

Влияние плотности стеблестоя на фитосанитарное состояние и урожайность новых сортов ярового ячменя

Т. К. Шешегова, Л. М. Щеклеина[✉], Л. В. Панихина

Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого, Киров, Россия

[✉]E-mail: immunitet@fanc-sv.ru

Аннотация. Цель исследований – изучить влияние плотности стеблестоя на фитосанитарию посевов и урожайность новых сортов ячменя в условиях нестабильности климатических факторов. **Методы.** Исследования выполнены в 2021–2023 гг. в Федеральном аграрном научном центре Северо-Востока. Впервые получены данные о влиянии норм высева (5, 6, 7, 8 млн всхожих зерен на 1 га) на биотическую устойчивость и продукционный потенциал сортов Новичок, Памяти Родины, Родник Прикамья. Проводили фитопатологический анализ семян, учет болезней и урожая по общеизвестным методикам. **Результаты.** В условиях 2021 г. повышение развития темно-бурой пятнистости отмечали при норме высева 6 млн всхожих зерен/га. Проявление сетчатой пятнистости имело явную сортоспецифичность: у сорта Памяти Родины наибольшее развитие болезни было при норме высева 5 млн всхожих зерен/га (17,8%), у других генотипов степень поражения была наименьшей для опыта (9,4 и 12,2%). В 2023 г. отмечали усиление развития пятнистостей и корневых гнилей по мере загущения посевов. У сорта Родник Прикамья происходило существенное (при $P \geq 0,95$) повышение урожайности (с 3,88 до 5,01 т/га) с каждым шагом нормы высева; у Памяти Родины обратная тенденция: по мере загущения стеблестоя – снижение с 4,09 до 3,31 т/га. У сорта Новичок изменения незначительны, за исключением нормы высева 6 млн всхожих зерен/га, где произошло снижение признака с 4,38 до 4,09 т/га. При выборе нормы высева следует ориентироваться не только на фитосанитарный и климатический прогноз, но и экономическую целесообразность ее увеличения. Установлено доминирование генотипа (71,0%) в изменчивости урожайности; наибольший вклад в развитие пятнистостей (29,5 и 38,5%) вносило совокупное действие факторов «сорт – норма высева»; вклад генотипа – 29,0 и 16,2%.

Ключевые слова: *Hordeum vulgare L.*, генотип, нормы высева, грибные болезни, абиотические условия, степень поражения, продуктивность

Для цитирования: Шешегова Т. К., Щеклеина Л. М., Панихина Л. В. Влияние плотности стеблестоя на фитосанитарное состояние и урожайность новых сортов ярового ячменя // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24, № 10. С. 1302–1311. DOI: <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-10-1302-1311>.

Дата поступления статьи: 15.04.2024, **дата рецензирования:** 17.07.2024, **дата принятия:** 23.07.2024.

The influence of stem density on the phytosanitary condition and yield of new varieties of spring barley

T. K. Sheshogova, L. M. Shchekleina[✉], L. V. Panikhina

Federal Agrarian Research Center of the North-East named N. V. Rudnitskiy, Kirov, Russia

[✉]E-mail: immunitet@fanc-sv.ru

Abstract. The purpose of the research is to study the influence of stem density on the phytosanitary conditions of crops and the yield of new varieties of barley under conditions of unstable climatic factors. **Methods.** The research was carried out in 2021–2023 at the Federal Agrarian Research Center of the North-East. For the first time, data have been obtained on the influence of seeding rates (5, 6, 7, 8 million germinating grains/ha) on the biotic stability

and production potential of the Novichok, Pamyati Rodinoy, and Rodnik Prikamya varieties. Phytopathological analysis of seeds, recording of diseases and yields were carried out using well-known methods. **Results.** Under the conditions of 2021, an increase in the development of dark brown spot was noted at a seeding rate of 6 million germinating grains/ha. The manifestation of net spot had a clear variety-specificity: in the variety Pamyati Rodinoy, the greatest development of the disease was at a sowing rate of 5 million germinated grains/ha (17.8 %), in other genotypes the degree of damage was the lowest for the experiment (9.4 and 12.2 %). In 2023, an increase in the development of spotting and root rot was noted as the crops thickened. For the Rodnik Prikamya variety, there was a significant (at $P \geq 0.05$) increase in yield (from 3.88 to 5.01 t/ha) with each step of the seeding rate; Pamyat Rodinoy has the opposite trend: as the stem thickens, it decreases from 4.09 to 3.31 t/ha. In the Novichok variety, the changes are insignificant, with the exception of the seeding rate of 6 million germinating grains/ha, where the trait decreased from 4.38 to 4.09 t/ha. When choosing a seeding rate, one should focus not only on the phytosanitary and climatic forecast, but also on the economic feasibility of increasing it. The dominance of the genotype (71.0 %) in yield variability was established; the greatest contribution to the development of spotting (29.5 and 38.5 %) was made by the combined effect of “variety–seeding rate” factors; the contribution of the genotype is 29.0 and 16.2 %.

Keywords: *Hordeum vulgare* L., genotype, seeding rates, fungal diseases, abiotic conditions, degree of damage, productivity

For citation: Sheshegova T. K., Shchekleina L. M., Panikhina L. V. The influence of stem density on the phytosanitary condition and yield of new varieties of spring barley. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2024; 24 (10): 1302–1311. DOI: <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-10-1302-1311>. (In Russ.)

Date of paper submission: 15.04.2024, **date of review:** 17.07.2024, **date of acceptance:** 23.07.2024.

Постановка проблемы (Introduction)

Яровой ячмень – одна из ведущих зерновых культур, занимающая четвертое место в мире после пшеницы, риса и кукурузы [1–3] и имеющая наиболее высокий потенциал продуктивности в сложных агроэкологических условиях Волго-Вятского региона и Кировской области [4]. К региональному комплексу стрессоров этой культуры относятся гельминтоспориозные болезни (корневые гнили и пятнистости листьев) [5], недостаток или избыток влаги и тепла в критически важные этапы онтогенеза растений, низкое естественное плодородие преобладающих дерново-подзолистых почв и повышенная их кислотность. Так как устойчивость к неспецифическим инфекциям определяется не столько генотипом растения-хозяина, сколько его физиологическим состоянием и средовыми факторами, особое внимание нужно уделять улучшению условий выращивания культуры, в т. ч., путем совершенствования агротехнических приемов возделывания [6; 7]. При этом необходимо увязывать такие показатели, как количество высеваемых семян и их полевая всхожесть, густота стояния растений и плотность продуктивного стеблестоя. В условиях нестабильности климатических факторов (водный, тепловой режим) сбой в данной биологической системе может привести к ухудшению фитосанитарной ситуации в сортовых биоценозах и снижению урожая. Важным фактором формирования стабильно высокой продуктивности растений является оптимальная норма высева семян, поскольку она определяет внутрисортовую конкуренцию за

влагу, питательные вещества и инсоляцию [8; 9]. Изучение этого элемента технологии особенно важно для современных коммерческих сортов ячменя, отличающихся высокими компенсационными свойствами, например, повышенной крупностью зерна [10]. Считается, что урожайность на 50 % определяется плотностью продуктивного стеблестоя, на 25 % – числом зерен в колосе и на 25 % – массой 1000 зерен [11]. Ранее академик А. А. Жученко также отмечал значительную роль генотипа (до 60 %) в формировании урожая [12].

Усилия ученых-селекционеров [13; 14] направлены на создание конкурентных, адаптивных и пластичных сортов, способных формировать экономически значимую урожайность, независимо от характера биотических стрессоров и агроклиматических ресурсов. Наряду с этим современная концепция реализации продукционного потенциала генотипа заключается в разработке или оперативной корректировке сортовых технологий с учетом сортирента культуры [15], появившихся новых пестицидов (агрехимикатов) или других техногенных факторов. Это приводит к улучшению питания, роста и развития растений, позволяет в полной мере раскрыть генетический потенциал в реализации адаптивности, продуктивности и болезнеустойчивости и в целом повышает эффективность адаптивно-интегрированной системы защиты и производства зерна.

Цель исследований – изучить влияние плотности стеблестоя на фитосанитарное состояние посевов и семян и урожайность новых сортов ярового ячменя в условиях нестабильности климатических факторов.

Методология и методы исследований (Methods)

Исследования выполнены в ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока в 2021–2023 годах. Закладывали полевые и лабораторные эксперименты на трех сортах селекции этого НИУ: Новичок (кислотовыносливый, практически устойчив к пыльной головне, умеренно устойчив к корневым гнилям); Родник Прикамья высокоурожайный (до 8,0 т/га), устойчив к полеганию и пыльной головне, среднеустойчив к корневым гнилям); Памяти Родины (устойчив к полеганию и пыльной головне, ценный по качеству зерна).

Элементами сортовой технологии были различные нормы высева: 5, 6, 7, 8 млн всхожих зерен на 1 га. Полевые опыты заложены по Методике ГСИ¹. Площадь делянок 10 м², повторность четырехкратная. Почва опытных участков типичная для Кировской области: дерново-подзолистая, среднесуглинистая с содержанием гумуса 2,27–2,45 % (по Тюрину, ГОСТ 26213-91²), P₂O₅ 257–290 мг/кг и K₂O 232–257 мг/кг (по Кирсанову, ГОСТ 26207-91³) при pH 4,6–5,5 (ГОСТ 26483-85⁴). Посев проводили по чистому пару в оптимально ранние сроки. Обработка почвы включала отвальную вспашку (ПЛН-3-35), культивацию (КПС-4), боронование (СГ-8), прикатывание (КЗК-6); под предпосевную культивацию вносили минеральные удобрения в дозе N₄₅P₄₅K₄₅. Уборку урожая проводили комбайном Wintersteiger в фазу полной спелости зерна.

Учет пятнистостей листьев (сетчатая и темно-бурая) проводили в период наибольшего их развития, корневых гнилей – в фазу полной спелости зерна. При оценке пораженности болезнями пользовались шкалами М. Ф. Григорьева⁵, Н. А. Родина, З. Г. Ефремовой⁶, О. А. Афанасенко⁷.

Гидротермический коэффициент (ГТК) рассчитывали по Г. Т. Селянинову⁸ для межфазных периодов онтогенеза растений, отражающих их рост и развитие, с тем чтобы выяснить возможное влияние погодных условий на проявление болезней и формирование урожая. В лабораторных экспериментах

¹ Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Москва: Колос, 1985. Вып. 2. Ч. 2. 230 с.

² ГОСТ 26213-91. Определение органического вещества по методу Тюрина в модификации ЦИНАО. Москва: Комитет стандартизации и метрологии СССР, 1992. 6 с.

³ ГОСТ 54650-2011. Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО. Москва: Стандартиформ, 2013. 7 с.

⁴ ГОСТ 26483-85. Почвы. Приготовление солевой вытяжки и определение ее pH по методу ЦИНАО. Москва: Издательство стандартов, 1985. 6 с.

⁵ Григорьев М. Ф. Методические указания по изучению устойчивости зерновых культур к корневым гнилям. Ленинград: ВИР, 1976. 60 с.

⁶ Родина Н. А., Ефремова З. Г. Методические рекомендации по селекции ячменя на устойчивость к болезням и их применение в НИИСХ Северо-Востока. Москва: ВАСХНИЛ, 1986. 79 с.

⁷ Афанасенко О. С. Устойчивость ячменя к гембиотрофным патогенам // Идентифицированный генофонд растений и селекция. Санкт-Петербург: ВИР, 2005. С. 592–609.

⁸ Чирков Ю. И. Агротемнеология: учебник. Изд. перераб. и доп. Ленинград: Гидрометеоздат, 1986. 296 с.

проводили фитопатологический анализ зерна свежего урожая с использованием методики ВИЗР⁹. Повторность в опытах четырехкратная.

Величину ГТК определяли по формуле:

$$\text{ГТК} = Zr / 0,1 Zt,$$

где Zr – сумма осадков за конкретный период, мм;

Zt – сумма активных температур за тот же период.

По величине ГТК определяли тип увлажнения: менее 0,4 – сухой; 0,4...0,7 – очень засушливый; 0,7...1,0 – засушливый; 1,0...1,3 – недостаточное увлажнение; 1,3...1,6 – нормальное увлажнение; более 1,6 – избыточное увлажнение.

Статистическая обработка проведена методом дисперсионного анализа с использованием пакета программ статистического и биометрико-генетического анализа в растениеводстве и селекции AGROS (версия 2.07.) и программы Microsoft Office Excel 2013. Для оценки информативности и значимости факторов, влияющих на урожайность сортов, фитосанитарное состояние посевов и зерна ячменя, использовали результаты многофакторного дисперсионного анализа.

Результаты (Results)

Работа выполнена в 2021–2023 гг. в ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока в соответствии с планом НИР в рамках государственного задания по теме № FNWE-2022-0007.

Следует отметить значительную нестабильность климатических факторов в период вегетации растений ячменя. Судя по уровню ГТК от всходов до восковой спелости зерна (2021 г. – 1,30; 2022 г. – 2,10; 2023 г. – 2,00), годы исследований можно считать достаточно и избыточно увлажненными. Однако в разные этапы онтогенеза растений погодные условия варьировали от остро засушливых до избыточно увлажненных. Контрастные погодные условия сложились в 2023 году: в начале вегетации отмечали недостаток влаги (ГТК = 0,87), но дальнейший рост, закладка генеративных органов и колошение происходили при избыточном и достаточном увлажнении (ГТК = 2,55 – «флаг-лист – молочная спелость»). В 2022 году увлажнение растений от кущения до флаг-листа было достаточным (ГТК = 1,38), от флаг-листа до колошения – избыточным (ГТК = 2,85). Налив зерна во все годы проходил при жаркой и сухой погоде (ГТК = 0,80...0,86).

В контрастных погодных условиях сорта Новичок и Родник Прикамья проявили устойчивость к обеим гельминтоспориозным пятнистостям при развитии болезней в годы исследований не более 13,5 %, а Памяти Родины – среднюю устойчивость к сетчатой пятнистости при степени поражения до 24,5 %, что в целом соответствует их иммунологическим характеристикам (таблица 1).

⁹ Бенкен А. А., Хрустовская В. Н. Лабораторная оценка болезнеустойчивости растений и паразитических свойств возбудителей обыкновенной корневой гнили // Труды ВИЗР. 1977. С. 9–13.

Степень поражения сортов гельминтоспориозными пятнистостями листьев, %

Норма высева, млн всхожих зерен на 1 га	Темно-бурая пятнистость				Сетчатая пятнистость			
	2021 г.	2023 г.	Среднее		2021 г.	2023 г.	Среднее	
			1	2			1	2
Памяти Родины								
5	14,0	11,0	13,0	12,6	17,8	16,5	17,2	18,7
6	14,5	11,0	12,8		17,0	18,7	17,9	
7	13,2	10,0	11,6		14,0	16,5	15,3	
8	–	13,0	–		–	24,5	–	
Среднее по году	13,9	11,3	–	–	16,3	19,1	–	–
Новичок								
5	9,4	6,3	7,9	8,7	9,4	4,0	6,7	7,2
6	12,0	7,3	9,7		13,5	5,5	9,5	
7	9,5	8,0	8,8		10,3	4,5	7,4	
8	–	8,3	–		–	5,0	–	
Среднее по году	10,3	7,5	–	–	11,1	4,8	–	–
Родник Прикамья								
5	10,0	7,1	8,6	9,1	12,2	7,0	9,6	9,2
6	13,0	6,5	9,8		13,0	7,0	10,0	
7	11,0	7,8	9,9		12,5	7,7	10,1	
8	–	8,1	–		–	7,0	–	
Среднее по году	11,3	7,4	–	–	12,6	7,1	–	–
HCP ₀₅	A – 0,3 B – 0,3 AB – 0,6	A – 0,5 B – 0,5 C – 0,4 AB – 0,9 AC – 0,7 BC – 0,7 ABC – 1,3			A – 0,9 B – 1,0 AB – 1,8	A – 0,6 B – 0,6 AB – 1,0 AC – 0,9 BC – 0,8 ABC – 1,5		

Примечание. 1 – по норме высева, 2 – по сорту. При расчете HCP₀₅ трехфакторного опыта: A – сорт; B – норма высева; C – год.

Table 1
Degree of damage to varieties by helminthosporium leaf spots, %

Seeding rate, million viable seeds per 1 ha	Dark brown spot				Net spot			
	2021	2023	Average		2021	2023	Average	
			1	2			1	2
Памяти Родины								
5	14.0	11.0	13.0	12.6	17.8	16.5	17.2	18.7
6	14.5	11.0	12.8		17.0	18.7	17.9	
7	13.2	10.0	11.6		14.0	16.5	15.3	
8	–	13.0	–		–	24.5	–	
Average for the year	13.9	11.3	–	–	16.3	19.1	–	–
Новичок								
5	9.4	6.3	7.9	8.7	9.4	4.0	6.7	7.2
6	12.0	7.3	9.7		13.5	5.5	9.5	
7	9.5	8.0	8.8		10.3	4.5	7.4	
8	–	8.3	–		–	5.0	–	
Average for the year	10.3	7.5	–	–	11.1	4.8	–	–
Родник Прикам'я								
5	10.0	7.1	8.6	9.1	12.2	7.0	9.6	9.2
6	13.0	6.5	9.8		13.0	7.0	10.0	
7	11.0	7.8	9.9		12.5	7.7	10.1	
8	–	8.1	–		–	7.0	–	
Average for the year	11.3	7.4	–	–	12.6	7.1	–	–
LSD ₀₅	A – 0.3; B – 0.3; AB – 0.6	A – 0.5; B – 0.5; C – 0.4; AB – 0.9; AC – 0.7; BC – 0.7; ABC – 1.3			A – 0.9; B – 1.0; AB – 1.8	A – 0.6; B – 0.6; AB – 1.0; AC – 0.9; BC – 0.8; ABC – 1.5		

Note. 1 – by seeding rate, 2 – by variety. When calculating LSD₀₅ 3-factor experiment: A – variety; B – seeding rate; C – year.

Таблица 2

Характер проявления корневых гнилей у проростков и взрослых растений ячменя при разной норме высева семян

Агротехнологии

Норма высева, млн всхожих зерен на 1 га	Учет в фазу созревания (2023 г.)		Фитопатологический анализ 14-дневных проростков (лабораторный опыт)							
			Семена урожая 2021 г.		Семена урожая 2022 г.		Семена урожая 2023 г.		Среднее по норме высева	
			P, %	Pb, %	P, %	Pb, %	P, %	Pb, %	P, %	Pb, %
Родник Прикамья										
5	A	5,8	58,5	22,0	47,5	23,2	52,0	17,0	52,7	20,7
6	33,6	9,0	72,1	31,8	42,0	15,5	28,0	7,0	47,4	18,1
7	45,8	15,6	44,9	17,3	59,3	27,8	20,0	6,0	41,4	17,0
8	39,4	11,3	–	–	45,6	14,1	34,0	10,0	39,8	12,5
Среднее по сорту	34,2	10,4	–	–	–	–	–	–	45,3	17,1
Среднее по году	–	–	58,5	23,7	48,6	20,1	33,5	13,3	–	–
Новичок										
5	13,9	4,6	62,0	29,0	50,0	21,5	52,0	23,0	54,6	24,5
6	21,5	5,4	65,0	27,3	56,5	25,0	56,5	20,7	59,3	24,3
7	14,6	3,4	72,0	33,0	52,6	28,3	45,0	16,7	56,5	26,0
8	29,2	8,0	–	–	53,4	22,5	28,0	9,0	40,7	15,7
Среднее по сорту	19,8	5,4	–	–	–	–	–	–	52,7	22,6
Среднее по году	–	–	66,3	29,6	53,1	24,3	45,4	17,3	–	–
Памяти Родины										
5	40,2	14,8	76,2	36,9	62,0	28,0	54,2	21,6	64,1	28,8
6	48,0	19,5	73,3	31,7	70,0	30,0	64,0	22,0	69,1	27,9
7	38,0	13,0	65,9	36,5	59,3	24,8	45,4	17,6	56,9	26,3
8	46,2	15,4	–	–	64,0	27,0	32,0	12,0	48,0	19,5
Среднее по сорту	43,1	15,7	–	–	–	–	–	–	59,5	25,6
Среднее по году	–	–	71,8	35,0	63,8	27,4	48,9	18,3	–	–
HCP ₀₅	A – 4,9 B – 5,7 AB – 9,9	A – 1,0 B – 1,1 AB – 2,0	A – 5,6; B – 5,5; C – 5,0; BC – 9,7; ABC – 16,9 (поражение) A – 3,2; B – 3,0; AC – 5,6; BC – 5,6; ABC – 9,7 (развитие болезни)							

Примечание. P – поражение, Pb – развитие болезни.

Table 2

The nature of the manifestation of root rot in seedlings and adult barley plants at different seed sowing rates

Seeding rate, million viable seeds per 1 ha	Accounting in the maturation phase (2023)		Phytopathological analysis of 14-day-old seedlings (laboratory experiment)							
			2021 harvest seeds		2022 harvest seeds		2023 harvest seeds		Average according to seeding rate	
			P, %	Pb, %	P, %	Pb, %	P, %	Pb, %	P, %	Pb, %
Родник Прикамья										
5	18,1	5,8	58,5	22,0	47,5	23,2	52,0	17,0	52,7	20,7
6	33,6	9,0	72,1	31,8	42,0	15,5	28,0	7,0	47,4	18,1
7	45,8	15,6	44,9	17,3	59,3	27,8	20,0	6,0	41,4	17,0
8	39,4	11,3	–	–	45,6	14,1	34,0	10,0	39,8	12,5
Average by grade	34,2	10,4	–	–	–	–	–	–	45,3	17,1
Average for the year	–	–	58,5	23,7	48,6	20,1	33,5	13,3	–	–
Новичок										
5	13,9	4,6	62,0	29,0	50,0	21,5	52,0	23,0	54,6	24,5
6	21,5	5,4	65,0	27,3	56,5	25,0	56,5	20,7	59,3	24,3
7	14,6	3,4	72,0	33,0	52,6	28,3	45,0	16,7	56,5	26,0
8	29,2	8,0	–	–	53,4	22,5	28,0	9,0	40,7	15,7
Average by grade	19,8	5,4	–	–	–	–	–	–	52,7	22,6
Average for the year	–	–	66,3	29,6	53,1	24,3	45,4	17,3	–	–
Родник Прикамья										
5	40,2	14,8	76,2	36,9	62,0	28,0	54,2	21,6	64,1	28,8
6	48,0	19,5	73,3	31,7	70,0	30,0	64,0	22,0	69,1	27,9
7	38,0	13,0	65,9	36,5	59,3	24,8	45,4	17,6	56,9	26,3
8	46,2	15,4	–	–	64,0	27,0	32,0	12,0	48,0	19,5
Average by grade	43,1	15,7	–	–	–	–	–	–	59,5	25,6
Average for the year	–	–	71,8	35,0	63,8	27,4	48,9	18,3	–	–
LSD ₀₅	A – 4,9; B – 5,7; AB – 9,9	A – 1,0; B – 1,1; AB – 2,0	A – 5,6; B – 5,5; C – 5,0; BC – 9,7; ABC – 16,9 (defeat) A – 3,2; B – 3,0; AC – 5,6; BC – 5,6; ABC – 9,7 (development of the disease)							

Note. P – damage, Pb – disease development.

В условиях достаточного увлажнения в период «флаг-лист – цветение» 2021 г. у всех сортов при норме высева 6 млн всхожих зерен/га отмечали достоверное увеличение развития темно-бурой пятнистости листьев, которая в большей степени локализуется в нижнем ярусе стеблестоя. Однако дальнейшее повышение плотности стеблестоя не приводило к увеличению степени поражения растений. Что касается сетчатой пятнистости, то в данных агроэкологических условиях отмечали явную сортоспецифичность в степени ее проявления. У сорта Памяти Родины наибольшее развитие болезни было при норме высева 5 млн всхожих зерен/га (17,8 %); у других сортов в этом варианте степень поражения растений была наименьшей для опыта (9,4 % и 12,2 %). Можно полагать, что в этих абиотических условиях достаточно разреженный посев мог привести к излишней засоренности биоценоза многолетними двудольными сорняками, что обеспечило благоприятный микроклимат для возбудителя *Dresclera teres* и индуцировало усиление поражения восприимчивого сорта Памяти Родины. Данные о повышении засоренности посевов по мере снижения нормы высева семян получены и в исследованиях С. Л. Елисеева с соавторами [10] на двух сортах ячменя: Памяти Чепелева и Родник Прикамья.

В избыточно увлажненных условиях вегетации 2023 года просматривается тенденция усиления развития гельминтоспориозных пятнистостей у всех сортов по мере загущения посевов. Обнаружено также, что независимо от нормы высева в этих абиотических условиях степень поражения тест-сортов была в среднем ниже, чем в относительно благоприятном 2021 году. Это особенно проявилось у наименее поражаемых сортов Новичок и Родник Прикамья. Известно, что повышенная влажность среды оказывает губительное влияние на грибы рода *Helminthosporium*, у которых в этих условиях снижается жизнеспособность конидий.

Что касается корневых гнилей, то характер их проявления в значительной мере определяли генотип и норма высева семян (таблица 2). По мере загущения посевов у всех сортов происходило нарастание распространения и развития болезни. Это может быть обусловлено ослаблением растений при возможном недостатке питательных веществ в загущенном стеблестое и усилением вирулентности возбудителей корневых гнилей – видов *Helminthosporium* spp. и *Fusarium* spp. в изменившихся растительно-микробных взаимоотношениях. При этом обнаружено, что сорта Родник Прикамья и Новичок сильнее реагировали на увеличение плотности стеблестоя. В варианте с нормой высева 8 млн всхожих зерен на 1 га показатели иммунологических признаков по сравнению с 5 млн всхожих зерен на 1 га увеличились практически в два раза: поражение –

с 18,1 % до 39,4 % (Родник Прикамья) и с 13,9 % до 29,2 % (Новичок), развитие болезни – с 5,8 % до 11,3 % и с 4,6 % до 8,0 % соответственно.

В связи с тем, что условия вегетации значительно влияют на фенотипическое проявление устойчивости к неспецифическим инфекциям, в 2023 году мы оценили инфицированность проростков, выращенных из семян свежего урожая. Наибольшая инфицированность выявлена у сорта Памяти Родины (в среднем 59,5 % – поражение и 25,6 % – развитие болезни), что в целом согласуется с полевой оценкой этого генотипа. Несмотря на идентичные условия формирования зерна в годы исследований (ГТК = 0,80...0,86), наиболее высокая инфицированность проростков была у семян, сформировавшихся в 2021 году (58,5–71,8 % – поражение и 23,7–35,0 % – развитие болезни), что может свидетельствовать о значительной семенной инфекции. Ранее мы отмечали более высокое и существенное (при $P \geq 0,95$) влияние температурного режима ($r = 0,43$) по сравнению с количеством осадков ($r = 0,31$) на развитие гельминтоспориозных корневых гнилей ячменя [16]. Что касается влияния запущенности посева, то у всех сортов инфицированность проростков по сравнению со взрослыми растениями снижалась по мере увеличения нормы высева семян. Можно полагать, что зерновки, сформировавшиеся при дополнительном кущении на боковых побегах в разреженном стеблестое, были более щуплыми и инфицированными.

Одним из главных критериев эффективности изучаемых элементов агротехнологии и интегральным показателем является урожайность зерна. Тест-сорты неоднозначно реагировали на изменение плотности стеблестоя (таблица 3). У высокоурожайного сорта Родник Прикамья в среднем за годы исследований отмечали существенное повышение признака с каждым шагом нормы высева семян: с 3,88 т/га до 5,01 т/га. У менее урожайного генотипа Памяти Родины обнаружена обратная тенденция: по мере загущения стеблестоя уровень признака снижался с 4,09 до 3,31 т/га. У сорта Новичок изменения урожайности преимущественно незначительны, за исключением варианта с нормой высева 6 млн всхожих зерен на 1 га, где произошло снижение признака с 4,38 т/га до 4,09 т/га. Сортоспецифичность обнаружена также и в зависимости от погодных условий в период вегетации растений. Так, при достаточном увлажнении 2021 года наибольшая урожайность у тест-сортов (2,40 т/га; 3,08 т/га; 3,73 т/га) получена при норме высева 7 млн всхожих зерен на 1 га. При избыточном увлажнении 2022 и 2023 годов для сортов Памяти Родины и Новичок наиболее приемлема норма высева 5 млн всхожих зерен на 1 га, где получена наибольшая для опыта урожайность: 5,27 т/га и 4,95 т/га (Памяти Родины), 5,32 т/га и 5,95 т/га (Новичок). Вероятно,

в несколько разреженном стеблестое повышается продуктивное кушение и полнее используются элементы питания в корнеобитаемом слое. Кроме того, в этом варианте все сорта существенно меньше поражаются корневыми гнилями, а Памяти Родины и Новичок – и пятнистостями листьев. Поэтому при региональном возделывании этих сортов ячменя должен быть практикоориентированный подход к

выбору нормы высева с учетом погодных условий, прогноза фитосанитарной ситуации и, особенно, экономической целесообразности ее увеличения.

Статистическая обработка экспериментальных данных показала различный вклад изучаемых факторов (сорт, норма высева, условия года) в изменчивость урожайности и иммунологических признаков (таблица 4).

Таблица 3
Урожайность сортов ячменя в зависимости от нормы высева семян и условий вегетации растений, т/га

Норма высева, млн всхожих зерен на 1 га	2021 год	2022 год	2023 год	Среднее по норме высева	Среднее по сорту
Памяти Родины					
5	2,06	5,27	4,95	4,09	3,75
6	2,23	5,00	3,90	3,71	
7	2,40	4,92	4,37	3,90	
8	1,67	5,00	3,27	3,31	
Среднее по году	2,09	5,05	4,12		
Новичок					
5	1,87	5,32	5,95	4,38	4,27
6	2,43	5,15	4,69	4,09	
7	3,08	5,15	4,91	4,38	
8	2,40	5,15	5,11	4,22	
Среднее по году	2,45	5,19	5,17		
Родник Прикамья					
5	2,36	5,06	4,22	3,88	4,50
6	3,46	4,96	5,04	4,49	
7	3,73	5,14	4,99	4,62	
8	3,86	5,26	5,90	5,01	
Среднее по году	3,35	5,11	5,04		
НСР ₀₅ = A – 0,20; B – 0,21; C – F _φ < F _τ ; AB – 0,36; AC – F _φ < F _τ ; BC – 0,36; ABC – 0,62					

Table 3
Productivity of barley varieties depending on the seed sowing rate and plant growing conditions, t/ha

Seeding rate, million viable seeds per 1 ha	2021	2022	2023	Average by seeding rate	Average by variety
Памяти Родины					
5	2.06	5.27	4.95	4.09	3.75
6	2.23	5.00	3.90	3.71	
7	2.40	4.92	4.37	3.90	
8	1.67	5.00	3.27	3.31	
Average for the year	2.09	5.05	4.12		
Novichok					
5	1.87	5.32	5.95	4.38	4.27
6	2.43	5.15	4.69	4.09	
7	3.08	5.15	4.91	4.38	
8	2.40	5.15	5.11	4.22	
Average for the year	2.45	5.19	5.17		
Rodnik Prikam'ya					
5	2.36	5.06	4.22	3.88	4.50
6	3.46	4.96	5.04	4.49	
7	3.73	5.14	4.99	4.62	
8	3.86	5.26	5.90	5.01	
Average for the year	3.35	5.11	5.04		
LSD ₀₅ = A – 0.20; B – 0.21; C – F _f < F _m ; AB – 0.36; AC – F _f < F _m ; BC – 0.36; ABC – 0.62					

Вклад фиксированных и случайных факторов в изменчивость некоторых признаков ячменя, %

Признак	A – сорт	B – норма высева	C – год	AB	AC	BC	ABC	Случайные факторы
Степень поражения сетчатой пятнистостью	16,2	12,8	1,2	38,5*	10,0	0,5	19,5	1,3
Степень поражения темно-бурой пятнистостью	29,0*	6,1	3,4	29,5*	5,2	19,0	7,0	0,8
Урожайность	71,0*	6,3	0,3	4,3	0,5	4,4	4,8	8,3
Инфицированность 14-дневных проростков**	31,8*/ 43,2*	20,3/ 18,9	4,5/ 2,1	2,1/ 2,5	4,2/ 6,7	6,0/ 4,7	17,8/ 11,4	13,3/ 10,5

Примечание. * значимо на уровне 0,05; ** в числителе – поражение, в знаменателе – развитие болезни.

Table 4

Contribution of fixed and random factors to the variability of some barley traits, %

Trait	A – grade	B – seed rate	S – year	AB	AC	BC	ABC	Random factors
Degree of damage net spot	16.2	12.8	1.2	38.5*	10.0	0.5	19.5	1.3
Degree of damage dark brown spotting	29.0*	6.1	3.4	29.5*	5.2	19.0	7.0	0.8
Productivity	71.0*	6.3	0.3	4.3	0.5	4.4	4.8	8.3
Infectivity of 14-day-old seedlings**	31.8*/ 43.2*	20.3/ 18.9	4.5/ 2.1	2.1/ 2.5	4.2/ 6.7	6.0/ 4.7	17.8/ 11.4	13.3/ 10.5

Note. * significant at the 0.05 level; ** in the numerator – defeat, in the denominator – development of the disease.

Так, на развитие сетчатой и темно-бурой пятнистости наибольшее влияние оказывало совокупное действие факторов АВ, доля которых составила 38,5 % и 29,5 %. Существенный вклад в изменчивость темно-бурой пятнистости оказывает также сорт – 29,0 %. Влияние нормы высева незначимо, хотя развитие сетчатой пятнистости в отличие от темно-бурой в большей степени определяет этот фактор, о чем свидетельствует доля признака: 12,8 % и 6,1 %. Влияние условий года в изменчивости гельминтоспориозных болезней также статистически незначимо. Урожайность ячменя на 71,0 % определяется генотипом. В инфицированности проростков, выращенных из семян каждого варианта, также превалирует сорт (31,8 % – поражение и 43,2 % – развитие болезни), но достаточно велика доля комплексного действия ABC (17,8 % и 11,4 %) и случайных факторов (13,3 % и 10,5 %). Однако следует отметить, что данные, приведенные в таблице 4, не являются обобщающими. Они отражают основные тенденции в изменении вклада генотипа, нормы высева и абиотических условий в общую совокупность фиксированных факторов,

степень влияния которых может изменяться при увеличении периода наблюдений и с расширением или изменением ассортимента и норм высева.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Выбор нормы высева для новых сортов ячменя определяется сортом и отчасти погодными условиями в период вегетации. Проявляется тенденция ухудшения фитосанитарной ситуации по мере загущения посевов, особенно в условиях повышенного увлажнения. При достаточном увлажнении в период вегетации для сортов Новичок и Памяти Родины оптимальной является норма 7 млн всхожих зерен на 1 га, при избыточном – 5 млн всхожих зерен на 1 га. У сорта Родник Прикамья, несмотря на то что наибольшая урожайность получена при норме 8 млн всхожих зерен на 1 га, с учетом экономической целесообразности приемлемой может быть 6 и 7 млн всхожих зерен на 1 га. Установлено, что наибольший вклад в развитие пятнистостей листьев (29,5 % и 38,5 %) оказывает совокупное действие факторов «сорт – норма высева», в урожайность ячменя, инфицированность молодых проростков, фактор «генотип» (71,0 %; 31,8 % и 43,2 %).

Библиографический список

1. Родина Н. А. Селекция ячменя на Северо-Востоке Нечерноземья. Киров: Зональный НИИСХ Северо-Востока, 2006. 486 с.
2. Забалуева Д. В., Сатарина, З. Е., Ерошенко, Л. М., Семенова, Е. Ю. Влияние климатических факторов на урожайность ярового ячменя в условиях владимирской области // Владимирский земледелец. 2024. № 1 (107). С. 56–61.
3. Левакова О. В. Сортные особенности формирования продуктивности ячменя сорта Рафаэль при разной норме высева // Аграрная наука. 2023. № 2. С. 82–86.

4. Щенникова И. Н., Кокина Л. П. Перспективы селекции ячменя для условий Волго-Вятского региона (аналитический обзор) // *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2021. № 22 (1). С. 21–31. DOI: 10.30766/2072-9081.2021.22.1.21-31.
5. Шешегова Т. К., Щеклейна Л. М. Фитопатогенная биота в условиях потепления климата (обзор) // *Теоретическая и прикладная экология*. 2022. № 3. С. 6–13. DOI: 10.25750/1995-4301-2022-3-006-013.
6. Бенкен А. А. Типы грибных эпифитотий // *Микология и фитопатология*. 1980. Т. 14, вып. 2. С. 141–151.
7. Zecevic V., Boskovic J., Knezevic D., Micanovic D. Effect of seeding rate on grain quality of winter wheat // *Chilean Journal of Agricultural Research*. 2014. Vol. 74. No. 1. Pp. 23–28. DOI: 10.4067/S0718-58392014000100004.
8. Бессонова Л. В., Неволлина К. Н. Оценка продуктивности и адаптивности сортов ярового ячменя в условиях Предуралья // *Известия Оренбургского ГАУ*. 2015. № 5 (55). С. 48–50.
9. Intsar H. H., Wahid S. A. Seeding Rates influence on growth and straw yield of some bread wheat cultivars and their relationship with accumulated heat units // *American Eurasian Journal of Sustainable Agriculture*. 2017. Vol. 11, No. 5. Pp. 49–58.
10. Елисеев С. Л., Яркова Н. Н., Фомин Д. С., Полякова С. С. Урожайность ярового ячменя сортов Родник Прикамья и Памяти Чепелева в Среднем Предуралье // *Материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 100-летию кафедры растениеводства*. Пермь, 2023. С. 59–63.
11. Абдюев М. Р. Норма высева как важный составной элемент агротехники пшеницы // *Международный журнал гуманитарных и естественных наук*. 2018. № 11-1. С. 143–146. DOI: 10.24411/2500-1000-2018-10171.
12. Жученко А. А. Адаптивное растениеводство (эколого-генетические основы) теория и практика. Москва: Агрорус, 2009. Т. 3. 958 с.
13. Заушинцева А. В. Источники биологических свойств и хозяйственно ценных признаков для селекции ячменя // *Вестник Красноярского ГАУ*. 2019. № 12. С. 64–68.
14. Сурин Н. А., Зобова Н. В., Ляхова Н. Е. Генетический потенциал и селекционная значимость ячменя Сибири // *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2014. № 18 (2). С. 378–386.
15. Bhandari S., Rajbhandari B. P., Khatri N. Effects of seeding rate and genotype × seeding rate interactions on promising wheat genotypes at rupandehi // *Nepalese Journal of Agricultural Sciences*. 2024. Vol. 26. Pp. 199–206.
16. Шешегова Т. К., Щеклейна Л. М. Зависимость развития корневой гнили зерновых культур от погодных условий и сорта // *Защита и карантин растений*. 2016. № 10. С. 17–19.

Об авторах:

Татьяна Кузьмовна Шешегова, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник, заведующая лабораторией иммунитета и защиты растений, Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого, Киров, Россия; ORCID 0000-0003-2371-4949, AuthorID 745717.

E-mail: sheshegova.tatyana@yandex.ru

Люция Муллаахметовна Щеклейна, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории иммунитета и защиты растений, Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого, Киров, Россия; ORCID 0000-0002-3589-5524, AuthorID 485437.

E-mail: immunitet@fanc-sv.ru

Любовь Владимировна Панихина, аспирант, младший научный сотрудник лаборатории селекции и первичного семеноводства ячменя, Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого, Киров, Россия; ORCID 0000-0003-2227-7716, AuthorID 1058406, 912-362-95-32.

E-mail: panikhina95@yandex.ru

References

1. Rodina N. A. Barley breeding in the North-East of the Non-Black Earth Region. Kirov: Zonal Research Institute of Agriculture of the North-East, 2006. 486 p. (In Russ.)
2. Zabalueva D. V., Satarina Z. E., Eroshenko L. M., Semenova E. Yu. Impact of climatic factors on the yielding capacity of spring barley in the conditions of Vladimir oblast. *Vladimir Agricolist*. 2024; 1 (107): 56–61. (In Russ.)
3. Levakova O. V. Varietal features of the formation of productivity of barley of the Rafael variety at different seeding rates. *Agrarian Science*. 2023; 2: 82–86. (In Russ.)
4. Shchennikova I. N., Kokina L. P. Prospects of barley breeding for the conditions of the Volga-Vyatka region (analytical review). *Agricultural Science Euro-North-East*. 2021; 22 (1): 21–31. DOI: 10.30766/2072-9081.2021.22.1.21-31. (In Russ.)
5. Sheshegova T. K., Shchekleina L. M. Phytopathogenic biota in the conditions of climate warming (review). *Theoretical and Applied Ecology*. 2022; 3: 6–13. DOI: 10.25750/1995-4301-2022-3-006-013. (In Russ.)

6. Benken A. A. Types of fungal epiphytoses. *Mycology and Phytopathology*. 1980; 14 (2): 141–151. (In Russ.)
7. Zecevic V., Boskovic J., Knezevic D., Micanovic D. Effect of seeding rate on grain quality of winter wheat. *Chilean Journal of Agricultural Research*. 2014; 74 (1): 23–28. DOI: 10.4067/S0718-58392014000100004.
8. Bessonova L. V., Nevolina K. N. Evaluation of productivity and adaptability of spring barley varieties in the conditions of the Cis-Urals. *Izvestiya Orenburg State Agrarian University*. 2015; 5 (55): 48–50. (In Russ.)
9. Intsar H. H., Wahid S. A. Seeding Rates influence on growth and straw yield of some bread wheat cultivars and their relationship with accumulated heat units. *American Eurasian Journal of Sustainable Agriculture*. 2017; 11 (5): 49–58.
10. Eliseev S. L., Yarkova N. N., Fomin D. S., Polyakova S. S. Yield of spring barley varieties Rodnik Prikamya and Pamyati Chepeleva in the Middle Urals. *Proceedings of the All-Russian scientific and practical conference dedicated to the 100th anniversary of the Department of Plant Growing*. Perm, 2023; 59–63. (In Russ.)
11. Abdryaev M. R. To the question about seed rate. *International Journal of Humanitarian and Natural Sciences*. 2018; 11–1: 143–146. DOI: 10.24411/2500-1000-2018-10171. (In Russ.)
12. Zhuchenko A. A. Adaptive crop production (ecological and genetic foundations): theory and practice. Moscow: Agrorus, 2009. Vol. 3. 958 p. (In Russ.)
13. Zaushintsena A. V. The sources of biological properties and economically valuable traits for barley selection. *Bulletin of the Krasnoyarsk State Agrarian University*. 2019; 12: 64–68. (In Russ.)
14. Surin N. A., Zobova N. V., Lyakhova N. E. Genetic potential and breeding significance of Siberian barley. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2014; 18 (2): 378–386. (In Russ.)
15. Bhandari S., Rajbhandari B. P., Khatri N. Effects of seeding rate and genotype \times seeding rate interactions on promising wheat genotypes at rupandehi. *Nepalese Journal of Agricultural Sciences*. 2024; 26: 199–206.
16. Sheshegova T. K., Shchekleina L. M. Dependence of the development of root rot of grain crops on weather conditions and variety. *Plant Protection and Quarantine*. 2016; 10: 17–19. (In Russ.)

Authors' information:

Tatyana K. Sheshegova, doctor of biological sciences, leading researcher, head. laboratory of immunity and plant protection, Federal Agrarian Research Center of the North-East named N. V. Rudnitskiy, Kirov, Russia; ORCID 0000-0003-2371-4949, AuthorID 745717. *E-mail: sheshegova.tatyana@yandex.ru*

Lyutsiya M. Shchekleina, candidate of agricultural sciences, senior researcher, laboratory of immunity and protection of plants, Federal Agrarian Research Center of the North-East named N. V. Rudnitskiy, Kirov, Russia; ORCID 0000-0002-3589-5524, AuthorID 485437. *E-mail: immunitet@fanc-sv.ru*

Lyubov V. Panikhina, postgraduate, junior researcher at the laboratory of selection and primary seed production of barley, Federal Agrarian Research Center of the North-East named N. V. Rudnitskiy, Kirov, Russia; ORCID 0000-0003-2227-7716, AuthorID 1058406. *E-mail: panikhina95@yandex.ru*