

BIOLOGICAL SCIENCES

STUDY OF WATER REGIME AND PHOTOSYNTHETIC PIGMENTS OF TRITICALE HYBRIDS AND THEIR PARENTAL FORMS

Ibrahimova Z.

PhD, associate professor, leading researcher of the Department of Physiological Genetics, Institute of Genetic Resources of MNO, Baku <https://orcid.org/0009-0005-1882-4221>

Mammadova S.

PhD, associate professor, head of Germplasm laboratory, Institute of Genetic Resources of MSE, Baku <https://orcid.org/0000-0002-6884-757X>

Masimzade L.

Researcher of the Department of Physiological Genetics, Institute of Genetic Resource of MSE, Baku

Aliyev R.

Professor, Head of the Department of Physiological Genetics, Institute of Genetic Resources of MSE, Baku <https://orcid.org/0009-0003-9535-2446>

ИЗУЧЕНИЕ ВОДНОГО РЕЖИМА И ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИХ ПИГМЕНТОВ ГИБРИДОВ ТРИТИКАЛЕ И ИХ РОДИТЕЛЬСКИХ ФОРМ

Ибрагимова З.

Кандидат биологических наук, доцент, ведущий научный сотрудник отдела Физиологической генетики, Институт Генетических Ресурсов МНО, Баку

Мамедова С.

Кандидат биологических наук, доцент, заведующая лабораторией Гермоплазмы, Институт Генетических Ресурсов МНО, Баку

Масимзаде Л.

научный сотрудник отдела Физиологической генетики, Институт Генетических Ресурсов МНО, Баку

Алиев Р.

Доктор биологических наук, профессор, заведующий отделом Физиологической генетики, Институт Генетических Ресурсов МНО, Баку <https://doi.org/10.5281/zenodo.17352690>

Abstract

The aim of the study was to determine the photosynthetic activity and study the parameters of the water regime in 17 triticale hybrids and their 6 parental forms under water deficit conditions. The parameters of the water regime were assessed in the conditions of Apsheron during the plant seedling emergence phase. The samples were grown on the field experimental plot of the Institute of Genetic Resources under irrigation and water deficit conditions. It was found that under water deficit, the relative water content, relative turgescence and water absorption capacity decreased in most samples. Water deficit and water-holding capacity increased. In some samples, along with a slight increase in the amount of photosynthetic pigments under water deficit conditions, their degradation to varying degrees was observed. Based on the results obtained, it was found that triticale hybrids are more resistant to water deficit than their parental forms.

Аннотация

Целью исследований было определение фотосинтетической активности и изучение параметров водного режима у 17 гибридов тритикале и их 6 родительских форм в условиях водного дефицита. Параметры водного режима оценивали в условиях Апшерона в фазу появления всходов растений. Образцы выращивали на полевом опытном участке Института генетических ресурсов в условиях орошения и водного дефицита. Установлено, что при водном дефиците у большинства образцов снижались относительное содержание воды, относительная тургесцентность и водопоглощающая способность. Показатели водного дефицита и водоудерживающей способности, увеличивались. У некоторых образцов наряду с незначительным увеличением количества фотосинтетических пигментов в условиях водного дефицита наблюдалась их деградация в разной степени. На основании полученных результатов установлено, что гибриды тритикале более устойчивы к водному дефициту, чем родительские формы.

Keywords: triticale, hybrids, water regime, drought resistance, chlorophyll

Ключевые слова: тритикале, гибриды, водный режим, засухоустойчивость, хлорофилл

В условиях нарастающей климатической изменчивости и учащения засушливых периодов **особого** внимания заслуживает создание засухоустойчивых и продуктивных сортов и линий тритикале. Тритикале – гибрид пшеницы (*Triticum*) и ржи (*Secale*), искусственно созданная зерновая культура, которая сочетает высокую продуктивность и качество зерна пшеницы с выносливостью и неприхотливостью ржи. Благодаря этому она демонстрирует превосходство над родительскими видами по ряду агрономически важных признаков, таких как урожайность, питательная ценность зерна, устойчивость к ряду болезней и неблагоприятным факторам среды [1]. Актуально изучение физиологических механизмов устойчивости, в частности, параметров водного режима растений, которые являются интегральными показателями их способности противостоять почвенной и атмосферной засухе [2]. Водный режим определяет функциональное состояние растения, поскольку вода выступает не только как необходимый субстрат для биохимических процессов, но и как регулятор термостабильности и тургора клеток. Как подчеркивают современные исследования, реакция на засуху является сложным, сценарий-зависимым процессом [9], что делает комплексную оценку физиологических откликов в критические фазы развития наиболее надежным подходом для скрининга устойчивых генотипов.

В условиях водного дефицита первоочередным изменениям подвергаются именно показатели водного статуса. Относительное содержание воды отражает уровень гидратации тканей и считается одним из наиболее надежных индикаторов водного стресса. Водный дефицит показывает величину нехватки воды для достижения полного насыщения тканей. Водоудерживающая способность характеризует способность клеток противостоять обезвоживанию, в то время как водопоглощающая способность и относительная свидетельствуют о способности тканей к регидратации и восстановлению тургора после стресса. Совокупность этих параметров позволяет всесторонне оценить стратегию адаптации генотипа к дефициту влаги [5; 6].

Нарушение водного гомеостаза неизбежно затрагивает работу фотосинтетического аппарата. Снижение относительного содержания воды приводит к закрытию устьиц, ограничению поступления CO_2 и, как следствие, к нарушению темновых реакций фотосинтеза. Длительный стресс может вызывать деградацию фотосинтетических пигментов — хлорофиллов а и b и каротиноидов, а также разрушение фотосистем, что проявляется в снижении фотосинтетической активности. Однако некоторые устойчивые генотипы способны поддерживать или даже увеличивать пул пигментов для более эффективного использования доступной световой энергии в стрессовых условиях [7].

Таким образом, целью наших исследований было комплексное определение фотосинтетической активности и изучение ключевых параметров водного режима (водного дефицита, относительной

оводнённости, водоудерживающей способности, водопоглощающей способности, относительной тургесцентности) у 17 гибридов тритикале и их 6 родительских форм в условиях моделированного водного дефицита. Подобный сравнительный анализ позволяет не только выявить наиболее устойчивые формы, но и оценить проявление эффекта гетерозиса в наследовании признаков засухоустойчивости, что является основой для эффективной селекции [4; 8].

Материалы и методы

В качестве родительских форм использовались: Bezostaya – 100 var. *lutescens*, Chinese Spring var. *lutescens*, (225 K × Xersonskaya - 86) var. *erythrospermum*, 172 ACS var. *lutescens* × (NA – 75 × Ch. Spring), 384 / 1D [1R (1D)], 384 / 2D [1R (1D)]. В качестве гибридов использовали образцы гибридов поколения F_3 следующих комбинаций: 384 / 1D × Ch. Spring, 172 ACS × 384 / 1D, 225 DKL - 86 × 381 / 1D, 384 / 2D × Bezostaya – 100. Образцы родительских форм – Р - 252, Р - 255, Р - 319, Р - 330, Р - 378, Р - 379 и гибридов тритикале – Н-678, Н-680, Н-683, Н-685, Н-687, Н-688, Н-690, Н-691, Н-693, Н-696, Н-698, Н-700, Н-701, Н-702, Н-704, Н-712, Н-715 были предоставлены отделом Молекулярной цитогенетики Института генетических ресурсов.

Параметры водного режима гибридов и их родительских образцов оценивали в условиях Апшерона в фазу появления всходов. Апшерон характеризуется короткой зимой и продолжительным жарким летом. Образцы выращивали на опытном участке Института генетических ресурсов в условиях орошения (влажность почвы 70%) и дефицита воды (влажность почвы 35%). Параметры водного режима определяли по методу Н.Н. Кожушко [3]. Количество хлорофилла в листьях верхнего и среднего ярусов опытных растений определяли с помощью портативного прибора SPAD-502 PLUS. Прибор определяет спектральное поглощение в двух диапазонах и на основании полученных показателей рассчитывает суммарное индексированное значение хлорофилла в листьях.

Результаты и обсуждение

В оптимальных условиях водный дефицит родительских форм составлял от 16,4 до 38,6% (Рис. 1). В условиях дефицита воды этот показатель варьировал от 21,3 до 47,1%. Родительский образец Р – 252 продемонстрировал минимальный водный дефицит как в оптимальных, так и в стрессовых условиях. Наибольший показатель был отмечен у родительской формы Р – 330.

У гибридных образцов водный дефицит в оптимальных условиях варьировал в диапазоне 14,1–27,9%. Низкие показатели продемонстрировали образцы Н-688 и Н-701, высокие – Н-683. При водном стрессе этот показатель варьировал в диапазоне 16,8–57,3%. Нижняя граница этого интервала была характерна для гибридного образца Н-701, а верхняя – для Н-678. Таким образом, минимальный показатель водного дефицита как в оптимальных, так и в засушливых условиях наблюдался у гибридного образца Н-701.

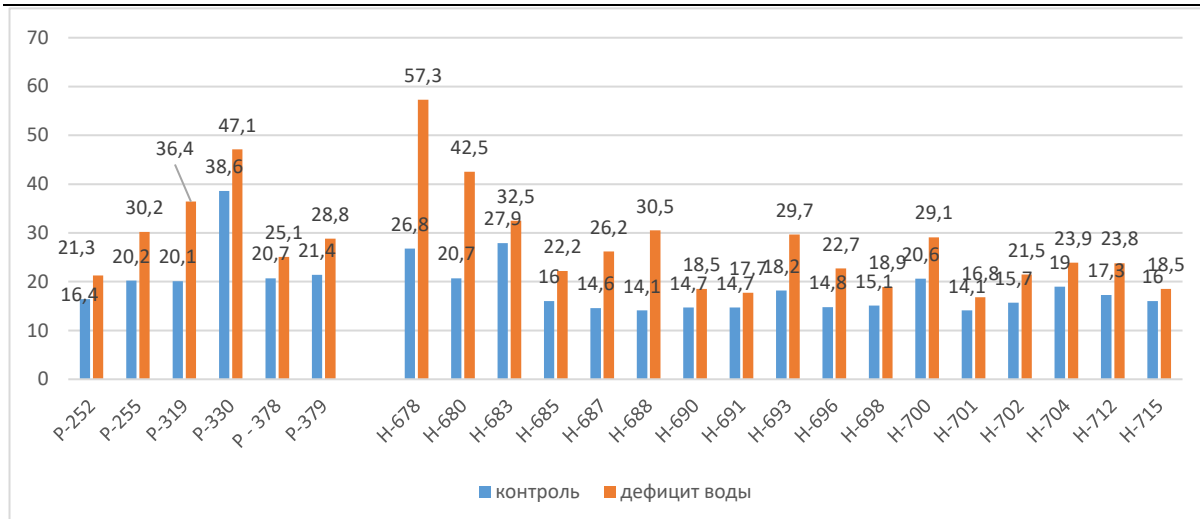


Рисунок 1. Дефицит воды у родительских и гибридных форм тритикале

В фазу выхода в трубку относительное содержание воды в тканях листьев родительских форм при оптимальном орошении составляло от 71,3% (P-330) до 83,5% (P-252) (Рис. 2). При водном стрессе этот показатель варьировал от 61,3% (P-

330) до 78,7% (P-252). В оптимальных условиях относительная оводнённость листьев гибридных образцов тритикале варьировала от 72,4% до 90,3%. Минимальное значение было отмечено у H-683, а максимальное – у H-693.

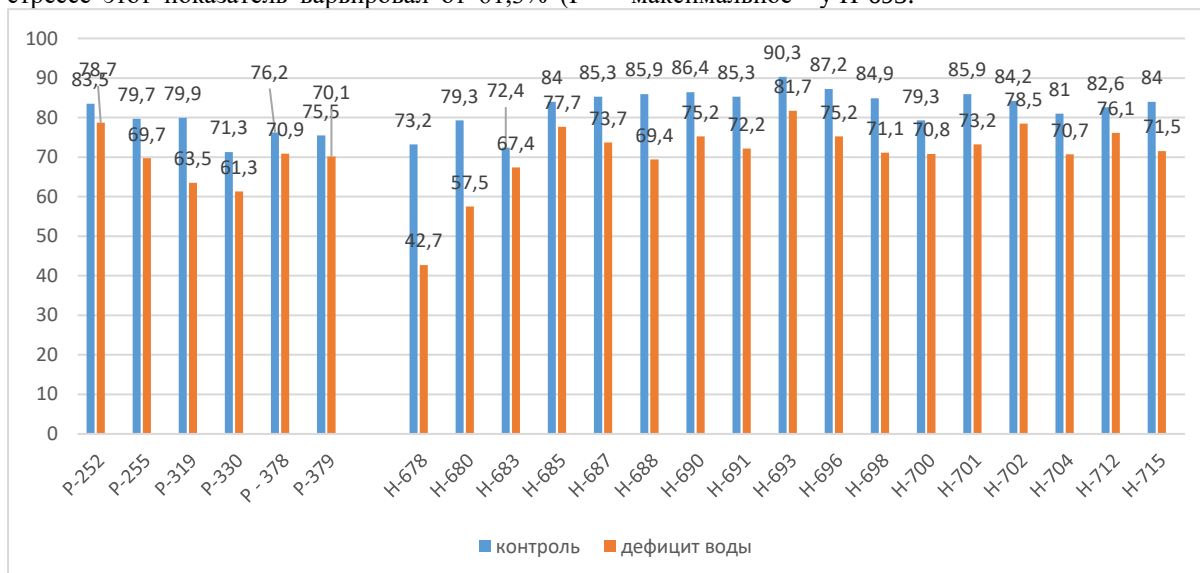


Рисунок 2. Относительное содержание воды у образцов родительских и гибридных формах тритикале

По относительной оводнённости листьев гибридов тритикале в условиях засухи наименьшие показатели были у образцов H-678 (42,7%) и H-680 (57,5%), а наибольший показатель – у образца H-

693 (81,7%). При этом у одиннадцати гибридных образцов относительная оводнённость составила более 70%. Из них можно отметить H-685 (77,7%), H-702 (78,5%), H-712 (76,1%) и H-690 (75,2%)

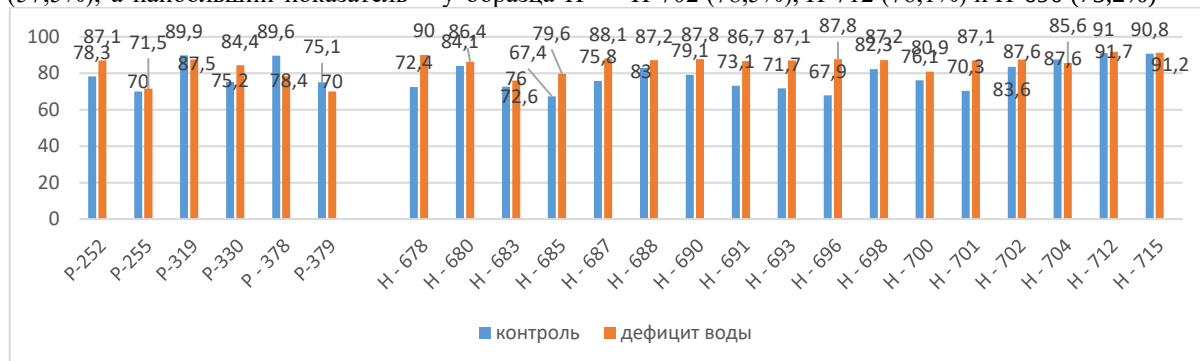


Рисунок 3. Водоудерживающая способность тритикале у родительских и гибридных форм

Водоудерживающая способность является одним из важных параметров, определяющих засухоустойчивость. Известно, что она увеличивается за счёт роста количества воды, связанной с осмотическими веществами в клетках, при водном дефиците. Согласно литературным данным, у более засухоустойчивых сортов водоудерживающая способность выше [1]. В условиях оптимального орошения водоудерживающая способность родительских форм колебалась от 70,0% (P-255) до 89,9% (P-319) (Рис. 3). При дефиците воды этот показатель у родительских форм колебался от 70,0% (P-379 и P-255) до 87,5% (P-252 и P-319).

В условиях оптимального орошения водоудерживающая способность гибридов тритикале колебалась от 70,3% (H-701) до 90,8% (H-715). При водном стрессе водоудерживающая способность гибридных образцов составляла от 76,0% (H-683) до

91,7% (у H-712; у H-715 – 91,2%, а у H-678 – 90,0%). Примечательно, что водоудерживающая способность гибридов тритикале увеличилась на 4–6% в условиях водного стресса по сравнению с контролем.

Способность к поглощению воды – важный признак, позволяющий более устойчивым генотипам противостоять стрессу и быстрее восстанавливаться после его воздействия. В оптимальных условиях водопоглощающая способность родительских форм составляла от 92,2% (P - 379) до 107,3% (P - 252), а в условиях засухи – от 61,3% (P - 330) до 78,7% (P - 252). У гибридов тритикале водопоглощающая способность в контроле составляла от 83,6% (H - 696) до 138,9% (H - 702), а после водного стресса – от 84,7% (H - 678) до 108,1% (H - 693). Водопоглощающую способность выше 100% показали 6 гибридных образцов (Рис. 4).



Рисунок 4. Водопоглощающая способность тритикале родительских и гибридных форм

Сравнительный анализ водного режима гибридов тритикале и их родительских форм показал, что показатели параметров водного режима у гибридных образцов превосходят таковые у родительских форм: было зафиксировано увеличение водоудерживающей способности на 4,8–8,5% и водопоглощающей способности на 38%. В обзоре Sallam A. и др. [8], по пшенице и ячменю суммированы последние достижения в понимании физиологических механизмов включая водный режим и фотосинтез и

генетических основ устойчивости, с акцентом на лучшую устойчивость гибридов, что перекликается с нашими результатами.

Количество фотосинтетических пигментов у родительских форм варьировало от 45,9 (P-378) до 54,2 (P-255) у.е. в условиях орошения (Рис. 5). В засушливых условиях этот показатель находился в диапазоне от 41,5 (P-378 и P-379) до 49,5 (P-330). При этом у родительской формы P-319 наблюдалось увеличение количества хлорофилла на 17,5%.

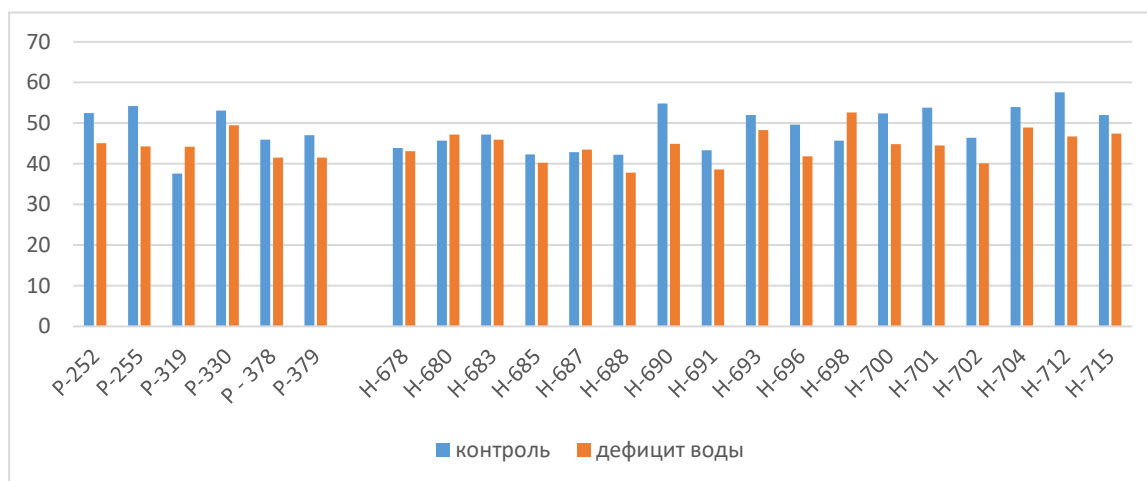


Рис. 5. Количество фотосинтетических пигментов у образцов гибридов тритикале и их родительских форм

Суммарное содержание хлорофиллов *a* и *b* у гибридов тритикале в контроле составляло 42,2 (Н-688) – 57,6 (Н-712) у.е. В условиях водного дефицита сумма фотосинтетических пигментов варьировала от 37,8 (Н-688) до 52,6 (Н-698) у.е. У гибридных образцов Н-680, Н-687, Н-698 отмечено увеличение количества фотосинтетических пигментов на 3,2%, 1,3% и 15,0%, соответственно.

Таким образом, установлено, что при дефиците воды относительная оводнённость и водопоглощающая способность гибридов тритикале и их родительских форм снижались. Дефицит воды и водоудерживающая способность увеличивались. У некоторых образцов, наряду с незначительным увеличением количества фотосинтетических пигментов в условиях нехватки воды, наблюдалась их деградация в различной степени. На основании полученных результатов по параметрам водного режима и количеству фотосинтетических пигментов установлено, что гибриды тритикале оказались более устойчивыми к водному дефициту, чем родительские формы.

Список литературы:

1. Головина Е.В., Зайцев В.Н. Влияние погодных условий на водный режим, пигментный комплекс и продуктивность сои // *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2016. № 2 (18), 111-116
2. Ибрагимова З.Ш. Параметры водного режима и содержание свободного пролина в листьях

образцов озимой тритикале при водном стрессе // *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2024. № 2 (50), 74-79

3. Кожушко Н.Н. Оценка засухоустойчивости полевых культур // *Диагностика устойчивости растений к стрессовым воздействиям: методическое руководство* / Под ред. Г.В. Удовенко. Л.: ВИР, 1988, 10-25

4. Bujak, H., et al. (2021). The reaction of spring triticale genotypes to drought stress. *Plants*, 10(5), 898

5. Chaves, M. M., Flexas, J., & Pinheiro, C. (2009). Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. *Annals of Botany*, 103(4), 551-560

6. Fàbregas, N., & Fernie, A. R. (2019). The metabolic response to drought. *Journal of Experimental Botany*, 70(4), 1077-1085

7. Farooq, M., Hussain, M., Wahid, A., & Siddique, K. H. M. (2012). Drought stress in plants: an overview. In *Plant responses to drought stress*. Springer, Berlin, Heidelberg, 1-33

8. Sallam, A., Alqudah, A. M., Dawood, M. F., Baenziger, P. S., & Börner, A. (2019). Drought stress tolerance in wheat and barley: advances in physiology, breeding and genetics research. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(13), 31-37

9. Tardieu, F., Simonneau, T., & Muller, B. (2018). The physiological basis of drought tolerance in crop plants: a scenario-dependent probabilistic approach. *Annual Review of Plant Biology*, 69, 733-759