

ВЛИЯНИЕ ПОГОДНЫХ УСЛОВИЙ НА СОДЕРЖАНИЕ И СОСТАВ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ЗЕРНЕ ФИОЛЕТОВОЗЕРНЫХ ЛИНИЙ ЯРОВОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ

А.Н. Акулов¹, А.И. Валиева¹, Н.З. Василова², Дан. Ф. Асхадуллин²,
Дам. Ф. Асхадуллин², Н.И. Румянцева¹

¹Казанский институт биохимии и биофизики – обособленное структурное подразделение Федерального исследовательского центра «Казанский научный центр Российской академии наук», Казань, Россия, akulov_anton@mail.ru

²Татарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – обособленное структурное подразделение Федерального исследовательского центра «Казанский научный центр Российской академии наук», Казань, Россия, trulik@ya.ru

Аннотация. Установлено, что ответной реакцией фиолетовозерных линий яровой мягкой пшеницы на снижение среднемесячной температуры воздуха в вегетационный период является увеличение количества антоцианов и изменение состава фенольных соединений (ФС), а также снижение содержания проламинов и глютелинов в зерне. Степень выраженности ответной реакции на изменение температуры зависела от генотипа линии.

Ключевые слова: мягкая яровая пшеница, фиолетовозерная пшеница, фенольные соединения, антоцианы, погодные условия

DOI: 10.31255/978-5-94797-319-8-55-60

Среди полезных для здоровья человека веществ, присутствующих в зерне пшеницы, фенольные соединения (ФС) представляют особый интерес, благодаря их высокой антиоксидантной активности (АОА) [Žilic, 2016]. Цвет зерна фиолетовозерных сортов пшеницы определяется наличием цианидин-3-глюкозида, основного антоциана пшеницы, локализованного, главным образом, в перикарпии зерновки [Abdel-Aal et al., 2006]. Известно, что антоцианы растений могут выполнять различные функции, преимущественно защитные [Stintzing, Carle, 2004]. На синтез антоцианов влияют различные факторы, среди которых температурные условия являются наиболее существенными. В данной работе было изучено влияние погодных условий на содержание и состав ФС и белков в зерне фиолетовозерных линий яровой мягкой пшеницы.

Объектом исследования служили две фиолетовозерные линии мягкой пшеницы, полученные в лаборатории селекции яровой пшеницы Татарского НИИСХ ФИЦ КазНЦ РАН. Линия Кк-163-08-4 была получена при скрещивании линии Л-22-95 (*Triticum aestivum* var. *vigorovii*) с сортом Kommissar (*T. aestivum* var. *lutescens*), линия Кк-193-08-1 при скрещивании линии Л-13-95 (*T. aestivum* var. *vigorovii*) с сортом Kommissar. Зерновки обеих линий имели фиолетовую окраску перикарпия. Опытные образцы высевали в 2016-2017 гг. на полях селекционного севооборота Татарского НИИСХ, расположенного в Предкамской зоне республики Татарстан. Почва – серая лесная, хорошо окультуренная, типичная для зоны. Данные по метеорологическим условиям (температура и влажность) были предоставлены метеостанцией Татарского НИИСХ.

Растворимые ФС были получены из 100 мг цельнозерновой муки по методу, описанному ранее [Akulov et al., 2018]. Содержание ФС определяли по методу [Folin, Ciocalteu, 1927], содержание антоцианов – по методу [Yu, Beta, 2015], АОА – по методу [Brand-Williams, 1995] с использованием дифенилпикрилгидразина. Спектр растворимых ФС был проанализирован методом обращенно-фазной ВЭЖХ [Akulov et al., 2018]. Для получения белковых фракций 100 мг цельнозерновой муки последовательно экстрагировали 1 мл деионизированной воды, 1 мл 10% NaCl, 1 мл

70% этанола, 1 мл 0,1% NaOH, соответственно. Образцы центрифугировали 10 мин. при 3000g, супернатанты использовали как фракции белков альбуминов, глобулинов, проламинов и глютелинов, соответственно. Содержание белка определяли по методу Лоури [Lowry et al., 1951].

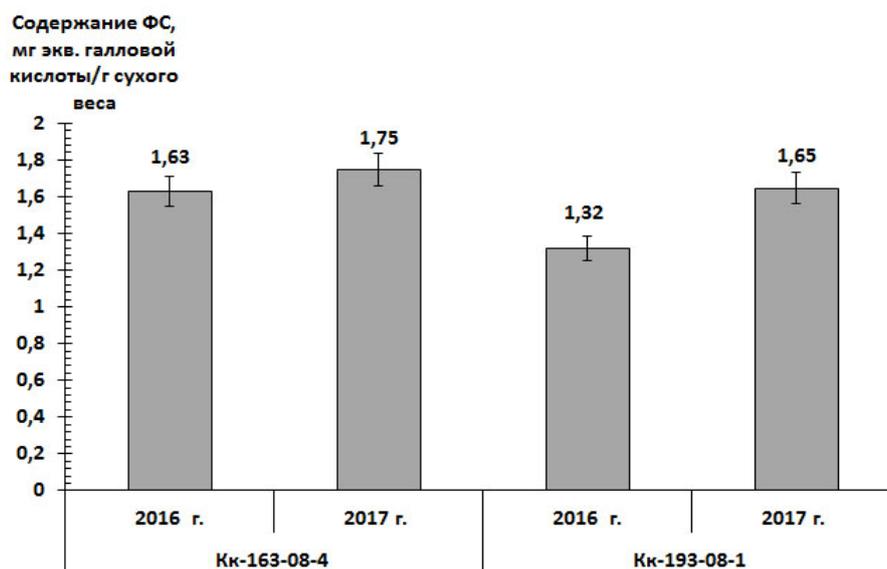


Рис. 1. Содержание метанол-экстрагируемых ФС в зерне фиолетовозерных линий пшеницы.

Согласно данным, предоставленным метеорологической службой ТатНИИСХ, 2017 г. характеризовался значениями температуры и влажности воздуха, отличными от среднелетних. До середины июня температура держалась ниже нормы на 3-5 С, в остальной вегетационный период разница была менее выражена, но в середине лета повышенная влажность усилила стрессовые условия для роста и развития растений. В 2016 г. понижения температуры воздуха относительно среднелетних значений температуры не наблюдалось, наоборот, с середины вегетационного периода зарегистрировано повышение температуры воздуха и снижение количества осадков.

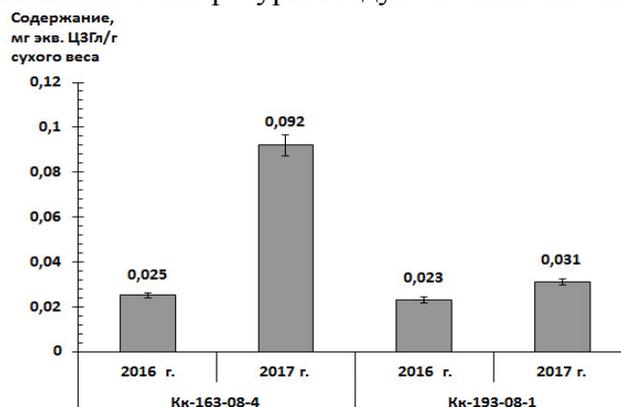


Рис. 2. Содержание антоцианов в зерне фиолетовозерных линий пшеницы.

Содержание растворимых ФС в зерне урожая 2016 г. было выше в линии Кк-163-08-4, чем в линии Кк-193-08-1 (рис.1), тогда как количество антоцианов (рис. 2) в обеих линиях существенно не различалось. Напротив, в зерне урожая 2017 года содержание растворимых ФС в обеих линиях не отличалось, а количество антоцианов в зерне линии Кк-163-08-4 было в 3 раза выше по сравнению с линией Кк-193-08-1.

Из данных, представленных на рис. 1, видно, что в зерне обеих фиолетовозерных линий урожая 2017 г. содержание антоцианов увеличивалось по сравнению с 2016 г., тогда как содержание ФС достоверно увеличивалось только для линии Кк-193-08-1. Полученные результаты позволили заключить, что увеличение антоцианов в обеих линиях, вероятно, является следствием более низких относительно среднемноголетних значений температуры воздуха в 2017 г., причем для линии Кк-163-08-4 эта реакция была более выраженной. Тем не менее, мы не обнаружили прямой взаимосвязи между увеличением содержания ФС и антоцианов, поэтому предположили, что в линии Кк-193-08-1 увеличение общего содержания ФС в 2017 г. обусловлено активацией синтеза других ФС.

ВЭЖХ анализ растворимых ФС показал, что их спектр в обеих фиолетовозерных линиях был представлен в основном фенольными кислотами (рис. 3), что согласуется с литературными данными [Shahidi et al., 2015]. В зерновках обеих линий урожая 2016 и 2017 гг. идентифицировали галловую, кумаровую, феруловую и синаповую кислоты. (рис. 3А, Б). В зерне линии Кк-163-08-4 доля идентифицированных фенольных кислот в спектре растворимых ФС урожая 2016 и 2017 гг. существенно не изменялась. Однако в спектре ФС зерна линии Кк-163-08-4, урожая 2016 г. было отмечено наличие двух неидентифицированных ФС, отмеченных на рис.3 символами (●) и (■), в то время как в зерне урожая 2017 г. только одного неидентифицированного ФС (▲) (рис. 3А). В зерне линии Кк-193-08-1 урожая 2017 г. по сравнению с 2016 г. происходило увеличение (в 1,5 раза) доли феруловой и синаповой кислот. Кроме того, были выявлены неидентифицированные ФС (↓) и (↓↓), доля которых в спектре растворимых ФС была значительной (рис. 3Б). Таким образом, в зерне линии Кк-193-08-1 урожая 2017 г. увеличение содержания растворимых ФС (рис. 1) определяется усилением синтеза и накопления нескольких неидентифицированных ФС. Вероятно, эти ФС вовлечены в реакцию растений на колебания температуры воздуха в вегетационный период.

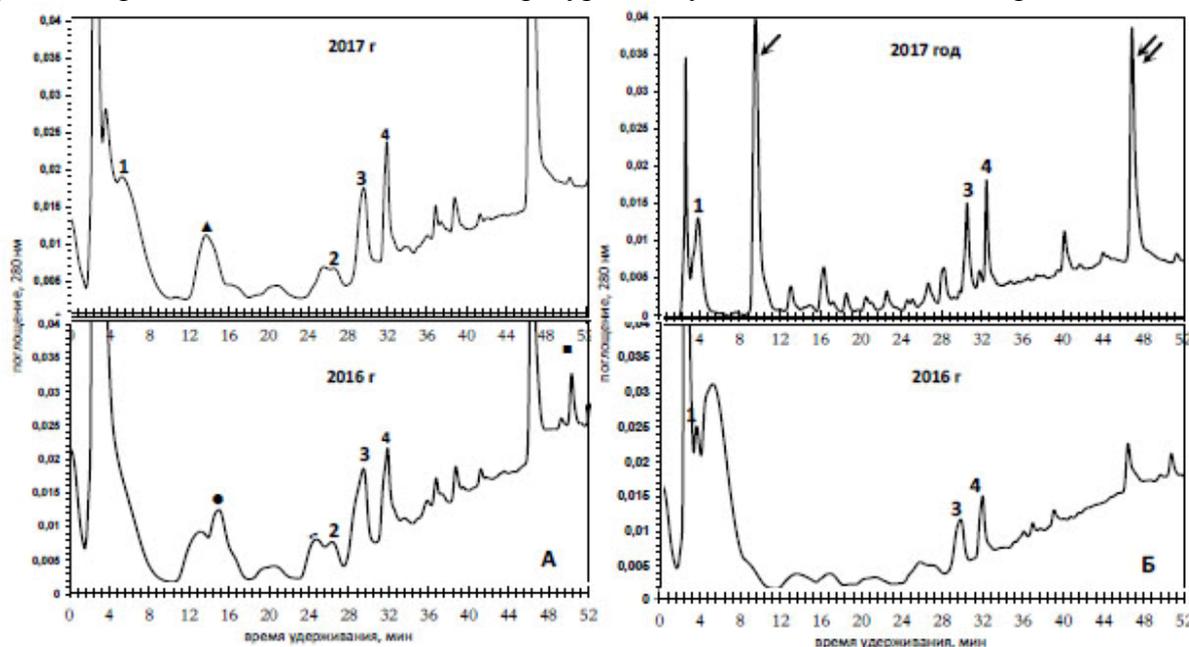


Рис. 3. ВЭЖХ метанол-экстрагируемых ФС зерновок линии Кк-163-08-4 (А) и линии Кк-193-08-1 (Б): 1 – галловая кислота, 2 – кумаровая кислота, 3 – феруловая кислота, 4 – синаповая кислота.

Обнаружено, что АОА спиртовых экстрактов, выделенных из цельнозерновой муки обеих линий, была выше в 2017 г. по сравнению с 2016 г. (рис. 4), причем в

2017 г. для линии Кк-163-08-4 это значение было почти в 14 раз выше значения для линии Кк-193-08-1.

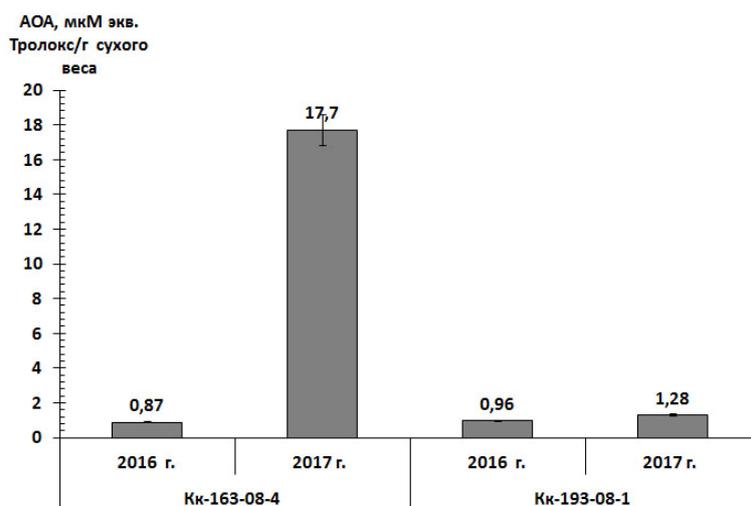


Рис. 4. АОА спиртовых экстрактов муки из зерна фиолетовозерных линий пшеницы.

Известно, что у многих растений усиление синтеза антоцианов при понижении температуры воздуха является стрессовой реакцией [Winkel-Shirley, 2005]. Антоцианы относятся к ФС, обладающими высокой АОА [Khoo et al., 2017]. Вероятно, синтез антоцианов позволяет растениям снижать уровень окислительного стресса, вызванного изменением температуры воздуха.

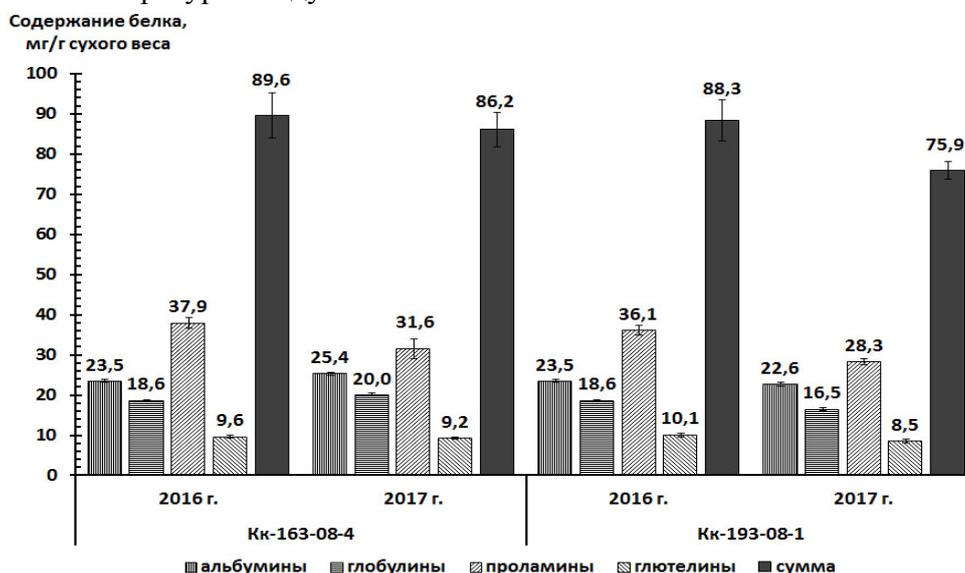


Рис. 5. Содержание белка в зерне фиолетовозерных линий пшеницы.

Стрессовая реакция растений на понижение температуры сопровождается не только увеличением антоцианов [Pierro et al., 2005], но и изменениями в белковом метаболизме [Pinedo et al., 2000]. Нами обнаружено, что для линии Кк-193-08-1 содержание белка в зерне урожая 2017 г. по сравнению с 2016 г. было ниже по всем белковым фракциям (рис. 5). В связи с тем, что количество запасных белков эндосперма, проламинов и глютелинов снижалось существенно, доля альбуминов и глобулинов в общем количестве белка зерна увеличивалась. В зерне линии Кк-163-08-4 достоверного изменения в содержании общего белка отмечено не было, однако происходило аналогичное перераспределение долей различных фракций белка в зерне.

Однако в данном случае оно было связано в большей степени с увеличением количества альбуминов и глобулинов, во фракции которых присутствуют различные ферменты, защитные и метаболические белки, и в меньшей степени – со снижением количества запасных белков.

Таким образом, можно заключить, что ответной реакцией фиолетовозерных линий яровой мягкой пшеницы на пониженные температуры в вегетационный период является увеличение количества антоцианов и изменение состава ФС, а также снижение содержания проламинов и глютелинов в зерне. Чем больше при пониженных температурах в фиолетовозерной линии образуется антоцианов, тем меньше снижается в ней синтез запасных белков – проламинов и глютелинов.

Литература

Akulov A.N., Gumerova E. A., R Rummyantseva N.I. Cell cultures of *Fagopyrum tataricum* as a source of biologically active phenolic compounds. In Meiliang Zhou, Ivan Kreft, Galina Suvorova, Yu Tang and Sun Hee Woo, editors: Zhou-Buckwheat Germplasm in the World, Chennai: Academic Press. – 2018. – P. 259–270.

Brand-Williams W., Cuvelier M.E., Berset C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity // LWT. – 1995. – V. 28. – P. 25–30.

Duke S. O. Biosynthesis of phenolic compounds chemical manipulation in higher plants the chemistry of allelopathy // ACS Symposium Series American Chemical Society. – 1985. – Chapter 8. – V. 268. – P. 113–131.

Folin O., Ciocalteu V. On tyrosine and tryptophane determinations in proteins // J. Biol. Chem. – 1927. – V. 73. – P. 627–650.

Khoo H. E., Azlan A., Tang S. T., Lim S. M. Anthocyanidins and anthocyanins: colored pigments as food, pharmaceutical ingredients, and the potential health benefits // Food Nutr. Res. – 2017. – V. 61. – P. 1361779.

Lowry O.H., Rosebrough N.J., Farr A.L., Randall R.J. Protein measurement with Folin phenol reagent // J. Biol. Chem. – 1951. – V. 193. – P. 265–275.

Piero A.R.L., Puglisi I., Rapisarda P., Petrone G. Anthocyanins accumulation and related gene expression in red orange fruit induced by low temperature storage // J. Agric. Food Chem. – 2005. – V. 53. – P. 9083–9088.

Pinedo M.L., Hernández G.F., Conde R.D., Tognetti J.A. Effect of low temperature on the protein metabolism of wheat leaves // Biologia Plantarum. – 2000. – V. 43. – P. 363–367.

Shahidi F., Ambigaipalan P. Phenolics and polyphenolics in foods, beverages and spices: Antioxidant activity and health effects - A review // Journal of Functional Foods. – 2015. – V. 18. – P. 820–897.

Stintzing F.C., Carle R. Functional properties of anthocyanins and betalains in plants, food, and in human nutrition // Trends in Food Science and Technology. – 2004. – V. 15. – P. 19–38.

Winkel-Shirley B. Biosynthesis of flavonoids and effects of stress // Current Opinion in Plant Biology. – 2002. – V. 5. – P. 218–223.

Yu L., Beta T. Identification and antioxidant properties of phenolic compounds during production of bread from purple wheat grains // Molecules. – 2015. – V. 20. – P. 15525–15549.

Žilić S. Phenolic compounds of wheat. Their content, antioxidant capacity and bioaccessibility // MOJ Food Process Technol. – 2016. – V. 2. – P. 1–5.

WEATHER CONDITIONS INFLUENCE ON THE CONTENT AND COMPOSITION OF PHENOLIC COMPOUNDS IN THE PURPLE LINES OF SOFT SPRING WHEAT GRAINS

A.N. Akulov¹, A.I. Valieva¹, N.Z. Vasilova², Dan. F. Askhadullin²,
Dam. F. Askhadullin², N.I. Rummyantseva¹

¹Kazan institute of biochemistry and biophysics of Kazan science center of the Russian academy of sciences, Kazan, Russia, *akulov_anton@mail.ru*

²Tatar research institute of agriculture of Kazan science center of the Russian academy of sciences, Kazan, Russia, *trulik@ya.ru*

Abstract. We showed that two purple grain wheat lines response to the decrease of the average monthly air temperature during the growing season by an increase in the anthocyanin content and the change in the phenolic composition, as well as by the decrease of prolamin and glutelin content in the grain. This response was line-specific.

Keywords: *soft spring wheat, purple grain wheat, phenolic compounds, anthocyanins, weather conditions*