



Метод ранней диагностики устойчивости сортов пшеницы к совместному действию хлоридного засоления и инфицирования *B. sorokiniana*

(✉) Гурова Т.А., Чесноченко Н.Е.

Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук
Новосибирская область, р.п. Краснообск, Россия

(✉) e-mail: guro-tamara@yandex.ru

Представлены результаты разработки метода ранней диагностики устойчивости сортов пшеницы к совместному действию хлоридного засоления и инфицирования возбудителем обыкновенной корневой гнили злаков *Bipolaris sorokiniana* Shoem (*B. sorokiniana*) по выходу электролитов из листовой ткани проростков. Исследования проводили в 2022, 2023 гг. на четырех сортах мягкой яровой пшеницы. Проростки выращивали из инфицированных патогеном трехсуточных проросших семян на растворе хлорида натрия (опыт) и на водопроводной воде (контроль) в заданных климатических условиях. Реакцию сортов на стресс определяли по относительному изменению удельной электропроводности (УЭП) водных вытяжек листьев на кондуктометрической установке edge EC, HANNA Instruments (Германия). Экспериментально определены условия подготовки образцов, обеспечивающих максимальные межсортные различия: размер нарезки листовой ткани – 1,5 мм, соотношение листовой ткани и воды – 1 : 40, время экспозиции образцов в дистиллированной воде не менее 1,5 ч. Проведенная оценка устойчивости сортов пшеницы показала большую дифференцирующую способность разработанного метода и наибольшие межсортные различия по сравнению с морфофизиологическим методом. Выборочные средние для относительных изменений УЭП водных вытяжек листовой ткани сортов различались в 2,6–7,3 раза, показателей длины и биомассы ростков и корней у данных сортов – в 1,2–2,3 раза. Коэффициент корреляции рангов Спирмена между показателями устойчивости сортов составил $r_s = 0,88$ при $p \leq 0,01$. Результаты диагностики устойчивости исследованных сортов пшеницы по ростовым процессам и УЭП водных вытяжек листьев совпали. Выявлена сортоспецифичность: сорт Новосибирская 18 менее устойчив, Омская 18, Сибирская 21 и Новосибирская 44 более устойчивы к исследуемому совместному стрессу. Сделан вывод о возможности применения разработанного метода по выходу электролитов листьев для ранней диагностики (фенотипирования) сортов пшеницы по устойчивости к совместному действию *B. sorokiniana* и хлоридного засоления.

Ключевые слова: пшеница, сорт, устойчивость, совместный стресс, выход электролитов, удельная электропроводность

The method of early diagnostics of wheat varieties resistance to combined action of chloride salinity and *B. sorokiniana* infection

(✉) Gurova T.A., Chesnochenko N.E.

Siberian Federal Scientific Centre of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences
Krasnoobsk, Novosibirsk Region, Russia

(✉) e-mail: guro-tamara@yandex.ru

The article presents the results of developing a method for early diagnostics of wheat variety resistance to the combined effects of chloride salinity and infection with the causative agent of common root rot of cereals *Bipolaris sorokiniana* Shoem. (*B. sorokiniana*) based on the release of electrolytes

from the leaf tissue of seedlings. The studies were carried out in 2022 and 2023 on four varieties of soft spring wheat. The seedlings were grown from three-day-old germinated seeds infected with the pathogen in a sodium chloride solution (experiment) and in tap water (control) under given climatic conditions. The response of the varieties to stress was determined by the relative change in the specific electrical conductivity (SEC) of aqueous leaf extracts using an edge EC conductometric setup, HANNA Instruments (Germany). The conditions for preparing the samples that ensure maximum intervarietal differences were determined experimentally: the size of the leaf tissue cut is 1.5 mm, the ratio of leaf tissue to water is 1:40, the exposure time of the samples in distilled water is at least 1.5 hours. The conducted assessment of the resistance of wheat varieties showed a greater differentiating ability of the developed method and the greatest intervarietal differences compared to the morphophysiological method. The sample means for relative changes in the SEC of the aqueous extracts of leaf tissue of the varieties differed by 2.6–7.3 times, and the length and biomass of the shoots and roots in these varieties differed by 1.2–2.3 times. The Spearman rank correlation coefficient between the resistance indicators of varieties was $r_s = 0.88$ at $p \leq 0.01$. The results of diagnostics of the resistance of the studied wheat varieties according to growth processes and the SEC of aqueous leaf extracts coincided. Variety specificity was revealed: the Novosibirskaya 18 variety is less resistant, Omskaya 18, Sibirsкая 21 and Novosibirskaya 44 are more resistant to the studied combined stress. A conclusion was made about the possibility of using the developed method for the release of leaf electrolytes for early diagnostics (phenotyping) of wheat varieties for resistance to the combined action of *B. sorokiniana* and chloride salinity.

Keywords: wheat, variety, resistance, combined stress, electrolyte leakage, electrical conductivity

Для цитирования: Гурова Т.А., Чесноченко Н.Е. Метод ранней диагностики устойчивости сортов пшеницы к совместному действию хлоридного засоления и инфицирования *B. sorokiniana* // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2025. Т. 55. № 8. С. 17–28. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2025-8-2>

For citation: Gurova T.A., Chesnochenko N.E. The method of early diagnostics of wheat varieties resistance to combined action of chloride salinity and *B. sorokiniana* infection. *Sibirskii vestnik sel'skhoz'yastvennoi nauki* = *Siberian Herald of Agricultural Science*, 2025, vol. 55, no. 8, pp. 17–28. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2025-8-2>

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

ВВЕДЕНИЕ

В природных условиях растительные организмы, в том числе мягкая яровая пшеница, подвержены влиянию совместного действия стрессовых факторов среды (биотических и абиотических) в различных сочетаниях и дозах с последовательным или одновременным проявлением. Комплексное воздействие повреждающих факторов, таких как обыкновенная корневая гниль злаков (возбудитель *B. sorokiniana*), одного из самых распространенных и вредоносных заболеваний мягкой яровой пшеницы, а также засоление почв, в том числе хлоридное, снижают продуктивность и ухудшают качество зерна, что ограничивает сельскохозяйственное производство культуры во всем мире [1–3]. Стрессо-

вые взаимодействия между абиотическими и биотическими факторами станут более распространенными в связи с наблюдаемыми и прогнозируемыми изменениями климата [4].

Важным экономическим условием повышения урожайности мягкой яровой пшеницы является создание и возделывание сортов, устойчивых к совместному действию стрессоров, в том числе к *B. sorokiniana* и хлоридному засолению. Диагностика стрессоустойчивости сортов, особенно ранняя, – одно из основных звеньев в отборе селекционного материала при создании новых сортов и применении их в агротехнологиях¹ [5–7].

В полевых условиях диагностика стрессоустойчивости сельскохозяйственных культур по депрессии урожая является довольно

¹Гурова Т.А., Осипова Г.М. Проблема сопряженной стрессоустойчивости растений при изменении климата в Сибири // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2018. Т. 48. № 2. С. 81–92.

трудоемким и продолжительным по времени процессом в связи с невозможностью моделирования ежегодной одинаковой нагрузки стрессовых воздействий². В связи с этим часто диагностику стрессоустойчивости проводят в лабораторных условиях косвенными методами по изменению физиологических, биохимических и биофизических параметров растений [8–10].

Известны методы лабораторной диагностики устойчивости сортов пшеницы к *B. sorokiniana* и солеустойчивости зерновых культур: косвенные биофизические методы по оптическим и электрофизическим параметрам^{3–5}, а также прямые методы диагностики по морфофизиологическим и фитопатологическим показателям проростков^{6, 7}. Данными методами можно оценивать коллекционный и селекционный материал мягкой яровой пшеницы только к одному виду стрессора – или к *B. sorokiniana*, или к хлоридному засолению. В основу предлагаемого метода положены теоретически обоснованное и экспериментально установленное нами увеличение проницаемости клеточных мембран растительных тканей при совместном действии *B. sorokiniana* и хлоридного засоления. Выявлены зависимости изменения проницаемости клеточных мембран проростков от устойчивости сортов мягкой яровой пшеницы [11, 12]. Изменения проницаемости клеточных мембран оценивают кондуктометрическим методом путем измерения электропроводности электролитов, вышедших через поврежденные клеточные мембраны из растительных тканей в дистиллированную воду, что может являться показателем стрессоустойчивости сорта [13–15].

Одно из наиболее существенных требований, предъявляемых к методу диагностики, – его дифференцирующая способность. Она определяется достоверностью оценки устойчивости близкородственных объектов (сорта одной культуры, растения из одной сортовой популяции). В связи с этим в эксперименте необходим выбор режимов (условий) стрессовых воздействий, обеспечивающих наибольшую амплитуду проявления сортовых различий. Ранее нами установлены в качестве действующего фактора патогенная структура возбудителя – конидиальная суспензия *B. sorokiniana*, уровень стрессовой нагрузки, способ и время ее действия, а также концентрация хлорида натрия и возраст проростков как методические приемы для получения максимальных межсортовых различий [11].

Цель работы – экспериментально установить методические приемы подготовки образцов и измерений УЭП и разработать метод ранней диагностики устойчивости сортов мягкой яровой пшеницы к совместному действию *B. sorokiniana* и хлоридного засоления.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Экспериментальная работа выполнена в Сибирском физико-техническом институте Сибирского федерального научного центра агробиотехнологий Российской академии наук (СибФТИ СФНЦА РАН) в лаборатории физических процессов в агрофитоценозах.

Для разработки методических приемов кондуктометрических измерений, обеспечи-

²Гончарова Э.А., Еремин Г.В., Гасанова Т.А. Экспресс-методы оценки стрессоустойчивости сельскохозяйственных культур и стратегия их диагностики для селекции // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. 2015. № 5. С. 21–24.

³Диагностика устойчивости растений к стрессовым воздействиям: метод. руководство / под ред. Г.В. Удовенко. Л., 1988. С. 85–97.

⁴Пат. № 2446671 Российская Федерация. МПК А01G 7/00 (2006.01), А01G 1/00 (2006.01), А01Н 1/04 (2006.01) Способ определения относительной устойчивости сортов мягкой яровой пшеницы к хлоридному засолению; № 2010125443/13 / Гурова Т.А., Березина В.Ю., Куцерубова Н.С.; заявл. 21.06.2010; опубл. 10.04.2012. 11 с.

⁵Пат. № 2625027 Российская Федерация. МПК С12N 1/14(2006.01), А01Н 5/12(2006.01). Способ определения относительной устойчивости сортов мягкой яровой пшеницы к возбудителю обыкновенной корневой гнили злаков; № 2015135418 / Гурова Т.А., Альт В.В., Луговская О.С.; заявл. 20.08.2015; опубл. 27.02.2017. 13 с.

⁶Бенкен А.А., Хрустовская В.Н. Лабораторная оценка болезнеустойчивости растений и паразитических свойств возбудителей обыкновенной корневой гнили злаков // Труды ВНИИЗР. Л., 1977. Вып. 56. С. 9–13.

⁷Удовенко Г.В., Гончарова Э.А. Эффективные экспресс-методы оценки сортовой и индивидуальной устойчивости растений к экстремальным условиям // Доклады ВАСХНИЛ. 1982. № 7. С. 13–19.

вающих максимальные межсортные различия при диагностике стрессоустойчивости яровой пшеницы, проведены лабораторные опыты в рулонной культуре (см. сноску 3) на фоне моделируемого совместного действия хлорида натрия и *B. sorokiniana* на проростки районированных сортов яровой пшеницы Новосибирская 44, Новосибирская 18, Сибирская 21 селекции СибНИИРС – ИЦиГ СО РАН и Омская 18 селекции Омского АНЦ.

Экспериментально устанавливали условия подготовки образцов и измерений УЭП водных вытяжек листьев: определение размера нарезки листовой ткани, соотношение листовой ткани и воды, время экспозиции растительных образцов в дистиллированной воде. Исследования проводили на контрастных по устойчивости сортах Омская 18 и Новосибирская 18. Для выяснения зависимости УЭП от размера нарезок делали из средней части первого листа проростков пшеницы нарезки размером 1,5 мм и 1,0 см и сравнивали УЭП сортов при разных временах экспозиции нарезок в дистиллированной воде (1,5 и 24 ч). Для установления зависимости УЭП от массового соотношения дистиллированной воды и листовой ткани готовили разведения в соотношении 1 : 40, 1 : 30, 1 : 20, 1 : 10. Для установления зависимости УЭП от длительности экспозиции листовой ткани в воде использовали время подготовки образцов 0,5; 1,5; 3,0 и 4,5 ч.

Варианты опытов:

- контроль (без стрессовой нагрузки);
- инфицирование семян: *B. sorokiniana* + хлоридное засоление.

Уровни стрессовых нагрузок, позволяющие дифференцировать сорта пшеницы при оценке их устойчивости к совместному стрессу, были следующими: конидиальная суспензия *B. sorokiniana* 5000 конидий на зерно, концентрация хлорида натрия (NaCl) 1,3% [11]. Уровни стрессовых нагрузок установлены нами ранее в специально проведенных вегетационных опытах.

Растения выращивали в рулонной культуре на водопроводной воде (вариант – контроль) и хлориде натрия (вариант – инфицирование семян *B. sorokiniana* + хлоридное засоление) в климатической камере «Биотрон-7» (разработка СибФТИ СФНЦА РАН) при фотопериоде день – ночь 16 и 8 ч соответственно, освещенности 253,0 и 0 мкмоль м⁻² с⁻¹ (день – ночь), температуре 22 и 18 °С (день – ночь), влажности 60%.

Затем из листьев проростков готовили водные вытяжки. УЭП водных вытяжек листьев измеряли на кондуктометрической установке edge EC, HANNA Instruments (Германия).

Сравнительную оценку устойчивости сортов пшеницы проводили разрабатываемым методом и по ростовым показателям и накоплению сырой и сухой биомассы проростков⁸. Реакцию сорта определяли по относительному изменению (*K*) измеряемых параметров проростков после экспозиции растений в условиях комбинированного стресса:

$$K = \frac{|A_O - A_K|}{A_K} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где A_K – параметр контрольных образцов; A_O – параметр опытных образцов.

Чем меньше показатель (*K*), тем устойчивее сорт в исследуемой группе сортов.

Аналитическая повторность опытов шестикратная, биологическая – трехкратная. Репрезентативная выборка – 200 проростков в каждом варианте опыта. Экспериментальные данные математически обрабатывали с помощью стандартных статистических программ. Ошибка среднего не превышала 1,5–2,0%.

Для определения значимости различий средних значений использовали *t*-критерий Стьюдента. Средние значения рассчитывали по всему массиву экспериментальных данных. Проведено три серии экспериментов.

⁸Гурова Т.А., Денисюк С.Г., Луговская О.С., Свежинцева Е.А., Минеев В.В. Методические положения ранней диагностики устойчивости яровой пшеницы и ячменя к совокупному действию стрессоров. Новосибирск: СФНЦА РАН, 2017. 62 с.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Разработка методических приемов кондуктометрических измерений

Изменение электропроводности водных вытяжек листьев проростков в зависимости от размера нарезок. Роль измельчения нарезок листьев необходимо учитывать, так как с увеличением числа пораненных клеток не только возрастает переход в воду содержимого, но имеет место длительное повышение проницаемости, связанное с раздражением клеток, соседних с поврежденными^{9, 10}. Нами установлено, что увеличение размера нарезок приводило к достоверному ($p \leq 0,05$) снижению УЭП в контрольных вариантах обоих сортов при экспозиции 1,5 и 24 ч, а также в опытных вариантах сорта Омская 18 (см. табл. 1). У сорта Новосибирская 18 в опытных вариантах УЭП увеличилась на 13,4% при размере нарезок в 1,0 см и времени экспозиции образцов 24 ч. Вари-

абельность результатов значительно возрас- тала при времени экспозиции образцов 24 ч и обоих размерах нарезок ($p \leq 0,05$). В варианте со временем экспозиции образцов 1,5 ч вариабельность результатов была достоверно ($p \leq 0,05$) выше при размерах нарезок 1,0 см. Межсортовые различия при времени экспозиции образцов 1,5 ч составляли в вариантах 1,5 мм и 1,0 см 1,7 и 1,3 раза соответственно. На основании данных результатов определен размер нарезок 1,5 мм в качестве методического приема разработки метода оценки стрессоустойчивости сортов.

Изменение удельной электропроводности водных вытяжек листьев проростков в зависимости от соотношения испытуемого материала и воды. Массовое соотношение нарезок листьев и дистиллированной воды оказывает влияние на результаты определения экзосмоса электролитов из листовой ткани в дистиллированную воду. Изменение концентрации электролитов в растворе мо-

Табл. 1. Удельная электропроводность водных вытяжек листьев мягкой яровой пшеницы в зависимости от размера нарезок листьев и времени экспозиции образцов в контроле и при совместном действии хлоридного засоления и конидиальной суспензии *B. sorokiniana*, УЭП $\times 10^{-3}$ См/м ($M \pm m$)

Table 1. Specific electrical conductivity of aqueous extracts of soft spring wheat leaves depending on the size of leaf cuttings and the exposure time of the samples in the control and under the combined action of chloride salinity and conidial suspension of *B. sorokiniana*, EC $\times 10^{-3}$ Sm/m ($M \pm m$)

Вариант	Время экспозиции образцов			
	1,5 ч		24 ч	
	1,5 мм	1 см	1,5 мм	1 см
<i>Новосибирская 18</i>				
Контроль	4,20 $\pm$ 0,05	2,60 $\pm$ 0,04	11,70 $\pm$ 0,53	5,80 $\pm$ 0,07
Коэффициент вариации, %	2,65	5,16	6,45	10,99
Конидиальная суспензия <i>B. sorokiniana</i> + NaCl	31,90 $\pm$ 0,60*	25,10 $\pm$ 0,50*	59,2 $\pm$ 1,8*	67,1 $\pm$ 2,1*
Коэффициент вариации, %	2,23	3,44	5,74	17,71
<i>Омская 18</i>				
Контроль	3,7 $\pm$ 0,08	1,50 $\pm$ 0,03	7,40 $\pm$ 0,36	2,44 $\pm$ 0,17
Коэффициент вариации, %	3,36	5,33	11,9	17,62
Конидиальная суспензия <i>B. sorokiniana</i> + NaCl	18,80 $\pm$ 0,14*	11,10 $\pm$ 0,20*	35,30 $\pm$ 0,30*	19,70 $\pm$ 0,90*
Коэффициент вариации, %	1,86	6,50	2,07	11,65

Примечание. Здесь и в табл. 2 и 3: *различия с контролем достоверны на 5%-м уровне значимости. Представлены средние значения данных и их стандартные ошибки.

⁹Коваль С.Ф., Шаманин В.П. Растение в опыте: монография. Омск: ИЦиГ СО РАН, ОмГАУ, 1999. 204 с.

¹⁰Грищенко Н.Н., Лукаткин А.С. Определение устойчивости растительных тканей к абиотическим стрессорам с использованием кондуктометрического метода // Поволжский экологический журнал, 2005. № 1. С. 3–11.

жет привести к существенным нарушениям измеряемых параметров (см. сноску 10). В связи с этим одним из приемов постановки метода является выбор соотношения растительной ткани и воды, обладающего наименьшим внутрисортным варьированием и обеспечивающего наибольшие межсортные различия. Результаты изменения УЭП в зависимости от массового соотношения листовой ткани и воды приведены в табл. 2.

Установлено, что с уменьшением соотношения листовой ткани и воды увеличивается вариабельность результатов, так как получаемые вытяжки представляют собой сильно разбавленные растворы электролитов, поэтому соотношение дистиллированной воды, которую добавляют для получения вытяжек, и массы листовой ткани должно составлять не менее 1 : 40. Внутрисортные различия составляли при данном соотношении у сортов Новосибирская 18 и Омская 18 – 6,8 и 5,0 раза соответственно.

Изменение удельной электропроводности нарезок листьев в зависимости от длительности экспозиции листовой ткани в воде. Длительность экспозиции листовой ткани в воде, как установлено нами экспериментально, должна составлять не менее 1,5 ч

(см. табл. 3).

За это время происходит выход электролитов из свободного пространства и цитоплазмы клеток растительной ткани в дистиллированную воду. При меньшем периоде экспозиции происходит выход электролитов только из свободного пространства клетки апопласта [11]. Наименьшая вариабельность результатов также отмечена после 1,5-часовой экспозиции образцов в дистиллированной воде. Межсортные различия, установленные на времени экспозиции 1,5; 3,0; 4,5 ч, были примерно одинаковыми и составляли 1,5; 1,66 и 1,67 раза соответственно. Однако увеличение времени экспозиции приводит к неоправданному возрастанию продолжительности процедуры оценки образцов и снижению производительности.

*Разработка метода ранней диагностики устойчивости сортов мягкой яровой пшеницы к совместному действию *B. sorokiniana* и хлоридного засоления.* Разработанный метод реализуется следующим образом.

*Подготовка инфекционного материала *B. sorokiniana*.* Для подготовки инфекционного материала изоляты *B. sorokiniana* культивируют на твердой питательной среде Чапека в течение 14–15 сут. К этому времени

Табл. 2. Удельная электропроводность водных вытяжек листьев мягкой яровой пшеницы в зависимости от массового соотношения дистиллированной воды и образца листовой ткани в контроле и при совместном действии хлоридного засоления и конидиальной суспензии *B. sorokiniana*, УЭП $\times 10^{-3}$ См/м ($M \pm m$)

Table 2. Specific electrical conductivity of aqueous extracts of soft spring wheat leaves depending on the mass ratio of distilled water and leaf tissue sample in the control and under the combined action of chloride salinity and conidial suspension of *B. sorokiniana*, EC $\times 10^{-3}$ Sm/m ($M \pm m$)

Вариант	Массовое соотношение вода – образец листьев			
	1 : 40	1 : 30	1 : 20	1 : 10
<i>Новосибирская 18</i>				
Контроль	4,14 $\pm$ 0,05	5,42 $\pm$ 0,12	6,85 $\pm$ 0,07	7,43 $\pm$ 0,02
Коэффициент вариации, %	2,65	4,24	2,68	0,68
<i>B. sorokiniana</i> + NaCl	28,10 $\pm$ 0,26*	35,46 $\pm$ 0,54*	37,75 $\pm$ 0,51*	42,70 $\pm$ 0,78*
Коэффициент вариации, %	1,23	3,07	2,49	5,52
<i>Омская 18</i>				
Контроль	3,73 $\pm$ 0,08	3,83 $\pm$ 0,19	4,35 $\pm$ 0,03	5,45 $\pm$ 0,09
Коэффициент вариации, %	5,36	10,97	1,38	6,92
<i>B. sorokiniana</i> + NaCl	18,82 $\pm$ 0,14*	23,34 $\pm$ 0,38*	27,64 $\pm$ 0,21*	30,62 $\pm$ 0,33*
Коэффициент вариации, %	1,86	3,64	1,52	3,84

Табл. 3. Удельная электропроводность водных вытяжек листьев мягкой яровой пшеницы изученных сортов в зависимости от времени подготовки образцов в контроле и при совместном действии хлоридного засоления и конидиальной суспензии *B. sorokiniana*, УЭП $\times 10^{-3}$ См/м ($M \pm m$)

Table 3. Specific electrical conductivity of aqueous extracts of soft spring wheat leaves of the studied varieties depending on the time of sample preparation in the control and under the combined action of chloride salinity and conidial suspension of *B. sorokiniana*, EC $\times 10^{-3}$ Sm/m ($M \pm m$)

Вариант	Время подготовки образцов, ч			
	0,5	1,5	3,0	4,5
<i>Новосибирская 18</i>				
Контроль	3,20 $\pm$ 0,12	4,20 $\pm$ 0,24	3,20 $\pm$ 0,06	3,40 $\pm$ 0,11
Коэффициент вариации, %	8,70	4,00	4,72	7,92
<i>B. sorokiniana</i> + NaCl	27,30 $\pm$ 0,20*	41,20 $\pm$ 0,22*	49,80 $\pm$ 0,28*	52,00 $\pm$ 1,30*
Коэффициент вариации, %	6,10	1,29	2,48	1,98
<i>Омская 18</i>				
Контроль	2,30 $\pm$ 0,04	3,80 $\pm$ 0,08	3,20 $\pm$ 0,10	3,30 $\pm$ 0,05
Коэффициент вариации, %	4,91	3,96	2,39	3,48
<i>B. sorokiniana</i> + NaCl	14,70 $\pm$ 0,33*	26,80 $\pm$ 0,57*	31,60 $\pm$ 0,48*	30,90 $\pm$ 0,49*
Коэффициент вариации, %	4,97	4,22	3,99	4,78

на колониях гриба образуется наибольшее количество жизнеспособных конидий¹¹. Затем в пробирку с культурой гриба наливают 0,1%-й водный агар, встряхивают и готовят конидиальную суспензию для инфицирования семян пшеницы. Инфицирование семян конидиальной суспензией обеспечивает непосредственный контакт возбудителя с растением-хозяином, что приближает условия эксперимента к естественным и дает возможность грибу проявлять свои патогенные свойства, т.е. вызывать симптомы болезни.

Раствор хлорида натрия 1,3%-й концентрации готовят на дистиллированной воде, используя химреактив NaCl (хлорид натрия) квалификации ЧДА.

Выращивание экспериментальных растений. Отбирают хорошо выполненные без видимых признаков поражения болезнями, вредителями и без механических повреждений семена мягкой яровой пшеницы. Для устранения поверхностной сапрофитной и патогенной микрофлоры семена стерилизуют этанолом в течение 1 мин, после этого трижды ополаскивают стерильной дистиллированной водой. Подготовленные семена

проращивают в термостате в чашках Петри на фильтровальной бумаге, смоченной водой. На 3-и сутки культивирования проросшие семена раскладывают на лентах фильтровальной бумаги и инфицируют конидиальной суспензией смеси среднепатогенных изолятов *B. sorokiniana*, приготовленной на 0,1%-м водном агаре. Инфекционная нагрузка – титр конидий возбудителя в одной капле суспензии – составляет 5000 конидий на одну зерновку пшеницы, ее определяют в камере Тома-Горьева.

Далее инфицированные растения выращивают в рулонной культуре сначала в течение 1,0–1,5 сут на водопроводной воде до появления ростков длиной 15–20 мм над поверхностью рулона, затем на 1,3%-м растворе хлорида натрия. Выращивают проростки в условиях регулируемого климата: фотопериоде день – ночь 16 и 8 ч, температуре 22 и 18 °C (день – ночь), освещенности 253,0 и 0 мкмоль м⁻² с⁻¹ (день – ночь), влажности 60% до фазы первого листа в течение 10 сут. Контрольные растения выращивают в рулонной культуре в тех же условиях на водопровод-

¹¹Березина В.Ю., Гурова Т.А., Беребердин Н.А., Лангольф Э.И. Оценка биологической активности возбудителя обыкновенной корневой гнили злаков: метод. рекомендации. Новосибирск: СО РАСХН, 1994. 24 с.

ной воде. Затем из контрольных и опытных растений готовят образцы для измерений удельной электропроводности.

Измерение удельной электропроводности. Первые листья 10-суточных контрольных и опытных образцов проростков промывают водопроводной водой и обсушивают фильтровальной бумагой. В каждом варианте готовят средний образец. Для этого из средней части листьев лезвием нарезают растительный материал кусочками длиной 1,5 мм.

Нарезанный растительный материал помещают в капроновый мешочек и промывают под струей водопроводной воды в течение 15 мин, затем ополаскивают дистиллированной водой. Нарезанную ткань подсушивают фильтровальной бумагой и готовят навески по 200 мг, которые помещают в стеклянный стаканчик с 5 мл дистиллированной воды в условия освещенности и температуры (например, $E = 253,0$ мкмоль $\text{м}^{-2} \text{с}^{-1}$ при $t = 22$ °C). В нашем случае это осуществляли в камере Биотрон-7. Спустя не менее 1,5 ч настой фильтруют через капроновую ткань, от-

фильтрованные вытяжки помещают в измерительную ячейку кондуктометра и измеряют УЭП контрольных и опытных вариантов.

Об устойчивости сорта судят по относительному изменению УЭП (K) водных вытяжек листовой ткани проростков после действия стрессоров:

$$K = \frac{|G_O - G_K|}{G_K} \cdot 100\%, \quad (2)$$

где G_K – удельная электропроводность водных вытяжек листьев контрольных образцов; G_O – удельная электропроводность водных вытяжек листьев опытных образцов.

Полученные результаты обработаны статистически с использованием стандартных статистических программ.

Результаты диагностики устойчивости четырех сортов яровой пшеницы к совместному стрессу по УЭП и ростовым показателям и биомассе представлены в табл. 4 и 5.

Как следует из приведенных данных, у сорта пшеницы Новосибирская 18 подавление

Табл. 4. Показатели проростков сортов мягкой яровой пшеницы в контроле и при совместном действии хлоридного засоления и конидиальной суспензии *B. sorokiniana* ($M \pm m$)

Table 4. Indicators of sprouts of soft spring wheat varieties in control and under the combined action of chloride salinity and conidial suspension of *B. sorokiniana* ($M \pm m$)

Вариант	Длина, мм		Сырая биомасса, мг		Сухая биомасса, мг		Удельная электропроводность, См/м
	ростков	корней	ростков	корней	ростков	корней	
Новосибирская 44							
Контроль <i>B. sorokiniana</i> + NaCl	15,3 ± 0,6	9,3 ± 0,3	90,2 ± 1,2	86,2 ± 3,9	13,3 ± 1,0	10,7 ± 0,6	4,3 ± 0,1
	13,2 ± 0,2*	4,6 ± 0,2*	79,4 ± 1,9*	57,8 ± 2,8*	12,2 ± 0,2	7,9 ± 0,4*	16,2 ± 0,3**
Новосибирская 18							
Контроль <i>B. sorokiniana</i> + NaCl	19,6 ± 0,4	13,8 ± 0	100,1 ± 2,9	85,0 ± 2,5	15,8 ± 0,8	9,2 ± 0,1	3,5 ± 0,1
	12,7 ± 0,2*	6,1 ± 0,4*	63,2 ± 0,9*	51,9 ± 0,9*	10,1 ± 0,1*	7,6 ± 0,1*	25,5 ± 0,9**
Омская 18							
Контроль <i>B. sorokiniana</i> + NaCl	16,4 ± 0,6	10,9 ± 0,2	93,0 ± 1,2	97,0 ± 3,9	13,9 ± 0,1	10,0 ± 0,3	4,4 ± 0,2
	12,7 ± 0*	6,1 ± 0*	71,5 ± 1,2*	72,2 ± 1,9*	11,9 ± 0,1*	9,2 ± 0	11,6 ± 0,2**
Сибирская 21							
Контроль <i>B. sorokiniana</i> + NaCl	15,6 ± 0,4	10,3 ± 0,4	74,0 ± 3,6	91,9 ± 2,8	12,3 ± 0,6	10,8 ± 0,2	4,8 ± 0
	12,7 ± 0,2*	6,7 ± 0,2*	60,4 ± 0,7*	73,6 ± 2,5*	9,9 ± 0,2*	8,6 ± 0,3*	15,6 ± 0,4**

Примечание. Различия с контролем достоверны на уровне значимости: *5%-м; **1%-м. Представлены средние значения данных и их стандартные ошибки.

Табл. 5. Диагностика устойчивости сортов мягкой яровой пшеницы по ростовым параметрам и удельной электропроводности при совместном действии хлоридного засоления и конидиальной суспензии *B. sorokiniana*

Table 5. Diagnostics of resistance of soft spring wheat varieties by growth parameters and specific electrical conductivity under the combined action of chloride salinity and conidial suspension of *B. sorokiniana*

Вариант	Относительные изменения показателей к контролю, %						
	Длина		Сырая биомасса		Сухая биомасса		Удельная электропроводность
	ростков	корней	ростков	корней	ростков	корней	
Новосибирская 44							
<i>B. sorokiniana</i> + NaCl	–13,7*	–50,5*	–11,9*	–32,9*	–22,2*	–8,9	+276,7**
Новосибирская 18							
<i>B. sorokiniana</i> + NaCl	–35,2*	–55,8*	–36,9*	–38,9*	–36,1*	–17,4*	+628,5**
Омская 18							
<i>B. sorokiniana</i> + NaCl	–22,6*	–44,0*	–23,1*	–25,6*	–14,4*	–8,0	+163,6**
Сибирская 21							
<i>B. sorokiniana</i> + NaCl	–18,6*	–34,9*	–18,4*	–19,9*	–19,5*	–20,4*	+225,0**

Примечание. Различия с контролем достоверны на уровне значимости: *5%-м; **1%-м.

ростовых процессов и снижение накопления биомассы выражено значительнее, чем у сортов Омская 18, Сибирская 21 и Новосибирская 44. Это означает, что сорт Новосибирская 18 является менее устойчивым к совместному действию *B. sorokiniana* и хлоридного засоления. При этом выборочные средние относительных изменений показателей длины и биомассы ростков и корней у данных сортов различаются в 1,2–2,3 раза, тогда как выборочные средние для относительных изменений показателя УЭП водных вытяжек листовой ткани различаются в 2,6–7,3 раза.

Таким образом, предлагаемый способ обладает большей дифференцирующей способностью и устанавливает наибольшие межсортные различия при ранней диагностике устойчивости сортов мягкой яровой пшеницы к совместному действию *B. sorokiniana* и хлоридного засоления. При этом результаты диагностики устойчивости к совместному действию *B. sorokiniana* и хлоридного засоления исследованных сортов пшеницы по

ростовым процессам и по УЭП водных вытяжек листовой ткани совпали. Коэффициент корреляции рангов Спирмена между показателями устойчивости по ростовым процессам и по УЭП водных вытяжек листовой ткани проростков составляет $r_s = 0,88$ на уровне значимости по критерию Стьюдента $\leq 0,01$.

ВЫВОДЫ

1. Разработан метод ранней диагностики устойчивости сортов мягкой яровой пшеницы к совместному действию возбудителя обыкновенной корневой гнили злаков *B. sorokiniana* и хлоридного засоления по выходу электролитов из растительной ткани проростков.

2. Экспериментально установлены условия подготовки образцов и измерения УЭП водных вытяжек листьев, обеспечивающие максимальные межсортные различия: размер нарезки листовой ткани – 1,5 мм, соотношение листовой ткани и воды – 1 : 40, время экспозиции растительных образцов в дистиллированной воде – не менее 1,5 ч.

3. Разработанный метод обладает большей дифференцирующей способностью и устанавливает наибольшие межсортные различия. При этом выборочные средние для относительных изменений показателя УЭП водных вытяжек листовой ткани сортов различаются в 2,6–7,3 раза, выборочные средние относительных изменений показателей длины и биомассы ростков и корней у данных сортов – в 1,2–2,3 раза.

4. Результаты диагностики устойчивости к совместному действию *B. sorokiniana* и хлоридного засоления исследованных сортов пшеницы по ростовым процессам и по УЭП водных вытяжек листовой ткани совпали. Выявлена сортоспецифичность: сорт Новосибирская 18 менее устойчив, сорта Омская 18, Сибирская 21 и Новосибирская 44 более устойчивы.

5. Полученные результаты позволяют сделать вывод о возможности применения предлагаемого метода для ранней диагностики (фенотипирования) сортов пшеницы по устойчивости при совместном действии *B. sorokiniana* и хлоридного засоления при проведении сортоиспытания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Разина А.А., Султанов Ф.С., Дятлова О.Г. Корневая гниль на новых сортах яровой пшеницы при разных сроках посева // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2020. Т. 50. № 2. С. 39–46. DOI: 10.26898/0370-8799-2020-2-5.
2. Xiong Y., McCarthy C., Humpal J., Percy C. A review on common root rot of wheat and barley in Australia // Plant Pathology. 2023. Vol. 72. P. 1347–1364. DOI: 10.1111/ppa.13777.
3. Панкова Е.И., Горохова И.Н. Анализ сведений о площади засоленных почв России на конец XX и начало XXI веков // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. 2020. Т. 103. С. 5–33.
4. Le Gouis J., Oury F.-X., Charmet G. How changes in climate and agricultural practices influenced wheat production in Western Europe // Journal of Cereal Science. 2020. Vol. 93. P. 102960. DOI: 10.1016/j.jcs.2020.102960/.
5. Lama S., Leiva F., Vallenback P., Chawade A. and Kuktaite R. Impacts of heat, drought, and combined heat-drought stress on yield, phenotypic traits, and gluten protein traits: capturing stability of spring wheat in excessive environments // Frontiers Plant Science. 2023. Vol. 14. P. 1179701. DOI: 10.3389/fpls.2023.1179701.
6. Давыдова Н.В., Марченкова Л.А., Павлова О.В., Чавдарь Р.Ф., Орлова Т.Г., Широколава А.В. Адаптивность сортов и линий яровой пшеницы к искусственно создаваемым осмотическому, солевому и кислотному стресс-факторам на ранних этапах онтогенеза // Биосфера. 2022. Т. 14. № 4. С. 306–310.
7. Салех С., Мурыгина Е.А., Боме Н.А. Оценка морфофизиологических параметров различных сортов озимой ржи к хлоридному засолению в лабораторных условиях // Аграрная наука. 2024. Т. 387. № 10. С. 134–138.
8. Ioannis Spyroglou, Krystyna Rybka, Ronald Maldonado Rodriguez, Piotr Stefański, Natallia M. Valasevich. Quantitative estimation of water status in field-grown wheat using beta mixed regression modelling based on fast chlorophyll fluorescence transients: A method for drought tolerance estimation // Journal of Agronomy and Crop Science. 2021. Vol. 207. Is. 4. P. 577–781.
9. Arif M.A.R., Komyshev E.G., Genaev M.A., Koval V.S., Shmakov N.A., Börne A., Afonnikov D.A. QTL Analysis for Bread Wheat Seed Size, Shape and Color Characteristics Estimated by Digital Image Processing // Plants. 2022. Vol. 11. P. 2105.
10. Зулфугарова С.Т., Рустамова С.М., Гусейнова И.М. Активность антиоксидантных ферментов и термостабильность мембран у генотипов твердой пшеницы при тепловом стрессе // Аграрная наука. 2022. Т. 356. № 2. С. 56–61. DOI: 10.32634/0869-8155-2022-356-2-56-61.
11. Гурова Т.А., Свежинцева Е.А., Чесноченко Н.Е. Показатель проницаемости клеточных мембран проростков в оценке стрессоустойчивости сортов пшеницы // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2021. Т. 51. № 3. С. 31–43. DOI: 10.26898/0370-8799-2021-3-4.
12. Гурова Т.А., Свежинцева Е.А., Чесноченко Н.Е. Адаптация сортов пшеницы при гипертермии, хлоридном засолении и инфицировании *Bipolaris sorokiniana* Shoem. // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2020. Т. 50. № 6. С. 12–25.
13. Гриусевич П.В., Самохина В.В., Демидчик В.В. Стресс-индуцируемая потеря элек-

тролитов клетками корня высших растений: история вопроса, механизм и физиологическая роль // Экспериментальная биология и биотехнология. 2022. Т. 2. С. 4–18. DOI: 10.33581/2957-5060-2022-2-4-18.

14. Новикова С.И., Бедарева О.М., Горшенина Г.В., Троян Т.Н. Оценка жизнеспособности и устойчивости озимых культур кондуктометрическим методом // Известия КГТУ. 2020. № 57. С. 54–66.
15. Якунина А.В., Синицына Ю.В., Крутова Е.К., Веселов А.П. Изучение влияния пиробактерии на урожайность растений гороха посевного *Pisum sativum* L. и анализ изменений перекисного окисления липидов и выхода электролитов как возможных факторов этого воздействия // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. 2020. № 4 (32). С. 3–12.

REFERENCES

1. Razina A.A., Sultanov F.S., Dyatlova O.G. Root rot in new cultivars of spring wheat depending on sowing dates. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki = Siberian Herald of Agricultural Science*, 2020, vol. 50, no. 2, pp. 39–46. (In Russian). DOI: 10.26898/0370-8799-2020-2-5.
2. Xiong Y., McCarthy C., Humpa J., Percy C. A review on common root rot of wheat and barley in Australia. *Plant Pathology*, 2023, vol. 72, pp. 1347–1364. DOI: 10.1111/ppa.13777.
3. Pankova E.I., Gorokhova I.N. Analysis of information about the alkaline soil areas in Russia at the end of the XX and beginning of the XXI centuries. *Bulleten' Pochvennogo instituta im. V.V. Dokuchaeva = Dokuchaev Soil Bulletin*, 2020, vol. 103, p. 5–33. (In Russian).
4. Le Gouis J., Oury F.-X., Charmet G. How changes in climate and agricultural practices influenced wheat production in Western Europe. *Journal of Cereal Science*, 2020, vol. 93, p. 102960. DOI: 10.1016/j.jcs.2020.102960/.
5. Lama S., Leiva F., Vallenback P., Chawade Aand Kuktaite R. Impacts of heat, drought, and combined heat-drought stress on yield, phenotypic traits, and gluten protein traits: capturing stability ofspring wheat in excessive environments. *Frontieres Plant Science*, 2023, vol. 14, p. 1179701. DOI: 10.3389/fpls.2023.1179701.
6. Davydova N.V., Marchenkova L.A., Pavlova O.V., Chavdar' R.F., Orlova T.G., Shirokova A.V. Adaptability of spring wheat varieties and lines to the artificial osmotic, salt and acid stress factors during the early stages of ontogeny. *Biosfera = Biosfera*, 2022, vol. 14, no. 4, pp. 306–310. (In Russian).
7. Salekh S., Murygina Ye.A., Bome N.A. Assessment of morphophysiological parameters of resistance of various varieties of winter rye to chloride salinity in laboratory conditions. *Agrarnaya nauka = Agrarian science*, 2024, vol. 387, no. 10, pp. 134–138. (In Russian).
8. Ioannis Spyroglou, Krystyna Rybka, Ronald Maldonado Rodriguez, Piotr Stefański, Natallia M. Valasevich. Quantitative estimation of water status in field-grown wheat using beta mixed regression modelling based on fast chlorophyll fluorescence transients: A method for drought tolerance estimation. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 2021, vol. 207, is. 4, pp. 577–781.
9. Arif M.A.R., Komyshev E.G., Genaev M.A., Koval V.S., Shmakov N.A., Börne A., Afonnikov D.A. QTL Analysis for Bread Wheat Seed Size, Shape and Color Characteristics Estimated by Digital Image Processing. *Plants*, 2022, vol. 11, p. 2105.
10. Zul'fugarova S.T., Rustamova S.M., Guseynova I.M. Antioxidant enzymes activity and membrane thermostability in durum wheat genotypes under heat stress. *Agrarnaya nauka = Agrarian science*, 2022, vol. 356, no. 2, pp. 56–61. (In Russian). DOI: 10.32634/0869-8155-2022-356-2-56-61.
11. Gurova T.A., Svezhintseva E.A., Chesnochenko N.E. The indicator of cell membrane permeability of wheat seedlings in assessing stress resistance of wheat varieties. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki = Siberian Herald of Agricultural Science*, 2021, vol. 51, no. 3, pp. 31–43. (In Russian). DOI: 10.26898/0370-8799-2021-3-4.
12. Gurova T.A., Svezhintseva E.A., Chesnochenko N.E. Adaptation of wheat varieties to hyperthermia, chloride salinity and *Bipolaris sorokiniana* Shoem. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki = Siberian Herald of Agricultural Science*, 2020, vol. 50, no. 6, pp. 12–25. (In Russian). DOI: 10.26898/0370-8799-2020-6-2.
13. Griusevich P.V., Samokhina V.V., Demidchik V.V. Stress-induced electrolyte leakage from root cells of higher plants: background, mechanism and physiological role. *Eksperimen-*

- tal'naya biologiya i biotekhnologiya = Experimental Biology and Biotechnology*, 2022, vol. 2, pp. 4–18. (In Russian). DOI: 10.33581/2957-5060-2022-2-4-18.
14. Novikova S.I., Bedareva O.M., Gorshinina G.V., Troyan T.N. Assessment of viability and stability of winter crops by conductometric method. *Izvestiya KGTU = Izvestia KSTU*, 2020, no. 57, pp. 54–66. (In Russian).
15. Yakunina A.V., Sinitsyna Yu.V., Krutova E.K., Veselov A.P. The study of the Pirabactin effect on the yield of *Pisum Sativum* L. and analysis of changes in lipid peroxidation and electrolytes leakage as possible factors of this effect. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Povolzhskii region. Estestvennye nauki = University Proceedings. Volga Region. Natural Sciences*, 2020, no. 4 (32), pp. 3–12. (In Russian).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

✉ Гурова Тамара Алексеевна, ведущий научный сотрудник, кандидат сельскохозяйственных наук; SPIN-код 5471-9138; **адрес для переписки:** Россия, 630501, Новосибирская область, р.п. Краснообск; а/я 463; e-mail: guro-tamara@yandex.ru

Чесноченко Наталья Евгеньевна, научный сотрудник; SPIN-код 8670-7247

AUTHOR INFORMATION

✉ **Tamara A. Gurova**, Lead Researcher, Candidate of Science in Agriculture; SPIN-code 5471-9138; **address:** PO Box 463, Krasnoobsk, Novosibirsk Region, 630501, Russia; e-mail: guro-tamara@yandex.ru

Natalia E. Chesnochenko, Researcher; SPIN-code 8670-7247

Дата поступления статьи / Received by the editors 12.05.2025
Дата принятия к публикации / Accepted for publication 30.05.2025
Дата публикации / Published 15.09.2025