⁺) and biogenic (thyme phytoextract) stimulators of free-radical oxygen exchange. It was found that under the influence of 0.1% concentration of thyme extract during soaking of rye grain, the germination energy increased 1.6 times after 12-hour exposure. Under the influence of the chemical pro-oxidant (hydrogen peroxide+Fe²⁺) the process of bioactivation of rye grain accelerated with the increase of germination energy with a multiple from 3.3 (0.0001 M) to 5.1 times (0.0008 M) after 12-hour exposure with the highest effectiveness of concentrations 0.0004 and 0.0008 M. Under the combined effect of thyme extract and 0.0004 M hydrogen peroxide (+Fe²⁺) solutions, the greatest multiplicity of germination energy increase was observed throughout the 32-hour exposure. An increase of 5.4-fold above the control was observed after the 12-hour exposure. The use of a combination of biogenic and chemical regulators can reduce at least two times the longest phase of rye grain maltation.

Keywords: rye grain, bioactivation, antioxidants, pro-oxidants, hydrogen peroxide, thyme.

Введение

В условиях нарастающих экологических рисков необходимо усиливать защиту внутренней среды организма и поддерживать достаточный уровень иммунорезистентности. Наиболее физиологичным способом профилактики метаболических нарушений является пищевая коррекция. Хлеб является базовым продуктом питания, не имеющим возрастных и групповых ограничений, поэтому обогащение его состава адаптогенными компонентами является важной технологической задачей [1]. Для повышения биологической ценности и регулирования процесса выпечки хлеба в современном хлебопекарном производстве используется множество обогащающих добавок. Их изобилие нашло отражение в ироничной «молитве»: «Господи, дай нам сегодня наш ежедневный: пропионат кальция (замедляет разложение); диацетат натрия (тормозит плесень); моноглицерид (эмульгатор); бромат калия, хлорамин Т (отбеливатели); моноосновный фосфат кальция (улучшитель качества теста); алюминий-калий-сульфатную кислоту (ингредиент пекарского порошка); бензоат натрия (консервант); бутилированный гидроанизол (АО); моноизопропиловую соль лимонной кислоты; синтетические витамины А и D. Прости нас, господи, за то, что мы называем это вещество хлебом» [2]. В то же время среди обширного перечня добавок отсутствуют биологически

активные микронутриенты, регулирующие кислородный обмен как основу гомеостаза. Можно предположить, что присутствие подобных адаптогенов в продукции будет обеспечено экзогенной стимуляцией генетических процессов биоактивации цельнозерновой матрицы.

Хлебобулочные изделия из муки грубого помола, с отрубными и зерновыми включениями как источниками биорегуляторов становятся всё более востребованными. При этом возрастающую актуальность приобретает разработка технологии производства ржаного хлеба, имеющего ряд важных функциональных преимуществ перед пшеничным [3]. Богатым источником антиоксидантов, радиопротекторов, активаторов иммунитета может служить проросшее (осоложенное) зерно [4], растёртое и эмульгированное до гомогенной вязкой массы, по консистенции и цвету сходной с густыми сливками. Последующие стадии замешивания теста на ферментированном солоде и выпекания продукта являются вполне стандартными. При этом технологическим барьером процесса является длительная стадия проращивания (биоактивации) ржаного зерна, занимающая от 48 до 72 часов. Актуальной проблемой является поиск способа сокращения этой стадии за счёт стимулирования процессов проращивания зерна.

«Узким местом» процесса набухания зерна является влагонасыщение семенных оболочек, алейронового слоя и зародыша (до 1 ч.) с последующим гидратированием эндосперма (до 12 ч.) и заключительным внутрисклеточным распределением влаги (до 24 ч.). При длительном обводнении зерна параллельно с биохимической активацией зерна происходит и стимуляция вредоносной микрофлоры. Это приводит к заплесневению сырья и непродуктивным потерям ресурсов. Поэтому сокращение сроков биоактивации имеет важное значение не только для сокращения затрат времени и материалов, но и для обеспечения безопасности пищевой продукции. В процессе гидратации задействованы различные физические и химические процессы. Энергия гидратации зерна обусловлена, в частности, прочностью межмолекулярных связей в структурах плодовых оболочек. Одним из эффективных биохимических механизмов разрушения межмолекулярных связей и липопротеидных мембранных комплексов является воздействие биогенных свободных радикалов (СР). Одним из естественных источников СР является пероксид водорода, естественный компонент природной воды. Распад пероксида водорода по свободнорадикальному механизму инициируется в присутствии ионов двухвалентного железа [5]. Среди природных объектов радикал-регулирующими свойствами обладают комплексные фитозэкстракты ряда растений, в частности представителей сем. Яснотковых (мята, Melissa, базилик, душица, тимьян), имеющие важное пищевое значение. В их числе много продуцентов пряно-ароматических соединений фенольной природы, которые в зависимости от условий среды проявляют антиоксидантные или прооксидантные свойства [6], [7], [8]. Ранее было установлено, что среди сем. Яснотковых наиболее выраженными антиоксидантными свойствами обладает тимьян [9]. Можно предположить, что биоактивация зерна ржи может быть ускорена под отдельным или сочетанным влиянием химических и биогенных регуляторов свободнорадикального окислительного метаболизма.

Целью настоящего исследования было исследование динамики биоактивации зерна ржи под отдельным и сочетанным влиянием химического (пероксид водорода, Fe^{2+}) и биогенного (фитозэкстракт тимьяна) стимуляторов продукции свободных радикалов.

Методы и принципы исследования

Препараты тимьяна 0,1 %, 1 % и 10 %-ной концентраций получали методом горячей водной экстракции при 1-часовой экспозиции на водяной бане (80 °С). Препараты H_2O_2 (0,0001 М; 0,0002 М; 0,0004 М; 0,0008 М) готовили разбавлением исходного 3 %-ного раствора дистиллированной водой. Триггером разложения пероксида служил 10^{-4} М раствор $FeSO_4$, который вносили в раствор пероксида (100 мл) непосредственно перед замачиванием семян (30 шт.). При использовании сочетанных растворов индивидуальные препараты смешивали в пропорции 1:1. Индикатором достижения необходимой стадии биоактивации зерна служило образование проростков длиной 1 мм. Показателем энергии прорастания служила доля проросших зёрен (%) на диапазоне наблюдения (0...32 ч). Антиоксидантную (АО) активность регуляторов определяли экспрессным хемиллюминесцентным методом, измеряемым параметром служила светосумма импульсов за время наблюдения (300 с), методика подробно описана [10]. Статистическую обработку результатов проводили с использованием критерия Стьюдента.

Основные результаты

Выбор рабочей концентрации растворов тимьяна осуществляли на основе результатов определения антиоксидантной активности 0,1%-, 1,0%- и 10%-ных фитозэкстрактов (рис. 1).

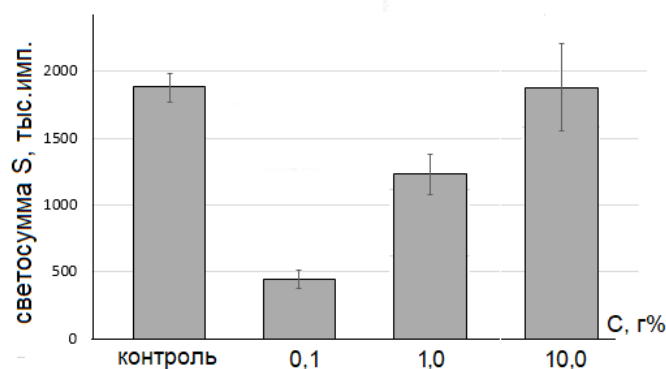


Рисунок 1 - Дозовая зависимость антиоксидантной активности водных экстрактов тимьяна

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.125.1.1>

Из приведённого рисунка видно, что наибольшей АО-активностью обладал фитοэкстракт в наименьшей 0,1 %-ной концентрации ($p < 0,001$), поэтому его использовали в дальнейшей работе.

Результаты определения энергии прорастания зерна ржи в фитοэкстракте тимьяна либо в растворах пероксида водорода ($+Fe^{2+}$) отображены на рис. 2 и 3.

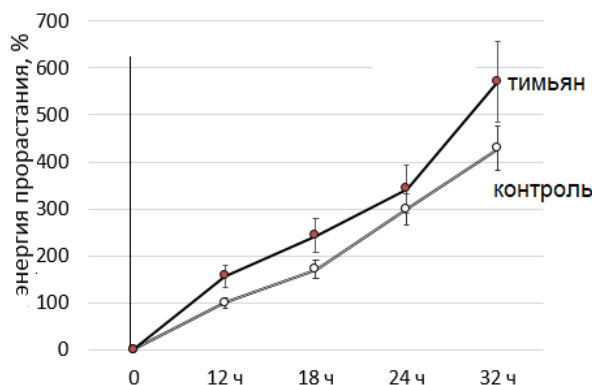


Рисунок 2 - Дозовая зависимость энергии прорастания зерна ржи от влияния экстракта тимьяна
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.125.1.2>

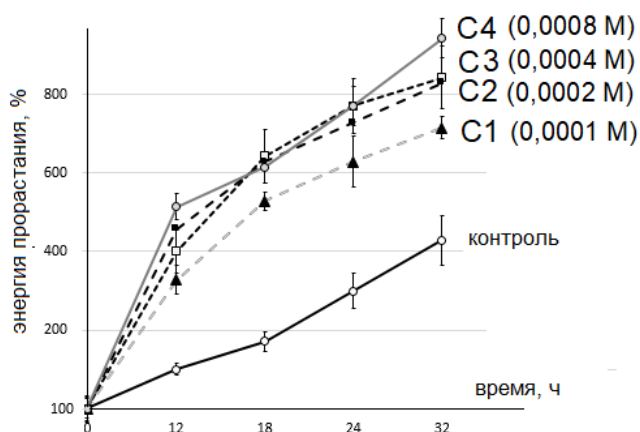


Рисунок 3 - Дозовая зависимость энергии прорастания зерна ржи от влияния химического регулятора
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.125.1.3>

Из рисунка видно, что регуляторы кислородного метаболизма в различной степени повышали интенсивность биоактивации зерна по сравнению с контрольным уровнем (проращивание зерна в фильтрованной питьевой воде, принят за 100%).

Под влиянием экстракта тимьяна (рис. 2) на первоначальном и последующих этапах наблюдения энергия прорастания была выше, чем в контроле (к 12 ч. – в 1,6 раза, $p < 0,05$; к 32 ч. – в 1,3 раза). Под влиянием химического регулятора (рис. 3) отличия от контроля были более значимы. На стартовом этапе (12 ч.) энергия прорастания превышала контрольный уровень с кратностью от 3,3 раза (C1) до 5,1 раз (C4); на завершающем этапе (32 ч.) кратность превышения для всех рассмотренных концентраций сократилась до 2. Из этого следует, что использование химического регулятора ($H_2O_2 + Fe^{2+}$) позволяет в несколько раз увеличить скорость прорастания зерна на стартовой, наиболее критичной фазе подготовки зерновой матрицы.

Использование сочетания химического и биогенного регуляторов обеспечило синергичный эффект (рис. 4).

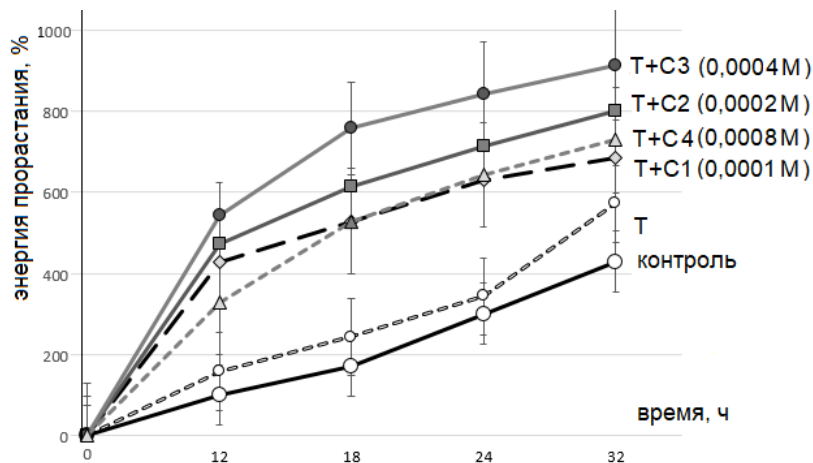


Рисунок 4 - Сочетанное влияние биогенного и химического регуляторов на энергию прорастания зерна ржи

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.125.1.4>

На начальном этапе (12 ч.) наибольшая кратность повышения энергии прорастания (в 5,4 раза – относительно контроля, в 3,5 раза – относительно экстракта тимьяна) соответствовала сочетанию тимьян+пероксид (0,0004 М). Наибольшая эффективность химического регулятора в указанной концентрации сохранялась на протяжении всего рассмотренного диапазона.

Полученные результаты согласуются с имеющимися данными. Известно, что в процессе солодоращения важная роль принадлежит пероксидазам и каталазам. В гидратированных зерновках активность каталаз повышена, тогда как пероксидазная активность снижена [11]. Можно предположить, что добавление экзогенного субстрата (пероксида водорода) вместе с инициатором его расщепления стимулирует функцию пероксидазы, под влиянием которой усиливается окислительное воздействие свободнорадикальных метаболитов пероксида водорода на липидные группировки клеточных мембран, ускоряя их перфорацию. Антиоксидантные метаболиты в составе экстракта тимьяна (в первую очередь фенольные соединения) способны обрывать цепные реакции, препятствуя избыточному накоплению химически агрессивных метаболитов распада пероксида [12]. Результатом является сбалансированная картина ускорения биоактивации зерна, наблюдаемая в проведенном исследовании.

Заключение

1. Под влиянием 0,1%-ной концентрации фитоэкстракта тимьяна при гидратации зерна ржи процесс биоактивации ускорился с повышением энергии прорастания в 1,6 раза после 12-часовой экспозиции.
2. Под влиянием химического прооксиданта (пероксид водорода+Fe²⁺) процесс биоактивации зерна ржи ускорился с повышением энергии прорастания с кратностью от 3,3 (0,0001 М) до 5,1 раз (0,0008 М) после 12-часовой экспозиции при наибольшей эффективности концентраций 0,0004 и 0,0008 М.
3. Под сочетанным влиянием экстракта тимьяна и 0,0004 М растворов пероксида водорода (+Fe²⁺) на протяжении всей 32-часовой экспозиции наблюдалась наибольшая кратность повышения энергии прорастания; увеличение в 5,4 раза выше контроля наблюдалось после 12-часовой экспозиции.
4. Использование сочетания биогенного и химического регуляторов позволяет повысить эффективность биоактивации зерна ржи и сократить не менее чем в 2 раза наиболее длительную фазу солодоращения ржаного зерна для производства цельнозернового хлеба.

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

1. Донченко Л.В. Обогащение хлеба биологически активными веществами профилактического назначения / Л.В. Донченко, Н.В. Сокол, Л.Г. Влащик // Научный журнал КубГАУ. – 2017. – № 125(01). – С. 1-13.
2. Химия и общество: пособие для учителей / Под ред. Н.П. Тарасовой. – М.: Мир, 1995. – С. 311.
3. 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.
4. Лаптева Н.К. Качество ржаного солода в зависимости от производства зерна, сортовых особенностей культуры и режимов ферментации / Н.К. Лаптева, Л.И. Кедрова, Е.И. Уткина и др. // Достижения науки и техники АПК. – 2012. – № 6. – С. 81-84.

5. Морозов А.Р. Кинетика разложения пероксида в воде / А.Р. Морозов, А.И. Родионов, И.Н. Каменчук // Успехи в химии и химической технологии. – 2014. – Т. XXVIII. – № 5(154). – С. 46-49.
6. Тураева Г. Н. Антиоксидантная активность экстрактов растений семейства яснотковых (Lamiaceae) / Г.Н. Тураева, М.Б. Икрами // Вестник Таджикского педагогического университета им. Садриддина Айни. – 2019. – № 3-4. – С. 203-207.
7. Лапин А.А. Антиоксидантные свойства продуктов растительного происхождения / А.А. Лапин, М.Ф. Борисенков, А.П. Карманов и др. // Химия растительного сырья. – 2007. – № 2. – С. 79-83.
8. Хасанова С.Р. Сравнительное изучение антиоксидантной активности растительных сборов / С.Р. Хасанова, Т.И. Плеханова, Д.Т. Гашимова и др. // Вестник ВГУ, серия: Химия, биология, фармация. – 2007. – № 11. – С.163-166.
9. Лесовская М.И. Биоактивация зерна ржи под влиянием водных экстрактов тимьяна ползучего и душицы обыкновенной / М.И. Лесовская, К.А. Бабаева // Научно-практические аспекты развития АПК: сб. статей национ. науч. конф. – Красноярск, 2020. – Ч. 2. – С. 12-16.
10. Лесовская М.И. Физико-химические свойства цельнозернового хлеба на основе ржи, биоактивированной с использованием тимьяна или душицы / М.И. Лесовская, К.А. Бабаева, Н.Л. Кабак // Научное пространство России: генезис и трансформация в условиях реализации целей устойчивого развития: сб. статей национ. науч. конф. – СПб., 2020. – С. 13-17.
11. Исламгулова Р.Р. Активность амилолитических и антиоксидантных ферментов (каталаз, пероксидаз) при солодоращении зерна ячменя в зависимости от размера зерновок и применяемых фиторегуляторов / Р.Р. Исламгулова, Н.Н. Новиков, И.И. Серегина // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. – 2022. – № 1. – С. 13-28. – DOI: 10.21685/2307-9150-2022-1-2.
12. Денисов Е.Т. Радикальные реакции в химии, технологии и живом организме. Лекция 14 / Е.Т. Денисов. – Черноголовка, 2003. – С. 89-101.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Donchenko L.V. Obogashhenie hleba biologicheski aktivnymi veshhestvami profilakticheskogo naznachenija [Bread Enrichment with Prophylactic Biologically Active Substances] / L.V. Donchenko, N.V. Sokol, L.G. Vlashhik // Nauchnyj zhurnal KubGAU [Scientific Journal of KubSAU]. – 2017. – № 125(01). – P. 1-13. [in Russian]
2. Himija i obshhestvo [Chemistry and Society] : A Teacher's Guide / Ed. by N.P. Tarasova. – M.: Mir, 1995. – P. 311. [in Russian]
3. 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 the Production Technology of Bread on the Basis of Rye Flour with the Use of Rye Malt and Syrup 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. act.] – 2013. – № 2(9). – P. 144-148. [in Russian]
4. Lapteva N.K. Kachestvo rzhanogo soloda v zavisimosti ot proizvodstva zerna, sortovyh osobennostej kul'tury i rezhimov fermentacii [Quality of Rye Malt Depending on Grain Production, Variety Characteristics of the Culture and Fermentation Regimes] / N.K. Lapteva, L.I. Kedrova, E.I. Utkina et al. // Dostizhenija nauki i tehniki APK [Advances in Agricultural Science and Technology of AIC]. – 2012. – № 6. – P. 81-84. [in Russian]
5. Morozov A.R. Kinetika razlozhenija peroksida v vode [Kinetics of Peroxide Decomposition in Water] / A.R. Morozov, A.I. Rodionov, I.N. Kamenchuk // Uspehi v himii i himicheskoj tehnologii [Advances in Chemistry and Chemical Technology]. – 2014. – Vol. XXVIII. – № 5(154). – P. 46-49. [in Russian]
6. Turaeva G. N. Antioksidantnaja aktivnost' jekstraktov rastenij semejstva jasnotkovykh (Lamiaceae) [Antioxidant Activity of Extracts of Plants of the Cloverberry Family (Lamiaceae)] / G.N. Turaeva, M.B. Ikrami // Vestnik Tadzhijskogo pedagogicheskogo universiteta im. Sadrididina Ajni [Bulletin of the Tajik Pedagogical University named after Sadrididin Aini]. – 2019. – № 3-4. – P. 203-207. [in Russian]
7. Lapin A.A. Antioksidantnye svojstva produktov rastitel'nogo proishozhdenija [Antioxidant Properties of Plant Foods] / A.A. Lapin, M.F. Borisenkov, A.P. Karmanov et al. // Himija rastitel'nogo syr'ja [Chemistry of Plant Raw Materials]. – 2007. – № 2. – P. 79-83. [in Russian]
8. Hasanova S.R. Sravnitel'noe izuchenie antioksidantnoj aktivnosti rastitel'nykh sborov [Comparative Study of Antioxidant Activity of Plant Collections] / S.R. Hasanova, T.I. Plehanova, D.T. Gashimova et al. // Vestnik VGU, serija: Himija, biologija, farmacija [Bulletin of the VSU, Series: Chemistry, Biology, Pharmacy]. – 2007. – № 11. – P.163-166. [in Russian]
9. Lesovskaja M.I. Bioaktivacija zerna rzhii pod vlijaniem vodnykh jekstraktov tim'jana polzuchego i dushicy obyknovennoj [Bioactivation of Rye Grain Influenced by Aqueous Extracts of Thyme Creeper and Oregano] / M.I. Lesovskaja, K.A. Babaeva // Nauchno-prakticheskie aspekty razvitiya APK [Scientific and Practical Aspects of the Development of the Agroindustrial Complex] : collected articles of the National Scientific Conf. – Krasnoyarsk, 2020. – Pt. 2. – P. 12-16. [in Russian]
10. Lesovskaja M.I. Fiziko-himicheskie svojstva cel'nozernovogo hleba na osnove rzhii, bioaktivirovannoj s ispol'zovaniem tim'jana ili dushicy [Physico-chemical Properties of Whole Wheat Bread Based on Rye, Bioactivated with Thyme or Oregano] / M.I. Lesovskaja, K.A. Babaeva, N.L. Kabak // Nauchnoe prostranstvo Rossii: genезis i transformacija v uslovijah realizacii celej ustojchivogo razvitiya [Scientific Space of Russia: Genesis and Transformation in the Conditions of Realization of the Goals of Sustainable Development] : Collection of Articles of the National Scientific Conference. – SPb., 2020. – P. 13-17. [in Russian]
11. Islamgulova R.R. Aktivnost' amiloliticheskikh i antioksidantnykh fermentov (katalaz, peroksidaz) pri solodorashhenii zerna jachmenja v zavisimosti ot razmera zernovok i primenjaemykh fitoreguljatorov [Activity of Amylolytic and Antioxidant Enzymes (Catalases, Peroxidases) during Malting of Barley Grain Depending on Grain Size and Phyto regulators Used] / R.R. Islamgulova, N.N. Novikov, I.I. Serегina // Izvestija vysshih uchebnykh zavedenij. Povolzhskij region. Estestvennye nauki

[Proceedings of Higher Educational Institutions. Volga Region. Natural Sciences.]. – 2022. – № 1. – P. 13-28. – DOI: 10.21685/2307-9150-2022-1-2. [in Russian]

12. Denisov E.T. Radikal'nye reakcii v himii, tehnologii i zhivom organizme. Lekcija 14 [Radical Reactions in Chemistry, Technology and the Living Organism. Lecture 14] / E.T. Denisov. – Chernogolovka, 2003. – P. 89-101. [in Russian]