АНАТОМИЯ И ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

УДК 581.1

ВЛИЯНИЕ ОСМОТИЧЕСКОГО СТРЕССА НА РАЗВИТИЕ ПРОРОСТКОВ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ

Е. Л. Гагаринский, В. В. Филимонов, М. Ю. Касаткин

Саратовский государственный университет им. Н. Г. Чернышевского,
410012, Саратов, Астраханская, 83
E-mail: kasatkinmy@info.sgu.ru

Изучалась ростовая реакция и содержание пигментов в проростках яровой мягкой пшеницы в условиях моделирования водного дефицита осмотическим стрессом. Повышение осмотического давления внешнего раствора приводит к перестройке пигментных систем. Чувствительность пигментных систем проростка зависит от типа пигментов. Полученные результаты могут быть использованы для ранней диагностики потенциальной устойчивости сорта к водному дефициту.

Ключевые слова: рост, водный дефицит, пигменты, пшеница.

INFLUENCE OF OSMOTIC STRESS ON WHEAT SEEDLINGS DEVELOPMENT

E. L. Gagarinsky, B. B. Filimonov, M. Yu. Kasatkin

The growth reaction and pigments amount in wheat seedlingsunder water deficit modeling osmotic stress was studied. An environmental increasing of osmotic

stress is an inductor of pigment systems changes. The pigment systems sensitivity depends on the type of pigments. The data observed in the experiment can be useful for early diagnosticpotential resistancevarieties to water deficit.

Key words: growth, water deficit, pigments, wheat.

Развитие растительного организма обусловлено влиянием различных условий окружающей среды (Шахов, 1993). На территории Саратовской области, расположенной в лесостепной зоне, одной из наиболее важных проблем сельского хозяйства является повышение устойчивости сортов пшеницы к засухе. Особенное значение также имеет действие засухи на ранние этапы онтогенеза. В связи с этим целью работы было изучение развития проростков пшеницы различных по засухоустойчивости сортов яровой мягкой пшеницы, при действии осмотического стресса. Для реализации поставленной цели были определены следующие задачи: 1) оценить особенности ростовой реакции проростков; 2) выявить состояние пигментов фотосинтетического аппарата.

Исследования проводились на кафедре микробиологии и физиологии растений Саратовского государственного университета им. Н. Г. Чернышевского. Объектом изучения являлись сорта яровой мягкой (*Tr. aestivum*) пшеницы саратовской селекции (Саратовская 29, Саратовская 73, Белянка, ЮВ-4, Саратовская 42, Фаворит, Прохоровка, Добрыня, Саратовская 68).

Для оценки особенности влияния осмотического стресса семена проращивались на фильтровальной бумаге при искусственном освещении (5000 лк) в термостатируемых условиях (18° С) на растворах с различной концентрацией сахарозы. Контролем служили проростки, выращенные на дистиллированной воде. Определение фотосинтетических пигментов проводилось по общепринятой методике двухволновым методом на спектрофотометре Leki SS2109UV. Результаты исследований подвергались статистической обработке по Б. А. Доспехову (1985) в табличном процессоре Excel пакета MS Office 2010.

Известно, что растения пшеницы являются довольно устойчивыми к засухе и все изученные сорта по степени засухоустойчивости на основе их паспортов можно ранжировать следующим образом (табл. 1). При повышении осмотического стресса в первую очередь в них происходят значительные изменения в динамике роста органов и развитии пигментных систем.

Таблица 1

Характеристика засухоустойчивости сортов мягкой пшеницы

Сорт	Засухоустойчивость, баллы
Саратовская 42	5
Саратовская 68	5
Прохоровка	5
ЮВ-4	5
Саратовская 29	4
Добрыня	4
Саратовская 73	3
Белянка	3
Фаворит	3

В процессе прорастания семян в контролируемых условиях у изучаемых сортов наблюдались достоверные различия в линейных размерах подземных и надземных органов растения по вариантам опыта (табл. 2).

Таблица 2

Суммарная длина корней сортов яровой мягкой пшеницы, мм

Сорт	Концентрации раствора сахарозы, М					
	H_2O	0,001	0,01	0,1	0,3	0,5
Саратовская 42	213±11	206±11	162±8	94±4	–	–
Саратовская 68	145±7	318±15	67±4	16±1	9±0,5	–
Прохоровка	160±9	21±1	253±12	253±12	12±0,7	–
ЮВ-4	274±13	210±11	133±7	26±2	3±0,1	–
Саратовская 29	101±6	80±4	103±5	34±2	26±1,0	–
Добрыня	28±2	100±5	15±1	35±2	–	–
Саратовская 73	220±11	38±2	205±11	44±3	15±0,9	–
Белянка	242±12	135±6	13±1	12±1	–	–
Фаворит	180±9	35±2	191±8	17±1	12±0,5	7±0,2
$НСР_{0,95}$	54	63	67	12	3	–

Реакция корневой системы растений на осмотическое давление внешнего раствора показала зависимость от степени засухоустойчивости пророст-

ков с небольшими вариациями внутри группы. Наиболее засухоустойчивым по этому показателю оказались сорта Саратовская 42 и ЮВ-4, показавшие монотонное снижение суммарной длины корней с увеличением концентрации сахарозы. Другие высокозасухоустойчивые сорта Саратовская 68 и Прохоровка проявили другую закономерность – у них был отмечен максимум развития корневой системы при концентрациях 0,001М и 0,01М соответственно. Сорт Прохоровка отмечен также как сорт, имеющий самую развитую корневую систему при высоких концентрациях наружного раствора (0,1М).

Сорта со средней степенью засухоустойчивости по абсолютным показателям суммарной длины корней уступали всем сортам из группы высоко засухоустойчивых сортов, проявляя максимумы ростовой активности при концентрациях 0,001–0,01М. Представляющие интерес данные были получены при анализе группы сортов с низкой степенью засухоустойчивости. Так, сорта Белянка и Саратовская 73 показали высокие значения развития корневой системы при низких концентрациях сахарозы, превышавшие аналогичные показатели у некоторых засухоустойчивых сортов. Сорт Фаворит стал единственным из исследуемых сортов, проростки которого проявили ростовую активности на 0,5 М растворе сахарозы.

Значительное влияние повышенное осмотическое давление оказало также на рост первых листьев проростка. У сортов с высокой степенью засухоустойчивости при повышении осмотического давления наблюдалось постепенное уменьшение длины первого листа, причём характер зависимости полностью повторял зависимость, отмеченную для роста корней у этих же групп сортов (табл. 3).

Изучение сорта со средней степенью засухоустойчивости показало, что у представителя этой группы сорта Саратовская 29 концентрация внешнего раствора не оказывала влияния на рост первого листа в пределах ошибки измерения. Ингибирование роста наблюдалось только при переходе к сверхоптимальным (0,3М) для других сортов концентрациям сахарозы. Сорт Добрыня показывал колебательный характер ответной реакции при повышении концентрации внешнего раствора. По длине первого листа у сортов с низкой степенью засухоустойчивости, как и по длине корней, отмечались значения, сопоставимые с таковыми для высокозасухоустойчивых сортов (см. табл. 3).

Таблица 3

Длина первого листа сортов яровой мягкой пшеницы, мм

Сорт	Концентрации раствора сахарозы, М					
	вода	0,001	0,01	0,1	0,3	0,5
Саратовская 42	73±3	35±2	61±3	46±2	–	–
Саратовская 68	33±2	105±5	101±5	68±3	43±2	–
Прохоровка	58±3	10±1	95±4	29±1	15±1	–
ЮВ-4	118±6	109±5	47±2	14±1	5±1	–
Саратовская 29	26±2	29±1	27±2	29±1	10±1	–
Добрыня	9±1	33±2	5±1	24±1	–	–
Саратовская 73	76±3	25±1	96±3	49±2	6±1	–
Белянка	101±5	40±2	11±1	27±1	–	–
Фаворит	74±3	12±1	60±3	7±1	8±1	5±1
НСР $_{0,95}$	7	6	5	3	2	

Таким образом, органы растений весьма чутко реагируют на недостаток влаги в почве. По литературным данным известно (Кошкин, 2010), что в условиях водного дефицита происходит торможение деления и растяжения клеток, что приводит к значительному уменьшению развития подземной и надземной частей растения. В клетках инициируются процессы адаптации к недостатку воды, одним из которых является изменение содержание пигментов фотосинтетического аппарата (Maslova, 1993).

Исследование проростков пшеницы выявило, что осмотический стресс вызывает существенные изменения в их пигментном комплексе, прежде всего значительно уменьшается содержание фотосинтезирующих пигментов в листьях (табл. 4). У сортов с высокой степенью засухоустойчивости количество хлорофилла *а* снижается в среднем в 2–3 раза. Это подтверждает хорошо известный тезис о том, что, как правило, адаптация к действию засухи предполагает снижение содержания хлорофиллов, указывающее на начало перестройки пигментного комплекса (Maslova, 1993). У сортов Добрыня и Фаворит из группы сортов с засухоустойчивостью ниже средней отмечается осциллирующая ответная реакция содержания хлорофилла *а* на повышение концентрации внешнего раствора.

Таблица 4

Содержание хлорофилла *a* в листьях яровой мягкой пшеницы, мг на г сырого веса

Сорт	Концентрации раствора сахарозы, М					
	вода	0,001	0,01	0,1	0,3	0,5
Саратовская 42	1,089	0,834	1,473	0,619		
Саратовская 68	0,813	1,455	1,029	0,585	0,341	
Прохоровка	0,353	0,655	0,583	0,821		
ЮВ-4	0,960	0,696	0,504	0,704	1,651	
Саратовская 29	1,004	0,300	0,606	0,545	1,017	
Добрыня	0,965	0,629	0,872	1,234	0,535	1,527
Саратовская 73	0,690	0,393	0,978	0,758	0,485	
Белянка	0,876	0,456	0,958	0,535		
Фаворит	0,525	0,794	0,537	2,719	0,917	1,850

Примечание. Различия достоверны при $p < 0.05$.

Под действием осмотического стресса происходит также увеличение содержания вспомогательных пигментов, обеспечивающих фотозащитные механизмы растения. Влияние ингибирующего действия засухи на скорость процессов фотосинтеза компенсируется в виде накопления хлорофилла *b* и каротиноидов, призванных утилизировать появляющийся избыток энергии в системе. У сортов с высокой степенью засухоустойчивости отмечаются две тенденции в изменении содержания хлорофилла *b*. У Саратовской 42 и Саратовской 68 наблюдались максимальные значения указанного пигмента при 0,001М и 0,01М концентрации внешнего раствора. Дальнейшее увеличение осмотического стресса приводило к уменьшению содержания хлорофилла *b*. У сортов Прохоровка и ЮВ-4 отмечено возрастание содержания хлорофилла *b* с повышением концентрации внешнего раствора. Для сортов Фаворит и Добрыня, в отличие от сортов высокозасухоустойчивой группы, выявлены максимальные значения содержания хлорофилла *b* при проращивании в более концентрированных растворах сахарозы (табл. 5).

По общему содержанию каротиноидов в проростках установлены сортоспецифичные максимумы в диапазоне концентраций от 0,001 М до 0,1 М. Дальнейшее повышение концентрации внешнего раствора сни-

жало количество каротиноидов в проростках. При этом содержание каротиноидов при максимальных концентрациях сахарозы не всегда было меньше по сравнению с контролем (табл. 6).

Таблица 5

Содержание хлорофилла *b* в листьях мягкой пшеницы, мг на г сырого веса

Сорт	Концентрации раствора сахарозы, М					
	вода	0,001	0,01	0,1	0,3	0,5
Саратовская 42	2,352	8,587	4,298	2,043	–	–
Саратовская 68	1,734	2,131	2,898	1,637	0,444	–
Прохоровка	0,285	1,002	1,123	2,771	–	–
ЮВ-4	2,181	0,842	1,563	2,026	2,546	–
Саратовская 29	2,884	0,470	0,930	1,227	1,048	–
Добрыня	2,574	1,786	2,381	2,491	0,920	0,935
Саратовская 73	1,940	1,451	1,438	1,390	1,652	–
Белянка	1,547	1,229	3,013	1,528	–	–
Фаворит	0,857	2,846	1,102	3,249	3,404	2,207

Примечание. Различия достоверны при $p < 0.05$.

Таблица 6

Содержание каротиноидов в листьях мягкой пшеницы, мг на г сырого веса

Сорт	Концентрации раствора сахарозы, М					
	вода	0,001	0,01	0,1	0,3	0,5
Саратовская 42	1,436	4,198	3,338	1,111	–	–
Саратовская 68	1,940	4,428	1,992	1,856	0,661	–
Прохоровка	3,276	2,540	2,276	1,536	–	–
ЮВ-4	2,465	3,123	0,661	1,435	2,518	–
Саратовская 29	8,558	0,731	2,332	2,516	1,493	–
Добрыня	1,546	1,549	3,319	3,320	1,262	1,504
Саратовская 73	1,704	0,850	2,227	1,696	0,727	–
Белянка	3,024	1,328	2,117	1,782	–	–
Фаворит	2,153	1,456	1,627	3,010	1,406	2,271

Примечание. Различия достоверны при $p < 0.05$.

Установлено, что при наблюдающейся тенденции общего снижения количества хлорофиллов *a* и *b* по мере повышения осмотического давления происходят изменения в соотношении фотосинтетических пигментов (табл. 7). В условиях сильного водного дефицита в пигментном комплексе преобладающую позицию начинает занимать хлорофилл *b*. При этом наблюдаются сортоспецифические особенности. Сорта Саратовская 29, Саратовская 68, Добрыня и Фаворит накапливают большее количество хлорофилла *b* при стрессовых для растения концентрациях раствора сахарозы.

Таблица 7

Соотношение хлорофилла *a* к хлорофиллу *b* в листьях яровой мягкой пшеницы

Сорт	Концентрации раствора сахарозы, М					
	вода	0,001	0,01	0,1	0,3	0,5
Саратовская 42	2,2	10,3	2,9	3,3	2,2	–
Саратовская 68	2,1	1,5	2,8	2,8	1,3	–
Прохоровка	0,8	1,5	1,9	3,4	–	–
ЮВ-4	2,3	1,2	3,1	2,9	1,5	–
Саратовская 29	2,9	1,6	1,5	2,3	1,0	0,8
Добрыня	2,7	2,8	2,7	2,0	1,7	0,6
Саратовская 73	2,8	3,7	1,5	1,8	3,4	–
Белянка	1,8	2,7	3,1	2,9	–	–
Фаворит	1,6	3,6	2,1	1,2	3,7	1,2

Примечание. Различия достоверны при $p < 0.05$.

Известно, что каротиноиды предохраняют различные органические вещества, в первую очередь молекулы хлорофилла, от фотоокислительного повреждения (*Соловченко, 2008;* Pratap, 2010). У изученных нами сортов пшеницы прослеживалось закономерное замедление роста надземных частей растения и возрастание, по отношению к хлорофиллам, количества каротиноидов (табл. 8), выполняющих экранирующую функцию. Например, у сортов Саратовская 29, ЮВ-4, Саратовская 73 и Фаворит максимум соотношения хлорофиллов к каротиноидам приходился на концентрацию раствора 0,3М, у остальных сортов сходные максимумы отмечались при более низких концентрациях, на фоне которых рост проростков значительно ингибировался.

Таблица 8

Соотношение хлорофиллов к каротиноидам в листьях яровой мягкой пшеницы

Сорт	Концентрации раствора сахарозы, М					
	вода	0,001	0,01	0,1	0,3	0,5
Саратовская 42	1,9	5,5	3,0	2,3	1,9	–
Саратовская 68	3,5	5,1	2,6	4,3	3,4	–
Прохоровка	20,8	6,4	5,9	2,4	–	–
ЮВ-4	3,7	8,2	1,7	2,7	2,5	–
Саратовская 29	11,5	4,0	6,4	6,7	2,9	2,1
Добрыня	2,2	3,3	5,2	4,0	3,7	2,6
Саратовская 73	3,4	2,8	3,8	3,5	1,9	–
Белянка	5,4	4,0	2,9	4,5	–	–
Фаворит	6,6	2,3	4,5	2,0	1,9	2,3

Примечание. Различия достоверны при $p < 0.05$.

Таким образом, адаптация проростков к осмотическому стрессу проявляется в увеличении содержания вспомогательных пигментов – хлорофилла *b* и каротиноидов в листьях. Это увеличение, как правило, тем существеннее, чем более стрессоустойчивы растения. Повышение осмотического давления внешнего раствора приводит к перестройке пигментных систем. Чувствительность пигментных систем проростка к влиянию осмотически активных веществ зависит от типа пигментов. Следовательно, накопление пигментов – один из механизмов, позволяющих проросткам пшеницы обеспечить продуктивность в неблагоприятных условиях среды. С учётом представленных данных можно говорить о повышении роли пигментного комплекса в обеспечении устойчивости и продуктивности растений в условиях засухи. В целом полученные результаты расширяют имеющиеся представления о пигментном комплексе различных сортов яровой пшеницы саратовской селекции и могут быть использованы для ранней диагностики состояния их фотосинтетического аппарата. Анализ сортов, имеющих разную засухоустойчивость, позволяет сделать вывод и о комплексности параметров развития растительного организма, имеющих решающее значение в устойчивости к водному дефициту.

Список литературы

Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М. : Агропромиздат, 1985. 352 с.

Кошкин Е. И. Физиология устойчивости сельскохозяйственных культур. М. : Дрофа, 2010. 638 с.

Соловченко А. Влияние света и азотного голодания на содержание и состав каротиноидов зеленой водоросли *Parietochlorisincisa* // Физиология растений. 2008. № 4. С. 507–515.

Шахов А. А. Фотоэнергетика растений и урожай. М. : Наука, 1993. 411 с.

Maslova T. G., Popova I. A. Adaptive Properties of the Pigment Systems // Photosynthetica. 1993. Vol. 29. P. 195–203.

Pratap V., Sharma Y.K. Impact of osmotic stress on seed germination and seedling growth in black gram (Phaseolusmungo) // J. Env. Bot. 2010. Vol. 31, № 5. P. 721–726.

УДК 633.11:581.48:581.173.3

СОРТОВЫЕ ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ ОБОЛОЧЕК ЗЕРНОВКИ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ

М. В. Ивлева, М. Ю. Касаткин, С. А. Степанов

Саратовский государственный университет им. Н. Г. Чернышевского
410012, Саратов, Астраханская, 83
E-mail: stepanovsa@info.sgu.ru

Приведены экспериментальные данные по толщине оболочек зерновок в разные годы вегетации растений, параметрам и динамике развития поперечных клеток перикарпа семян сортов озимой пшеницы.

Ключевые слова: озимая пшеница, сорт, зерновка, оболочка, поперечные клетки

CULTIVARE FEATURES OF DEVELOPMENT OF ENVELOPES KERNEL OF THE WINTER WHEAT

M. B. Ivleva, M. Yu. Kasatkin, S. A. Stepanov

Experimental data on a thickness of envelope kernels in different years of vegetation of plants, to parametres and dynamics of development of cross cells pericarp seeds of grades of a winter wheat are resulted.

Key words: winter wheat, cultivar, kernel, envelope, cross cells.