

**ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ВЫРАЩИВАНИЯ ЯЧМЕНЯ НА СУММАРНОЕ СОДЕРЖАНИЕ
АНТИОКСИДАНТОВ В ЗЕРНЕ И ВЕЛИЧИНУ ПРОДУКТИВНОСТИ**

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

**THE INFLUENCE OF CULTIVATION CONDITIONS ON TOTAL ANTIOXIDANTS CONTENT
IN BARLEY GRAIN AND ITS YIELD AMMOUNT**

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

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

Шалдаева Т.М. – канд. биол. наук, науч. сотр. Центрального сибирского ботанического сада СО РАН, г. Новосибирск.
E-mail: tshaldaeva@yandex.ru

Polonsky V.I. – Dr. Biol. Sci., Prof., Chair of Landscape Architecture, Botany, Agroecology, Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk.
E-mail: vadim .polonskiy@mail.ru

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

Shaldaeva T.M. – Cand. Biol. Sci., Staff Scientist, Central Siberian Botanical Garden SB RAS, Novosibirsk.
E-mail: tshaldaeva@yandex.ru

С целью установления влияния внешних условий на суммарное содержание антиоксидантов (ССА) в зерне и элементы продуктивности выращивали образцы ячменя в течение трех лет в трех географических пунктах Красноярского края и Республики Хакасия: Краснотуранском, Бейском и Ширинском ГСУ. Объектами служили 4 пленчатых и 1 голозерный образцы ячменя сибирской селекции: Ача, Биом, Буян, Красноярский 91 и Омский голозерный 1. Для определения ССА в зерне использовали 2 растворителя – бидистиллированную воду или 70 %-й этанол. Измерение ССА выполняли на приборе «Цвет Яуза-01-АА». В качестве образца сравнения использовали галловую кислоту. Параллельно измеряли продукционные характеристики ячменя: массу 1000 зерен, продолжительность вегетационного периода и величину урожайности. Используемые методы экстракции показали практически одинаковые результаты. Средние значения ССА в зерне изучаемых образцов ячменя достоверно между собой не различались. Пленчатые образцы формировали зерно с таким же уровнем ССА, что и голозерный. Среди образцов по величине ССА в зерне существенно выделялись Красноярский

91 (Бейский и Краснотуранский ГСУ) и Ача (Бейский ГСУ). Не было доказано статистически существование зависимости уровня ССА в зерне от продукционных характеристик ячменя. Однако в целом для трех пунктов выращивания было установлено наличие средней положительной корреляционной связи между уровнем ССА в зерне ячменя с одной стороны и длиной вегетационного периода, значением урожайности – с другой, а также средней отрицательной связи между показателем ССА и величиной массы 1000 зерен. Показано наличие тенденции сохранения ранжирования сортов по значению ССА в зерне в разные годы, но в одном месте выращивания. Предположено, что величину ССА в зерне ячменя главным образом определяет генотип, а не географический пункт выращивания. В случае выращивания ячменя в разных местах значение ССА у всех сортов изменялось непропорционально, и их ранжирование по указанному качественному признаку заметно изменялось.

Ключевые слова: ячмень, сорт, зерно, бидистиллированная вода, спирт, суммарное содержание антиоксидантов, масса 1000 зерен, период вегетации, урожайность, год, географический пункт.

In order to establish the influence of climatic conditions on the total antioxidants content (TAC) in grain, barley samples were grown for three years in three geographical points of the Krasnoyarsk Region and the Republic of Khakassia: Krasnoturansky, Beisky and Shirinsky State Varietal Site (SVS). The research objects were 4 hulled and 1 hull-less barley samples: Acha, Biom, Buayn, Krasnoayrsky 91 and Omsky golozerny 1. To determine the TAC in the grain, 2 solvents were used – bidistilled water or 70 % ethanol. The measurement was performed on the device "Color Yauza-01-AA". Gallic acid was used as a comparison sample. In parallel, the production characteristics of barley were measured: 1000 grain weight, the duration of growing season and the yield. The extraction methods used showed almost the same results. It was shown that the levels of TAC in oat grain grown in different geographical locations had not differed significantly from each other. Hulled samples formed grain with the same level of TAC as hull-less. Among the samples of the largest TAC in the grain was substantially allocated Krasnoyarsk 91 (Beya and Krasnoturanskiy SVS) and Acha (Beya SVS). The existence of the dependence of the level of TAC in grain on production characteristics of barley has not been proved statistically. However, in general, for three points of cultivation, the presence of an average positive correlation between the level of TAC in barley grain on one hand and the length of growing season, yield value on the other, as well as average negative relationship between the TAC index and the mass of 1000 grains has been established. The presence of trends in the preservation of ranking of varieties on the value of TAC in grain in different years, but in one place of cultivation was shown. It is assumed that the value of TAC in barley grain mainly determines the genotype, but not geographical point of cultivation. In the case of barley cultivation in different places, the value of TAC in all varieties changed disproportionately, and their ranking on specified quality characteristic changed significantly.

Keywords: *barley, variety, grain, bidistilled water, alcohol, total antioxidants content, 1000 grain weight, vegetation period, yield, year, geographical point.*

Введение. Известно, что зерно ячменя обладает высокой питательной ценностью, содержит бета-глюканы и характеризуется наличием антиоксидантов [3]. Показано, что химические вещества, обладающие антиоксидантной активностью, способствуют профилактике ряда серьезных заболеваний человека [8]. В настоящее время содержание антиоксидантов достаточно исследовано в разнообразных овощах и фруктах [6], но изучению этих важных химических соединений в зерне ячменя посвящено сегодня лишь небольшое количество работ [1, 7]. При этом сведений о влиянии на содержание антиоксидантов в зерне ячменя погодных и климатических факторов, а также информации о связи содержания этих химических веществ с показателями продуктивности в литературе чрезвычайно мало [2, 4].

Цель исследования: определение связи между суммарным содержанием антиоксидантов в зерне сибирских сортов ячменя и их продукционными характеристиками в различных условиях выращивания.

Объект и методы исследования. В качестве объектов исследования использовали 4 пленчатых и 1 голозерный сорт ячменя: Ача, Биом, Буян, Красноярский 91 и Омский голозерный 1. Эксперименты проводили в 2015–2017 гг. на опытных полях, расположенных в следующих географических пунктах: ГСУ в Бейском районе и ГСУ в Ширинском районе (Республика Хакасия), ГСУ в Краснотуранском районе (Красноярский край).

Агрометеорологические условия в Бейском районе по годам были схожи: 2015 и 2016 гг. – увлажненные (ГТК – 1,39 и 1,44 соответственно), а 2017 г. – избыточно влажный (ГТК – 2,06). Аналогичная картина наблюдалась и на других участках исследования: 2017 г. был более увлажненным в сравнении с 2015 и 2016 гг. Так, для Ширинского района значения ГТК составили 2,16, а для Краснотуранского – 1,98. В 2015 г. в районах исследования ГТК имели значения 1,15 и 1,37; в 2016 г. – 1,36 и 1,12 соответственно.

Для определения суммарного содержания антиоксидантов (ССА) в зерне овса производили экстрагирование проб двумя элюентами – горячей бидистиллированной водой или 70 %-м этиловым спиртом. Измерение величины ССА в пробах овса выполняли с помощью прибора

«Цвет Яуза-01-АА» [4, 5]. В качестве образца сравнения использовали галловую кислоту. Повторность измерения – трехкратная.

Для каждого сорта ячменя вычисляли продолжительность вегетационного периода и величину урожайности, определяли массу 1000 зерен. Повторность определения каждого показателя – двукратная.

Статистическую обработку полученных данных проводили общепринятыми методами с помощью стандартных компьютерных программ Microsoft Excel 2003. Достоверность результатов оценивали по t-критерию Стьюдента при $p \leq 0,05$.

Результаты исследования и их обсуждение. В работе были определены величины ССА

в зерне образцов ячменя, выращиваемых в условиях Красноярского края и Республики Хакасия. Применяемые два метода экстракции при измерении ССА в зерне показали практически одинаковые результаты (табл. 1). Усредненные за 3 года значения коэффициентов корреляции между уровнями ССА, измеренными после экстракции водой, и уровнями ССА, измеренными после экстракции спиртом, для трех географических пунктов Бея, Ширы и Краснотуранск составили существенные величины: 0,999, 0,995 и 0,975 соответственно. Отметим, что содержание водорастворимых антиоксидантов в зерне при этом незначительно превышало уровни спирторастворимых антиоксидантов.

Таблица 1

Показатели продуктивности и суммарного содержания антиоксидантов (ССА) в зерне образцов ячменя, выращенных в трех географических пунктах (средние данные за 3 года)

Образец	Масса 1000 зерен, г	Длина вегетационного периода, сут	Урожайность, г/м ²	ССА (водорастворимые)	ССА (спирторастворимые)
1	2	3	4	5	6
Бейский район					
Ача	50,4±2,9 а*	81±4,6 а**	27,5±10,5 а	77,6±0,8 а	73,1±2,2 а
Биом	55,2±4,7 а	81,3±4,1 а	29,2±7,8 а	51,6±0,3 б	48,9±0,5 б
Буян	51,2±2,0 а	83±5,7 а	31,5±7,7 а	51,9±0,5 б	50,1±1,6 б
Красноярский 91	42,8±2,9 а	83,7±5,2 а	30,7±13,1 а	74,1±1,9 а	70,0±3,1 а
Омский голозерный 1	51,7±4,3 а	82,7±5,8 а	27,1±9,3 а	56,5±0,7 в	52,8±1,3 б
Среднее	50,3±2,0 а***	82,3±0,5 а	29,2±0,9 а	62,3±5,6 а	59,0±5,2 а
Ширинский район					
Ача	51,4±1,7 а	87,0±0,6 а	26,8±6,0 а	53,1±11,0 а	50,8±11,2 а
Биом	53,7±2,5 а	84,7±0,3 б	27,6±5,6 а	53,1±1,2 а	50,1±1,0 а
Буян	48,3±1,8 а	88,7±0,3 а	28,9±6,4 а	58,1±7,2 а	56,7±7,1 а
Красноярский 91	37,8±3,5 б	87,3±1,2 а	30,1±5,4 а	56,7±9,1 а	55,5±7,2 а
Омский голозерный 1	46,7±1,8 а	88,3±1,3 а	22,7±5,3 а	51,6±0,9 а	48,2±0,6 а
Среднее	47,6±2,7 а	87,2±0,7 б	27,2±1,1 а	54,5±1,2 а	52,3±1,6 а
Краснотуранский район					
Ача	42,7±3,2 аб	76,3±3,7 а	27,9±7,2 аб	49,1±4,6 ав	45,6±5,2 а
Биом	51,0±0,2 б	72,7±2,8 а	29,6±7,9 аб	45,2±2,5 а	46,3±1,7 а

1	2	3	4	5	6
Буян	46,9±2,2 аб	79,7±6,5 а	30,6±5,1 аб	52,7±1,7 ав	49,5±1,7 аб
Красноярский 91	42,8±1,9 а	80,3±3,2 а	40±5,4 а	70,1±2,5 б	69,3±0,6 в
Омский голозерный 1	45,2±4,2 аб	78,0±2,0 а	22,2±2,6 б	61,1±3,0 бв	60,6±6,0 бв
Среднее	45,7±1,5 а	77,4±1,4 в	30,1±2,9 а	55,0±4,0 а	54,3±4,6 а

*Средняя арифметическая величина и ошибка средней.

**Значения в строках с разными буквами различаются существенно между собой в пределах каждой колонки и каждого пункта по t-критерию при $p \leq 0,05$.

***Значения средних с разными буквами различаются существенно между собой в пределах каждой колонки по t-критерию при $p \leq 0,05$.

Из данных, представленных в таблице 1, можно видеть, что средние значения ССА в зерне ячменя, выращенного в разных географических пунктах в течение трех лет, достоверно между собой не различались. Пленчатые образцы формировали зерно с таким же уровнем ССА, что и голозерный. Среди образцов по уровню ССА в зерне существенно выделялись Красноярский 91 (Бейский и Краснотуранский ГСУ) и Ача (Бейский ГСУ). Масса 1000 зерен ячменя, выращенного в разных географических пунктах, существенно не различалась. Наименьшей продолжительностью вегетационного периода значимо отличались сорта, выращенные в Краснотуранском ГСУ. По величине урожая зерна образцы, выращенные в разных гео-

графических пунктах в течение трех лет, достоверно между собой не различались.

Результаты выполненного анализа наличия возможной связи между значениями ССА в зерне ячменя и показателями его продуктивности приведены в таблице 2. Следует подчеркнуть, что во всех случаях рассматриваемые корреляционные связи не являлись значимыми при $p \leq 0,05$. Однако в целом для трех пунктов выращивания было установлено существование средней положительной корреляционной связи между уровнем ССА в зерне ячменя с одной стороны и длиной вегетационного периода, значением урожайности – с другой, а также средней отрицательной связи между показателем ССА и величиной массы 1000 зерен.

Таблица 2

Коэффициенты корреляции между суммарным содержанием антиоксидантов (ССА) в зерне образцов ячменя и показателями их продуктивности при выращивании в разных географических пунктах (средние данные за 3 года)

Сортоучасток	Коэффициент корреляции между ССА и показателями продуктивности		
	Масса 1000 зерен	Длина вегетационного периода	Урожайность
Бейский	-0,686/-0,696*	-0,040/-0,028	-0,207/-0,167
Ширинский	-0,452/-0,490	0,362/0,359	0,824/0,846
Краснотуранский	-0,611/-0,484	0,787/0,660	0,381/0,449
Среднее	-0,583/-0,553	0,370/0,330	0,333/0,376

*Числитель – значение ССА измерено при экстракции дистиллированной водой; знаменатель – значение ССА измерено при экстракции этанолом.

Результаты выполненного анализа зависимости уровней ССА в зерне от генотипа и погодных условий выращивания ячменя (сравне-

ние между разными годами) представлены в таблице 3. Можно видеть наличие сильной и средней положительной корреляционной связи

между ССА в зерне ячменя по годам выращивания в двух географических пунктах: Бейском и Краснотуранском ГСУ. Для первого она подтверждена статистически. Что касается полученных результатов для Ширинского ГСУ, то

погодные условия, складывающиеся в разные годы выращивания ячменя, не позволили установить однозначное влияние генотипа на уровень ССА в зерне.

Таблица 3

Коэффициенты корреляции между уровнями ССА у образцов ячменя, выращенных в разные годы в трех географических пунктах

Сортоучасток	Показатель	Коэффициент корреляции между ССА по годам		
		2015–2016	2015–2017	2016–2017
Бейский	ССА, бидистиллят	0,997*	0,969*	0,984*
	ССА, 70 % спирт	0,952*	0,978*	0,988*
Ширинский	ССА, бидистиллят	-0,767	0,925*	-0,679
	ССА, 70 % спирт	-0,558	-0,503	0,974*
Краснотуранский	ССА, бидистиллят	0,905*	0,750	0,848
	ССА, 70 % спирт	0,682	0,625	0,985*
Среднее по пунктам	ССА, бидистиллят	0,378	0,881*	0,384
	ССА, 70 % спирт	0,359	0,367	0,982*

*Корреляционная связь существенна при $p \leq 0,05$.

Все же полученные данные, вероятно, могут свидетельствовать о наличии тенденции сохранения ранжирования сортов по значению ССА в зерне в разные годы, но в одном месте выращивания. Поэтому можно предположить, что величину ССА в зерне ячменя главным образом

определяет генотип, а не географический пункт. Следовательно, успешная селекция рассматриваемой сельскохозяйственной культуры на повышенный уровень ССА в зерне, вероятно, возможна.

Таблица 4

Коэффициенты корреляции между уровнями ССА у образцов ячменя, выращенных в различных географических пунктах в разные годы

Год	Показатель	Коэффициент корреляции между ССА по госсортоучасткам		
		Бея – Шири	Шири – Краснотуранск	Бея – Краснотуранск
2015	ССА, бидистиллят	0,683	0,280	0,138
	ССА, 70 % спирт	0,555	-0,041	-0,061
2016	ССА, бидистиллят	-0,970*	-0,181	0,334
	ССА, 70 % спирт	-0,735	0,158	0,274
2017	ССА, бидистиллят	-0,752	-0,330	0,327
	ССА, 70 % спирт	-0,720	-0,075	0,351
Среднее по годам	ССА, бидистиллят	-0,346	-0,077	0,266
	ССА, 70 % спирт	-0,300	0,042	0,188

*Корреляционная связь существенна при $p \leq 0,05$.

Результаты выполненного анализа зависимости уровней ССА в зерне от генотипа и кли-

матических условий выращивания ячменя (сравнение между различными географическими

пунктами) приведены в таблице 4. Можно видеть отсутствие достоверных связей между этими биохимическими показателями в разных условиях среды. Данный факт, по-видимому, может свидетельствовать в пользу того, что при выращивании ячменя в разных географических пунктах уровень ССА у всех сортов изменялся непропорционально, и ранжирование сортов по рассматриваемому качественному признаку зерна заметно нарушалось.

Заключение. Таким образом, используемые в работе методы экстракции при помощи бидистиллированной воды или 70 %-го этанола показали практически одинаковые результаты измерения ССА в зерне у образцов ячменя, выращенного в течение трех лет в разных географических пунктах Красноярского края и Республики Хакасия: Краснотуранском, Бейском и Ширинском ГСУ. Средние значения ССА в зерне ячменя, выращенного в разных географических пунктах в течение трех лет, достоверно между собой не различались. Пленчатые образцы формировали зерно с таким же уровнем ССА, что и голозерный. Среди образцов по величине ССА в зерне существенно выделялись Красноярский 91 (Бейский и Краснотуранский ГСУ) и Ача (Бейский ГСУ). Не было доказано статистически существование зависимости уровня ССА в зерне от продукционных характеристик ячменя. Однако в целом для трех пунктов выращивания было установлено наличие средней положительной корреляционной связи между уровнем ССА в зерне ячменя с одной стороны и длиной вегетационного периода, значением урожайности – с другой, а также средней отрицательной связи между показателем ССА и величиной массы 1000 зерен. Показано наличие тенденции сохранения ранжирования сортов по значению ССА в зерне в разные годы, но в одном месте выращивания. Предположено, что величину ССА в зерне ячменя главным образом определяет генотип, а не географический пункт выращивания. В случае выращивания ячменя в разных местах значение ССА у всех сортов изменялось непропорционально, и их ранжирование по указанному качественному признаку заметно изменялось.

Литература

1. Полонский В.И., Сумина А.В., Шалдаева Т.М. Зависимость суммарного содержания антиоксидантов в зерне ячменя и овса сибирской селекции от условий выращивания // Вестн. КрасГАУ. – 2016. – № 9. – С. 72–81.
2. Полонский В.И., Сумина А.В., Шалдаева Т.М. Суммарное содержание природных антиоксидантов в зерне ячменя в различных условиях выращивания // Вестн. КрасГАУ. – 2017. – № 12. – С. 21–29.
3. Полонский В.И., Лоскутов И.Г., Сумина А.В. Селекция на содержание антиоксидантов в зерне как перспективное направление для получения продуктов здорового питания // Вавиловский журнал генетики и селекции. – 2018. – Т. 22, № 3. – С. 343–352.
4. 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.
5. 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.
6. Calado J.C.P. et al. Flavonoid Contents and Antioxidant Activity in Fruit, Vegetables and Other Types of Food // Agricultural Sciences. – 2015. – Vol. 6. – № 2. – P. 426–435.
7. Dykes L., Rooney L.W. Phenolic Compounds in Cereal Grains and Their Health Benefits // Cereal Foods of World. – 2007. – Vol. 32, № 1. – P. 105–111.
8. Hurtado-Fernández E. et al. Application and potential of capillary electroseparation methods to determine antioxidant phenolic compounds from plant food material // Journal of Pharm. Biomed. Anal. – 2010. – Vol. 53, № 5. – P. 1130–1160.

Literatura

1. Polonskij V.I., Sumina A.V., Shaldaeva T.M. Zavisimost' summarnogo soderzhaniya antioksidantov v zerne jachmenja i ovsa sibirskoj selekcii ot uslovij vyrashhivanija // Vestn. KrasGAU. – 2016. – № 9. – S. 72–81.

2. *Polonskij V.I., Sumina A.V., Shaldaeva T.M.* Summarnoe sodержanie prirodnyh antioksidantov v zerne jachmenja v razlichnyh uslovijah vyrashhivanija // *Vestn. KrasGAU.* – 2017. – № 12. – S. 21–29.
3. *Polonskij V.I., Loskutov I.G., Sumina A.V.* Selekcija na sodержanie antioksidantov v zerne kak perspektivnoe napravlenie dlja poluchenija produktov zdorovogo pitanija // *Vavilovskij zhurnal genetiki i selekcii.* – 2018. – T. 22, № 3. – S. 343–352.
4. *Fedina P.A., Jashin A.Ja., Chernousova N.I.* Opredelenie antioksidantov v produktah rastitel'nogo proishozhdenija amperometričeskim metodom // *Himija rastitel'nogo syr'ja.* – 2010. – № 2. – S. 91–97.
5. *Jashin A.Ja., Jashin Ja.N., Fedina P.A. i dr.* Opredelenie prirodnyh antioksidantov v pishhevyh zlakah i bobovyh kul'turah // *Analitika.* – 2012. – № 1. – S. 32–36.
6. *Calado J.C.P. et al.* Flavonoid Contents and Antioxidant Activity in Fruit, Vegetables and Other Types of Food // *Agricultural Sciences.* – 2015. – Vol. 6. – № 2. – P. 426–435.
7. *Dykes L., Rooney L.W.* Phenolic Compounds in Cereal Grains and Their Health Benefits // *Cereal Foods of World.* – 2007. – Vol. 32, № 1. – P. 105–111.
8. *Hurtado-Fernández E. et al.* Application and potential of capillary electroseparation methods to determine antioxidant phenolic compounds from plant food material // *Journal of Pharm. Biomed. Anal.* – 2010. – Vol. 53, № 5. – P. 1130–1160.

