кова, И.И. Русакова, В.А. Железникова, Т.П. Градобоева // Российская сельскохозяйственная наука. – 2017. – № 6. – С. 3–6.

4. Сортное районирование сельскохозяйственных культур по Новосибирской области на 2019 год / Филиал ФГБУ «Госсорткомиссия» по Новосибирской области Минист.сельск. хоз. РФ. Новосибирск. 2019. 148 с.

5. Лоскутов И.Г., Ковалева О.Н., Блинова Е.В. Методические указания по изучению и сохранению мировой коллекции ячменя и овса. СПб.: ГНУ ВИР Россельхозакадемии, 2012. 63 с.

6. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) Б.А. Доспехов. – 6-е изд., стер. – М.: ИД Альянс, 2011. – 352с.

DOI 10.18699/GPB2020-111

Молекулярно-генетическая характеристика образцов озимой мягкой пшеницы в связи с селекцией на устойчивость к полеганию

Сычева Е.А.^{1}, Бондаревич Е.Б.¹, Соловей Л.А.¹, Шимко В.Е.¹, Гордей С.И.²,
Дубовец Н.И.¹*

¹*Институт генетики и цитологии Национальной академии наук Беларуси,
г. Минск, Республика Беларусь;*

²*Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию, г. Жодино, Рес-
публика Беларусь.*

**e-mail: E.Sycheva@igc.by*

Изучены кариотипы и аллельное состояние генов короткостебельности Rht-B1, Rht-D1 и Rht8 у 32 сортов и селекционных образцов озимой мягкой пшеницы. Установлено, что 6 образцов содержат в кариотипе транслокацию 1RS.1BL, у 4 образцов выявлена делеция 5BS.5BL-del. В проанализированном селекционном материале преобладали (37,5 %) растения с генотипом Rht-B1a, Rht-D1a, Rht8b. В 18,8 % случаев присутствовал генотип Rht-B1b, Rht-D1a, Rht8b, с одинаковой частотой 9,4 % встречались генотипы Rht-B1a, Rht-D1a, Rht8a / Rht-B1a, Rht-D1b, Rht8a / Rht-B1a, Rht-D1b, Rht8b. Генотипы Rht-B1a, Rht-D1a, Rht8c и Rht-B1a, Rht-D1b, Rht8j выявлены у 6,3 % образцов.

Ключевые слова: озимая мягкая пшеница, устойчивость к полеганию, ДНК-маркеры, кариотип, С-бэндинг.

Molecular Genetic Characteristics of Winter Wheat Varieties and Lines in Connection with Breeding for Lodging Resistance

*Sycheva E.A.¹, Bondarevich E.B.¹, Solovey L.A.¹, Shimko B.E.¹, Gordey S.I.²,
Dubovets N.I.¹*

¹Institute of Genetics and Cytology of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus; ²Scientific and Practical Centre for Arable Farming, Zhodino, Republic of Belarus.

The karyotypes and allelic status of Rht-B1, Rht-D1 and Rht8 genes were studied in 32 winter wheat varieties and breeding lines. It was found that 6 samples contain the 1RS.1BL translocation in the karyotype and 5BS.5BL-del deletion was identified in 4 f samples. Plants with the Rht-B1a, Rht-D1a and Rht8b genotype predominated in the analyzed breeding material (37.5 %). In 18.8 % of cases, the Rht-B1b, Rht-D1a and Rht8b genotype was present. With the same frequency of 9.4 %, Rht-B1a, Rht-D1a, Rht8a / Rht-B1a, Rht-D1b, Rht8a / Rht-B1a, Rht-D1b, Rht8b genotypes were observed. Rht-B1a, Rht-D1a, Rht8c and Rht-B1a, Rht-D1b, Rht8j genotypes were detected in 6.3 % of samples.

Key words: winter wheat, lodging resistance, DNA markers, karyotype, C-banding.

Введение. В селекции мягкой пшеницы на устойчивость к полеганию основным направлением работы является использование генов короткостебельности. У *Triticum aestivum* L. идентифицировано более 20 генов, оказывающих влияние на формирование высоты растения [1], из них в селекции широко используются гены *Rht-B1*, *Rht-D1* и *Rht8*. Для этих локусов выявлены серии множественных аллелей, контролирующих разную степень снижения высоты растения [2–5]. Поскольку гены короткостебельности и их аллели различаются по силе воздействия на развитие растения и влиянию на формирование хозяйственно-ценных признаков, целесообразно проведение узконаправленной селекции сортов и подбор наиболее пригодных для конкретных условий культивирования *Rht* -генов и генотипов.

В статье представлены результаты кариотипирования сортов и селекционных образцов озимой мягкой пшеницы и ДНК-типирования у них генов короткостебельности в связи с селекцией на устойчивость к полеганию в Республике Беларусь.

Материалы и методы исследования. Материалом для исследования послужила коллекция из 16 сортов разного экологического происхождения (Капылянка, Влади, Ода, Канвеер, КВС Малибу, Балитус, Тобак, Проспер, Кубус, Фамулус, Балатон, Побак, Августина, Гирлянда, Этюд, Александр) и 16 селекционных образцов озимой мягкой пшеницы, отобранных в НППЦ НАН Беларуси по земледелию по результатам полевых оценок перезимовки, устойчивости к болезням и урожайности. Для определения геномной структуры экспериментального материала был использован метод дифференциального окрашивания хромосом по Гимза (С-бэндинг) [6]. Выявление аллельного состояния генов короткостебельности *Rht-B1*, *Rht-D1* и *Rht8* проводилось с использованием праймеров в модификации Zhang X. et al. [7].

Результаты исследований. Принимая во внимание тот факт, что в

селекции пшеницы широко используется отдаленная гибридизация, для эффективного планирования селекционной работы большое значение имеет точная информация о хромосомном составе образцов. В ходе исследования установлено, что большинство образцов (21 из 32 образцов) рабочей коллекции озимой пшеницы характеризуются геномной структурой AABBDD ($2n=42$) без структурных перестроек и замещений хромосом. Сорта озимой пшеницы Влади, Августина, Гирлянда и Этюд, а также селекционные образцы ПСИ 17-6 и ПСИ 18-35 содержат в кариотипе в дисомном состоянии пшенично-ржаную транслокацию 1RS.1BL. Образцы ПСИ 17-11, ПСИ 17-26 и сорта КВС Малибу и Проспер несут в дисомном состоянии делецию 5BS.5BL-del. Селекционный образец 084-40/4-11 является неоднородным по хромосомному составу и содержит растения как без хромосомных перестроек, так и с хромосомной абберацией 5BS.5BL-del. в моносомном состоянии.

Анализ коллекции по аллельному составу гена *Rht-B1* показал, что 6 образцов (Александр, Побак, Тобак, КВС Малибу, ПСИ 17-6, ТИТ-18) содержат в гомозиготном состоянии мутантный аллель *Rht-B1b*, обуславливающий снижение высоты растения. Остальные образцы являются гомозиготными по дикому аллелю *Rht-B1a*. Для гена *Rht-D1* выявлено 2 аллеля – *a* и *b*, при этом мутантный аллель короткостебельности *Rht-D1b* присутствовал в генотипе 8-ми проанализированных образцов пшеницы (Ода, Канвеер, Проспер, Кубус, ПСИ 17-26, ПСИ 18-32, ЭтW1, ПСИ 18-22). Для изучения аллельного состояния гена *Rht8* был использован сцепленный с ним микросателлитный локус *Xgwm261*. В ходе фрагментного анализа полученных продуктов ПЦР было установлено, что в исследованном селекционном материале присутствуют пять типов аллелей локуса *Xgwm261*- 164 п.н., 174 п.н., 190 п.н., 192 п.н., 196 п.н. Аллель *Rht8a* (фрагмент 164 п.н.), способствующий увеличению высоты растений на 3-4 см, обнаружен у 6 селекционных образцов. Аллель *Rht8b* (174 п.н.), не оказывающий влияния на целевой показатель, выявлен у большинства исследованных образцов (у 23 из 32 образцов). Коммерчески значимый аллель *Rht8c* (192 п.н.), также как аллель *Rht8j* (196 п.н.), присутствовал у 2-х образцов.

В ходе анализа не выявлено селекционных образцов с комбинациями в генотипе нескольких коммерчески значимых аллелей короткостебельности. В проанализированном селекционном материале с наибольшей частотой (37,5 %) встречался генотип с комбинацией аллелей *Rht-B1a*, *Rht-D1a* и *Rht8b*. В 18,8 % случаев присутствовал генотип *Rht-B1b*, *Rht-D1a*, *Rht8b*, с одинаковой частотой 9,4 % встречались генотипы *Rht-B1a*, *Rht-D1a*, *Rht8a* / *Rht-B1a*, *Rht-D1b*, *Rht8a* / *Rht-B1a*, *Rht-D1b*, *Rht8b*. Генотипы *Rht-B1a*, *Rht-D1a*, *Rht8c* и *Rht-B1a*, *Rht-D1b*, *Rht8j* выявлены у 6,3 % образцов. Преобладание в селекционном материале образцов с аллелями *Rht8b* и *Rht8a* может быть связано с влиянием аллельного состава гена *Rht8* не только на высоту

растений, но и на их морозо- и зимостойкость [8]. Поскольку основным критерием при формировании рабочей коллекции сортов и селекционных образцов озимой пшеницы являлась хорошая перезимовка, а специфика погодных условий года способствовала проведению «жесткого» отбора образцов, то растения с аллелем *Rht8c*, характеризующиеся наименьшей устойчивостью к негативным факторам перезимовки, могли не пройти отбор.

Закключение. В ходе проведенного молекулярно-цитогенетического анализа получена точная информация о хромосомном составе включенных в исследование сортов и селекционных образцов озимой мягкой пшеницы, которую необходимо учитывать при анализе эффектов генов короткостебельности на устойчивость к полеганию, а также при разработке схемы гибридизации. В результате молекулярного анализа не выявлено селекционных образцов с комбинациями нескольких коммерчески значимых аллелей короткостебельности в генотипе. Проведенные исследования позволяют предположить, что отбор по уровню перезимовки может способствовать закреплению в селекционном материале аллеля *Rht8b*, ассоциированного, по видимому, с лучшей зимостойкостью в условиях Беларуси. Это подтверждает важность целенаправленного подбора наиболее эффективных для региона возделывания сочетаний аллелей короткостебельности.

Список литературы

- 1 McIntosh R.A., Yamazaki Y., Dubcovsky J., Rogers J., Morris C., Somers D.J., Appels R. and Devos K.M. Catalogue of Gene Symbols for Wheat. 2012.
- 2 Peng, J.R. 'Green Revolution' Genes Encode Mutant Gibberellin Response Modulators / J.R. Peng, D.E. Richards, N.M. Hartley, G.P. Murphy, K.M. Devos, J.E. Flintham // Nature. – 1999. – V. 400. – P. 256–261.
- 3 Divashuk, M.G. Identity of the *Rht-11* and *Rht-B1e* Reduced Plant Height Genes / M.G. Divashuk, A.V. Vasilyev, L.A. Bepalova, G.I. Karlov // Russian Journal of Genetics. – 2012. – V. 48(7). – P. 761–763.
- 4 Korzun, V. Genetic analysis of the dwarfing gene *Rht8* in wheat. Part I. Molecular mapping of *Rht8* on the short arm of chromosome 2D of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) / V. Korzun, M. Roder, M. Ganal, A.J. Worland // Theoretical and Applied Genetics. – 1998. – V. 96. – P. 1104–1109.
- 5 Liu, Y. Allelic variation, sequence determination and microsatellite screening at the XGWM261 locus in Chinese hexaploid wheat (*Triticum aestivum*) varieties / Y. Liu, D. Liu, H. Zhang, J. Wang, J. Sun, X. Guo, A. Zhang // Euphytica. – 2005. – V. 145. – P. 103–112.
- 6 Badaeva E.D., Badaev N.S., Gill D.S. *et al.* Intraspecific karyotype divergence in *Triticum araraticum* (Poaceae) // Plant Syst Evol. 1994. Vol. 192. No 1. P. 117–145.
- 7 Zhang, X., Yang, S., Zhou, Y., He, Z., Xia, X. Distribution of the *Rht-B1b*, *Rht-D1* and *Rht8* reduced height genes in autumn-sown Chinese wheats detected by molecular markers / X. Zhang [et al.] // Euphytica. – 2006. – Vol. 152, №1. – P. 109–116.
- 8 Эффекты аллелей гена *Rht8* по агрономическим признакам у озимой мягкой пшеницы в условиях степи юга Украины / В.И. Файт [и др.] // Цитология и генетика. – 2007. – Т. 41, № 2. – С. 30–36.