

- 2 Дружинин А.Е., Крупнов В.А. Пшеница и пыльная головня. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 208. 164 с.
- 3 Nielsen J, Thomas PL. 1996. Loose smut. In: Wilcoxson RD, Saari EE, editors. Bunt and smut diseases of wheat: concepts and methods of disease management. Mexico (DF): CIMMYT (International Maize and Wheat Improvement Center); p. 33–47.

DOI 10.18699/GPB2024-63

Влияние интрогрессий от *Triticum timopheevii* в хромосому 2В пшеницы на устойчивость к засухе

Пермякова М.Д.^{1*}, д.б.н., ст.н.с.; Пермяков А.В.¹, к.б.н., ст.н.с.; Щукина Л.В.², м.н.с.; Осипова С.В.¹, д.б.н., в.н.с.; Рудиковская Е.Г.¹, к.б.н., ст.н.с.; Поморцев А.В.¹, к.б.н., ст.н.с.; Пшеничникова Т.А.², к.б.н., зав. сектором.

¹ФГНУ Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН, Иркутск, Россия

²ФИЦ Институт цитологии и генетики СО РАН, Новосибирск, Россия

*email: marperm@rambler.ru

Был исследован потенциал засухоустойчивости у трех линий с интрогрессией фрагментов генома *Triticum timopheevii* в хромосоме 2В пшеницы. В условиях смоделированной почвенной засухи были изучены показатели фотосинтеза, содержание фотосинтетических пигментов, свободного пролина и водорастворимых сахаров, активность антиоксидантных ферментов и липоксигеназы, а также фенологические параметры и компоненты урожая. Было установлено, что присутствие интрогрессии в области, фланкированной маркерами Xgwm120-Xgwm047, в хромосоме 2ВL пшеницы Саратовская 29, может способствовать адаптации к широкому спектру неблагоприятных факторов без ущерба для зерновой продуктивности.

Ключевые слова: пшеница *Triticum aestivum* L., интрогрессия, *Triticum timopheevii*, водный дефицит, стрессоустойчивость.

Effect of *Triticum timopheevii* introgressions in 2B chromosome of bread wheat on drought tolerance

Permyakova M.D.^{1*}, Permyakov A.V.¹, Shchukina L.V.², Osipova S.V.¹, Rudikovskaya E.G.¹, Pomortsev A.V.¹, Pshenichnikova T.A.²

¹Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry SB RAS, Irkutsk, Russia

²Institute of Cytology and Genetics, SB RAS, Novosibirsk, Russia

*email: marperm@rambler.ru

The drought tolerance potential of three lines with introgression of *Triticum timopheevii* genome fragments in regions of wheat chromosome 2B carrying genes for resistance to pathogenic fungi was investigated. Under simulated soil drought the photo-

synthesis rates, the content of photosynthetic pigments, free proline and water-soluble sugars, the activity of antioxidant enzymes and lipoxygenase, as well as phenological parameters and yield components were studied. It was established that introduction of the introgression in the region, flanked by markers Xgwm120-Xgwm047, in the chromosome 2BL of the wheat Saratovskaya 29, can promote tolerance to a wide range of unfavorable factors without compromising grain yield.

Key words: wheat Triticum aestivum L., introgression, Triticum timopheevii, water deficiency, stress tolerance.

Введение: Стратегия адаптивной интрогрессии сосредоточена на создании генотипов, которые обладают широким спектром стрессоустойчивости, поддерживая высокий фотосинтез, темпы роста и урожайность [1]. *Triticum timopheevii* известен как источник генов устойчивости к болезням. Хромосома 2G этого эндемичного злака несет комплекс генов устойчивости к патогенным грибам [2]. Нашей целью было изучение потенциала засухоустойчивости у линий с интрогрессией *T. timopheevii* в хромосоме 2В пшеницы сорта Саратовская 29 (С29).

Материалы и методы: Объектами исследования были засухоустойчивый сорт С29 и три рекомбинантные линии с участками интрогрессии хромосомы 2G *T. timopheevii* в хромосоме 2В сорта С29 (рис. 1).

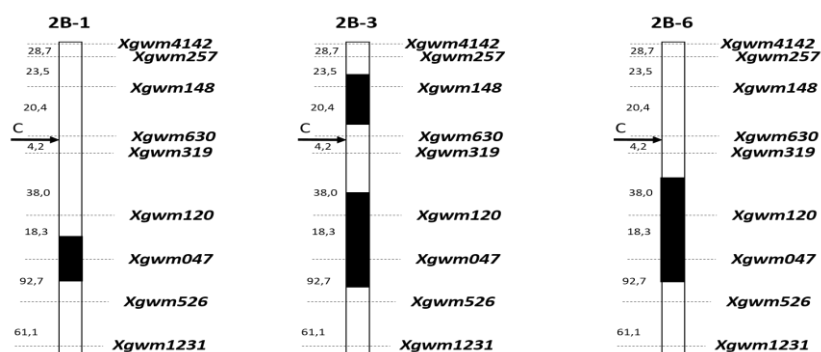


Рис. 1. Схема областей интрогрессий *T. timopheevii* в линиях С29(821 2В)

Выращивание растений в условиях смоделированной почвенной засухи, методы молекулярного анализа и определения параметров подробно описаны ранее [3, 4]. Индекс устойчивости признака к водному дефициту (ИУ %) рассчитывали как отношение среднего значения признака (3–8 биологических повторов) в условиях засухи к среднему значению в контроле в %.

Результаты и обсуждение: *Физиологические параметры.* Сорт С29 независимо от условий водообеспечения показал высокий уровень и стабильность большинства изученных физиологических параметров. В линиях не наблюдалось снижения биомассы и эффективности фотосинтеза при двух режимах водообеспечения. Содержание фотосинтетических пигментов во всех линиях было высоким, а в условиях засухи, подобно сорту-реципиенту, линии показали эффект «stay-green». Все линии превышали исходный сорт по ИУ% параметров Скорость фотосинтеза (СФ)

и Эффективность использования воды (ЭИВ) (рис. 2). Линия C29(821 2В)-3 отличалась значительным увеличением уровня активности дегидроаскорбат редуктазы (ДГАР) в условиях засухи.

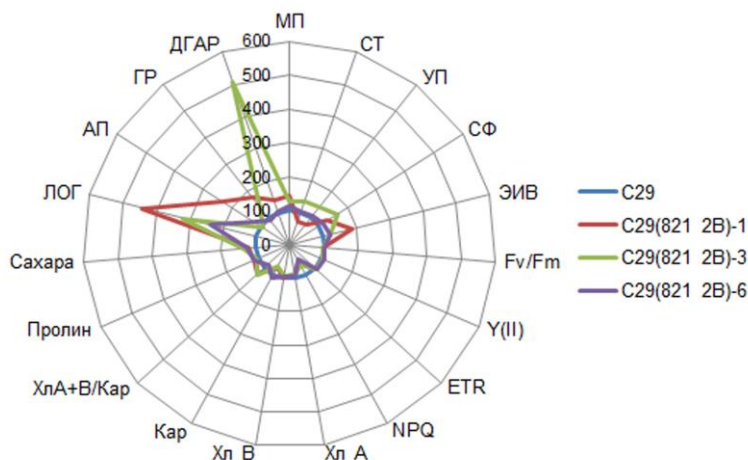


Рис. 2. Индексы устойчивости к засухе физиологических параметров интрогрессивных линий относительно сорта – реципиента. МП – масса побега; СТ – скорость транспирации; УП – устьичная проводимость; СФ – скорость ассимиляции CO_2 или нетто-фотосинтез; ЭИВ – эффективность использования воды; F_v/F_m – максимальный фотохимический квантовый выход в фотосистеме II (ФСII); $Y(II)$ – эффективный фотохимический квантовый выход в ФСII; ETR – скорость электронного транспорта в ФСII; NPQ – нефотохимическое тушение флуоресценции; Хл А, В – содержание хлорофилла А, В; Кар – содержание каротиноидов; ЛОГ, АП, ГР, ДГАР – активность липоксигеназы, аскорбат пероксидазы, глутатион редуктазы, дегидроаскорбат редуктазы

Водный дефицит вызывал у интрогрессивных линий значительное увеличение уровня активности липоксигеназы (ЛОГ) в 2–5 раз превышающее исходный сорт. Это связано с общим для всех линий регионом, обозначенным маркером *Xgwm047*. Интрогрессия в этом регионе также была связана с увеличением содержания пролина и регуляцией активности ферментов антиоксидантной защиты под влиянием засухи.

В отличие от сорта-реципиента интрогрессивные линии показали физиологический ответ на водный дефицит и активацию адаптации. Вероятно, в большой степени это связано жасмонатной (ЖАК) сигнализацией, инициированной ЛОГ. Известно, что сигнальный путь ЖАК участвует как в биотическом, так и абиотическом стрессе растений [5].

Фенологические параметры и компоненты урожая. Все изученные генотипы под влиянием засухи уменьшали число вторичных побегов и связанные параметры – число и вес зерен вторичных побегов (ЧЗВП и ВЗВП), и число зерен с растения (ЧЗР). Линия C29(821 2В)-1 отличалась меньшим снижением ЧЗВП (рис. 3). Интрогрессия у линии C29(821 2В)-3 приводила к снижению числа и веса зерен главного колоса (ЧЗГК и ВЗГК). Однако эта линия значительно превышала сорт-реципиент по ИУ% Крупности зерна (КЗ) и связанных параметров ВЗГК и Масса 1000 зерен (М1000з) (рис. 3). Линия C29(821 2В)-6 превышала C29 по ИУ% тех же параметров,

а также по ИУ% ЧЗГК, ВЗГК и озерненности колоса (ОзК), не уступая исходному сорту по зерновой продуктивности в условиях засухи.

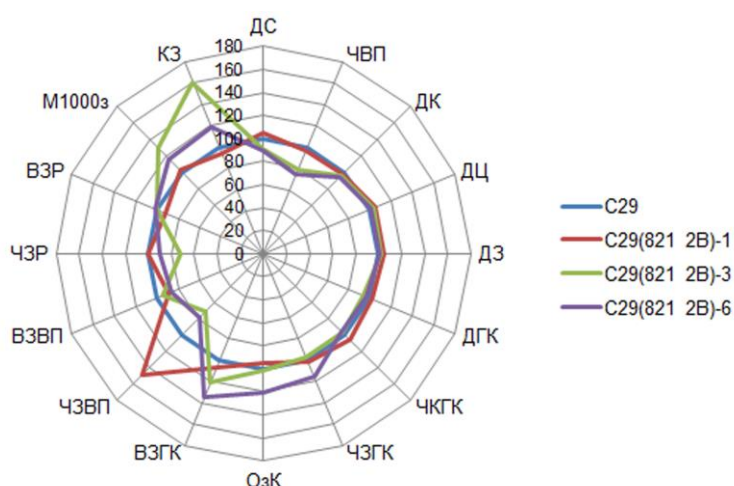


Рис. 3. Индексы устойчивости к засухе фенологических параметров и компонентов урожая интрогрессивных линий относительно сорта-реципиента. ДС – длина стебля; ЧВП – число вторичных побегов; ЧДК – число дней до кущения; ЧДЦ – число дней до цветения; ЧДЗ – число дней до зрелости; ДГК – длина главного колоса; ЧКГК – число колосков главного колоса; ОзК – озерненность колоса (ЧЗГК/ЧКГК); ЧЗГК – число зерен главного колоса; ВЗГК – вес зерен главного колоса; ЧЗВП – число зерен вторичных побегов; ВЗВП – вес зерен вторичных побегов; ЧЗР – число зерен с растения; ВЗР – вес зерен с растения; М1000з – масса 1000 зерен; КЗ – крупность зерна (ВЗГК/ ЧЗГК)

Заметное положительное влияние интрогрессии на продуктивность зерна у линии С29(821 2В)-6 в условиях засухи за счет увеличения озерненности колоса, свидетельствующего об увеличении фертильности, связано с регионом, обозначенном маркером *Xgwm120*. Дополнительная интрогрессия у линии С29(8212В)-3 в коротком плече, в области маркера *Xgwm148*, под влиянием водного дефицита приводила к увеличению размера зерновок, но снижению их числа.

Исходя из литературных данных [6, 7, 8, 9] кластеры генов устойчивости к патогенным грибам расположены в области 690 и 801 Мб хромосомы 2ВL пшеницы, в участке интрогрессии, обозначенном маркером *Xgwm 047*. Эти гены, вероятно, несут благоприятные аллели от высоко иммунного злака *T. timopheevii*. Введение большого набора аллелей генов от *T. timopheevii* в области, фланкированной маркерами *Xgwm120-Xgwm047*, в хромосоме 2ВL пшеницы Саратовская 29, может способствовать адаптации к широкому спектру неблагоприятных факторов без ущерба для зерновой продуктивности.

Финансирование: Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 18-04-00481) с использованием оборудования центров коллективного пользования «Биоаналитика» Сибирского института физиологии растений и биохимии СО РАН и лаборатории искусственного выращивания растений Института цитологии и генетики СО РАН.

Список литературы

- 1 Burgarella C., Barnaud A., Kane N.A., Jankowski F., Scarcelli N., Billot C., Vigouroux Y., Berthouly-Salazar C. Adaptive Introgression: An Untapped Evolutionary Mechanism for Crop Adaptation // Front. Plant Sci. 2019. V. 10. A. 4.
- 2 Devi U., Grewal S., Yang C.-y., Hubbart-Edwards S., Scholefield D., Ashling S., Burrridge A., King I.P., King J. Development and characterisation of interspecific hybrid lines with genome-wide introgressions from *Triticum timopheevii* in a hexaploid wheat background // BMC Plant Biol. 2019. V.19. A.183.
- 3 Пшеничникова Т.А., Пермяков А.В., Осипова С.В., Пермякова М.Д., Рудиковская Е.Г., Верхотуров В.В. Влияние ограниченных интрогрессий от *Triticum timopheevii* Tausch. в геном мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) на физиологические и биохимические признаки в условиях полива и засухи // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2015. Т. 19. № 5. С. 574–580.
- 4 Osipova S., Permyakov A., Konstantinov D. Shchukina L. Rudikovskaya E., Permyakova M., Pshenichnikova T. Variability of photosynthesis parameters and yield in recombinant lines of bread wheat with introgressions from *Triticum timopheevii* into 2A chromosome under different water supply conditions // CRC. 2024. V. 52. № 27. P. 101–113.
- 5 Wasternack C., Hause B. Jasmonates: biosynthesis, perception, signal transduction and action in plant stress response, growth and development. An update to the 2007 review in Annals of Botany // Ann Bot. 2013. V. 111. P. 1021–1058.
- 6 Feng J.Y., Wang M.N., Chen, X.M., See D.R., Zheng Y.L., Chao S.M., Wan A.M. Molecular mapping of YrSP and its relationship with other genes for stripe rust resistance in wheat chromosome 2BL // Phytopathology. 2015. V.105. P. 1206–1213.
- 7 Wessels E., Prins R., Boshoff W. H. P., Zurn J.D., Acevedo M., Pretorius Z.A. Mapping a Resistance Gene To *Puccinia graminis* sp. *tritici* in the Bread Wheat Cultivar 'Matlabas' // Plant Disease. 2019. V. 103. P. 2337–2344.
- 8 Wan W., Xiao J., Li M., Tang X., Wen M., Cheruiyot A.K., Li Y., Wang H., Wang X. Fine mapping of wheat powdery mildew resistance gene *Pm6* using 2B/2G homoeologous recombinants induced by the *ph1b* mutant // Theor Appl Gen. 2020. V.133. P. 1265–1275.
- 9 Kumar K., Jan I., Saripalli G., Sharma P.K., Mir R.R., Balyan H.S., Gupta P.K. An Update on Resistance Genes and Their Use in the Development of Leaf Rust Resistant Cultivars in Wheat // Front. Genet. 2022. V. 13. A. 816057.

DOI 10.18699/GPB2024-64

Аллоплазматические линии (*H. vulgare*)–*T. aestivum* с разным уровнем цитоядерной совместимости: генетические модели и перспективные генотипы для селекции

Першина Л.А.^{1,2*}, д.б.н., г.н.с.; Трубачеева Н.В.^{1,2}, к.б.н., н.с.; Россеева Л.П.³, к.с.-х.н., в.н.с.; Белан И.А.³, к.с.-х.н., в.н.с., зав. лабораторией.

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

²Курчатовский геномный центр ИЦиГ СО РАН, Новосибирск, Россия

³Омский АНЦ, Омск, Россия

*email: pershina@bionet.nsc.ru