

## Оценка образцов ячменя по содержанию антиоксидантов в зерне в условиях Восточной Сибири

Вадим И. Полонский<sup>1,3</sup>[vadim.polonskiy@mail.ru](mailto:vadim.polonskiy@mail.ru) 0000-0002-7183-0912Алена В. Сумина<sup>2,1</sup>[alenasumina@list.ru](mailto:alenasumina@list.ru) 0000-0002-0466-6833

1 Красноярский государственный аграрный университет, пр.-т Мира, 90, г. Красноярск 660049, Россия

2 Хакасский государственный университет им. Н.Ф. Катанова, ул. Ленина, 90, г. Абакан, 655017, Россия

3 Сибирский федеральный университет, пр-т Свободный, 79, г. Красноярск, 660041, Россия

**Аннотация.** Целью исследования является определение адаптивного потенциала образцов ячменя по суммарному содержанию антиоксидантов (ССА) в зерне и массе 1000 зерен, а также анализ связи между этими признаками ячменя с одной стороны и показателями адаптивности образцов по ним с другой. Объектом исследования выступали 10 образцов пленчатого ячменя, которые были выращены в условиях Восточной Сибири в трех экологических пунктах: Красноярский край, Республика Хакасия и Республика Тыва. Значения ГТК по этим пунктам соответственно составляли: 1,50, 1,25, 0,93. У образцов ячменя определяли величину ССА на приборе «Цвет Яуза-01-АА», в качестве образца сравнения использовали галловую кислоту. По указанным двум признакам образцов ячменя вычисляли 5 показателей их адаптивности: коэффициент экологической вариации  $C_v$ , показатель стрессоустойчивости  $d$ , параметр гомеостатичности  $Hom$ , показатель уровня и стабильности сорта ПУСС, параметр селекционной ценности сорта  $C_s$ . Найдено, что наибольший уровень ССА в зерне был характерен для образцов Уватский и Ача. По крупности зерна положительно выделились образцы Биом и Абалак. Показано, что оптимальные значения параметров адаптивности и их наименьшая сумма рангов по величине ССА в зерне были характерны для образцов Ача и Биом, а таковые по массе 1000 зерен были отмечены у одного и того же образца ячменя Такмак. Найдено, что связь между средними значениями ССА в зерне образцов ячменя и показателями их стабильности ПУСС и  $C_s$  по данному признаку была положительной и существенной. Статистически доказано наличие положительной связи между средней величиной массы 1000 зерен и параметром стабильности  $C_s$  по указанному признаку. Продемонстрированный результат может свидетельствовать о том, что при отборе образцов ячменя на повышенное значение ССА в зерне стабильность проявления этого признака в разных условиях выращивания, вероятно, будет расти.

**Ключевые слова:** *Hordeum vulgare* L., оценка, пластичность, стабильность, содержание антиоксидантов

## Evaluation of barley accessions on the content of antioxidants in grain in the conditions of Eastern Siberia

Vadim I. Polonskiy<sup>1,3</sup>[vadim.polonskiy@mail.ru](mailto:vadim.polonskiy@mail.ru) 0000-0002-7183-0912Alena V. Sumina<sup>2,1</sup>[alenasumina@list.ru](mailto:alenasumina@list.ru) 0000-0002-0466-6833

1 Krasnoyarsk State Agrarian University, Mira ave., 90, Krasnoyarsk, 660049, Russia

2 Khakass State University, Lenina st., 90, Abakan, 655017, Russia

3 Siberian Federal University, Svobodnyy ave., 79, Krasnoyarsk, 660041, Russia

**Abstract.** The aim of the study is to determine the adaptive potential of barley accessions by the total antioxidant content (TAC) in the grain and 1000 grain weight, as well as to analyze the relationship between these traits of barley, on the one hand, and the adaptability indicators of accessions for them, on the other. The object of the study was 10 accessions of hulled barley, which were grown under the conditions of Eastern Siberia in three ecological points: Krasnoyarsk Territory, Republic of Khakassia and Republic of Tyva. The HTC values for these items were respectively: 1.50, 1.25, 0.93. In barley accessions, the TAC value was determined using the Tsvet Yauza-01-AA device; gallic acid was used as a reference sample. According to these two traits of barley accessions, 5 indicators of their adaptability were calculated: the coefficient of ecological variation  $C_v$ , the stress resistance index  $d$ , the homeostatic parameter  $Hom$ , the indicator of the level and stability of the variety PUSS, the parameter of the selection value of the variety  $C_s$ . It was found that the highest level of TAC in the grain was characteristic of the Uvatsky and Acha accessions. Biom and Abalak accessions positively stood out in terms of grain size. It is shown that the optimal values of the adaptability parameters and their smallest sum of ranks in terms of the TAC value in the grain were characteristic of the accessions Acha and Biom, and those in terms of the weight of 1000 grains were noted in the same accession of Takmak barley. It was found that the relationship between the average values of TAC in the grain of barley accessions and the indicators of their stability of variety stability indicator and  $C_s$  for this trait was positive and significant. The presence of a positive relationship between the average value of 1000 grain weight and the stability parameter  $C_s$  for the specified feature was statistically proven. The demonstrated result may indicate that when sampling barley for an increased value of TAC in grain, the stability of the manifestation of this trait under different growing conditions is likely to increase.

**Keywords:** *Hordeum vulgare* L., evaluation; plasticity, stability, content of antioxidants

Для цитирования

Полонский В.И., Сумина А.В. Оценка образцов ячменя по содержанию антиоксидантов в зерне в условиях Восточной Сибири // Вестник ВГУИТ. 2022. Т. 84. № 2. С. 162–169. doi:10.20914/2310-1202-2022-2-162-169

For citation

Polonskiy V.I., Sumina A.V. Evaluation of barley accessions on the content of antioxidants in grain in the conditions of Eastern Siberia. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2022. vol. 84. no. 2. pp. 162–169. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2022-2-162-169

## Введение

Одной из важных практических задач, стоящих перед растениеводами, является не только повышение содержания ценных веществ в урожае, но и стабильное их проявление в разных условиях выращивания. Наблюдаемые сегодня изменения климата на планете, а также возделывание сельскохозяйственных культур в регионах с тяжелыми климатическими условиями способствуют целесообразности проведения исследований сортов различных культур на их адаптивность по элементам продуктивности и содержанию биологически активных веществ в урожае. Использование адаптивных к стрессорам сортов, которые способны реализовать свой потенциал в различных условиях выращивания, может сопровождаться повышением стабильности количественных и качественных характеристик урожая [1].

Как известно, наличие неблагоприятных экологических факторов может приводить к изменению химического состава урожая [2]. Особенно это важно для территорий с резко континентальным климатом, к которым относится Восточная Сибирь. Для этого региона приоритетными являются зерновые культуры, в том числе ячмень. Литературные данные подтверждают, что зерно ячменя представляет «нутрицевтическую» ценность и считается функциональным продуктом, который обеспечивает помимо основного питания дополнительную пользу для здоровья человека [3]. В его зерне присутствуют биологически активные вещества, которые входят в состав функциональных продуктов питания [4–6]. Из этих химических соединений наибольший интерес для практики представляют полисахариды бета-глюканы, ненасыщенные жирные кислоты и антиоксиданты. Последние привлекают все больше внимания как потенциальные средства для профилактики и лечения заболеваний, связанных с окислительным стрессом. Как известно, природные антиоксидантные соединения обладают многими важными свойствами, такими как, кардиопротекторные, противораковые, омолаживающие, противовоспалительные и противомикробные [7].

В настоящее время получены экспериментальные данные об адаптивности различных образцов ячменя по элементам продуктивности [8,9]. При этом о влиянии условий выращивания на содержание в зерне ячменя ценных химических веществ, в частности антиоксидантов опубликовано небольшое количество данных [10].

Информации о возможной связи содержания антиоксидантов в зерне и стабильностью проявления этого признака в различных условиях выращивания ячменя в доступной научной литературе нам встретить не удалось. Для выработки стратегии селекции ячменя важно знать, будет ли сопровождаться отбор на повышенное содержание в зерне ценных веществ, в частности антиоксидантов, закономерным уменьшением величины стабильности образцов по этому признаку.

**Цель исследования** – определение адаптивного потенциала выращенных в условиях Восточной Сибири образцов ячменя по суммарному содержанию антиоксидантов (ССА) в зерне и массе 1000 зерен, а также анализ связи между этими признаками ячменя с одной стороны и показателями адаптивности образцов по ним с другой.

## Материалы и методы

В качестве объекта исследования использовали 10 образцов ячменя из коллекции Всероссийского института генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова, которые выращивали в 2019 году в трех экологических пунктах, расположенных в Восточной Сибири. Такой дизайн эксперимента был выбран на основе имеющихся рекомендаций в литературе для пшеницы [11,12], согласно которым для повышения точности оценок по показателям адаптивности рекомендуется экологическую оценку проводить параллельно в нескольких пунктах или по схеме 1 год x 3 пункта. Экологические пункты представляли собой поля государственных сортовых участков: Краснотуранский ГСУ (Красноярский край), Бейский ГСУ (Республика Хакасия) и Пий-Хемский ГСУ (Республика Тыва). Погодные условия в пунктах исследования были контрастными: в Краснотуранском ГСУ влажные (ГТК 1,50), в Пий-Хемском ГСУ засушливые, ГТК равен 0,93, в Бейском ГСУ близкие к нормальным (ГТК 1,25). Предшественником во всех экологических пунктах являлся черный пар.

После уборки растений у каждого образца ячменя определяли массу 1000 зерен и измеряли суммарное содержание антиоксидантов (ССА) в зерне по известной методике [13], используя прибор Цвет-Яуза 01. В качестве образца сравнения применяли галловую кислоту. Повторность анализов трехкратная. По указанным признакам вычисляли 5 параметров адаптивности образцов ячменя. Они были представлены двумя показателями пластичности и тремя показателями стабильности. Первую группу составляли коэффициент экологической вариации  $C_v$  [14] и показатель стрессоустойчивости  $d$  [15]. Во вторую группу входили параметр гомеостатичности  $Ном$  [16], показатель уровня и стабильности сорта ПУСС [12], показатель селекционной ценности

сорта Cs [16]. Выбор показателей адаптивности согласуется с данными литературы, где показано, что из многих методов оценки адаптивных реакций растений среди наиболее информативных оказались «показатель уровня и стабильности сорта (ПУСС)» и «коэффициент вариации генотипа на условия среды (Cv)» [17].

В работе использовали прием ранжирования образцов по уровню их адаптивности. Для определения последнего вычисляли суммы рангов в соответствии с применяемым критерием оценки адаптивности генотипов ячменя, заключающемся в минимальной изменчивости уровня изучаемых характеристик зерна по пунктам выращивания, соответственно высшие ранги присваивали образцам с минимальными значениями Cv, d и наибольшими значениями Hom, ПУСС, Cs.

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

### Результаты и обсуждение

Средние данные по результатам выполненных измерений величины ССА в зерне образцов ячменя, выращенных в трех экологических пунктах, приведены в таблице 1. Можно видеть генотипические различия в исследуемой химической характеристике зерна ячменя. Наибольшие уровни ССА в зерне наблюдались у образцов Уватский и Ача. Полученные результаты подтвердили имеющиеся в литературе данные, в которых показана сортоспецифичность ячменя по содержанию антиоксидантов в зерне [18–19].

Таблица 1.  
Показатели адаптивности и результаты ранжирования по суммарному содержанию антиоксидантов (ССА) в зерне различных образцов ячменя, выращиваемых в условиях Восточной Сибири

Table 1.  
Adaptability indicators and results of ranking by the total content of antioxidants (TAC) in the grain of various barley accessions grown in Eastern Siberia

| Образец<br>Sample   | № по Каталогу<br>ВИР<br>VIR Catalog No. | Среднее ССА,<br>мг/100 г.<br>Average TAC,<br>mg/100 | Показатели адаптивности и ранги<br>Adaptability scores and ranks |             |           |  |            | Сумма<br>рангов<br>Sum ranks |
|---|---|---|--|-------------|-----------|--|------------|------------------------------|
|   |   |   | Cv, %  | d           | Hom       | ПУСС, %<br>Variety stability<br>indicator, % | Cs         |                              |
| Буян   Buyan  | 31198                                   | 55,8±<br>3,9 a**                                    | 13,1<br>6  | -13,1<br>6  | 0,3<br>6  | 7,3<br>6                                     | 43,9<br>8  | 32                           |
| Красноярский 91<br>Krasnoyarsk 91   | 31308                                   | 74,8±<br>1,2 б                                      | 2,2<br>3,5   | -3,8<br>3   | 9,8<br>3  | 84,9<br>3                                    | 71,1<br>3  | 15,5                         |
| Ача (стандарт)<br>Acha (standard)   | 30243                                   | 81,2±<br>1,2 в                                      | 2,1<br>2   | -3,9<br>4   | 10,4<br>2 | 100,0<br>2                                   | 77,4<br>2  | 12                           |
| Биом   Biome  | 30984                                   | 58,7±<br>0,8 а                                      | 1,2<br>1   | -2,5<br>1   | 23,5<br>1 | 104,5<br>1                                   | 56,3<br>4  | 8                            |
| Емеля   Emelya  | 31586                                   | 68,6±<br>6,9 аб                                     | 16,3<br>8  | -23,8<br>9  | 0,2<br>8  | 0,1<br>10                                    | 48,3<br>6  | 39                           |
| Танай   Tanay   | 31604                                   | 62,8±<br>6,2 а                                      | 18,0<br>9  | -21,1<br>8  | 0,2<br>8  | 6,6<br>7                                     | 44,5<br>7  | 39                           |
| Такмак   Takmak   | -                                       | 68,3±<br>11,3 аб                                    | 28,1<br>10   | -38,4<br>10 | 0,1<br>10 | 5,1<br>9                                     | 38,4<br>10 | 49                           |
| Уватский   Uvatsky  | 31378                                   | 86,3±<br>1,8 г                                      | 3,1<br>5   | -6,0<br>5   | 4,8<br>5  | 75,3<br>4                                    | 80,5<br>1  | 20                           |
| Абалак   Abalak   | 31201                                   | 53,3±<br>4,8 а                                      | 14,1<br>7  | -16,1<br>7  | 0,2<br>8  | 6,2<br>8                                     | 39,3<br>9  | 39                           |
| Оленек   Olenyok  | 31199                                   | 59,2±<br>1,0 а                                      | 2,2<br>3,5   | -3,4<br>2   | 8,7<br>4  | 53,1<br>5                                    | 55,9<br>5  | 19,5                         |
| Коэффициент ранговой корреляции   Спирмена<br>Spearman's rank correlation coefficient |   |   | 0,959*   | 0,915*      | 0,976*    | 0,927*                                       | 0,896*     | -                            |

Примечание: числитель – величины показателей адаптивности; знаменатель – ранги образцов; • значения коэффициентов ранговой корреляции Спирмена являются существенными по t-критерию при  $p \leq 0,05$ ; \*\* значения в строках с разными буквами различаются между собой существенно по t-критерию при  $p \leq 0,05$

Note: the numerator is the value of adaptability indicators; the denominator is the ranks of the samples; • Spearman's rank correlation coefficients are significant according to the t-test at  $p \leq 0.05$ ; \*\* values in strings with different letters differ significantly from each other by the t-test at  $p \leq 0.05$

Таблица 2.

Результаты двухфакторного дисперсионного анализа влияния пункта выращивания и генотипа на характеристики зерна образцов ячменя

Table 2.

The results of a two-way ANOVA analysis of the effect of growing point and genotype on the grain characteristics of barley samples

| Характеристика<br>Characteristic                                    | Источник варьирования<br>Source of variation | Степени свободы<br>Degrees of freedom | Средний квадрат<br>Medium square | Вклад факторов,%<br>Contribution of factors,% | F <sub>ф</sub> | F <sub>0,5</sub> |
|---|--|---------------------------------------|----------------------------------|---|----------------|------------------|
| Суммарное содержание антиоксидантов<br>Total content of antioxidant | Пункт   Item                                 | 2                                     | 1748,37                          | 52,09   | 2339,70        | 3,11             |
|   | Генотип   Genotype                           | 9                                     | 1466,14                          | 43,68   | 1962,01        | 1,99             |
|   | Пункт и генотип   Item and genotype          | 18                                    | 142,06                           | 4,23  | 190,11         | 1,87             |
| Масса 1000 зерен<br>Weight 1000 grains                              | Пункт   Item                                 | 2                                     | 610,86                           | 77,64   | 1497,70        | 3,11             |
|   | Генотип   Genotype                           | 9                                     | 133,89                           | 17,02   | 328,28         | 1,99             |
|   | Пункт и генотип   Item and genotype          | 18                                    | 42,04                            | 5,34  | 103,08         | 1,87             |

Таблица 3.

Показатели адаптивности и результаты ранжирования по массе 1000 зерен различных образцов ячменя, выращиваемых в условиях Восточной Сибири

Table 3.

Adaptability indicators and results of ranking by weight of 1000 grains of various barley accessions grown in Eastern Siberia

| Образец<br>Sample   | № по Каталогу ВИР<br>VIR Catalog No. | Среднее ССА, мг/100 г.<br>Average TAC, mg/100 | Показатели адаптивности и ранги<br>Adaptability scores and ranks |             |            |  |             | Сумма рангов<br>Sum ranks |
|---|--------------------------------------|---|--|-------------|------------|--|-------------|---------------------------|
|   |                                      |   | Cv, %  | d           | Hom        | ПУСС, %   Variety stability indicator, % | Cs          |                           |
| Буян   Buyan  | 31198                                | 45,8±<br>3,0 а**                              | 11,4<br>6  | -10,0<br>7  | 0,4<br>7,5 | 180,4<br>5                               | 38,5<br>3   | 28,5                      |
| Красноярский 91<br>Krasnoyarsk 91   | 31308                                | 38,2±<br>2,6 б                                | 11,5<br>7  | -8,0<br>6   | 0,4<br>7,5 | 124,4<br>9                               | 30,9<br>8,5 | 38                        |
| Ача (стандарт)<br>Acha (standard)   | 30243                                | 44,8±<br>5,2 а                                | 19,6<br>10   | -15,3<br>10 | 0,2<br>10  | 100,0<br>10                              | 30,9<br>8,5 | 48,5                      |
| Биом   Biome  | 30984                                | 46,6±<br>2,4 а                                | 8,8<br>3   | -7,9<br>5   | 0,7<br>3,5 | 241,9<br>2                               | 39,6<br>1   | 14,5                      |
| Емеля   Emelya  | 31586                                | 37,6±<br>2,2 б                                | 10,1<br>5  | -7,6<br>4   | 0,5<br>5   | 137,2<br>8                               | 30,8<br>10  | 32                        |
| Танай   Tanay   | 31604                                | 44,8±<br>3,3 а                                | 12,5<br>9  | -10,3<br>8  | 0,4<br>7,5 | 157,4<br>7                               | 36,3<br>5   | 36,5                      |
| Такмак   Takmak   | -                                    | 43,7±<br>1,6 а                                | 6,4<br>1   | -5,0<br>1   | 1,4<br>1   | 292,5<br>1                               | 38,9<br>2   | 6                         |
| Уватский<br>Uvatsky   | 31378                                | 40,6±<br>2,2 аб                               | 9,1<br>4   | -6,7<br>3   | 0,7<br>3,5 | 177,6<br>6                               | 34,1<br>7   | 23,5                      |
| Абалак   Abalak   | 31201                                | 46,4±<br>3,2 а                                | 11,6<br>8  | -10,7<br>9  | 0,4<br>7,5 | 182,0<br>4                               | 37,1<br>4   | 32,5                      |
| Оленек   Olenyok  | 31199                                | 41,2±<br>1,8 аб                               | 7,3<br>2   | -5,9<br>2   | 1,0<br>2   | 228,0<br>3                               | 35,8<br>6   | 15                        |
| Коэффициент ранговой корреляции Спирмена<br>Spearman's rank correlation coefficient |                                      |   | 0,944*   | 0,847*      | 0,944*     | 0,915*                                   | 0,681       | -                         |

Примечание: числитель – величины показателей адаптивности; знаменатель – ранги образцов; • значения коэффициентов ранговой корреляции Спирмена являются существенными по t-критерию при p ≤ 0,05; \*\* значения в строках с разными буквами различаются между собой существенно по t-критерию при p ≤ 0,05]

Note: the numerator is the value of adaptability indicators; the denominator is the ranks of the samples; • Spearman's rank correlation coefficients are significant according to the t-test at p ≤ 0.05; \*\* values in strings with different letters differ significantly from each other by the t-test at p ≤ 0.05

Таблица 4.

Корреляционная связь между одноименными показателями адаптивности по содержанию антиоксидантов в зерне и величине массы 1000 зерен образцов ячменя

Table 4.

Correlation between the same indicators of adaptability according to the content of antioxidants in the grain and the weight of 1000 grains of barley samples

| Значения коэффициентов корреляции   Correlation coefficient value |        |        |                                    |        |
|---|--------|--------|------------------------------------|--------|
| Cv  | d      | Hom    | ПУСС   Variety stability indicator | Cs     |
| -0,271  | -0,288 | -0,022 | -0,192                             | -0,613 |

Таблица 5.

Корреляционная связь между средним суммарным содержанием антиоксидантов в зерне, величиной массы 1000 зерен образцов ячменя и показателями их адаптивности по этим признакам

Table 5.

Correlation between the average total content of antioxidants in the grain, the weight of 1000 grains of barley samples and indicators of their adaptability for these traits

| Характеристика<br>Characteristic                 | Значения коэффициентов корреляции<br>Correlation coefficient value |        |        |   |        |
|--|--|--------|--------|---|--------|
|  | Cv, %  | d      | Hom    | ПУСС,%<br>Variety<br>stability<br>indicator,% | Cs     |
| Величина ССА<br>в зерне<br>TAC value in<br>grain | -0,286   | 0,171  | 0,070  | 0,486   | 0,814* |
| Масса 1000<br>зерен<br>Weight of 1000<br>grains  | 0,216  | -0,435 | -0,110 | 0,310   | 0,718* |

\*значения коэффициентов корреляции существенны при  $p \leq 0,05$

\*values of correlation coefficients are significant at  $p \leq 0.05$

Как правило, перед выполнением оценки адаптивности образцов по хозяйственно-ценным признакам целесообразно провести дисперсионный анализ влияния внешних («пункт») и внутренних («генотип») факторов, а также их взаимодействия на изменчивость исследуемых признаков с целью установления их существенности. Результаты проделанных вычислений представлены в таблице 2. Можно видеть статистически значимую долю влияния условий выращивания и генотипа на изучаемые признаки ячменя ( $F_{\text{факт}} > F_{05}$ ). При этом варьирование обоих признаков находится, главным образом, под контролем внешних факторов. В литературе на образцах ячменя одними авторами показано, что основной вклад в содержание фенольных соединений в зерне, которые играют значимую роль в его антиоксидантной активности, вносят условия окружающей среды [20], другие авторы указывают на существенное влияние генотипа на содержание токолов и витамина Е, проявляющих антиоксидантные свойства [21].

Результаты найденных показателей адаптивности образцов ячменя по уровню ССА в зерне приведены в таблице 1. Из них следует, что минимальные значения параметров пластичности принадлежат образцу ячменя Биом, а максимальные величины показателей стабильности – соответственно образцу ячменя Ача.

На основании зарегистрированной наименьшей суммы рангов можно заключить, что по уровню адаптивности лидируют образцы Биом и Ача (таблица 1).

Средние данные по результатам выполненных измерений массы 1000 зерен образцов ячменя, выращенных в трех экологических пунктах, приведены в таблице 3. Можно видеть генотипические различия в исследуемой физической характеристике зерна ячменя. Наибольшие значения массы 1000 зерен наблюдались у образцов Биом и Абалак. Минимальные значения параметров пластичности были отмечены у образцов ячменя Такмак и Оленек, максимальные показатели стабильности были характерны для образца Такмак. В итоге образцу Такмак практически по всем рассматриваемым параметрам адаптивности были присвоены высшие ранги по признаку «масса 1000 зерен» (таблица 3).

По результатам ранжирования ячменя по адаптивности в прикладном плане интерес представляют следующие 3 образца: 1) Биом (повышенная стабильность по обоим исследуемым признакам); 2) Оленек (повышенная стабильность по массе 1000 зерен и средний ее уровень по ССА); 3) Буян (средние значения стабильности по обоим признакам). Подчеркнем, что образцы Ача и Красноярский 91 одновременно характеризовались повышенной стабильностью по уровню ССА и пониженной стабильностью по массе 1000 зерен, а образец Такмак наоборот проявил минимальную стабильность по уровню ССА и максимальную стабильность по массе 1000 зерен, для образца Танай была зарегистрирована пониженная стабильность по обоим изучаемым признакам ячменя.

Отметим почти полное совпадение результатов ранжирования образцов по их адаптивности, вычисленных на базе разных показателей пластичности и стабильности. Это подтверждается существенными значениями коэффициентов корреляции Спирмена между рангами по отдельным параметрам адаптивности и суммой рангов (таблицы 1 и 3) за исключением показателя селекционной ценности сорта Cs для признака «масса 1000 зерен». Полученный эффект дает основание предположить, что абсолютное большинство используемых в работе параметров адаптивности по химическому и физическому признакам зерна оценивают один и тот же образец ячменя практически одинаково. Иначе говоря, повышенный уровень пластичности образца однозначно предполагает пониженную величину его стабильности и наоборот. Этот вывод подтверждают зарегистрированные в литературе результаты для овса [22], согласно которым показатель стабильности (Hom) отрицательно коррелирует с параметрами пластичности (Cv).

Проанализируем возможную корреляционную связь между одноименными показателями адаптивности образцов ячменя по уровню ССА в зерне с одной стороны и таковыми по величине массы 1000 зерен с другой. Данные вычислений приведены в таблице 4. Для всех указанных параметров пластичности и стабильности можно видеть наличие слабой и средней отрицательной корреляции, которая ни в одном случае статистически доказана не была. Полученный результат может говорить о наличии тенденции снижения стабильности образцов ячменя по уровню ССА в зерне при повышении их стабильности по крупности зерна и наоборот.

Далее рассмотрим возможную связь между абсолютными значениями (средние по трем пунктам исследования) химического и физического признаков зерна образцов ячменя с одной стороны и показателями их адаптивности, определенными по этим признакам, с другой. Результаты приведены в таблице 5. Можно видеть, что корреляционная связь между значениями ССА в зерне образцов ячменя и показателями их пластичности по данному признаку была слабой. В случае учета параметров стабильности указанная связь была положительной от слабой до сильной и существенной для показателя селекционной ценности сорта Cs. Что касается признака ячменя «масса 1000 зерен», то в работе статистически удалось доказать наличие положительной связи между средней величиной указанного признака и параметром стабильности Cs образцов ячменя. Продемонстрированный в таблице 5 результат может свидетельствовать о том, что при отборе ячменя на повышенные значения ССА в зерне и массы 1000 зерен стабильность проявления этих признаков в разных условиях выращивания, вероятно, снижаться не будет. Более того, она может иметь тенденцию к увеличению.

### Заключение

В условиях Восточной Сибири по максимальной величине ССА в зерне выделились образцы ячменя Уватский и Ача а по массе 1000 зерен всех превзошли образцы Биом и Абалак. Найдено, что изменчивость этих хозяйственно-ценных признаков ячменя обусловлена в большей степени внешними условиями выращивания.

Показано, что оптимальные значения параметров адаптивности и их наименьшая

сумма рангов по величине ССА в зерне были характерны для образцов Ача и Биом, а таковые по массе 1000 зерен были отмечены у одного и того же образца ячменя Такмак. По результатам ранжирования ячменя по адаптивности в прикладном плане интерес представляют следующие 3 образца: Биом (повышенная стабильность по обоим исследуемым признакам), Оленек (повышенная стабильность по массе 1000 зерен и средний ее уровень по ССА), Буян (средние значения стабильности по обоим признакам).

Установлено почти полное совпадение результатов ранжирования образцов по их адаптивности, вычисленных на базе разных показателей пластичности и стабильности. Это подтверждается существенными значениями коэффициентов корреляции Спирмена между рангами по отдельным параметрам адаптивности и суммой рангов за исключением показателя селекционной ценности сорта Cs для признака «масса 1000 зерен». Полученный эффект дает основание предположить, что абсолютное большинство используемых в работе параметров адаптивности по химическому и физическому признакам зерна оценивают один и тот же образец ячменя практически одинаково.

Между одноименными показателями адаптивности образцов ячменя по уровню ССА в зерне с одной стороны и таковыми по величине массы 1000 зерен с другой зафиксировано наличие слабой и средней отрицательной корреляции, которая ни в одном случае статистически доказана не была. Полученный результат может говорить о наличии тенденции снижения стабильности образцов ячменя по уровню ССА в зерне при повышении их стабильности по крупности зерна и наоборот.

Найдено, что корреляционная связь между средними значениями ССА в зерне, а также массы 1000 зерен образцов ячменя и показателем их стабильности Cs по данным признакам была положительной и существенной. Продемонстрированный результат может свидетельствовать о том, что при отборе образцов ячменя на повышенное значение ССА в зерне и массы 1000 зерен стабильность проявления этих признаков в разных условиях выращивания, вероятно, снижаться не будет. Более того, она может иметь тенденцию к увеличению.

### Литература

- 1 Левакова О.В. Селекционная работа по созданию адаптированных к нечерноземной зоне РФ сортов ярового ячменя и перспективы развития данной культуры в Рязанской области // Зерновое хозяйство России. 2021. № 1(73). С. 14–19. doi: 10.31367/2079–8725–2021–73–1–14–19
- 2 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.

- 3 Derakhshani Z., Malherbe F., Panozzo J.F., Bhavne M. Evaluation of Diverse Barley Cultivars and Landraces for Contents of Four Multifunctional Biomolecules with Nutraceutical Potential // *Current Research in Nutrition and Food Science*. 2020. V. 8. № 2. P. 380–390. doi: 10.12944/CRNFSJ.8.2.03
- 4 Dykes L., Rooney L.W. Phenolic Compounds in Cereal Grains and Their Health Benefits // *Cereal Foods of World*. 2007. V. 32. № 3. P. 105–111.
- 5 Polonskiy V.I., Loskutov I.G., Sumina A.V. Biological role and health benefits of antioxidant compounds in cereals // *Biological Communications* 2020. V. 65. № 1. P. 53–67.
- 6 Siurek B., Rosicka-Kaczmarek J., Nebesny E. Bioactive compounds in cereal grains – occurrence, structure, technological significance and nutritional benefits – a review // *Food Science and Technology International*. 2012. V. 18. № 6. P. 559–68. doi: 10.1177/1082013211433079
- 7 Li A.–N., Li S., Zhang Y.–J., Xu X.–R. et al. Resources and Biological Activities of Natural Polyphenols // *Nutrients*. 2014. V. 6. P. 6020–6047.
- 8 Серебренников Ю.И. Пластичность и стабильность ярового ячменя по урожаю зерна и массе 1000 зёрен // *Вестник НГАУ*. 2020. Т. 2. № 55. С. 50–59. doi: 10.31677/2072–6724–2020–55–2–50–59
- 9 Юсова О.А., Николаев П.Н., Бендина Я.Б., Сафонова И.В. и др. Стрессоустойчивость сортов ячменя различного агроэкологического происхождения для условий резко континентального климата // *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2020. Т. 181. № 4. С. 44–55. doi: 10.30901/2227–8834–2020–4–44–55
- 10 Сумина А.В., Полонский В.И. Сравнительная характеристика пшеницы, овса и ячменя по суммарному содержанию антиоксидантов в зерне // *Вестник КрасГАУ*. 2021. № 10. С. 203–208.
- 11 Singh B., Singh J.P., Kaur A., Singh N. Phenolic composition and antioxidant potential of grain legume seeds: A review // *Food Research International*. 2017. V. 101. P. 1–16. doi: 10.1016/j.foodres.2017.09.026
- 12 Wu G., Johnson S.K., Bormann J.F., Bennett S.J. et al. Changes in whole grain polyphenols and antioxidant activity of six sorghum genotypes under different irrigation treatments // *Food Chemistry*. 2017. V. 214. P. 199–207. doi: 10.1016/j.foodchem.2016.07.089
- 13 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.
- 14 Shahidi F., Chandrasekara A. Millet grain phenolics and their role in disease risk reduction and health promotion: A review // *Journal of Functional Foods*. 2013. V. 5. № 2. P. 570–581. doi: 10.1016/j.jff.2013.02.004
- 15 Liang S., Liang K. Millet grain as a candidate antioxidant food resource: a review // *International Journal of Food Properties*. 2019. V. 22. № 1. P. 1652–1661. doi: 10.1080/10942912.2019.1668406
- 16 Socaci S.A., Fărcaș A.C., Diaconeasa Z.M., Vodnar D.C. et al. Influence of the extraction solvent on phenolic content, antioxidant, antimicrobial and antimutagenic activities of brewers' spent grain // *Journal of Cereal Science*. 2018. V. 80. P. 180–187. doi: 10.1016/j.jcs.2018.03.006
- 17 Волкова Л.В., Щенникова И.Н. Сравнительная оценка методов расчёта адаптивных реакций зерновых культур // *Теоретическая и прикладная экология*. 2020. № 3 С. 140–146. doi: 10.25750/1995–4301–2020–3–140–146
- 18 Do T.D.T., Cozzolino D., Muhlhäusler B., Vox A. et al. Antioxidant capacity and vitamin E in barley: Effect of genotype and storage // *Food Chemistry* 2015. V. 187. № 15. P. 65–74.
- 19 Ge X., Jing L., Zhao K., Su C. et al. The phenolic compounds profile, quantitative analysis and antioxidant activity of four naked barley grains with different color // *Food Chemistry*. 2021. V. 335. № 1. P. 127655. doi: 10.1016/j.foodchem.2020.127655
- 20 Rao S., Santhakumar A.B., Chikwo K.A., Blanchard C.L. Investigation of phenolic compounds with antioxidant activity in barley and oats affected by variation in growing location // *Cereal Chemistry*. 2020. P. 772–782. doi: 10.1002/cche.10291.
- 21 Ehrenbergerová J., Belcrediová N., Prýma J., Vaculová K. et al. Effect of cultivar, year grown, and cropping system on the content of tocopherols and tocotrienols in grains of hulled and hullless barley // *Plant Foods for Human Nutrition*. 2006. V. 61. № 3. P. 145–50. doi: 10.1007/s11130–006–0024–6
- 22 Тулякова М.В., Баталова Г.А., Лоскутов И.Г., Пермякова С.В. и др. Оценка адаптивных параметров коллекционных образцов овса пленчатого по урожайности в условиях Кировской области // *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2021. Т. 182. № 1. С. 72–79. doi: 10.30901/2227–8834–2021–1–72–79

## References

- 1 Levakova O.V. Breeding work on the creation of varieties of spring barley adapted to the non-chernozem zone of the Russian Federation and the prospects for the development of this crop in the Ryazan region. *Grain Economy of Russia*. 2021. no. 1(73). pp. 14–19. doi: 10.31367/2079–8725–2021–73–1–14–19 (in Russian).
- 2 Wang Y., Frei M. Stressed food – The impact of abiotic environmental stresses on crop quality. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 2011. vol. 141. pp. 271–286.
- 3 Derakhshani Z., Malherbe F., Panozzo J.F., Bhavne M. Evaluation of Diverse Barley Cultivars and Landraces for Contents of Four Multifunctional Biomolecules with Nutraceutical Potential. *Current Research in Nutrition and Food Science*. 2020. vol. 8. no. 2. pp. 380–390. doi: 10.12944/CRNFSJ.8.2.03
- 4 Dykes L., Rooney L.W. Phenolic Compounds in Cereal Grains and Their Health Benefits. *Cereal Foods of World*. 2007. vol. 32. no. 3. pp. 105–111.
- 5 Polonskiy V.I., Loskutov I.G., Sumina A.V. Biological role and health benefits of antioxidant compounds in cereals. *Biological Communications* 2020. vol. 65. no. 1. pp. 53–67.
- 6 Siurek B., Rosicka-Kaczmarek J., Nebesny E. Bioactive compounds in cereal grains – occurrence, structure, technological significance and nutritional benefits – a review. *Food Science and Technology International*. 2012. vol. 18. no. 6. pp. 559–68. doi: 10.1177/1082013211433079
- 7 Li A.–N., Li S., Zhang Y.–J., Xu X.–R. et al. Resources and Biological Activities of Natural Polyphenols. *Nutrients*. 2014. vol. 6. pp. 6020–6047.

- 8 Serebrennikov Yu.I. Plasticity and stability of spring barley in terms of grain yield and weight of 1000 grains. Bulletin of NGAU. 2020. vol. 2. no. 55. pp. 50–59. doi: 10.31677/2072-6724-2020-55-2-50-59 (in Russian).
- 9 Yusova O.A., Nikolaev P.N., Bendina Ya.B., Safonova I.V. Stress resistance of barley cultivars of different agroecological origin for conditions of sharply continental climate. Proceedings on applied botany, genetics and breeding. 2020. vol. 181. no. 4. pp. 44–55. doi: 10.30901/2227-8834-2020-4-44-55 (in Russian).
- 10 Sumina A.V., Polonsky V.I. Comparative characteristics of wheat, oats and barley according to the total content of antioxidants in grain. Bulletin of KrasGAU. 2021. no. 10. pp. 203–208. (in Russian).
- 11 Singh B., Singh J.P., Kaur A., Singh N. Phenolic composition and antioxidant potential of grain legume seeds: A review. Food Research International. 2017. vol. 101. pp. 1–16. doi: 10.1016/j.foodres.2017.09.026
- 12 Wu G., Johnson S.K., Bornman J.F., Bennett S.J. et al. Changes in whole grain polyphenols and antioxidant activity of six sorghum genotypes under different irrigation treatments. Food Chemistry. 2017. vol. 214. pp. 199–207. doi: 10.1016/j.foodchem.2016.07.089
- 13 Fedina P.A., Yashin A.Ya., Chernousova N.I. Determination of antioxidants in plant products by the amperometric method. Chemistry of vegetable raw materials. 2010. no. 2. pp. 91–97. (in Russian).
- 14 Shahidi F., Chandrasekara A. Millet grain phenolics and their role in disease risk reduction and health promotion: A review. Journal of Functional Foods. 2013. vol. 5. no. 2. pp. 570–581. doi: 10.1016/j.jff.2013.02.004
- 15 Liang S., Liang K. Millet grain as a candidate antioxidant food resource: a review. International Journal of Food Properties. 2019. vol. 22. no. 1. pp. 1652–1661. doi: 10.1080/10942912.2019.1668406
- 16 Socaci S.A., Fărcaș A.C., Diaconeasa Z.M., Vodnar D.C. et al. Influence of the extraction solvent on phenolic content, antioxidant, antimicrobial and antimutagenic activities of brewers' spent grain. Journal of Cereal Science. 2018. vol. 80. pp. 180–187. doi: 10.1016/j.jcs.2018.03.006
- 17 Volkova L.V., Shchennikova I.N. Comparative evaluation of methods for calculating adaptive reactions of grain crops. Theoretical and applied ecology. 2020. no. 3. pp. 140–146. doi: 10.25750/1995–4301–2020–3–140–146 (in Russian).
- 18 Do T.D.T., Cozzolino D., Muhlhauser B., Box A. et al. Antioxidant capacity and vitamin E in barley: Effect of genotype and storage. Food Chemistry 2015. vol. 187. no. 15. pp. 65–74.
- 19 Ge X., Jing L., Zhao K., Su C. et al. The phenolic compounds profile, quantitative analysis and antioxidant activity of four naked barley grains with different color. Food Chemistry. 2021. vol. 335. no. 1. pp. 127655. doi: 10.1016/j.foodchem.2020.127655
- 20 Rao S., Santhakumar A.B., Chikwo K.A., Blanchard C.L. Investigation of phenolic compounds with antioxidant activity in barley and oats affected by variation in growing location. Cereal Chemistry. 2020. pp. 772–782. doi: 10.1002/cche.10291
- 21 Ehrenbergerová J., Belcrediová N., Prýma J., Vaculová K. et al. Effect of cultivar, year grown, and cropping system on the content of tocopherols and tocotrienols in grains of hulled and hullless barley. Plant Foods for Human Nutrition. 2006. vol. 61. no. 3. pp. 145–50. doi: 10.1007/s11130–006–0024–6
- 22 Tulyakova M.V., Batalova G.A., Loskutov I.G., Permyakova S.V. Evaluation of adaptive parameters of collection samples of hulled oats in terms of productivity in the conditions of the Kirov region. Works on applied botany, genetics and breeding. 2021. vol. 182. no. 1. pp. 72–79. doi: 10.30901/2227–8834–2021–1–72–79 (in Russian).

#### Сведения об авторах

**Вадим И. Полонский** д.б.н., профессор, кафедра ландшафтной архитектуры и ботаники, Красноярский государственный аграрный университет, пр.-т Мира, 90, г. Красноярск 660049, Россия, vadim.polonskiy@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-7183-0912>

**Алена В. Сумина** к.с.-х.н., доцент, кафедра химии и геоэкологии, Хакасский государственный университет им. Н.Ф. Катанова, ул. Ленина, 90, г. Абакан, 655017, Россия, alenasumina@list.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-0466-6833>

#### Вклад авторов

**Вадим И. Полонский** консультация в ходе исследования, написал рукопись, корректировал её до подачи в редакцию и несёт ответственность за плагиат

**Алена В. Сумина** обзор литературных источников по исследуемой проблеме, провела эксперимент, выполнила расчёты

#### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

#### Information about authors

**Vadim I. Polonskiy** Dr. Sci. (Biol.), professor, landscape architecture and botany department, Krasnoyarsk State Agrarian University, Mira ave., 90, Krasnoyarsk, 660049, Russia, vadim.polonskiy@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-7183-0912>

**Alena V. Sumina** Cand. Sci. (Agric.), associate professor, chemistry and geoecology department, Khakass State University, Lenina st., 90, Abakan, 655017, Russia, alenasumina@list.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-0466-6833>

#### Contribution

**Vadim I. Polonskiy** consultation during the study wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

**Alena V. Sumina** review of the literature on an investigated problem, conducted an experiment, performed computations

#### Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 06/04/2022

После редакции 29/04/2022

Принята в печать 23/05/2022

Received 06/04/2022

Accepted in revised 29/04/2022

Accepted 23/05/2022