

Александр Иннокентьевич Машанов

Красноярский государственный аграрный университет, профессор кафедры технологии консервирования и пищевой биотехнологии, доктор биологических наук, профессор, Красноярск, Россия
E-mail: fppp@kgau.ru

Григорий Николаевич Чурилов

Институт физики им. Л.В. Киренского СО РАН, заведующий лабораторией аналитических методов исследования вещества, доктор технических наук, профессор, Красноярск, Россия
E-mail: aa-mashanov@yandex.ru

Наталья Викторовна Присухина

Красноярский государственный аграрный университет, доцент кафедры технологий хлебопекарного, кондитерского и макаронного производств, кандидат технических наук, доцент, Красноярск, Россия
E-mail: nat3701@mail.ru

Наталья Григорьевна Внукова

Институт физики им. Л.В. Киренского СО РАН, научный сотрудник лаборатории аналитических методов исследования вещества, кандидат технических наук, Красноярск, Россия
E-mail: aa-mashanov@yandex.ru

Александр Александрович Машанов

Сибирский федеральный университет, Институт педагогики, психологии и социологии, доцент кафедры современных образовательных технологий, кандидат медицинских наук, доцент, Красноярск, Россия
E-mail: aa-mashanov@yandex.ru

ВЛИЯНИЕ ВОДОРАСТВОРИМОГО ФУЛЛЕРЕНА C-60 НА КАЧЕСТВО РЖАНОГО ХЛЕБА

Биологический синтез дает возможность создавать большое разнообразие новых продуктов с заданным составом (ферменты, аминокислоты, полимеры). Фуллерены – это аллотропная модификация углерода. Водные растворы фуллерена используются в медицинских целях в качестве противовирусного, противовоспалительного средства, против онкологических заболеваний. В работе проведены исследования влияния водорастворимых фуллеренов на качество ржаного хлеба. Хлеб готовили на закваске, без внесения товарных дрожжей. Ржаную закваску готовили самостоятельно в течение 7 суток из цельнозерновой ржаной муки и воды. Фуллерен растворяли в воде в процентном соотношении: 0,5, 1 и 1,5 % от количества воды и на этом растворе проводили замес теста, за исключением контрольного образца. Тесто оставляли на брожение, при этом наблюдая за скоростью его подъема каждый час. Далее выброженное тесто делили на куски и формовали тестовые заготовки. В процессе расстойки тестовых заготовок в контрольном образце наблюдалась наибольшая расплываемость заготовки хлеба, образцы заготовок с фуллереном лучше сохраняли свою форму. Выпечку хлеба проводили в течение 55 минут. Через 8 часов охлаждения хлеб исследовали по основным показателям качества. Результаты исследования физико-химических показателей ржаного хлеба с водным раствором фуллерена показали, что пористость мякиша контрольного образца и образцов с фуллереном была равна 49 %. Влажность мякиша образцов во всех вариантах опыта составляла 48 %. Кислотность теста в образце № 1 повышается на 0,5 градусов, в образце № 2 на 1 градус, в образце № 3 на 1,3 градуса по сравнению с контрольным образцом. Ржаной хлеб, приготовленный с использованием водорастворимого фуллерена, обладает хорошими качественными показателями, соответствующими требованиям стандартов.

Ключевые слова: ржаной хлеб, фуллерен, качество, кислотность, закваска, брожение.

Alexander I. Mashanov

Dr. of Biol. Sci., Professor, Department of Canning Technology and Food Biotechnology, Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk, Russia
E-mail: fppp@kgau.ru

Grigory N. Churilov

Dr. of Tech. Sci., Professor, Laboratory of Analytical Methods for Substance Research, Institute of Physics named after L.V. Kirenskii SB RAS, Krasnoyarsk, Russia

E-mail: aa-mashanov@yandex.ru

Natalia V. Prisukhina

Cand. of Tech. Sci., Assoc. Prof., Department of Technologies for Bakery, Confectionery and Macaroni Production, Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk, Russia

E-mail: nat3701@mail.ru

Natalia G. Vnukova

Cand. of Tech. Sci., Researcher, Laboratory of Analytical Methods for Substance Research, Institute of Physics named after L.V. Kirenskii SB RAS, Krasnoyarsk, Russia

E-mail: aa-mashanov@yandex.ru

Alexander A. Mashanov

Cand. of Med. Sci., Assoc. Prof., Department of Modern Educational Technologies, Institute of Pedagogy, Psychology and Sociology, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

E-mail: aa-mashanov@yandex.ru

EFFECT OF WATER-SOLUBLE FULLERENE C-60 ON THE QUALITY OF RYE BREAD

Biological synthesis makes it possible to create a wide variety of new products with a given composition – to obtain food for humans, enzymes, amino acids, polymers. Fullerenes are an allotropic modification of carbon. Water solutions of fullerene are tested for medical purposes as an antiviral, anti-inflammatory agent, against cancer. The paper studies the effect of water-soluble fullerenes on the quality of rye bread. The bread was prepared with sourdough, without the introduction of commercial yeast. Rye sourdough was prepared independently for 7 days from whole-grain rye flour and water. Fullerene was dissolved in water in a percentage ratio of 0.5, 1 and 1.5 % of the amount of water and the dough was kneaded on this solution, with the exception of the control sample. The dough was left to ferment, while observing the rate of its rise every hour. Next, the fermented dough was divided into pieces and formed into dough pieces. In the process of proofing the test blanks in the control sample, the greatest blurring of the bread blank was observed, the samples of the blanks with fullerene retained their shape better. The bread was baked for 55 minutes. After 8 hours of cooling, the bread was examined according to the main quality indicators. The results of the study of the physical and chemical parameters of rye bread with an aqueous solution of fullerene showed that the porosity of the crumb of the control sample and samples with fullerene was equal to 49 %. The moisture content of the crumb of the samples in all variants of the experiment was 48 %. The acidity of the test in sample No. 1 increases by 0.5 degrees, in sample No. 2 by 1 degree, in sample No. 3 by 1.3 degrees compared to the control sample. Rye bread prepared using water-soluble fullerene has good quality indicators that meet the requirements of the standards.

Keywords: rye bread, fullerene, quality, acidity, sourdough, fermentation.

Введение. Биологический синтез дает возможность создавать большое разнообразие новых продуктов с заданным составом (ферменты, аминокислоты, полимеры), производить переработку зерновых и других сельскохозяйственных культур (Комплексная программа развития биотехнологий в Российской Федерации на период до 2020 г.) [1].

Фуллерены – это аллотропная модификация углерода, их свойства широко используются в медицине, фармацевтике, физике и электрохимии. Впервые фуллерены были получены в

1985 г. [2], авторы были удостоены Нобелевской премии по химии. В настоящее время водные растворы фуллерена испытываются в медицинских целях в качестве противовирусного, противовоспалительного средства, против онкологических заболеваний [3–6].

Нами были проведены исследования по активации хлебопекарных дрожжей при производстве пшеничного хлеба с помощью водорастворимых фуллеренов. Исследования показали, что водорастворимый фуллерен положительно влияет на качество хлеба и брожение теста в процессе его

приготовления. Хлеб, приготовленный с водорастворимым фуллереном, отвечает требованиям стандарта качества [7].

В процессе брожения теста ржаного происходит образование кислот, спирта и диоксида углерода, за счет чего кислотность теста увеличивается и тесто приобретает свойственный аромат. Молочнокислые бактерии расщепляют сложные компоненты зерна на простые, повышают их усвояемость. При брожении в хлебе образуются различные ферменты, органические кислоты, витамины [8–10].

К основным технологическим операциям производства ржаного хлеба относятся: подготовка сырья, приготовление закваски и ее брожение, замес теста, брожение теста, разделка и округление, расстойка тестовых заготовок и выпечка готовых изделий.

Значительная часть микроорганизмов оказывается в тесте с головкой или закваской при замесе. Микрофлору заквасок составляют дрожжи и молочнокислые бактерии. Соотношение их 1:80. Часть бактерий при необходимости вносится искусственно (дрожжи и разведенные молочнокислые бактерии), а другая часть попадает из обсемененной муки. Микрофлора заквасок по своему составу очень похожа на микрофлору головки.

К молочнокислым бактериям относятся гомоферментированные и гетероферментированные бактерии. Первые образуют в основном молочную кислоту, а вторые – уксусную и муравьиную кислоты, а также диоксид углерода и спирт этиловый. Эти же бактерии одновременно являются разрыхлителями теста.

Актуальной задачей, стоящей перед пищевой отраслью, является ускорение процесса производства и получение качественного хлебного продукта, особенно ржаного, ржано-пшеничного, обладающего многими полезными свойствами для организма человека [9].

Цель исследования. Изучить влияние водорастворимого фуллерена на активность молочнокислых бактерий при брожении теста и установить воздействие водорастворимого фуллерена на качественные показатели ржаного хлеба.

Задачи исследования: изучить воздействие водорастворимого фуллерена на активность брожения ржаного теста; определить показатели качества ржаного хлеба с добавлением водорастворимого фуллерена.

Материалы и методы исследования. Органолептические показатели ржаного хлеба определяли по ГОСТ 5667-65, кислотность по ГОСТ 5670-96, пористость по ГОСТ 5666-96, влажность по ГОСТ 21094-75 [8].

Для получения водорастворимых фуллеренов в установке килогерцового диапазона частот при атмосферном давлении была синтезирована фуллеренсодержащая сажа. Однако фуллерены растворимы только в неполярных растворителях, а процедура гидроксирования фуллеренов делает их водорастворимыми. Синтез гидроксированного ФЭ выполнялся с использованием азотной кислоты с последующим гидролизом полинитроинтермедиатов водой. Анализ методом инфракрасной спектроскопии и рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии позволил утверждать, что гидроксильные группы образовали химическую связь с поверхностью фуллерена.

Для приготовления ржаного хлеба был взят заквасочный способ на закваске из ржаной муки. Ржаная закваска готовилась в течение 7 суток. Для ее приготовления смешивали цельнозерновую ржаную муку и воду с температурой 25 °С в соотношении 50:50, закваска помещалась в чистую стеклянную посуду, брожение происходило при температуре 27 °С в течение суток. На вторые сутки от смеси закваски отбиралась порция, в которую вносилась мука и вода в равных пропорциях. Закваска снова оставлялась на брожение в течение суток. Через сутки закваска разжижалась. Снова отбиралась часть закваски, вносилась мука ржаная и вода в равных пропорциях и оставлялась на брожение. Процесс повторялся в течение четырех суток. На пятые сутки запах становился приятно-кисловатым. Закваска снова обновлялась по той же схеме. Брожение осуществлялось 8 часов. Далее в течение еще двух суток закваска обновлялась через 8–10 часов, и количество муки увеличивалось вдвое относительно закваски. Через 7 дней закваска была готова к использованию.

Для замеса теста часть закваски разводили в воде, вносили муку и перемешивали до однородности, накрывали пленкой и оставляли на брожение. Созревание закваски проводилось при комнатной температуре (27 °С) в течение 8 часов. Влияние различных концентраций фуллерена оценивали по продолжительности брожения теста. Наблюдение за увеличением в объеме теста проводили каждый час (рис. 1–9).

В качестве контрольного варианта использовалась рецептура, изложенная в таблице 1.

Фуллерен растворяли в воде, идущей на замес теста, процент брали от всего количества воды (табл. 2).

Таблица 1

Рецептура ржаного хлеба, г

Сырье	Закваска	Тесто	Итого
Мука ржаная обдирная	42	58	100
Закваска ржаная	6,3	–	6,3
Вода	33	46	79
Соль	–	1,5	1,5
Сахар	–	1	1

Таблица 2

Варианты исследования ржаного хлеба

Номер образца	Фуллерен, %
Контроль	Без фуллерена
1	0,5
2	1,0
3	1,5

Результаты исследования и их обсуждение. Результаты проведенных исследований показали, что добавление водорастворимого фуллерена при брожении ржаного теста оказывает

влияние как на органолептические показатели готового хлеба (табл. 3), так и на его структуру (рис. 1).

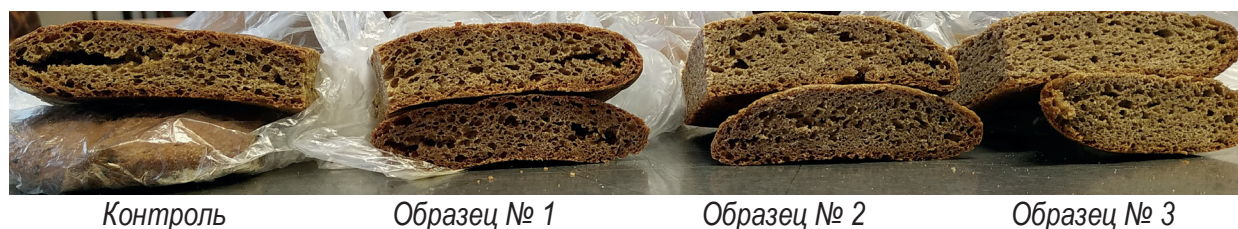


Рис. 1. Внешний вид образцов хлеба

На разрезе видно, что наиболее однородная пористость наблюдается в образце № 3. В контрольном образце имеется большая полость, что указывает на то, что хлеб не добродил. В образ-

це № 2 с наименьшим содержанием фуллерена также наблюдается небольшая полость. В образце № 3 такого не наблюдается.

Таблица 3

Органолептические показатели ржаного хлеба с водорастворимым фуллереном

Номер образца	Цвет	Вкус	Аромат
Контроль	Серовато-коричневый	Приятный, сладко-кислый, без посторонних привкусов	Приятный, насыщенный, аромат ржи, без посторонних запахов
1	Светло-коричневый	Приятный, кисловатый, без посторонних привкусов	
2			
3	Коричневый		

Необходимо отметить, что в контрольном образце мякиш хлеба был липким. Можно полагать, что в хлебе образовалось большое количество фермента L-амилазы, приводящего к расщеплению крахмала до декстринов при повышенной влажности и, соответственно, липкости мякиша.

Внесение фуллерена в тесто на продолжительность брожения влияния не оказало, что видно из рисунков 2–9.

В процессе расстойки тестовых заготовок в контрольном образце наблюдалась наибольшая расплываемость заготовки хлеба, образцы заготовок с фуллереном лучше сохраняли свою форму. Выпечку хлеба проводили в 2 этапа: вначале выпекали с пароувлажнением в течение 15 мин при температуре 220 °С и далее без пароувлажнения при 200 °С в течение 40 мин.

Качественные показатели готового хлеба проверяли после 5 часов охлаждения.

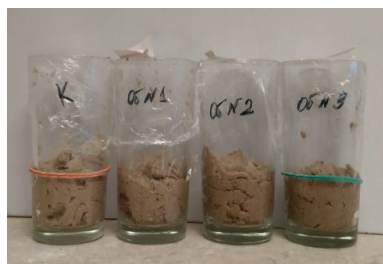


Рис. 2. Тесто сразу после замеса



Рис. 3. Тесто через 60 минут после замеса



Рис. 4. Тесто через 120 минут после замеса

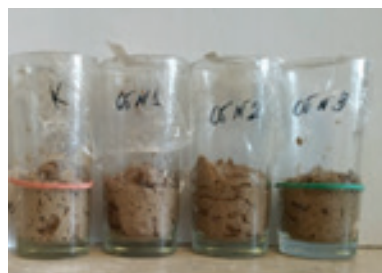


Рис. 5. Тесто через 180 минут после замеса

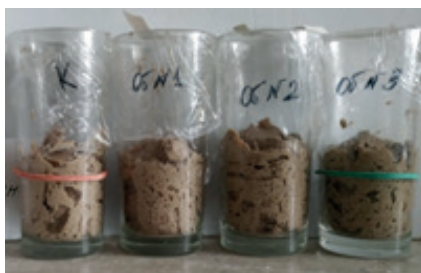


Рис. 6. Тесто через 240 минут после замеса

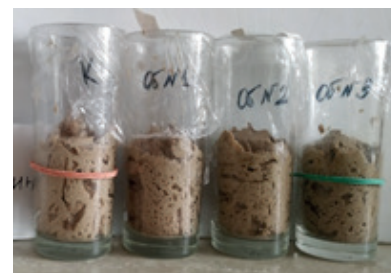


Рис. 7. Тесто через 300 минут после замеса

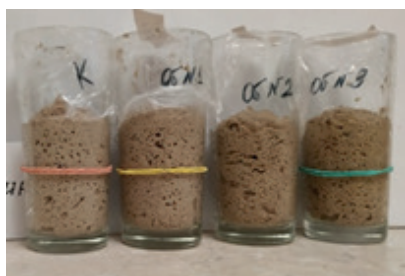


Рис. 8. Тесто через 360 минут после замеса

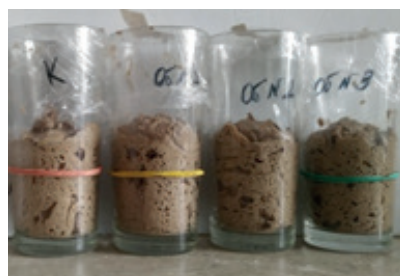


Рис. 9. Тесто через 420 минут после замеса

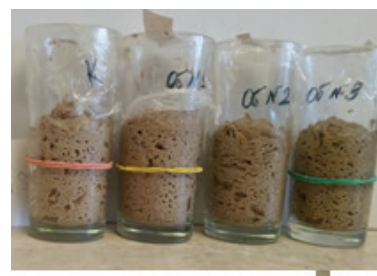


Рис. 10. Тесто через 480 минут после замеса

Готовые образцы хлеба исследовали по физико-химическим показателям качества. Результаты

представлены в таблице 4.

Таблица 4

Физико-химические показатели качества ржаного хлеба с раствором водорастворимого фуллерена

Показатель	Контроль	Образец № 1	Образец № 2	Образец № 3
Пористость мякиша, %	49	49	49	49
Влажность мякиша, %	48	48	48	48
Кислотность, град	10,3	10,8	11,3	11,6

Результаты исследования физико-химических показателей ржаного хлеба с водным раствором фуллерена показали, что пористость мякиша контрольного образца и образцов с фуллереном

была равна 49 %. Влажность мякиша образцов во всех вариантах опыта составляла 48 %. С увеличением дозировки фуллерена кислотность образцов хлеба увеличивалась.

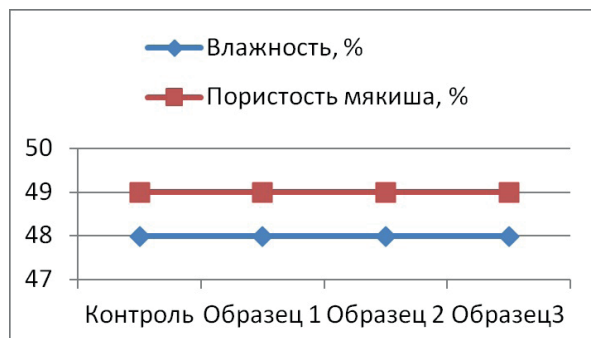


Рис. 11. График влияния дозировки фуллерена на влажность и пористость ржаного хлеба

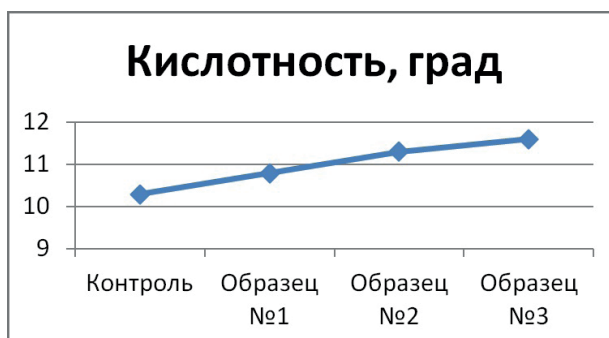


Рис. 12. График влияния дозировки фуллерена на кислотность ржаного хлеба

Заключение. В результате проведенных исследований установлено положительное влияние водорастворимого фуллерена на свойства молочнокислых бактерий ржаного теста и процесс брожения. Кислотность теста в образце №1 повышается на 0,5 градусов, в образце № 2 на 1 градус, в образце № 3 на 1,3 градуса по сравнению с контрольным образцом.

Ржаной хлеб, приготовленный с использованием водного раствора фуллерена, обладает хорошими качественными характеристиками и соответствует требованиям стандартов.

Водорастворимый фуллерен оказывает стимулирующее действие на продуцирование молочной кислоты и других органических кислот, обуславливающих аромат ржаного хлеба. Результаты исследования позволяют сделать вывод о возможности приготовления хлеба с использованием фуллерена для ускорения процессов брожения теста.

Литература

1. Комплексная программа развития биотехнологий в Российской Федерации на период до 2020 г. М., 2012.
2. Solid C60: a new form of carbon / Kretschmer W [et al.] // Nature. 1990. Т. 347, № 6291. P. 345–358.
3. Piotrovsky L.B., Kiselev O.I. Fullerenes and viruses // Fullerenes, Nanotubes and Carbon Nanostructures. 2005.
4. Kotel'nikova R.A., Faingol'd, II, Poletaeva D.A., Mishchenko D.V., Romanova V.S., Shtol'ko V.N., Bogdanov G.N., Rybkin A.Y., Frog E.S., Smoli-

na A.V., Kushch A.A., Fedorova N.E., Kotel'nikova A.I. Antioxidant properties of water-soluble amino acid derivatives of fullerenes and their role in the inhibition of herpes virus infection // Russian Chemical Bulletin. 2011. Т. 60, № 6. P. 1172–1176.

5. Improvement of acne vulgaris by topical fullerene application: Unique impact on skin care / S. Inui [et al.] // Nanomedicine: Nanotechnology, Biology and Medicine. 2011. Т. 7, № 2. P. 238–241.
6. Autophagy-mediated chemosensitization in cancer cells by fullerene C60 nanocrystal / Q. Zhang [et al.] // Autophagy. 2009. Т. 5, № 8. P. 1107–1117.
7. Интенсификация хлебопекарных дрожжей с помощью водорастворимого фуллерена / А.И. Машанов, Г.Н. Чурилов, Н.Н. Тункина [и др.] // Вестник КрасГАУ. 2020. № 2. С. 108–116.
8. Корячкина С.Я., Березина Н.А., Хмелева Е.В. Методы исследования качества хлебобулочных изделий: метод. пособие для вузов. Орел: ОрелГТУ, 2010. 166 с.
9. Корячкина С.Я., Ладнова О.Л. Ржаной хлеб с использованием сахароснижающих добавок для больных сахарным диабетом // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2006. № 1 (290). С. 36–37.
10. Борисенко Д.В., Пащенко Л.П., Супонев Е.Н. Технология хлеба «Украинская рапсодия» и его микробиологическая стойкость при хранении // Хлебопродукты. 2012. № 12. С. 52–53.

Literatura

1. Kompleksnaya programma razvitiya biotekhnologii v Rossijskoj Federacii na period do 2020 g. M., 2012.
2. Solid C60: a new form of carbon / *Kretschmer W* [et al.] // *Nature*. 1990. T. 347, № 6291. P. 345–358.
3. *Piotrovsky L.B., Kiselev O.I.* Fullerenes and viruses // *Fullerene, Nanotubes and Carbon Nanostructures*. 2005.
4. *Kotel'nikova R.A., Faingol'd, II, Poletaeva D.A., Mishchenko D.V., Romanova V.S., Shtol'ko V.N., Bogdanov G.N., Rybkin A.Y., Frog E.S., Smolina A.V., Kushch A.A., Fedorova N.E., Kotel'nikova A.I.* Antioxidant properties of water-soluble amino acid derivatives of fullerenes and their role in the inhibition of herpes virus infection // *Russian Chemical Bulletin*. 2011. T. 60, № 6. P. 1172–1176.
5. Improvement of acne vulgaris by topical fullerene application: Unique impact on skin care / *S. Inui* [et al.] // *Nanomedicine: Nanotechnology, Biology and Medicine*. 2011. T. 7, № 2. P. 238–241.
6. Autophagy-mediated chemosensitization in cancer cells by fullerene C60 nanocrystal / *Q. Zhang* [et al.] // *Autophagy*. 2009. T. 5, № 8. P. 1107–1117.
7. Intensifikaciya hlebopekarnyh drozhzhej s pomosh'yu vodorastvorimogo fullerena / *A.I. Mashanov, G.N. Churilov, N.N. Tipsina* [i dr.] // *Vestnik KrasGAU*. 2020. № 2. S. 108-116.
8. *Koryachkina S.Ya., Berezina N.A., Hmeleva E.V.* Metody issledovaniya kachestva hlebobulochnyh izdelij: metod. posobie dlya vuzov. Orel: OrelGTU, 2010. 166 s.
9. *Koryachkina S.Ya., Ladnova O.L.* Rzhanoj hleb s ispol'zovaniem saharosnizhayuschih dobavok dlya bol'nyh saharnym diabetom // *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Pischevaya tehnologiya*. 2006. № 1 (290). S. 36–37.
10. *Borisenko D.V., Paschenko L.P., Suponev E.N.* Tehnologiya hleba «Ukrainskaya rapsodiya» i ego mikrobiologicheskaya stojkost' pri hranenii // *Hleboprodukty*. 2012. № 12. S. 52–53.

