

Literatura

1. *Lipshin A.G.* Sibirskij genofond jachmenja i ego ispol'zovanie dlja selekcii v Vostochnoj Sibiri: avtoref. dis. ...kand. s.-h. nauk: 06.01.05. – Krasnojarsk, 2016. – 19 s.
2. *Isachkova O.A., Ganichev B.L.* Istochniki hozjajstvenno-cennyh priznakov i ih kompleksa dlja selekcii golozernogo ovsa v Zapadnoj Sibiri // *Mezhdunar. nauch.-issled. zhurn.* – 2013. – № 4-1 (11). – S. 127–131.
3. *Svirikova S.V., Starcev A.A., Zaushinceva A.V.* Bolezni ovsa v Zapadnoj Sibiri i geneticheskie istochniki ustojchivosti // *Izv. Timirjaz. s.-h. akad.* – 2016. – № 1. – S. 108–115.
4. *Vospriimchivost' rastenij ovsa k koronchatoj rzhavchine i geneticheskie istochniki ustojchivosti / S.V. Svirikova, A.A. Starcev, A.V. Zaushincena [i dr.] // Uspehi sovremennogo estestvoznanija.* – 2016. – № 12-1. – S. 99–104.
5. *Ganichev B.L., Isachkova O.A., Loskutov I.G.* The high quality naked oat cultivars for functional food // *The 10th International Oat Conference: Innovation for Food and Health Abstracts of oral and poster presentation. "OATS 2016"* Federal Research Center the N.I.Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR). – 2016. – P. 117–118.
6. *Svirikova S.V., Zaushintsena A.V., Startsev A.A.* Genetic sources of disease resistance in oats // *The 10th International Oat Conference: Innovation for Food and Health Abstracts of oral and poster presentation. "OATS 2016"* Federal Research Center the N.I.Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR). – 2016. – P. 158–159.
7. *Loskutov I.G., Kovaleva O.N., Blinova E.V.* Metodicheskie ukazaniya po izucheniju i sohraneniju mirovoj kollekcii jachmenja i ovsa. – SPb., 2012. – 63 s.
8. *Sozdanie vysokoproduktivnyh sortov jachmenja Vostochno-Sibirskoj selekcii v uslovijah global'nogo izmenenija klimata / N.A. Surin, N.E. Ljahova, S.A. Gerasimov [i dr.] // Dostizhenija nauki i tehniki APK.* – 2014. – № 6. – S. 3–6.
9. *Lamazhap R.R., Lipshin A.G.* Vlijanie klimaticheskikh uslovij na urozhajnost' jarovogo jachmenja v Respublike Tyva // *Vestnik KrasGAU.* – 2016. – № 12 (123). – S. 13–19.

УДК 633.14: 631.52

*В.И. Полонский, А.В. Сумина,
Т.М. Шалдаева*

**СУММАРНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ПРИРОДНЫХ АНТИОКСИДАНТОВ В ЗЕРНЕ ЯЧМЕНЯ
В РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ ВЫРАЩИВАНИЯ***

*V.I. Polonsky, A.V. Sumina,
T.M. Shaldaeva*

**TOTAL CONTENT OF NATURAL ANTIOXIDANTS IN BARLEY GRAIN UNDER DIFFERENT
GROWING CONDITIONS**

Полонский В.И. – д-р биол. наук, проф. каф. ландшафтной архитектуры, ботаники, агроэкологии Красноярского государственного аграрного университета, г. Красноярск. E-mail: vadim.polonskiy@mail.ru

Polonsky V.I. – Dr. Biol. Sci., Prof., Head, Chair of Botany, Physiology and Plants Protection, Krasnoyarsk State Agricultural University, Krasnoyarsk. E-mail: vadim.polonskiy@mail.ru

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ и Министерства образования Республики Хакасия (грант №6-44-190763).

Сумина А.В. – канд. с.-х. наук, доц. каф. географии и геоэкологии Хакасского государственного университета им. Н.Ф. Катанова, г. Абакан. E-mail: vadim.polonskiy@mail.ru

Шалдаева Т.М. – канд. биол. наук, мл. науч. сотр. лаб. фитохимии Центрального сибирского ботанического сада СО РАН, г. Новосибирск. E-mail: vadim.polonskiy@mail.ru

Sumina A.V. – Cand. Agr. Sci., Assoc. Prof., Chair of Geography and Geoecology, Khakass State University named after N.F. Katanov, Abakan. E-mail: vadim.polonskiy@mail.ru

Shaldaeva T.M. – Cand. Biol. Sci., Junior Staff Scientist, Lab. of Phytochemistry, Central Siberian Botanical Garden, SB RAS, Novosibirsk. E-mail: vadim.polonskiy@mail.ru

Целью работы является анализ зависимости суммарного содержания природных антиоксидантов (ССА) в зерне сибирских сортов ячменя от генотипа и условий выращивания. Пять образцов ярового пленчатого и голозерного ячменя выращивали в течение 2015 и 2016 годов в трех разных географических пунктах: Краснотуранском, Бейском и Ширинском ГСУ. Для определения ССА в зерне производили экстрагирование проб двумя элюентами – горячей бидистиллированной водой или 70%-м этиловым спиртом. Измерение ССА в пробах выполняли с помощью прибора «Цвет Яуза-01-АА». В качестве образца сравнения использовали галловую кислоту. Используемые методы экстракции с помощью воды и спирта показали очень близкие результаты. Усредненное значение коэффициента корреляции между ССА, измеренным после экстракции водой и после экстракции спиртом, составило $0,974 \pm 0,060$. Максимальные уровни ССА в зерне были отмечены у ячменя, выращиваемого в Бейском, а минимальные – в Краснотуранском ГСУ. Различия ССА в зерне по годам выращивания ячменя имели неоднозначный характер. Зарегистрирована тенденция возрастания ССА в зерне ячменя при понижении величины ГТК в августе. Предполагается, что более аридные условия выращивания ячменя способствовали накоплению антиоксидантов в зерне. Максимальные уровни ССА в зерне ячменя были зарегистрированы у сорта Красноярский 91, а минимальные – у образца Биом. При смене географического места выращивания ячменя происходило изменение ССА в зерне, что приводило к нарушению ранжирования сортов по ССА.

Ключевые слова: зерно, ячмень, антиоксиданты, элюент, бидистиллированная вода, спирт, Красноярский край, Республика Хакасия.

The aim of the work was to analyze the dependence of the total content of natural antioxidants (TCA) in the grain of Siberian barley varieties on genotype and growing conditions. Five varieties of spring filmy and hull-less barley grown during 2015 and 2016, in three different geographical locations: Krasnoturansky, Beysky and Shirinsky state selection stations (SSS) were investigated. To determine TCA in the grain the samples were extracted with two eluents – hot bidistilled water or 70 % ethyl alcohol. TCA measurement in the samples was performed with the help of Yauza-01-AA color apparatus. Gallic acid was used as a reference. The extraction methods used with water and alcohol showed similar results. Average value of the correlation coefficient between TCA, measured after extraction with water and after extraction with alcohol, was $0,974 \pm 0,060$. The maximum levels of TCA in the grain were noted in the barley grown in Beisk, and the minimum in Krasnoturansky GBS. The differences in TCA in grain over the years of barley cultivation were ambiguous. The tendency of the increase in TCA in barley grain was registered with the decrease in HTC value in August. It is supposed that more arid conditions for growing of barley contributed to the accumulation of antioxidants in grain. Maximum levels of TCA in grain of barley were registered in grade Krasnoyarsk 91, and minimum in the sample of Biome. When geographical location of barley growing was changed TCA in the grain changed, it led to the violation of ranking of varieties according to TCA.

Keywords: grain, barley, variety, antioxidants, eluent, bidistilled water, ethyl alcohol, Krasnoyarsk Region, the Republic of Khakassia.

Введение. Согласно Доктрине продовольственной безопасности Российской Федерации, в ближайшей перспективе предполагается рас-

ширение ассортимента продуктов здорового питания населения страны, поэтому необходим поиск соответствующих пищевых источников. К веществам, способствующим профилактике ряда серьезных заболеваний человека, относятся антиоксиданты, а одним из важных параметров качества пищевых продуктов и ингредиентов выступает их антиоксидантная активность [7]. Найдено, что по сравнению с эквивалентной порцией мягких фруктов или широко употребляемых в пищу овощей цельное зерно злаков обеспечивает более высокое количество связанных полифенолов, являющихся антиоксидантами. Последние доступны для обмена веществ в толстой кишке и могут обеспечивать тем самым положительное влияние на здоровье человека [5]. Кроме того, на примере 30 различных коммерческих зерновых завтраков было показано, что содержащиеся в средней порции хлопьев (40 г), приготовленных на овсяной основе, уровни полифенолов сопоставимы с такими из овощей и фруктов [6]. Следует отметить, что, хотя зерновые культуры считаются одним из основных компонентов питания чело-

века, исследований в области определения их антиоксидантной активности проведено недостаточно. В России сегодня лишь небольшое количество работ посвящено исследованию этих важных химических соединений в зерне овса и ячменя [1–4]. При этом данных по содержанию антиоксидантов в зерне ячменя сибирской селекции и влиянию на него внешних факторов в литературе нам встретить не удалось.

Цель работы. Анализ зависимости суммарного содержания антиоксидантов в зерне сибирских сортов ячменя от генотипа и условий выращивания.

Объект и методы. В качестве объекта исследования использовали пять образцов ярового пленчатого и голозерного ячменя (*Hordeum vulgare* L.) (табл.1). Растения были выращены в 2015–2016 годах по паровому предшественнику на Бейском (Южно-Минусинская котловина), Ширинском (Чулымо-Енисейская котловина) ГСУ Республики Хакасия и Краснотуранском (Сыдо-Ербинская котловина) ГСУ (Красноярский край). Семенной материал был любезно предоставлен сотрудниками данных учреждений.

Таблица 1

Краткая характеристика изучаемых образцов ячменя

Образец	Разновидность	Тип зерновки	Период созревания	Масса 1000 зерен, г
Ача	Нутанс	Пленчатая	Средний (среднеспелый)	34–56
Биом	Нутанс	Пленчатая	Среднеранний	46–55
Буян	Нутанс	Пленчатая	Поздний (позднеспелый)	43–54
Красноярский 91	Паллидум	Пленчатая	Среднепоздний	45–54
Омский голозерный 1	Нудум	Голозерная	Средний (среднеспелый)	41–50

Метеорологические условия пунктов исследования достоверно различались по обеспеченности осадками и режимам среднесуточных температур. При расчете гидротермического коэффициента (ГТК) Г.Т. Селянинова, равного отношению количества осадков за вегетационный период к сумме температур выше 10 °С, для вегетационного периода 2015 года было

установлено, что значения естественного обеспечения исследуемых участков влагой и теплом практически на всех участках можно считать удовлетворительными (рис. 1). Исключение составляет июнь (фаза всходы – кущение) на двух участках: Ширинском (ГТК=0,75) и Краснотуранском (ГТК=0,68) ГСУ, а также август (ГТК=0,98) на Бейском ГСУ.

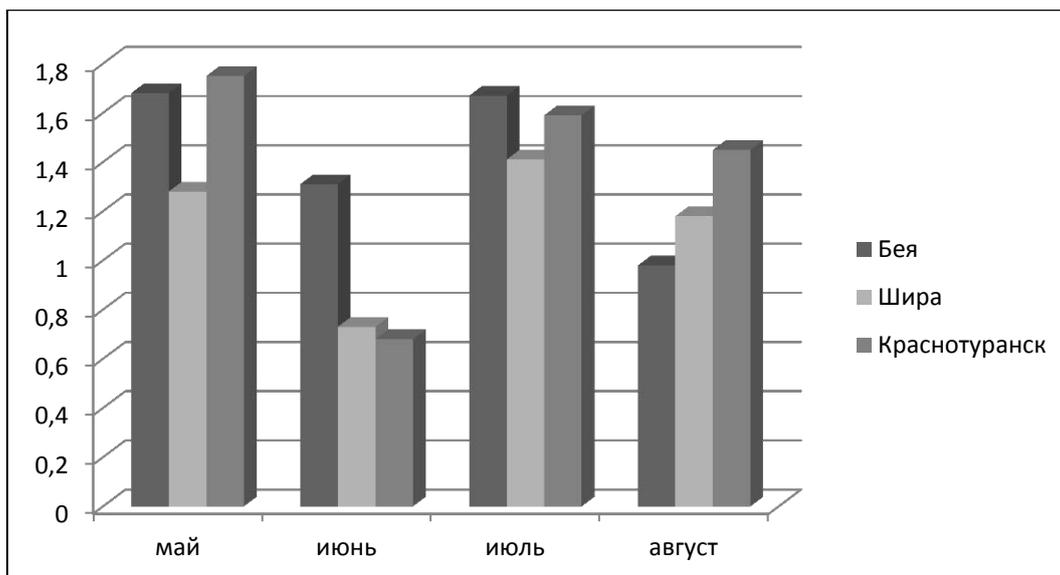


Рис. 1. Расчетные значения ГТК в исследуемых районах за май – август 2015 года

Согласно расчетным значениям гидротермического коэффициента, в 2016 году складывалась менее благоприятная ситуация (рис. 2). Так, в мае недостаточное увлажнение было зарегистрировано на Ширинском ГСУ, где гидро-

термический коэффициент численно соответствовал 0,72. В июле ГТК для всех участков имел невысокие значения (не выше 1), что указывает на недостаточное увлажнение. В августе на Краснотуранском участке ГТК был равен 0,87.

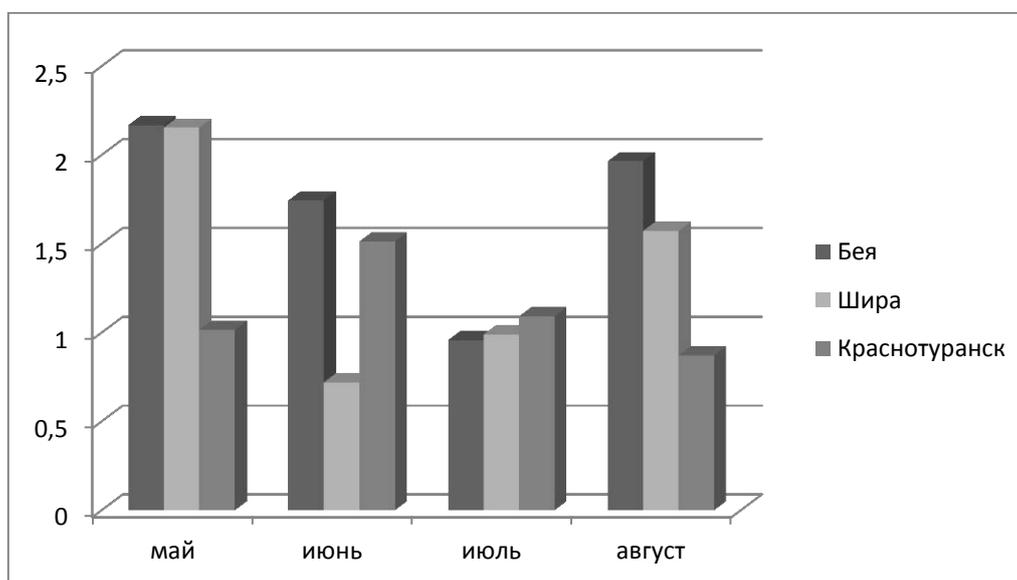


Рис. 2. Расчетные значения ГТК в исследуемых районах за май – август 2016 года

Для определения суммарного содержания антиоксидантов (ССА) в зерне овса производили экстрагирование проб двумя элюентами – горячей бидистиллированной водой или 70%-м этиловым спиртом. Для получения водного

экстракта 1,0 г сырья заливали 50 мл кипящей бидистиллированной воды и настаивали в течение 10 мин без термостатирования, после чего тщательно отфильтровывали через бумажный фильтр «синяя лента». Для получения

водно-спиртового экстракта 1,0 г сырья заливали 50 мл 70%-го спирта и встряхивали на качалке в течение 1 часа, после чего проводили фильтрацию. Определение ССА в пробах овса выполняли с помощью прибора «Цвет Яуза-01-АА» [3–4], измеряя величину электрического тока, возникающего при окислении исследуемого вещества (или смеси веществ) на поверхности рабочего электрода при постоянном потенциале 1,3 В. При этом происходит окисление только –ОН групп природных антиоксидантов фенольного типа. Предварительно изучали зависимость электрического сигнала образца сравнения (галловой кислоты) от его концентрации. С помощью построенной градуировочной кривой сравнивали сигналы от исследуемого экстракта с сигналами галловой кислоты. Время измерения

одного образца составляло 10–15 мин, повторность трехкратная.

Статистическая обработка результатов была выполнена с помощью программы Microsoft Excel 2003.

Результаты исследования и их обсуждение. Используемые два метода экстракции при измерении ССА в зерне ячменя показали практически одинаковые результаты (табл. 2, 3). Усредненное (за годы и места выращивания ячменя) значение коэффициента корреляции между ССА, измеренным после экстракции водой и после экстракции спиртом, составило существенную величину – $0,974 \pm 0,060$. Правда, содержание водорастворимых антиоксидантов в зерне незначительно превышало уровни спирторастворимых антиоксидантов.

Таблица 2

Среднее суммарное содержание водорастворимых антиоксидантов в зерне образцов ячменя в зависимости от географического места выращивания

Образец	Краснотуранск	Бея	Шира	Среднее по пунктам	Амплитуда колебания признака по пунктам	Коэффициент вариации по пунктам, %
Ача	46,2	78,3	58,6	61,0	32,1	26,5
Биом	45,1	52,0	52,2	49,8	7,1	8,1
Буян	51,0	52,4	61,8	55,1	10,8	10,7
Красноярский 91	69,4	72,5	60,4	67,4	12,1	9,3
Омский голозерный 1	59,7	55,9	52,3	56,0	7,4	6,6
Среднее по сортам	54,3	62,2	57,1	57,9	13,9	12,2

Как видно из средних данных за два года, представленных в таблицах 2 и 3, максимальные уровни ССА в зерне были отмечены у ячменя, выращиваемого в Бейском, а минимальные – в Краснотуранском ГСУ. Различия ССА в зерне по годам выращивания ячменя имели неоднозначный характер: в Бейском ГСУ они практически отсутствовали, в Ширинском ГСУ в 2016 году ССА было существенно ниже, чем в 2015 году, а в Краснотуранском – наоборот (табл. 4).

Связаны ли эти различия со сложившимися водно-температурными условиями (ГТК) во время формирования и налива зерна (см. рис. 1, 2)? Четкой зависимости проследить не удалось, но определенная тенденция возрастания ССА в зерне ячменя при понижении величины ГТК в августе была зарегистрирована. Так, усредненное для двух методов экстракции значение коэффициента корреляции между ССА и ГТК составило $-0,239$, при этом в 2015 году наблюдалась сильная связь, $r = -0,756$.

Таблица 3

Среднее суммарное содержание спирторастворимых антиоксидантов в зерне образцов ячменя в зависимости от географического места выращивания

Образец	Краснотуранск	Бея	Шира	Среднее по пунктам	Амплитуда колебания признака по пунктам	Коэффициент вариации по пунктам, %
Ача	42,7	71	56,2	56,6	28,3	25,0
Биом	47,7	49,2	49,6	48,8	1,9	2,1
Буян	48,2	48,6	60,4	52,4	12,2	13,2
Красноярский 91	69	67,2	59,3	65,2	9,7	7,9
Омский голозерный 1	57,8	52,5	48,7	53,0	9,1	8,6
Среднее по сортам	53,1	57,7	54,8	55,2	12,2	11,4

Таблица 4

Суммарное содержание антиоксидантов в зерне 5 образцов ячменя в зависимости от года и географического места выращивания*

Образец	2015 г.			2016 г.		
	Краснотуранск	Бея	Шира	Краснотуранск	Бея	Шира
Ача	40,0/35,2	77,5/72,0	75,1/73,2	52,4/50,2	79,1/70,1	42,2/39,2
Биом	40,7/49,3	51,9/48,4	51,0/48,2	49,5/46,2	52,0/50,0	53,3/51,0
Буян	50,4/46,3	52,4/47,8	72,5/70,9	51,6/50,1	52,3/49,4	51,1/50,0
Красноярский 91	70,1/68,0	70,8/65,2	74,9/70,0	68,8/70,0	74,2/69,1	46,0/48,5
Омский голозерный 1	55,0/48,6	55,4/54,7	53,2/48,0	64,3/67,1	56,4/50,2	51,4/49,4
Среднее по сортам	51,2/49,5	61,6/57,6	65,3/62,1	57,3/56,7	62,8/57,7	48,8/47,6

* числитель – водорастворимые, знаменатель – спирторастворимые.

На основании сказанного можно предположить, что более аридные условия выращивания ячменя способствовали накоплению антиоксидантов в зерне.

Что касается генотипических различий, то в среднем для двух методов экстракции и по пунктам выращивания ячменя ССА в зерне у сорта Красноярский 91 имело максимальное значение и существенно превышало таковое для сорта Биом. Остальные три образца ячменя

продемонстрировали промежуточные и близкие величины ССА в зерне (см. табл. 2, 3).

Выполненный корреляционный анализ показал наличие стабильных сортовых различий в ССА по годам для Краснотуранского и Бейского ГСУ независимо от применяемой методики экстракции антиоксидантов из зерна, когда коэффициенты корреляции имели высокие положительные значения (табл. 5). При этом для Ширинского ГСУ указанная связь была отрицательной.

Коэффициенты корреляции между суммарным содержанием антиоксидантов в зерне у 5 сортов ячменя за 2015 и 2016 годы в зависимости от места выращивания и метода экстракции

Метод экстракции	Красноуранск	Бея	Шира
Вода	0,905	0,997	-0,767
Спирт	0,682	0,952	-0,558

При смене географического места выращивания ячменя происходило изменение ССА в зерне, и независимо от года выращивания и применяемой методики экстракции антиоксидантов из зерна корреляция в большинстве случаев была либо слабой, либо отрицательной (табл. 6). Последнее приводило к изменению ранжирования сортов по ССА. Так, например,

при выращивании ячменя в Красноуранском ГСУ максимальное ССА было характерно для сорта Красноярский 91, при выращивании в Бейском ГСУ – для образца Ача, а в Ширинском ГСУ – для сорта Буян (см. табл. 2, 3). Это позволяет предположить необходимость подбора сорта с максимальным ССА в зерне при возделывании ячменя в каком-либо новом месте.

Коэффициенты корреляции между суммарным содержанием антиоксидантов в зерне у 5 сортов ячменя для разных мест выращивания в зависимости от года выращивания и метода анализа

Метод экстракции	2015 г.			2016 г.		
	Красноуранск–Бея	Бея–Шира	Красноуранск–Шира	Красноуранск–Бея	Бея–Шира	Красноуранск–Шира
Вода	0,138	0,683	0,280	0,334	-0,955	-0,181
Спирт	-0,061	0,555	-0,041	0,274	-0,735	0,158

Выводы. Таким образом, используемые методы экстракции с помощью воды и этилового спирта показали близкие результаты при измерении ССА в зерне образцов ячменя. Максимальные уровни ССА в зерне были отмечены у ячменя, выращиваемого в Бейском, а минимальные – в Красноуранском ГСУ. Различия ССА в зерне по годам выращивания ячменя имели неоднозначный характер. В работе была зарегистрирована тенденция возрастания ССА в зерне ячменя при понижении величины ГТК в августе (значение коэффициента корреляции между ССА и ГТК составило -0,239, при этом в 2015 году наблюдалась сильная связь, $r = -0,756$). Последнее позволяет предположить, что более аридные условия выращивания ячменя способствуют накоплению антиоксидантов в зерне. Максимальные уровни ССА в зерне ячменя были зарегистрированы у сорта Красно-

ярский 91, а минимальные – у образца Биом. При смене географического места выращивания ячменя происходило изменение ССА в зерне, что приводило к нарушению ранжирования сортов по ССА.

Литература

1. Полонский В.И., Сумина А.В., Шалдаева Т.М. Оценка содержания антиоксидантов в зерне ячменя и овса на основе его физических показателей // Вестник КрасГАУ. – 2016. – № 8. – С. 59–64.
2. Полонский В.И., Сумина А.В., Шалдаева Т.М. Зависимость суммарного содержания антиоксидантов в зерне ячменя и овса сибирской селекции от условий выращивания // Вестник КрасГАУ. – 2016. – № 9. – С. 72–81.

3. Федина П.А., Яшин А.Я., Черноусова Н.И. Определение антиоксидантов в продуктах растительного происхождения амперометрическим методом // Химия растительного сырья. – 2010. – № 2. – С. 91–97.
4. Яшин А.Я., Яшин Я.Н., Федина П.А. [и др.]. Определение природных антиоксидантов в пищевых злаках и бобовых культурах // Аналитика. – 2012. – № 1. – С. 32–36.
5. Neacsu M., McMonagle J., Fletcher R.J. [et al.]. Bound phytophenols from ready-to-eat cereals: Comparison with other plant-based foods // Food Chemistry. – 2013. – V. 141. – № 3. – P. 2880–2886.
6. Ryan L., Thondre P.S., Henry C.J.K. Oat-based breakfast cereals are a rich source of polyphenols and high in antioxidant potential // Journal of Food Composition and Analysis. – 2011. – V. 24. – № 7. – P. 929–934.
7. Tufan A.N., Çelik S.E., Özyürek M. [et al.]. Direct measurement of total antioxidant capacity of cereals: QUENCHER-CUPRAC method // Talanta. – 2013. – V. 108. – № 4. – P. 136–142. – URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.talanta.2013.02.061>.
2. Polonskij V.I., Sumina A.V., Shaldaeva T.M. Zavisimost' summarnogo soderzhanija antioksidantov v zerne jachmenja i ovsa sibirskoj selekcii ot uslovij vyrashhivaniya // Vestnik KrasGAU. – 2016. – № 9. – S. 72–81.
3. Fedina P.A., Jashin A.Ja., Chernousova N.I. Opredelenie antioksidantov v produktah rastitel'nogo proishozhdenija amperometricheskim metodom // Himija rastitel'nogo syr'ja. – 2010. – № 2. – S. 91–97.
4. Jashin A.Ja., Jashin Ja.N., Fedina P.A. [i dr.]. Opredelenie prirodnyh antioksidantov v pishhevyyh zlakah i bobovyh kul'turah // Analitika. – 2012. – № 1. – S. 32–36.
5. Neacsu M., McMonagle J., Fletcher R.J. [et al.]. Bound phytophenols from ready-to-eat cereals: Comparison with other plant-based foods // Food Chemistry. – 2013. – V. 141. – № 3. – P. 2880–2886.
6. Ryan L., Thondre P.S., Henry C.J.K. Oat-based breakfast cereals are a rich source of polyphenols and high in antioxidant potential // Journal of Food Composition and Analysis. – 2011. – V. 24. – № 7. – P. 929–934.
7. Tufan A.N., Çelik S.E., Özyürek M. [et al.]. Direct measurement of total antioxidant capacity of cereals: QUENCHER-CUPRAC method // Talanta. – 2013. – V. 108. – № 4. – P. 136–142. – URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.talanta.2013.02.061>.

Literatura

1. Polonskij V.I., Sumina A.V., Shaldaeva T.M. Ocenka soderzhanija antioksidantov v zerne jachmenja i ovsa na osnove ego fizicheskikh pokazatelej // Vestnik KrasGAU. – 2016. – № 8. – S. 59–64.

