

УДК 633.14: 631.52

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

**ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ АНТИОКСИДАНТОВ В ЗЕРНЕ ЯЧМЕНЯ
И ОВСА НА ОСНОВЕ ЕГО ФИЗИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ**

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

**THE ASSESSMENT OF THE MAINTENANCE OF ANTIOXIDANTS IN BARLEY GRAIN
AND OATS ON THE BASIS OF ITS PHYSICAL INDICATORS**

Полонский В.И. – д-р биол. наук, проф., зав. каф. ботаники, физиологии и защиты растений Красноярского государственного аграрного университета, г. Красноярск. E-mail: vadim.polonskiy@mail.ru

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

Струпан Е.А. – д-р техн. наук, доц., проф. каф. технологии и организации общественного питания Торгово-экономического института Сибирского федерального университета, г. Красноярск. E-mail: st.ek@bk.ru

Polonsky V.I. – Dr. Biol. Sci., Prof., Head, Chair of Botany, Physiology and Plants Protection, Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk. 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: sumina_av@khsu.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

Strupan E.A. – Dr. Tech. Sci., Assoc. Prof., Prof., Chair of Technology and Organization of Public Catering, Trade and Economic Institute, Siberian Federal University, Krasnoyarsk. E-mail: st.ek@bk

Для ведения селекции на повышенное суммарное содержание антиоксидантов (ССА) необходим простой, экспрессный и малозатратный метод оценки селекционного материала по этому химическому показателю. Целью работы являлся анализ зависимости ССА в зерне ячменя и овса от показателей «масса 1000 зерен» и «пленчатость зерна». В качестве объектов исследования использовали 17 образцов ярового ячменя и 18 образцов овса сибирской селекции, выращенных в 2015 году по паровому предшественнику на Бейском ГСУ Республики Хакасия и ОПХ «Минино» ГНУ КНИИСХ СО РАСХН Красноярского края. Определение величин ССА в зерне ячменя и овса проводилось в два этапа. На первом проводили экстрагирование проб либо горячей бидистиллированной водой, либо 70%-м этиловым спиртом. На втором этапе проводили измерение электрического тока,

возникающего при окислении исследуемых веществ на поверхности рабочего электрода при постоянном потенциале 1,3 В с помощью прибора «Цвет Яуза-01-АА». Массу 1000 зерен, показатель пленчатости зерна ячменя и овса определяли по стандартным методам. Значения ССА в зерне находились в пределах: от 40,0 до 77,5 мг/100 г – ячмень; от 29,9 до 52,2 мг/100 г – овес. Максимальные величины ССА были зафиксированы у сорта ячменя Ача и сорта овса Саян, а минимальные уровни ССА были характерны соответственно для сортов Новичок и Тубинский. Не было выявлено зависимости между ССА в зерне с одной стороны, и массой 1000 зерен – с другой. Найдена существенная положительная зависимость между ССА в зерне и показателем его пленчатости. Применение в качестве элюента бидистиллированной воды способствовало повышению тесноты связи между признаком

пленчатости зерна и показателем САА. Высказано предположение о возможном применении полученных результатов в экспрессной косвенной оценке образцов ячменя и овса на суммарное содержание антиоксидантов в зерне.

Ключевые слова: зерно, овес, ячмень, антиоксиданты, экстракт, масса 1000 зерен, пленчатость.

The simple, express and low-cost method of selection assessment of material on this chemical indicator is necessary for conducting total contents of antioxidants (TCA) evaluation. The purpose of the study was the analysis of dependence of TCA in the grain of barley and oats from indicators "the mass of 1000 grains" and "filminess of grain". As objects of research 17 samples of summer barley and 18 samples of oats of the Siberian selection grown in 2015 on the bare fallow predecessor on Beysky GSU of the Republic of Khakassia and the experimental farm "Minino" of the Research Institute of Agriculture, Russian Academy of Agricultural Sciences of Krasnoyarsk region were used. The determination of sizes TCA in the grain of barley and oats was carried out in two stages. In the first the extraction of tests or hot distilled water, or 70 % ethyl alcohol was carried out. In the second stage the measurement of the electric current arising at oxidation of the studied substances on the surface of a working electrode at constant potential 1.3 B by means of the Yauza-01-AA Color device was carried out. The mass of 1000 grains, the indicator of filminess of grain of barley and oats were determined by standard methods. The Values of TCA in the grain were in the limits: from 40.0 to 77.5 mg / 100 for barley; from 29.9 to 52.2 mg / 100 for oats. The maximum sizes of TCA were recorded at the grade of barley of Acha and a grade of oats of Sayan Mountains, and minimum levels of TCA were characteristic respectively for grades the Beginner and Tubinsky. The dependences between TCA in grain on the one hand were not revealed and weighing 1000 grains – on the other. Essential positive dependence between TCA was found in grain and the indicator of its filminess. The application as eluent of bidistilled water promoted the increase of narrowness of communication between the sign of filminess of grain and an indicator of TCA. It was suggested that possible application of the received results in an express indirect assessment of samples

of barley and oats on the total maintenance of anti-oxidants in grain.

Keywords: grain, oats, barley, antioxidants, extract, the weight of 1000 grains, filminess.

Введение. Как известно, в клетках живых организмов, включая человека, существует совершенная система, регулирующая процессы образования свободных радикалов [6]. Сегодня человек находится в условиях постоянного стресса, под воздействием ухудшающейся экологической обстановки, потребляет некачественную пищу, что в конечном итоге может привести к развитию окислительного стресса. По мнению многих авторов, данный процесс выступает определяющим фактором при развитии таких серьезных заболеваний, как атеросклероз, диабет, преждевременное старение [1, 5, 6, 10, 11]. Одним из путей решения данной проблемы является употребление в пищу нормированного количества природных антиоксидантов (АО) [5], из которых наиболее известны и изучены растительные полифенолы [5, 15, 18], содержащиеся в овощах, фруктах, меде, чае, зерне [2, 15, 18]. Среди зерновых культур ячмень, овес, рожь и пшеница характеризуются относительно высоким суммарным содержанием антиоксидантов [2, 11, 18], причем последние в основном сконцентрированы в оболочках зерна и его алейроновом слое [13–16].

Селекция на повышенное суммарное содержание антиоксидантов (ССА) в зерновых культурах является весьма актуальной задачей. Для ведения направленного отбора на повышенное ССА необходима оценка селекционного материала по этому показателю. К сожалению, современные методы прямого измерения ССА достаточно трудоемки, требуют специального дорогостоящего оборудования и, следовательно, малопригодны в практической селекции. Поэтому с целью выхода на косвенное определение этих химических веществ делаются попытки поиска связи их содержания с некоторыми физическими показателями зерна [7]. При этом полученные результаты по выявлению взаимного влияния параметров имеют подчас кардинально полярные значения. Так, с одной стороны – была прослежена отрицательная коррелятивная зависимость ССА от массы 1000 зерен у сортов озимой ржи [2], с другой – установлена положительная связь указанных показателей для ячменя [12].

Информацию о наличии связи между ССА и другими физическими показателями зерна в литературе нам встретить не удалось.

Цель работы. Анализ зависимости суммарного содержания антиоксидантов в зерне ярового ячменя и овса от показателей массы 1000 зерен и пленчатости зерна.

Объекты и методы исследования. В качестве объекта исследования использовались образцы ярового пленчатого и голозерного ячменя (*Hordeum vulgare* L.): Э-88-5893, Абалак, Ача, Багрец, Биом, Буян, Владимир, Винницкий, Красноярский 91, Лель, Новичок, Оленек, Соболек, Танай, Нудум 95, Омский голозерный 1, Оскар; овса (*Avena sativa* L.): 97-106-143, Witteberj, Zvolen, Алдан, Аргумент, Аркан, Виленский, Егорыч, Казачок, Казыр, Кречет, Перуэт, Ровесник, Саян, Сельма, Тубинский, Голец, Прогресс, выращенные в 2015 году по паровому предшественнику на Бейском ГСУ Республики Хакасия и ОПХ «Минино» ГНУ КНИИСХ СО РАСХН Красноярского края. Семенной материал был любезно предоставлен сотрудниками этих учреждений.

Определение суммарного содержания антиоксидантов (ССА) в пробах ячменя и овса проводилось в два этапа [9]. На первом проводили экстрагирование проб двумя элюентами – горячей бидистиллированной водой и 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». Концентрацию подбирали в процессе измерения. 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. На втором этапе с помощью прибора «Цвет Яуза-01-АА» проводили измерения 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.

Массу 1000 зерен рассчитывали по методике ГОСТ 12042-80 [4]. Показатель пленчатости зерна ячменя определяли по методу Омарова [8], пленчатость зерна овса находили по методике ГОСТ 10843-76 [3]. Повторность при определении массы 1000 зерен и пленчатости зерна трех-, четырехкратная.

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

Результаты и их обсуждение. При измерении ССА в зерне ячменя было выявлено, что величины этого показателя у изучаемых образцов лежали в пределах от 40,0 до 77,5 мг/100 г (при среднем значении 53,6 мг/100 г). Минимальные значения ССА были зафиксированы для сорта Новичок (ОПХ «Минино»), максимальные для сорта Ача (Бейский ГСУ). В зерне овса ССА соответствовало значениям от 29,9 до 52,2 мг/100 г (при средней величине 39,4 мг/100 г). Наибольшее содержание этих химических соединений в зерне овса было характерно для сорта Саян, а наименьшее для сорта Тубинский. Оба образца были получены с Бейского сортоучастка.

В таблице 1 представлены сводные результаты парной корреляции между ССА и физическими показателями зерна ячменя. Можно видеть, что величины массы 1000 зерен не оказывали существенного влияния на изучаемый химический признак. Напротив, с увеличением показателя пленчатости зерна значение ССА имело тенденцию к возрастанию. Следует отметить, что более высокие значения коэффициентов корреляции между ССА и массовой долей пленок в зерне были получены при использовании в качестве элюента бидистиллированной воды, хотя связи присутствовали в случае применения обоих растворителей.

Значения коэффициента парной корреляции между суммарным содержанием антиоксидантов, массой 1000 зерен и пленчатостью зерна ячменя

Параметр	Пленчатость, %	Масса 1000 зерен, г	ССА _с ^{**} , мг/100 г	ССА _{вб} ^{***} , мг/100 г
Пленчатость, %	1,00			
Масса 1000 зерен, г	- 0,33	1,00		
ССА _с ^{**} , мг/100 г	0,461*	- 0,06	1,00	
ССА _{вб} ^{***} , мг/100 г	0,519*	-0,02	-	1,00

* – значение коэффициента корреляции достоверно при $P \leq 0,05$; ** – значение ССА при использовании в качестве элюента этилового спирта в концентрации 70%; *** – значение ССА при использовании в качестве элюента горячей бидистиллированной воды.

При проведении исследований зерна овса было также выявлено отсутствие четкой коррелятивной связи между массой 1000 зерен и ССА (табл. 2). При этом аналогично данным, полученным для ячменя, значения ССА находились в положительной зависимости от показателя пленчатости зерна. Так же, как у

ячменя, более высокие значения коэффициентов корреляции между ССА и физическими параметрами зерна были зафиксированы при использовании в качестве элюента кипящей бидистиллированной воды (при этом связи были существенными в случае применения обоих растворителей).

Таблица 2

Значения коэффициента парной корреляции между суммарным содержанием антиоксидантов, массой 1000 зерен и пленчатостью зерна овса

Параметр	Пленчатость, %	Масса 1000 зерен, г	ССА _с ^{**} , мг/100 г	ССА _{вб} ^{***} , мг/100 г
Пленчатость, %	1,00			
Масса 1000 зерен, г	0,133	1,00		
ССА _с ^{**} , мг/100 г	0,330*	0,104	1,00	
ССА _{вб} ^{***} , мг/100 г	0,553*	0,022	-	1,00

* – значение коэффициента корреляции достоверно при $P \leq 0,05$; ** – значение ССА при использовании в качестве элюента этилового спирта в концентрации 70 %; *** – значение ССА при использовании в качестве элюента горячей бидистиллированной воды.

Полученные результаты парной корреляции подтверждают продемонстрированный в литературе факт наличия большей величины ССА в оболочках зерна пшеницы и ячменя [11], а не в его эндосперме. В более крупном зерне происходит «разбавление» ССА. Отсюда селекционный признак «повышенное ССА в зерне» ячменя и овса будет, по-видимому, сцеплен с более высокой долей пленок в зерне.

Выводы. Таким образом, приведенные в работе экспериментальные данные указывают на отсутствие существенной корреляционной связи между показателем массы 1000 зерен, с одной стороны, и суммарным содержанием ан-

тиоксидантов в зерне ячменя и овса – с другой, что соответствует данным зарубежных исследователей [17]. Нельзя не отметить тот факт, что некоторым авторам удалось выявить положительную корреляцию между массой 1000 зерен и содержанием антиоксидантов в зерне ячменя [12]. В наших опытах было зарегистрировано существование значимой положительной зависимости величины ССА от уровня пленчатости зерна. Данный факт был отмечен и у ряда других авторов. Так, показано, что содержание антиоксидантов в зародыше и оболочках ячменя и овса более чем в три раза выше, чем в эндосперме [13, 14]. Применение в качестве элю-

ента бидистиллированной воды способствует повышению тесноты связи между признаком «пленчатость» зерна и показателем САА. Полученные результаты позволяют предполагать возможность выполнения косвенной экспресс-оценки образцов ячменя и овса на суммарное содержание антиоксидантов в зерне по измерению некоторых физических характеристик последнего.

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

Литература

1. *Винокурова Е.Ю.* Биологически активные растения юга Западной Сибири как основа создания противоопухолевых препаратов // Ползуновский вестник. – 2005. – № 4. – С. 197–200.
2. *Гончаренко А.А., Тимощенко А.С.* Оценка сортов озимой ржи по антиоксидантной активности зерна // Докл. РАСХН. – 2014. – № 4. – С. 3–7.
3. ГОСТ 10843-76. Зерно. Метод определения пленчатости. – М., 2009. – 3 с.
4. ГОСТ 12042-80. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения массы 1000 семян. – М., 1981. – 3 с.
5. Антиоксидантная активность некоторых препаратов, полученных на основе растений Казахстана / *Г.Е. Жусупова, Т.М. Шалахметова, М.К. Мурзахметова* [и др.] // Вестник Новосиб. гос. пед. ун-та. – 2013. – № 5 (15). – С. 43–65.
6. Определение антиоксидантной активности экстрактов растительного сырья методом катодной вольтамперометрии / *Е.И. Коротков, О.А. Аврамчик, М.С. Юсубов* [и др.] // Химико-фармацевтический журнал. – 2003. – Т. 37. – № 9. – С. 55–56.
7. Патент на изобретение № 2468568. Способ оценки качества зерна генотипов ячменя пивоваренного направления / *В.И. Полонский, А.В. Сумина*. – Оpubл. 10.12.2012.
8. *Степльчева Н.В.* Введение в технологию продуктов питания: лаборатор. практикум. – Иваново, 2007. – 48 с.
9. *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.
10. Природные антиоксиданты. Содержание в пищевых продуктах и влияние на здоровье и старение человека / *Я.И. Яшин, В.Ю. Рыжнев, А.Я. Яшин* [и др.]. – М.: Транслит, 2009. – 192 с.
11. Определение природных антиоксидантов в пищевых злаках и бобовых культурах / *А. Яшин, Я. Яшин, П.Федина* [и др.] // Аналитика. – 2012. – № 1. – С. 32–36.
12. Phytochemical and Dietary Fiber Components in Barley Varieties in the HEALTHGRAIN Diversity Screen / *A. Andersson, A. Lampi* [et al.] // Food Chemistry. – 2008. – Vol. 56. – № 21. – P. 9767–9776.
13. Folate in barley grain and fractions / *M. Edelmann, S. Kariluoto* [et al.] // Journal of Cereal Science. – 2013. – Vol. 58. – № 1. – P. 37–44.
14. Folate in oats and its milling fractions / *M. Edelmann, S. Kariluoto* [et al.] // Food Chemistry. – 2012. – Vol. 135. – № 3. – P. 1938–1947.
15. Tibetan Hull-less Barley (*Hordeum vulgare* L.) as a Potential Source of Antioxidants / *L. Gong, C. Jin* [et al.] // Cereal Chemistry. – 2012. – Vol. 89. – № 6. – P. 290–295.
16. *Nordkvist E., Salomonsson A.-C., Aman P.* Distribution of insoluble bound phenolic acids in barley grain // Journal of the Science of Food and Agriculture. – 1984. – Vol. 35. – P. 657–661.
17. *Qiu Y., Beta T.* Antioxidant properties of soluble and insoluble phenolic acids // Food Chemistry. – 2010. – Vol. 121. – № 1. – P. 140–147.
18. Antioxidant activity of small grain cereals caused by phenolics and lipid soluble antioxidants / *S. Zilic, V. Hadzi-Taskovic, D. Dodig* [et al.] // Journal of Cereal Science. – 2011. – Vol. 54. – № 3. – P. 417–424.

Literatura

1. *Vinokurova E. Ju.* Biologicheski aktivnye rastenija juga Zapadnoj Sibiri kak osnova

- sozdaniya protivopuholevyh preparatov // Polzunovskij vestnik. – 2005. – № 4. – S. 197–200.
2. *Goncharenko A.A., Timoshchenko A.S.* Ocenka sortov ozimoy rzhi po antioksidantnoj ak-tivnosti zerna // Dokl. RASHN. – 2014. – № 4. – S. 3–7.
 3. GOST 10843-76. Zerno. Metod opredelenija plenchatosti. – M., 2009. – 3 s.
 4. GOST 12042-80. Semena sel'skohozjajstvennyh kul'tur. Metody opredelenija mas-sy 1000 semjan. – M., 1981. – 3 s.
 5. Antioksidantnaja aktivnost' nekotoryh preparatov, poluchennyh na osnove rastenij Kazahstana / *G.E. Zhushupova, T.M. Shalahmetova, M.K. Murzahmetova* [i dr.] // Vestnik Novosib. gos. ped. un-ta. – 2013. – № 5 (15). – S. 43–65.
 6. Opredelenie antioksidantnoj aktivnosti jekstraktov rastitel'nogo syr'ja metodom katodnoj vol'tamperometrii / *E.I. Korotkov, O.A. Avramchik, M.S. Jusubov* [i dr.] // Himikofarmaceuticheskij zhurnal. – 2003. – T. 37. – № 9. – S. 55–56.
 7. Patent na izobretenie № 2468568. Sposob ocenki kachestva zerna genotipov jachmenja pivovarenного napravlenija / *V.I. Polonskij, A.V. Sumina*. – Opubl. 10.12.2012.
 8. Stepycheva N.V. Vvedenie v tehnologiju produktov pitaniya: laborator. praktikum. – Ivnovo, 2007. – 48 s.
 9. *Fedina P.A., Jashin A.Ja., Chernousova N.I.* Opredelenie antioksidantov v produktah rastitel'nogo proishozhdenija amperometrichestkim metodom // Himija rastitel'nogo syr'ja. – 2010. – № 2. – S. 91–97.
 10. Prirodnye antioksidanty. Soderzhanie v pishhevyyh produktah i vliyanie na zdorov'e i starenie cheloveka / *Ja.I. Jashin, V.Ju. Ryzhnev, A.Ja. Jashin* [i dr.]. – M.: Translit, 2009. – 192 s.
 11. Opredelenie prirodnyh antioksidantov v pishhevyyh zlakah i bobovyh kul'turah / *A. Jashin, Ja. Jashin, P.Fedina* [i dr.] // Analitika. – 2012. – № 1. – S. 32–36.
 12. Phytochemical and Dietary Fiber Components in Barley Varieties in the HEALTHGRAIN Diversity Screen / *A. Andersson, A. Lampi* [et al.] // Food Chemistry. – 2008. – Vol. 56. – № 21. – P. 9767–9776.
 13. Folate in barley grain and fractions / *M.Edelmann, S. Kariluoto* [et al.] // Journal of Cereal Science. – 2013. – Vol. 58. – № 1. – P. 37–44.
 14. Folate in oats and its milling fractions / *M. Edelmann, S. Kariluoto* [et al.] // Food Chemistry. – 2012. – Vol. 135. – № 3. – P. 1938–1947.
 15. Tibetan Hull-less Barley (*Hordeumvulgare* L.) as a Potential Source of Antioxidants / *L. Gong, C. Jin* [et al.] // Cereal Chemistry. – 2012. – Vol. 89. – № 6. – P. 290–295.
 16. *Nordkvist E., Salomonsson A.-C., Aman P.* Distribution of insoluble bound phenolic acids in barley grain // Journal of the Science of Food and Agriculture. – 1984. – Vol. 35. – P. 657–661.
 17. *Qiu Y., Beta T.* Antioxidant properties of soluble and insoluble phenolic acids // Food Chemistry. – 2010. – Vol. 121. – № 1. – P. 140–147.
 18. Antioxidant activity of small grain cereals caused by phenolics and lipid soluble antioxidants / *S. Zilic, V. Hadzi-TaskovicSukalovic, D. Dodig* [et al.] // Journal of Cereal Science. – 2011. – Vol. 54. – № 3. – P. 417–424.

