

ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ СОРТООБРАЗЦОВ ГЕНЕТИЧЕСКОЙ КОЛЛЕКЦИИ ОЗИМОЙ РЖИ К КРИТИЧЕСКИ НИЗКИМ ТЕМПЕРАТУРАМ

С.Ю. Павлова, М.Л. Пономарева

ТатНИИСХ ФИЦ КазНЦ РАН,

г. Казань, Российская Федерация, e-mail: swetlanapavlova00@mail.ru

***Аннотация.** Низкие отрицательные температуры в зимний период приносят большой ущерб сельскому хозяйству, снижая урожайность озимых злаков. В ответ на воздействие критических температур у растений вызываются различные физиологические изменения, в результате чего происходит приспособление к дальнейшему воздействию повреждающих температур. В статье приводятся данные о морозостойкости генетической коллекции озимой ржи.*

***Ключевые слова:** озимая рожь, морозостойкость, устойчивость, низкие температуры.*

Введение. Растения подвергаются воздействию различных факторов окружающей среды, как биотических, так и абиотических. Среди абиотических стрессов температурные аномалии являются особенно серьезной проблемой для растениеводства, поскольку оказывают серьезное негативное влияние на урожайность. Критически низкие температуры, особенно при недостаточном снежном покрове на полях, могут стать причиной значительных потерь урожая озимых зерновых культур [1].

Озимая рожь – важнейшая продовольственная и страховая культура во всем мире. Зерно и биомасса этого злака используется для производства хлеба, кормов, а также для растущих потребностей в производстве этанола и биометана в качестве возобновляемого источника энергии [2]. По сравнению с другими зерновыми культурами, рожь обладает лучшей приспособленностью к зимовке и самой высокой устойчивостью к сложным почвенно-климатическим условиям. Из них морозостойкость, т.е. способность переносить низкие температуры, считается основным ограничивающим фактором возделывания озимых культур в большинстве регионов, и главным достоинством озимой ржи. В связи с экономической важностью этого показателя он исследуется в течение многих десятилетий и демонстрирует сложную генетическую регуляцию [3]. Следовательно, селекционный прогресс в улучшении этого признака был медленным, что обусловлено непостоянством возникновения этого типа стресса в разные годы. Дополнительным осложнением при изучении морозоустойчивости является то, что на этот признак могут влиять гены, передающие устойчивость к низким температурам, а также гены развития с плейотропными эффектами [4].

Выносливость озимых культур к морозу повышается в сложной, но вполне закономерной смене определенных этапов развития растений. Процесс закаливания происходит в две фазы. Первая фаза протекает при температуре до +10°C. Вторая фаза закаливания проходит при температуре от 0 до -5°C. После прохождения второго этапа закаливания растениями приобретает высшая морозостойкость.

Озимая рожь является наиболее устойчивой злаковой культурой к низким температурам, способной пережить морозы до -23-24°C. В ответ на действие низких температур в растениях образуется внутриклеточный и внеклеточный лед, который приводит к механической деформации протопластов клеток. Адаптивный механизм у растений проявляется в возрастании содержания легкорастворимых углеводов, выполняющих роль криопротекторов. Наибольшее количество углеводов накапливается в узлах кущения за счет усиления фотосинтеза. Углеводы выполняют защитные функции, которые связаны с промерзанием внеклеточного вещества и стабилизацией белковых компонентов клеток [5].

Молекулярная характеристика линий ржи выявила кластер из двенадцати генов семейства Cbf (C-repeat Binding Factor), локализованных в длинном плече хромосомы 5R [6], которые регулируются под воздействием низких температур [7]. Помимо двух основных локусов Fr-1 и Fr-2, сложная генетическая архитектура, лежащая в основе этого признака, предполагает наличие других генов с небольшим влиянием на морозоустойчивость [8].

Целью данной работы является выявление источников устойчивости из генетической коллекции озимой ржи к низким отрицательным температурам в контролируемых условиях.

Материалы и методы. Исследования морозостойкости проводились на 50 образцах озимой ржи различного эколого-географического происхождения из генетической коллекции, полученных из Всероссийского института генетических ресурсов растений им. Н.И.Вавилова.

Лабораторная оценка устойчивости к низким отрицательным температурам проводилась методом прямого промораживания 10-12 дневных растений, выращенных в пластиковых контейнерах на фитостеллажах при температуре 22-24°C, влажности 40% и круглосуточном освещении. Воздействие критической температурой (-24±1°C) проводили в течение 72 часов в климатической камере Binder 720 МК (E5) (Германия), предварительно освободив корневую систему от почвы. Такой метод обеспечивает прямое воздействие абиотического стресса на растения. Повреждения низкими температурами оценивались визуально для каждого генотипа отдельно с использованием 9-ти балльной шкалы, где 1 балл – повреждения не заметны или же отсутствуют, 9 – полное отсутствие тургора, сильное потемнение в зоне стеблевой части проростка.

Дополнительно для анализа степени повреждения растений использовался метод, основанный на определении соотношения живых и мертвых растений путем окрашивания тканей тетразолием (трифенилтетразолхлорид), который в живых клетках под действием дегидрогеназ превращается в ярко окрашенный формазон малинового или вишневого цвета. Для окрашивания тканей отрезали зону стеблевой части проростка длиной 1 см и заливали 0,5% раствором красителя. Далее образцы в чашках Петри инкубировали 12 часов при комнатной температуре. Выживаемость растений оценивали в процентах от общего числа исследуемых проростков.

Результаты и обсуждения. По данным визуальной оценки при промораживании сортообразцов из коллекции озимой ржи среднее повреждение низкими температурами составляло 2,01 балла, коэффициент вариации достигал 16,8%. Такая величина изменчивости говорит о среднем варьировании показателя морозостойкости среди изучаемого генофонда. Анализ результатов показал, что образец Toseuchi проявил себя как наиболее морозоустойчивый сорт со средним значением 1,2 баллов. Стандартный сорт озимой ржи Тантана также имел низкий балл повреждения низкими температурами. Кроме этого, были выделены морозоустойчивые сорта такие как Огонек, Этеч, Рушник 2, Амило 2, Снежана 2, Ника 4, Грань, Малко, Державинская 50, Jan An (рисунок 1).

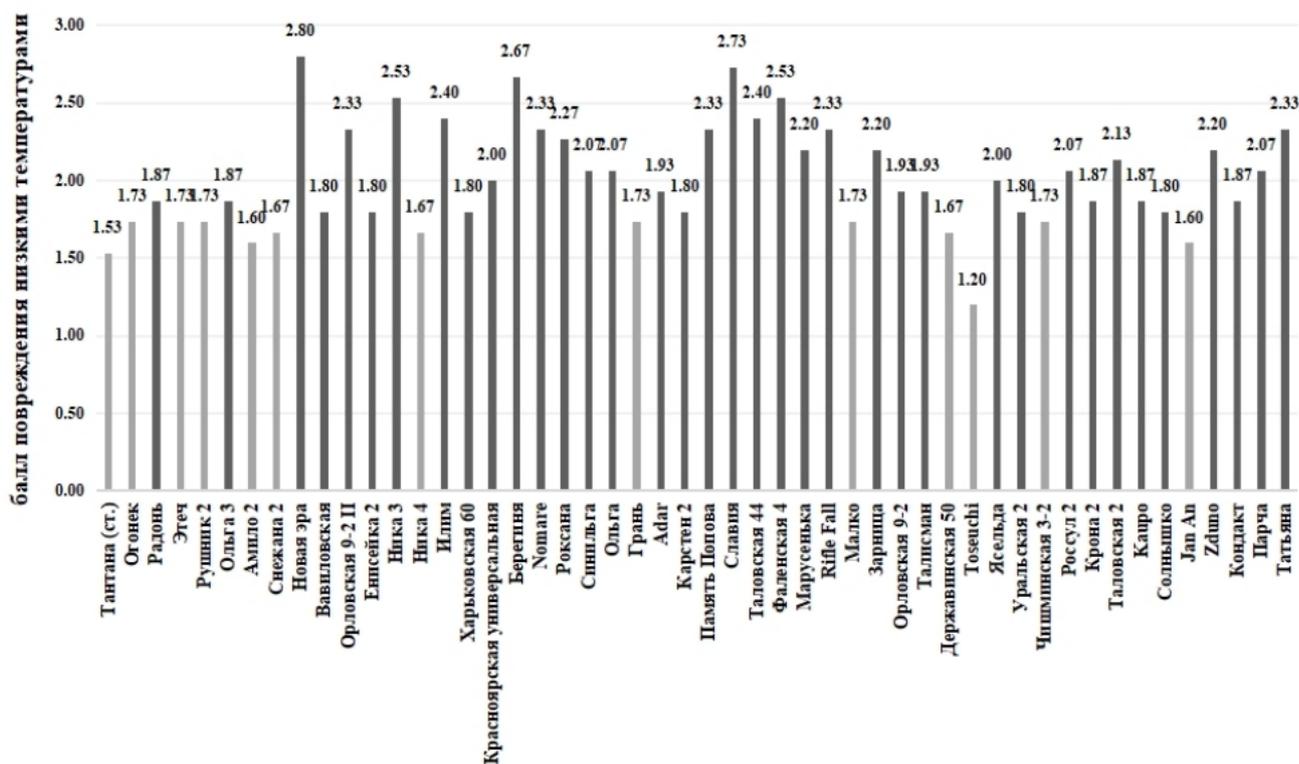


Рисунок 1. Повреждение образцов озимой ржи низкой температурой (промораживание в климатической камере при температуре -24°C)

К числу наиболее поврежденных низкими температурами отнесены низкопентозановые линии Новая Эра, Славия, Берегиня, Ника 3 и Фаленская 4.

По итогам окрашивания растений тетразолием было выявлено, что сортообразцы из генетической коллекции озимой ржи имеют достаточно высокую устойчивость к данной температуре. Результаты исследования показали, что сохранность растений колебалась в пределах от 66,7% до 100%. К группе с самым низким показателем морозостойкости были отнесены 4 образца озимой ржи с выживаемостью от 66,7% до 73,3% (Синильга, Рушник 2, Грань и польский сорт Adar). К классу средней устойчивости были отнесены 25 сортообразцов с результатами от 75,9% до 90,0%. Высокая устойчивость была выявлена у 21 опытного сортообразца (92,6%-100%) (рисунок 2). Максимальная жизнеспособность после промораживания и окраски тетразолом выявлена у 11 сортов: Этеч, Снежана 2, Харьковская 60, Память Попова, Славия, Малко, Крона 2, Солнышко, Jan An, Парча и Татьяна.

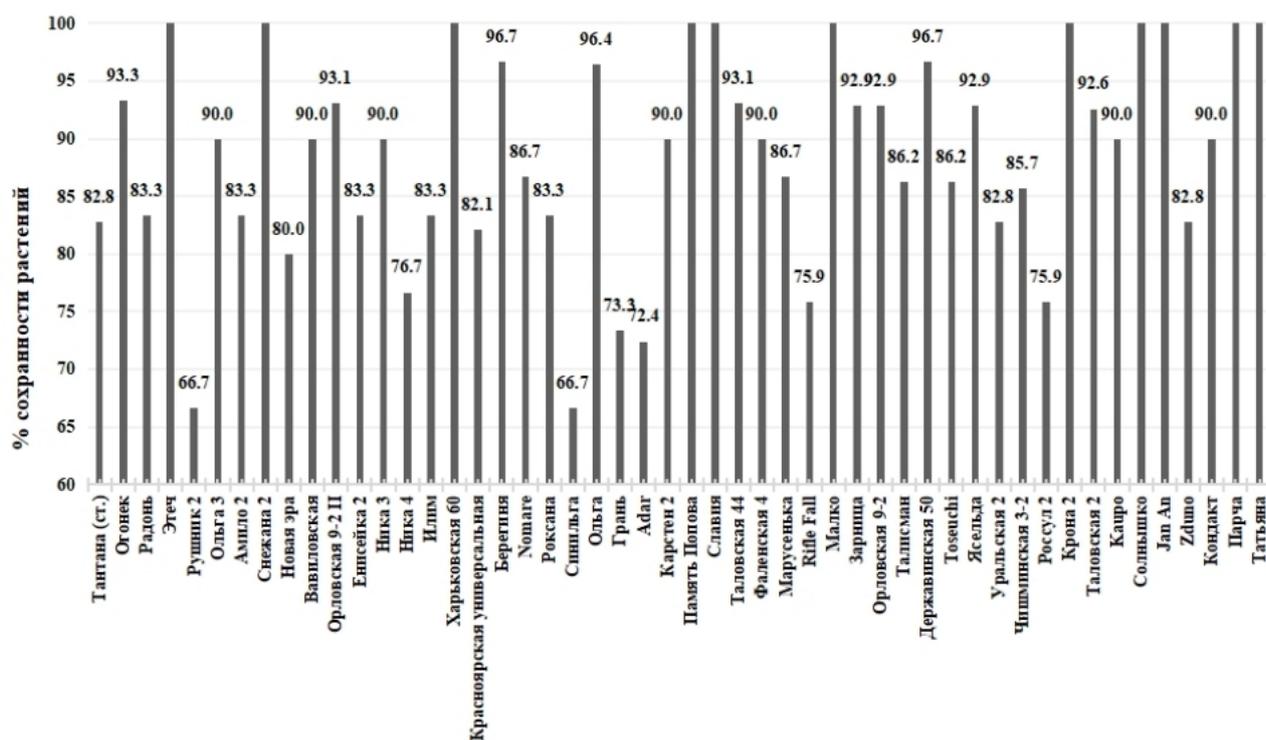


Рисунок 2. Сохранность образцов генколлекции озимой ржи по результатам окрашивания тетразолием

Таким образом, на основании проведенных исследований можно сделать вывод, что сортообразцы озимой ржи из генетической коллекции характеризуются высокой морозостойкостью при температуре промораживания -24°C , при этом генотипическая изменчивость этого показателя умеренная. Наиболее устойчивыми к низким температурам оказались российские сортообразцы Тантана, Огонек, Этеч, Рушник 2, Амило 2, Снежана 2, Ника 4, Державинская 50, Грань и зарубежные сорта Toseuchi, Малко, Jan An. Повреждение растений после промораживания было наименьшим у отечественных сортов Этеч, Снежана 2, Память Попова, Славия, Крона 2, Солнышко, Парча, Татьяна и иностранных сортообразцов Харьковская 60, Малко, Jan An. Комплексной устойчивостью к критически отрицательным температурам по обоим признакам обладали сорта Этеч, Снежана 2, Малко и Jan An.

Библиографический список

1. Sadura I, Janeczko A. Brassinosteroids and the Tolerance of Cereals to Low and High Temperature Stress: Photosynthesis and the Physicochemical Properties of Cell Membranes. *Int J Mol Sci.* 2021;23(1):342. Published 2021 Dec 29. doi:10.3390/ijms23010342.
2. Geiger, H., Miedaner, T. (2009). Rye (*Secale cereale* L.). In: Carena, M. (eds) Cereals. Handbook of Plant Breeding, vol 3. Springer, New York, NY. https://doi.org/10.1007/978-0-387-72297-9_4
3. Galiba, G., Vágúfalvi, A., Li, C., Soltész, A., & Dubcovsky, J. (2009). Regulatory genes involved in the determination of frost tolerance in temperate cereals. *Plant Science*, 176(1), 12–19. doi:10.1016/j.plantsci. 2008.09.01
4. Limin, A.E., Fowler, D.B. Low-temperature tolerance and genetic potential in wheat (*Triticum aestivum* L.): response to photoperiod, vernalization, and plant development. *Planta* 224, 360–366 (2006). <https://doi.org/10.1007/s00425-006-0219-y>
5. Поморцев А.В., Грабельных О.И., Дорофеев Н.В., Пешкова А.А., Войников В.К. Связь морозостойкости озимых зерновых с интенсивностью дыхания и содержанием водорастворимых углеводов в течение осенне-весеннего периода. *Journal of stress physiology & biochemistry*, выпуск 9 №4, 2013.

6. Campoli C, Matus-Cadiz MA, Pozniak CJ, Cattivelli L, Fowler DB (2009) Comparative expression of Cbf genes in the Triticeae under different acclimation induction temperatures. *Mol Genet Genomics* 282: 141–152. doi:10.1007/s00438-009-0451-9
7. Li Y, Böck A, Haseneyer G, Korzun V, Wilde P, et al. (2011) Association analysis of frost tolerance in rye using candidate genes and phenotypic data from controlled, semi-controlled, and field phenotyping platforms. *BMC Plant Biol* 11: 146. doi:10.1186/1471-2229-11-146
8. Zhao Y, Gowda M, Wuerschum T, Longin CFH, Korzun V, et al. (2013) Dissecting the genetic architecture of frost tolerance in Central European winter wheat. *J Exp Bot* 64: 4453–4460. doi:10.1093/jxb/ert259