

Х.Н. Рустамов, кандидат биологических наук;
М.А. Аббасов кандидат биологических наук;
Институт генетических ресурсов НАН Азербайджана
(AZ1106, р. Азербайджан, проспект Азадлыг, 155, г. Баку
xanbala.rustamov@mail.ru; mehraj_genetic@yahoo.com)

СВЯЗЬ МОРФОФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПШЕНИЦЫ ТВЕРДОЙ (*T. durum* Desf.) С ЗАСУХОУСТОЙЧИВОСТЬЮ

В статье обсуждаются результаты изучения роли физиологических показателей в «засухоурожайности» и устойчивости яровой и озимой твердой пшеницы. Выявлено, что засухоустойчивость пшеницы твердой в различных гидротермических условиях и типах засухи связана с различными показателями, что позволило сделать вывод о том, что более детальная достоверная оценка возможна при использовании не одного показателя, одного метода, а при параллельном использовании нескольких методов, основанных на разных физиологических критериях. Обнаружено, что сорта, в наименьшей степени реагирующие на засуху, имеют высокие значения удельной водоудерживающей способности. Из признаков, установленных на поливе, с помощью которых можно было диагностировать засухоустойчивость, можно отметить высокие значения удельной потери воды при завядании и низкие значения чистой продуктивности фотосинтеза. Для приведения большого объема продукционных и физиологических данных в компактную и информативную форму оказалось необходимым привлечение математического метода статусметрии. Использование метода статусметрии позволило выявить различия в реакции образцов на засуху в зависимости от времени ее наступления и продолжительности, выявить и дать количественную оценку из совокупности морфофизиологических параметров те, которые вносят в определенных гидротермических условиях наибольший вклад в урожайность и устойчивость. Для создания засухоустойчивого исходного материала предложено сочетать изучение большого набора селекционного материала с помощью скрининговых экспресс методов с последующим подробным изучением стабильности урожая и морфофизиологических показателей засухоустойчивости выделенных образцов.

Ключевые слова: пшеница твердая, «засухоурожайность», засухоустойчивость, водоудерживающая способность, дневной водный дефицит, оводненность флагового листа и колоса, площадь флагового листа, коэффициент реализации колоса, индекс засухочувствительности Фишера.

Kh.N. Rustamov, Candidate of Biology;
M.A. Abbasov, Candidate of Biology;
Institute of Genetic Resources AS of Azerbaijan
(AZ1106, Azerbaijan, Baku, Azadlyg Av., 155, xanbala.rustamov@mail.ru;
mehraj_genetic@yahoo.com)

CONNECTION OF MORPHOLOGIC FEATURES OF DURUM WHEAT (T.DURUM DESF.) WITH DROUGHT TOLERANCE

The article considers the results of study of role of physical characteristics in 'productivity during drought' and drought tolerance of spring and winter wheat. It was found, that drought tolerance of durum wheat in different hydro thermal conditions and drought types was connected with different characteristics. It allowed us to conclude that a more reliable assessment was possible when using several methods and technologies simultaneously, based on various physiological criteria. It was revealed that the more tolerant to drought varieties showed larger figures of water-holding capacity. Among the traits which allow recognizing drought tolerance we can note high values of water loss while wilting and low values of a net productivity of photosynthesis. We found essential to use a math method of statusmetria to make large amount of productive and physiological data more informative and compact. The use of statusmetria gave us an opportunity to find differences in the samples' reaction to drought depending on the time and duration. We found and gave quantitative assessment of those morpho physiologic parameters, which show the most productivity and stability under definite hydro thermal conditions. To create drought tolerant primary material we suggest combining the study of breeding material by screening, express methods with further detailed study of yield stability and morpho physiologic features of drought tolerance of the samples.

Keywords: durum wheat, 'productivity during drought', drought tolerance (resistance), water-holding capacity, day water deficit, watering of flag leaf and ear, square of flag leaf, coefficient of ear realizing, drought sensitivity index by Fisher.

Введение. Большая часть посевов зерновых культур находится в зонах с недостаточным увлажнением, поэтому показатель засухоустойчивости определяет обеспечение высоких урожаев пшеницы. Даже в зонах достаточного и избыточного увлажнения в отдельные периоды имеет место дефицит влаги. Засуха, даже кратковременная, резко снижает продуктивность и качество урожая с.-х. культур.

Устойчивость сортов к засухе определяется различными морфофизиологическими механизмами. Поэтому для каждой эколого - географической зоны требуется оценка доли влияния и использования наиболее информативных показателей [1].

Выявление генетического потенциала зерновых культур выражается физиологической реализацией в полевых условиях. Поэтому выбирая практические материалы для прямого бридинга и установления эффективной оновы для расшифровки молекулярных механизмов засухоустойчивости пшеницы необходимо «заставлять» различные генотипы полностью использовать физиологический потенциал при ограниченных условиях воды. Толерантность к водному стрессу определяется не одним геном - является мультигенно контролируемым признаком. У многих созданных генотипов, особенно Баракатли-95, присутствует набор основных генов толерантности [2].

Материалы и методы. Исходя из вышесказанного на Дагестанской опытной станции ВИР и в Институте Генетических Ресурсов НАНА в 1990-2011 гг. на трех фонах (в условиях орошения (полив и без полива-засушник) на низменности и богара в предгорьях) провели изучение связи морфофизиологических показателей пшеницы твердой (*T.durum* Desf.) с засухоустойчивостью и урожайностью. Объект исследования – 46 образцов яровой и озимой твердой пшеницы с различной степенью устойчивости, отобранные на основе предварительного изучения с помощью индекса засухочувствительности Фишера [3].

Посев, фенологические наблюдения, оценку в период вегетации и анализ структуры урожая проводили в соответствии с методическими указаниями по изучению мировой коллекции ВИР (1984). Морфофизиологические показатели: удельную водоудерживающую способность (УВС) – потери воды тканью, в % от сухой массы, относительную водоудерживающую способность (ОВС) – оставшуюся после завядания воду (в % от общего содержания воды), дневной водный дефицит (ДВД), оводненность флагового листа (ОФЛ) и колоса (ОК) оценены по методам Н.Н. Кожушко [5], Х.Н. Рустамова [1]. Коэффициент реализации колоса (КРК) определяли по В.А. Кумакову [6]. Чистую продуктивность фотосинтеза (ЧПФ) и площадь флагового листа (ПФЛ) определяли по В.Г. Земскому [7]. Статистическая обработка результатов опытов проведена по общепринятым методам [8] и методом статусметрии [4-10].

Для построения функциональной модели использовали метод статусметрии - комплекс методов автоматизированного анализа состояния процессов на основе ретроспективного анализа их производительности и качества продукции с множествами показателей состояния процесса или отдельных его этапов. Метод статусметрии позволяет

определить степень информативности признаков, характеризующих урожайность в условиях засухи. Использованы два вида метода статусметрии: натуральный и специальный. Натуральный вид модели представлен в виде: $Z = B_0 + B_1X_1 + B_2X_2 \dots B_kX_k$, при этом линейная дискриминантная функция преобразует вектор параметров ($X_1, X_2, \dots, X_k$), измеренных у 1-го объекта, в единственное число Z . Интегральная оценка Z позволяет классифицировать образцы на высоко- и низкоурожайные или по устойчивости к засухе с использованием следующего решающего правила: $Z > 0$ или правой границы – сорт высокоурожайный; $Z < 0$ или левой границы – сорт низкоурожайный; $Z=0$ или больше левой границы, но меньше правой - сорт попадает в неопределенное решение [9-10].

По результатам проведенных (с помощью программы AN BANK) исследований нами создана база данных имеющая следующие характеристики: морфофизиологические–69, урожай и структура урожайности–74, индексы урожайности–72 и др. параметры (всего 244).

Результаты. С практической точки зрения наибольший интерес представляют сорта, способные давать максимальные урожаи в условиях жесткой засухи. Эту способность можно охарактеризовать показателем «засухоурожайности» [5].

Для изучения продуктивности образцов твердой пшеницы в условиях богары весь изученный набор сортов по урожайности с единицы площади условно разделен на 3 группы: высокая, средняя и низкая. Для анализа взяты контрастные варианты: сорта с высокой и низкой урожайностью. По гидротермическим условиям условно были взяты 3 года – 1990 год был наиболее благоприятным для роста и развития, 1991 год – промежуточный (засуха наблюдалась только весной), а 1992 год – жестко засушливый (засуха наблюдалась в течение всей вегетации). Связь урожайности образцов твердой пшеницы при засухе с физиологическими показателями определяли на основании урожайности с единицы площади в богарных условиях, в годы, различающиеся по гидротермическим условиям (1991-1992 гг.).

1. Физиологические показатели образцов твердой пшеницы с высокой и низкой урожайностью (Дербент, 1991-1992 гг.)

Сорт	Происхождение	Z^1	Индекс ПФЛ	Полив, %		Без полива,	НСМР ²
				ОК	ОВС		
Высокоурожайные сорта							%, УВС
Hazera-870	Болгария	13,04	1,90	66,3	91,7	59,0	58,3
Отбор 2	Азербайджан	10,01	1,20	68,0	89,7	55,0	58,7
Appio	Италия	9,74	1,60	65,7	92,3	79,7	65,0
Yavaros C-79	Мексика	7,57	1,20	68,3	94,0	32,3	80,7

D-27625	США	7,34	1,90	71,7	93,7	58,3	83,0
Берекет	Дагестан	6,52	1,50	68,0	90,7	57,7	76,7
Satri	Греция	6,14	0,80	66,0	91,0	36,7	75,0
Низкоурожайные сорта							
Акмолинка 5	Казахстан	-11,01	0,40	70,0	92,0	79,3	74,0
Гордеиф. 78	Украина	-9,97	0,90	68,7	87,3	60,7	80,7
Gk. Baza	Венгрия	-8,21	0,50	71,0	91,0	66,7	76,0
Сл. Гибрид	Канада	-7,66	0,30	67,0	92,7	66,0	88,3
Алей	Россия	-5,60	1,10	70,3	90,3	73,0	87,7
Prolixe	Франция	-4,91	0,70	66,3	87,0	60,3	74,0
t критерий Стьюдента			4,12	0,74	0,64	1,13	3,59
“весомость” вклада показателя			0,345	0,504	0,189	-0,582	-0,336

Примечание: $Z_{\text{д}}$ – здесь и далее, величина коэффициента решающего правила; НСМР² – накопление сухой массы ростками.

В интенсивно засушливом году в изученном наборе образцов выделены две группы: с массой зерна более 85,0 г/м² – относительно высокоурожайные и менее 75 г/м² – низкоурожайные. Для двух групп статистически достоверные различия получены по следующим показателям: площадь флагового листа (ПФЛ) на поливе; индекс Фишера для ПФЛ, причем, вопреки ожидаемому, значение этого индекса в среднем для группы высокоурожайных сортов оказался выше (1,23), чем для низкоурожайных (0,68); накопление сухой массы ростками (НСМР). Сорта Акмолинка 5, Целиноградская 85, Gk Baza, Aronas выделившиеся в год с весенней засухой как высокоурожайные, в интенсивно засушливом году имели отрицательное значение $Z_{\text{д}}$. Сорт D-27625, наоборот, в промежуточном году имел отрицательное, а в жестко засушливом – положительное значение. Сорта Башкирская 10, Акжайкская и Yavaros C-79 все эти годы имели положительное значение по $Z_{\text{д}}$. Анализ “весомости” вклада показателей выявил, что высокая урожайность находится в положительной связи с индексом ПФЛ, с ОК, ЧПФ, ОВС на поливе; в отрицательной связи с УВС на поливе, ОВС без полива и НСМР (табл. 1). Таким образом, у сортов, имеющих большую поверхность флагового листа на поливе, увеличивается чувствительность этого показателя к засухе (уменьшается значение). В то же время у сортов, показывающих большую площадь ФЛ в условиях засухи, этот показатель слабее реагирует на изменение водного режима. Следовательно, оценка ПФЛ, проведенная на поливе, дает возможность выявить мезоморфные сорта. В условиях засухи большое значение ПФЛ соответствует более ксероморфным сортам. Тот факт, что при засухе меньшая площадь соответствует именно мезоморфным сортам, подтверждается существенной отрицательной связью ПФЛ и ДВД в неполивных условиях.

В качестве критерия устойчивости сортов к засухе принят индекс засухочувствительности Р.А. Фишера для массы зерна с единицы площади [2]. Индекс Фишера показывает потери урожайности данного сорта от засухи по сравнению со

средней потерей урожайности от такой же засухи у всех сортов. Чем меньше значение индекса данного признака по абсолютной величине, тем слабее изменяется признак. Связь этого индекса с физиологическими показателями изучали отдельно по годам, а также в сравнении жестко засушливого года с годами наиболее благоприятным и промежуточным.

Анализ связи между физиологическими показателями в целом согласуется с данными, полученными по урожайности в интенсивно засушливом году. Сорта, адаптированные к засухе, имеют наибольшую площадь флагового листа в неполивных условиях и низкий водный дефицит на поливе и без полива. А большая оводненность листа в условиях засухи соответствует большей оводненности колоса.

В интенсивно засушливом году определили две группы образцов: высоко- (-1,0-0,95) низкоустойчивые (1,0 и выше). Между ними были отмечены достоверные различия по ПФЛ без полива и на поливе, а также по НСМР. По всем признакам среднегрупповые значения для первой группы были выше, чем для второй. Выявлена положительная связь низкого индекса Фишера с ПФЛ без полива, индексом ПФЛ, ОФЛ на поливе, а также коррелятивно связанным с ним ОФЛ без полива и отрицательную связь с ОВС без полива (табл. 2).

2. Физиологические показатели сортов пшеницы твердой
с высокой и низкой устойчивостью к засухе (Дербент, 1991-1992гг.)

Сорт	Происхождение	Z	Индекс ПФЛ	Полив ОФЛ, в %	Без полива, %	
					ОВС	ПФЛ
Высокоустойчивые сорта						
D-27625	США	5,81	1,90	70,7	83,7	35,7
Aronas	Мексика	5,31	0,70	86,0	83,3	38,7
Лазоревая	Россия	4,10	1,70	71,3	79,0	31,2
Акжайкская	Казахстан	4,02	0,80	69,3	76,3	39,7
Yavaros C-79	Мексика	2,39	1,20	84,0	87,0	25,4
Cando	США	2,37	0,60	73,3	86,3	41,2
Гарагылчыг 2	Азербайджан	2,25	0,80	70,3	86,0	40,3
Слабоустойчивые сорта						
Haurani 27	Сирия	-7,44	0,50	71,0	80,7	20,8
Tara	Новая Зеландия	-4,77	0,80	71,0	89,0	26,2
Айсберг од.	Украина	-3,16	0,60	69,3	84,0	30,0
Sahe	Сирия	-2,45	1,50	69,7	83,3	22,0
Acsod 65	Сирия	-2,12	0,20	70,0	86,0	36,9
t критерий Стьюдента			1,05	1,68	0,44	2,25
"весомость" вклада показателя			0,553	0,406	-0,271	0,675

В острозасушливом году сорта, адаптированные к засухе, характеризовались высокой ПФЛ на обоих контрастных по увлажнению фонах, но сильно уменьшали ПФЛ в условиях засухи, о чем свидетельствует высокое значение индекса ПФЛ. Адаптация устойчивых

форм к водному стрессу идет по пути уменьшения ассимиляционной поверхности, что вероятно связано с возможностью сокращения полной транспирации флагового листа. В условиях засухи образцы с высокой ОК характеризуются и высокой ОФЛ, а также высоким КРК, что связано с его аттрагирующей способностью.

Ранжировка образцов с различной устойчивостью по физиологическим критериям повторяет ранжировку по урожайности за исключением сорта Cando (табл. 2). Данный генотип при низкой урожайности в условиях жесткой засухи отличается рядом показателей, определяющих высокую засухоустойчивость.

По данным Г.И. Пахомовой и соавторов [11] в условиях орошения увеличивается водоудерживающая способность (ВС) клеток, что обусловлено повышением микровязкости водной среды протоплазмы, изменением динамических свойств белков и их функциональной активности, что не совпадает с данными W. Dedio [12], который утверждает, что при дефиците влаги ВС увеличивается.

При сопоставлении результатов, обнаружено, что образцы, в наименьшей степени, реагирующие на засуху, в течение всех трех лет имеют высокие значения водоудерживающей способности без полива, удельной потери воды при завядании на поливе и низкие значения чистой продуктивности фотосинтеза на поливе. Из признаков, установленных на поливе, с помощью которых можно было диагностировать засухоустойчивость можно отметить высокие значения удельной потери воды при завядании и низкие значения чистой продуктивности фотосинтеза.

Выводы

Результаты, полученные при анализе засухоустойчивости за три года и урожайности в интенсивно засушливом году, выявили физиологические признаки, позволяющие диагностировать засухоустойчивость сортов.

Высокопродуктивные в условиях жесткой засухи сорта – Берекет, Коралл одесский, Линия 1, Yaguar, Piseno, Satri, а также обладающие по многим показателям высокой устойчивостью к засухе сорта – Алей, Гарагылчыг 2, Prolixe из Франции, D-27625 и Yavaros C-79 могут быть использованы в селекции твердой пшеницы на засухоустойчивость.

Выявлено, что засухоустойчивость пшеницы твердой в различных гидротермических условиях и типах засухи связана с различными показателями. Эти результаты подтверждаются литературными данными [1, 5-8], что позволило нам сделать вывод, что более детальная достоверная оценка возможна при использовании не одного показателя, а при параллельном использовании нескольких методов, основанных на разных физиологических критериях.

Для приведения большого объема продукционных и физиологических данных в компактную и информативную форму, оказалось необходимым привлечение математического метода статусметрии. Использование метода статусметрии дало нам возможность выявить различия в реакции образцов на засуху в зависимости от времени ее наступления и продолжительности, выявить и дать количественную оценку из совокупности морфофизиологических параметров те, которые вносят в определенных гидротермических условиях наибольший вклад в урожайность и засухоустойчивость.

Как показали результаты исследований, для создания засухоустойчивого исходного материала целесообразно сочетать изучение большого набора селекционного материала с помощью скрининговых экспресс методов, с последующим подробным изучением стабильности урожая и морфофизиологических показателей засухоустойчивости выделенных образцов.

Литература

1. Рустамов, Х.Н. Засухоустойчивость различных сортов пшеницы: Методическое пособие, на азербайджанском языке/Х.Н. Рустамов.— Баку: Nafta-Press, 2007.— 52 с.
2. Алиев, Д.А. Фотосинтез, фотодыхание и продуктивность генотипов пшеницы *Triticum* L./Д.А. Алиев//Известия НАНА (Серия биол. науки).— 2010.— №1-2. —С.7-51.
3. Fisher R.A., Maurer R. Drought resistance in spring wheat cultivars. 1. Grain yield responses // Austral. J. Agri. Res. 1978, V. 29. —P. 21-28.
4. Методические указания по изучению мировой коллекции пшеницы под редакцией В.Ф. Дорофеева.— Л.: ВИР, 1984,— 27 с.
5. Методические указания по изучению засухоустойчивости мирового генофонда яровой пшеницы для селекционных целей. / Сост.: Н.Н. Кожушко.— Л.: ВИР, 1991, —90 с.
6. Кумаков, В.А. Оценка засухоустойчивости сортов пшеницы по коэффициентам реализации потенциальной продуктивности колоса/В.А. Кумаков, А.П. Игошин// Диагностика устойчивости растений к стрессовым воздействиям (методическое руководство).— Л., 1989.— С.30-35.
7. Земский, В.Г. Определение чистой продуктивности фотосинтеза/ В.Г. Земский: Практикум по физиологии растений/ Под редакцией Третьякова Н.Н.— М.: 1990.
8. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований)/Б.А. Доспехов.— М.: Агропромиздат.— 1985.
9. Зарецкая, Ю.М. Оптимизация иммунологического подбора пар донор-реципиент при трансплантации почки/Ю.М. Зарецкая, Г.А. Поддубский, Г.И. Разоренов, Т.С. Дурнева// Вестник АМН СССР. М.: Медицина.—1989.— № 6. - С. 16-25.

10. *Разоренов, Г.И.* Автоматизированная количественная оценка и анализ состояния организма (медицинская статусметрия)/ Г.И. Разоренов, Г.А. Поддубский.–Л.,1985. –195с.
11. *Пахомова, Г.И.* Водообмен листьев пшеницы в условиях орошения/ Г.И. Пахомова, В.И. Хисамутдинова, Н.С. Сиянова // Регуляция водного обмена растений: Матер. VII Всесоюзного Симпозиума.–Киев: Наукова Думка, 1984. -С. 152-154.
12. *Dedio, W.* Water relation in wheat leaves as screening test for drought resistance // *Canad. J. Plant Sci.*, 1975, № 2. -V. 55. –P. 12-17.

Literature

1. *Rustamov, Kh.N.* Drought tolerance of different wheat varieties (in Azerbaijani)/Kh.N. Rustamov.– Baku:Nafta-Press, 2007, 52 p.
2. *Aliev, D.A.* Photosynthesis, photo breath and productivity of genotypes of wheat *Triticum L.*/ D.A. Aliev // *Izvestiya NANA (Chapter: Biological Sciences)*.– 2010.– №1-2. - P.7-51.
3. *Fisher, R.A., Maurer R.* Drought resistance in spring wheat cultivars. 1. Grain yield responses // *Austral. I. Agri. Res.* 1978, V. 29. –P. 21-28.
4. Guidelines on study of world wheat collection. Ed. by V.F. Dorofeev.– L.: ARIR, 1984. – 27 p.
5. Guidelines on study of drought resistance of world gene fund of spring wheat for breeding/ Ed. N.N. Kozhushko.– L.: ARIR, 1991. – 90 p.
6. *Kumakov, V.A.* Assessment of drought resistance of wheat according to coefficients of realization of potential productivity of an ear/ V.A. Kumakov, A.P. Igoshin// *Diagnostics of plant resistance to stresses (guidelines)*. –L., 1989. – P. 30-35.
7. *Zemsky, V.G.* Determining of net productivity of photosynthesis/V.G. Zemsky : Practice of plant physiology/Ed.by N.N. Tretyakov.– Moscow. – 1990.
8. *Dospekhov, B.A.* Methodology of field experiment: with the basis of statistics of research results/ B.A. Dospekhov. 5-th edition. - M.: Kolos, 1985. – 321 p.
9. *Zaretskaya, Yu.M.* Optimization of immunological selection of ‘donor-recipient’ pairs for kidney transplantation/ Yu.M. Zaretskaya, G.A. Poddubsky, G.A. Razorenov, T.S. Durneva, // *Vestnik of AMS USSR. M.: Medicine*.– 1989.– № 6. - P. 16-25.
10. *Razorenov, G.I.* Automated quantitative assessment and analysis of the state of the organism (medical statusmetriya)/ G.I. Razorenov, G.A. Poddubny.– L., 1985. – 195 p.
11. *Pakhomova, G.I.* Water relation of wheat leaves in the conditions of irrigation/ G.I. Pakhomova, V.I. Khisamutdinova, N.S. Siyanova// Regulation of water relation of plants: Materials of the VII All-Russian Conference. – Kiev: Naukova Dumka, 1984. – P. 152-154.

12. *Dedio, W.* Water relation in wheat leaves as screening test for drought resistance // *Canad. J. Plant Sci.*, 1975, № 2. -V. 55. -P. 12-17.