

УДК 633.14:631.415.1:631.559

ВЛИЯНИЕ АЛЮМОКИСЛОГО СТРЕССА НА МОРФО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ГЕНОТИПОВ ОЗИМОЙ РЖИ**¹Кедрова Л.И., ¹Уткина Е.И., ²Шляхтина Е.А., ¹Парфенова Е.С., ¹Шамова М.Г.**¹ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока», Киров;²Фаленская селекционная станция – филиал ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, e-mail: utkina.e.i@mail.ru

Изучены показатели урожайности 10 сортов озимой ржи селекции ФАНЦ Северо-Востока на нейтральном почвенном фоне и в условиях повышенной кислотности. Уникальный естественный провокационный фон характеризуется высоким содержанием ионов алюминия – 25,5–26,7 мг/100 г почвы при pH солевой вытяжки – 3,66–3,78. Гидротермические условия в годы исследований (2010–2016) различались во все периоды вегетации, что позволило объективно оценить реакцию сортов на алюмо- и кислотоустойчивость. Урожайность сортов по годам варьировала на нейтральном фоне от 3,95 до 5,86 т/га, а в условиях алюмокислого стресса – от 2,17 до 3,60 т/га. В условиях эдафического стресса среднее снижение урожайности составило 37,5%. Морфологические составляющие продуктивности генотипов показали, что эдафический стресс приводит к снижению кущения растений на 28,9%, зимостойкости – на 30,4%, продуктивного стеблестоя – на 31,8%. Выделены сорта устойчивые к повышенной почвенной кислотности: Фаленская 4, Флора, Рушник, Графиня, Рада и Кипрез. Снижение их урожайности составило 26,8–36,8%. Сорта Кировская 89, Батист, Ниоба и Сармат характеризуются повышенной депрессией урожайности (41,4–52,5%). Адаптивные сорта Флора, Рада и Кипрез, имеющие превосходство по урожайности на 0,24–0,57 т/га относительно кислотоустойчивого стандарта Фаленская 4 проявили стабильность в период изучения и выделены как источники селекционно-ценных признаков для использования в селекционных программах других регионов страны. По результатам оценки в 2016 г. сорт Кипрез передан на Государственное сортоиспытание сельскохозяйственных культур, как наиболее стабильный по формированию урожайности для возделывания на низкоплодородных кислых почвах.

Ключевые слова: озимая рожь, сорта, кислотность почв, провокационный фон, урожайность, зимостойкость, морфо-биологические показатели, алюмоустойчивость

EFFECT OF ALUMINIUM-ACID STRESS UPON MORPHO-BIOLOGICAL INDICES OF WINTER RYE GENOTYPES**¹Kedrova L.I., ¹Utkina E.I., ²Shlyakhtina E.A., ¹Parfenova E.S., ¹Shamova M.G.**¹North-East Federal Agrarian Scientific Center, Kirov,²Falenski BS – Branch of the FARC North-East, s. Falenski, Kirov region, e-mail: utkina.e.i@mail.ru

Productivity indices of 10 varieties of winter rye of the North-East Federal Agrarian Scientific Center selection on a neutral soil background and in conditions of high acidity were studied. A unique natural provocative background is characterized by a high content of aluminum ions – 25.5–26.7 mg / 100 g of soil with a salt extraction pH of 3.66–3.78. The hydrothermal conditions during the years of research (2010–2016) differed in all periods of vegetation, which made it possible to objectively evaluate the reaction of varieties to aluminum and acid resistance. Yields of varieties over the years varied against a neutral background from 3.95 to 5.86 t / ha, and under conditions of alumina stress, from 2.17 to 3.60 t / ha. Under conditions of edaphic stress, average decrease in yield equaled 37.5%. Morphological components of productivity of genotypes showed that edaphic stress leads to a decrease in tillering of plants by 28.9%, winter hardiness – by 30.4%, productive stalk – by 31.8%. Varieties, resistant to high soil acidity were identified: Falenskaya 4, Flora, Rushnik, Grafinya, Rada and Kiprez. Decrease in their productivity amounted to 26.8–36.8%. Varieties Kirovskaya 89, Batist, Nioba and Sarmat are characterized by increased yield depression (41.4–52.5%). Adaptive varieties Flora, Rada and Kiprez, having a yield superiority of 0.24–0.57 t / ha with respect to the acid-resistant standard Falenskaya 4, showed stability during the study period and were identified as sources of selection-valuable traits for use in breeding programs in other regions of the country. According to the results of the assessment in 2016, the Kiprez variety was transferred to the State variety testing of crops, as the most stable in terms of yield formation for cultivation on low-fertile acidic soils.

Keywords: winter rye, varieties, soil acidity, provocative background, productivity, winter hardiness, morphological and biological indicators, aluminum resistance

В Нечерноземной зоне России более 60 млн га занимают низкоплодородные кислые почвы, которые негативно влияют на формирование урожайности сельскохозяйственных культур [1]. В условиях кислой почвенной среды, особенно с повышенным содержанием ионов Al^{+3} , недобор урожая может составить до 80% [2]. Большие площади низкоплодородных земель (более 70%) находятся в Северо-Восточном

регионе РФ. В Кировской области их свыше 80%, из них третья часть – сильнокислые с $pH < 4,5$ [3].

Создание толерантных сортов, наряду с известкованием почвы, является одним из рациональных путей снижения токсичности повышенной кислотности. Теоретическое обоснование селекции на алюмо-кислотоустойчивость в нашей стране подтверждено исследованиями Э.Л. Кли-

машевского [4]. В ФАНЦ Северо-Востока создан и включен в Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию в Российской Федерации, первый алюмотолерантный сорт ячменя Новичок [5], что подтверждает перспективность селекции в этом направлении.

Наши исследования по созданию кислотоустойчивых сортов озимой ржи начаты в конце 1980-х гг. [6]. Используются естественные провокационные почвенные фоны и современные методы эдафической селекции [7].

Цель исследования: выявить влияние алюмокислого стресса на урожайность и основные показатели продуктивности районированных и перспективных сортов озимой ржи.

Материалы и методы исследования

Исследования проведены на 10 внесенных в Государственный реестр селекционных достижений и перспективных сортах озимой ржи селекции ФАНЦ Северо-Востока в течение 2010–2016 гг. Почва опытных участков дерново-подзолистая среднесуглинистая. Предшественник – чистый пар. Агрохимическая характеристика питомника с нейтральным типом почв: содержание гумуса – 2,43–3,56%; содержание подвижного фосфора – 334–349 мг/кг; обменного калия – 232–304 мг/кг почвы; рН солевой вытяжки – 5,0–5,4. Характеристика опытного алюмокислого участка: содержание ионов Al^{3+} – 25,5–26,7 мг/100 г почвы; под-

вижного фосфора – 72–108 мг/кг; обменного калия – 78–100 мг/кг почвы; рН солевой вытяжки – 3,66–3,78.

Изучение сортов проведено по схеме рендомизированных блоков, в шестикратной повторности с нормой высева 6 млн всхожих семян на 1 га, учетная площадь делянки – 10 м². Погодные условия в годы исследований различались во все периоды вегетации растений, что позволило объективно оценить реакцию сортов на алюмо- и кислотоустойчивость.

Статистическая обработка результатов исследований проведена методами дисперсионного и корреляционного анализов с использованием Пакета программ статистического и биометрико-генетического анализа в растениеводстве и селекции AGROS (версия 2.07.), Microsoft Office Excel, а также в соответствии с методикой Б.А. Доспехова (1979) [8].

Результаты исследования и их обсуждение

Изучались районированные и перспективные сорта селекции ФАНЦ Северо-Востока: Флора, Рада, Кипрез, Кировская 89, Графиня, Рушник, Сармат, Батист, Ниоба. Сравнение показателей проводили с высокозимостойким, кислотоустойчивым стандартом Фаленская 4.

Средняя урожайность сортов по годам зависела от гидротермических условий и варьировала на нейтральном по кислотности фоне от 3,95 до 5,86 т/га, а в условиях алюмокислого стресса – от 2,17 до 3,60 т/га (рис. 1).

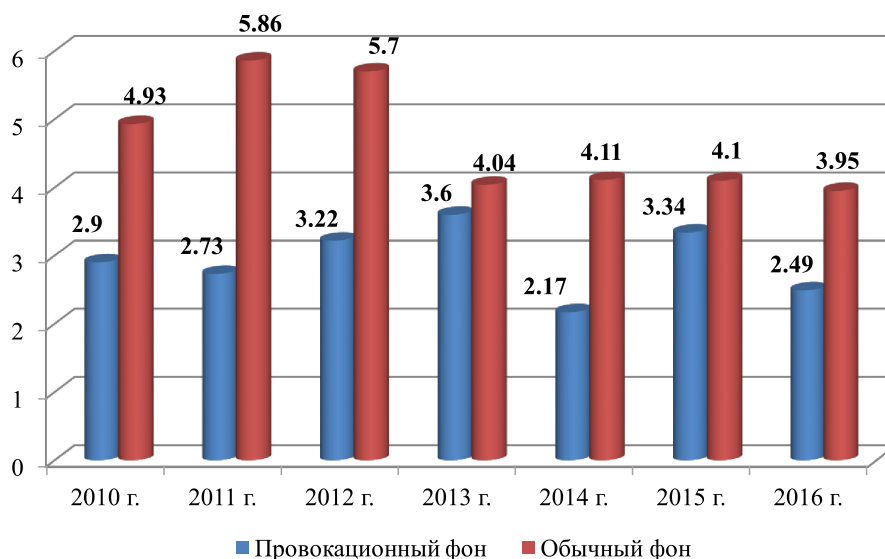


Рис. 1. Урожайность сортов озимой ржи на разных почвенных фонах

Степень урожайности значительно зависела от складывающихся условий осенне-зимней вегетации и весеннего развития растений. В условиях эдафического стресса на гидротермические условия накладывается негативное действие повышенной кислотности почвы, что привело к снижению урожайности в среднем за годы изучения на 37,5%. Но определенную зависимость показателя урожайности на обычном фоне и степени его депрессии на провокационном выявить затруднительно, сказывается влияние погодных условий. Максимальная средняя урожайность изучаемых сортов на нейтральной почве получена в благоприятных 2011 г. (5,86 т/га) и 2012 г. (5,70 т/га). При этом снижение показателя на варианте эдафического стресса было наибольшим и составило в 2011 г. – 53,4%; в 2012 г. – 43,5%. Наименьшее снижение урожайности отмечено в 2013 г. (10,9%) и 2015 г. (18,5%).

В табл. 1 представлены показатели выравнивания урожайности по годам. Отсутствие стрессового фактора обусловило большую выравниваемость урожайности изучаемых сортов. Коэффициент вариации признака изменялся от 7,2 до 25,5%.

В благоприятных условиях 2012 г. разброс по величине урожайности был ми-

нимальным ($CV = 7,2\%$). Тогда в период возобновления весенней вегетации происходило интенсивное таяние снега, а теплая погода способствовала активной регенерации растений. Наибольшее варьирование урожайности ($CV = 25,5\%$) наблюдалось в 2014 г. Осенние условия заделки осенью 2013 г. характеризовались нестабильностью гидротермического режима, снижением содержания сахаров в узлах кущения растений на 2% по сравнению с другими годами и повреждением посевов шведской мухой до 9,2%. К тому же весной отмечен затяжной период таяния снегового покрова и 100%-ное поражение посевов снежной плесенью (*M. nivale*). В результате чего снизилась зимостойкость сортов, как основной показатель урожайности.

Условия эдафического стресса способствовали градации сортов по устойчивости к экстремальным факторам. Сортовая вариация урожайности по годам изменялась от 18,6 до 41,2%. Четкая сортовая дифференциация по признаку алюмо- и кислототолерантности зафиксирована в благоприятный по развитию 2012 г., когда эдафический стресс был основным негативным фактором развития растений.

Таблица 1

Варьирование урожайности сортов ржи в зависимости от почвенных условий

Почвенный фон	Коэффициент вариации, CV%						
	2010 г.	2011 г.	2012 г.	2013 г.	2014 г.	2015 г.	2016 г.
Провокационный	21,1	27,1	36,9	25,1	27,9	18,6	41,2
Нейтральный	18,2	10,9	7,2	15,3	25,5	10,4	12,7

Таблица 2

Влияние почвенного стресса на морфо-биологические показатели сортов озимой ржи, 2010–2016 гг.

Показатели	Фоны		Степень депрессии, %
	нейтральный	провокационный	
Урожайность, т/га	4,67	2,92	37,5
Зимостойкость, %	71,6	49,8	30,4
Устойчивость к полеганию, балл	7,5	8,1	
Высота стебля, см	120,4	110,8	8,0
Количество продуктивных стеблей на 1 м ² , шт.	463	316	31,8
Продуктивная кустистость, шт.	4,5	3,2	28,9
Длина колоса, см	11,0	10,6	3,6
Количество колосков в колосе, шт.	36,9	33,0	10,6
Озерненность, %	82,3	77,2	6,2
Масса 1000 зерен, г	29,3	31,3	–

Анализ морфо-биологических признаков установил, что повышенная кислотность почвы отрицательно влияет на основные параметры урожайности сортов озимой ржи. На кислом фоне усиливается поражение посевов снежной плесенью [9], регенерационная способность растений ослабевает, зимостойкость снижается на 30,4% (табл. 2). Это явилось главной причиной низкой урожайности в опыте. В условиях северного земледелия толерантность сортов к поражению снежной плесенью и активная регенерация после поражения являются важнейшими факторами обеспечения стабильной урожайности озимой ржи.

Изучение морфологических составляющих продуктивности генотипов озимой ржи показало, что эдафический стресс приводит к снижению кущения растений на 28,9%, изреживанию стеблестоя в зимне-весенний период и снижению продуктивного стеблестоя на 31,8%. Параметры колоса изменились незначительно. Крупность зерна повысилась на 2 г благодаря большей разреженности посевов и пониженной продуктивной кустистости. Полегаемость сортов снизилась по причине уменьшения высоты растений и снижения продуктивного стеблестоя на единице площади.

В результате исследований выявлены существенные межсортовые различия толерантности к эдафическому стрессу (рис. 2).

Оценка средней урожайности сортов на двух почвенных фонах выявила более

устойчивые к алюмокислотному стрессу сорта Фаленская 4, Флора, Рушник, Графиня, Рада и Кипрез, снижение их урожайности составило 26,8–36,8%. Выделены сорта с повышенной (41,4–52,5%) депрессией урожайности в условиях провокационного фона (Кировская 89, Батист, Ниоба, Сармат).

Основным критерием оценки на кислото- и алюмотолерантность является сравнение урожайности изучаемых сортов с высокозимостойким, адаптивным и кислотоустойчивым стандартом Фаленская 4 [10]. Из представленного сортимента сорта Флора, Рада и Кипрез в среднем за годы изучения превысили стандарт на 0,24–0,57 т/га (табл. 3). Для внедрения сортов в производство ценным является то, что данные сорта проявили стабильность в период изучения, достоверно превышая стандарт по урожайности или практически находясь на его уровне. Наибольшей стабильностью характеризовался сорт Кипрез. Данный сорт в 2016 г. передан на государственное сортоиспытание для возделывания на низкоплодородных кислых почвах.

Урожайность сорта Графиня по средним значениям находится на уровне стандарта Фаленская 4, однако характеризуется нестабильностью формирования по годам: от достоверного снижения (2015, 2016 гг.) до значительного превышения (2010, 2011, 2013 гг.). Аналогичная реакция на эдафический стресс отмечена у сорта Рушник.

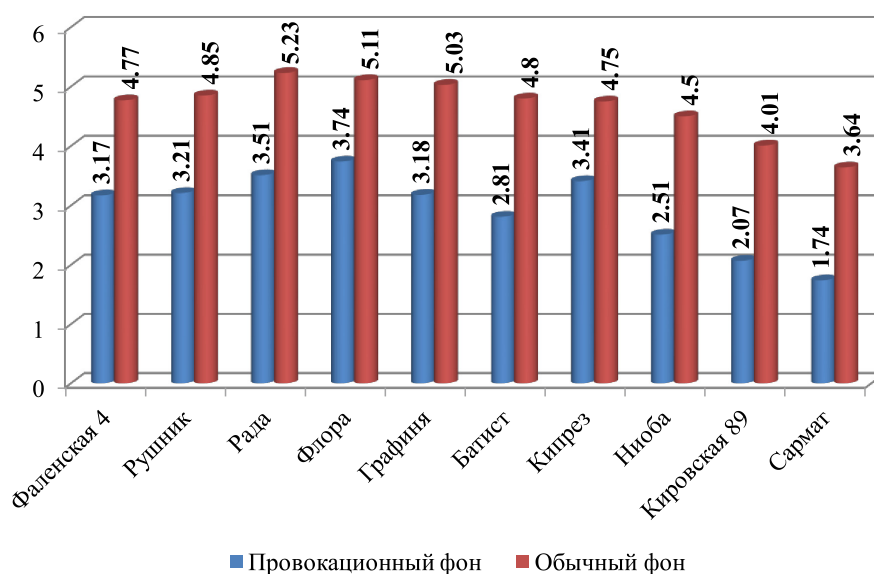


Рис. 2. Урожайность сортов озимой ржи на разных почвенных фонах (2010–2016 гг.)

Таблица 3

Урожайность сортов озимой ржи в стрессовых условиях
в сравнении со стандартом Фаленская 4

Сорт	Годы исследований							
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	Сред.
	Урожайность на провокационном фоне, т/га							
Фаленская 4 – стандарт	2,76	2,20	3,58	4,08	2,60	3,61	3,37	3,17
	Отношение к стандарту, т/га ±							
Флора	+1,04	+1,52	+0,92	+0,37	+0,14	+0,09	-0,06	+0,57
Рада	+0,48	+1,74	-0,03	+0,18	+0,17	-0,20	-0,11	+0,32
Кипрез	+0,64	+0,18	+0,09	-0,06	+0,32	+0,27	+0,26	+0,24
Рушник	+0,64	+0,70	+0,78	-0,01	0	-0,49	-1,33	+0,04
Графиня	+0,40	+1,02	-0,11	+0,59	+0,06	-0,32	-1,63	0
Батист	-0,10	-0,56	+0,13	-1,90	-0,37	+0,40	-0,05	-0,35
Ниоба	-0,08	+0,50	-0,42	-1,23	-0,92	-0,32	-2,14	-0,66
Кировская 89	-0,64	-0,26	-0,63	-1,36	-1,31	-0,51	-0,99	-0,81
Сармат	-0,94	+0,50	-2,29	-1,43	-1,36	-1,80	-2,66	-1,42
НСР ₀₅	0,24	0,27	0,48	0,59	0,14	0,27	0,23	–

Заключение

Сравнительное испытание сортов озимой ржи на нейтральном и провокационном почвенных фонах, изучение морфологических составляющих их продуктивности показало, что урожайность сортов в условиях эдафического стресса уменьшается за счет понижения зимостойкости и весенней регенерации растений после поражения снежной плесенью, снижения кущения и продуктивной кустистости.

Доказана межсортовая вариабельность устойчивости к кислым почвам. Сорта Флора, Рада и Кипрез, имеющие превосходство по урожайности на 0,24–0,57 т/га относительно кислотоустойчивого сорта Фаленская 4, являясь источниками кислотности и алюмоустойчивости для использования в селекционных программах регионов страны. По результатам оценки сорт Кипрез передан на государственное сортоиспытание сельскохозяйственных культур

Список литературы / References

1. Косарева И.А. Изучение коллекций сельскохозяйственных культур и диких родичей по признакам устойчивости к токсическим элементам кислых почв // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2012. Т. 170. С. 34–44.
2. Kosareva I.A. The study of crops and wild relatives collections for signs of resistance to toxic elements of acid soils // Trudy po prikladnoy botanike, genetike i selektsii. 2012. V. 170. P. 35–45 (in Russian).
3. Югай А.М. Эффективность производства и уровень кислотности почв // Вестник АПК Верхневолжья. 2015. № 4 (32). С. 3–8.

Yugay A.M. Production efficiency and level of acidity of soils // Vestnik APK Verkhnevolzh'ya. 2015. № 4 (32). P. 3–8 (in Russian).

3. Бурков Н.А. Охрана окружающей среды Кировской области: Проблемы и перспективы. Киров, 1993. 352 с.

Burkov N.A. Environmental protection of the Kirov region: Problems and prospects. Kirov, 1993. 352 p. (in Russian).

4. Климашевский Э.Л. Генетическая вариабельность устойчивости растений к ионной токсичности (водорода и алюминия) в зоне корней: теория и практические аспекты // Сельскохозяйственная биология. 1980. Т. 15. № 2. С. 270–277.

Klimashevsky E.L. Genetic variability of plant resistance to ionic toxicity (hydrogen and aluminum) in the root zone: theory and practical aspects // Sel'skokhozyaystvennaya biologiya. 1980. V. 15. № 2. P. 270–277 (in Russian).

5. Щенникова И.Н. Селекция ячменя в Волго-Вятском регионе: дис. ... докт. с.-х. наук. Москва, 2016. 349 с.

Schennikova I.N. Barley Breeding in the Volga-Vyatka Region: dis. ... dokt. s.-kh. nauk. Moscow, 2016. 349 p. (in Russian).

6. Кедрова Л.И., Уткина Е.И. Влияние почвенной кислотности на урожайность озимой ржи и возможности эдафической селекции // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2018. № 6 (67). С. 17–25. DOI: 10.30766/2072-9081.2018.67.6.17-25.

Kedrova L.I., Utkina E.I. The influence of soil acidity on the yield of winter rye and the possibility of edaphic selection // Agranaya nauka Yevro-Severo-Vostoka. 2018. № 6 (67). P. 17–25 (in Russian).

7. Уткина Е.И., Кедрова Л.И., Шляхтина Е.А. Стрессоустойчивость сортов озимой ржи в условиях Кировской области // Методы и технологии в селекции растений: Материалы Всероссийской научно-практической конференции с Международным участием. Киров: НИИСХ Северо-Востока, 2014. С. 107–110.

Utkina E.I., Kedrova L.I., Shlyakhtina E.A. Stress tolerance of winter rye varieties in the Kirov region // Metody i tekhnologii v selektsii rasteniy: Materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s Mezhdunarodnym uchastiyem. Kirov: NIISKH Severo-Vostoka, 2014. P. 107–110 (in Russian).

8. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Колос, 1979. 336 с.

Dospikhov B.A. Methods of field experience (with the basics of statistical processing of research results. M.: Kolos, 1979. 336 p. (in Russian).

9. Пономарева Л.В., Дричко В.Ф., Цветкова Н.П., Кудрявцев Д.В. Содержание подвижного алюминия и кислотность почвы на фоне бактериализации алюмотолерантными штаммами как приема повышения устойчивости растений // Сельскохозяйственная биология. 2010. Т. 45. № 1. С. 104–109.

Ponomareva L.V., Drichko V.F., Tsvetkova N.P., Kudryavtsev D.V. Content of mobile aluminium and soil acidity on the

background of cultivation of aluminum-tolerant bacteria for the purpose of rising of plant's resistance // Sel'skokhozyaystvennaya biologiya. 2010. V. 45. № 1. P. 104–109 (in Russian).

10. Уткина Е.И., Кедрова Л.И., Шляхтина Е.А., Парфенова Е.С., Шамова М.Г., Сысоев В.А., Чанчжун Ж. Реакция сорта озимой ржи Фаленская 4 в экстремальных условиях средовых факторов // Достижение науки и техники АПК. 2015. Т. 29. № 11. С. 55–57.

Utkina E.I., Kedrova L.I., Shlyakhtina E.A., Parfenova E.S., Shamova M.G., Sysuev V.A., Changzhun Zh. Reaction of winter rye variety Falenskaya 4 under extreme conditions environmental factors // Dostizheniye nauki i tekhniki APK. 2015. Vol. 29. № 11. P. 55–57 (in Russian).