

ДОНОРНО-АКЦЕПТОРНЫЕ ОТНОШЕНИЯ И КАЧЕСТВО ЗЕРНА ПШЕНИЦЫ Ахмедова Ф.А.¹, Абдулбагиева С.А.², Заманов А.А.³, Ибрагимова И.Г.⁴

¹Ахмедова Флора Алaddin кызы - кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник;

²Абдулбагиева Севда Агамали кызы - кандидат биологических наук, доцент, ведущий научный сотрудник;

³Заманов Атиф Ариф оглы - кандидат биологических наук, доцент, ведущий научный сотрудник;

⁴Ибрагимова Ирада Газанфар кызы - кандидат биологических наук, доцент, ведущий научный сотрудник,
Научно-исследовательский институт земледелия,
г. Баку, Азербайджанская Республика

Аннотация: в статье представлены результаты исследований изучения донорно-акцепторных отношений и качество зерна пшеницы. Полевые опыты проводились в оптимальном режиме полива и в условиях засухи, объектом исследований служили генотипы пшеницы: Баракатли 95, Вугар, Гарагылчыг 2 и Гырмызы бугда. Искусственное изменение донорно-акцепторных соотношений в растении в совокупности с факторами внешней среды, в том числе действием засухи, оказывает определенное влияние на содержание азота и белка в зерне. При воздействии засухи увеличивается процентное содержание белка в зерне. У изучаемых генотипов при удалении листьев 8-го и 7-го ярусов количество азота и белка в зерне по сравнению с контролем в обоих вариантах уменьшается больше в листьях 8-го яруса, чем в листьях 7-го яруса. Листья 8-го яруса играют более важную роль в процессе налива зерна и улучшения качества, чем листья 7-го яруса. При удалении половины колоса в условиях засухи количество белка в зерне увеличивается у генотипа Баракатли-95 на 0,8%, у Вугар на 1,3%, у Гырмызы бугда на 0,6%, и у Гарагылчыг-2 на 0,3% по сравнению с поливным вариантом. Оба фактора воздействующие на растение - засуха и удаление половины колоса, приводят к увеличению количества азота и белка в зерне.

Ключевые слова: пшеница, генотип, засуха, донорно-акцепторные отношения, качество зерна, количество белка в зерне

DONOR-ACCEPTOR RELATIONSHIPS AND GRAIN QUALITY IN THE WHEAT PLANT

Akhmedova F.A.¹, Abdulbagieva S.A.², Zamanov A.A.³, Ibragimova I.G.⁴

¹Akhmedova Flora Aladdin kyzy - Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher;

²Abdulbagieva Sevdagamali kyzy - Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Leading Researcher;

³Zamanov Atif Arif oglu - Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Leading Researcher;

⁴Ibragimova Irada Gazanfar kyzy - Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Leading Researcher,
RESEARCH INSTITUTE OF AGRICULTURE,
BAKU, REPUBLIC OF AZERBAIJAN

Abstract: the article presents the results of studies on the study of donor-acceptor relationships and the quality of wheat grain. Field experiments were carried out in the optimal irrigation regime and under drought conditions, the object of research was wheat genotypes: Barakatli 95, Vugar, Garagylchyg 2 and Gyrymyzy bugda. An artificial change in the donor-acceptor ratios in the plant, in combination with environmental factors, including the effect of drought, has a certain effect on the content of nitrogen and protein in the grain. When exposed to drought, the percentage of protein in the grain increases. In the studied genotypes, when the leaves of the 8th and 7th tiers are removed, the amount of nitrogen and protein in the grain, compared with the control, in both variants decreases more in the leaves of the 8th tier than in the leaves of the 7th tier. The leaves of the 8th tier play a more important role in the process of filling the grain and improving the quality than the leaves of the 7th tier.

When removing half of the ear in drought conditions, the amount of protein in the grain increases in the Barakatli-95 genotype by 0.8%, in Vugar by 1.3%, in Gyrymyzy Bugda by 0.6%, and in Garagylchyg-2 by 0.3% compared to irrigation. Both factors affecting the plant - drought and removal of half of the ear - lead to an increase in the amount of nitrogen and protein in the grain.

Keywords: wheat, genotype, drought, donor-acceptor relations, grain quality, amount of protein in grain.

УДК 633.11:633.112

Ведение. Скорость и направление транспорта продуктов фотосинтеза, их распределение между различными органами растения тесно связаны с донорно-акцепторными отношениями в системе целого растения. Так как, донор ассимилятов- фотосинтез и их акцептор - процессы роста и накопление запасных веществ образуют взаимосогласованную систему в растительном организме.

Изучение донорно-акцепторных отношений у растений пшеницы, особенно их изменений в онтогенезе, является эффективным методом выяснения механизмов эндогенной регуляции фотосинтеза и общей физиологии целого растения. Более того, эти отношения составляют значительное звено в теории фотосинтетической продуктивности, поскольку продукционный процесс растений определяется, прежде

всего, функциональным взаимодействием фотосинтеза и роста [2]. Донорно-акцепторные отношения также играют важную роль в устойчивости растений к засухе, так как запасы углеводов используются для накопления зерна, а обеспечение накопления зерна в условиях засухи является решающим фактором [12].

Пищевая ценность и хлебопекарные качества зерна пшеницы зависят от количества белка в зерне и содержания в нем аминокислот. Белки пшеницы в основном состоят из нерастворимых в воде глиадина и глютена. Количество белка в зерне может варьировать в пределах 10-18% в зависимости от условий выращивания [10]. Количество азота в растении зависит как от массы вегетативной части и зерна растения, так и от процентного содержания азота в них. При уменьшении числа зерен в колосе (при экспериментальном удалении части колосков или удалении части колоса в фазе цветения) процентное содержание белка в зерне повышается, причиной этого является изменение соотношения между вегетативной массой и массой зерна, т.е. снижение коэффициента хозяйственной эффективности [3].

Листья растения также играют важную роль в формировании урожая и его качества. Данные литературы позволяют говорить о прямой зависимости между количеством белка в зерне и содержанием азота в листьях [5]. В программах селекции пшеницы период оставания зеленым флагового листа (stay green phenotype) считается благоприятным признаком и одним из важных факторов высокой урожайности пшеницы [6]. В условиях засухи выявлена положительная корреляционная связь между длительным оставанием зеленым флаговых листьев урожайностью зерна и индексом урожая [8].

Научными исследованиями подтверждена эффективность азотной подкормки в фазах цветения и для увеличения количества белка в зерне в период вегетации [14]. Ли и др. также отмечают, что внесение азота в фазе налива зерна значительно увеличивает его поглощение и накопление растением [9].

Роль органов растений в обеспечении развивающегося зерна азотистыми веществами различна. Азот в основном поступает из листьев (50%), в меньшей степени из стеблей (20-30%), в наименьшей степени из корня (10-30%) и элементов колоса (10-15%) [3].

Между продуктивностью генотипов пшеницы и количеством белка в зерне существует обратная, между урожайностью и выходом белка с гектара прямая, а между выходом белка с гектара и количеством белка - обратно пропорциональная зависимость [1]. В последние годы разработан ряд методов, предполагающих использование новых генов, оптимизацию водного режима и внесение удобрений с целью одновременного повышения урожайности зерна пшеницы и содержания белка в зерне [11].

Процесс налива зерна является результатом сложного взаимодействия между ассимилирующими (лист и другие вегетативные органы) и потребляющими (колос и зерновки) органами, построенного по типу «sink-source» или «спрос-предложение», т.е. «донор-акцептор». В период налива зерна аттрагирующим центром в растении становятся зерновки, которые посылая «запрос» в вегетативные органы, как бы притягивают к себе органические вещества. В результате чего в зерновки направляется ток ассимилятов [2].

В опытах, проведенных по изменению донорно-акцепторного соотношения в растении путем затемнения колоса, уменьшается количество азота, поступающего в надземную часть пшеницы из почвы и корней, тормозится усвоение азота из почвы [3]. Это свидетельствует о важности аттрагирующей способности колоса в поступлении азотистых веществ в формирующееся зерно. Так, генотип с более высокой урожайностью имеет более высокую аттрагирующую способность колоса, причем в зависимости от условий выращивания аттрагирующая способность колоса в растении также увеличивается с увеличением количества белка в зерне.

Биотические и абиотические стрессы, в том числе засуха, негативно сказываются на качестве зерна пшеницы в ранний период фазы накопления зерна [7]. Под влиянием засухи закрываются устьица, снижается фотосинтез, усиливается дыхание и снижается биосинтез крахмала, что уменьшает продуктивность растения [15]. С другой стороны, засуха увеличивает количество резервных белков в зерне, что повышает хлебопекарные качества пшеницы [13].

Таким образом, качество зерна пшеницы, особенно количество белка в зерне, существенно зависит от состояния донорно-акцепторной системы в растении и условий внешней среды, в том числе от воздействия засухи.

Материалы и методы. Полевые опыты проводились на опытном участке экспериментальной базы НИИ Земледелия, расположенном на Апшеронском полуострове. Опыты проводились в двух вариантах, орошаемом и неорошаемом. В обоих вариантах у исследуемых генотипов донорно-акцепторные отношения были искусственно изменены у изучаемых сортов. Для этого у данного генотипа были взяты 10-20 образцов и удалены все листья 7-го яруса, а оставлены листья 8-го яруса и колос. В другом варианте были удалены листья 8-го яруса и оставлены листья 7-го яруса и колос. В другом варианте была удалена половина колоса и оставлены все листья. В последнем варианте были удалены листья 7-го и 8-го ярусов, а колос сохранен целиком.

Определение белка в зерне. Количество азота в зерне определяли модифицированным микрометодом Кельдаля с помощью прибора Келтек 1003 ЛКБ. Коэффициент Nx5,7 использовался для перевода количества азота в белок [4].

Результаты и обсуждения. Процесс налива зерна является результатом сложного взаимодействия между ассимилирующими и потребляющими органами растения. По литературным данным, качество зерна пшеницы, в частности, содержание белка в них, в значительной степени зависит от состояния донорно-акцепторных отношений в целом растении и внешних условий, в том числе от воздействия засухи.

В таблице представлены результаты качественного анализа урожая исследованных генотипов у которых искусственно были изменены донорно-акцепторные отношения путем удаления листьев 8-го и 7-го ярусов в фазе колошение- цветение и половины колоса в фазе налива зерна. У генотипов Баракатли-95 и Вугар количество азота и белка в зерне при условиях орошения составило 2,44 и 13,9 %, 2,44 и 14,0 % и при засушливых условиях 2,47 и 14,1 %, 2,49 и 14,2 %, соответственно. Разница между вариантами по количеству азота и белка составила -0,03% и -0,2% у генотипа Баракатли-95 и -0,05% и -0,2% у генотипа Вугар, соответственно, то есть, под влиянием засухи содержание азота и белка в зерне повышается. Увеличение количества белка в зерне происходит за счет уменьшения содержания крахмала, что приводит к уменьшению количества конечного урожая. С другой стороны, существует отрицательная зависимость между продуктивностью и качеством зерна.

Аналогичная ситуация наблюдалась у генотипа Гарагылчыг-2, у которого количество азота и белка при орошении составляло 2,40 и 13,7 %, а в условиях засухи - 2,44 и 14,0 %, соответственно.

Некоторые отклонения наблюдаются у генотипа Гырмызы бугда, у которого количество азота и белка в зерне под влиянием засухи не повышается, составляя в поливном варианте, соответственно, 2,65 и 15,1 %, а в бесполовном варианте - 2,49 и 14,2 %.

Таблица 1. Влияние изменения донорно-акцепторных отношений на качество урожая зерна у генотипов пшеницы.

Варианты		Баракатли 95		Вугар		Гарагылчыг 2		Гырмызы бугда	
		Количество азота в зерне, %	Количество белка в зерне, %	Кол-во азота в зерне, %	Кол-во белка в зерне, %	Кол-во азота в зерне, %	Кол-во белка в зерне, %	Кол-во азота в зерне, %	Кол-во белка в зерне, %
Контроль	I	2,44	13,9	2,44	14,0	2,40	13,7	2,65	15,1
	II	2,47	14,1	2,49	14,2	2,44	14,0	2,49	14,2
Удален 8-й лист	I	2,12	12,1	2,18	12,4	2,21	12,6	2,47	14,1
	II	2,04	11,6	1,86	10,6	2,18	12,4	2,28	13,0
Удален 7-й лист	I	2,26	12,9	2,25	12,8	2,28	13,0	2,51	14,3
	II	2,18	12,4	1,88	10,7	2,21	12,6	2,35	13,4
Удалена половина колоса	I	2,70	15,4	2,68	15,3	2,51	14,3	2,74	15,6
	II	2,84	16,2	2,91	16,6	2,56	14,6	2,84	16,2

Примечание: I- орошаемый вариант; II- вариант засухи

При удалении 8-го и 7-го листьев у всех исследованных генотипов количество азота и белка в зерне уменьшается в обоих вариантах по сравнению с контролем. Причиной этого является искусственное изменение соотношения между количеством азота в вегетативной части растения и массой зерна в генеративной части и этим понижается отток азотистых веществ из вегетативных органов в зерно. У изучаемых генотипов при удалении листьев 8-го и 7-го ярусов количество азота и белка в зерне в обоих вариантах уменьшается больше в листьях 8-го яруса, чем в листьях 7-го яруса. У генотипа Баракатли-95 количество белка снижается на 1,8% в режиме орошения при удалении листьев 8-го яруса и на 1,0% при удалении листьев 7-го яруса по сравнению с контрольным. В условиях засухи это снижение составляет 2,5 и 1,7% соответственно. Аналогичная ситуация наблюдается и у других изученных генотипов.

Корреляционная зависимость между содержанием белка в зерне и содержанием азота во флаговом листе больше, чем в других листьях. В связи с этим, по результатам исследований, 8-й лист играет более важную роль в процессе накопления белка в зерне, чем 7-й лист как в контрольном, так и в опытных вариантах.

При удалении листьев 8 и 7-го ярусов количество азота и белка в зерне в условиях засухи меньше по сравнению с поливным вариантом. У генотипа Вугар при удалении 8-го и 7-го листьев этот показатель в условиях засухи составляет 10,6 и 10,7 % и в условиях орошения 12,4 и 12,8 %, соответственно. У генотипа Гарагылчыг-2 эти показатели составляют в условиях засухи 12,4 и 12,6 %, а в условиях орошения - 12,6 и 13,0%. Аналогичная ситуация наблюдалась у генотипов пшеницы Баракатли-95 и Гырмызы бугда.

Следует учитывать, что на растение воздействуют одновременно два фактора: первый – засуха, второй – отсутствие листьев 8-го или 7-го ярусов. В условиях засухи вегетативная часть растения развивается слабо по сравнению с поливным вариантом, а удаление 8-го или 7-го листа приводит к большему снижению его количества в процессе накопления белка в зерне.

У всех изученных генотипов при удалении половины колоса содержание азота и белка в зерне увеличивается в обоих вариантах по сравнению с контролем. У генотипа Баракатли-95 при удалении половины колоса содержание белка в зерне увеличивается на 1,5% в условиях орошения и на 2,1% в условиях засухи. Эти показатели в обоих вариантах у генотипа Гарагылчыг 2 составляют 0,6%, у Гырмызы бугда 0,5 и 2,0%, у Вугар 1,3 и 2,4%.

Увеличение содержания белка в зерне при удалении половины колоса объясняется тем, что при уменьшении числа зерен в колосе изменяется соотношение массы зерна и вегетативной массы в растении, и такое же количество азота в вегетативных органах делится на меньшее количество зерен.

Как видно из таблицы, при удалении половины колоса в условиях засухи количество белка в зерне увеличивается у генотипа Баракатли-95 на 0,8%, у Вугар на 1,3%, у Гырмызы бугда на 0,6%, и у Гарагылчыг-2 на 0,3% по сравнению с поливным вариантом. Оба фактора воздействующие на растение-засуха, и удаление половины колоса, приводят к увеличению количества азота и белка в зерне.

Результаты: Искусственное изменение донорно-акцепторных соотношений в растении в совокупности с факторами внешней среды, в том числе действием засухи, оказывает определенное влияние на содержание азота и белка в зерне. При засухе увеличивается процентное содержание белка в зерне. При изменении донорного потенциала листьев количество азота и белка в зерне уменьшается как при поливе, так и при засухе по сравнению с контролем, причем это уменьшение становится более заметным при удалении листьев 8-го яруса в обоих вариантах. Листья 8-го яруса играют более важную роль в процессе налива зерна и улучшения качества зерна, чем листья 7-го яруса. В обоих вариантах снижение акцепторной силы колоса приводит к увеличению содержания азота и белка в зерне по сравнению с контролем. Поэтому, при отборе родительских форм в процессе гибридизации необходимо уделять особое внимание на архитектуру растений, особенно на структуру колоса, которые имеют огромное значение при формировании урожая и его качества.

Искусственное изменение донорно-акцепторных соотношений помимо выяснения влияния донорно-акцепторных отношений на основные морфофизиологические показатели в системе целого растения в засушливых условиях, также дает определенные информации о транспорте продуктов фотосинтеза, о распределении их между ассимилирующими и потребляющими органами в процессе продуктивности.

Список литературы / References

1. Гусейнов С.И., Абдулбагиева С.А. Качество зерна пшеницы и технологические показатели в зависимости от режима орошения. Сборник научных трудов НИИ Земледелия, 2013, том XXIV, стр. 277-284.
2. Мокронос А.Т. Донорно-акцепторные отношения в онтогенезе растений // Физ-я фотосинтеза. –М., 1982, -с. 235-250.
3. Павлов А.Н. Повышение содержания белка в зерне. –Изд-во Наука, 1984, -118 с.
4. Плешков Б.П. Практикум по биохимии растений. М.Колос. 1976, 256 с.
5. Созинов А.А., Хохлов А.Н., Попереля Ф.А. Проблемы увеличения белковости зерна пшеницы. –в кн. Проблема повышения качества зерна. –М., Колос, 1977. –с. 18-30.
6. Borrill P., Fahy B., Smith A.M., and Uauy C. (2015). Wheat grain filling is limited by grain filling capacity rather than the duration of flag leaf photosynthesis: a case study using NAM RNAi plants. *PLoS One* 10:e0134947. doi: 10.1371/journal.pone.0134947.
7. Duan W.J., Zhu G.R., Zhu D., Yan Y.M. (2020). Dynamic proteome changes of wheat developing grains in response to water deficit and high-nitrogen fertilizer conditions. *Plant Physiol. Biochem.* 156, 471–483. doi: 10.1016/j.plaphy.2020.08.022, PMID: [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]
8. Liang X., Liu Y., and Adams J.C.C. (2018). Late-season photosynthetic rate and senescence were associated with grain yield in winter wheat of diverse origins. *J. Agron. Crop Sci.* 204, 1–12. doi: 10.1111/jac.12231.
9. Li J.P., Wang Y.Q., Zhang M., Liu Y., Xu X.X., Lin G., et al. (2019b). Optimized micro-sprinkling irrigation scheduling improves grain yield by increasing the uptake and utilization of water and nitrogen during grain filling in winter wheat. *Agric. Water Manag.* 211, 59–69. doi: 10.1016/j.agwat.2018.09.047 [CrossRef] [Google Scholar].
10. Liu J., Feng B., Xu Z., Fan X., Jiang F., Jin X., et al. (2018). A genome-wide association study of wheat yield and quality-related traits in Southwest China. *Mol. Breeding* 38, 1–11. doi: 10.1007/s11032-017-0759-9 [CrossRef] [Google Scholar].
11. Roy N., Islam S., Al-Habbar Z., Yu Z., Liu H., Lafandra D., et al. (2021). Contribution to breadmaking performance of two different HMW glutenin 1Ay alleles expressed in hexaploid wheat. *J. Agr. Food Chem.* 69, 36–44. doi: 10.1021/acs.jafc.0c03880, PMID: [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]
12. Yang J., Zhang J., Wang Z., Zhu Q., Liu L. Water Deficit-Induced Senescence and Its Relationship to the Remobilization of Pre-Stored Carbon in Wheat during Grain Filling // *Agronomy Journal*, 2001, v.93, No1, p.196-206.
13. Zhou J.X., Liu D.M., Deng X., Zhen S.M., Wang Z.M., Yan Y.M. (2018). Effects of water deficit on breadmaking quality and storage protein compositions in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *J. Sci. Food Agric.* 98, 4357–4368. doi: 10.1002/jsfa.8968, PMID: [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]
14. Zhong Y., Vidkjær N.H., Massange-Sanchez J.A., Laursen B.B., Gislum R., Borg S., et al. (2020). Changes in spatiotemporal protein and amino acid gradients in wheat caryopsis after N-topdressing. *Plant Sci.* 291:110336. doi: 10.1016/j.plantsci. 2019.110336, PMID: [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar].
15. Zhu D., Zhu G.R., Zhang Z., Wang Z.M., Yan X., Yan Y.M. (2020). Effects of independent and combined water-deficit and high-nitrogen treatments on flag leaf proteomes during wheat grain development. *Int. J. Mol. Sci.* 21:2098. doi: 10.3390/ijms21062098, PMID: [PMC free article] [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar].