

Научная статья
УДК 630*165.3
doi: 10.17223/19988591/69/17

Селекционный эффект интрогрессии в хромосому 5D мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) от вида *Aegilops tauschii* Coss.

Татьяна Алексеевна Пшеничникова¹, Ольга Григорьевна Смирнова²

^{1,2} Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики
Сибирского отделения Российской академии наук, Новосибирск, Россия

¹ <https://orcid.org/0000-0001-5639-916X>, wheatpsh@bionet.nsc.ru

² <https://orcid.org/0000-0002-3023-767X>, planta@bionet.nsc.ru

Аннотация. В данном исследовании изучены эффекты переноса (интрогрессии) в яровую мягкую пшеницу фрагмента хромосомы 5D от вида злаковых *Aegilops tauschii* Coss., связанного с размером корневой системы. Интрогрессия приводит к значительному увеличению длины и массы корней. Данный ценный агрономический признак был перенесён в яровой сорт Саратовская 29 (С29), имеющий маленькую и слабую корневую систему. Перенос осуществлён с помощью скрещивания и отбора на целевой признак. Результат отбора оказался успешным, полученные линии отличаются большой корневой системой и могут быть донорами большого размера корней в селекции. Интрогрессия одновременно оказала положительный эффект на содержание клейковины в зерне и продуктивность растений пшеницы.

Ключевые слова: интрогрессия, корневая система, мягкая пшеница, продуктивность, содержание клейковины

Источник финансирования: работа выполнена при поддержке гранта РФ № 23-26-10046 совместно с администрацией Новосибирской области (соглашение р-59).

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

Для цитирования: Пшеничникова Т.А., Смирнова О.Г. Селекционный эффект интрогрессии в хромосому 5D мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) от вида *Aegilops tauschii* Coss. // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2025. № 69. С. 147–152. doi: 10.17223/19988591/69/17

Original article
doi: 10.17223/19988591/69/17

Breeding effect of introgression into chromosome 5D of common wheat (*Triticum aestivum* L.) from the species *Aegilops tauschii* Coss.

Tatyana A. Pshenichnikova¹, Olga G. Smirnova²

^{1,2} Institute of Cytology and Genetics SB RAS, Novosibirsk, Russia

¹ <https://orcid.org/0000-0001-5639-916X>, wheatpsh@bionet.nsc.ru

² <https://orcid.org/0000-0002-3023-767X>, planta@bionet.nsc.ru

Summary. Roots are an integral part of the plant organism. This is the main organ that records the soil water status and transmits signals to the shoot. The architecture of the root system determines strong rooting of the plant and effective absorption of nutrients and water from the soil. In wheat (*Triticum aestivum* L., genomic formula AABBDD), the genes that determine the parameters of the root system are still unknown. It was shown that synthetic wheats obtained using the species *Aegilops tauschii* Coss. have a large root system. The single chromosome substitution line of Chinese Spring (CS) variety, carrying 5D chromosome from a synthetic wheat has a large root system. On its basis, recombinant (introgressed) lines were obtained that carry fragments of chromosome 5D of *Ae. tauschii* and have a large length and weight of roots (see Fig. 1 and Table 1). The breeding goal of our studies was to transfer this valuable trait to the spring variety Saratovskaya 29 (S29) with a small root system. In the course of successive selections from hybrids between S29 and IL 5D-5 line, early maturing families with a large root system were obtained. Their average root length was 1.4 times higher than that of S29, and their weight was more than three times greater (see Table 2). At the same time, the lines showed a grain weight per plant two to five times greater than that of S29 while maintaining the thousand-grain weight at the level of the parent variety. Most of the lines inherited a high protein and gluten content in grain. The presence of such a gene in this region of introgression in chromosome 5D was predicted earlier. One of the lines, along with a powerful root system and high gluten content, demonstrated excellent physical properties of flour and dough and may be classified as a strong wheat.

The article contains 1 Figure, 2 Tables, 6 References.

Keywords: introgression, root system, common wheat, productivity, gluten content

Fundings: This work was partially supported by Russian Scientific Foundation (Grant No 23-26-10046) and Agreement with Novosibirsk Region p-59).

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

For citation: Pshenichnikova TA, Smirnova OG. Breeding effect of introgression into chromosome 5D of common wheat (*Triticum aestivum* L.) from the species *Aegilops tauschii* Coss. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya = Tomsk State University Journal of Biology*. 2025;69:147-152. doi: 10.17223/19988591/69/17

Введение

Корни – важнейшая часть растительного организма. Это основной орган, фиксирующий состояние водного режима почвы и передающий сигналы побегу. Архитектура корневой системы определяет прочное укоренение растений и эффективное поглощение питательных веществ и воды из почвы [1]. У мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L., геномная формула AABBDD, $2n = 42$, $6x = 7$), второй по значимости сельскохозяйственной культуры в мире, генетический контроль этого признака ограничен идентификацией в ряде хромосом пшеницы локусов количественных признаков (QTL), связанных с различными параметрами корневой системы [2]. Синтетические пшеницы с аналогичным гексаплоидным геномом, где донором генома D являются различные образцы вида *Aegilops tauschii* Coss, считаются важным источником улучшения мягкой пшеницы. Было отмечено, что такие синтетики имеют большую корневую систему [3]. Ранее мы обнаружили, что локус

Vrn-1, контролирующей яровой или озимый тип развития, участвует в генетическом контроле длины и массы корней [4]. Данный результат был получен с использованием яровых сортов – носителей доминантных аллелей генов *Vrn-A1* и *Vrn-B1*, а также линий с интрогрессиями от видов-сородичей пшеницы. Мы также показали, что интрогрессия хромосомы 5D в геном сорта Чайниз Спринг – мировой модели для изучения генома пшеницы – приводит к значительному увеличению длины и массы корней [5]. Целью данного исследования было перенести ценный признак из озимого образца в яровой российский сорт и показать его эффекты на другие агрономически важные показатели.

Материалы и методы

В работе использованы три озимые интрогрессированные линии ИЛ 5D-5, ИЛ 5D-6 и ИЛ 5D-10 сорта Чайниз Спринг (ЧС) с интрогрессиями в районе гена *Vrn-D1* хромосомы 5D [6], а также семьи пятого поколения, полученные скрещиванием ярового сорта Саратовская 29 (С29) с линией ИЛ 5D-5. Эти семьи F5 (WR) получены отбором в последовательных поколениях на яровость и большую корневую систему. В качестве изучаемых признаков использовали длину и сухую массу корней. Эксперименты проводили в условиях гидропонной теплицы Института цитологии и генетики СО РАН. Условия выращивания растений и учёта признаков описаны ранее [4]. Для каждого генотипа было выращено по 6 растений в двух повторностях в течение не менее трёх тепличных сезонов. Для оценки достоверности отличий между сортом-реципиентом и линиями с интрогрессиями использовали критерий Стьюдента.

Результаты исследования и обсуждение

Увеличение размера корневой системы было связано с интрогрессией в район гена *Vrn-D1* хромосомы 5D и озимым образом жизни линий ИЛ 5D-5, ИЛ 5D-6 и ИЛ 5D-10. Эффект этой интрогрессии продемонстрирован на рис. 1 и в табл. 1. Длина корней увеличилась на 8 см, а масса – в 4–5 раз. Так как линии являются продуктом рекомбинации между синтетической пшеницей и сортом ЧС, то таким же образом возможен перенос этой ценной интрогрессии в яровой сорт. Для этого был использован сорт Саратовская 29 (С29) со слабой корневой системой.

После скрещивания с линией ИЛ 5D-5 и пятикратного отбора на яровость и размер корневой системы было получено 15 линий WR. Они характеризовались разнообразием по дате цветения от ранних до среднеранних и проявляли разнообразие по длине и массе корневой системы. По морфологии их корневая система была схожа с корневой системой линии ИЛ 5D-5. Их отличало неограниченное вторичное ветвление корней, которое не прекращалось даже после цветения и созревания зерна. В табл. 2 представлены средние значения двух целевых признаков корневой системы. Длина корней превышает как значение сорта С29, так и интрогрессированной линии. Масса корней была значительно выше, чем у ярового сорта, и приблизительно соответствовала линии ИЛ 5D-5.



Рис. 1. Корневая система сорта-реципиента Чайниз Спринг (ЧС) (1) и линий ИЛ 5D-5 (2), ИЛ 5D-6 (3) и ИЛ 5D-10 (4) с интрогрессиями в хромосому 5D от *Aegilops tauschii*

[Fig. 1. Root system of the recipient variety Chinese Spring (1) and lines IL 5D-5 (2), IL 5D-6 (3) and IL 5D-10 (4) with introgression into chromosome 5D from *Aegilops tauschii*]

Таблица 1 [Table 1]

Среднее значение длины и массы корней у линий мягкой пшеницы с интрогрессией в хромосому 5D от *Ae. tauschii* (ИЛ) по сравнению с сортом-реципиентом
[Mean root length and weight in bread wheat lines with introgression into chromosome 5D from *Ae. tauschii* (IL) compared to the recipient]

Генотипы [Genotypes]	Длина корней, см [Root length, cm]	Масса корней, г [Root weight, g]
ИЛ 5D-5 [IL 5D-5]	28,0 ± 3,5***	1,6 ± 0,4**
ИЛ 5D-6 [IL 5D-6]	29,2 ± 2,6***	1,4 ± 0,8**
ИЛ 5D-10 [IL 5D-10]	29,7 ± 3,0***	2,4 ± 0,5*
ЧС-реципиент [CS-recipient]	21,7 ± 2,3***	0,38 ± 0,02

Примечание. Уровни значимости согласно критерию Фишера: *** – $p < 0,001$; ** – $p < 0,01$; * $p < 0,05$.

[Note. Significance levels according to Fisher's criterion: *** - $p < 0.001$; ** - $p < 0.01$; * $p < 0.05$].

Таблица 2 [Table 2]

Среднее значение длины и массы корней, содержания клейковины, а также компонентов урожая у линий WR с интрогрессией в хромосому 5D от *Ae. tauschii* и их родительских форм
[Average values of root length and weight, gluten content and yield components in lines WR with introgression into chromosome 5D from *Ae. tauschii* and their parental forms]

Генотипы [Genotypes]	Длина корней, см [Root length, cm]	Масса корней, г [Root weight, g]	Масса зерна с растения, г [Grain weight per plant, g]	Содержание клейковины, % [Gluten content, %]	Масса 1 000 зёрен, г [Thousand grain weight, g]
C29 [S29]	22,1 ± 2,9	0,32 ± 0,16	3,5 ± 0,3	30,8	40,4
ИЛ 5D-5 [IL 5D-5*]	28,0 ± 3,5	1,6 ± 0,9	9,0 ± 3,5	41,5 ± 1,0	26,1 ± 2,6
Линии [WR Lines WR]	33,0 ± 4,5	1,0 ± 0,5	11,7 ± 2,0	37,5 ± 2,3	37,7 ± 2,4

Примечание. * – яровизация 60 дней.

[Note. * - 60 days vernalization].

Положительным, хотя и непредвиденным, следствием отбора на размер корневой системы было значительное увеличение содержания клейковины в зерне (см. табл. 2). Оно превысило значения обоих родителей. Также положительным и ценным свойством интрогрессии стало значительное среднее увеличение продуктивности линий WR. У них увеличилась средняя масса зерна с растения более чем в 3 раза по сравнению с яровым сортом С29 (см. табл. 2). При этом средняя масса 1 000 зёрен была сопоставима с сортом С29, который характеризуется сохранением этого признака в различных условиях.

Заключение

Полученные в результате эксперимента результаты позволяют говорить о переносе из вида *Ae. tauschii* селекционно-ценных генов, которые увеличивают размеры корневой системы и одновременно улучшают такие агрономические важные признаки, как продуктивность растения и содержание клейковины в зерне.

Список источников

1. Ober E.S., Alahmad S., Cockram J. Forestan C., Hickey L.T., Kant J., Maccaferri M., Marr E., Milner M., Pinto F., Rambla C., Reynolds M., Salvi S., Sciara G., Snowdon R.J., Thomelin P., Tuberosa R., Uauy C., Voss-Fels K.P., Wallington E., Watt M. Wheat root systems as a breeding target for climate resilience // *Theoretical and Applied Genetics*. 2021. Vol. 134, № 4. PP. 1645–1662. doi: 10.1007/s00122-021-03819-w
2. Soriano J.M., Alvaro F. Discovering consensus genomic regions in wheat for root-related traits by QTL meta-analysis // *Scientific Reports*. 2019. 10537. doi: 10.1038/s41598-019-47038-2
3. Шаманин В.П., Потоцкая И.В., Шепелев С.С., Пожерукова В.Е., Моргунов А.И. Морфометрические параметры корневой системы и продуктивность растений у синтетических линий яровой мягкой пшеницы в условиях Западной Сибири в связи с засухоустойчивостью // *Сельскохозяйственная биология*. 2018. Т. 53, № 3. С. 587–597.
4. Смирнова О.Г. Пшеничникова Т.А. Взаимосвязь между генетическим статусом локуса *Vrn-1* и размерами корневой системы у мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) // *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2021. Т. 25, № 8. С. 805–811. doi: 10.18699/VJ21.093
5. Pshenichnikova T.A., Smirnova O.G., Simonov A.V., Shchukina L.V., Morozova E.V., Lohwasser U., Börner A // The relationship between root system development and vernalization under contrasting irrigation in bread wheat lines with the introgressions from a synthetic hexaploid // *Plant Growth Regulation*. 2020. Vol. 92, № 3. PP. 583–595. doi: 10.1007/s10725-020-00666-5
6. Pestsova E.G., Börner A., Röder M.S. Development and QTL assessment of *Triticum aestivum*–*Aegilops tauschii* introgression lines. // *Theoretical and Applied Genetics*. 2006. Vol. 112, № 2. PP. 634–647. doi:10.1111/j.1601-5223.2001.00139.x

References

1. Ober ES, Alahmad S, Cockram J Forestan C, Hickey LT, Kant J, Maccaferri M, Marr E, Milner M, Pinto F, Rambla C, Reynolds M., Salvi S, Sciara G, Snowdon RJ, Thomelin P, Tuberosa R, Uauy C, Voss-Fels KP, Wallington E, Watt M. Wheat root systems as a

- breeding target for climate resilience. *Theoretical and Applied Genetics*. 2021;134(4):1645-1662. doi: 10.1007/s00122-021-03819-w
2. Soriano JM, Alvaro F. Discovering consensus genomic regions in wheat for root-related traits by QTL meta-analysis. *Scientific Reports*. 2019;10:537. doi: 10.1038/s41598-019-47038-2
 3. Shamanin VP, Pototskaya IV, Shepelev SS, Pozherukova V, Morgounov AI. Root habitus and plant productivity of spring bread wheat synthetic lines in Western Siberia, as connected with breeding for drought tolerance. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya*. 2018;53(3):587-597. In Russian, English summary
 4. Smirnova OG, Pshenichnikova TA. The relationship between the genetic status of the *Vrn-1* locus and the size of the root system in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Selektzii*. 2021;25(8):805-811. doi: 10.18699/VJ21.093
 5. Pshenichnikova TA, Smirnova OG, Simonov AV, Shchukina LV, Morozova EV, Lohwasser U, Börner A. The relationship between root system development and vernalization under contrasting irrigation in bread wheat lines with the introgressions from a synthetic hexaploid. *Plant Growth Regulation*. 2020;92(3):583-595. doi: 10.1007/s10725-020-00666-5
 6. Pestsova EG, Börner A, Röder MS. Development and QTL assessment of *Triticum aestivum*–*Aegilops tauschii* introgression lines. *Theoretical and Applied Genetics*. 2006;112(2):634-647. doi:10.1111/j.1601-5223.2001.00139.x

Информация об авторах:

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

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

E-mail: wheatpsh@bionet.nsc.ru

Смирнова Ольга Григорьевна, канд. биол. наук, с.н.с. лаборатории геномной инженерии Института цитологии и генетики СО РАН (Новосибирск, Россия).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3023-767X>

E-mail: planta@bionet.nsc.ru

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about the authors:

Tatyana A. Pshenichnikova, Cand. Sci. (Biol.), Senior Researcher, Sector of the Genetics of Grain Quality, Institute of Cytology and Genetics SB RAS (Novosibirsk, Russian Federation).

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

E-mail: wheatpsh@bionet.nsc.ru

Olga G. Smirnova, Cand. Sci. (Biol.), Senior Researcher, Laboratory of Gene Engineering, Institute of Cytology and Genetics SB RAS (Novosibirsk, Russian Federation).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3023-767X>

E-mail: planta@bionet.nsc.ru

The Authors declare no conflict of interest.

*Статья поступила в редакцию 25.08.2024;
одобрена после рецензирования 30.11.2024; принята к публикации 03.03.2025.*

*The article was submitted 25.08.2024;
approved after reviewing 30.11.2024; accepted for publication 03.03.2025.*