

УДК 631.95 :631.52

## ВАРЬИРОВАННИЕ СУММАРНОГО СОДЕРЖАНИЯ АНТИОКСИДАНТОВ В ЗЕРНЕ ОВСА И ЯЧМЕНЯ, ВЫРАЩЕННОГО В УСЛОВИЯХ МЕЖГОРНЫХ КОТЛОВИН

<sup>1</sup>Полонский В.И., <sup>2</sup>Сумина А.В., <sup>2</sup>Павлова Е.В., <sup>3</sup>Шалдаева Т.М.

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет»,  
Красноярск., Россия, e-mail: vadim.polonskiy@mail.ru;

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Хакасский государственный университет им. Н.Ф.Катанова»,  
Абакан, e-mail: alenasumina@list.ru;

<sup>3</sup>Центральный Сибирский ботанический сад, Новосибирск, e-mail: tshaldaeva@yandex.ru

Красноярский край и Республика Хакасия – развитые сельскохозяйственные регионы Восточной Сибири, где часть территорий расположена в межгорных котловинах. Овес и ячмень на этой территории входят в число основных зернофуражных культур. Антиоксиданты, содержащиеся в зерне данных культур, являются основными составляющими функционального питания современного человека, а также показателем стрессоустойчивости растения. В результате исследования проведена оценка суммарного содержания антиоксидантов (ССА) в зерне пленчатого и голозерного ячменя и овса, выращенного в трех географических точках, расположенных в межгорных котловинах. С помощью двухфакторного дисперсионного анализа установлено, что значение ССА варьировало как от генотипа сорта, так и от пункта выращивания. Выявлено, что средние значения ССА при экстрагировании бидистиллированной горячей водой значительно выше, чем при использовании 70% этилового спирта. Сделано предположение о том, что показатель ССА может служить эффективным критерием при селекции ячменя и овса на высокое содержание антиоксидантов.

**Ключевые слова:** Хакасия, Красноярский край, Южно-Минусинская котловина, зерно, овес, ячмень, антиоксиданты, генотип, котловинные условия выращивания

## VARIATION IN THE TOTAL ANTIOXIDANT CONTENT IN OAT GRAINS AND BARLEY GROWN UNDER THE INTERMOUNTAIN BASIN

<sup>1</sup>Polonskiy V.I., <sup>2</sup>Sumina A.V., <sup>2</sup>Pavlova E.V., <sup>3</sup>Shaldaeva T.M.

<sup>1</sup>Krasnoyarsk State Agricultural University, Krasnoyarsk, e-mail: vadim.polonskiy@mail.ru;

<sup>2</sup>Khakassia State University N.F. Katanov, Abakan, e-mail: alenasumina@list.ru;

<sup>3</sup>Central Siberian Botanical Garden, Novosibirsk, e-mail: tshaldaeva@yandex.ru

Krasnoyarsk Territory and the Republic of Khakassia – developed agricultural regions of Eastern Siberia, where part of the territory is located in the intermountain basins. Oats and barley in the area, are among the main forage kultur. Antioxidants contained in the grain of these crops are the main components of functional food of modern man, as well as an indicator of stress plants. The study evaluated the total content of antioxidants (PAS) in the grain of filmly and naked barley and oats grown in three geographical areas located in the intermountain basins. With two-factor analysis of variance revealed that the value of CCA ranged from a genotype varieties, and the cultivation of the village. It was found that the average value of the PAS in the extraction bidistillirovannoy hot water is much higher than when using 70% ethanol. It is suggested that the CCA rate can serve as an effective criterion for the selection of barley and oats on the high content of antioxidants.

**Keywords:** Khakassia, Krasnoyarsk territory, South Minusinsk basin, grain, oats, barley, antioxidants, genotype, growing conditions of the basin

Климатические условия Сибири часто не соответствуют требованиям зерновых культур в период налива и созревания семян. Континентальный климат, а именно резкие отклонения в температурном режиме и количестве осадков, ведет к изменению химических показателей качества зерна [5]. По мнению А.И. Воейкова [4], «континентальность» является климатической особенностью межгорных котловин, которым присуща орографическая изолированность и образование барьерной тени.

Большая часть Республики Хакасия и Юга Красноярского края географически расположены на территории Минусинского межгорного прогиба, который

ограничен Западным, Восточным Саянами и Кузнецким Алатау [6]. Основные черты орографии данного района связаны с её структурно-геологическими особенностями. По характеру рельефа, истории развития, структурному плану в пределах Минусинского межгорного прогиба выделены Назаровская, Северо-, Средне- и Южно-Минусинские котловины, расположенные на разных гипсометрических уровнях (от 400 до 600 м) и имеющие вид овалов, вытянутых в субширотном направлении [10]. Кроме того для них характерны эрозионно-аккумулятивный

и эрозионно-денудационный равнинные рельефы озерных котловин [7], что в совокупности выступает ограничивающим фактором при организации и ведении сельского хозяйства.

Как известно, в сельскохозяйственных районах, с резко изменяющимися климатическими условиями в период вегетации, очень важно владеть информацией о влиянии факторов окружающей среды и их взаимодействии на показатели качества зерна. Основные затруднения возникают при определении природы изменчивости признаков, так как они в большой степени подвержены модифицирующему влиянию условий среды. Доля наследуемого или генетического компонента, как и доля компонента, обусловленного средой, различна для любого изучаемого признака [8].

Взаимодействие генотип × среда определяется как доля фенотипической вариации, которая возникает из-за несоответствия генетических и негенетических эффектов. При этом чем ниже доля генотип-средового взаимодействия, тем стабильнее показатели качества зерна [2]. Наряду с этим, низкий вклад взаимодействия факторов дает основание утверждать, что изучаемые факторы в значительной степени не влияют на действие друг друга [8].

На сегодняшний день различные аспекты содержания антиоксидантов в растительном сырье интересуют многих исследователей [3, 11, 14–17]. Объяснить данный факт можно с двух точек зрения. Во-первых, это связано с потребительским интересом к контролю и профилактике хронических заболеваний путем улучшения рациона питания современного человека за счет включения в состав пищевых продуктов растительных антиоксидантов [16]. Например, цельные зерна злаков содержат широкий спектр биологически активных компонентов с антиоксидантным действием [3]. Во-вторых, некоторые авторы утверждают о наличии прямой взаимосвязи содержания антиоксидантов в зерне с всхожестью и устойчивостью растений к различным заболеваниям [9, 12, 13, 18, 19]. Так, при изучении 11 сортов мягкой красной озимой пшеницы, выращенной в США, на общее содержание фенольных веществ установлено, что устойчивые к фузариозу сорта пшеницы имели высокую антирадикальную активность [3]. Кроме того, в литературе имеются данные по изучению раз-

личных сельскохозяйственных культур, где экспериментально доказано, что от уровня накопления низкомолекулярных антиоксидантов (аскорбиновая кислота и глутатион) зависит устойчивость растений к различным видам стрессоров, таким как загрязнение почвы тяжелыми металлами [15], радиация [13], засуха и засоление [12]. Наряду с этим АО обеспечивают качество семян в процессе хранения и лучшую всхожесть, даже в условиях недостатка влаги [9]. Данный факт исследователи связывают с тем, что при повышении метаболических процессов в клетках прорастающих семян наблюдается образование активных форм кислорода, защита от которых осуществляется за счет использования высокоактивной системы в составе низко- и высокомолекулярных соединений.

С целью изучения влияния генотипа и условий выращивания на суммарное содержание антиоксидантов в зерне овса и ячменя были проведены исследования на территории Северо-Минусинской (Ширинский район Республики Хакасия), Южно-Минусинской (Бейский район Республики Хакасия) и Средне-Минусинской (Красноярский район Красноярского края) котловин.

#### Материалы и методы исследования

В качестве объекта исследования использовали 5 образцов ярового пленчатого и голозерного (Ача, Биом, Буян, Красноярский 91, Омский голозерный 1) ячменя (*Hordeum vulgare* L.) и 5 образцов (Аргумент, Голец, Саян, Сельма, Тубинский) овса (*Avena sativa* L.). Растения были выращены в 2015 году по паровому предшественнику на «Бейском» и «Ширинском» ГСУ Республики Хакасия и Красноярске ГСУ (Красноярский край). Семенной материал был любезно предоставлен сотрудниками учреждений.

Исходя из картографических данных, предоставленных Комитетом по земельным ресурсам и землеустройству Республики Хакасия, почва в районах исследования представлена черноземом обыкновенным.

Метеорологические условия пунктов исследования имели как общие черты, так и различия по обеспеченности осадками и режимам среднесуточных температур (рис. 1, 2).

Можно видеть, что значения средней температуры воздуха за вегетационный период 2015 года на территории Красноярска ГСУ были существенно выше, чем в других пунктах исследования. В Бейском и Ширинском районах вышеуказанный параметр имел практически равные значения.

Осадки в мае 2015 года равномерно распределились между II и III декадами по всем пунктам изучения. В Бейском и Ширинском ГСУ более половины июньских месячных осадков пришлось на I декаду, а Красноярске – вторую. Самым увлажненным месяцем во всех пунктах исследования был июль, при этом наибольшее количество осадков зарегистрировано на территории Бейского ГСУ. В августе основная часть осадков пришла на II и III декаду.

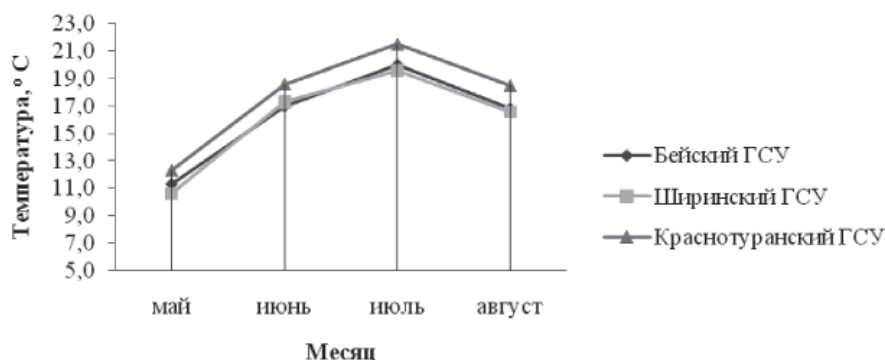


Рис. 1. Средняя температура воздуха за вегетационный период 2015 года по пунктам исследования (°C)

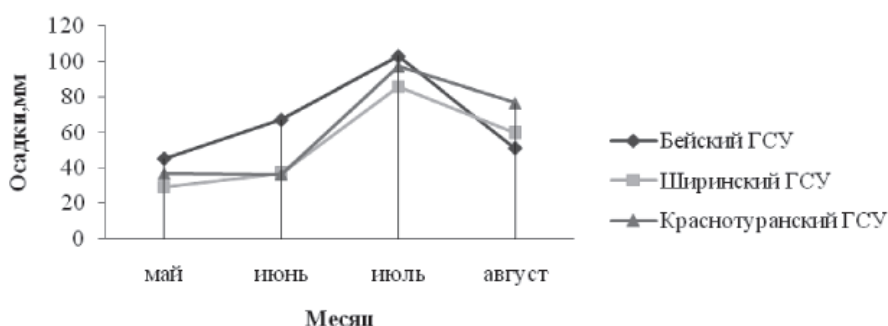


Рис. 2. Сумма осадков за вегетационный период 2015 года по пунктам исследования (мм)

Определение суммарного содержания антиоксидантов (ССА) в пробах ячменя и овса проводилось с помощью прибора «Цвет Яуза-01-АА», который фиксирует изменение 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 природных антиоксидантов фенольного типа. Экстрагирование проб производили двумя элюентами – горячей бидистиллированной водой и этиловым спиртом в концентрации 70 %.

Статистическая обработка результатов была выполнена с помощью программы обработки данных полевого опыта Field Expert v1.3 Pro [1] и Microsoft Excel 2003.

### Результаты исследования и их обсуждение

При изучении суммарного содержания антиоксидантов (ССА) в зерне ячменя, выращенного в трех пунктах в 2015 году, было установлено, что значения данного показателя находились в интервале от 35,2 (Ача, Краснотуранский ГСУ) до 77,5 (Ача, Бейский ГСУ) мг/100 г. Средние значения ССА зерна ячменя при использовании в качестве растворителя бидистиллированной воды для Бейского, Ширинского и Краснотуранского ГСУ имели значения 61,6; 65,3; 49,7 мг/100 г соответственно. При использовании элюентом 70 % этиловый спирт для

вышеуказанных участков значения соответствовали 57,7; 62,1; 47,8 мг/100 г. Можно видеть, что максимальное содержание антиоксидантов в зерне ячменя (независимо от элюента) зарегистрировано в Ширинском районе, минимальное – Краснотуранском. Кроме того, средние значения ССА при экстрагировании бидистиллированной горячей водой значительно выше, чем при использовании 70% этилового спирта (58,8 и 55,8 мг/100 г), что свидетельствует о водорастворимой природе содержащихся антиоксидантов.

С помощью пакета анализа программ Field Expert v1.3 Pro, который служит для статистической обработки данных методами дисперсионного анализа, были проведены расчеты по выяснению доли влияния факторов среды и генотипа на ССА в зерне ячменя и овса (табл. 1).

Табл. 1 иллюстрирует данные генотип-средового влияния на значения ССА (элюент горячая бидистиллированная вода) зерен ячменя, выращенного в течение исследуемого периода в трех пунктах. Можно отметить, что этот параметр практически равнозначно зависит от пункта (43,6%) и генотипа (41,3%). Взаимодействие вышеуказанных факторов составляет 15,2%.

**Таблица 1**

Результаты двухфакторного дисперсионного анализа влияния факторов (пункт×генотип) на показатель ССА (элюент горячая бидистиллированная вода) в зерне ячменя

Дисперсия	Сумма квадрат.	Степени свободы	Средний квадрат	Вклад факторов в %	$F_{\phi}$	$F_{0,5}$
Общая	9172,2	59	–	–	–	–
Повторений	1,2	3	–	–	–	–
Пункт	2133,2	2	1066,6	43,6	1501,4	3,22
Генотип	4040,7	4	1010,2	41,3	1421,17	2,6
Пункт и Генотип	2967,3	8	370,9	15,2	522,1	2,17
Остатка (ошибки)	29,8	42	0,7	–	–	–

**Таблица 2**

Результаты двухфакторного дисперсионного анализа влияния факторов (пункт×генотип) на показатель ССА (элюент 70% этиловый спирт) в зерне ячменя

Дисперсия	Сумма квадрат.	Степени свободы	Средний квадрат	Вклад факторов в %	$F_{\phi}$	$F_{0,5}$
Общая	8323,9	59	–	–	–	–
Повторений	0,7	3	–	–	–	–
Пункт	1629,8	2	814,9	40,6	1517,1	3,22
Генотип	2880,9	4	720,2	35,9	1340,8	2,6
Пункт и Генотип	3789,9	8	473,7	23,6	881,9	2,17
Остатка (ошибки)	22,6	42	0,5	–	–	–

С помощью двухфакторного дисперсионного анализа, было установлено (табл. 2), что содержание антиоксидантов в зерне ячменя (элюент 70% этиловый спирт), выращенного в 2015 году, в большей степени (40,6%) определяется пунктом выращивания, далее по степени влияния располагаются «генотип» и взаимодействие «пункт × генотип», на долю которых приходится 35,9 и 23,6% соответственно. Из этого можно заключить, что при сопоставлении влияния факторов «генотип» и «пункт» на ССА в зерне оказывают практически равнозначное влияние.

Суммарное содержание антиоксидантов в зерне овса при употреблении в качестве растворителя горячей бидистиллированной воды имело среднее значение 41,6 мг/100 г, а при элюенте этиловом спирте – 40,8 мг/100 г. При этом средние зна-

чения ССА зерна овса при использовании первого элюента для Бейского, Ширинского и Краснотуранского ГСУ имели значения 41,3; 40,8; 42,7 мг/100 г соответственно. При применении 70% этилового спирта для вышеуказанных участков значения соответствовали 41,1; 40,4; 40,8 мг/100 г. По всем образцам зерна овса значения данного показателя находились в интервале от 29,9 (Тубинский, Бейский ГСУ) до 52,8 (Саян, Ширинский ГСУ) мг/100 г. Можно видеть, что максимальное содержание антиоксидантов в зерне овса (в зависимости от элюента) зарегистрировано в Краснотуранском и Бейском районе, минимальное – в Ширинском. Кроме того, средние значения ССА при экстрагировании бидистиллированной горячей водой были немного выше, чем при использовании 70% этилового спирта.

**Таблица 3**

Результаты двухфакторного дисперсионного анализа влияния факторов (пункт×генотип) на показатель ССА (элюент горячая бидистиллированная вода) в зерне овса

Дисперсия	Сумма квадрат.	Степени свободы	Средний квадрат	Вклад факторов в %	$F_{\phi}$	$F_{0,5}$
Общая	2564,9	59	–	–	–	–
Повторений	1	3	–	–	–	–
Пункт	40,1	2	20,0	3,8	31,2	3,22
Генотип	1508,1	4	377,0	72,4	587,7	2,6
Пункт и Генотип	988,8	8	123,6	23,7	192,6	2,17
Остатка (ошибки)	26,9	42	0,6	–	–	–

Таблица 4

Результаты двухфакторного дисперсионного анализа влияния факторов (пункт×генотип) на показатель ССА (элюент 70% этиловый спирт) в зерне овса

Дисперсия	Сумма квадрат.	Степени свободы	Средний квадрат	Вклад факторов в %	$F_{\phi}$	$F_{0,5}$
Общая	2484,2	59	–	–	–	–
Повторений	4,5	3	–	–	–	–
Пункт	7,4	2	3,7	0,7	7,1	3,22
Генотип	1689,3	4	422,3	81	817,3	2,6
Пункт и Генотип	761,3	8	95,2	18,3	184,2	2,17
Остатка (ошибки)	21,7	42	0,5	–	–	–

При использовании двухфакторного дисперсионного анализа было установлено (табл. 3), что содержание антиоксидантов в зерне овса (элюент горячая бидистиллированная вода), выращенного в 2015 году, в большей степени (72,4%) определяется генотипом, далее по степени влияния располагаются взаимодействие «пункт × генотип» и «пункт», на долю которых приходится 23,7 и 3,8% соответственно. Из чего можно заключить, что для исследуемых образцов большое значение при определении образцов с высоким содержанием антиоксидантов в зерне имеет генотип.

Практически схожие результаты были получены при использовании в качестве растворителя 70% этилового спирта (табл. 4). Основной вклад в формирование ССА внес генотип, что численно составляет 72,4%. В наименьшей степени данный параметр зависел от территории выращивания (3,8%). На долю взаимодействия «пункт × генотип» приходилось 23,7%. Исходя из полученных данных, можно заключить, что основной вклад в формирование исследуемого показателя оказывает генотип овса.

Таким образом, можно заключить, что на суммарное содержание антиоксидантов в зерне овса и ячменя, выращенного в трех географических пунктах, объединенных расположенностью в межгорных котловинах, в большой степени оказывает влияние сорт, особенно для овса. В случае с ячменем вклад фактора «генотип» имеет практически равные значения с «пун-

ктом». Величина признака ССА у исследуемых сортов овса имела значения 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. Оценка сортов изученных нами сельскохозяйственных культур по признаку ССА позволяет выделить популяции, существенно различающиеся по антиоксидантной активности, а целенаправленная селекция по этому показателю – усилить антиокислительный потенциал у овса и ячменя и сделать данные зерновые культуры более стрессоустойчивыми и полезными для питания людей.

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

#### Список литературы

1. Акимов Д.Н. Обработка экспериментальных данных полевого опыта с помощью пакета программ Field Expert // Фестиваль исследовательских и творческих работ учащихся «Портфолио» [Электронный ресурс]. – 2-й электрон.опт. диск (DVD). – Сист. требования: 8,7 Гб. Данный электрон.ресурс – прилож. к кн.: Фестиваль исследовательских и творческих работ учащихся «Портфолио»: в 2 кн. Кн. 2: Сборник описаний работ. – 2006/2007 учебный год. – 719 с.
2. Анисков Н.И. Технологическая адаптивность сортов голозерного и пленчатого ячменя в условиях Западной Сибири // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2008. – № 1. – С. 36–40.
3. Бординова В.П. Антиоксидантные свойства зерна ячменя, овса, сорго, риса и продуктов их переработки / В.П. Бординова, И.В. Макарова // Известия вузов. Пищевая технология. – 2011. – № 5–6. – С. 5–7.
4. Воейков А.И. Климаты земного шара, в особенности России. – СПб., 1884. – 641 с.
5. Галачалова З.Н. Некоторые причины физиологической неполноценности семян зерновых культур в Западной

- Сибири / З.Н. Галачалова, В.В. Кунгурцева, Т.М. Марусина, Г.А. Махоткина. – М.: Наука, 1967. – С. 49–51.
6. Градобоев Н.Д. Природные условия и почвенный покров левобережной части Минусинской впадины // Почвы Минусинской впадины. – М.: 1954. – С. 7–183.
7. Зяцькова, Л.К. Структурная геоморфология Алтае-Саянской горной области. – Новосибирск: Наука, 1977. – 214 с.
8. Кадычegov А.Н. Взаимодействие «генотип-среда»: учебное пособие для студентов. – Абакан: Хакасский государственный университет им. Н.Ф. Катанова, 1998. – 28 с.
9. Ковалёва О.Н. Экофизиологическое влияние на содержание низкомолекулярных антиоксидантов в сухих семенах ярового ячменя [электронный ресурс]. – URL: <http://ej.kubagro.ru/2011/06/pdf/14.pdf> Дата обращения 20.06.16.
10. Лучицкий И.В. Вулканизм и тектоника девонских впадин Минусинского прогиба. – М.: АН СССР, 1960. – 276 с.
11. Broeck H.C. Profiling of Nutritional and Health-Related Compounds in Oat Varieties / H.C. Broeck, D.M. Londono, R. Timmer et al. // *Foods*. – 2016. – Vol. 5. – № 2. – P. 1–11.
12. Esfandiari E., Shakiba M.R., Mahboob S.A., Alyari H., Shahabivand S. The Effect of Water Stress on the Antioxidant Content, Protective Enzyme Activities, Proline Content and Lipid Peroxidation in Wheat Seedling // *Pakistan Journal of Biological Sciences*. – 2008. – Vol 11. – № 15. – P. 1916–1922.
13. Horemans, N. Transport and action of ascorbate at the plant plasma membrane / N. Horemans, C.H. Foyer, H. Asard // *Trends in Plant Science*. – 2000. – Vol. 5. – № 6. – P. 263–267.
14. Li W. An evaluation of the antioxidant properties and aroma quality of infant cereals/W. Li, J.Friel, T. Beta // *Food Chemistry*. – 2010. – Vol. 121. – № 4. – P. 1095–1102.
15. Martinia D. Variation of total antioxidant activity and of phenolic acid, total phenolics and yellow coloured pigments in durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. durum) as a function of genotype, crop year and growing area /D. Martinia, F. Taddei, R. Ciccorittiet al. // *Journal of Cereal Science*. – 2015. – Vol. 65. – № 1. – P.175–185.
16. Masisi K. Antioxidant properties of diverse cereal grains: A review on in vitro and in vivo studies / K. Masisi, T. Beta, M.H. Moghadasian // *Food Chemistry*. – 2016. – Vol. 196. – № 1. – P. 90–97.
17. Zilic S. Antioxidant activity of small grain cereals caused by phenolics and lipid soluble antioxidants / S. Zilic, V.H. Sukalovic, D. Dodiget al. // *Journal of Cereal Science*. – 2011. – Vol. 54. – № 3. – P. 417–424.
18. Joseph B. Development of Salt Stress-tolerant Plants by Gene Manipulation of Antioxidant Enzymes / B. Joseph, D. Jini // *Asian Journal of Agricultural Research*. – 2011. – Vol. 5. – № 1. – P. 17–27.
19. Smirnov, N. Ascorbic acid: metabolism and functions of a multi faceted molecule // *Current Opinion in Plant Biology*. – 2000. – Vol. 3. – P. 229–235.