

ИЗМЕНЕНИЕ СОСТАВА ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИХ ПИГМЕНТОВ У ПРОРОСТКОВ ЯРОВОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ОСМОТИЧЕСКОГО СТРЕССА

THE CHANGES OF PHOTOSYNTHETIC PIGMENT COMPOSITION IN SPRING SOFT WHEAT SPROUTS UNDER OSMOTIC STRESS

Ключевые слова: яровая мягкая пшеница, хлорофилл *a*, хлорофилл *b*, каротиноиды, засухоустойчивость, осмотический стресс, фотосинтетические пигменты, фотосинтез, адаптация, проростки пшеницы.

Цель работы состояла в изучении состава фотосинтетических пигментов у проростков 12 сортов яровой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.), различающихся по устойчивости к засухе, в условиях осмотического стресса. Испытание сортов по засухоустойчивости проводили на опытном поле лаборатории селекции мягкой пшеницы ФГБНУ «Федеральный Алтайский научный центр агробиотехнологий» в 2012 и 2014 гг. на фоне естественной засухи. Измеряли количество хлорофиллов *a*, *b* и каротиноидов в листьях в Алтайском государственном университете в 2018 и 2019 гг. Установлено, что влияние осмотического стресса достоверно приводит к снижению содержания хлорофилла *a* и каротиноидов в среднем по сортам на 33 и 35% соответственно, однако у некоторых генотипов (Ершовская 34, Тулайковская 105, Тулайковская золотистая) данные показатели достоверно не изменялись. Повышение осмотического давления внешнего раствора ведёт к значительной перестройке пигментных систем у засухоустойчивых сортов. Данные изменения сортоспецифичны, но общим для таких генотипов является снижение доли хлорофилла *b* на 6-11 процентных пунктов и

увеличение доли каротиноидов на 3-14 процентных пункта в суммарном составе пигментного комплекса.

Keywords: spring soft wheat, chlorophyll *a*, chlorophyll *b*, carotenoids, drought resistance, osmotic stress, photosynthetic pigments, photosynthesis, adaptation, wheat sprouts.

The research goal was to study the composition of photosynthetic pigments of the sprouts of twelve spring soft wheat varieties (*Triticum aestivum* L.) differing in drought resistance under osmotic stress. The variety trials for drought resistance were conducted in the trial field of the Federal Altai Research Center of Agro-Biotechnologies in 2012 and 2014. The content of chlorophylls *a*, *b* and carotenoids in leaves was measured in the Altai State University in 2018 and 2019. Osmotic stress significantly reduced the content of chlorophyll *a* and carotenoids on average in the varieties by 33% and 35%, respectively, but in some genotypes (Yershovskaya 34, Tulaykovskaya 105 and Tulaykovskaya zolotistaya) these indices did not change significantly. The increase of the osmotic pressure of the external solution led to significant compositional change of pigment systems in drought resistant varieties. These changes are variety-specific, but the commonality of such genotypes is the decrease of the proportion of chlorophyll *b* by 6-11 percentage points and the increase of carotenoid proportion by 3-14 percentage points in the total pigment content.

Петин Вадим Андреевич, магистр, мл. научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный Алтайский научный центр агробиотехнологий», г. Барнаул, Российская Федерация, e-mail: 999.source.z@mail.ru.

Хлебова Любовь Петровна, к.б.н., доцент, Алтайский государственный университет, г. Барнаул, Российская Федерация, e-mail: hlebova61@mail.ru.

Лепехов Сергей Борисович, к.с.-х.н., вед. научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный Алтайский научный центр агробиотехнологий», г. Барнаул, Российская Федерация, e-mail: sergei.lepehov@yandex.ru.

Petin Vadim Andreyevich, Junior Staff Scientist, Federal Altai Research Center of Agro-Biotechnologies, Barnaul, Russian Federation, e-mail: 999.source.z@mail.ru.

Khlebova Lyubov Petrovna, Cand. Bio. Sci., Assoc. Prof., Altai State University, Barnaul, Russian Federation, e-mail: hlebova61@mail.ru.

Lepekhov Sergey Borisovich, Cand. Agr. Sci., Leading Staff Scientist, Federal Altai Research Center of Agro-Biotechnologies, Barnaul, Russian Federation, e-mail: sergei.lepehov@yandex.ru.

Введение

Яровая мягкая пшеница – самая распространенная зерновая культура в Алтайском крае, возделываемая в семи почвенно-климатических

зонах на площади более 1,7 млн га [1]. Свыше половины посевных площадей мягкой пшеницы находятся в Кулундинской и Алейско-Рубцовской степных зонах, где дефицит почвенной вла-

ги и жесткий температурный режим на стадии закладки и развития репродуктивных органов являются основными ограничивающими условиями формирования высокого урожая пшеницы. Таким образом, селекция на урожайность в данных условиях – это отбор, в первую очередь, на засухо- и жаростойкость растений [2]. Умение противостоять воздействию засухи – наследственная способность растений, которая предполагает преодоление периодического дефицита влаги без значительных последствий для роста, развития и продуктивности [3].

Успешность создания сортов, устойчивых к засухе, в основном заключается в точной оценке уровня их устойчивости. Из-за отсутствия надлежащего анализа селекционного материала засухоустойчивость новых сортов может быть неудовлетворительной, вследствие чего оценка по этому признаку является обязательным критерием эффективной селекции [4].

Чтобы напрямую оценить устойчивость сортов к засухе в полевых условиях, требуется проведение многолетних наблюдений. Засуха случается не каждый год, меняется также её вид. Чтобы ускорить селекционный процесс, применяют лабораторные методы. Отдельное внимание уделяется способам раннего диагностирования семян и проростков, потому как они дают возможность осуществлять оценку круглый год и исследовать большие объемы селекционного материала [5].

В связи с этим **цель** работы заключалась в изучении содержания фотосинтетических пигментов у различных по степени устойчивости к засухе сортов яровой мягкой пшеницы под влиянием осмотического стресса.

Материалы и методы

Объектом исследования являлись проростки семян 12 сортов яровой мягкой пшеницы (Омская краса, Дуэт, Ершовская 34, Саратовская 74, Сурская юбилейная, Тулайковская 105, Омская 41, Кинельская отрада, Тулайковская золотистая, Астана 2, Бурятская 55 и Степная 15). После предварительного полевого испытания в ФГБНУ ФАНЦА на фоне естественной засухи в

2012 и 2014 гг. данные генотипы были отобраны из коллекции сортов яровой мягкой пшеницы по причине их различной засухоустойчивости (табл. 1). К группе сортов с высокой засухоустойчивостью отнесены следующие генотипы: Омская краса, Дуэт, Ершовская 34, Саратовская 74, к группе со средней засухоустойчивостью – Сурская юбилейная, Тулайковская 105, Омская 41, Кинельская отрада, к группе с низкой засухоустойчивостью – Тулайковская золотистая, Астана 2, Бурятская 55 и Степная 15.

Таблица 1

Урожайность сортов яровой мягкой пшеницы в засушливые годы, т/га

Сорт	2012 г.	2014 г.	Средняя
Омская краса	2,27	3,90	3,09
Дуэт	2,41	3,67	3,04
Ершовская 34	2,54	3,52	3,03
Саратовская 74	2,54	3,41	2,98
Сурская юбилейная	2,23	3,24	2,74
Тулайковская 105	1,90	3,46	2,68
Омская 41	2,03	3,13	2,58
Кинельская отрада	2,29	3,03	2,66
Тулайковская золотистая	1,84	3,14	2,49
Астана 2	2,02	3,07	2,55
Бурятская 55	1,81	2,91	2,36
Степная 15	1,80	2,93	2,37
НСР ₀₅	-	-	0,40

Лабораторные исследования проведены в Алтайском государственном университете в 2018 и 2019 гг. Семена проращивали в рулонах из фильтровальной бумаги на протяжении 8 суток в термостатируемых условиях при температуре +20°C. Осмотический стресс создавали путём добавления в раствор сахарозы в концентрации 10 атм. (0,04 М). В контрольном варианте использовали дистиллированную воду.

Определение количества хлорофиллов *a*, *b* и каротиноидов осуществляли на спектро-фотометре Shimadzu UV-1800 измерением оптической плотности спиртовой вытяжки пигментов. Содержание пигментов (хлорофиллов *a*, *b* и каротиноидов) в листьях устанавливали с помощью расчётов [6].

Результаты и обсуждение

Осмотический стресс является источником значительных изменений в пигментном комплексе проростков, в первую очередь, существенно сокращается содержание хлорофилла *a* и каротиноидов в листьях (табл. 2). У сортов со средней и низкой устойчивостью к засухе содержание хлорофилла *a* уменьшается в среднем на 27-70% по сравнению с контролем. Данное обстоятельство доказывает хорошо известный принцип о том, что в основном адаптация к воздействию засухи подразумевает уменьшение содержания хлорофиллов, которое указывает на начало трансформации пигментных систем [7]. Однако у сортов Омская краса, Ершовская 34, Тулайковская 105, Омская 41, Тулайковская золотистая содержание хлорофилла *a* в вариантах опыта значимо не менялось, что может рассматриваться как один из способов адаптации к осмотическому стрессу. Наибольшее содержание хлорофилла *a* при осмотическом стрессе зафиксировано у сортов из группы с высокой и низкой засухоустойчивостью: Омская краса, Ершовская 34, Тулайковская золотистая, Астана 2.

Таблица 2

Содержание хлорофилла *a* у проростков сортов яровой мягкой пшеницы в оптимальных условиях и при осмотическом стрессе, мг/г сырой массы

Сорт	Контроль	Осмотический стресс	Среднее
Омская краса	0,55	0,72	0,64
Дуэт	0,77	0,50	0,64
Ершовская 34	0,68	0,69	0,69
Саратовская 74	0,63	0,21	0,42
Сурская юбилейная	0,55	0,30	0,43
Тулайковская 105	0,48	0,32	0,40
Омская 41	0,44	0,24	0,34
Кинельская отрада	0,64	0,19	0,42
Тулайковская золотистая	0,88	0,75	0,82
Астана 2	0,94	0,69	0,82
Бурятская 55	0,69	0,36	0,53
Степная 15	0,90	0,53	0,72
Среднее	0,68	0,46	0,57

Примечание. НСР₀₅ для сравнения средних значений сред = 0,13 мг/л; НСР₀₅ для сравнения средних значений генотипов = 0,10 мг/л; НСР₀₅ для сравнения значений генотипов в одной среде = 0,20 мг/л; НСР₀₅ для сравнения значений генотипов в разных средах = 0,22 мг/л.

Под действием осмотического стресса не наблюдается достоверного изменения хлорофилла *b* в среднем по сортам. Статистически значимо данный показатель снижается лишь у Кинельской отрады и Степной 15. Хотя у 3 сортов с высокой степенью засухоустойчивости (Омская краса, Дуэт и Ершовская 34) отмечается повышение содержания хлорофилла *b* по сравнению с контролем на 4-39%, данное изменение статистически не значимо. У всех остальных сортов, включая низко- и средnezасухоустойчивые, наблюдается тенденция к снижению хлорофилла *b* при воздействии осмотического стресса, в среднем на 20-40% (табл. 3).

Таблица 3

Содержание хлорофилла *b* у проростков сортов яровой мягкой пшеницы в оптимальных условиях и при осмотическом стрессе, мг/г сырой массы

Сорт	Контроль	Осмотический стресс	Среднее
Омская краса	0,16	0,26	0,21
Дуэт	0,26	0,28	0,27
Ершовская 34	0,25	0,26	0,26
Саратовская 74	0,24	0,14	0,19
Сурская юбилейная	0,13	0,10	0,12
Тулайковская 105	0,10	0,09	0,10
Омская 41	0,10	0,06	0,08
Кинельская отрада	0,16	0,04	0,10
Тулайковская золотистая	0,28	0,23	0,26
Астана 2	0,35	0,26	0,31
Бурятская 55	0,24	0,16	0,20
Степная 15	0,36	0,22	0,29
Среднее	0,22	0,18	0,20

Примечание. НСР₀₅ для сравнения средних значений сред (F_{факт.} < F_{табл.}); НСР₀₅ для сравнения средних значений генотипов = 0,05 мг/л; НСР₀₅ для сравнения значений генотипов в одной среде = 0,09 мг/л; НСР₀₅ для сравнения значений генотипов в разных средах = 0,10 мг/л.

Под действием осмотического стресса в среднем по сортам снижается содержание каротиноидов в листьях пшеницы. Однако у Ершовской 34, Тулайковской 105, Тулайковской золотистой, Астаны 2 рассматриваемый показатель существенно не менялся. Осмотический стресс привёл к значительной дифференциации сортов по содержанию каротиноидных пигментов, однако данные различия в целом не совпадают с

группировкой генотипов по засухоустойчивости. Наибольшее содержание каротиноидов при осмотическом стрессе отмечено у Омской красы, Ершовской 34, Тулайковской золотистой и Астана 2 (табл. 4).

Таблица 4

Содержание каротиноидов у проростков сортов яровой мягкой пшеницы в оптимальных условиях и при осмотическом стрессе, мг/г сырой массы

Сорт	Контроль	Осмотический стресс	Среднее
Омская краса	0,57	0,43	0,50
Дуэт	0,38	0,22	0,30
Ершовская 34	0,43	0,44	0,44
Саратовская 74	0,30	0,10	0,20
Сурская юбилейная	0,30	0,16	0,23
Тулайковская 105	0,26	0,18	0,22
Омская 41	0,24	0,13	0,19
Кинельская отрада	0,36	0,11	0,24
Тулайковская золотистая	0,40	0,35	0,38
Астана 2	0,41	0,33	0,37
Бурятская 55	0,32	0,16	0,24
Степная 15	0,41	0,24	0,33
Среднее	0,37	0,24	0,30

Примечание. НСР₀₅ для сравнения средних значений сред = 0,05 мг/л; НСР₀₅ для сравнения средних значений генотипов = 0,05 мг/л; НСР₀₅ для сравнения значений генотипов в одной среде = 0,10 мг/л; НСР₀₅ для сравнения значений генотипов в разных средах = 0,10 мг/л.

Таблица 5

Изменение доли хлорофилла *a*, *b* и каротиноидов в суммарном составе фотосинтетических пигментов между контролем и осмотическим стрессом (процентный пункт)

Сорт	Хлорофилл <i>a</i>	Хлорофилл <i>b</i>	Каротиноиды
Омская краса	-8	-6	14
Дуэт	5	-10	5
Ершовская 34	0	0	0
Саратовская 74	7	-11	3
Сурская юбилейная	3	-5	2
Тулайковская 105	3	-3	0
Омская 41	1	-1	1
Кинельская отрада	-1	2	-1
Тулайковская золотистая	0	1	-1
Астана 2	1	0	-2
Бурятская 55	2	-4	2
Степная 15	0	-1	0
Среднее	1	-3	2

Общее содержание пигментов *a*, *b* и каротиноидов по сортам в контроле варьирует в довольно значительном интервале, что указывает на сортоспецифические особенности. Наибольшее содержание хлорофилла *a* и *b* в контроле отмечено у таких сортов, как Дуэт, Тулайковская золотистая, Астана 2, Степная 15, наименьшее – у Омской 41 и Тулайковской 105. Аналогичная картина наблюдается и по содержанию каротиноидов, однако лидером по количеству каротиноидных пигментов является Омская краса.

Помимо сокращения фотосинтетических пигментов, по мере увеличения осмотического давления, происходят изменения в их соотношении (табл. 5). Под влиянием осмотического стресса в пигментном комплексе 3 засухоустойчивых сортов из 4 (Омская краса, Дуэт и Саратовская 74) происходит перестройка: у Омской красы возрастает доля каротиноидов, а у Дуэта и Саратовской 74 снижается доля хлорофилла *b* в суммарном количестве пигментов. У остальных сортов соотношение фотосинтетических пигментов не претерпевает значительных изменений. Установлено, что каротиноиды защищают разнообразные органические вещества, в первую очередь, молекулы хлорофилла от фотоокислительного повреждения [8, 9]. Вероятно, для сортов с высокой полевой засухоустойчивостью характерна лабильность состава фотосинтетических пигментов.

Заключение

Влияние осмотического стресса приводит к снижению содержания хлорофилла *a* и каротиноидов, однако у некоторых сортов количество фотосинтетических пигментов в листьях не изменяется. Увеличение осмотического давления раствора приводит к значительной трансформации пигментных систем у засухоустойчивых сортов. Данные изменения сортоспецифичны, но общим для таких сортов является снижение доли хлорофилла *b* и увеличение доли каротиноидов в суммарном составе пигментов.

Библиографический список

1. Посевные площади и валовой сбор урожая сельскохозяйственных культур в Алтайском крае в 2018 году // Статистический бюллетень / Управление Федеральной службы государственной статистики по Алтайскому краю и Республике Алтай. – Барнаул, 2019. – 112 с. – Текст: непосредственный.

2. Коробейников, Н. И. Влияние метеофакторов на признаки продуктивности и урожайность мягкой яровой пшеницы в условиях Приобья Алтайского края / Н. И. Коробейников. – Текст: непосредственный // Проблемы селекции и семеноводства полевых культур в Западной Сибири и Казахстане. – Барнаул, 2001. – С. 56-70.

3. Кошкин, Е. И. Физиология устойчивости сельскохозяйственных культур / Е. И. Кошкин. – Москва: Дрофа, 2010. – 638 с. – Текст: непосредственный.

4. Чиркова, Т. В. Физиологические основы устойчивости растений / Т. В. Чиркова. – Санкт-Петербург: Изд-во Санкт-Петербургского ун-та, 2002. – 244 с. – Текст: непосредственный.

5. Головоченко, А. П. Особенности адаптивной селекции яровой мягкой пшеницы в лесостепной зоне среднего Поволжья / А. П. Головоченко. – Кинель: ОАО «Самвен-Кинель», 2001. – 380 с. – Текст: непосредственный.

6. Практикум по физиологии растений / Н. Н. Третьяков, Л. А. Паничкин, М. Н. Кондратьев [и др.]. – Москва: Колос, 2003. – 288 с. – Текст: непосредственный.

7. Maslova, T.G., Popova I.A. (1993). Adaptive properties of the plant pigment systems. *Photosynthetica*. 29: 195-203.

8. Соловченко, А. Влияние света и азотного голодания на содержание и состав каротиноидов зелёной водоросли *Parietochlorisincisa* / А. Соловченко. – Текст: непосредственный // Физиология растений. – 2008. – № 4. – С. 507-515.

9. Pratap V., Sharma Y.K. (2010). Impact of osmotic stress on seed germination and seedling

growth in black gram (*Phaseolus mungo*). *J. Environ. Biol.* 31 (5): 721-726.

References

1. Posevnye ploshchadi i valovoy sbor urozhaya selskokhozyaystvennykh kultur v Altayskom krae v 2018 godu // Statisticheskiy byulleten / Upravlenie Federalnoy sluzhby gosudarstvennoy statistiki po Altayskomu krayu i Respublike Altay. – Barnaul, 2019. – 112 s.

2. Korobeynikov, N.I. Vliyanie meteofaktorov na priznaki produktivnosti i urozhaynost myagkoy yarovoy pshenitsy v usloviyakh Priobya Altayskogo kraya / N.I. Korobeynikov // Problemy selektsii i semenovodstva polevykh kultur v Zapadnoy Sibiri i Kazakhstane. – Barnaul, 2001. – S. 56-70.

3. Koshkin, E.I. Fiziologiya ustoychivosti selskokhozyaystvennykh kultur / E.I. Koshkin. – Moskva: Drofa, 2010. – 638 s.

4. Chirkova, T.V. Fiziologicheskie osnovy ustoychivosti rasteniy / T.V. Chirkova. – Sankt-Peterburg: Izd-vo Sankt-Peterburgskogo universiteta, 2002. – 244 s.

5. Golovochenko, A.P. Osobennosti adaptivnoy selektsii yarovoy myagkoy pshenitsy v lesostepnoy zone srednego Povolzhya / A.P. Golovochenko. – Kinel: OAO «Samven-Kinel», 2001. – 380 s.

6. Praktikum po fiziologii rasteniy / N.N. Tretyakov, L.A. Panichkin, M.N. Kondratev i dr. – Moskva: Kolos, 2003. – 288 s.

7. Maslova, T.G., Popova I.A. (1993). Adaptive properties of the plant pigment systems. *Photosynthetica*. 29: 195-203.

8. Solovchenko, A. Vliyanie sveta i azotnogo golodaniya na sodержanie i sostav karotinoidov zelenoy vodorosli *Parietochlorisincisa* / A. Solovchenko // Fiziologiya rasteniy. – 2008. – No. 4. – S. 507-515.

9. Pratap V., Sharma Y.K. (2010). Impact of osmotic stress on seed germination and seedling growth in black gram (*Phaseolus mungo*). *J. Environ. Biol.* 31 (5): 721-726.

