

АНТИОКСИДАНТНАЯ АКТИВНОСТЬ ХЛЕБОБУЛОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ, ОБОГАЩЕННЫХ ПОРОШКОМ ИЗ ЯГОД ГОЛУБИКИ

Л.П. Нилова

Для разработки хлебобулочных изделий с антиоксидантными свойствами использовали порошок из ягод дикорастущей голубики, произрастающей на Северо-Западе России. С помощью газо-жидкостной хроматографии с масс-спектрометрией на хроматографе «Agilent 6850» (США) был изучен химический состав порошка из ягод дикорастущей голубики и составлен его антиоксидантный потенциал, который включал не только фенольные соединения, но и тритерпеноиды (олеаноловая и урсоловая кислоты), фитостеролы. Оптимизацию порошка из ягод дикорастущей голубики в рецептуре хлебобулочных изделий проводили методом пробной лабораторной выпечки. Используемый порошок из ягод голубики способствовал интенсификации микробиологических процессов при созревании теста, сокращая его созревание до 30 мин в зависимости от количества порошка в рецептуре. Для формирования оптимальных органолептических показателей хлебобулочных изделий из пшеничной муки высшего сорта количество порошка голубики должно составлять 3 %. Ограничение использования порошка связано с излишне сильным окрашиванием мякиша в синий цвет и ухудшением состояния мякиша. Определение антиоксидантной активности гидрофильной фракции порошка и хлебобулочных изделий (корки и мякиша) традиционных (контроль) и обогащенных проводили хемилюминесцентным методом с использованием биохемилюминометра БХЛ-06М (Нижний Новгород, Россия). Экстрагирование антиоксидантов осуществляли дистиллированной водой с последующим центрифугированием в течение 10 минут и получали гидрофильную фракцию. Установлено, что гидрофильная фракция мякиша разработанных обогащенных хлебобулочных изделий обладает антиоксидантной активностью, которая превышает в 1,3 раза антиоксидантную активность гидрофильной фракции корки традиционных хлебобулочных изделий. Антиоксидантная активность гидрофильной фракции корки разработанных хлебобулочных изделий на 20 % выше, чем мякиша, а традиционных наоборот – гидрофильная фракция корки имеет меньшую антиоксидантную активность по сравнению с мякишем.

Ключевые слова: хлебобулочные изделия, голубика, антиоксидантные свойства, антиоксидантная активность.

Одним из направлений разработок в области здорового питания является создание пищевых продуктов с антиоксидантными свойствами. Оказание профилактического эффекта природными антиоксидантами возможно только при регулярном их потреблении вместе с пищевыми продуктами, поэтому обогащать необходимо продукты массового спроса, употребляемые ежедневно, например, хлебобулочные изделия.

Антиоксидантами называют вещества, способные при химическом взаимодействии тормозить развитие процессов свободно радикального окисления. Любая стрессорная ситуация в организме человека сопровождается резким возрастанием активных форм кислорода, активизирует антиоксидантную систему и запускает действие регуляторных меха-

низмов. После исчерпания возможностей всех защитных механизмов начинает развиваться окислительный стресс, приводящий к развитию различных заболеваний [1, 2]. Эндогенный синтез антиоксидантов в организме напрямую зависит от их поступления с пищей. Пополнение запасов антиоксидантов извне с помощью пищевых продуктов, обладающих антиоксидантными свойствами, может свести окислительный стресс к минимуму, значительно снизить степень его проявления или даже предотвратить «поломки» в организме, которые происходят в результате отрицательного действия свободных радикалов.

Пищевые продукты с антиоксидантными свойствами можно разделить на две группы: 1) пищевые продукты, в которых вещества-антиоксиданты присутствуют изначально и

Управление качеством биопродукции

оказывают антиоксидатный эффект при включении их в рацион питания (фрукты и овощи, шоколад с натуральными какао-продуктами, красное вино, чай, кофе, масло из рисовых отрубей и др.); 2) обогащенные пищевые продукты, в рецептуру которых специально вносят обогащающие добавки из природного сырья, содержащие вещества-антиоксиданты [3]. Вещества-антиоксиданты должны быть природного происхождения, желательнее не в виде выделенных чистых веществ – биологически активных добавок к пище, а в виде обогащающих добавок из природного сырья, в которых синергизм различных антиоксидантов повышает их антиоксидатные свойства.

Антиоксиданты, содержащиеся в пищевых продуктах, можно разделить на жирорастворимые, а по принципам действия – прямого и непрямого (табл. 1). Выбор растительного сырья для обогащения антиоксидантами хлебобулочных изделий может быть обусловлен двумя факторами: классификационными признаками и влиянием на органолептические свойства нового продукта.

По данным международного общества по антиоксидантам International Society of Antioxidant in Nutritional and Health (ISANH), одними из самых эффективных антиоксидантов считаются природные полифенолы. Число известных полифенолов, антиоксидантные свойства которых уже доказаны, превышает 20 000. В значительных количествах они встречаются во всех живых растительных организмах, составляя 1–2 % биомассы и более и выполняя разнообразные биологические функции. Наибольшим разнообразием химических свойств и биологической активности отличаются фенольные соединения с двумя и более гидроксильными группами в бензольном ядре. Эти классы фенольных соединений в физиологических условиях образуют буферную окислительно-восстановительную

систему. Антиоксидантные свойства полифенолов связаны с наличием в их структуре слабых фенольных гидроксильных групп, которые легко отдают свой атом водорода при взаимодействии со свободными радикалами. В этом случае они выступают в роли «ловушек» свободных радикалов, сами при этом превращаются в малоактивные феноксильные радикалы [1, 4].

Ягоды голубики содержат значительное количество биологически активных веществ, в том числе обладающих антиоксидантными свойствами (антоцианы, фенольные кислоты, витамин С). Причем количество веществ-антиоксидантов в дикорастущей голубике может превышать в 10–100 раз по сравнению с культурными сортами [5–7]. Многочисленными исследованиями, проведенными учеными США и Канады, доказано, что ягоды свежей голубики благодаря антиоксидантным свойствам замедляют старение и способствуют процессу омоложения организма. В ягодах голубики, как и в чернике и клюкве содержится биологически активное вещество – резвератрол, которое подавляет распространение опухолевых клеток и запускает их апоптоз (запрограммированную смерть). Резвератрол обладает также противовоспалительными и антиоксидантными свойствами. Бактерицидными свойствами обладают биофлавоноиды голубики – улигинозин, эпикатехин, эпигаллокатехин и урсоловая кислота [7, 8].

Цель работы – разработка хлебобулочных изделий с антиоксидантными свойствами за счет обогащения порошком из ягод голубики. Изучение химического состава порошка из ягод дикорастущей голубики проводили с помощью газо-жидкостной хроматографии с масс-спектрометрией (ГЖХ МС) на хроматографе «Agilent 6850» (США). Оптимизацию количества порошка из ягод голубики в рецептуре хлебобулочных изделий проводили методом пробной лабораторной выпечки. Оп-

Таблица 1

Классификация антиоксидантов пищевых продуктов

Признак	Группа	Вещества
ПО РАСТВОРИМОСТИ	Жирорастворимые	Витамин Е, β-каротин, γ-оризанол
	Водорастворимые	Витамин С, полифенолы, минеральные вещества (цинк, селен, марганец, цинк), аминокислоты
ПО ПРИНЦИПУ ДЕЙСТВИЯ	Прямого действия (истинные)	Витамин Е, β-каротин, γ-оризанол, полифенолы
	Непрямого действия	Витамин С, минеральные вещества (цинк, селен, марганец, цинк), серусодержащие аминокислоты

ределение антиоксидантной активности хлебобулочных изделий традиционных (контроль) и обогащенных проводили хемилюминесцентным методом с использованием биохемилюминометра БХЛ-06М (Нижний Новгород, Россия) [9].

Было установлено высокое содержание в порошке из ягод голубики сахаров: трисахариды (раффиноза и глицероза), дисахариды (сахароза, рутиноза) и моносахариды (гексозы и пентозы). Больше всего содержалось гексоз (19341,82 мг/100 г), среди них преобладали α -глюкоза (4624,87 мг/100 г), β -глюкоза (3372,91 мг/100 г), α -фруктоза (5254,09 мг/100 г) и β -фруктоза (3836,22 мг/100 г). Из органических кислот преобладали яблочная (1454,30 мг/100 г) и хинная (1271,57 мг/100 г). К веществам, обнаруженным в порошке из ягод голубики и придающим ему антиоксидантные свойства, можно отнести простые фенолы (пирокатехин и гидрохинон), фенолокислоты – в наибольшем количестве р-кумаровая и хлорогеновая, тритерпеноиды (олеаноловая и урсоловая кислоты), а также в незначительном количестве β -ситостерол (табл. 2). Использование данного метода не позволило определить антоцианы – основные вещества-антиоксиданты голубики. Но ранее проведенными исследованиями [10] установлено содержание антоцианов в количестве 287,9 мг/100 г. В результате полученных экспериментальных данных был сформирован антиоксидантный

потенциал порошка из ягод дикорастущей голубики (см. табл. 2).

Для установления оптимального количества порошка из ягод голубики в рецептуре хлебобулочных изделий из пшеничной муки высшего сорта был использован метод пробной лабораторной выпечки. Количество порошка из ягод голубики варьировали от 1 до 5 % с шагом 1 %. Все исследуемые образцы готовились безопасным способом. Экспериментально было установлено, что порошок из ягод голубики способствует интенсификации микробиологических процессов при созревании теста, что сокращает его созревание до 30 мин в зависимости от количества порошка в рецептуре. Но при введении порошка из ягод голубики в пшеничное тесто происходило изменение органолептических показателей, прежде всего цвета готовых изделий. Окраска корок изменялась от золотисто-коричневой в изделиях с 1 % порошка до коричневой и даже с небольшими вкраплениями порошка голубики в изделиях с 5 % порошка, цвет мякиша – от светло-серого до темно-коричневого с фиолетовым оттенком. Но вкус голубики в хлебобулочных изделиях начинал ощущаться только при введении 2 % порошка, а при дальнейшем увеличении его дозировки появлялась резко выраженная кислинка. При введении 4 % порошка из голубики мякиш изделий начинал терять свою эластичность и становился слегка резиновым, а пористость хотя и была равномерной, но становилась толсто-

Таблица 2

Антиоксидантный потенциал порошка из ягод голубики, мг/100 г

Вещество	Кол-во	Вещество	Кол-во
Простые фенолы		Флавоноиды	
Пирокатехин	20,05	Катехин	12,9
Гидрохинон	19,24	Галлокатехин	2,90
Фенольные кислоты		Эпикатехин	3,83
<i>Гидрооксibenзойные</i>		Изорамнетин (3-метилквертицин)	7,60
4-гидроксибензойная	10,42	Кверцитин	5,19
Протокатеховая	7,19	Антоцианы	287,9
Галловая	26,90	Аскорбиновая кислота	87
Салициловая	2,45	Тритерпеноиды	
<i>Гидрооксикоричные</i>		Олеаноловая кислота	802,80
р-кумаровая	151,95	Урсоловая кислота	3307,7
Хлорогеновая	192,70	α -амирин	73,70
Криптохлорогеновая	2,50	Фитостерины	
Неохлорогеновая	5,57	β -ситостерол	48,11
Феруловая	1,37	Изофукостерол	3,47

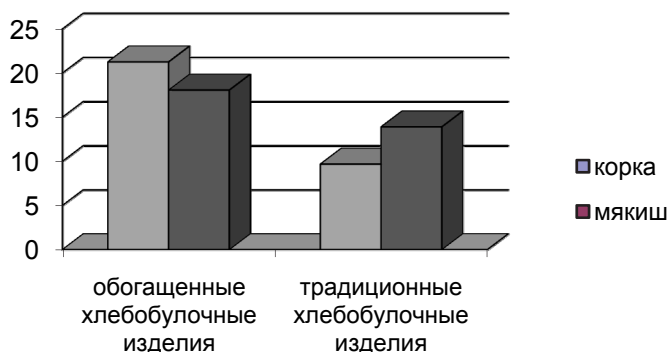
Управление качеством биопродукции

стенной. Порошок из ягод голубики оказал влияние и на физико-химические показатели качества хлебобулочных изделий, особенно на пористость и удельный объем. При введении до 3 % порошка эти показатели постепенно увеличивались, а при его дозировке 4 и 5 % начинали снижаться. Особенно эти изменения были выражены при определении удельного объема. Кислотность хлебобулочных изделий повышалась незначительно. Таким образом, для производства хлебобулочных изделий из пшеничной муки наиболее оптимальным является введение порошка из ягод голубики в количестве 3 % при условии использования в рецептуре 4 % растительного (подсолнечного) масла. Повышение количества порошка в рецептуре хлеба за счет укрепляющего действия витамина С приводит к снижению удельного объема и ухудшению органолептических показателей – цвета (появление выраженного синего оттенка) и вкуса (выраженная кислинка). Использование в рецептуре сахара (5 %) и растительного масла (4 %) разжижает тесто за счет расслабления клейковины. Сочетание сладкого вкуса сахара и кислого порошка из ягод голубики приводит к формированию гармоничных органолептических показателей хлебобулочных изделий.

Определение антиоксидантных свойств хлебобулочных изделий можно проводить расчетным путем с учетом антиоксидантного потенциала используемого для обогащения порошка из ягод голубики [11] или использовать различные методы определения антиоксидантных свойств [4]. Ягоды голубики содержат в большей степени водорастворимые антиоксиданты и поэтому должны обогатить ими хлебобулочные изделия, если не произойдет разрушение в процессе темпера-

турного воздействия при выпечке. В работе был использован хемилюминесцентный способ, как наиболее распространенный в определении антиоксидантной активности сыворотки крови лабораторных животных или в клинических исследованиях сыворотки крови человека. Антиоксидантную активность определяли в корке и мякише хлебобулочных изделий, обогащенных порошком из ягод голубики, контролем служили традиционные хлебобулочные изделия, содержащие 4 % подсолнечного масла и 5 % сахара. Экстрагирование антиоксидантов осуществляли дистиллированной водой с последующим центрифугированием в течение 10 минут. Результаты определения антиоксидантной активности хлебобулочных изделий представлены на рисунке.

Порошок из ягод голубики содержит 14,47 мг/мл (в пересчете на витамин С) на 1 г порошка водорастворимых антиоксидантов, что больше в 1,5 раза, чем в мякише контрольных изделий. Использование порошка из ягод голубики в рецептуре хлебобулочных изделий в количестве 3 % привело к повышению их антиоксидантной активности по сравнению с традиционными хлебобулочными изделиями из пшеничной муки высшего сорта. Однако в обогащенных хлебобулочных изделиях большей антиоксидантной активностью обладает корка, а в контрольных изделиях традиционной рецептуры – мякиш. Так, в корке обогащенных хлебобулочных изделий содержится больше водорастворимых антиоксидантов, чем в мякише на 17,64 %, а в корке контрольных изделий – меньше на 30 %. Фактически мякиш обогащенных хлебобулочных изделий обладает в 1,25 раза большей антиоксидантной активностью, чем используемый



Антиоксидантная активность 1 г хлебобулочных изделий из пшеничной муки высшего сорта, мг/мл (в пересчете на витамин С)

для обогащения порошок. Незначительное увеличение антиоксидантной активности разработанных хлебобулочных изделий связано с невозможностью использования в рецептуре больших количеств порошка из ягод голубики из-за негативного влияния на формирование органолептических свойств.

Таким образом, проведенные экспериментальные исследования позволили сформулировать следующие выводы:

– порошок из ягод голубики обладает антиоксидантным потенциалом не только за счет антоцианов, фенолокислот, но и три-терпеноидов – олеаноловой и урсоловой кислот;

– для разработки обогащенных хлебобулочных изделий можно использовать не более 3 % порошка из ягод голубики, чтобы не ухудшить их органолептические свойства;

– разработанные хлебобулочные изделия обладают антиоксидантной активностью, причем содержание водорастворимых антиоксидантов в корке больше, чем в мякише.

Литература

1. Окуневич, И.В. Антиоксиданты: эффективность природных и синтетических соединений в комплексной терапии сердечно-сосудистых заболеваний / И.В. Окуневич, Н.С. Сапронов // *Обзоры по клинической фармакологии и лекарственной терапии*. – 2004. – № 3, т. 3. – С. 2–17.
2. Свободнорадикальное окисление / Ф.Е. Путилина, О.В. Галкина, Н.Д. Ещенко и др. – СПб.: Изд-во Санкт-Петербургского ун-та, 2008. – 161 с.
3. Нилова, Л.П. Природные антиоксиданты как ингредиенты функциональных хлебобулочных изделий / Л.П. Нилова // *Инновационные технологии в области пищевых продуктов и продукции общественного питания функционального и специализированного назначения: коллективная монография*. – СПб.: Изд-во «ЛЕМА», 2012. – С. 75–91.
4. Природные антиоксиданты. Содержание в пищевых продуктах и их влияние на здоровье и старение человека / Я.И. Яшин, В.Ю. Рыжнев, А.Я. Яшин, Н.И. Черноусова. – М.: ТрансЛит, 2009. – 192 с.
5. Взаимосвязь компонентов биохимического состава плодов интродуцентов сем. Ericaceae в многолетнем цикле наблюдений в условиях Беларуси / Ж.А. Русапова, В.Н. Решетников, Т.И. Василевская и др. // *Плодоводство*. – 2011. – Том 23. – С. 258–276.
6. Бибик, И.В. Исследование факторов, оказывающих влияние на процесс экстрагирования полифенольных соединений из плодово-ягодного сырья / И.В. Бибик, Е.В. Лоскутова // *В мире научных открытий*. – 2013. – № 11.2(47). – С. 65–76.
7. Molan, A.L. Blueberries: Genotype-dependent variation in antioxidant, free-radical scavenging, and prebiotic activities / A.L. Molan, M.A. Lila, G. Ravindran // *Current Research, Technology and Education Topics in Applied Microbiology and Microbial Biotechnology: Formatex*, 2010. – P. 427–434.
8. Lila, M.A. Anthocyanins and human: An in vitro investigative approach / M.A. Lila // *Biomed Biotechnol*, 2004. – № 5. – P. 306–313.
9. Практикум по свободнорадикальному окислению: учебно-метод. пособие / Ф.Е. Путилина, О.В. Галкина, Н.Д. Ещенко и др. – СПб.: Изд-во Санкт-Петербургского ун-та, 2006. – 108 с.
10. Фокина, В.Н. Формирование потребительских свойств и повышение сохранности хлебобулочных изделий, обогащенных порошком из ягод голубики / В.Н. Фокина, Л.Н. Зонова, Л.П. Нилова // *Качество и безопасность продукции в рамках государственной политики в области здорового питания населения: коллективная монография*. – СПб.: Изд-во «ЛЕМА», 2012. – С. 142–161.
11. Нилова, Л.П. О проблемах идентификации пищевых продуктов с антиоксидантными свойствами / Л.П. Нилова, Т.В. Пилипенко, Н.В. Науменко // *Торгово-экономические проблемы регионального бизнес пространства: материалы XI международной научно-практической конференции, Челябинск, 22–24 апреля 2013*. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2013. – С. 272–275.

Нилова Людмила Павловна. Кандидат технических наук, доцент, зав. кафедрой экспертизы потребительских товаров, Санкт-Петербургский государственный торгово-экономический университет, nilova_l_p@mail.ru

Поступила в редакцию 9 ноября 2014 г.

**Bulletin of the South Ural State University
Series "Food and Biotechnology"
2014, vol. 2, no. 4, pp. 57–63**

ANTIOXIDANT POWER OF BAKERY PRODUCTS ENRICHED WITH WILD BLUEBERRY POWDER

L.P. Nilova, Saint-Petersburg State University of Trade and Economics, St. Petersburg, Russian Federation

Bakery products with antioxidant properties are produced with the use of wild blueberry powder from the north-west of Russia. The chemical composition of powder from berries of wild-growing blueberry is studied with the help of gas-liquid chromatography with mass spectrometry on the Agilent 6850 chromatograph (USA) and its antioxidant potential including phenolic connections, triterpenoids (oleanolic and ursolic acids), phytosterin is made. Optimization of wild blueberry powder in a structure of bakery products is performed by method of trial laboratory pastries. Blueberry powder used intensifies microbiological processes at dough maturing, reducing its maturing till 30 minutes depending on the amount of powder in a recipe. The amount of blueberry powder in bakery products is 3% to form optimal organoleptic parameters of bakery products made of fancy white wheat flour. The use of powder is limited to excessively strong coloring of a crumb in a blue color and deterioration of a crumb condition. Determination of antioxidant power of hydrophilic fraction of powder and bakery products (a crust and a crumb) traditional and enriched ones (control) is carried out by a chemiluminescence method with use of a biochemiluminometer of BHL-06M (Nizhny Novgorod, Russia). Extraction of antioxidants is carried out with distilled water with the subsequent centrifugation within 10 minutes and hydrophilic fraction is obtained. The hydrophilic fraction of a crumb of the developed enriched bakery products possesses antioxidant power which exceeds antioxidant power of hydrophilic fraction of a crust of traditional bakery products by 1,3. Antioxidant power of hydrophilic fraction of a crust of the developed bakery products is 20% higher, than a crumb, and as for traditional ones the hydrophilic fraction of a crust has smaller antioxidant power in comparison with a crumb...

Keywords: bakery products, blueberry, antioxidant properties, antioxidant power.

References

1. Okunevich I.V., Saprnov N.S. [Antioxidants: Efficiency of Natural and Synthetic Compounds in the Integrated Therapy of Cardiovascular Diseases]. *Obzory po klinicheskoy farmakologii i lekarstvennoy terapii* [Reviews of Clinical Pharmacology and Drug Therapy]. 2004, no. 3, vol. 3, pp. 2–17. (in Russ.)
2. Putilina F.E., Galkina O.V., Eshchenko N.D., Dizhe G.P., Krasovskaya I.E. *Svobodnoradikal'noe okislenie* [Free-Radical Oxidizing]. St. Petersburg, 2008, 161 p.
3. Nilova L.P. [Natural Antioxidants as Ingredients of Functional Bakery Products]. *Innovatsionnye tekhnologii v oblasti pishchevykh produktov i produkcii obshchestvennogo pitaniya funktsional'nogo i spetsializirovannogo naznacheniya: Kollektivnaya monografiya* [Innovation Technologies in the Sphere of Food Products and Public Catering of a Functional and Specific Purpose: Multi-Author Monograph]. St. Petersburg, LEMA Publ., 2012, pp. 75–91. (in Russ.)

4. Yashin Ya.I., Ryzhnev V.Yu., Yashin A.Ya., Chernousova N.I. *Prirodnye antioksidanty. So-derzhanie v pishchevykh produktakh i ikh vliyanie na zdorov'e i starenie cheloveka* [Natural Antioxi-dants. Concentration in Food Products and their Influence on Health and Aging of a Man]. Moscow, TransLit Publ., 2009. 192 p.

5. Rusapova Zh.A., Reshetnikov V.N., Vasilevskaya T.I., Yakovlev A.P., Pavlovskiy I.B., Pin-chukova Yu.M. [Correlation Between the Components of Biochemical Content of Alien Fruit of Eri-caceae in a Long-Term Period of Analysis in Belarus]. *Plodovodstvo* [Horticulture]. 2011, vol. 23, pp. 258–276. (in Russ.)

6. Bibik I.V., Loskutova E.V. [Analysis of the Factors Effecting the Process of Extraction of Polyphenol Compounds from Fruit Raw Material]. *V mire nauchnykh otkrytiy* [In the World of Scientific Discovery]. 2013, no. 11.2(47), pp. 65–76. (in Russ.)

7. Molan A.L., Lila M.A., Ravindran G. *Current Research, Technology and Educatuion Topics in Applied Microbiology and Microbial Biotechnology: Formatex*. 2010, pp. 427–434.

8. Lila M.A. *Biomed Biotechnol.* 2004, no. 5, pp. 306–313.

9. Putilina F.E., Galkina O.V., Eshchenko N.D., Dizhe G.P., Krasovskaya I.E., Prokopenko V.M. *Praktikum po svobodnoradikal'nomu okisleniyu* [Workshop on Free-Radical Oxidizing]. St. Petersburg, 2006. 108 p.

10. Fokina V.N., Zonova L.N., Nilova L.P. [Formation of Consumer Properties and Increase of Bakery Products Storage Enriched with Blueberry Powder]. *Kachestvo i bezopasnost' produktsii v ramkakh gosudarstvennoy politiki v oblasti zdorovogo pitaniya naseleniya: Kollektivnaya monografiya* [Quality and Safety of Products within National Policy in the Field of Healthy Diet of the Population: Multi-Author Monograph]. St. Petersburg, LEMA Publ., 2012, pp. 142–161. (in Russ.)

11. Nilova L.P., Pilipenko T.V., Naumenko N.V. [Problems of Identification of Food Products with Antioxidant Properties]. *Torgovo-ekonomicheskie problemy regional'nogo biznes prostranstva: materialy XI mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Trade and Economic Problems of the Regional Business Space: Proceedings of XI International Science Conference, Chelyabinsk, April 22–24, 2013]. Chelyabinsk: South Ural St. Univ. Publ., 2013, pp. 272–275. (in Russ.)

Nilova Lyudmila Pavlovna, Candidate of Science (Engineering), associate professor, head of the Department of Examination of Consumer Goods, Saint-Petersburg State University of Trade and Economics, nilova_l_p@mail.ru

Received 9 November 2014