

Влияние интрогрессированных в геном мягкой пшеницы генов опушения листа на параметры фотосинтеза и устойчивость к засухе

Симонов А.В.^{1*}, к.б.н., н.с.; Гордеева Е.И.¹, к.б.н., н.с.; Булатов И.О.², студент; Ли Вэньцзянь³, студент; Пшеничникова Т.А.¹, к.б.н., зав. сектором.

¹Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики
СО РАН, Новосибирск, Россия

²НГАУ, Новосибирск, Россия

³НГУ, Новосибирск, Россия

*email: sialexander@bionet.nsc.ru

Интрогрессии в геном мягкой пшеницы генетического материала от *Thinopyrum ponticum* и *Triticum timopheevii*, включающие гены опушения листа, оказывают различное влияние на адаптацию растений к засухе. Замещённые линии, несущие хромосому пырея 4Th, испаряют меньше влаги, но также снижают скорость ассимиляции углекислого газа. При оптимальном увлажнении замещение хромосомы 4D на 4Th положительно сказывается на количестве и весе зерна с растения. Интрогрессии от *Triticum timopheevii* в хромосомы 4B и 5A, также изменяющие густоту и длину опушения листа, увеличивают скорость поглощения CO₂ и испарения влаги, что снижает урожайный потенциал в условиях дефицита воды.

Ключевые слова: трихомы, фотосинтез, засуха.

The effect of leaf pubescence genes introgressed into the genome of common wheat on photosynthesis parameters and drought resistance

Simonov A.V. *, Gordeeva E.I., Bulatov I.O., Li Wenjian, Pshenichnikova T.A.

Institute of Cytology and Genetics, SB RAS, Novosibirsk, Russia

*email: sialexander@bionet.nsc.ru

Introgressions into the genome of common wheat of genetic material from *Thinopyrum ponticum* and *Triticum timopheevii*, including leaf pubescence genes, have different effects on plant adaptation to drought. The substitution lines carrying the *Th. ponticum* chromosome 4Th evaporate less moisture, but also reduce the rate of carbon dioxide assimilation. With optimal water supply, the replacement of the 4D chromosome by the 4Th has a positive effect on the amount and weight of grain from the plant. Introgressions from *T. timopheevii* into chromosomes 4B and 5A, which also change the density and length of leaf pubescence, increase the rate of CO₂ absorption and moisture evaporation, which reduces the yield potential in conditions of water scarcity.

Key words: trichomes, photosynthesis, drought.

В ходе эволюции растения выработали различные механизмы адаптации к изменяющимся условиям среды и воздействию неблагоприятных факторов, в том числе к засухе. Одним из адаптационных механизмов является опушение листьев

[1–3]. У пшеницы и родственных злаков опушение представлено одноклеточными эпидермальными выростами – трихомами, которые могут иметь разную длину и распространяться по поверхности с разной плотностью. Они рассеивают солнечные лучи, снижая нагрузку на фотосинтетический аппарат, защищают поверхность от механических повреждений пыльными ветрами и насекомыми, а также изменяют поверхностные воздушные течения. Ламинарные течения воздуха рядом с препятствиями в приграничном слое сменяются на турбулентные, что влияет на газообмен, то есть на транспирацию и поглощение углекислого газа [4]. У пшеницы и родственных злаков известно несколько генов, по-разному влияющих на опушение листа. Ген *H11* распространён у сортов российской селекции [5], он расположен в хромосоме 4В [6, 7], формирует густые волоски длиной, обычно не превышающей 300 мкм. Ген *H12* был впервые выявлен у китайских образцов [8], он расположен в хромосоме 7В и формирует единичные волоски 400–700 мкм и более. Ген *H11th* с фенотипическим проявлением подобно *H12* был перенесён в геном мягкой пшеницы вместе с хромосомой 4Th от пырея (*Thinopyrum ponticum* (Host.)) [9]. У пшеницы Тимофеева (*Triticum timopheevii* (Zhuk.)) известен ген *H1^u*, перенесённый в хромосому 5А мягкой пшеницы, формирующий такое же длинное редкое опушение листьев [10].

Целью работы было сравнить параметры газообмена у линий мягкой пшеницы с разными параметрами опушения листьев и адаптивное значение их для условий засухи. В работе использованы линии с интрогрессиями на основе сорта Саратовская 29 (далее С29). Две линии с замещением хромосом 4В или 4D на 4Th пырея, отличающиеся параметрами опушения от реципиентного сорта. С29 имеет густое опушение листьев (рис. 1а) благодаря основному гену *H11* и гену *H13* со слабым эффектом (не локализован).

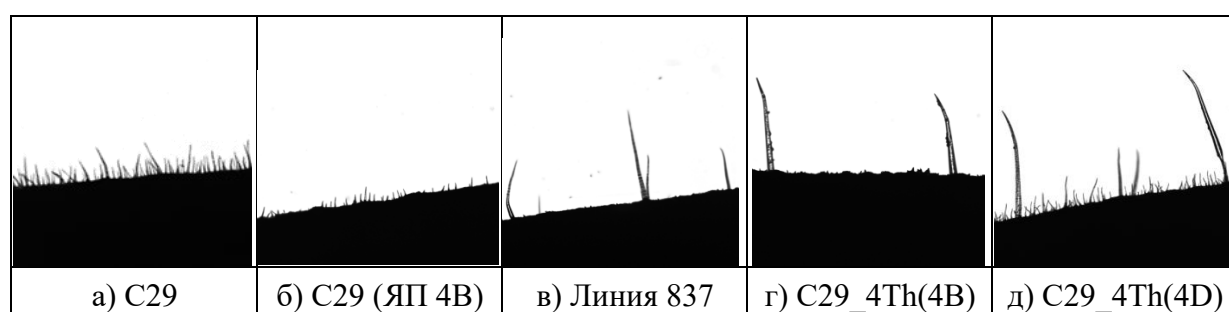


Рис. 1. Микрофотографии сгиба листа изучаемых генотипов

Межсортовое замещение хромосомы 4В от неопушённого родителя, например, сорта Янецкис Пробат, оставляет только разреженные трихомы нижнего яруса (рис. 1б). Замещённая линия С29_4Th(4В) имеет единичные длинные трихомы вместо типичного для С29 плотного слоя трихом (рис. 1г). У замещённой линии С29_4Th(4D) ген *H11th* формирует трихомы верхнего яруса на фоне трихом гена *H11* реципиента (рис. 1д), снижая количество последних. У линии 837 выявлены

интрогрессии от *T.timopheevii* в хромосомы 2A, 2B, 4В и 5А. Здесь замещение хромосомы 4В приводит к удалению густых трихом реципиента, но ген *Hlth* в хромосоме 5А формирует единичные длинные, таким образом фенотипически опушение линии 837 похоже на C29_4Th(4B). Наглядное сравнение параметров опушения линий с интрогрессиями и реципиента приведено на рисунке 2.

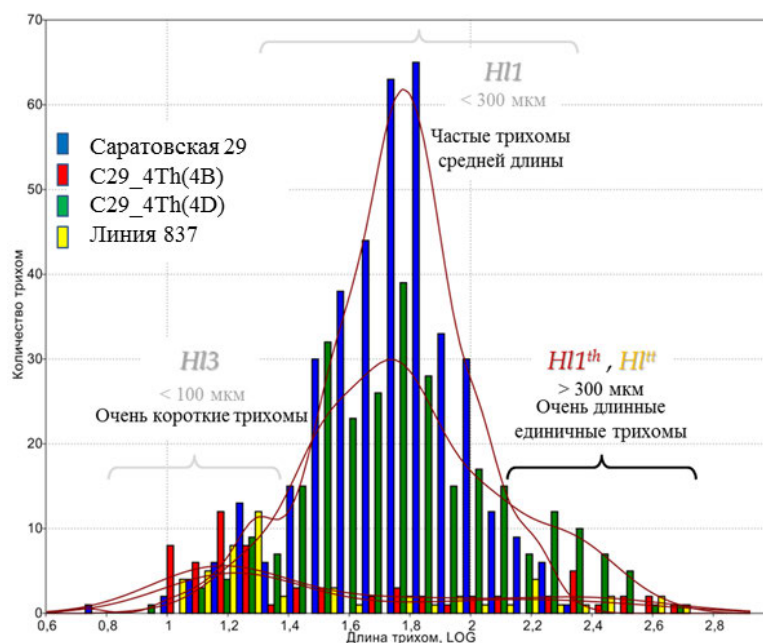


Рис. 2. Распределение трихом по длинам (логарифмированы) на сгибах листа у линий пшеницы

У выбранных линий были получены полевые данные параметров фотосинтеза, показывающие тенденции изменения эффективности газообмена (табл. 1). Так, линия 837 с интрогрессиями от *T. timopheevii* в сравнении с C29 увеличивает скорость ассимиляции углекислого газа на 3,6 %, но скорость транспирации увеличивается значительно больше, на 12,5 %, что отрицательно сказывается на эффективности использования воды.

Таблица 1 – Анализ параметров фотосинтеза генотипов с контрастным опушением листа в полевых условиях

Генотипы	Скорость ассимиляции CO ₂ (A) ммоль м ⁻² с ⁻¹			Скорость транспирации (E) ммоль м ⁻² с ⁻¹			Эффективность использования воды (A/E)		
	сред	±	Δ %	сред	±	Δ %	сред	±	Δ %
C29	35,8	4,1		17,6	4,6		2,2	0,6	
Линия 837	37,1	6,6	+3,6	19,8	2,8	+12,5	1,9	0,4	-13,6
C29 4Th/4B	29,4	6,3	-17,9	15,1	2,5	-14,2	1,9	0,3	-13,6
C29 4Th/4D	26,7	4,3	-25,4	15,0	4,0	-14,8	1,9	0,4	-13,6

Замещённые линии с хромосомой 4Th пырея значительно снижают скорость поглощения углекислого газа, однако и скорость транспирации падает. При этом

эффективность использования воды у всех линий оказалась сопоставимой и примерно на 13,6 % ниже, чем у С29.

Для определения адаптивных свойств набор линий выращивался в контрастных условиях влагообеспечения. Данные по урожайности растений при выращивании в теплице с оптимальным увлажнением и на засухе приведены в таблице 2. Все линии демонстрируют большую склонность к кущению, чем С29, как на поливе, так и на засухе.

Таблица 2 – Анализ урожайности генотипов с контрастным опушением листа в условиях оптимального увлажнения и засухи

Генотипы	Число продуктивных побегов			Количество зёрен с растения			Вес зерна с растения			Масса 1000 зёрен		
	сред	±	*	сред	±	*	сред	±	*	сред	±	*
Полив												
С29	3,7	1,1		90,4	33,7		2,9	1,2		31,8	5,6	
Линия 837	4,7	1,2		73,4	29,8		2,5	1,3		32,9	6,2	
С29 4Th/4В	5,0	1,5	**	94,5	35,3		2,9	0,9		31,7	8,5	
С29 4Th/4D	4,2	1,3		110,7	36,6		3,6	1,1		32,7	2,3	
Засуха												
С29	2,8	0,7		70,1	16,6		2,1	0,7		30,0	4,9	
Линия 837	3,5	1,4		46,1	22,4	***	1,4	0,7	**	30,1	3,0	
С29 4Th/4В	3,8	1,4	**	83,8	36,1		2,0	0,9		23,9	5,7	***
С29 4Th/4D	3,4	1,2		88,3	23,7	**	2,1	0,5		24,6	3,3	***

Линия 837 снижает общую урожайность как по количеству зёрен с растения, так и по их массе, при этом крупность зерна незначительно увеличивается. Обе линии с геном *H11th* завязывают больше зёрен, чем С29, причём С29_4Th(4D) – достоверно больше на засухе. При этом вес зерна с растения на засухе у неё не снижается, а на поливе увеличивается на четверть. Засуха отрицательно сказывается на массе 1000 зёрен обеих линий с генетическим материалом пырея, тогда как линия 837 и С29 сохраняют крупность зерна на засухе.

Финансирование: Исследование выполнено при финансовой поддержке РНФ в рамках научного проекта № 23-24-10029 и соглашения с администрацией НСО № Р-63.

Список литературы

- 1 Kaur J., Kariyat R. Role of trichomes in plant stress biology // Evolutionary Ecology of Plant-Herbivore Interaction 2020. P. 15–35.
- 2 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 photosynthetic parameters under conditions of normal and limited water supply // Planta. 2019. V 249(3). P. 839–847. DOI 10.1007/s00425-018-3049-9.
- 3 Осипова С. В., Рудиковский А. В., Пермяков А. В., Рудиковская Е. Г., Пермякова М. Д., Верхотуров 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. Т 24. № 8. С. 813–820.
- 4 Schreuder M.D. J., Brewer C.A., Heine C. Modelled Influences of Non-exchanging Trichomes on Leaf Boundary Layers and Gas Exchange // J. theor. Biol. 2001. V. 210. P. 23–32. doi:10.1006/jtbi.2001.2285
- 5 Генаев М.А., Дорошков А.В., Морозова Е.В., Пшеничникова Т.А., Афонников Д.А. Компьютерная система WheatPGE для анализа взаимосвязи фенотип–генотип–окружающая среда у пшеницы // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2011. Т. 15. № 4. С. 784–793.
- 6 Майстренко О.И. Идентификация и локализация генов опушения листа у молодых растений мягкой пшеницы // Генетика. 1976. Т. 12. № 1. С. 5–15.
- 7 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. V. 155. P. 285–293. DOI 10.1007/s10681-006-9329-7
- 8 Taketa S, Chang CL, Ishii M, Takeda K Chromosome arm location of the gene controlling leaf pubescence of a Chinese local wheat cultivar Hong-mang-mai // Euphytica. 2002. V. 125. № 2. P. 141–147. DOI 10.1023/A:1015812907111
- 9 Gordeeva E., Shoeva O., Mursalimov S., Adonina I. and Khlestkina E. Fine points of marker-assisted pyramiding of anthocyanin biosynthesis regulatory genes for the creation of black-grained bread wheat (*Triticum aestivum* L.) lines // Agronomy. 2022. V 12 (2934). DOI 10.3390/agronomy12122934.
- 10 Simonov A.V., Smirnova O.G., Genaev M.A., Pshenichnikova T.A. The identification of a new gene for leaf pubescence introgressed into bread wheat from *Triticum timopheevii* Zhuk. and its manifestation in a different genotypic background // Plant Genetic Resources: Characterization and Utilization. 2021. V. 19 № 3. P. 1–7. DOI 10.1017/S1479262121000277.

DOI 10.18699/GPB2024-81

Изучение генетических основ устойчивости к фитопатогенным микроорганизмам и толерантности к абиотическим факторам сортов и линий мягкой пшеницы

Сколотнева Е.С.^{*1}, к.б.н., с.н.с.; Разуваева А.В.¹, м.н.с.; Бойко Н.И.¹, к.с.-х.н., м.н.с.; Лепехов С.Б.², к.с.-х.н., в.н.с.; Воронцова Е.В.², м.н.с.

¹Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики СО РАН, Новосибирск, Россия

²Федеральный Алтайский научный центр агробиотехнологий, Барнаул, Россия

*email: sk-ska@yandex.ru

Проведена оценка сортов и линий мягкой пшеницы, различающихся по устойчивости к различным фитопатогенам и насекомым-вредителям с использованием методов фитопатологического тестирования и молекулярно-генетического анализа, с целью поиска генотипов, совмещающих устойчивость к стеблевой ржавчине, септориозу и стеблевому пилильщику.

Ключевые слова: мягкая яровая пшеница, стеблевая ржавчина, септориоз, устойчивость к стеблевому пилильщику, молекулярные маркеры.