

Оценка сортов *Triticum durum* по концентрации клеточного сока и осмотического давления листьев в разных условиях увлажнения

Т. А. Тимошенкова, ведущий научный сотрудник отдела селекции и семеноводства зерновых культур, кандидат сельскохозяйственных культур

ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН, 460000, Оренбург, ул. 9-я января 29

✉ tim2233@mail.ru

Резюме. Исследования выполняли в 2017–2020 гг. с целью определения влияния контрастных условий увлажнения на концентрацию клеточного сока и осмотическое давление в тканях листьев растений яровой твёрдой пшеницы и выделения более устойчивых к водному дефициту сортов для использования в селекции на засухоустойчивость в степи Оренбургского Предуралья. Объектами для экспериментов служили 11 сортов яровой твёрдой пшеницы разного экологического происхождения. Полевые опыты закладывали в степной зоне Оренбургской области. Концентрацию клеточного сока и осмотическое давление в клетках листьев яровой твёрдой пшеницы определяли рефрактометрическим методом в критические периоды по потребности пшеницы во влаге: фаза выхода в трубку и фаза колошения. Растения яровой твёрдой пшеницы адаптируются к условиям недостаточного увлажнения, повышая концентрацию клеточного сока и осмотическое давление в клетках листьев. Под действием дефицита увлажнения и высоких температур в фазу выхода в трубку достоверно на большую величину повышают концентрацию клеточного сока сорта Безенчукский янтарь (+3,19 %), Безенчукская 205 (+2,74 %), Харьковская 3 (+2,72 %), а в фазу колошения – Оренбургская 10 (+2,38%), Оренбургская 21 (+2,04 %), Безенчукская 205 (+1,92 %), Безенчукская 210 (+1,97 %). Максимальный рост осмотического давления в клетках листьев в фазу выхода в трубку выявлено у сортов: Харьковская 3 (+246,1 кПа), Безенчукская 205 (+244,1 кПа), Безенчукский янтарь (+232,0 кПа), Безенчукская степная (+212,4 кПа) и Харьковская 23 (+207,3 кПа) и в фазу колошения – Оренбургская 10 (+202,9 кПа), Оренбургская 21 (+181,0 кПа), Безенчукская 210 (+173,5 кПа) и Безенчукская 205 (+166,4 кПа). Выделенные сорта можно рекомендовать для селекционной работы по повышению засухоустойчивости местного генофонда яровой твёрдой пшеницы.

Ключевые слова: твёрдая пшеница, сорт, концентрация клеточного сока, осмотическое давление.

Для цитирования: Тимошенкова Т. А. Оценка сортов *Triticum durum* по концентрации клеточного сока и осмотического давления листьев в разных условиях увлажнения // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2024. № 4 (68). С. 59-66. doi:10.18286/1816-4501-2024-4-59-66

Evaluation of *Triticum durum* varieties by cell sap concentration and osmotic pressure of leaves under different moisture conditions

T. A. Timoshenkova

Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Center of Biological Systems and Agricultural Technologies of the Russian Academy of Sciences"

460000, Orenburg, 9th January St. 29

✉ tim2233@mail.ru

Abstract. The studies were carried out in 2017-2020 to determine the effect of contrasting moisture conditions on cell sap concentration and osmotic pressure in leaf tissues of spring hard wheat plants and to isolate varieties which are more resistant to water deficiency for selection for drought resistance in the steppe of the Orenburg Pre-Urals. The objects for the experiments were 11 varieties of spring hard wheat of different ecological origin. Field experiments were conducted in the steppe zone of Orenburg Region. The concentration of cell sap and osmotic pressure in the cells of spring hard wheat leaves were determined by the refractometric method during critical periods of wheat moisture requirements: the shooting stage phase and the heading phase. Spring hard wheat plants adapt to conditions of insufficient moisture by increasing the concentration of cell sap and osmotic pressure in leaf cells. Under the influence of moisture deficit and high temperatures in shooting phase, the following varieties increase the concentration of cell sap: Bezenchukskiy Yantar (+3.19%), Bezenchukskaya 205 (+2.74%), Kharkovskaya 3 (+2, 72%), and in the heading phase – Orenburgskaya 10 (+2.38%), Orenburgskaya 21 (+2.04%), Bezenchukskaya 205 (+1.92%), Bezenchukskaya 210 (+1.97%). The maximum increase in osmotic pressure in leaf cells during the shooting phase was found in the following varieties: Kharkovskaya 3 (+246.1 kPa), Bezenchukskaya 205 (+244.1 kPa), Bezenchukskiy Yantar (+232.0 kPa), Bezenchukskaya Stepnaya (+212.4 kPa) and Kharkovskaya 23 (+207.3 kPa) and in the heading phase Orenburgskaya 10 (+202.9 kPa), Orenburgskaya 21 (+181.0 kPa), Bezenchukskaya 210 (+173.5 kPa) and Bezenchukskaya 205 (+166.4 kPa). The selected

varieties can be recommended for selection work to increase the drought resistance of the local gene pool of spring hard wheat.

Keywords: durum wheat, variety, cell sap concentration, osmotic pressure.

For citation: Timoshenkova T. A. Evaluation of triticum durum varieties by cell sap concentration and osmotic pressure of leaves under different moisture conditions // Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy. 2024;4(68): 59-66 doi:10.18286/1816-4501-2024-4- 59-66

Исследования проведены по теме государственного задания FNWZ-2022-0015

Введение

Изменения климата в сторону повышения аридности оказывают сильное негативное влияние на уровень мирового зернового производства. Засуха, суховеи и высокие температуры воздуха оказывают отрицательный эффект на развитие культивируемых в мире растений [1, 2, 3].

Большинство регионов России подвержены влиянию засушливых условий, снижающих продуктивность сельскохозяйственных растений, в том числе и яровой твёрдой пшеницы (*Triticum durum* Desf.). На сегодняшний день проявление неблагоприятных факторов в период роста и развития растений пшеницы участились [4].

Засухоустойчивость – сложный наследственный признак, который характеризуют как способность сорта формировать более высокий урожай в условиях высоких температур и дефицита увлажнения по сравнению с другими генотипами. Засухоустойчивость проявляется в разной степени в зависимости от видов растений и степени напряжённости факторов, формирующих интенсивность и длительность действия засухи. В изучении засухоустойчивости применяют методы полевой оценки и широкий набор лабораторных методов [5, 6]. В зарубежных научных работах отмечено, что устойчивость к дефициту влаги имеет количественное проявление и ее контролируют полигенные системы [7, 8].

При создании устойчивых к засухе сортов необходима информация о признаках и механизмах, обеспечивающих приспособление растений к дефициту увлажнения в разные фазы развития [9, 10, 15]. Пшеница обладает физиологическими механизмами, которые позволяют адаптироваться к стрессу засухи, и они изменяются в зависимости от генотипа [11, 12, 13].

В селекционные программы на повышение засухоустойчивости яровой твёрдой пшеницы активно включаются сорта и линии международного центра сельскохозяйственных исследований в засушливых регионах «ICARDA». Отобранный селекционный материал вовлекается в сложно-ступенчатую гибридизацию [14].

Устойчивость растений пшеницы к засушливым условиям и их физиологическое состояние в определённые периоды развития характеризуют параметры водного режима [15, 16, 17].

Климатической особенностью Уральского региона является его резкая континентальность, с неравномерным и нерегулярным выпадением атмосферных осадков в период вегетации растений, с большими колебаниями температурного режима почвы и воздуха. Всё это отражается на сильных вариациях уровня

продуктивности посевов яровой твёрдой пшеницы. Условия региона позволяют выращивать зерно с высокими крупными и макаронными свойствами. В этой связи возрастает актуальность селекционной работы на повышение устойчивости местного генофонда яровой пшеницы к засухе. Создание засухоустойчивых сортов яровой твёрдой пшеницы для условий степи Оренбургской области – довольно сложная задача. Это связано с нестабильным проявлением засухи и суховеев на территории региона, уровнем их интенсивности и трудностью сочетания высокой устойчивости с продуктивностью пшеницы [18].

Влияние засушливых условий на параметры водного режима листьев яровой твёрдой пшеницы изучены слабо.

Цель исследований – определение влияния контрастных условий увлажнения на концентрацию клеточного сока и осмотическое давление в тканях листьев растений твёрдой пшеницы и выделении более устойчивых к водному дефициту сортов для использования в селекции на засухоустойчивость в степи Оренбургского Предуралья.

Материалы и методы

Эксперименты проводили в 2017-2020 гг. в питомнике экологического сортоиспытания на полях отдела селекции и семеноводства зерновых культур ФГБНУ Федерального научного центра биологических систем и агротехнологий РАН. Опытный участок расположен в степной центральной зоне Оренбургского Предуралья. Объектом исследований были современные сорта яровой твёрдой пшеницы разного экологического происхождения. Изучали сорта оренбургской селекции (Гордея, Оренбургская 10 (стандарт), Оренбургская 21, Оренбургская целинная и Целинница), самарской селекции (Безенчукская 205, Безенчукский янтарь, Безенчукская степная и Безенчукская 210) и украинской селекции (Харьковская 3 и Харьковская 23). Посев опытов осуществляли в оптимальные сроки для центральной зоны Оренбургской области сеялкой ССФК-7,0 с нормой высева 450 всхожих семян на 1 кв. м. Изучение сортов проводили на делянках площадью 15 кв. м. Расположение вариантов – последовательное в трехкратной повторности. Почва участка – чернозём обыкновенный тяжёлого глинистого механического состава.

Согласно анализу метеорологических данных, 2017 г. был среднеувлажнённым. Сумма активных температур воздуха за вегетационный период яровой твёрдой пшеницы составила 1551,3...1835,6°C. Атмосферных осадков выпало 119,7...120,0 мм. Год был благоприятен для развития пшеницы. Гидротермический

коэффициент (ГТК) был равен 0,93 ед. Условия 2018 г. характеризовались как засушливые. Сумма осадков была в пределах 102...107 мм, ГТК – 0,59 ед., сумма активных температур воздуха – 1612,1...1720,7°C. Острозасушливые условия отмечали в период колошение–формирование зерна. Для 2019 г. была характерна весенне-летняя засуха. Сумма осадков составила 90,2...96,2 мм. Температурный фон был высокий. Сумма активных температур достигла 1921,8...2060,2°C. ГТК за вегетацию была равна 0,46 ед. В 2020 г. отмечали летнюю засуху. Атмосферные осадки выпадали крайне не равномерно. Сумма осадков за июнь составляла 41,6 % от нормы, за июль – 53,0 %. Засушливые условия складывались в критические для развития растений пшеницы периоды (выход в трубку и колошение).

Концентрацию клеточного сока (ККС) листьев и осмотическое давление (ОД) в клетках листьев сортов яровой твёрдой пшеницы определяли рефрактометрическим методом (Илларионова Е. А., Сыроватский И. П. *Рефрактометрия. Теоретические основы метода. Иркутск: Иркутский ГМУ. 2013. 54 с.*). Эти показатели исследовали в критические периоды по потребности пшеницы во влаге: фаза выхода в трубку и фаза колошения. В статистической обработке использовали дисперсионный анализ (Доспехов Б.А. *Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.*).

Результаты

Засуха как опасный для растений абиотический стресс-фактор оказывает сильное влияние на фотосинтез, дыхание, ростовые процессы и др. Но основное негативное воздействие она оказывает на водный режим растений. В научных работах ряда учёных отмечено, что растения пшеницы на засушливые условия реагируют морфологическими и физиологическими изменениями во всех частях растений. С одной стороны, водный дефицит приводит к гибели растений, с другой – к проявлению адаптивных процессов и противодействию засушливым условиям [12, 14, 19].

Концентрация клеточного сока входит в число наиболее чувствительных показателей состояния водного режима растений. На концентрацию клеточного сока значительное влияние оказывает оводнёность почвы, температура воздуха и дефицит влажности воздуха.

Концентрация клеточного сока листьев сортов твёрдой пшеницы в благоприятных условиях увлажнения (2017 г.) в фазу выхода в трубку изменялась в среднем от 3,77 % до 5,47 % (табл.1). ККС листьев существенно ниже показателей стандартного сорта Оренбургская 10 была у сортов Харьковская 23 (-1,47 % к стандарту); Безенчукская 205 (-1,44 % к стандарту); Безенчукская 210 (-1,40 % к стандарту); Безенчукский янтарь (-1,37 % к стандарту); Харьковская 3 (-1,27 % к стандарту); Безенчукская степная (-1,23 % к стандарту) и Целинная (-0,73 % к стандарту). Исключение составил сорт Оренбургская целинная. У данного сорта концентрация клеточного сока была выше стандарта на 0,23 %. При этом HCP_{05} была равна 0,16 %.

Засуха, как правило, результат действия водного дефицита и высоких температур. В условиях засухи наблюдается повышение концентрации клеточного сока. В экспериментах выявлено её изменение в среднем по сортам от 6,35 до 7,35 %.

В сравнении с благоприятными условиями увлажнения наибольший рост ККС листьев показали сорта: Безенчукский янтарь (3,19 %); Безенчукская 205 (2,74 %); Харьковская 3 (2,72 %); Харьковская 23 (2,59 %); Безенчукская степная (2,56 %) и Безенчукская 210 (2,51 %). Наименьший показатель ККС листьев был у сортов Оренбургская целинная (1,88 %) и Гордея (1,99 %).

Достоверно значительно ниже величина ККС листьев, в сравнении со стандартом, отмечена у сортов Безенчукская 210 (-0,86 %), Харьковская 23 (-0,85 %), Безенчукская 205 (-0,67 %), Безенчукская степная (-0,64 %), Целинная (-0,56 %) и Харьковская 3 (-0,52 %).

Таблица 1. Концентрация клеточного сока листьев в фазу выхода в трубку 2017-2020 гг., %

Сорт (Фактор А)	Условия развития растений (Фактор В)		Среднее по фактору В
	Благоприятные	Засушливые	
Оренбургская 10 стандарт	5,24	7,21	6,23
Безенчукская 205	3,80	6,54	5,17
Безенчукский янтарь	3,87	7,06	5,47
Безенчукская степная	4,01	6,57	5,29
Безенчукская 210	3,84	6,35	5,10
Гордея	5,14	7,13	6,14
Оренбургская 21	5,08	7,23	6,16
Оренбургская целинная	5,47	7,35	6,41
Харьковская 3	3,97	6,69	5,33
Харьковская 23	3,77	6,36	5,07
Целинная	4,51	6,65	5,58
Среднее по фактору А	4,43	6,83	-
HCP_{05} по фактору А = 0,16%; HCP_{05} по фактору В = 0,38%; $HCP_{05} AB = 0,38\%$			

Примечание: благоприятные условия (2017 год); засушливые условия (2018-2020 гг.).

К фазе колошения наблюдали снижение общей оводнённости листьев и, как следствие, повышение концентрации клеточного сока листьев (табл. 2). При развитии растений в благоприятных условиях

водообеспеченности ККС листьев в эту фазу составила 6,35...7,43 %. Концентрацию клеточного сока листьев стандарта существенно превышали сорта Безенчукский янтарь (+0,28 % к стандарту) и Оренбургская целинная

4.1.2. Селекция, семеноводство и биотехнология растений (сельскохозяйственные науки)

(+0,39 % к стандарту). Ниже стандарта ККС листьев была у сортов Безенчукская 205 (-0,69 % к стандарту), Безенчукская 210 (-0,59 % к стандарту) и Харьковская 23 (-0,46 % к стандарту). При этом НСР₀₅ была равна 0,17 %.

В условиях дефицита увлажнения отмечено повышение концентрации клеточного сока листьев до пределов 8,27...9,42 %. В сравнении с благоприятными условиями увлажнения достоверно наибольшая величина повышения ККС листьев отмечена у сортов Оренбургская 10 (2,38 %), Оренбургская 21 (2,01 %), Безенчукская 210 (1,97 %) и Безенчукская 205 (1,92 %). При этом следует указать, что концентрация клеточного сока у сортов Безенчукская 210, Безенчукская 205, Харьковская 3 и Харьковская 23 была ниже стандарта на 1,00...1,15 %.

При селекции растений на засуху - и солеустойчивость важным показателем служит осмотическое давление в клетках листьев. Осмотическое давление имеет сильную изменчивость в зависимости от условий произрастания сельскохозяйственных растений.

В фазу выхода в трубку при благоприятном увлажнении осмотическое давление в клетках листьев в среднем изменялось от 300,2 кПа до 437,6 кПа. По величине ОД в клетках листьев показатели стандарта превосходил сорт Оренбургская целинная (+18,2 кПа к стандарту). У

остальных изученных сортов ОД в клетках листьев было ниже, чем у стандартного сорта Оренбургская 10. Существенно наиболее низкая величина этого показателя отмечена у сортов Харьковская 23 (-119,2 кПа к стандарту), Безенчукская 205 (-115,5 кПа к стандарту), Безенчукская 210 (-112,8 кПа к стандарту), Безенчукский янтарь (-110,5 кПа к стандарту) и Безенчукская степная (-99,3 кПа к стандарту). При этом НСР₀₅ была равна 14,9 кПа.

В условиях дефицита увлажнения у всех исследованных сортов яровой твёрдой пшеницы наблюдается повышение величины ОД в клетках листьев. Этот показатель достиг уровня 504,5...582,5 кПа (табл. 3). Максимальное увеличение ОД в клетках листьев в сравнении с благоприятными условиями увлажнения выявлено у сортов: Харьковская 3 (+246,1 кПа), Безенчукская 205 (+244,1 кПа), Безенчукский янтарь (+232,0 кПа), Безенчукская степная (+212,4 кПа) и Харьковская 23 (+207,3 кПа). Для сорта Оренбургская целинная было характерно не большое повышение осмотического давления в клетках листьев. Сравнение со стандартом показало, что существенно ниже ОД в клетках листьев было у сортов Гордея (-81,0 кПа к стандарту); Безенчукская 210 (-77,3 кПа к стандарту) и Харьковская 23 (-74,3 кПа к стандарту).

Таблица 2. Концентрация клеточного сока листьев в фазу колошения 2017-2020 гг., %

Сорт (Фактор А)	Условия развития растений (Фактор В)		Среднее по фактору В
	Благоприятные	Засушливые	
Оренбургская 10 стандарт	7,04	9,42	8,23
Безенчукская 205	6,35	8,27	7,31
Безенчукский янтарь	7,32	8,95	8,14
Безенчукская степная	7,17	8,83	8,00
Безенчукская 210	6,45	8,42	7,44
Гордея	7,20	8,93	8,07
Оренбургская 21	7,09	9,10	8,10
Оренбургская целинная	7,43	9,13	8,28
Харьковская 3	6,71	8,40	7,56
Харьковская 23	6,58	8,39	7,49
Целинница	7,00	8,78	7,89
Среднее по фактору А	6,94	8,78	-
НСР ₀₅ по фактору А= 0,17%; НСР ₀₅ по фактору В= 0,39%; НСР ₀₅ АВ= 0,39%			

Примечание: благоприятные условия (2017 год); засушливые условия (2018-2020 гг.).

Таблица 3. Осмотическое давление в клетках листьев в фазу выхода в трубку 2017-2020 гг., кПа

Сорт (Фактор А)	Условия развития растений (Фактор В)		Среднее по фактору В
	Благоприятные	Засушливые	
Оренбургская 10 стандарт	419,4	581,8	500,6
Безенчукская 205	303,9	548,0	426,0
Безенчукский янтарь	308,9	540,9	424,9
Безенчукская степная	320,1	532,5	426,3
Безенчукская 210	306,6	504,5	405,6
Гордея	410,9	573,7	492,3
Оренбургская 21	405,5	582,5	494,0
Оренбургская целинная	437,6	558,5	498,1
Харьковская 3	317,4	563,5	440,5
Харьковская 23	300,2	507,5	403,9
Целинница	361,3	536,2	448,8
Среднее по фактору А	353,8	548,1	-
НСР ₀₅ по фактору А=14,9 кПа; НСР ₀₅ по фактору В=34,8 кПа; НСР ₀₅ АВ=34,8 кПа			

Примечание: благоприятные условия (2017 год); засушливые условия (2018-2020 гг.).

В процессе дальнейшего роста и развития растений пшеницы происходит повышение осмотического давления клеток в листьях. В благоприятных условиях увлажнения величина данного показателя в фазу колошения составила 508,5...598,7 кПа (табл. 4). Максимальное ОД было у сортов Оренбургская юбилейная (+30,4 кПа к стандарту) и Безенчукский янтарь (+21,3 кПа к стандарту). Существенно ниже параметров стандарта ($HCP_{05}=15,1$ кПа) величину ОД показали сорта: Безенчукская 205 (-59,8 кПа к стандарту), Безенчукская 210 (-52,4 кПа к стандарту) и Харьковская 23 (-41,9 кПа к стандарту).

В условиях недостаточного увлажнения выявлено повышение осмотического давления в клетках листьев до пределов 674,9...754,7 кПа. В сравнении с благоприятным условиям увлажнения максимальный рост отмечен у сортов Оренбургская 10 (+202,9 кПа), Оренбургская 21 (+181,0 кПа), Безенчукская 210 (+173,5 кПа) и Безенчукская 205 (+166,4 кПа). У всех исследованных сортов ОД было ниже показателей стандарта. Достоверно наименьшая величина ОД в сравнении со стандартом отмечена у сортов Безенчукская 205 (-96,3 кПа), Харьковская 23 (-85,7 кПа), Харьковская 3 (-84,4 кПа) и Безенчукская 210 (-81,8 кПа).

Таблица 4. Осмотическое давление в клетках листьев в фазу колошения 2017-2020 гг., кПа

Сорт (Фактор А)	Условия развития растений (Фактор В)		Среднее по фактору В
	Благоприятные	Засушливые	
Оренбургская 10 стандарт	568,3	771,2	669,8
Безенчукская 205	508,5	674,9	591,7
Безенчукский янтарь	589,6	738,5	664,1
Безенчукская степная	577,1	726,3	651,7
Безенчукская 210	515,9	689,4	602,7
Гордея	579,8	736,1	658,0
Оренбургская 21	570,6	751,6	661,1
Оренбургская целинная	598,7	754,7	676,7
Харьковская 3	537,2	686,8	612,0
Харьковская 23	526,4	685,5	606,0
Целинница	563,1	721,9	642,5
Среднее по фактору А	557,7	721,5	-

HCP_{05} по фактору А = 15,1 кПа; HCP_{05} по фактору В = 35,7 кПа; $HCP_{05} AB = 35,7$ кПа

Примечание: благоприятные условия (2017 год); засушливые условия (2018-2020 гг.).

Обсуждение

Отечественные учёные отмечают, что в большинстве регионов России наблюдается учащение проявления неблагоприятных периодов во время вегетативного развития сельскохозяйственных растений, в частности яровой твёрдой пшеницы. Это отражается на неустойчивости продуктивности формируемых агроценозов. Для сокращения потерь урожая необходимо создание устойчивых к засушливым условиям сортов яровой твёрдой пшеницы [4, 11, 20]. Проведённые нами исследования были направлены на повышение эффективности селекционного улучшения генофонда яровой твёрдой пшеницы по признаку засухоустойчивости в конкретных условиях степи Оренбургской области. Использование при одновременном учёте ряда параметров водного режима растений, изученных нами показателей: концентрация клеточного сока и осмотического давления в клетках листьев, позволяет повысить достоверность оценки растений твёрдой пшеницы по засухоустойчивости и эффективность подбора родительских форм для гибридизации.

Накоплен обширный научный материал, указывающий, что засуха оказывает отрицательное влияние на фотосинтез, дыхание, на активность ферментов, на ростовые процессы и процессы обмена веществ в растениях. Но в большей мере условия дефицита влаги и высоких температур действуют на водный режим растений. Физиологическое

состояние растений пшеницы и их устойчивость к водному и температурному стрессам определяют параметры водного режима [15, 17, 21]. В работах Голубовой В. А. с коллегами [16] установлено, что засуха, прежде всего, влияет на водопоглощающую способность, водоудерживающую способность, водный дефицит и изменение общей оводнённости в процессе онтогенеза пшеницы. Действие засушливых условий проявляется в снижении водопоглощающей способности листьев, общей оводнённости тканей, в росте водного дефицита и водоудерживающей способности. В период 2017-2020 гг. нами были исследованы влияние контрастных условий водообеспеченности на общую оводнённость тканей листьев яровой твёрдой пшеницы, остаточный водный дефицит и водоудерживающую способность. Установлено, что засуха снижает содержание общей воды в листьях, повышается водный дефицит и у устойчивых сортов наблюдается возрастание водоудерживающей способности листьев. В дополнение к данным исследованиям [17] в условиях степной зоны Оренбуржья впервые получены результаты, показывающие, что физиологический механизм адаптации растений твёрдой пшеницы к водному дефициту связан с изменениями концентрации клеточного сока и осмотического давления в клетках листьев. Эти параметры способствуют поступлению воды в клетку и поддержанию тургора клетки. Повышение концентрации клеточного сока

и осмотическое давление в клетках листьев позволяют растениям пшеницы противодействовать обезвоживанию при водном дефиците.

Закключение

Результаты эксперимента дают основание утверждать, что в контрастных условиях увлажнения проявляется специфическая реакция у сортов яровой твёрдой пшеницы разного экологического происхождения. Величина концентрации клеточного сока и осмотического давления в клетках листьев изменяется как в процессе роста и развития растений, так и при воздействии засушливых условий.

Растения яровой твёрдой пшеницы адаптируются к условиям недостаточного увлажнения, повышая концентрацию клеточного сока и осмотическое давление в клетках листьев.

Под действием дефицита увлажнения и высоких температур в фазу выхода в трубку достоверно на большую величину повышают концентрацию

клеточного сока сорта Безенчукский янтарь (+3,19 %), Безенчукская 205 (+2,74 %), Харьковская 3 (+2,72 %), а в фазу колошения – Оренбургская 10 (+2,38 %), Оренбургская 21 (+2,04 %), Безенчукская 205 (+1,92 %), Безенчукская 210 (+1,97 %). Максимальный рост осмотического давления в клетках листьев в фазу выхода в трубку выявлено у сортов: Харьковская 3 (+246,1 кПа), Безенчукская 205 (+244,1 кПа), Безенчукский янтарь (+232,0 кПа), Безенчукская степная (+212,4 кПа) и Харьковская 23 (+207,3 кПа) и в фазу колошения – Оренбургская 10 (+202,9 кПа), Оренбургская 21 (+181,0 кПа), Безенчукская 210 (+173,5 кПа) и Безенчукская 205 (+166,4 кПа).

Выделенные сорта можно рекомендовать для селекционной работы по повышению засухоустойчивости местного генофонда яровой твёрдой пшеницы.

Литература

1. Heat and Drought Stresses in Crops and Approaches for Their Mitigation / M. Lamaoui, M. Jemo, R. Datla et. al. // Front Chem. 2018. Vol. 6. P. 26. doi:10.3389/fchem.2018.00026.
2. Physio-Morphological Trait-Based Approach for Breeding Drought Tolerant Wheat / K. Khadka, H. J. Earl, M. N. Raizada et al. // Front Plant Sci. 2020. Vol. 11. P. 715. doi: 10.3389/fpls.2020.00715
3. Влияние засухи на хозяйственно ценные признаки яровой мягкой пшеницы в условиях лесостепной зоны Курганской области / Л. Т. Мальцева, Е. А. Филиппова, Н. Ю. Банникова и др. // Вестник Омского государственного аграрного университета. 2021. № 3(43). С. 25-35. doi: 10.48136/2222-0364_2021_3_25
4. Лиховидова В. А., Ионова Е. В. Влияние засушливых условий выращивания на водный дефицит и содержание хлорофилла сортов озимой твёрдой пшеницы, различающихся по продуктивности // Аграрная наука. 2020. - № 5. С. 72–75. doi: 10.32634/0869-8155-2020-338-5-72-75
5. Никитина В. И. Определение холодо- и засухоустойчивости образцов яровой пшеницы, ячменя лабораторными методами // Вестник Омского государственного аграрного университета. 2017. № 3 (27). С. 19–26.
6. Методы анализа и механизмы устойчивости к засухе (обзор) / Ю. К. Гончаров, Е. М. Харитонов, Н. А. Очкас и др. // Рисоводство. 2020. № 4(49). С. 74-81. doi: 10.33775/1684-2464-2020-49-4-74-81
7. Hickey Speed breeding for multiple quantitative traits in durum wheat / S. Alahmad, E. Dinglasan, K. M. Leung, et al. // Plant Methods. 2018. Vol. 1. P. 36. doi: 10.1186/s13007-018-0302-y
8. Drought Stress Tolerance in Wheat and Barley: Advances in Physiology, Breeding and Genetics Research / A. Salam, A. M. Alqudah, M. F. A. Dawood, et al. // Int. J. Mol. Sci. 2019. Vol. 20. №. 13. P. 3137. doi: 10.3390/ijms20133137
9. Засухоустойчивый генофонд твёрдой пшеницы, идентифицированный в многолетних испытаниях питомников Казахстанско-Сибирской селекции пшеницы / М. Г. Евдокимов, В. С. Юсов, А. И. Моргунов и др. // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2017. Т. 21. № 5. С. 515–522. doi: 10.18699/VJ17.23-0
10. Реакция генотипов яровой твёрдой пшеницы в условиях моделированного осмотического и солевого стресса / О. В. Бычкова, Л. П. Хлебцова, А. Б. Совриков и др. // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2018. № 2 (160). С. 5-11
11. Тамразов Т. Г. Влияние засухи на морфофизиологические показатели и показатели продуктивности изученных местных генотипов пшеницы // Бюллетень науки и практики. 2021. Т. 7. № 10. С. 45-56. doi:10.33619/2414-2948/71/06
12. Юсов В. С., Кирьякова М. Н., Евдокимов М. Г. Исходный материал в селекции яровой твёрдой пшеницы для условий Западной Сибири // Вестник Новосибирского государственного аграрного университета. 2021. № 2(59). С. 82-90. doi: 10.31677/2072-6724-2021-59-2-82-90
13. Адаптивный потенциал яровой твёрдой пшеницы (*Triticum durum* Desf.) в условиях Приморского края / П. М. Богдан, А. Г. Клыков, И. В. Коновалова и др. // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2023. Т. 184. № 1. С. 90-101. doi: 10.30901/2227-8834-2023-1-90-101
14. Сорта и линии ICARDA в селекции яровой твёрдой пшеницы (*Triticum durum* Desf.) Нижнего Поволжья / С. Н. Гапонов, Г. И. Шутарева, Н. М. Цвета и др. // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2021. Т. 182. № 3. С. 137-142. doi: 10.30901/2227-8834-2021-3-137-142

15. Плотникова Л. Я., Глушаков Д. А., Юсов В. С. Результаты изучения засухоустойчивости твёрдой пшеницы и её компонентов в Западной Сибири // Вестник Омского государственного аграрного университета. 2022. № 4 (48). С. 56–70. doi: 10.48136/2222-0364_2022_4_56
16. Голубова В. А., Газе В. Л. Изучение механизмов регуляции воды в растениях сортов озимой мягкой пшеницы в условиях острой засухи // Зерновое хозяйство России. 2021. № 4(76). С. 3–7. doi: 10.31367/2079-8725-2021-76-4-3-7
17. Тимошенкова Т. А. Водный режим листового аппарата *Triticum durum* как показатель при селекции на засухоустойчивость // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2023. № 5(103). С. 38–45. doi: 10.37670/2073-0853-2023-103-5-38-45
18. Мухитов Л. А., Тимошенкова Т. А. Сорта яровой твёрдой пшеницы, адаптированные к условиям степи Уральского региона // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2021. № 3(89). С. 15–19. doi: 10.37670/2073-0853-2021-89-3-15-19
19. Рустамов Х. Н., Аббасов М. А. Связь морфофизиологических показателей пшеницы твёрдой (*T. durum* Desf.) с засухоустойчивостью // Зерновое хозяйство России. 2015. № 3. С. 3–11.
20. Грабовец А. И., Фоменко М. А. Селекция пшеницы при усилении засух // Российская сельскохозяйственная наука. 2016. №5. С. 3–6.
21. Физиологические реакции линий пшеницы (*Triticum aestivum* L.) с генетически различным опушением листа на водный дефицит / С. В. Осипова, А. В. Рудиковский, А. В. Пермяков и др. // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2020. Т.24. № 8. С. 813–820. doi: 10.18699/VJ20.678

References

1. Heat and Drought Stresses in Crops and Approaches for Their Mitigation / M. Lamaoui, M. Jemo, R. Datla et. al. // Front Chem. 2018. Vol. 6. P. 26. doi:10.3389/fchem.2018.00026
2. Physio-Morphological Trait-Based Approach for Breeding Drought Tolerant Wheat / K. Khadka, H. J. Earl, M. N. Raizada et al. // Front Plant Sci. 2020. Vol. 11. P. 715. doi: 10.3389/fpls.2020.00715
3. The influence of drought on economically valuable traits of spring soft wheat in the forest-steppe zone of Kurgan region / L. T. Maltseva, E. A. Filippova, N. Yu. Bannikova et al. // Vestnik of Omsk State Agrarian University. 2021. No. 3 (43). P. 25–35. doi: 10.48136/2222-0364_2021_3_25
4. Likhovidova V. A., Ionova E. V. Influence of dry growing conditions on water deficit and chlorophyll content of winter durum wheat varieties different in productivity // Agrarian science. 2020. No. 5. P. 72–75. doi: 10.32634/0869-8155-2020-338-5-72-75
5. Nikitina V.I. Specification of cold and drought resistance of spring wheat and barley samples by laboratory methods // Vestnik of Omsk State Agrarian University. 2017. No. 3 (27). P. 19–26.
6. Methods of analysis and mechanisms of drought resistance (review) / Yu.K. Goncharov, E.M. Kharitonov, N.A. Ochkas et al. // Rice growing. 2020. No 4 (49). P. 74–81. doi: 10.33775/1684-2464-2020-49-4-74-81
7. Hickey Speed breeding for multiple quantitative traits in durum wheat / S. Alahmad, E. Dinglasan, K. M. Leung, et al. // Plant Methods. 2018. Vol. 1. P. 36. doi: 10.1186/s13007-018-0302-y
8. Drought Stress Tolerance in Wheat and Barley: Advances in Physiology, Breeding and Genetics Research / A. Sallam, A. M. Alqudah, M. F. A. Dawood, et al. // Int. J. Mol. Sci. 2019. Vol. 20. No. 13. P. 3137. doi: 10.3390/ijms20133137
9. Drought-resistant gene pool of durum wheat identified in long-term nursery plot experiments of the Kazakhstan-Siberian wheat breeding / M. G. Evdokimov, V. S. Yusov, A. I. Morgunov et al. // Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2017. Vol. 21. No. 5. P. 515–522. doi: 10.18699/VJ17.23-o
10. Response of spring durum wheat genotypes under simulated osmotic and salt stress / O. V. Bychkova, L. P. Khlebova, A. B. Sovrikov et al. // Vestnik of the Altai State Agrarian University. 2018. No. 2 (160). P. 5–11.
11. Tamrazov T. G. Effect of drought on morphophysiological parameters and productivity indicators of the studied local wheat genotypes // Vestnik of Science and Practice. 2021. Vol. 7. No. 10. P. 45–56. doi:10.33619/2414-2948/71/06
12. Yusov V. S., Kiryakova M. N., Evdokimov M. G. Initial material in the breeding of spring durum wheat for the conditions of Western Siberia // Vestnik of Novosibirsk State Agrarian University. 2021. No. 2 (59). P. 82–90. doi: 10.31677/2072-6724-2021-59-2-82-90
13. Adaptive potential of spring durum wheat (*Triticum durum* Desf.) in the conditions of Primorsky Territory / P. M. Bogdan, A. G. Klykov, I. V. Konovalova et al. // Works on applied botany, genetics and breeding. 2023. Vol. 184. No. 1. P. 90–101. doi: 10.30901/2227-8834-2023-1-90-101
14. ICARDA varieties and lines in the breeding of spring durum wheat (*Triticum durum* Desf.) of the Lower Volga region / S. N. Gaponov, G. I. Shutareva, N. M. Tsetva, et al. // Works on applied botany, genetics and breeding. 2021. Vol. 182. No. 3. P. 137–142. doi: 10.30901/2227-8834-2021-3-137-142
15. Plotnikova L. Ya., Glushakov D. A., Yusov V. S. Results of the study of drought resistance of durum wheat and its components in Western Siberia // Vestnik of Omsk State Agrarian University. 2022. No. 4 (48). P. 56–70. doi: 10.48136/2222-0364_2022_4_56

16. Golubova V. A., Gaze V. L. Study of water regulation mechanisms in plants of winter soft wheat varieties under conditions of acute drought // Grain Economy of Russia. 2021. No. 4 (76). P. 3–7. doi: 10.31367/2079-8725-2021-76-4-3-7
17. Timoshenkova T. A. Water regime of the leaf apparatus of Triticum durum as an indicator in breeding for drought resistance // Vestnik of Orenburg State Agrarian University. 2023. No. 5 (103). P. 38-45. doi: 10.37670/2073-0853-2023-103-5-38-45
18. Mukhitov L. A., Timoshenkova T. A. Varieties of spring durum wheat adapted to the steppe conditions of the Ural region // Vestnik of Orenburg State Agrarian University. 2021. No. 3 (89). P. 15-19. doi: 10.37670/2073-0853-2021-89-3-15-19
19. Illarionova E. A., Syrovatsky I. P. Refractometry. Theoretical foundations of the method. Irkutsk: Irkutsk State Medical University. 2013. 54 p.
20. Rustamov H. N., Abbasov M. A. Relationship between morphophysiological parameters of durum wheat (T. durumDesf.) and drought resistance // Grain economy of Russia. 2015. No. 3. P. 3-11.