

Научная статья

УДК 575.167, 575.2.084, 581.4

doi: 10.17223/19988591/69/18

Влияние хромосомы 4Th пырея с геном опушения *HLIth* в геноме замещённых линий мягкой пшеницы на адаптацию к засухе

Александр Владимирович Симонов¹, Елена Ивановна Гордеева²,
Светлана Владимировна Осипова³, Лелея Юрьевна Васенина⁴,
Ли Вэньцзянь⁵, Татьяна Алексеевна Пшеничникова⁶

^{1, 2, 4, 5, 6} ФИЦ Институт цитологии и генетики СО РАН, Новосибирск, Россия

³ ФГБУН Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН,
Иркутск, Россия.

^{4, 5} Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия

¹ <https://orcid.org/0000-0001-6708-3822> sialexander@bionet.nsc.ru

² <https://orcid.org/0000-0003-3166-7409> elgordeeva@bionet.nsc.ru

³ <https://orcid.org/0000-0001-7025-8590> svetlanaosipova2@mail.ru

⁴ v.leleya@mail.ru

⁵ <https://orcid.org/0009-0001-4744-5002> liw562530@gmail.com

⁶ <https://orcid.org/0000-0003-0191-5520> wheatpsh@bionet.nsc.ru

Аннотация. Климатические изменения требуют уделить внимание механизмам повышения пластичности культур, помимо прочего, адаптивности к засухе. В работе изучены эффекты замещения хромосом 4В и 4D у мягкой яровой пшеницы засухоустойчивого сорта Саратовская 29 (S29) хромосомой 4Th пырея (*Thinopyrum ponticum* (Podp.)). У замещённых линий модифицировано опушение листа, что сказывается на параметрах урожайности в условиях оптимального и дефицитного режимов увлажнения, а также на параметрах фотосинтеза и транспирации. На хромосоме 4В пшеницы находится ген *HLI*, определяющий рост на листовых пластинках большого числа недлинных трихом, формирующих плотный слой опушения. На хромосоме 4Th пырея расположен гомеологичный ген *HLIth*, формирующий опушение листа из длинных разреженных трихом. Замещение пары хромосом 4В на 4Th фенотипически приводит к смене плотного полога трихом редкими длинными трихомами. Замещение пары хромосом 4D на 4Th добавляет редкие длинные трихомы к плотному слою коротких трихом. Модификации опушения листа приводят к изменению уровня испарения воды и поглощения углекислого газа, повышая эффективность использования воды, что в итоге сказывается на урожайном потенциале растений.

Ключевые слова: мягкая пшеница, замещённые линии, *Thinopyrum ponticum* (Podp.), опушение листа, трихомы, засуха, фотосинтез, урожайность

Источник финансирования: РНФ № 23-24-10029 совместно с администрацией Новосибирской области (р-63).

Благодарности: работы проведены в ЦКП репродукции растений Института цитологии и генетики СО РАН (бюджетный проект FWRN-2022-0017).

Для цитирования: Симонов А.В., Гордеева Е.И., Осипова С.В., Васенина Л.Ю., Ли В., Пшеничникова Т.А. Влияние хромосомы 4Th пырея с геном опушения *HLIth* в геноме замещённых линий мягкой пшеницы на адаптацию к засухе // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2025. № 69. С. 153–161. doi: 10.17223/19988591/69/18

The effect of the 4Th chromosome of wheatgrass with the leaf hairiness gene *Hll*th in the genome of substituted lines of common wheat on adaptation to drought

Alexander V. Simonov¹, Elena I. Gordeeva², Svetlana V. Osipova³,
Eleya Y. Vasenina⁴, Li Wenjian⁵, Tatyana A. Pshenichnikova⁶

^{1, 2, 4, 5, 6} Institute Cytology and Genetics SB RAS, Novosibirsk, Russia

³ Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry SB RAS, Irkutsk, Russia

^{4, 5} Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia

¹ <https://orcid.org/0000-0001-6708-3822> sialexander@bionet.nsc.ru

² <https://orcid.org/0000-0003-3166-7409> elgordeeva@bionet.nsc.ru

³ <https://orcid.org/0000-0001-7025-8590> svetlanaosipova2@mail.ru

⁴ v.leleya@mail.ru

⁵ <https://orcid.org/0009-0001-4744-5002> liw562530@gmail.com

⁶ <https://orcid.org/0000-0003-0191-5520> wheatpsh@bionet.nsc.ru

Summary. Plants adapt to drought using various mechanisms, such as a developed root system and a biochemical system of antioxidant protection. Also, leaf hairiness affects the air surface stability and affects the work of the photosynthetic apparatus, transpiration and assimilation of carbon. The spring variety of common wheat Saratovskaya 29 (S29) is drought-tolerant varieties due to dense leaf pubescence and an active system of antioxidant protection from stress. In chromosome 4B of this variety carries a dominant gene for leaf hairiness *Hll*, which forms a dense layer of short trichomes. In this work, S29 lines with a substitution of chromosomes 4B and 4D for chromosome 4Th from *Thinopyrum ponticum* (Podp.) were studied for drought adaptability. Cultivation was carried out under controlled normal growing and drought conditions in greenhouses and in vegetation chambers. The leaf hairiness contrastingly changed in the substitution lines compared to recipient. In the line S29_4Th(4B) the dense layer of short trichomes was replaced by sparse long trichomes. In the line S29_4Th(4D), rare long trichomes are located among the trichomes characteristic of the recipient. As can be seen from Table 1, the substitution line S29_4Th(4B) formed significantly more productive ears, and the line S29_4Th(4D) formed significantly more grains per plant that the recipient. This effect is observed both under conditions of normal watering and drought. The weight of 1000 grains was about 32 g in both lines under normal watering; this was similar to S29 with sufficient moisture. However, when grown in drought conditions, the grain size dropped significantly. The total grain weight from the plant did not decrease compared to S29 in line S29_4Th(4D) under drought conditions. In the normal watering it was greater. The line S29_4Th(4B) did not change the grain yield under irrigation, it was like in S29, but under drought, the grain weight from the plant slightly decreased due to a decrease in the grain size. The parameters of photosynthesis are given in Table 2. Under drought, the S29_4Th(4B) line used water more efficiently compared to S29 due to a strong decrease in transpiration and a less decrease in the rate of carbon dioxide assimilation. This property may preserve moisture in the soil and can be useful for the plant population when grown in the field under water deficit conditions. The line S29_4Th(4D) under drought practically did not reduce CO₂ assimilation, but significantly increased transpiration. Therefore, the S29_4Th(4D) line will be more productive under optimal water supply conditions.

The article contains 2 Tables, 10 References.

Keywords: common wheat, substitution line, *Thinopyrum ponticum* (Podp.), leaf hairiness, trichomes, draught, photosynthesis, yield parameters

Fundings: This work was partially supported by Russian Scientific Foundation (Grant No 23-24-10029) and Agreement with Novosibirsk Region p-63).

Acknowledgments: The Center for Collective Use of Plant Reproduction of the Institute of Cytology and Genetics SB RAS (budget project FWNR-2022-0017).

For citation: Simonov AV, Gordееva EI, Osipova SV, Vasenina LY, Li W, Pshenichnikova TA. The effect of the 4Th chromosome of wheatgrass with the leaf hairiness gene *H11th* in the genome of substituted lines of common wheat on adaptation to drought. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya = Tomsk State University Journal of Biology*. 2025;69:153-161. doi: 10.17223/19988591/69/18

Введение

Трихомы, покрывающие органы растений, играют роль механической защиты от повреждений насекомыми или пыльными ветрами, рассеивают солнечную радиацию, изменяют характер течений воздуха (ламинарные или турбулентные) в приграничном слое, что сказывается на температуре поверхности, работе устьичного аппарата, транспирации и газообмене и в итоге на урожайном потенциале [1–3]. Яровой сорт мягкой пшеницы Саратовская 29 (S29) относится к засухоустойчивым. Это один из модельных сортов, на котором создано множество коллекций с интрогрессиями генетического материала от других сортов и родственных видов. Листья этого сорта имеют густое опушение из простых трихом длиной порядка 150 мкм [4], контролируемое главным геном *H11* в хромосоме 4В [5]. В прошлых исследованиях описаны изменения адаптационных свойств линий S29 как с дополнительными доминантными генами опушения, так и без опушения [6, 7]. В данной работе продолжены исследования механизмов засухоустойчивости пшеницы, связанных с замещением хромосом 4В и 4D сорта S29 на хромосому 4Th пырея (*Thinopyrum ponticum* (Podp.)). Первоначально данные замещённые линии создавались как доноры синей окраски зерна для повышения питательных свойств пшеницы [8], однако у них обнаружены контрастное изменение опушения листа в сравнении с реципиентом [9], а также видимые изменения количественных показателей урожайности, что послужило причиной их привлечения в данную работу.

Материалы и методы

В исследовании участвовали растения мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L) ярового сорта Саратовская 29 и двух линий с замещением пары хромосом 4В и 4D на пару хромосом 4Th пырея *Thinopyrum ponticum* (Podp.) Barkworth & D.R. Dewey. Хромосома 4Th пырея, перенесённая в геном мягкой пшеницы, содержит гомеоаллельный ген опушения *H11th* с несколькими эффектами – он формирует единичные трихомы длиной 300–700 мкм и более [10]. Соответственно, у замещённой линии S29_4Th(4В) плотный

слой коротких трихом S29 заменён на редкие длинные, а у замещённой линии S29_4Th(4D) отдельные длинные трихомы формируются помимо большого числа коротких [10].

Для оценки засухоустойчивости изучались компоненты урожайности, а также параметры фотосинтеза растений, выращенных в контрастных условиях увлажнения. Среди параметров урожайности – число продуктивных побегов, число зёрен, масса зерна и масса 1 000 зёрен для главного колоса, вторичных колосьев и всего с растения. Среди параметров фотосинтеза – скорость транспирации (E , ммоль/(м²с)), устьичная проводимость (g_s , ммоль/(м²с)), скорость ассимиляции CO₂ (A , мкмоль/(м²с)), эффективность использования воды (A/E). Для изучения параметров урожайности растения выращивались в гидропонной теплице Центра коллективного пользования репродукции растений ИЦиГ СО РАН по ранее описанной методике [6]. Вариант с оптимальным режимом питания – подача раствора трижды в сутки, остаточная влажность субстрата 30–35% перед очередной подачей. В варианте с засухой режим питания изменялся с периода кущения, подача раствора ограничивалась до 1–2 раз в неделю по мере снижения влажности субстрата до 20–15%. Всего выращивалось по две повторности на поливе и засухе, по 10 растений каждого генотипа. Параметры фотосинтеза изучались в климатической камере Plant Master, установленной на фитотроне СИФИБР СО РАН согласно методике [6]. Каждый генотип выращивался на двух режимах водообеспечения – оптимальном и вододефицитном. Оптимальный режим соответствует 60%-ному содержанию воды от полной влагоемкости почвы, вододефицитный – 30%-ному содержанию воды от полной влагоемкости. В оценке достоверности различий параметров использован t -критерий Стьюдента.

Результаты исследования и обсуждение

Замещение хромосом 4В и 4D у S29 на хромосому 4Th пырея значительно повлияло на фенотип листа растений. Замещённые линии унаследовали от пырея редкие длинные трихомы на листьях (более 400 мкм), а также они сильнее кустились и имели озернённость выше, чем реципиент (табл. 1). Тенденция к кущению у обеих замещённых линий превышала S29 в условиях полива и засухи, при этом на кущение сильнее влияла замена 4В / 4Th, где различия достоверны. На общем числе зёрен, озернённости главного и вторичных колосьев лучше сказалась замена 4D на 4Th, причём на поливе и на засухе. При этом общая масса зерна с растения оказалась выше у линии S29_4Th(4D) только на поливе, а засуха нивелировала весь эффект на массу зерна от замещения хромосомы 4D. Исходный сорт менее подвержен снижению массы 1000 зёрен в засушливых условиях, тогда как обе линии значительно снизили крупность зерна на засухе. В данном плане можно сделать вывод, что замещение хромосом 4В и 4D хромосомой 4Th пырея способствует повышению урожайного потенциала, но только в благоприятных условиях.

Другим аспектом работы стало изучение изменения процессов фотосинтеза и транспирации. Как видно из табл. 2, условия выращивания достоверно влияют на скорость транспирации, ассимиляции углекислого газа и

устычную проводимость сорта S29. За счёт более резкого снижения на засухе ассимиляции в сравнении с транспирацией падает и эффективность использования воды. Замещённая линия S29_4Th(4B) на засухе достоверно сильнее снизила устьчную проводимость, она в большей степени снижала транспирацию, чем поглощение CO₂, поэтому у этой линии с редкими длинными редкими трихомами на засухе достоверно выросла эффективность использования воды в сравнении с реципиентом.

Таблица 1 [Table 1]

Структурный анализ урожайности замещённых линий в сравнении с реципиентом на поливе и засухе
[The structure analysis of substitution lines compared to recipient]

Генотипы [Genotypes]	Растение в общем [Parameters per plant]				Главный колос [Main ear]			Вторичные колосья [Secondary ears]	
	Число побегов [Number of tillers]	Число зёрен [Grain number]	Масса зерна, г [Grain weight, g]	Масса 1 000 зёрен, г [Weight of 1000 grains, g]	Число зёрен [Grain number]	Масса зерна, г [Grain weight, g]	Масса 1 000 зёрен, г [Weight of 1000 grains, g]	Число зёрен [Grain number]	Масса зерна, г [Grain weight, g]
Полив [Irrigation]									
S29	3,7 ± 1,1	90,4 ± 33,7	2,89 ± 1,22	31,8 ± 5,6	29,0 ± 4,5	1,04 ± 0,23	35,6 ± 5,9	61,4 ± 32,0	1,86 ± 1,07
S29_4Th (4B)	5,0 ± 1,5*	94,5 ± 35,3	2,86 ± 0,86	31,65 ± 8,5	27,4 ± 9,9	0,8 ± 0,29*	30,0 ± 5,8*	67,1 ± 31,8	2,06 ± 0,82
S29_4Th (4D)	4,2 ± 1,3	110,7 ± 36,6	3,59 ± 1,12	32,7 ± 2,3	36,4 ± 5,0***	1,27 ± 0,15**	35,1 ± 3,1	74,4 ± 35,0	2,32 ± 1,05
Засуха [Drought]									
S29	2,8 ± 0,7	70,1 ± 16,6	2,13 ± 0,68	30,0 ± 4,9	29,4 ± 4,3	0,92 ± 0,21	31,2 ± 5,3	40,8 ± 16,4	1,21 ± 0,60
S29_4Th (4B)	3,8 ± 1,4*	83,8 ± 36,1	1,98 ± 0,90	23,9 ± 5,7	28,5 ± 12,4	0,74 ± 0,35	26,0 ± 7,4*	55,3 ± 29,5	1,24 ± 0,69
S29_4Th (4D)	3,4 ± 1,2	88,3 ± 23,7*	2,14 ± 0,50	24,6 ± 3,3**	33,6 ± 5,6*	0,87 ± 0,13	26,3 ± 3,2**	54,8 ± 24,6	1,26 ± 0,54

Примечание. Различия параметров между контролем и засухой (+ - $p < 0,05$; ++ - $p < 0,01$; +++ - $p < 0,001$); различия параметров между сортом Саратовская 29 и линиями, созданными на ее генетической основе. * - $p < 0,05$; ** - $p < 0,01$; *** - $p < 0,001$.

[Note. Reliability of parameter differences between irrigation and drought (+ - $p < 0.05$; ++ - $p < 0.01$; +++ - $p < 0.001$). Reliability of parameter differences between the substitution lines and the recipient * - $p < 0.05$; ** - $p < 0.01$; *** - $p < 0.001$].

В условиях засухи растения с этим генотипом индивидуально сформировали несколько меньшую массу зерна в сравнении с S29, хотя количественно зёрен было больше (см. табл. 1). Но более экономный расход влаги почвы и повышенная эффективность использования воды (табл. 2) в полевых условиях теоретически могли бы положительно сказаться на продуктивности популяции растений. Иначе реагировала на засуху линия S29_4Th(4D) с комбинированным опушением. У неё уровень ассимиляции CO₂ оставался стабильным на поливе и засухе.

Таблица 2 [Table 2]

Параметры фотосинтеза замещённых линий в сравнении с реципиентом на поливе и засухе
 [The photosynthesis parameters of substitution lines compared to recipient]

Генотипы [Genotypes]	Скорость транспирации [Transpiration rate (E)] mmol/(m ² s)		Устьичная проводимость [Stomatal conductivity (gs)] mmol/(m ² s)		Скорость ассимиляции CO ₂ [CO ₂ assimilation rate (A)] μmol/(m ² s)		Эффективность использования воды [Water use efficiency (A/E)]	
	Полив [Irrigation]	Засуха [Drought]	Полив [Irrigation]	Засуха [Drought]	Полив [Irrigation]	Засуха [Drought]	Полив [Irrigation]	Засуха [Drought]
S29	1,61 ± 0,29 ++	1,30 ± 0,23	125,5 ± 25,5 +++	96,1 ± 18,8	3,74 ± 0,49 +++	2,63 ± 0,59	2,38 ± 0,42 + *	2,06 ± 0,45
S29_4Th (4B)	1,59 ± 0,18 +++	1,12 ± 0,20 *	120,3 ± 15,0 +++	82,5 ± 15,9 *	3,54 ± 0,53 +++	2,74 ± 0,43	2,26 ± 0,39	2,48 ± 0,38 **
S29_4Th (4D)	1,37 ± 0,22 +++**	1,88 ± 0,23 ***	105,1 ± 19,1 +++*	146,6 ± 19,6 ***	3,3 ± 0,3 ***	3,17 ± 0,33 ***	2,45 ± 0,54 +++	1,71 ± 0,23 **

Примечание. См. примечание табл. 1.
 [Note. See notes in Table 1].

При этом в условиях оптимального полива испарение воды и устьичная проводимость оказались существенно снижены в сравнении с S29, а на засухе эти параметры, напротив, были достоверно выше. В условиях засухи это достоверно снижало эффективность использования воды в сравнении с реципиентом на четверть. Как видно из табл. 1, такая тактика даёт растениям преимущество в условиях достаточного увлажнения, позволяя производить больше полновесного зерна.

Заключение

Проведённые исследования показывают, что замещение хромосом 4B на 4Th у Саратовской 29, заменяющее густое короткое опушение редкими длинными трихомами, хотя и увеличивает эффективность использования воды, но в целом ведёт к снижению скорости фотосинтеза и урожайности на засухе. Замещение же хромосом 4D на 4Th, дополняющее опушение реципиента единичными длинными трихомами, благоприятно сказывается на урожайности в условиях оптимальной влажности почвы, но не позволяет реализовать урожайный потенциал в условиях засухи из-за менее эффективного использования воды.

Список источников

1. Kaur J., Kariyat R. Role of trichomes in plant stress biology // Evolutionary Ecology of Plant-Herbivore Interaction. 2020. PP. 15–35. doi: 10.1007/978-3-030-46012-9_2
2. Намаока Н., Ясуи Х., Ямагата Я., Иноуэ Я., Фуруйа Н., Араки Т., Уэно О., Йошимура А. A hairy-leaf gene, BLANKET LEAF, of wild *Oryza nivara* increases photosynthetic water use efficiency in rice // Rice. 2017. Vol. 10, № 1. PP. 1–11. doi: 10.1186/s12284-017-0158-1

- Schreuder M.D.J., Brewer C.A., Heine C. Modelled Influences of Non-exchanging Trichomes on Leaf Boundary Layers and Gas Exchange // *Journal of Theoretical Biology*. 2001. Vol. 210, № 1. PP. 23–32. doi: 10.1006/jtbi.2001.2285
- Pshenichnikova T.A., Doroshkov A.V., Simonov A.V., Afonnikov D.A., Börner A. Diversity of leaf pubescence in bread wheat and relative species // *Genetic Resources and Crop Evolution*. 2017. Vol. 64, № 7. PP. 1761–1773. doi: 10.1007/s10722-016-0471-3
- Dobrovolskaya O.B., Pshenichnikova T.A., Arbuzova V.S., Lohwasser U., Röder M.S., Börner A. Molecular mapping of genes determining hairy leaf character in common wheat with respect to other species of the *Triticeae* // *Euphytica*. 2007. Vol. 155. PP. 285–293. doi: 10.1007/s10681-006-9329-7
- Осипова С.В., Рудиковский А.В., Пермяков А.В., Рудиковская Е.Г., Пермякова М.Д., Верхогуров В.В., Пшеничникова Т.А. Физиологические реакции линий пшеницы (*Triticum aestivum* L.) с генетически различным опушением листа на водный дефицит // *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2020. Вып. 24, № 8. С. 813–820. doi: 10.18699/VJ20.678
- Pshenichnikova T.A., Doroshkov A.V., Osipova S.V., Permyakov A.V., Permyakova M.D., Efimov V.M., Afonnikov D.A. Quantitative characteristics of pubescence in wheat (*Triticum aestivum* L.) are associated with the parameters of gas exchange and chlorophyll fluorescence under conditions of normal and limited water supply // *Planta*. 2019. Vol. 249, № 3. PP. 839–847. doi: 10.1007/s00425-018-3049-9
- Osipova S.V., Permyakov A.V., Permyakova M.D., Pshenichnikova T.A., Genaev M.A., Börner A. The antioxidant enzymes activity in leaves of inter – varietal substitution lines of wheat (*Triticum aestivum* L.) with different tolerance to soil water deficit // *Acta Physiologiae Plantarum*. 2013. Vol. 5, № 8. PP. 2455–2465. doi: 10.1007/s11738-013-1280-3
- Gordeeva E., Badaeva E., Yudina R., Shchukina L., Shoeva O. and Khlestkina E. Marker-assisted development of a blue-grained substitution line carrying the *Thinopyrum ponticum* chromosome 4Th(4D) in the spring bread wheat Saratovskaya 29 background // *Agronomy*. 2019. Vol. 9 (11). 723. doi: 10.3390/agronomy9110723.
- Симонов А.В., Гордеева Е.И., Генаев М.А., Ли Вэньцзянь, Булатов И.О., Пшеничникова Т.А. Новый ген опушения листа *Hllth*, интрогрессированный в мягкую пшеницу от *Thinopyrum ponticum*, и его фенотипическое проявление при гомеологичных хромосомных замещениях // *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2024. Вып. 28, № 6. С. 602–609. doi: 10.18699/vjgb-24-67

References

- Kaur J, Kariyat R. Role of trichomes in plant stress biology. *Evolutionary Ecology of Plant-Herbivore Interaction*. 2020;15-35. doi: 10.1007/978-3-030-46012-9_2
- Hamaoka N, Yasui H, Yamagata Y, Inoue Y, Furuya N, Araki T, Ueno O, Yoshimura A. A hairy-leaf gene, BLANKET LEAF, of wild *Oryza nivara* increases photosynthetic water use efficiency in rice. *Rice*. 2017;10(1):1-11. doi: 10.1186/s12284-017-0158-1
- Schreuder MDJ, Brewer CA, Heine C. Modelled Influences of Non-exchanging Trichomes on Leaf Boundary Layers and Gas Exchange. *Journal of Theoretical Biology*. 2001;210(1):23-32. doi: 10.1006/jtbi.2001.2285
- Pshenichnikova TA, Doroshkov AV, Simonov AV, Afonnikov DA, Börner A. Diversity of leaf pubescence in bread wheat and relative species. *Genetic Resources and Crop Evolution*. 2017;64(7):1761-1773. doi: 10.1007/s10722-016-0471-3
- Dobrovolskaya OB, Pshenichnikova TA, Arbuzova VS, Lohwasser U, Röder MS, Börner A. Molecular mapping of genes determining hairy leaf character in common wheat with respect to other species of the *Triticeae*. *Euphytica*. 2007;155:285-293. doi: 10.1007/s10681-006-9329-7
- Osipova SV, Rudikovskiy AV, Permyakov AV, Rudikovskaya EG, Permyakova MD, Verkhoturorov VV, Pshenichnikova TA. Physiological responses of wheat (*Triticum*

- aestivum* L.) lines with genetically different leaf pubescence to water deficiency. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2020;24(8):813-820. doi: 10.18699/VJ20.678.
7. Pshenichnikova TA, Doroshkov AV, Osipova SV, Permyakov AV, Permyakova MD, Efimov VM, Afonnikov DA. Quantitative characteristics of pubescence in wheat (*Triticum aestivum* L.) are associated with the parameters of gas exchange and chlorophyll fluorescence under conditions of normal and limited water supply. *Planta*. 2019;249(3):839-847. doi: 10.1007/s00425-018-3049-9
 8. Osipova SV, Permyakov AV, Permyakova MD, Pshenichnikova TA, Genaev MA., Börner A. The antioxidant enzymes activity in leaves of inter – varietal substitution lines of wheat (*Triticum aestivum* L.) with different tolerance to soil water deficit. *Acta Physiologiae Plantarum*. 2013;5(8):2455-2465. doi: 10.1007/s11738-013-1280-3
 9. Gordeeva E, Badaeva E, Yudina R, Shchukina L, Shoeva O, Khlestkina E. Marker-assisted development of a blue-grained substitution line carrying the *Thinopyrum ponticum* chromosome 4Th(4D) in the spring bread wheat Saratovskaya 29 background. *Agronomy*. 2019;9(11):723. doi: 10.3390/agronomy9110723
 10. Simonov AV, Gordeeva EI, Genaev MA, Li Wenjian, Bulatov IO, Pshenichnikova TA. A new gene *H1th* for leaf pubescence introgressed into bread wheat from *Thinopyrum ponticum* and its phenotypic manifestation under homoeologous chromosomal substitutions. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2024;28(6):602-609. doi: 10.18699/vjgb-24-67

Информация об авторах:

Симонов Александр Владимирович, канд. биол. наук, н.с. Сектора генетики качества зерна ИЦиГ СО РАН (Новосибирск, Россия).

E-mail: sialexander@bionet.nsc.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6708-3822>

Гордеева Елена Ивановна, канд. биол. наук, н.с. Сектора функциональной генетики злаков ИЦиГ СО РАН (Новосибирск, Россия).

E-mail: elgordeeva@bionet.nsc.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3166-7409>

Осипова Светлана Владимировна, д-р биол. наук, СИФИБР СО РАН (Иркутск, Россия).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7025-8590>

E-mail: svetlanaosipova2@mail.ru

Васенина Елея Юрьевна, лаборант-исследователь Сектора генетики качества зерна ИЦиГ СО РАН (Новосибирск, Россия).

Ли Вэньцзянь, аспирант Новосибирского государственного университета (Новосибирск, Россия).

ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-4744-5002>

E-mail: liw562530@gmail.com

Пшеничникова Татьяна Алексеевна, доцент, канд. биол. наук, с.н.с., зав. сектором генетики качества зерна Института цитологии и генетики СО РАН (Новосибирск, Россия).

E-mail: wheatpsh@bionet.nsc.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5639-916X>

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about the authors:

Alexander V. Simonov, Cand. Sci. (Biol.), Researcher at the Sector of quality, in the Institute of Cytology and Genetics SB RAS (Novosibirsk, Russia).

E-mail: sialexander@bionet.nsc.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6708-3822>

Elena I. Gordeeva, Cand. Sci. (Biol.), Researcher at the Sector of Functional Genetics of Cereals, in the Institute of Cytology and Genetics SB RAS (Novosibirsk, Russia).

E-mail: elgordeeva@bionet.nsc.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3166-7409>

Svetlana V. Osipova, Dr. Sci. (Biol.), leading researcher at the Laboratory of Physiological and Biochemical Adaptation of Plants, Institute SIPPB SB RAS (Irkutsk, Russia).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7025-8590>

E-mail: svetlanaosipova2@mail.ru

Leleya Yu. Vasenina, laboratory researcher of the sector of Genetics of Grain Quality in the Institute of Cytology and Genetics SB RAS

Wenjian Li, PhD student at Novosibirsk State University (Novosibirsk, Russia).

ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-4744-5002>

E-mail: liw562530@gmail.com

Tatyana A. Pshenichnikova, Cand. Sci. (Biol.), Head of the sector of Genetics of Grain Quality in the Institute of Cytology and Genetics SB RAS (Novosibirsk, Russia).

E-mail: wheatpsh@bionet.nsc.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5639-916X>

The Authors declare no conflict of interest.

*Статья поступила в редакцию 25.08.2024;
одобрена после рецензирования 20.11.2024; принята к публикации 03.03.2025.*

*The article was submitted 25.08.2024;
approved after reviewing 20.11.2024; accepted for publication 03.03.2025.*