

УДК 631.524.01/02:[633.13: 633.16]

ВЛИЯНИЕ АБИОТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ СРЕДЫ И ГЕНОТИПА НА СОДЕРЖАНИЕ АНТИОКСИДАНТОВ В ЗЕРНЕ ЯЧМЕНЯ И ОВСА

¹Сумина А.В., ²Полонский В.И., ³Шалдаева Т.М., ⁴Количенко А.А., ¹Савельева И.Н.

¹ФГБОУ ВО «Хакасский государственный университет им. Н.Ф.Катанова»,
Абакан, e-mail: alenasumina@list.ru;

²ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет», Красноярск;

³Центральный Сибирский ботанический сад, Новосибирск;

⁴ФГБУ Государственная комиссия Российской Федерации по испытанию и охране селекционных достижений, филиал по Красноярскому краю, Республике Хакасия и Республике Тыва, Красноярск

Климатические условия Сибири характеризуются резкими отклонениями в температурном режиме и количестве осадков в течение вегетационного периода, что затрудняет выращивание зерна с заданными показателями качества, поэтому селекционерам важно владеть информацией о влиянии абиотических факторов и генотипа на формирование качественного зерна. Цельное зерно ячменя и овса содержит вещества, обладающие антиоксидантными свойствами, которые доступны для обмена веществ человека. Распределение данных веществ в зерне неравномерно. В результате исследования был изучен вопрос влияния «генотип-средового» взаимодействия на суммарное содержание антиоксидантов (ССА) в овсяном и ячменном зерне, выращенном в трех географических районах в течение вегетационных периодов 2015–2016 гг. Определение суммарного содержания антиоксидантов в зерне проводилось с помощью прибора «Цвет Яуза-01-АА». Было выявлено, что величина признака ССА у исследуемых сортов овса варьировала от 29,9 до 52,8, ячменя от 35,2 до 77,5 мг/100 г, то есть генотипы различались более чем в 2 раза. Установлено относительно невысокое варьирование среднего значения данного показателя одного года вегетации по пунктам исследования. С помощью пакета анализа программ Field Expert v1.3 Pro было определено, что для зерна ячменя значение суммарного содержания антиоксидантов практически равнозначно зависит от факторов «год×пункт» и «генотип». Для овсов данный параметр в большей степени определяется генотипом, далее по степени влияния располагаются взаимодействие «пункт×генотип» и «год». На основе полученных данных сделано предположение о возможности выращивания зерна ячменя и овса с высоким содержанием антиоксидантов.

Ключевые слова: овес, ячмень, зерно, содержание антиоксидантов, влияние абиотических факторов, генотипа, их взаимодействие, мультилокационные исследования

INFLUENCE OF ENVIRONMENTAL ABIOTIC FACTORS AND GENOTYPE UPON ANTI-OXIDANT CONTENT IN GRAIN OF BARLEY AND OATS

¹Sumina A.V., ²Polonskiy V.I., ³Shaldaeva T.M., ⁴Kolichenko A.A., ¹Saveleva I.N.

¹Khakassia State University. N.F. Katanov, Abakan, e-mail: alenasumina@list.ru;

²Krasnoyarsk State Agricultural University, Krasnoyarsk;

³Tsentrally Siberian Botanical Garden, Novosibirsk;

⁴Federal State Budgetary Institution Gosudarstvennaya commission of the Russian Federation on test and protection of selection achievements, branch on Krasnoyarsk Krai, Republic of Khakassia and Republic of Tyva, Krasnoyarsk

Climatic conditions of Siberia are defined by sharp oscillations in temperature regime and amount of precipitation during vegetative period, and these factors complicate producing grain with defined quality indexes. Therefore, it is critical for breeders to possess information on influence of abiotic factors and genotype upon formation of high-quality grain. A whole kernel of barley or oats contains substances that possess anti-oxidation qualities that are accessible for human metabolism. These substances are distributed unequally within a kernel. As a result of our research we have studied the problem of «genotype-environmental» interaction upon total content of anti-oxidants (TCA) in oats and barley grain, grown in three geographic districts during vegetative periods of 2015–2016. Establishing total content of anti-oxidants in grain was carried out with an instrument «Tsvet Yauza-01-АА». It was discovered that TCA value among the studied kinds of oats varied from 29,9 to 52,8, and for barley – from 35,2 to 77,5 mg/100 g. In other words, genotypes differed more than twice. A relatively low variation in average value of this index for the same year of vegetation between different areas of research was also established. With a set of analysis applications Field Expert v1.4 Pro is was defined that for barley value of total content of anti-oxidants was almost equally dependent upon factors «year X area» and «genotype». For oats this parameter is more defined by genotype, further according to influence degree we place interaction «area X genotype» and «year». According to the received data we have suggested the possibility to farm barley and oats with high content of anti-oxidants.

Keywords: oats, barley, grain, antioxidant content, the influence of abiotic factors, genotype, their interaction, multilocation studies

В современных научных работах достаточно изучено и описано суммарное содержание антиоксидантов в овощах и фруктах [1]. Вместе с тем рядом исследователей установлено, что цельное зерно злаков обеспечивает значительно более высокие количества веществ, обладающих антиоксидантными свойствами (например,

связанные полифенолы), которые доступны для обмена веществ и могут обеспечивать тем самым положительное влияние на здоровье. Распределение данных веществ в зерне неравномерно. Например, у овса общее содержание растворимых фенольных соединений уменьшается от внешнего слоя (2,8–7,7 мкг/г) к эндосперму (0,87–1,35 мкг/г) [2]. В ячменном зерне зародыш и внешние слои наиболее богаты по содержанию фолиевой кислоты [3].

Генотип и условия выращивания растений оказывают влияние на содержание антиоксидантов. Так, при исследовании зерна 5 сортов овса (4 пленчатых и 1 голозерный), выращенных в равных условиях в течение одного вегетационного периода, по антиоксидантному уровню и составу (стерины, токолы, авенантрамиды, флавоны, фенольные кислоты). При этом было установлено, что общее содержание токолов, фенольных кислот и авенантрамидов различалось между сортами более чем в 2 раза [4]. В другой работе, при изучении содержания токолов, фолиевой кислоты и фенольных кислот в зерне 10 пленчатых и голозерных сортов ячменя, выращенных в одних и тех же условиях, были получены схожие результаты [5]. У 25 сортов ячменя с использованием высокоэффективной жидкостной хроматографии было найдено, что более низкое содержание витамина Е и общая антиоксидантная активность наблюдалась у голозерных генотипов [6]. При исследовании ацетоновых экстрактов зерна четырех пигментированных голозерных сортов ячменя было определено, что сорт ячменя с зерном фиолетового цвета содержал 11 антоцианинов, а черной и желтой окраски – только один антоцианин. Общее содержание антоцианинов у пигментированных генотипов ячменя колебалось от 3,2 до 678,5 мг/кг цельного зерна и от 4,5 до 1654,6 мг/кг – отрубей. Экстракт из отрубей ячменя, имеющего зерно фиолетовой окраски, продемонстрировал самую высокую общую антиоксидантную активность [7]. Исследование, выполненное на 20 сортах овса, подтвердило различия среди генотипов в содержании растворимых фенольных соединений и общей антиоксидантной активности [8].

Ряд авторов пришел к выводу о большем эффекте окружающей среды, чем влиянию генотипа на антиоксидантную активность зерна, так, при исследовании влияния генотипа и окружающей среды на данный показатель в цельном зерне 39 со-

ртов овса, выращенных в четырех местах в Китае, было установлено, что эффект окружающей среды был значительно больше, чем влияние генотипа и взаимодействие этих факторов [9].

Вместе с тем известно, что неблагоприятные для роста внешние условия могут увеличивать содержание антиоксидантов в растениях. Так, окислительный стресс, вызванный накоплением активных форм кислорода, вызывает многочисленные реакции в растительных организмах, в том числе ответы антиоксидантных систем, которые, как правило, приводят к увеличению концентрации антиоксидантов в растениях [10].

С целью изучения влияния «генотип-средового» взаимодействия на суммарное содержание антиоксидантов в овсяном и ячменном зерне были исследованы образцы, выращенные в трех географических районах в течение вегетационных периодов 2015–2016 гг.

Материалы и методы исследования

В качестве объекта исследования были определены 5 сортов ярового пленчатого и голозерного (Ача, Биом, Буян, Красноярский 91, Омский голозерный 1) ячменя (*Hordeum vulgare* L.) и 5 сортов (Аргумент, Голец, Саян, Сельма, Тубинский) овса (*Avena sativa* L.). Вышеназванные образцы выращивались по чистому пару в 2015–2016 гг. на трех сортоучастках: Ширинский и Бейский, находящиеся на территории Республики Хакасия и Красноярская, принадлежащий Красноярскому краю. Семенной материал был любезно предоставлен сотрудниками учреждений.

Почва во всех пунктах исследования представлена черноземом обыкновенным, с содержанием гумуса в диапазоне от 2,6 до 3,8%, рН имеет значения близкие к нейтральной и составляет 7,0–7,3. Учитывая, что оптимальный уровень рН почвы для выращивания зерновых культур находится в пределах 6,5–7,5, можно предположить о достаточно благоприятных почвенных условиях по данному показателю во всех исследуемых пунктах.

По данным Хакасского республиканского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды был произведен расчет ежемесячных значений интегрального показателя атмосферных осадков и температуры воздуха за 2015–2016 гг. Полученные значения представлены в таблице.

Значения гидротермического коэффициента за вегетационный период 2015–2016 гг. по пунктам исследования

Месяц	2015 г.			2016 г.		
	Бейский ГСУ	Ширинский ГСУ	Краснотуранский ГСУ	Бейский ГСУ	Ширинский ГСУ	Краснотуранский ГСУ
май	1,68	1,28	1,75	2,17	2,15	1,02
июнь	1,31	0,73	0,68	1,74	0,72	1,51
июль	1,67	1,41	1,59	0,96	0,99	1,09
август	0,98	1,18	1,45	1,97	1,57	0,87

В течение периода наблюдений средне-месячные показатели гидротермического коэффициента варьировали как по пунктам, так и по годам исследования. Основываясь на критериях оценки влагообеспеченности по значению гидротермического коэффициента [11], установлено, что более благоприятные погодные условия сложились в 2015 г. Так, значения ГТК в интервале от 1,0 до 1,5, соответствующие достаточному увлажнению на территории Ширинского ГСУ, имели май, июль и август. Недостаточное увлажнение (ГТК от 0,7 до 1,0) в июне 2015 г. отмечалось на территории Краснотуранского и Ширинского сортоучастков. Вегетационный период 2016 г. был более контрастным. Были как засушливые, недостаточно увлажненные месяцы, так и месяцы с избыточным увлажнением, например, май.

Биохимические исследования проведены в лаборатории фитохимии растений Центрального Ботанического сада СО РАН (г. Новосибирск) в 2015–2016 гг.

Определение суммарного содержания антиоксидантов (ССА) в пробах ячменя и овса проводилось в два этапа [12]. В начале получали водный и водно-спиртовой экстракты, которые в дальнейшем фильтровали, и с помощью прибора «Цвет Яуза-01-АА» производили измерения [12].

Статистическая обработка результатов была выполнена с помощью программы обработки данных полевого опыта Field Expert v1.3 Pro и Microsoft Excel 2003.

Результаты исследования и их обсуждение

Как известно, к антиоксидантам относят любое химическое вещество, способное задерживать или предотвращать окислительное повреждение молекулы-мишени. Свободные радикалы (окислители) запускают ряд цепных реакций, приводящих к повреждению или даже гибели клетки, при этом

антиоксиданты способны путем самоокисления подавлять окислительные процессы, останавливая цепные реакции. На сегодняшний день выделяют две основные группы антиоксидантов: ферментативные и неферментативные. Работа первой группы основана на действии трех ферментов: глутатионпероксидаза, супероксиддисмутаза и каталаза. Группа неэнзимных антиоксидантов делится на несколько подгрупп, основными из которых являются: витамины (А, Е, С), ферментные кофакторы (Q10), минералы (цинк и селен), пептиды (глутатион), фенольные кислоты, а также полифенолы [13].

Самые сильные природные антиоксиданты – это флавоноиды и фенольные кислоты, более слабые – витамины Е, С и каротиноиды. Суммарное содержание антиоксидантов варьирует в зависимости от вида и сорта сельскохозяйственной культуры. Так, по данным А. Яшина, для пшеницы ССА варьируется в диапазоне 36–63 мг/100 г. Что касается зерна ячменя и овса, то градации по данному признаку в российской научной литературе нам встретить не удалось.

При изучении суммарного содержания антиоксидантов в зерне ячменя и овса, выращенного в различных условиях, было выявлено, что величина признака ССА у исследуемых сортов овса варьировала от 29,9 до 52,8, ячменя от 35,2 до 77,5 мг/100 г, то есть генотипы различались более чем в 2 раза. Из исследуемых образцов ячменя высокие значения ССА зарегистрированы у сортов Буян, Ача, Красноярский 91, овса – Саян и Аргумент. Кроме того, отмечалось относительно невысокое варьирование среднего значения данного показателя одного года вегетации по пунктам исследования. Например, для зерна овса, выращенного в 2015 г. при применении 70% этилового спирта для Бейского, Ширинского и Краснотуранского ГСУ ССА имело значения 41,1; 40,4; 40,8 мг/100 г, соответственно. Кроме того,

при использовании двух методов экстракции для измерения ССА в зерне исследуемых образцов показали практически одинаковые результаты. Усредненное (за годы и места выращивания) значение коэффициента корреляции между ССА, измеренным после экстракции водой и после экстракции спиртом, составила существенную величину для овса – $0,963 \pm 0,072$ и для ячменя – $0,974 \pm 0,060$. При этом содержание водорастворимых антиоксидантов в зерне незначительно превышало уровни спирторастворимых антиоксидантов.

С помощью пакета анализа программ Field Expert v1.3 Pro были проведены расчеты по выяснению доли влияния условий среды и генотипа на суммарное содержание антиоксидантов в зерне овса и ячменя, выращенного в 2015–2016 гг. на территории трех сибирских госсортоучастков.

Полученные данные позволяют отметить, что для зерна овса независимо от используемого элюента данный параметр в большей степени определялся генотипом

(рис. 1, 2). При этом в случае использования в качестве элюента бидистиллированной воды (рис. 1) вклад фактора «генотип» составлял 63%, а этилового спирта (рис. 2) – 58%. Вклад фактора «год» в показатель суммарного содержания антиоксидантов составляет 11%.

Фактор «пункт» практически не оказывал влияние на суммарное содержание антиоксидантов в исследуемых образцах овса, на его долю приходилось 1 и 0,5%.

Иная картина наблюдалась при расчете влияния факторов на суммарное содержание антиоксидантов в зерне ячменя. Так, с помощью дисперсионного анализа, было установлено (рис. 3, 4), что независимо от элюента, ССА в зерне ячменя, выращенного в 2015–2016 гг. в трех исследуемых пунктах, в большей степени (34,8 и 32,3%, соответственно) определялось взаимодействием факторов «пункт» и «год», далее по степени влияния располагался фактор «генотип», на долю которого приходится в зависимости от элюента 26,4 и 24,5% соответственно.

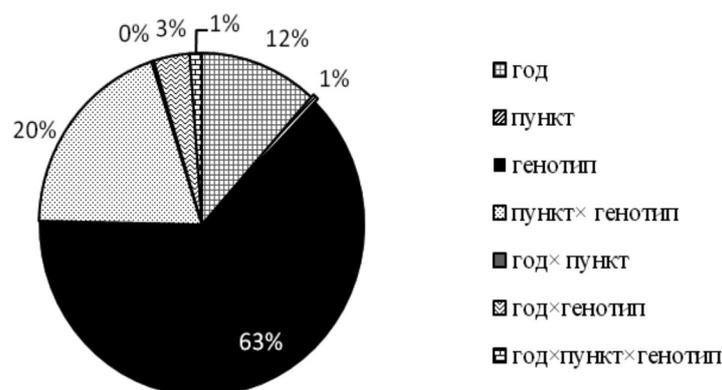


Рис. 1. Влияние факторов среды на значение суммарного содержания антиоксидантов в зерне овса (элюент бидистиллированная вода)

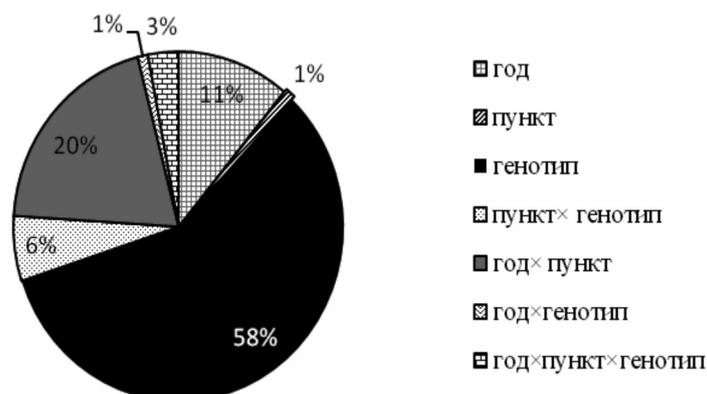


Рис. 2. Влияние факторов среды на значение суммарного содержания антиоксидантов в зерне овса (элюент 70% этиловый спирт)

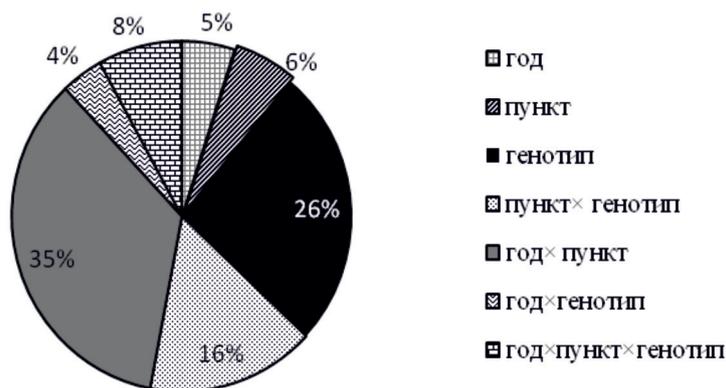


Рис. 3. Влияние факторов среды на значение суммарного содержания антиоксидантов в зерне ячменя (элюент бидистиллированная вода)

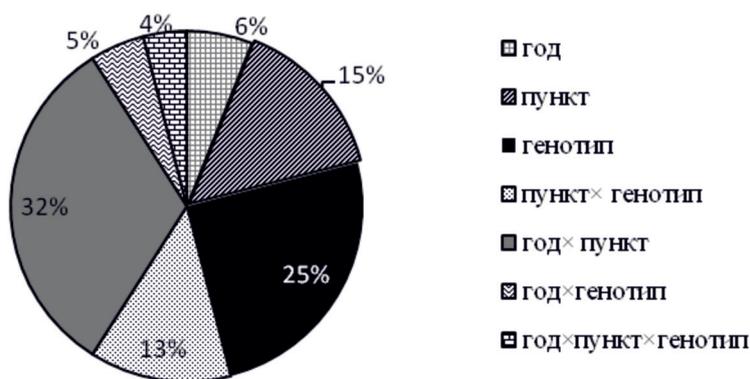


Рис. 4. Влияние факторов среды на значение суммарного содержания антиоксидантов в зерне ячменя (элюент – 70% этиловый спирт)

Вклад взаимодействия факторов «пункт×генотип» в формирование данного показателя составляет 15,5 и 13% соответственно. Наименьшее влияние на формирование данного параметра оказывают «год», «год×генотип», «год×пункт×генотип». Из этого можно заключить, что при сопоставлении влияния факторов именно взаимодействие «пункт×генотип» и фактор «генотип» имеют более существенное значение при выращивании зерна ячменя с высоким суммарным содержанием антиоксидантов.

Исходя из того, что при действии неблагоприятных экологических факторов на растение в «работу» включаются именно антиоксиданты, обеспечивая при этом способность выживать в экстремальных условиях, можно заключить, что зерно с высокими значениями суммарного содержания антиоксидантов имеет преимущества при выращивании на территории рискованно-

го земледелия, к каковой относится Республика Хакасия. Результаты дисперсионного анализа значений суммарного содержания антиоксидантов в зерне ячменя и овса достоверны, о чем свидетельствует тот факт, что $F_{\text{факт}} > F_{\text{теор}}$.

Выводы

С помощью пакета анализа программ Field Expert v1.3 Pro, который служит для статистической обработки данных, методами дисперсионного анализа было установлено, что для зерна ячменя значение суммарного содержания антиоксидантов практически равнозначно зависит от факторов «год×пункт» и «генотип». Взаимодействие трех вышеуказанных факторов составляет 7,8%. Для овсов данный параметр в большей степени определяется генотипом, далее по степени влияния располагаются взаимодействие «пункт×генотип»

и «год». Таким образом, полученные данные позволяют сделать предположение о возможности выращивания зерна ячменя и овса с заданным высоким содержанием антиоксидантов.

Список литературы

1. Calado J.C.P., Albertao P.A., Oliveira E.A., Letra M.H.S., Sawaya A.C.H., Marcucci M.C. Flavonoid Contents and Antioxidant Activity in Fruit, Vegetables and Other Types of Food // *Agricultural Sciences*. 2015. No. 6. P. 426–435.
2. Gong L.X., Jin C., Wu L.J., Wu X.Q., Zhang Y. Tibetan Hull-less Barley (*Hordeum vulgare* L.) as a Potential Source of Antioxidants // *Cereal Chemistry*. 2012. Vol. 89. No. 6. P. 290–295.
3. Edelmann M., Kariluoto S., Nyström L., Piironen V. Folate in barley grain and fractions // *Journal of Cereal Science*. 2013. V. 58. No. 1. P. 37–44.
4. Shewry P.R., Piironen V., Lampi A.M., Nystrom L., Li L., Rakszegi M., Fras A., Boros D., Gebruers K., Courtin C.M., Delcour J.A., Andersson A.A.M., Dimberg L., Bedo Z., Ward J.L. Phytochemical and Fiber Components in Oat Varieties in the HEALTHGRAIN Diversity Screen // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2008. V. 56. No. 21. P. 9777–9784.
5. Andersson A.A.M., Lampi A.M., Nyström L., Piironen V., Li L., Ward J.L., Gebruers K., Courtin C.M., Delcour J.A., Boros D., Fras A., Dynkowska W., Rakszegi M., Bedo Z., Shewry P.R., Aman P. Phytochemical and Dietary Fiber Components in Barley Varieties in the HEALTHGRAIN Diversity Screen // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2008. V. 56. No. 21. P. 9767–9776.
6. Do T.D.T., Cozzolino D., Muhlhausler B., Box A., Able A.J. Antioxidant capacity and vitamin E in barley: Effect of genotype and storage // *Food Chemistry*. 2015. V. 187. No. 15. P. 65–74.
7. Lee C., Han D., Kim B., Baik N., Baik B.K. Antioxidant and anti-hypertensive activity of anthocyanin-rich extracts from hullless pigmented barley cultivars // *International Journal of Food Science and Technology*. 2013. V. 48. No. 5. P. 984–991.
8. Alfieri M., Redaelli R. Oat phenolic content and total antioxidant capacity during grain development // *Journal of Cereal Science*. 2015. V. 65. No. 9. P. 39–42.
9. Li X.P., Li M.Y., Ling A.J., Hu X.Z., Ma Z., Liu L., Li Y.X. Effects of genotype and environment on avenanthramides and antioxidant activity of oats grown in northwestern China // *Journal of Cereal Science*. 2017. V. 73. P. 130–137.
10. Wang Y., Frei M. Stressed food – The impact of abiotic environmental stresses on crop quality // *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 2011. V. 141. P. 271–286. DOI: 10.1016/j.agee.2011.03.017.
11. Влияния климатических факторов на изменчивость хозяйственно ценных признаков подсолнечника в приазовской зоне Ростовской области / А.В. Усатов [и др.] // *Современные проблемы науки и образования*. – 2012. – № 1.; URL: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=5505> (дата обращения: 05.06.2018).
12. Федина П.А. Определение антиоксидантов в продуктах растительного происхождения амперометрическим методом / П.А. Федина, А.Я. Яшин, Н.И. Черноусова // *Химия растительного сырья*. – 2010. – № 2. – С. 91–97.
13. Fardet A. New hypotheses for the health-protective mechanisms of whole-grain cereals: what is beyond fibre? // *Nutrition Research Reviews*. 2010. V. 23. P. 65–134.

References

1. Calado J.C.P., Albertao P.A., Oliveira E.A., Letra M.H.S., Sawaya A.C.H., Marcucci M.C. Flavonoid Contents and Antioxidant Activity in Fruit, Vegetables and Other Types of Food // *Agricultural Sciences*. 2015. No. 6. R. 426–435.
2. Gong L.X., Jin C., Wu L.J., Wu X.Q., Zhang Y. Tibetan Hull-less Barley (*Hordeum vulgare* L.) as a Potential Source of Antioxidants // *Cereal Chemistry*. 2012. Vol. 89. No. 6. P. 290–295.
3. Edelmann M., Kariluoto S., Nyström L., Piironen V. Folate in barley grain and fractions // *Journal of Cereal Science*. 2013. V. 58. No. 1. P. 37–44.
4. Shewry P.R., Piironen V., Lampi A.M., Nystrom L., Li L., Rakszegi M., Fras A., Boros D., Gebruers K., Courtin C.M., Delcour J.A., Andersson A.A.M., Dimberg L., Bedo Z., Ward J.L. Phytochemical and Fiber Components in Oat Varieties in the HEALTHGRAIN Diversity Screen // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2008. V. 56. No. 21. P. 9777–9784.
5. Andersson A.A.M., Lampi A.M., Nyström L., Piironen V., Li L., Ward J.L., Gebruers K., Courtin C.M., Delcour J.A., Boros D., Fras A., Dynkowska W., Rakszegi M., Bedo Z., Shewry P.R., Aman P. Phytochemical and Dietary Fiber Components in Barley Varieties in the HEALTHGRAIN Diversity Screen // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2008. V. 56. No. 21. P. 9767–9776.
6. Do T.D.T., Cozzolino D., Muhlhausler B., Box A., Able A.J. Antioxidant capacity and vitamin E in barley: Effect of genotype and storage // *Food Chemistry*. 2015. V. 187. No. 15. P. 65–74.
7. Lee C., Han D., Kim B., Baik N., Baik B.K. Antioxidant and anti-hypertensive activity of anthocyanin-rich extracts from hullless pigmented barley cultivars // *International Journal of Food Science and Technology*. 2013. V. 48. No. 5. P. 984–991.
8. Alfieri M., Redaelli R. Oat phenolic content and total antioxidant capacity during grain development // *Journal of Cereal Science*. 2015. V. 65. No. 9. P. 39–42.
9. Li X.P., Li M.Y., Ling A.J., Hu X.Z., Ma Z., Liu L., Li Y.X. Effects of genotype and environment on avenanthramides and antioxidant activity of oats grown in northwestern China // *Journal of Cereal Science*. 2017. V. 73. P. 130–137.
10. Wang Y., Frei M. Stressed food – The impact of abiotic environmental stresses on crop quality // *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 2011. V. 141. P. 271–286. DOI: 10.1016/j.agee.2011.03.017.
11. Vliyaniya klimaticheskix faktorov na izmenchivost' xoz'yajstvenno cenny'x priznakov podsolnechnika v priazovskoy zone Rostovskoy oblasti / A.V. Usatov [i dr.] // *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya*. – 2012. – № 1.; URL: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=5505> (data obrashheniya: 05.06.2018).
12. Fedina P.A. Opredelenie antioksidantov v produktax rastitel'nogo proisxozhdeniya amperometricheskim metodom / P.A. Fedina, A.Ya. Yashin, N.I. Chernousova // *Ximiya rastitel'nogo syr'ya*. – 2010. – № 2. – P. 91–97.
13. Fardet A. New hypotheses for the health-protective mechanisms of whole-grain cereals: what is beyond fibre? // *Nutrition Research Reviews*. 2010. V. 23. P. 65–134.