

УДК 631.527.8

АДАПТИВНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ОБРАЗЦОВ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ ПО СОДЕРЖАНИЮ АНТИОКСИДАНТОВ В ЗЕРНЕ В УСЛОВИЯХ ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ

© *В.И. Полонский¹, А.В. Сумина^{1,2*}*

¹ Красноярский государственный аграрный университет, пр. Мира, 90,
Красноярск, 660049 (Россия), e-mail: alenasumina@list.ru

² Хакасский государственный университет им. Н.Ф. Катанова, ул. Ленина,
90, Абакан, 655000 (Россия)

Целью исследования является определение адаптивного потенциала выращенных в условиях Восточной Сибири образцов пшеницы по суммарному содержанию антиоксидантов (ССА) в зерне и массе 1000 зерен, а также анализ связи между показателями адаптивности образцов по этим признакам. В качестве объекта исследования выступали 7 образцов яровой пшеницы, которые были выращены в трех экологических пунктах: Красногуйский ГСУ (Красноярский край), Бейский ГСУ (Республика Хакасия) и Пий-Хемский ГСУ (Республика Тыва). Значения ГТК по этим пунктам соответственно составили: 1.50, 1.25, 0.93. У образцов пшеницы определяли массу 1000 зерен и величину ССА. Экстракцию зерна проводили с помощью горячей бидистиллированной воды, уровень ССА измеряли на приборе «Цвет Яуза-01-АА», в качестве образца сравнения использовали галловую кислоту. По каждому из указанных признаков вычисляли 5 параметров адаптивности образцов пшеницы: коэффициент экологической вариации C_v , показатель стрессоустойчивости d , параметр гомеостатичности $Ном$, показатель уровня и стабильности сорта ПУСС, фактор стабильности SF . Показано, что условия выращивания пшеницы (пункт) не оказывали существенного влияния на значение ССА в зерне. Найдено, что изменчивость данного биохимического признака обусловлена главным образом генотипом пшеницы. Установлено, что оптимальные значения параметров адаптивности и наименьшая сумма рангов как по величине ССА в зерне, так и массе 1000 зерен были характерны для одного и того же образца пшеницы Омская Краса. Между каждым показателем адаптивности по уровню ССА в зерне и таковым по величине массы 1000 зерен найдена положительная связь, при этом для показателей стабильности $Ном$ и ПУСС корреляция была существенной. Зафиксированные результаты предполагают высокую вероятность получения образцов пшеницы с повышенной стабильностью по величине ССА в зерне при отборе форм на высокую стабильность по признаку крупности зерна и наоборот. Обнаруженный эффект является основой нового способа скрининга генотипов пшеницы на повышенный уровень адаптивности по содержанию в зерне функциональных веществ – антиоксидантов, используя для соответствующих расчетов вместо трудоемкого метода их прямого измерения, данные о массе 1000 зерен.

Ключевые слова: *Triticum aestivum* L, оценка, пластичность, стабильность, суммарное содержание антиоксидантов, масса 1000 зерен.

Введение

Известно, что на качество урожая сельскохозяйственных культур влияют генотип, внешняя среда и их взаимодействие. Наличие неблагоприятного экологического фактора вызывает разнообразные стрессовые реакции у растений, которые могут приводить к изменению химического состава урожая [1]. Как правило, чем меньше приспособлен к разнообразному сочетанию экологических факторов сорт, чем ниже его адаптивный потенциал, тем в большей степени варьирует качество урожая под воздействием изменяющихся внешних условий. Как известно, адаптивный потенциал – наследственно детерминированная способность

Полонский Вадим Игоревич – доктор биологических наук, профессор, профессор кафедры ландшафтной архитектуры и ботаники, e-mail: vadim.polonskiy@mail.ru
Сумина Алена Владимировна – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, доцент кафедры химии и геоэкологии, e-mail: alenasumina@list.ru

организма приспосабливаться к изменяющимся условиям среды, комплексная характеристика адаптивности, показатель уровня приспособляемости образцов сельскохозяйственных или лесных

* Автор, с которым следует вести переписку.

культур к факторам внешней среды (условиям выращивания). Академик А.А. Жученко впервые в мировой практике провел системный анализ адаптивного потенциала культурных растений, выявил важнейшие особенности и качественно новые механизмы адаптивных реакций в онтогенезе и филогенезе, обосновал и сформулировал основные положения экологической генетики культурных растений, эколого-генетические основы адаптивной системы селекции растений и адаптивного растениеводства, стратегии адаптивной интенсификации сельского хозяйства [2]. Учет этих физиолого-химических эффектов необходим для выработки стратегии селекции с целью создания форм, обладающих высокой урожайностью стабильного качества, адаптированных к современным потребностям рынка. Особенно это важно в районах с резко континентальным климатом, к которым относится Восточная Сибирь.

Важнейшей сельскохозяйственной культурой для данной территории является яровая пшеница. В ее зерне находятся ценные химические соединения, характерные для состава функциональных продуктов здорового питания [3, 4].

Сегодня хорошо изучено влияние контрастных климатических и погодных условий, складывающихся во время выращивания пшеницы, на величину урожайности. Опубликованы результаты исследований, касающиеся адаптивности различных образцов данной зерновой культуры по элементам продуктивности [5–7]. При этом в литературе приводится гораздо меньше данных о воздействии абиотических природных факторов на содержание в зерне пшеницы ценных химических веществ, в частности антиоксидантов [8–10]. Отметим, что характер взаимосвязей между показателями стабильности и пластичности сортов пшеницы по содержанию антиоксидантов в зерне и другим его характеристикам также мало изучен.

Цель исследования – определение адаптивного потенциала выращенных в условиях Восточной Сибири образцов пшеницы по суммарному содержанию антиоксидантов (ССА) в зерне и массе 1000 зерен, а также анализ связи между показателями адаптивности образцов по этим признакам.

Экспериментальная часть

В работе исследовали 7 образцов яровой пшеницы из коллекции Всероссийского института генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова, которые выращивали в 2019 г. в трех экологических пунктах, расположенных в Восточной Сибири. Такой дизайн эксперимента был выбран на основе имеющихся рекомендаций в литературе [11, 12], согласно которым для повышения точности оценок по показателям адаптивности пшеницы рекомендуется экологическую оценку проводить параллельно в нескольких пунктах или по схеме 1 год × 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). Предшественник во всех пунктах – черный пар.

После уборки растений у каждого образца пшеницы определяли массу 1000 зерен и измеряли величину ССА в зерне по известной методике [13], используя прибор Цвет-Яуза 01. Повторность анализов трехкратная. По указанным признакам вычисляли 5 параметров адаптивности образцов пшеницы. 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 Hom [16], показатель уровня и стабильности сорта ПУСС [12], фактор стабильности SF [17]. В данной статье под термином «адаптивный потенциал» понимается уровень приспособленности к экологическим факторам образцов мягкой пшеницы, оцениваемый на основании двух показателей пластичности и трех параметров стабильности по значению ССА в зерне и массе 1000 зерен. В работе использовали прием ранжирования образцов по уровню их адаптивности. Для определения последнего вычисляли суммы рангов в соответствии с применяемым критерием оценки адаптивности генотипов пшеницы, заключающемся в минимальной изменчивости уровня изучаемых характеристик зерна по пунктам выращивания, высшие ранги присваивали образцам с минимальными значениями C_v , d и наибольшими значениями Hom , ПУСС, SF .

Статистическую обработку данных проводили с помощью стандартных компьютерных программ Microsoft Excel. Достоверность результатов оценивали по t -критерию при $p \leq 0.05$.

Обсуждение результатов

Результаты выполненных измерений величины ССА в зерне и массы 1000 зерен пшеницы, выращенных в трех экологических пунктах, приведены в таблице 1. Можно видеть, что уровни ССА в зерне пшеницы, сформированном в разных пунктах исследования, значимо между собой не различались. Что касается массы 1000 зерен, то она была минимальной у пшеницы, выращенной в условиях Пий-Хемского ГСУ, и значимо отличалась от таковой для Краснотуранского и Бейского ГСУ.

Данные, представленные в таблице 1, свидетельствуют о заметной сортовой специфике химической и физической характеристик зерна пшеницы. Наибольшие уровни ССА в зерне наблюдались у образцов Омская Краса и Солнечная 573. По крупности зерна положительно выделился образец Оазис.

Как правило, перед тем как приступить к выполнению оценки адаптивности образцов по хозяйственно-ценным признакам, целесообразно провести дисперсионный анализ влияния внешних («пункт», «год») 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 параметры пшеницы ($F_{\text{факт}} > F_{0.5}$). При этом изменчивость признака величина ССА была обусловлена в основном генотипом, а варьирование признака масса 1000 зерен находилось главным образом под контролем внешних факторов.

Результаты найденных показателей адаптивности образцов пшеницы по уровню ССА в зерне приведены в таблице 3. Из них следует, что минимальные значения параметров пластичности и максимальные величины показателей стабильности принадлежат образцам пшеницы Омская Краса и Красноярская 12. На основании полученной ими наименьшей суммы рангов (табл. 4) можно заключить, что по уровню адаптивности эти два образца заметно опередили все другие, включая сорт-стандарт Алтайская 70.

Данные по уровню адаптивности образцов пшеницы по признаку «масса 1000 зерен» представлены в таблице 5. Можно видеть, что оптимальная его величина (минимальные значения параметров пластичности и максимальные показатели стабильности) была отмечена у образца пшеницы Омская Краса. Указанному образцу были присвоены высшие ранги по всем без исключения рассмотренным параметрам адаптивности (табл. 6).

Таблица 1. Значения ССА в зерне и величина массы 1000 зерен у различных образцов пшеницы по пунктам их выращивания

Название образца	ССА, мг/100 г			Масса 1000 зерен, г		
	1*	2	3	1	2	3
Красноярская 12	50.2	46.1	46.8	36.8	40.6	33.7
Алтайская 70 (ст)	46.0	41.1	41.1	36.8	43.2	34.6
Омская Краса	59.3	62.0	57.9	40.6	39.4	36.6
Солнечная 573	62.0	63.5	53.7	46.0	44.2	36.1
Оазис	44.6	40.7	45.3	50.4	52.5	38.9
Омская 44	55.4	57.3	49.4	42.1	38.7	33.6
Алтайская 75	57.8	55.8	50.8	40.9	38.6	32.9
Среднее	53.6±2.6a	52.4±3.6a	49.3±2.1a	41.9±1.8a	42.5±1.8a	35.2±0.8б

*1 – Краснотуранский ГСУ, 2 – Бейский ГСУ, 3 – Пий-Хемский ГСУ; ** значения средних с разными буквами в пределах одного признака различаются существенно по t-критерию при $p \leq 0.05$.

Таблица 2. Результаты двухфакторного дисперсионного анализа влияния пункта выращивания и генотипа на характеристики зерна пшеницы

Характеристика зерна	Источник варьирования	Степени свободы	Средний квадрат	Вклад факторов, %	$F_{\text{ф}}$	$F_{0.5}$
ССА	Пункт	2	138.84	17.70	150.65	3.16
	Генотип	6	614.48	78.35	666.73	2.25
	Пункт и генотип	12	30.97	3.95	33.61	1.92
Масса 1000 зерен	Пункт	2	459.23	71.17	680.85	3.16
	Генотип	6	160.69	24.90	238.23	2.25
	Пункт и генотип	12	25.32	3.92	37.54	1.92

Таблица 3. Показатели адаптивности по уровню ССА в зерне различных образцов пшеницы, выращиваемых в условиях Восточной Сибири

Название образца	Показатели адаптивности				
	Cv, %	d	Hom	ПУСС, %	SF
Красноярская 12	5.6	-5.3	1.61	131.5	0.90
Алтайская 70 (ст.)	7.1	-5.9	1.02	100.0	0.87
Омская Краса	5.3	-6.3	1.79	217.6	0.90
Солнечная 573	10.7	-12.0	0.46	107.8	0.81
Оазис	7.3	-6.3	0.95	83.9	0.86
Омская 44	9.0	-9.5	0.63	105.9	0.84
Алтайская 75	8.0	-8.5	0.81	121.5	0.85

Таблица 4. Результаты ранжирования по уровню ССА в зерне различных образцов пшеницы, выращиваемых в условиях Восточной Сибири

Название образца	Показатели адаптивности					Сумма рангов
	Cv, %	d	Hom	ПУСС, %	SF	
Красноярская 12	2	1	2	2	1.5	8.5
Алтайская 70 (ст.)	3	2	3	6	3	17
Омская Краса	1	3.5	1	1	1.5	8
Солнечная 573	7	7	7	4	7	32
Оазис	4	3.5	4	7	4	22.5
Омская 44	6	6	6	5	6	29
Алтайская 75	5	5	5	3	5	23
Коэффициент корреляции Спирмена	0.98*	0.89*	0.98*	0.60	0.98*	–

Примечание: *значения коэффициентов корреляции Спирмена являются существенными по t-критерию при $p \leq 0.05$.

Таблица 5. Показатели адаптивности по массе 1000 зерен различных образцов пшеницы, выращиваемых в условиях Восточной Сибири

Название образца	Показатели адаптивности				
	Cv, %	d	Hom	ПУСС, %	SF
Красноярская 12	9.4	-6.9	0.57	116.5	0.83
Алтайская 70 (ст.)	11.7	-8.6	0.38	100.0	0.80
Омская Краса	5.3	-4.0	1.83	228.4	0.90
Солнечная 573	12.5	-9.9	0.34	113.4	0.78
Оазис	15.5	-13.6	0.2	115.5	0.74
Омская 44	11.2	-8.5	0.40	103.7	0.80
Алтайская 75	11.0	-8.0	0.43	102.3	0.80

Таблица 6. Результаты ранжирования по массе 1000 зерен различных образцов пшеницы, выращиваемых в условиях Восточной Сибири

Название образца	Показатели адаптивности					Сумма рангов
	Cv, %	d	Hom	ПУСС, %	SF	
Красноярская 12	2	2	2	2	2	10
Алтайская 70 (ст.)	5	5	5	7	4	26
Омская Краса	1	1	1	1	1	5
Солнечная 573	6	6	6	4	6	28
Оазис	7	7	7	3	7	31
Омская 44	4	4	4	5	4	21
Алтайская 75	3	3	3	6	4	19
Коэффициент корреляции Спирмена	0.97*	0.97*	0.97*	0.62	0.96*	–

Примечание: *значения коэффициентов корреляции Спирмена являются существенными по t-критерию при $p \leq 0.05$.

Отметим практически полное совпадение результатов ранжирования образцов по их адаптивности, вычисленных на базе разных показателей пластичности и стабильности, что подтверждается существенными значениями коэффициентов корреляции Спирмена между рангами по абсолютному большинству отдельных параметров адаптивности и суммой рангов (табл. 4 и 6).

Рассмотрим возможную корреляционную связь между одноименными показателями адаптивности образцов пшеницы по уровню ССА в зерне с одной стороны и таковыми по величине массы 1000 зерен с

другой. Данные вычислений приведены в таблице 7. Можно видеть наличие положительной зависимости для всех указанных параметров, при этом для двух показателей стабильности Ном и ПУСС была подтверждена существенность указанной корреляционной связи.

В работе показано, что пункт выращивания пшеницы не оказывал существенного влияния на значение ССА в зерне. Недостаточная ответная реакция образцов на внешние условия, вероятно, свидетельствует об отсутствии у растений выраженного стресса в выбранных трех экологических пунктах исследования. Как показано в литературе [1], такая реакция обычно сопровождается повышением уровня антиоксидантов в биомассе растений при действии на них неблагоприятных факторов (засуха, высокая температура, засоление, повышенное содержание озона, УФ-излучение). Отмечено повышение величины ССА в зерне ячменя, выращиваемого в аридных условиях Тувы, по сравнению с территорией Хакасии [18].

Что касается массы 1000 зерен, то она была минимальной у пшеницы, исследуемой в условиях Пий-Хемского ГСУ (Республика Тыва), и значительно отличалась от таковой у образцов из Краснотуранского и Бейского ГСУ. Зарегистрированный эффект снижения крупности зерна может быть связан с повышенной степенью аридности места произрастания растений в Туве.

В работе найдена сортовая специфика химической и физической характеристик зерна пшеницы. При учете результатов для трех пунктов наибольшие уровни ССА в зерне были отмечены у образцов пшеницы Омская Краса и Солнечная 573, по крупности зерна лидировал образец Оазис.

Установлена статистически значимая доля влияния генотипа и экологических условий выращивания на изучаемые хозяйственно-ценные признаки пшеницы ($F_{\text{факт}} > F_{0.5}$). Доказано, что изменчивость признака величина ССА в зерне обусловлена главным образом генотипом. В литературе показано либо преимущественное влияние генотипа и взаимодействия «климатические факторы x генотип», либо равное воздействие генотипа и внешних условий на содержание антиоксидантов в зерне мягкой и твердой пшеницы [8, 19–21]. Это предполагает потенциальную возможность создания путем генетических манипуляций форм пшеницы с повышенным уровнем ССА в зерне [21].

Если рассмотреть результаты варьирования признака «масса 1000 зерен», то он находился в основном под контролем внешних факторов (табл. 2). Аналогичный эффект преимущественного влияния внешней среды на массу 1000 зерен ржи наблюдали Н.И. Аниськов и И.В. Сафонова [22], а также на продуктивность пшеницы другие авторы [23].

Показано, что минимальные значения параметров пластичности, максимальные величины показателей стабильности и наименьшая сумма рангов как по величине ССА в зерне, так и массе 1000 зерен были характерны для образца пшеницы Омская Краса. Как было показано выше, для этого же сорта были зарегистрированы наибольшие уровни ССА в зерне. Следовательно, данный образец пшеницы по сравнению с другими обладает редким сочетанием полезных свойств: во-первых, его зерно характеризуется максимальным уровнем ССА, во-вторых, он одновременно является наиболее стабильным по указанному биохимическому признаку при выращивании в разных экологических пунктах.

Подчеркнем наличие совпадения результатов ранжирования образцов по их адаптивности, определяемых на основе разных показателей пластичности и стабильности (табл. 4 и 6). Об этом говорят существенные значения коэффициентов корреляции Спирмена между рангами по практически каждому параметру адаптивности и суммой рангов. Зафиксированный результат дает основание предположить, что абсолютное большинство используемых в работе параметров адаптивности по химическому и физическому признакам зерна оценивают один и тот же образец пшеницы примерно одинаково. Иначе говоря, повышенный уровень пластичности образца однозначно предполагает пониженную величину его стабильности и наоборот. Этот вывод подтверждают зарегистрированные в литературе результаты для овса [24], согласно которым показатели стабильности (Ном, SF) отрицательно коррелируют с параметрами пластичности (Cv).

Таблица 7. Связь между одноименными показателями адаптивности по уровню ССА в зерне и величине массы 1000 зерен образцов пшеницы

Cv	Значения коэффициентов корреляции			
	d	Ном	ПУСС	SF
0.546	0.236	0.894*	0.957*	0.586

*значения коэффициентов корреляции существенны по t-критерию при $p \leq 0.05$.

Между всеми показателями адаптивности по уровню ССА в зерне и таковыми по величине массы 1000 зерен найдена положительная связь, причем для двух параметров стабильности Ном и ПУСС корреляция была существенной. Наличие статистически подтвержденной в настоящем исследовании связи позволяет предположить высокую вероятность получения образцов пшеницы с повышенной стабильностью по рассматриваемому химическому признаку зерна при отборе форм, отличающихся высокой стабильностью по признаку крупности зерна и наоборот. Обнаруженный эффект свидетельствует о принципиальной возможности выполнения косвенной оценки образцов пшеницы на адаптивность по величине ССА в зерне на основе вычисления их адаптивности по признаку «масса 1000 зерен». Полученные результаты позволяют реализовать неповреждающий скрининг генотипов пшеницы на повышенный уровень адаптивности по концентрации в зерне функциональных веществ – антиоксидантов, используя для расчетов вместо трудоемкого и дорогостоящего метода их прямого измерения, лишь данные о легко определяемом физическом параметре – массе 1000 зерен.

Выводы

Условия выращивания пшеницы (географический пункт) не оказывали существенного влияния на значение ССА в зерне. Изменчивость данного биохимического признака была обусловлена главным образом генотипом пшеницы.

Оптимальные значения параметров адаптивности и наименьшая сумма рангов как по величине ССА в зерне, так и массе 1000 зерен были характерны для одного и того же образца пшеницы Омская Краса.

Между каждым показателем адаптивности по уровню ССА в зерне и таковым по величине массы 1000 зерен найдена положительная связь, при этом для показателей стабильности Ном и ПУСС корреляция была существенной. Предполагается высокая вероятность получения образцов пшеницы с повышенной стабильностью по величине ССА в зерне при отборе форм на высокую стабильность по признаку крупности зерна и наоборот.

Обнаруженный эффект является основой для разработки нового способа скрининга генотипов пшеницы на повышенный уровень адаптивности по концентрации в зерне функциональных веществ – антиоксидантов, используя вместо трудоемкого метода их прямого измерения, данные о массе 1000 зерен для соответствующих расчетов.

Список литературы

1. 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.
2. Жученко А.А. Адаптивный потенциал культурных растений (эколого-генетические основы). Кишинев, 1988. 768 с.
3. Dykes L., Rooney L.W. Phenolic Compounds in Cereal Grains and Their Health Benefits // *Cereal Foods of World*. 2007. Vol. 32. Pp. 105–111.
4. Polonskiy V.I., Loskutov I.G., Sumina A.V. Biological role and health benefits of antioxidant compounds in cereals // *Biological Communications*. 2020. Vol. 65. Pp. 53–67. DOI: 10.21638/spbu03.2020.105.
5. Кирьякова М.Н., Юсов В.С., Евдокимов М.Г., Глушаков Д.А. Оценка адаптивной способности перспективных линий яровой твердой пшеницы в условиях Омской области // *Вестник НГАУ*. 2020. №2. С. 18–26. DOI: 10.31677/2072-6724-2020-55-2-18-26.
6. Gómez-Becerra H.F., Morgounov A., Abugalieva A. Evaluation of grain yield stability, reliability and cultivar recommendations in spring wheat (*Triticum aestivum* L.) from Kazakhstan and Siberia // *Journal of Central European Agriculture*. 2006. Vol. 7. Pp. 649–660.
7. Du Y.-L., Xi Y., Cui T., Anten N.P.R., Weiner J., Li X., Turner N.C., Zhao Y.-M., Li F.-M. Yield components, reproductive allometry and the tradeoff between grain yield and yield stability in dryland spring wheat // *Field Crops Research*. 2020. Vol. 257. 107930.
8. Branković G., Dragičević V., Dodig D., Zorić M., Knežević D., Žilić S., Denčić S., Šurlan G. Genotype × Environment interaction for antioxidants and phytic acid contents in bread and durum wheat as influenced by climate // *Chilean Journal of Agricultural Research*. 2015. Vol. 75. Pp. 139–146.
9. Shewry P.R., Piironen V., Lampi A.-M. et al. The HEALTHGRAIN Wheat Diversity Screen: Effects of Genotype and Environment on Phytochemicals and Dietary Fiber Components // *J. Agric. Food Chem*. 2010. Vol. 58. Pp. 9291–9298. DOI: 10.1021/jf100039b.
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. Голева Г.Г. Изучение продуктивности и ее элементов сортов озимой пшеницы (*Tr. aestivum*) при селекции на гомеостатичность в условиях Центрального Черноземья: автореф. дис. ... канд. с/х наук. Рамонь, 1997. 18 с.
12. Негтевич Э.Д., Моргунов А.И., Максименко М.И. Повышение эффективности отбора яровой пшеницы на стабильность, урожайность и качество зерна // Вестник сельскохозяйственной науки. 1985. №1. С. 66–73.
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. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М., 1985. 352 с.
15. Rossielle A.A., Hemblin J. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments // Crop Science. 1981. Vol. 21. Pp. 27–29.
16. Хангильдин В.В., Литвиненко Н.А. Гомеостатичность и адаптивность сортов озимой пшеницы // Научно-технический бюллетень Всесоюзного селекционно-генетического института. 1981. №1. С. 8–14.
17. Lewis D. Gene-Environment Interaction: a Relationship Between Dominance, Heterosis, Phenotypic Stability and Variability // Heredity. 1954. Vol. 8. Pp. 333–356.
18. Сумина А.В., Полонский В.И., Шалдаева Т.М. Суммарное содержание антиоксидантов в зерне ячменя, выращенного в условиях республик Хакасия и Тыва // Вестник КрасГАУ. 2020. №3. С. 60–66.
19. Martinia D., Taddei F., Ciccioritti R. et al. 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 // Journal of Cereal Science. 2015. Vol. 65. Pp. 175–185.
20. Zrcková M., Capouchová I., Eliášová M. et al. The effect of genotype, weather conditions and cropping system on antioxidant activity and content of selected antioxidant compounds in wheat with coloured grain // Plant Soil Environ. 2018. Vol. 64. Pp. 530–538. DOI: 10.17221/430/2018-PSE.
21. Li L., Shewry P.R., Ward J.L. Phenolic Acids in Wheat Varieties in the HEALTHGRAIN Diversity Screen // J. Agric. Food Chem. 2008. Vol. 56. Pp. 9732–9739. DOI: 10.1021/jf801069s.
22. Аниськов Н.И., Сафонова И.В. Сравнительная оценка показателей пластичности, стабильности и гомеостатичности сортов озимой ржи селекции ВИР по признаку «масса 1000 зерен» // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2020. Т. 181(3). С. 56–63. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-3-56-63-56-63.
23. Волкова Л.В., Гирева Л.В. Оценка сортов яровой мягкой пшеницы по урожайности и адаптивным свойствам // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2017. №4. С. 19–23.
24. Тулякова М.В., Баталова Г.А., Лоскутов И.Г., Пермякова С.В., Кротова Н.В. 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.

Поступила в редакцию 9 февраля 2022 г.

После переработки 9 декабря 2022 г.

Принята к публикации 9 декабря 2022 г.

Для цитирования: Полонский В.И., Сумина А.В. Адаптивный потенциал образцов яровой пшеницы по содержанию антиоксидантов в зерне в условиях Восточной Сибири // Химия растительного сырья. 2023. №2. С. 261–268. DOI: 10.14258/jcprm.20230210973.

Polonsky V.I.¹, Sumina A.V.^{1,2*} ADAPTIVE POTENTIAL OF SPRING WHEAT ACCESSIONS FOR THE CONTENT OF ANTIOXIDANTS IN GRAIN IN THE CONDITIONS OF EASTERN SIBERIA

¹ Krasnoyarsk State Agrarian University, pr. Mira, 90, Krasnoyarsk, 660049 (Russia), e-mail: alenasumina@list.ru

² N.F. Katanov Khakass State University, ul. Lenina, 90, Abakan, 655000 (Russia)

The aim of the study is to determine the adaptive potential of wheat accessions grown in Eastern Siberia in terms of the total content of antioxidants (TAC) in the grain and 1000 grain weight, as well as to analyze the relationship between the adaptability indicators of accessions for these traits. The object of the study were 7 accessions of spring wheat, which were grown in three ecological points: Krasnoturansky GSU (Krasnoyarsk Territory), Beisky GSU (Republic of Khakassia) and Piy-Khemsy GSU (Republic of Tyva). The HTC values for these items were respectively: 1.50, 1.25, 0.93. For wheat accessions, 1000 grain

* Corresponding author.

weight and the TAC value were determined. Grain extraction was carried out using hot bidistilled water, the TAC level was measured on a Tsvet Yauza-01-AA device, gallic acid was used as a reference sample. For each of these traits, 5 adaptability parameters of wheat accessions were calculated: coefficient of ecological variation C_v , stress resistance index d , homeostatic parameter Hom , index of level and stability of the variety PUSS, stability factor SF. It is shown that the conditions for growing wheat (point) did not significantly affect the value of TAC in the grain. It was found that the variability of this trait is mainly due to the wheat genotype. It has been established that the optimal values of adaptability parameters and the smallest sum of ranks both in terms of TAC in the grain and in 1000 grain weight were characteristic of the same Omskaya Krassa wheat accession. A positive relationship was found between each indicator of adaptability in terms of the level of TAC in the grain and that in terms of 1000 grain weight, while the correlation was significant for the stability indicators Hom and PUSS. The recorded results suggest a high probability of obtaining wheat accessions with increased stability in terms of TAC in grain when selecting forms for high stability in terms of grain size and vice versa. The discovered effect is the basis of a new method for screening wheat genotypes for an increased level of adaptability in terms of the content of functional substances in the grain – antioxidants, using data on 1000 grain weight instead of the laborious method of their direct measurement for the corresponding calculations.

Keywords: *Triticum aestivum* L., evaluation, plasticity, stability, total content of antioxidants, 1000 grain weight.

References

1. Wang Y., Frei M. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2011, vol. 141, pp. 271–286.
2. Zhuchenko A.A. *Adaptivnyy potentsial kul'turnykh rasteniy (ekologo-geneticheskiye osnovy)*. [Adaptive potential of cultivated plants (ecological and genetic bases)]. Kishinev, 1988, 768 p. (in Russ.).
3. Dykes L., Rooney L.W. *Cereal Foods of World*, 2007, vol. 32, pp. 105–111.
4. Polonskiy V.I., Loskutov I.G., Sumina A.V. *Biological Communications*, 2020, vol. 65, pp. 53–67. DOI: 10.21638/spbu03.2020.105.
5. Kir'yakova M.N., Yusov V.S., Yevdokimov M.G., Glushakov D.A. *Vestnik NGAU*, 2020, no. 2, pp. 18–26. DOI: 10.31677/2072-6724-2020-55-2-18-26. (in Russ.).
6. Gómez-Becerra H.F., Morgounov A., Abugalieva A. *Journal of Central European Agriculture*, 2006, vol. 7, pp. 649–660.
7. Du Y.-L., Xi Y., Cui T., Anten N.P.R., Weiner J., Li X., Turner N.C., Zhao Y.-M., Li F.-M. *Field Crops Research*, 2020, vol. 257, 107930.
8. Branković G., Dragičević V., Dodig D., Zorić M., Knežević D., Žilić S., Denčić S., Šurlan G. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 2015, vol. 75, pp. 139–146.
9. Shewry P.R., Piironen V., Lampi A.-M. et al. *J. Agric. Food Chem.*, 2010, vol. 58, pp. 9291–9298. DOI: 10.1021/jf100039b.
10. Sumina A.V., Polonskiy V.I. *Vestnik KrasGAU*, 2021, no. 10, pp. 203–208. (in Russ.).
11. Goleva G.G. *Izucheniye produktivnosti i yeye elementov sortov ozimoy pshenitsy (Tr. aestivum) pri selektsii na gomeostatichnost' v usloviyakh Tsentral'nogo Chernozem'ya: avtoref. dis. ... kand. s/kh nauk*. [The study of productivity and its elements of winter wheat varieties (Tr. aestivum) during breeding for homeostaticity in the conditions of the Central Chernozem region: Abstract of the thesis. ... cand. agricultural sciences]. Ramon', 1997, 18 p. (in Russ.).
12. Nettevich E.D., Morgounov A.I., Maksimenko M.I. *Vestnik sel'skokhozyaystvennoy nauki*, 1985, no. 1, pp. 66–73. (in Russ.).
13. Fedina P.A., Yashin A.Ya., Chernousova N.I. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2010, no. 2, pp. 91–97. (in Russ.).
14. Dospikhov B.A. *Metodika polevogo opyta*. [Methods of field experience]. Moscow, 1985, 352 p. (in Russ.).
15. Rossielle A.A., Hemblin J. *Crop Science*, 1981, vol. 21, pp. 27–29.
16. Khangil'din V.V., Litvinenko N.A. *Nauchno-tehnicheskii byulleten' Vsesoyuznogo selektsionno-geneticheskogo instituta*, 1981, no. 1, pp. 8–14. (in Russ.).
17. Lewis D. *Heredity*, 1954, vol. 8, pp. 333–356.
18. Sumina A.V., Polonskiy V.I., Shaldayeva T.M. *Vestnik KrasGAU*, 2020, no. 3, pp. 60–66. (in Russ.).
19. Martinia D., Taddei F., Ciccoritti R. et al. *Journal of Cereal Science*, 2015, vol. 65, pp. 175–185.
20. Zrcková M., Capouchová I., Eliášová M. et al. *Plant Soil Environ*, 2018, vol. 64, pp. 530–538. DOI: 10.17221/430/2018-PSE.
21. Li L., Shewry P.R., Ward J.L. *J. Agric. Food Chem.*, 2008, vol. 56, pp. 9732–9739. DOI: 10.1021/jf801069s.
22. Anis'kov N.I., Safonova I.V. *Trudy po prikladnoy botanike, genetike i selektsii*, 2020, vol. 181(3), pp. 56–63. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-3-56-633-56-63. (in Russ.).
23. Volkova L.V., Gireva L.V. *Agrarnaya nauka Yevro-Severo-Vostoka*, 2017, no. 4, pp. 19–23. (in Russ.).
24. Tulyakova M.V., Batalova G.A., Loskutov I.G., Permyakova S.V., Krotova N.V. *Trudy po prikladnoy botanike, genetike i selektsii*, 2021, vol. 182, no. 1, pp. 72–79. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-1-72-79. (in Russ.).

Received February 9, 2022

Revised December 9, 2022

Accepted December 9, 2022

For citing: Polonskiy V.I., Sumina A.V. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2023, no. 2, pp. 261–268. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcpr.20230210973.