

Научная статья
УДК 633.11:585
doi: 10.17223/19988591/69/8

Глобальное потепление и генетика типа и скорости развития пшениц

Николай Петрович Гончаров¹, Кирилл Олегович Плотников²,
Григорий Юрьевич Чепурнов³, Илья Александрович Каменев⁴,
Борис Федорович Немцев⁵, Светлана Эдуардовна Смоленская⁶,
Александр Геннадьевич Блинов⁷

^{1, 2, 3, 6, 7} Институт цитологии и генетики Сибирского отделения
Российской академии наук, Новосибирск, Россия

⁴ Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия

⁵ Сибирский научно-исследовательский институт растениеводства и селекции –
филиал ФИЦ «Институт цитологии и генетики Сибирского отделения
Российской академии наук», Краснообск, Новосибирский регион, Россия

¹ gonch@bionet.nsc.ru

² ko.plotnikov@bionet.nsc.ru

³ grigory.tchepurnov@yandex.ru

⁴ ilya.kamenev.1441@bk.ru

⁵ nembor@yandex.ru

⁶ morpha@bionet.nsc.ru

⁷ blinov@bionet.nsc.ru

Аннотация. Повышение температуры в течение вегетационного периода может привести к снижению урожайности сельскохозяйственных культур, что будет иметь последствия для растениеводства и продовольственной безопасности. Основным фактором, ограничивающим выращивание пшеницы и формирование высококачественного зерна, является продолжительность безморозного периода. Селекция в сложных климатических условиях Сибири должна быть направлена на создание относительно скороспелых, высокоурожайных, пластичных сортов. Варьирование продолжительности сроков колошения и созревания является важным элементом адаптации пшеницы к конкретным условиям выращивания. Цель работы – оценка коллекции сортов яровой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) по продолжительности вегетационного периода и определение у них аллелей гена *Vrn-A1*. В данном исследовании использовали восемь сортов мягкой яровой пшеницы и две изогенные линии с известными аллелями гена *Vrn-A1* (контроль). Образцы выращивали в гидропонной теплице. Установлено, что пять образцов из восьми имели инсерцию мобильного генетического элемента в промоторе гена *Vrn-A1* длиной 965 п.н. – аллель *Vrn-1a*, а три образца – делецию в промоторной области. При электрофорезе продуктов ПЦР образцы с делецией показали наличие фрагмента длиной 714 п.н. – аллель *Vrn-1b*. При изучении полиморфизма гена *Vrn-A1* выявлено преобладание аллеля *Vrn-A1a*, появление которого обусловлено наличием инсерции мобильного генетического элемента не только у сортов новосибирской селекции, но и у сортов других регионов. Корреляционный анализ, примененный для установления зависимости времени колошения от конкретного аллеля гена *Vrn-1*, показал значение $r = 0,57$. Это позволяет сделать вывод об умеренной корреляции влияния аллелей гена *Vrn-A1* на продолжительность периода всходы–колошение.

Ключевые слова: *Triticum*, фенология, скороспелость, селекция, Западная Сибирь, ген *Vrn-A1*

Источник финансирования: исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда (проект № 22-16-20026) и правительства Новосибирской области.

Благодарность: растения выращены в ЦПК репродукции растений ИЦиГ СО РАН в рамках бюджетного проекта FWN-2022-0017.

Для цитирования: Гончаров Н.П., Плотников К.О., Чепурнов Г.Ю., Каменев И.А., Немцев Б.Ф., Смоленская С.Э., Блинов А.Г. Глобальное потепление и генетика типа и скорости развития пшениц // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2025. № 69. С. 68–75. doi: 10.17223/19988591/69/8

Original article

doi: 10.17223/19988591/69/8

Global warming and the genetics of wheat type and rate of development

**Nikolay P. Goncharov¹, Kirill O. Plotnikov², Grigory Y. Chepurnov³,
Ilya A. Kamenev⁴, Boris F. Nemtsev⁵, Svetlana E. Smolenskaya⁶,
Alexander G. Blinov⁷**

^{1, 2, 3, 6, 7} *Institute of Cytology and Genetics, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia*

⁴ *Novosibirsk State Agricultural University, Novosibirsk, Russia*

⁵ *Siberian Research Institute of Plant Growing and Breeding - branch of Institute of Cytology and Genetics of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Krasnoobsk, Novosibirsk region, Russia*

¹ *gonch@bionet.nsc.ru*

² *ko.plotnikov@bionet.nsc.ru*

³ *grigory.tchepurnov@yandex.ru*

⁴ *ilya.kamenev.1441@bk.ru*

⁵ *nembor@yandex.ru*

⁶ *morpha@bionet.nsc.ru*

⁷ *blinov@bionet.nsc.ru*

Summary. Agricultural production in the XXI century has faced significant environmental challenges, the most important of which is global and local climate change. To solve the problems it is necessary to produce new varieties of crops, and first of all, common wheat (*Triticum aestivum* L.). Variation in the duration of ripening period is an important element of wheat adaptability to specific cultivation conditions. The question of whether a variety that is early in earing date remains early in maturity date is essential, but data on this problem are rather limited. Thus, to produce new early maturing forms of spring common wheat, it is worth paying attention to the sources of alleles used in the southern regions of Russia or abroad. The aim of our investigation was to evaluate a collection of common spring wheat accessions for the duration of the growing season and allelic composition of the *Vrn-A1* (response to vernalization) gene. In this study, 8 cultivars of spring common wheat and 2 control near-isogenic lines were used (See Table 1). The studied accessions were grown in hydroponic greenhouse. To extract genomic DNA from the collected samples, 30–80 mg of leaves frozen in liquid nitrogen were used. DNA extraction was performed using a commercial kit “Wizard® Genomic DNA Purification Kit” (Promega, USA) according to the manufacturer's protocol. The *Vrn-A1* locus polymorphism study was performed using a set of previously described allele-specific primers. Confirmation of the presence of a deletion into the

Vrn-A1 gene promoter or insertion of a mobile genetic element was performed using Sanger sequencing. As a result of these studies, it was found that five cultivars had an insertion of a mobile genetic element in the promoter of the *Vrn-A1* gene and were characterized by the presence of a fragment of 965 bp in length on electrophoresis, while three cultivars showed a deletion in the promoter sequence. When PCR products were electrophoresed, cultivars with deletion showed a fragment of 714 bp in length (See Fig. 1). The results were also confirmed by Sanger sequencing. Correlation analysis applied to establish the dependence of earing time on the allele of the *Vrn-1* gene showed a value of $r = 0.57$, which allows us to conclude that the allele of the *Vrn-1* gene is moderately correlated with the duration of shooting to heading period. The duration of the growing period, and, consequently, early maturity, is related to the transition from vegetative to generative development. In wheat, the complex process of transition from vegetative to generative development is largely determined by allelic diversity of *Vrn* genes regulating the type of growth (spring vs. winter). In the course of investigation on the study of *Vrn-A1* gene polymorphism, the prevalence of the *Vrn-A1* allele, the occurrence of which is due to the presence of an insertion of a mobile genetic element, was found not only in varieties of Novosibirsk breeding, but also in commercial cultivars from other regions.

The article contains 1 Figure, 1 Table, 5 References.

Keywords: *Triticum*, phenology, earliness, breeding, West Siberia, *Vrn-A1* gene

Fundings: This work was supported by Russian Science Foundation (Grant No 22-16-20026) and the Government of Novosibirsk region.

Acknowledgments: The plants were grown at the Center for Common Use for Plant Reproduction of ICG SB RAS within the budgetary project FWNr-2022-0017.

For citation: Goncharov NP, Plotnikov KO, Chepurinov GY, Kamenev IA, Nemtsev BF, Smolenskaya SE, Blinov AG. Global warming and the genetics of wheat type and rate of development. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya = Tomsk State University Journal of Biology*. 2025;69:68-75. doi: 10.17223/19988591/69/8

Введение

Сельскохозяйственное производство в XXI в. столкнулось с существенными экологическими вызовами, наиболее важным из которых является глобальное и локальное изменение климата. За последнее столетие (1920–2020 гг.) произошло увеличение среднегодовой температуры воздуха на 2,17°C, среднегодовая норма осадков возросла на 85,5 мм в год [1].

Для решения глобальных проблем необходимо создание новых сортов с/х культур, и в первую очередь яровой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.). Главным фактором, лимитирующим ее возделывание и формирование высококачественного зерна, является продолжительность безморозного периода. Сложные климатические условия Сибири свидетельствуют о том, что селекция должна быть направлена на создание скороспелых, высокоурожайных и пластичных сортов.

Признаки продолжительности периода всходы–колошение и всходы–созревание являются важными для приспособляемости пшеницы к конкретным условиям возделывания. Вопрос о том, остается ли сорт, раннеспелый

по дате колошения, раннеспелым по дате созревания, является существенным, но данные по этой проблеме довольно ограничены [2]. На данный момент аллельный состав генов *Vrn* (response to vernalization) и *Ppd* (response to photoperiod) возделываемых в Новосибирской области сортов яровой мягкой пшеницы известен и не отличается большим разнообразием [3]. Таким образом, для создания новых скороспелых форм этой основной зерновой для РФ культуры стоит обратить внимание на источники аллелей, используемые в южных регионах России и/или за рубежом. Цель работы – оценка коллекции образцов яровой мягкой пшеницы по продолжительности вегетационного периода и аллельному составу гена *Vrn-A1*, контролирующего у них яровой тип развития и скорость развития (скороспелость).

Материалы и методы

В исследовании использовалось 8 сортов яровой мягкой пшеницы новосибирской и краснодарской селекции и 2 изогенные линии австралийского сорта Triple Dirk с известными аллелями гена *Vrn-A1* (контроль). Образцы выращивались в гидропонной теплице Института цитологии и генетики СО РАН (Новосибирск) осенью 2023 г. Для каждого растения, выращиваемого в теплице, определялся период от всходов до колошения (в днях).

Геномную ДНК выделяли из собранных образцов листьев (30–80 мг), замороженных в жидком азоте. Экстракцию ДНК проводили коммерческим набором «Wizard® Genomic DNA Purification Kit» (Promega, США) в соответствии с протоколом производителя. Исследование аллелей *Vrn-A1* проводили с использованием ранее описанных аллель-специфичных праймеров [4]. Визуализация результатов ПЦР выполнена с помощью электрофоретического разделения продуктов реакции в 1%-ном агарозном геле, окрашенном бромистым этидием. Наличие в промоторе гена *Vrn-A1* делеции или вставки мобильного генетического элемента определяли с помощью секвенирования по Сэнгеру. Для статистической обработки результатов рассчитывался коэффициент корреляции Пирсона (*r*-Пирсона) [5]. Его расчет проводили при помощи программного языка R 4.2.2 с использованием стандартных статпакетов.

Результаты исследования и обсуждение

В результате проведенных исследований было обнаружено, что пять сортов из восьми имели вставку мобильного генетического элемента (таблица) в промоторе гена *Vrn-A1* и характеризовались наличием на электрофореze фрагмента длиной 965 п.о. (соответствующей аллелю *Vrn-A1a*), тогда как у трех образцов была обнаружена делеция в промоторе (рис. 1). При проведении электрофореze продуктов ПЦР образцы с делецией демонстрировали фрагмент длиной 714 п.о., соответствующей аллелю *Vrn-A1b* (рис. 1). Полученные результаты подтверждены секвенированием по Сэнгеру.

Корреляционный анализ, примененный для установления связи времени колошения с наличием конкретного аллеля гена *Vrn-A1*, показал значение

$r = 0,57$, что позволяет сделать вывод об их умеренной связи с продолжительностью периода всходы–колошение.

Результаты изучения аллельного состава гена *Vrn-A1* и продолжительности вегетационного периода образцов яровой мягкой пшеницы в 2023 г.

[Results of *Vrn-A1* gene allele polymorphism and heading time of spring soft wheat samples in 2023]

№	Название сорта (линии) [Name of variety or line]	Аллель гена <i>Vrn-A1</i> [<i>Vrn-A1</i> gene allele]	Период всходы–колошение [Days to Heading]	Происхождение [Origin]
1	Triple Dirk A	A1a	40 ± 1,2	Австралия [Australia]
2	Triple Dirk D	A1a	38 ± 1,1	Австралия [Australia]
3	Курьер [Kuryer]	A1a	40 ± 3,1	Краснодарский край [Krasnodar region]
4	Мадам [Madam]	A1b	39 ± 1,6	Краснодарский край [Krasnodar region]
5	Данко [Danko]	A1b	41 ± 1,3	Краснодарский край [Krasnodar region]
6	Кетрин [Ketrin]	A1a	41 ± 1,8	Новая Зеландия [New Zealand]
7	Тая [Taya]	A1a	41 ± 1,9	Краснодарский край [Krasnodar region]
8	Новосибирская 41 [Novosibirskaya 41]	A1a	39 ± 1,3	Новосибирская область [Novosibirsk region]
9	Новосибирская 31 [Novosibirskaya 31]	A1b	40 ± 1,4	Новосибирская область [Novosibirsk region]
10	Новосибирская 18 [Novosibirskaya 18]	A1a	35 ± 1,6	Новосибирская область [Novosibirsk region]

Примечание. Данные по колошению представлены в виде средних арифметических ± стандартная ошибка средней.

[Note. Heading data are presented as arithmetic means ± standard error of the mean].

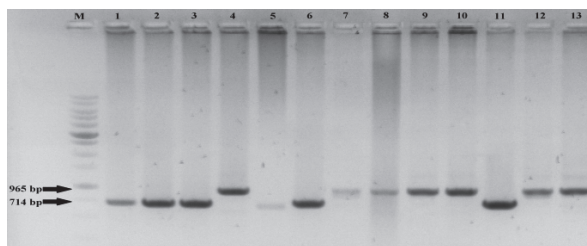


Рис. 1. Результаты электрофореза продуктов ПЦР, полученных с использованием аллель-специфичных праймеров для промотора гена *Vrn-A1* [4]: М – маркер молекулярных масс, 1–3 – образцы твердой пшеницы (*T. durum* Desf.) с аллелями *Vrn-A1b* (контроль), 4 – Курьер, 5 – Мадам, 6 – Данко, 7 – Кетрин, 8 – Тая, 9 – Новосибирская 41, 10 – Triple Dirk A, 11 – Новосибирская 31, 12 – Новосибирская 18, 13 – Triple Dirk D

[Fig. 1. Results of electrophoresis of PCR products obtained from primers for the *Vrn-A1* gene promoter [4]: M - marker of molecular weights, 1-3 – *T. durum* Desf. accessions with the *Vrn-A1b* allele (controls), 4 - Kuryer, 5 - Madam, 6 - Danko, 7 - Ketrin, 8 - Taya, 9 - Novosibirskaya 41, 10 - Triple Dirk A, 11 - Novosibirskaya 31, 12 - Novosibirskaya 18, 13 - Triple Dirk D]

Ранее уже было показано преобладание доминантных аллелей гена *Vrn-A1* в сортах сибирской селекции [3]. В данной работе показываем, что у всех изученных нами сортов, в том числе возделываемых в более южных широтах, присутствуют доминантные аллели этого гена. Умеренная связь продолжительности вегетационного периода с различными аллельными вариантами гена *Vrn-A1*, содержащими мутации в промоторе, говорит о возможном влиянии этой области генома на выраженность признака скороспелость/позднеспелость. Понимание генетических механизмов регуляции времени колошения растений яровой мягкой пшеницы будет способствовать созданию высокоадаптивных сортов нового поколения этой культуры с оптимальной выраженностью данного признака для конкретных зон возделывания, отражающей локальные особенности климатических условий. Ввиду локальных и глобальных изменений климата во всех зонах возделывания пшеницы (участвовавшие в последнее время летние засухи и ранняя весна с возвратными заморозками) изучение аллельного состава генов *Vrn*, контролирующего формирование оптимальной продолжительности вегетационного периода, имеет важное значение для селекции.

Заключение

Изучение полиморфизма гена *Vrn-A1* показало преобладание доминантного аллеля *Vrn-A1a*, возникновение которого обусловлено наличием вставки мобильного генетического элемента не только у сортов новосибирской селекции, но и у сортов других регионов, например краснодарской селекции.

Список источников

1. Ефимов В.М., Речкин Д.В., Гончаров Н.П. Многомерный анализ многолетних климатических данных в связи с урожайностью, скороспелостью и проблемой глобального потепления // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2024. Т. 28, № 2. С. 155–165. doi: 10.18699/vjgb-24-18
2. Tsenov N. Relation between time to heading and date of maturity of winter common wheat varieties (*Triticum aestivum* L.) // Agricultural Science and Technology. 2009. Vol. 4. PP. 126–132.
3. Смоленская С.Э., Ефимов В.М., Кручинина Ю.В., Немцев Б.Ф., Чепурнов Г.Ю., Овчинникова Е.С., Белан И.А., Зуев Е.В., Чжоу Ч., Пискарев В.В., Гончаров Н.П. Скороспелость и морфотип сортов мягкой пшеницы Западной и Восточной Сибири // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2022. Т. 26, № 7. С. 662–674. doi: 10.18699/VJGB-22-81
4. Yan L., Helguera M., Kato K., Fukuyama S., Sherman J., Dubcovsky J. Allelic variation at the *VRN-1* promoter region in polyploid wheat // Theor. Appl. Genet. 2004. Vol. 109. PP. 1677–1686. doi: 10.1007/s00122-004-1796-4
5. Pearson K. Notes on regression and inheritance in the case of two parents // Proceedings of the Royal Society of London. 1895. Vol. 58. PP. 240–242. doi: 10.1098/rspl.1895.0041

References

1. Efimov VM, Rechkin DV, Goncharov NP. Multivariate analysis of long-term climate data in connection with yield, earliness and the problem of global warming. *Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Seleksii*. 2024;28(2):155-165. doi: 10.18699/vjgb-24-18

2. Tsenov N. Relation between time to heading and date of maturity of winter common wheat varieties (*Triticum aestivum* L.). *Agricultural Science and Technology*. 2009;4:126-132.
3. Smolenskaya SE, Efimov VM, Kruchinina YV, Nemtsev BF, Chepurnov GY, Ovchinnikova ES, Belan IA, Zuev EV, Chenxi Z, Piskarev VV, Goncharov NP. Earliness and morphotypes of common wheat cultivars of Western and Eastern Siberia. *Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Selekcii*. 2022;26(7):662-674. doi: 10.18699/VJGB-22-81
4. Yan L, Helguera M, Kato K, Fukuyama S, Sherman J, Dubcovsky J. Allelic variation at the *VRN-1* promoter region in polyploid wheat. *Theor. Appl. Genet.* 2004;109:1677-1686. doi: 10.1007/s00122-004-1796-4
5. Pearson K. Notes on regression and inheritance in the case of two parents. *Proceedings of the Royal Society of London*. 1895;58:240-242. doi: 10.1098/rspl.1895.0041

Информация об авторах:

Гончаров Николай Петрович, д-р биол. наук, академик РАН, г.н.с. сектора генетики пшениц ФИЦ «Институт цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук» (Новосибирск, Россия).

E-mail: gonch@bionet.nsc.ru

Плотников Кирилл Олегович, инженер ФИЦ «Институт цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук» (Новосибирск, Россия).

E-mail: ko.plotnikov@bionet.nsc.ru

Григорий Юрьевич Чепурнов, м.н.с. ФИЦ «Институт цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук» (Новосибирск, Россия).

E-mail: grigory.tchepurnov@yandex.ru

Каменев Илья Александрович, аспирант ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный аграрный университет» (Новосибирск, Россия).

E-mail: ilya.kamenev.1441@bk.ru

Немцев Борис Федорович, агроном СибНИИРС – филиала Института цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук (Краснообск, НСО, Россия).

E-mail: nembor@yandex.ru

Смоленская Светлана Эдуардовна, н.с. ФИЦ «Институт цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук» (Новосибирск, Россия).

E-mail: morpha@bionet.nsc.ru

Блинов Александр Геннадьевич, канд. биол. наук, в.н.с. ФИЦ «Институт цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук» (Новосибирск, Россия).

E-mail: blinov@bionet.nsc.ru

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about the authors:

Nikolay P. Goncharov, Doctor of Sciences (Biology), Full member of the Russian Academy of Sciences, Principal Researcher of Wheat Genetics laboratory, Institute of Cytology and Genetics, Siberian Branch of the Russian (Novosibirsk, Russian Federation).

E-mail: gonch@bionet.nsc.ru

Kirill O. Plotnikov, engineer, Institute of Cytology and Genetics, Siberian Branch of the Russian (Novosibirsk, Russian Federation).

E-mail: ko.plotnikov@bionet.nsc.ru

Grigory Y. Chepurnov, junior researcher, Institute of Cytology and Genetics, Siberian Branch of the Russian (Novosibirsk, Russian Federation).

E-mail: grigory.tchepurnov@yandex.ru

Ilya A. Kamenev, postgraduate student, Novosibirsk State Agricultural University (Novosibirsk, Russian Federation).

E-mail: ilya.kamenev.1441@bk.ru

Boris F. Nemtsev, agronomist, SibNIIRS – filial Institute of Cytology and Genetics, Siberian Branch of the Russian (Krasnoobsk, Novosibirsk region, Russian Federation).

E-mail: nembor@yandex.ru

Svetlana E. Smolenskaya, researcher, Institute of Cytology and Genetics, Siberian Branch of the Russian (Novosibirsk, Russian Federation).

E-mail: morpha@bionet.nsc.ru

Alexander G. Blinov, PhD in Biology, leading researcher, Institute of Cytology and Genetics, Siberian Branch of the Russian (Novosibirsk, Russian Federation).

E-mail: blinov@bionet.nsc.ru

The Authors declare no conflict of interest.

*Статья поступила в редакцию 31.07.2024;
одобрена после рецензирования 27.11.2024; принята к публикации 03.03.2025.*

*The article was submitted 31.07.2024;
approved after reviewing 27.11.2024; accepted for publication 03.03.2025.*