

trilici / D.L. Long, J.A. Kolmer // *Phytopathology*, 1989. V. 79, №5. – P. 525–529.

11. Мешкова Л.В. Физиологическая специализация возбудителя бурой ржавчины в Красноярском крае / Л.В. Мешкова, Л.П. Россеева, А.Б. Сидоров, Т.С. Зверовская, О.Б. Сабасева, И.Б. Белан // *Вестник Красноярский ГАУ*, 2019. №1. – С. 29–36.

12. Мешкова Л.В. Вирулентность природной популяции возбудителя бурой ржавчины пшеницы в Омской области / Л.В. Мешкова, Л.П. Россеева, Т.С. Зверовская, О.Б. Сабасева, И.Б. Белан // *Успехи современного естествознания*, 2018. № 11(2). – С. 279–283.

DOI 10.18699/GPB2020-69

Отбор с помощью молекулярных маркеров линий яровой мягкой пшеницы с ранним сроком колошения

Стасюк А.И. *, м.н.с.; Киселева А.А., к.б.н., н.с.; Салина Е.А. д.б.н., г.н.с. ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики СО РАН», Новосибирск, Россия.

*e-mail: stasyuk@bionet.nsc.ru

Проведен ПЦР-анализ генов Ppd-D1, Vrn-A1, Vrn-B1, Vrn-D1, Vrn-B3 с использованием аллель-специфичных праймеров у гибридов яровой мягкой пшеницы поколения F₂, полученных от скрещивания сорта Обская 2 с сортом Тулун 15. По аллельному составу генов Vrn-1, Ppd-1 и Vrn-B3 гибридные растения были распределены на 4 гаплотипа. Проведена оценка продолжительности периода всходы-колошение каждого гаплотипа в поколениях F₃. 4. Установлено, что наиболее ранний срок колошения имеют растения с аллельным составом Ppd-D1a, Vrn-A1a, Vrn-B1c, vrn-D1, Vrn-B3a. Полученные результаты могут быть использованы в маркер-ориентированной селекции для отбора генотипов, наиболее оптимальных для тех или иных условий возделывания.

Ключевые слова: яровая мягкая пшеница, маркер-ориентированный отбор, срок колошения.

Selection of spring wheat lines with early heading date using the molecular markers

Stasyuk A.I., Kiseleva A.A., Salina E.A. Federal Research Center Institute of Cytology and Genetics SB RAS, Novosibirsk, Russia,
e-mail: stasyuk@bionet.nsc.ru

PCR analysis of the genes Ppd-D1, Vrn-A1, Vrn-B1, Vrn-D1, Vrn-B3 was carried out with allele-specific primers in F₂ spring hybrids of bread wheat obtained from hybridization of Obskaya 2 with Tulun 15 varieties. Hybrid plants

were divided into 4 haplotypes based on a combination of alleles of the *Ppd-1*, *Vrn-1* and *Vrn-B3* genes. The estimation of the period from germination to heading in each haplotype in F_{3-4} generations was carried out. It was established that the plants with allelic composition *Ppd-D1a*, *Vrn-A1a*, *Vrn-B1c*, *vrn-D1*, *Vrn-B3a* have the earliest heading date. The results can be used for marker-assisted selection of genotypes most appropriate for different growing conditions.

Key words: spring bred wheat, marker-assisted selection, heading date

Создание сортов мягкой пшеницы адаптированных к определенным условиям окружающей среды является одной из главных задач селекции этой культуры. Значительным фактором при этом, являются сроки наступления колошения, которые контролируются генами реакции на яровизацию – *Vrn*, и генами, определяющими чувствительность к фотопериоду – *Ppd*. Аллельные вариации этих генов приводят к различным срокам колошения [1, 2]. Применение маркер-ориентированной селекции позволяет в короткие сроки отобрать растения с заданным аллельным составом генов, контролирующих сроки наступления колошения. Целью данной работы было определение сроков колошения у растений отобранных с помощью молекулярных маркеров и выявление генотипов с ранним сроком колошения.

Материалы и методы. Материалом для исследования послужили потомства F_{2-4} , полученные от скрещивания яровых сортов мягкой пшеницы Тулун 15 и Обская 2. У растений поколения F_2 был проведен ПЦР-анализ аллельного состава генов *Vrn-1* и *Ppd-1* с помощью аллель-специфичных праймеров описанных в работе [3]. Идентификацию аллелей гена *Vrn-B3* проводили с использованием праймеров описанных в работе [4].

Для оценки периода всходы–колошение растения поколений F_{3-4} и родительские сорта выращивали на экспериментальном поле в 2018–2019 гг. (Новосибирская обл., п. Краснообск). Статистическую обработку данных проводили с помощью пакета программ Statistica 10.0 («StatSoft, Inc.», США).

Результаты. Нами ранее при анализе генов *Vrn* и *Ppd* у сибирских сортов яровой мягкой пшеницы был выделен раннеспелый сорт Тулун 15, несущий доминантный аллель *Ppd-D1a*, обуславливающий нечувствительность к фотопериоду [3]. Кроме того, этот сорт содержит доминантный аллель *Vrn-B3a*, детерминирующий переход растения к раннему цветению. Сорт Тулун 15 был скрещен со среднеранним сортом Обская 2. Во втором поколении было получено 84 потомка, которые были генотипированы с помощью праймеров к генам *Vrn-1*, *Ppd-D1* и *Vrn-B3*. По результатам анализа было отобрано 34 растения, у которых эти гены были в гомозиготном состоянии. Все гибриды, также, как и оба родительских сорта, содержали аллели *Vrn-A1a*, *Vrn-B1c* и *vrn-D1* и отличались только аллелями генов *Ppd-D1* и *Vrn-B3*. По аллельному составу отобранные растения были распределены на 4 гаплотипа (табл. 1).

Таблица 1 – Аллельные комбинации генов *Ppd-D1*, *Vrn-A1*, *Vrn-B1*, *Vrn-D1* и *Vrn-B3* у гибридов F₂ и у родительских сортов

Гаплотип	<i>Ppd-D1</i>	<i>Vrn-A1</i>	<i>Vrn-B1</i>	<i>Vrn-D1</i>	<i>Vrn-B3</i>	Количество растений, шт
1	<i>Ppd-D1a</i>	<i>Vrn-A1a</i>	<i>Vrn-B1c</i>	<i>vrn-D1</i>	<i>Vrn-B3a</i>	12
2	<i>Ppd-D1a</i>	<i>Vrn-A1a</i>	<i>Vrn-B1c</i>	<i>vrn-D1</i>	<i>Vrn-B3b</i>	6
3	<i>Ppd-D1b</i>	<i>Vrn-A1a</i>	<i>Vrn-B1c</i>	<i>vrn-D1</i>	<i>Vrn-B3a</i>	9
4	<i>Ppd-D1b</i>	<i>Vrn-A1a</i>	<i>Vrn-B1c</i>	<i>vrn-D1</i>	<i>Vrn-B3b</i>	7
Обская 2	<i>Ppd-D1b</i>	<i>Vrn-A1a</i>	<i>Vrn-B1c</i>	<i>vrn-D1</i>	<i>Vrn-B3b</i>	–
Тулун 15	<i>Ppd-D1a</i>	<i>Vrn-A1a</i>	<i>Vrn-B1c</i>	<i>vrn-D1</i>	<i>Vrn-B3a</i>	–

Доминантный аллель *Ppd-D1a* был обнаружен у 18 растений, остальные 16 растений содержали рецессивный аллель *Ppd-D1b*, обуславливающий чувствительность к длине светового дня. Аллель *Vrn-B3a*, присутствовал у 21 растения, 13 растений несли рецессивный аллель *Vrn-B3b*.

Оценка периода всходы-колошение показала, все генотипы, за исключением сорта Тулун 15, в 2019 году выколашивались позже на 4–5 суток по сравнению с 2018 годом (рис. 1). Сроки колошения у сорта Тулун 15 значительно не отличались по двум годам и составили 37,5 и 37,1 суток в 2018 и 2019 годах соответственно. Значительно позже других генотипов наблюдалось колошение у сорта Обская 2 и составило 42,9 в 2018 и 49,8 суток в 2019 годах. Среди гибридов раньше всех выколашивались растения из гаплотипа 1, содержащие аллели нечувствительности к фотопериоду (*Ppd-D1a*) и инициации раннего колошения (*Vrn-B3a*) – 34,5 и 39 суток в 2018 и 2019 годах соответственно. Стоит отметить, что растения из гаплотипа 1 в 2018 году выколосились на 3 суток раньше, чем сорт Тулун 15 с таким же аллельным составом генов *Vrn* и *Ppd*. Однако в 2019 году колошение растений из того же гаплотипа наступило позже на 1,9 суток по сравнению с сортом Тулун 15.

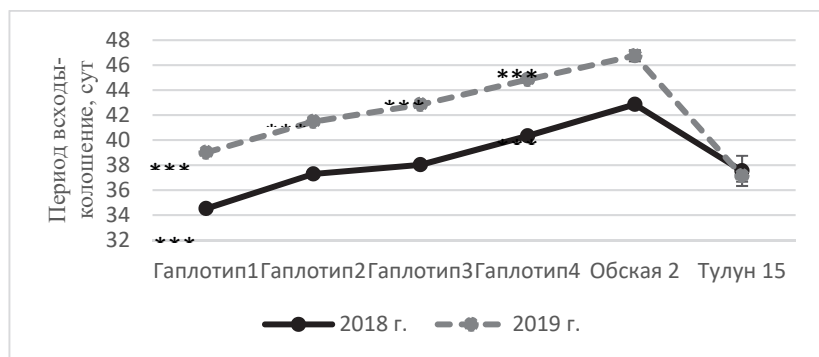


Рис. 1. Продолжительность периода от всходов до колошения у растений F₃₋₄, полученных от скрещивания Обская 2 × Тулун 15. *** – достоверные отличия гаплотипов от родительских сортов при $p < 0,001$.

Колошение растений из гаплотипа 2, характеризующихся наличием доминантного аллеля *Ppd-D1a* и рецессивного аллеля *Vrn-B3b*, наступило позже чем у гаплотипа 1 на 2,8 суток в 2018 и на 2,5 – в 2019 годах. При этом, при сравнении с сортом Тулун 15 в 2018 году достоверных отличий выявлено не было, а в 2019 году колошение у гаплотипа 2 наступило на 4,4 суток позже. Период от всходов до колошения у пшеницы из Гаплотипа 3, содержащего рецессивный аллель *Ppd-D1b* и доминантный аллель *Vrn-B3a*, был больше чем у гаплотипов 1 и 2 и в 2018 и 2019 годах соответственно составил 38 и 42,8 суток. При сравнении с родительским сортом Тулун 15 в 2018 году значительных отличий не выявлено, а в 2019 году гаплотип 3 отличался более поздним колошением – на 5,7 суток. Наиболее позднее колошение среди гибридов было отмечено у растений из гаплотипа 4 – 40,3 суток в 2018 году и 44,9 суток в 2019 году. Гаплотип 4 так же, как и сорт Обская 2, содержит рецессивные аллели *Ppd-D1b* и *Vrn-B3b*, но при этом выколашивался раньше на 2,6 и 1,9 суток в 2018 и 2019 годах соответственно. При сравнении с сортом Тулун 15 у гаплотипа 4 период всходы-колошение был больше на 2,8 в 2018 и на 7,8 суток в 2019 годах.

Таким образом, полученные результаты позволяют сделать вывод, что доминантные аллели *Ppd-D1a* и *Vrn-B3a* оказывают существенное влияние на сроки колошения яровой мягкой пшеницы. Для отбора растений с наиболее ранним сроком колошения целесообразно отбирать генотипы, которые в сочетании с аллелями *Vrn-A1a*, *Vrn-B1c*, *vrn-D1* содержат доминантные аллели *Ppd-D1a* и *Vrn-B3a*.

Благодарности: Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-016-00059.

Список литературы

1. Потокينا, Е.К., Кошкин В.А., Алексеева Е.А., Матвиенко И.И., Филобок В.А., Беспалова Л.А. Комбинация аллелей генов *Ppd* и *Vrn* определяет сроки колошения у сортов мягкой пшеницы. Вавиловский журнал генетики и селекции. – 2012. – Т. 16. – Р. 77–86.
2. Kiss T, Balla K, Veisz O, Láng L, Bedő Z, Griffiths S, et al. Allele frequencies in the *VRN-A1*, *VRN-B1* and *VRN-D1* vernalization response and *PPD-B1* and *PPD-D1* photoperiod sensitivity genes, and their effects on heading in a diverse set of wheat cultivars (*Triticum aestivum* L.). *Mol Breed*. 2014; 34: 297–310.
3. Likhenko, I.E. Study of allelic composition of *Vrn-1* and *Ppd-1* genes in early-ripening and middle-early varieties of spring soft wheat in Siberia / I.E. Likhenko, A.I. Stasyuk, A.B. Shcherban' // *Rus. J. Genet. Applied Research*. 2015. – V. 5. – P. 198–207. DOI: 10.1134/S2079059715030107.
4. Yan, L., D. Fu, C. Li, A. Blechl, G. Tranquilli, M. Bonafede, A. Sanchez, M. Valarik, S. Yasuda, and J. Dubcovsky. 2006. The wheat and barley vernalization gene *VRN3* is an orthologue of *FT*. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 103:19581–19586.