

СЕЛЕКЦИОННАЯ ЦЕННОСТЬ МУТАНТНЫХ ФОРМ ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ
В УСЛОВИЯХ ВОЛГО-ВЯТСКОГО РЕГИОНА

И.Ю. ЗАЙЦЕВА, Л.В. ПАНИХИНА, И.Н. ЩЕННИКОВА, Н.А. ЖИЛИН

(Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого)

Многие сельскохозяйственные культуры имеют весьма небольшую генетическую «базу». Использование ограниченного набора родительских форм приводит к сокращению наследственного разнообразия коммерческих сортов и обостряет проблему их устойчивости к неблагоприятным факторам окружающей среды. Индуцированный мутагенез является одним из средств создания генетических вариаций у сельскохозяйственных культур за более короткий период времени по сравнению со скрещиваниями и может использоваться для выведения исходного материала для селекции и новых сортов, обладающих высокой урожайностью, превосходным качеством продукции, устойчивостью к климатическим изменениям и толерантностью к биотическим и абиотическим стрессам. Цель исследований – оценка на основе данных конкурсного сортоиспытания мутантных форм ярового ячменя по хозяйственно-полезным признакам и выделение источников селекционно-ценных признаков для дальнейшего использования в качестве исходного материала в селекции. Исследования проводили в 2021–2023 гг. в ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, г. Киров. Объектом исследований являлись 9 мутантных образцов и сорт Памяти Дудина, созданные в ФГБОУ ВО «Вятский государственный агротехнологический университет» при помощи воздействия различных сочетаний мутантных факторов на семена сорта ярового ячменя Биос 1. За период изучения провели комплексное исследование мутантных форм ярового ячменя в питомнике конкурсного сортоиспытания. Исследования подтвердили возможность получения полезных мутаций на культуре ячменя в результате применения малотоксичных и безопасных факторов химической и физической природы. Выявлены стрессоустойчивые мутантные формы, способные давать стабильную урожайность как в благоприятные годы, так и в годы с контрастными условиями: М 4–10, М 5–3, М 9–5–3, М 6–10. В результате исследований выявлено, что все изученные мутантные формы выделяются по комплексу селекционно-ценных признаков и являются ценным исходным материалом при создании новых сортов ячменя ярового для условий Волго-Вятского региона. При этом, однако, включать их в скрещивания необходимо с устойчивыми к полеганию генотипами.

Ключевые слова: мутагенез, урожайность, элементы структуры урожайности, качество зерна, вегетационный период, устойчивость к полеганию, пыльная головня.

Введение

В современных условиях, с ростом численности населения Земли, с каждым годом все более остро стоит вопрос повышения урожайности сельскохозяйственных культур за счет улучшения технологии возделывания [32]. С развитием науки большинство элементов технологии производства на данный момент находится на пике возможностей, однако существуют резервы: сорта и гибриды.

Генетическое разнообразие растений – ценный ресурс для пищевой и перерабатывающей промышленности. Во время зеленой революции были созданы новые сорта, обладающие высокой урожайностью и устойчивостью к болезням, что позволило увеличить количество продовольствия, получаемого из основных сельскохозяйственных культур [27]. Однако многие культуры характеризуются весьма небольшой генетической базой, что делает их чувствительными к неблагоприятным факторам окружающей среды [31]. Кроме того, ускоряется потеря генетических ресурсов, особенно в свете изменения климата [27].

К настоящему времени утрачено до 75% генетического разнообразия сельскохозяйственных культур, под угрозой исчезновения находится 15–37% их [31]. За свою историю для производства продовольствия человечество использовало примерно 3000 из порядка 200000 видов растений, а в настоящее время – только 15–20 видов. Таким образом, решение этого вопроса представляет собой серьезную проблему для селекционеров, и разработка планов по увеличению генетического разнообразия привлекла интерес многочисленных исследовательских групп [22; 33].

Индукцированный мутагенез может быть использован для увеличения генетического разнообразия. С помощью мутационной селекции создаются сорта с высоким качеством продукции, высокой и стабильной урожайностью, устойчивостью к изменениям климата и толерантностью к биотическим и абиотическим стрессам. Ежегодно мутантными сортами засеивается более 9 млн га, с которых аграрии собирают около 1,5 млн т урожая в год [30].

Индукцированный мутагенез служит инструментом для создания генетических вариаций у сельскохозяйственных культур за более короткий период времени по сравнению со скрещиваниями [26]. Селекционеры в течение более 80 лет используют этот метод для увеличения генетического разнообразия растений и создания новых мутантных форм с улучшенными признаками [29]. Мутации возникают в результате ошибок при репликации ДНК или повреждающего воздействия мутагенов – таких, как химические вещества и физические факторы, которые взаимодействуют с ДНК и изменяют архитектуру отдельных нуклеотидов включая замены, вставки или делеции [28], но частота их появления в растениях невелика [19].

Увеличение частоты мутаций при помощи индуцированного мутагенеза – один из важных способов получения исходных форм, необходимых для создания требуемых «умных» видов сельскохозяйственных культур, повышающих биоразнообразие [19].

Мутантные формы, полученные с помощью методов фото- и хемомутагенеза, не только представляют интерес с генетической точки зрения (различная длина стебля, колоса и остей, разнообразные хлорофилльные мутации), но и являются селекционно-ценными (скороспелость, продуктивность, устойчивость к полеганию, высокое содержание белка) [6].

Цель исследований: на основе данных конкурсного сортоиспытания оценить мутантные формы ярового ячменя по селекционно-ценным признакам, выделить источники для дальнейшего использования в селекции.

Материал и методы исследований

Исследования по оценке мутантных форм ячменя (2021–2023 гг.) проводились в ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого, г. Киров.

Полевой опыт был заложен в соответствии с Методикой государственного сортоиспытания (2019) [12] на делянках площадью 10,0 м² в четырехкратной повторности. Предшественник – чистый пар, норма высева – 5 млн всхожих зерен на 1 га.

Стандарт – сорт Родник Прикамья, рекомендованный госкомиссией по сортоиспытанию по Кировской области. Производилась обработка почвы [8], включая в себя боронование, внесение удобрений и культивацию. После посева, в оптимально ранние сроки, проводили прикатывание. Минеральные удобрения вносили под предпосевную культивацию в дозе $N_{48}P_{48}K_{48}$ (нитроаммофоска NPK 16:16:16, АО «ОХК «Уралхим»).

Почва опытного участка – дерново-подзолистая среднесуглинистая (гумус – 2,27–3,56, фосфор – 167–367 мг/кг, обменный калий – 243–247 мг/кг, рН солевой вытяжки – 4,4–5,8%).

Объектом исследований являлись новый сорт-мутант Памяти Дудина (форма 8–3–013) и 9 мутантных образцов. Все мутантные образцы получены в ФГБОУ ВО «Вятский государственный агротехнологический университет» при воздействии различных сочетаний мутантных факторов на семена сорта ячменя ярового Биос 1 (табл. 1).

Устойчивость к стрессам ($Y_{\min} - Y_{\max}$) и компенсирующее свойство сорта ($(Y_{\min} + Y_{\max})/2$) определяли по методике, разработанной А.А. Гончаренко [4], масштаб урожайности (d) – по методике, разработанной В.А. Зыкиным [7].

Оценку поражения сортов пыльной головней (*Ustilago nuda* (Jens) Rostr.) проводили на естественном инфекционном фоне в соответствии с методикой [9]. Уровень влагообеспеченности оценивали по гидротермическому коэффициенту (ГТК) [17].

В работе применяли статистические методы [16] с использованием пакета программ статистического и биометрико-генетического анализа в растениеводстве и селекции AGROS v. 2.07 и программы Microsoft Office Excel 2016.

Таблица 1

Способы получения мутантных форм ярового ячменя

Сорт, мутантная форма	Способ получения
Памяти Дудина	Облучение семян лазерным красным светом (ЛКС) в течение 60 мин и последующее замачивание в растворе карбоната калия (K_2CO_3), затем в растворе карбоната натрия 0,1н (Na_2CO_3)
М 4–16–3	Замачивание семян в растворе Na_2CO_3 1н в течение 12 ч
М 2–37–6	Замачивание семян в растворе Na_2CO_3 0,01н в течение 12 ч
М 9–5–3	Замачивание семян в растворе Na_2CO_3 0,1н с последующим облучением дальним красным светом (ДКС)
М 10–12	Облучение семян ДКС с последующим замачиванием в растворе K_2CO_3 0,1н
М 11–13-Ха	Облучение семян ЛКС с последующим замачиванием в растворе Na_2CO_3 0,1н, затем облучение ДКС
М 5–3	Замачивание семян в растворе Na_2CO_3 0,1н, затем в растворе K_2CO_3 0,1н
М 4–10	Замачивание семян в растворе K_2CO_3 0,1н, затем в растворе Na_2CO_3 0,1н
М 6–10	Облучение семян ДКС
М 5–11	Облучение семян ЛКС с длиной волны $\lambda = 632,8$ нм

Условия в период вегетации растений различались по годам по температурно-му режиму и количеству осадков, что позволило провести всестороннюю оценку мутантных форм. Вегетационный период 2021 г. характеризовался погодой от теплой до жаркой с периодически выпадающими дождями (ГТК = 1,23). В 2022 г. наблюдалась теплая, но с частыми осадками погода, что привело к избыточному увлажнению (ГТК = 1,98). 2023 г. отличался неустойчивой погодой: как с продолжительными сухими, так и с дождливыми периодами (ГТК = 1,71).

Результаты и их обсуждение

Создание и внедрение в производство новых высокоурожайных сортов являются одними из путей повышения валового сбора зерна без расширения посевных площадей [24]. Урожайность – основной показатель, характеризующий хозяйственную ценность сортов в конкретных почвенно-климатических условиях [13].

В 2021 г. по причине недостатка влаги во время прохождения межфазных периодов «Всходы-кущение» и «Кущение-выход в трубку» урожайность мутантных форм в среднем составляла $3,6 \pm 0,2$ т/га. Достоверная прибавка по урожайности относительно стандарта и исходного сорта в этом году была отмечена только у мутантов М 4–10 и М 5–3 (табл. 2). Максимальную в опыте урожайность сорта сформировали в наиболее благоприятных условиях вегетации в 2022 г., в среднем она составляла $6,2 \pm 0,2$ т/га. В 2023 г. урожайность находилась в пределах $4,2–6,1$ т/га и в среднем составляла $5,1 \pm 0,2$ т/га. Все мутантные формы в 2022–2023 гг. имели высокую урожайность на уровне стандарта и исходного сорта Биос 1.

Таблица 2

Урожайность мутантных форм, т/га

Сорт, мутантная форма	Год			
	2021	2022	2023	2021–2023
Родник Прикамья, st.	3,0	6,2	4,5	4,6
Биос 1, исходная форма	3,3	5,9	6,1	5,1
Памяти Дудина	3,8	6,9	5,9	5,5
М 4–16–3	3,3	5,9	6,1	5,1
М 9–5–3	3,5	5,5	4,7	4,6
М 5–11	3,3	6,8	4,7	4,9
М 2–37–6	3,6	6,3	5,2	5,0
М 11–13-Ха	3,4	6,3	5,0	4,9
М 4–10	4,9	7,2	4,2	5,4
М 5–3	4,4	6,0	4,5	5,0
М 6–10	4,0	6,5	5,3	5,3
М 10–12	3,3	6,8	5,1	5,1
НСР ₀₅	1,1	1,7	2,2	нет различий

В среднем за 3 года исследований урожайностью более 5 т/га характеризовались мутантные формы М 4–16–3, М 4–10, М 6–10, М 10–12 и сорт Памяти Дудина.

В настоящее время селекционная работа ориентирована на адаптивность сортов к контрастным погодным условиям, прежде всего – к экстремальным, которые в большей степени ограничивают потенциал возможной урожайности [1]. Показатель ($Y_{\min} - Y_{\max}$), имеющий отрицательное значение, отражает степень адаптации сорта к различным стрессовым факторам окружающей среды. Сорт является стрессоустойчивым и имеет широкий диапазон адаптивных возможностей при минимальной разнице между $Y_{\min} - Y_{\max}$. Устойчивость к стрессам и способность формировать урожай в различающихся по годам погодных условиях проявили образцы М 6–10 (–1,5) и М 5–3 (–1,6) (табл. 3). Дополнительной величиной для выявления стрессоустойчивости в контрастных условиях является показатель $(Y_{\min} + Y_{\max})/2$, отражающий наибольшую среднюю урожайность сорта. Следовательно, интерес для дальнейшей селекции представляют генотипы, характеризующиеся более высокими значениями показателя. Высокая степень соответствия между генотипом сорта и условиями вегетации была выявлена у мутантной формы М 4–10 (5,7).

Показатель размаха урожайности d демонстрирует отношение разницы между максимальной и минимальной урожайностью сорта к максимальной урожайности, выраженное в процентах. Стабильность урожайности в конкретных условиях выше, чем ниже этот показатель. Наименьшие значения размаха урожайности характерны для мутантных форм М 5–3 (26,7); М 9–5–3 (36,4); М 6–10 (38,5).

Таким образом, к стрессоустойчивым сортам, способным давать стабильную урожайность как в благоприятные годы, так и в годы с контрастными условиями, можно отнести сорта-мутанты М 4–10; М 5–3; М 9–5–3; М 6–10.

Таблица 3

Адаптивный потенциал мутантных форм ячменя, 2021–2023 гг.

Сорт, мутантная форма	Показатели					
	Y_{avg}	Y_{min}	Y_{max}	$Y_{\text{min}} - Y_{\text{max}}$	$(Y_{\text{min}} + Y_{\text{max}})/2$	d
Родник Прикамья, st.	4,6	3,0	6,2	–3,2	4,6	51,6
Биос 1, исходная форма	5,1	3,3	6,1	–2,8	4,7	45,9
Памяти Дудина	5,5	3,8	6,9	–3,1	5,4	44,9
М 4–16–3	5,1	3,3	6,1	–2,8	4,7	45,9
М 9–5–3	4,6	3,5	5,5	–2,0	4,5	36,4
М 5–11	4,9	3,3	6,8	–3,5	5,1	51,5
М 2–37–6	5,0	3,6	6,3	–2,7	5,0	42,9
М 11–13-Ха	4,9	3,4	6,3	–2,9	4,8	46,0
М 4–10	5,4	4,2	7,2	–3,0	5,7	41,7
М 5–3	5,0	4,4	6,0	–1,6	5,2	26,7
М 6–10	5,3	4,0	6,5	–1,5	5,2	38,5
М 10–12	5,1	3,3	6,8	–3,5	1,75	51,5

На продолжительность вегетационного периода, который определяет урожайность сорта, качество производимой продукции, толерантность к поражению болезнями и вредителям, существенно влияют складывающиеся погодные условия в период роста и развития растений, а также биологические особенности сорта [3, 15]. Оптимальные сроки прохождения растениями наиболее важных фаз вегетации помогают избежать негативного действия неблагоприятных почвенно-климатических факторов региона возделывания сорта [11].

По продолжительности вегетационного периода все мутанты находились в одной группе спелости со стандартом, их вегетационный период составлял в среднем 78–81 день. Выделялись М 4–16–3, М 6–10 и М 10–12, созревавшие на 1–6 дней раньше исходной формы, вегетационный период которой составлял от 70 до 89 дней.

Одним из факторов, негативно влияющих на урожайность ячменя, является полегание растений. Потери урожая зерна от полегания могут достигать 50%. В полегших посевах затруднена уборка урожая, а также ухудшаются обменные процессы в растениях, усиленно развиваются грибковые заболевания, что приводит к понижению качества зерна [15]. В годы проведения исследований устойчивость к полеганию у изученных мутантных форм значительно варьировала – от 2,0 до 5,0 балла.

В 2021 г. полегание растений отмечено не было, все изучаемые генотипы характеризовались устойчивостью от 4,8 до 5,0 балла. Провокационные условия сложились в июле 2022 и 2023 гг., когда частые, временами обильные, дожди отрицательно сказались на устойчивости мутантных форм к полеганию. Устойчивость к полеганию в эти годы составляла от 2,0 до 4,8 балла и от 3,0 до 4,8 балла соответственно. Наибольшей устойчивостью к полеганию за годы исследований характеризовались мутанты М 11–13-Ха (4,8 балла) и М 4–16–3 (4,1 балла).

Немаловажное значение при оценке сортов имеет качество зерна. Одними из основных показателей качества зерна являются содержание белка в зерне, натурная масса, выравненность и масса 1000 зерен. Зерно ячменя служит незаменимым источником растительного белка для насыщения кормов для животных. Ценным считается ячмень с наиболее высоким содержанием белка в зерне [18]. Содержание белка в зерне мутантных форм варьировало от 11,9 (М 4–16–3) до 15,1% (М 6–10) (табл. 4). Наибольшую кормовую ценность представляют мутантные формы М 6–10 и М 2–37–6. Превысили по содержанию белка в зерне на 0,4–1,6% ценный по качеству стандарт и исходный сорт мутантные формы М 5–11; М 4–10; М 5–3; М 11–13-Ха; М 10–12; сорт Памяти Дудина.

Натура определяет выполненность, плотность и полновесность зерна [25]. Хорошо выполненное зерно отличается более высоким относительным содержанием полезных веществ и эндосперма [2]. Натурная масса зерна мутантных форм составляла от 662,3 до 677,7 г/л. Наибольшей натурной массой характеризовались мутанты М 5–11 и М 2–37–6.

Семена, выровненные по размерам, дают дружные всходы, обеспечивая равномерное развитие растений, а следовательно, и одновременное созревание зерна, что облегчает и ускоряет уборку урожая, повышает качество зерна [16]. Выравненность зерна мутантных форм составляла от 87,8 до 93,3%. Превысили стандартный сорт и исходную форму мутанты М 5–3 и М 6–10 (табл. 4).

Крупное зерно обладает равномерным водопотреблением, большим запасом питательных веществ, всхожестью и жизнеспособностью семян. Сорта, отличающиеся высокой массой 1000 зерен, более устойчивы к лимитирующим факторам среды, формируют более мощные и продуктивные растения с хорошими технологическими свойствами зерна [23]. За годы изучения масса 1000 зерен в среднем составляла $45,3 \pm 0,3$ г. Все мутанты по этому показателю находились на уровне стандарта и исходной формы (табл. 4).

Качество зерна мутантных форм

Сорт, мутантная форма	Содержание белка, %	Натурная масса, г/л	Выровненность, %	Масса 1000 зерен, г
Родник Прикамья, st.	13,1	685,7	91,2	45,5
Биос 1, исходная форма	13,1	663,4	91,0	50,4
Памяти Дудина	14,0	668,9	88,6	44,5
М 4–16–3	11,9	675,7	88,5	44,1
М 9–5–3	12,2	665,7	90,6	47,1
М 5–11	14,3	687,5	87,8	44,5
М 2–37–6	14,7	686,3	90,9	45,4
М 11–13-Ха	14,0	669,7	88,6	44,1
М 4–10	13,5	668,8	91,3	45,7
М 5–3	13,5	666,0	92,5	45,6
М 6–10	15,1	677,7	93,3	45,9
М 10–12	14,0	662,3	88,8	46,2
НСР ₀₅	нет различий	нет различий	нет различий	3,0

Создание сортов ячменя, устойчивых к головневым заболеваниям, является одним из путей повышения урожайности. По статистике, потери от болезней составляют менее 2% [20]. Однако по некоторым культурам [14] в отсутствие мониторинга проявления и распространения болезней в полевых условиях потери урожая могут достигать до 40–50%.

По данным Т.К. Шешеговой [21], в Волго-Вятском регионе из головневых болезней наибольшее распространение имеет пыльная головня. Период проведения исследований характеризовался слабым уровнем естественной инфекционной нагрузки патогена, поражение сорта-индикатора не превышало 9,1%. Все мутантные формы были высокоустойчивыми к пыльной головне, поражение составило от 0,4 до 3,8%. Наименьшая степень поражения пыльной головней отмечалась у мутантных форм М 4–16–3 и М 5–11 (0,4%).

Неотъемлемую часть селекционной работы представляют изучение мутантных форм по элементам структуры урожайности и выявление источников селекционно-ценных признаков, позволяющие использовать их в качестве исходного материала для создания сортов, отвечающих требованиям современного производства [10].

За период исследований общая кустистость в среднем составляла $2,3 \pm 0,1$ шт/раст., продуктивная кустистость – $2,0 \pm 0,1$ шт/раст. По продуктивной кустистости значительно превышал стандартный сорт и исходную форму мутант М 11–13-Ха.

Средняя длина колоса составляла $7,3 \pm 0,1$ см. По длине колоса «Родник Прикамья» превышал М 11–13-Ха, М 6–10 и М 10–12. Исходную форму по этому показателю не превысил ни один мутант.

Мутантные формы сформировали колос со средней плотностью $12,8 \pm 0,1$. Достоверное превышение стандарта было выявлено у мутантов М 9–5–3, М 2–37–6, М 4–10 и М 5–3, превышение стандарта и исходной формы – у М 5–11 и М 11–13-Ха.

Среднее количество колосков в колосе составляло $21,2 \pm 0,3$ шт., зерен – $19,4 \pm 0,2$ шт. По количеству колосков и зерен стандарт достоверно превышали мутанты М 6–10, М 10–12 и сорт Памяти Дудина. Существенно превосходили стандарт по количеству колосков мутанты М 4–16–3 и М 5–11, по количеству зерен – М 4–10. Исходную форму по этим показателям не превысил ни один мутант.

Средняя масса зерна с колоса составляла $0,89 \pm 0,02$ г, с растения – $1,55 \pm 0,05$ г. Достоверное превышение стандартного сорта по продуктивности колоса было отмечено у мутантных форм М 4–16–3, М 9–5–3, М 5–11, М 5–3, М 6–10, М 10–12 и сорта Памяти Дудина. Исходную форму по продуктивности колоса не превысил ни один мутант. По продуктивности растений различия не выявлены.

Выводы

Проведенные исследования подтвердили возможность получения полезных мутаций на культуре ячменя в результате применения малотоксичных и безопасных факторов химической и физической природы. Выявлены стрессоустойчивые мутантные формы, способные давать стабильную урожайность как в благоприятные годы, так и в годы с контрастными условиями, – М 4–10, М 5–3, М 9–5–3 и М 6–10. В результате исследований выявлено, что все изученные мутантные формы выделяются по комплексу селекционно-ценных признаков и являются ценным исходным материалом при создании новых сортов ячменя ярового для условий Волго-Вятского региона. Однако включать их в скрещивания необходимо с устойчивыми к полеганию генотипами.

Библиографический список

1. Барковская Т.А., Гладышева О.В., Кокорева В.Г. Оценка адаптивности и потенциальной продуктивности яровой мягкой пшеницы в условиях Рязанской области // *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. – 2023. – Т. 24, № 1. – С. 58–65. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.1.58-65>.
2. Белкина Р.И., Губанов М.В., Грязнов А.А., Губанова В.М. Качество зерна сортообразцов пленчатого и голозерного ячменя в условиях Северного Зауралья // *Агрородовольственная политика России*. – 2015. – № 10. – С. 22–25.
3. Бойко Е.С., Салфетников А.А., Репко Н.В., Назаренко Л.В. Оценка исходного материала для селекции озимого ячменя в КубГАУ // *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета*. – 2014. – № 97. – С. 799–809.
4. Гончаренко А.А. Об адаптивности и экологической устойчивости сортов зерновых культур // *Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук*. – 2005. – № 6. – С. 49–53.
5. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта: учеб. – М.: Колос, 1985. – 416 с.
6. Жилин Н.А., Щенникова И.Н. Методы и результаты селекции ячменя в Волго-Вятском регионе // *Вестник Мичуринского государственного аграрного университета*. – 2020. – № 1 (60). – С. 79–82.
7. Зыкин В.А., Мешков В.В., Санега В.А. Параметры экологической пластичности сельскохозяйственных растений, их расчет и анализ: Методические рекомендации // Новосибирск: СО ВАСХНИЛ, 1984. – С. 11–21.

8. Козлова Л.М., Попов Ф.А., Носкова Е.Н., Иванов В.Л. Улучшенная ресурсосберегающая технология обработки почвы и применения биопрепаратов под яровые зерновые культуры в условиях центральной зоны Северо-Востока Европейской части России // *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. – 2017. – № 3 (58). – С. 43–48.

9. Кривченко В.И., Щелко Л.Г., Тимошенко З.В. Методы изучения устойчивости ячменя и овса к головневым болезням // *Методы фитопатологических и энтомологических исследований в селекции растений*. – М.: Колос, 1977. – С. 51–57

10. Ланочкина М.А., Блохин В.И., Ганиева И.С., Дюрбин Д.С., Вильданова Г.В. Исходный материал на продуктивность в селекции ярового ячменя // *Повышение эффективности АПК в современных условиях*. – 2015. – С. 161–175.

11. Мальчиков П.Н., Мясникова М.Г. Возможности создания сортов яровой твердой пшеницы (*Triticum durum* Desf.) с широкой изменчивостью параметров вегетационного периода // *Вавиловский журнал генетики и селекции*. – 2015. – Т. 19, № 2. – С. 176–184. DOI: <https://doi.org/10.18699/VJ15>.

12. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. – М., 2019. – Вып. 1. Общая часть. – 329 с.

13. Новикова В.М., Жаркова С.В., Дворникова Е.И., Шмидт Р.В., Росихин П.С. Формирование показателей признака «урожайность» сортов ячменя ярового в условиях лесостепи предгорий Салаира // *Аграрная наука – сельскому хозяйству*. – 2017. – С. 221–223.

14. Орлова Е.А., Бехтольд Н.П. Характеристика генофонда яровой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) по устойчивости к пыльной головне в условиях лесостепи Западной Сибири // *Вавиловский журнал генетики и селекции*. – 2019. – Т. 23, № 5. – С. 551–558. DOI: <https://doi.org/10.18699/VJ19.524>.

15. Репко Н.В., Коблянский А.С., Хронюк Е.В. Высота растений и устойчивость к полеганию коллекционных сортов озимого ячменя // *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета*. – 2017. – № 133. – С. 160–172.

16. Рындин А.Ю. Физические методы определения качества зерна: анализ источников // *Вестник НГИЭИ*. – 2013. – № 12 (31). – С. 72–82.

17. Селянинов Г.Т. О сельскохозяйственной оценке климата // *Труды по сельскохозяйственной метеорологии*. – 1928. – Вып. 20. – С. 165–177.

18. Таланов И.П., Вильданова Г.В., Блохин В.И., Ланочкина М.А., Шайтанов О.Л., Ганиева И.С. Формирование белка в зерне сортов ячменя, возделываемых в Татарстане // *Вестник Казанского государственного аграрного университета*. – 2016. – Т. 11, № 1. – С. 10–15. DOI: <https://doi.org/10.12737/19300>.

19. Тетяников Н.В., Боме Н.А. Исследование мутагенного эффекта фосфемиды на ячмене // *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. – 2022. – Т. 183, № 4. – С. 141–151. DOI: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2022-4-141-151>.

20. Усольцев Ю.А. Снижение потерь урожая ярового ячменя от головневых заболеваний // *Вестник Курганской ГСХА*. – 2018. – № 3 (27). – С. 65–69.

21. Шешегова Т.К. Анализ фитосанитарного состояния посевов яровых зерновых культур в Кировской области (аналитический обзор) // *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. – 2015. – № 5 (48). – С. 10–14.

22. Щенникова И.Н., Шешегова Т.К., Кокина Л.П., Зайцева И.Ю., Ковалева О.Н. Биоресурсы ячменя ярового для селекции новых коммерческих сортов в условиях Волго-Вятского региона: Методическое руководство. – Киров: ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, 2022. – 28 с. – [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://fanc-sv.ru/uploads/docs/2022/Биоресурсы-ячменя-2022.pdf>.

23. Юсова О.А., Николаев П.Н., Аниськов Н.И., Сафонова И.В. Адаптивность сортов ячменя по признаку «масса 1000 зерен» в условиях лесостепи Омской области // Достижения науки и техники АПК. – 2020. – Т. 34, № 2. – С. 24–28. DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2020-10205>.

24. Юсова О.А. Основные моменты стратегии реализации программы создания пивоваренного сорта ячменя // Плодоводство и ягодоводство России. – 2023. – Т. 72. – С. 13–15.

25. Яковлев В.К., Першаков А.Ю., Белкина Р.И. Продуктивность и качество зерна пивоваренных сортов ячменя в Северном Зауралье // Вестник КрасГАУ. – 2017. – № 12. – С. 10–15.

26. Ansari S.B., Raina A.A., Amin R., Jahan R., Malik S., Khan S. Mutation breeding for quality improvement: A case study for oilseed crops shazia bi nsari, aamir raina // Mutagenesis, Cytotoxicity and Crop Improvement: Revolutionizing Food Science. – 2021. – Pp. 171–221.

27. Fita A., Rodríguez B.A., Boscaiu M., Prohens J., Vicente O. Breeding and domesticating crops adapted to drought and salinity: a new paradigm for increasing food production // Frontiers in Plant Science. – 2015. – Vol. 6. – P. 978. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00978>.

28. Ichida H., Morita R., Shirakawa Y., Hayashi Y., Abe T. Targeted exome sequencing of unselected heavy-ion beam-irradiated populations reveals less-biased mutation characteristics in the rice genome // The Plant Journal. – 2019. – Vol. 98, № 2. – Pp. 301–314. DOI: <https://doi.org/10.1111/tpj.14213>.

29. International Atomic Energy Agency (IEAE). – Режим доступа: <https://www.iaea.org/> (дата обращения: 24.01.2024).

30. Luxiang L., Xiong H., Guo H., Zhao L., Xie Y. New mutation techniques applied in crop improvement in China // FAO/IAEA International Symposium on Plant Mutation Breeding and Biotechnology. – 2018.

31. Thomas C.D., Alison C., Green E., Bakkenes M., Beaumont J., Collingham C. *et al.* Extinction risk from climate change // Nature. – 2004. – Vol. 427, № 6970. – Pp. 145–148.

32. Trukhachev V.I., Sklyarov I.Y., Sklyarova J.M., Latysheva L.A., Lapina H.N. Contemporary state of resource potential of agriculture in South Russia // International Journal of Economics and Financial Issues. – 2016. – Vol. 6, no. S5. – Pp. 33–41.

33. Viana V.E., Pegoraro C., Busanello C., Costa de Oliveira A. Mutagenesis in rice: the basis for breeding a new super plant // Frontiers in plant science. – 2019. – Vol. 10. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01326>.

BREEDING VALUE OF MUTANT FORMS OF SPRING BARLEY IN THE CONDITIONS OF THE VOLGA-VYATKA REGION

I.YU. ZAYTSEVA, L.V. PANIKHINA, I.N. SHCHENNIKOVA, N.A. ZHILIN

(Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky)

Many crops have a very small genetic “base”. The use of a limited number of parental forms reduces the genetic diversity of commercial varieties and exacerbates the problem of their resistance to adverse environmental factors. Induced mutagenesis is one of the means to generate genetic variation in crops in a shorter time compared to crosses and can be used to develop source material for breeding and new varieties with high yields, excellent product quality, resistance to climate change and tolerance to biotic and abiotic stresses. The aim of the research

is to evaluate mutant forms of spring barley for economic characters based on competitive variety testing data, to identify sources of breeding valuable traits for further use as source material in breeding. The research was carried out in 2021–2023 at the FARC of the North-East, Kirov. The object of research were nine mutant samples and variety Pamyati Dudina, created at the Vyatka State Agrotechnological University through the influence of various combinations of mutant factors on the seeds of spring barley variety Bios 1. During the research period a comprehensive study of mutant forms of spring barley was conducted in the nursery of competitive variety testing. The conducted research has confirmed the possibility of obtaining beneficial mutations on barley crop as a result of application of chemical and physical low-toxic and safe factors. Stress-resistant mutant forms capable of stable yield in both favorable and unfavorable years have been identified: M 4–10, M 5–3, M 9–5–3 and M 6–10. The conducted research has shown that all the studied mutant forms are characterized by a complex of breeding-valuable traits and are a valuable source material for the creation of new varieties of spring barley for the conditions of the Volga-Vyatka region. However, it is necessary to include them in crosses with lodging resistant genotypes.

Keywords: mutagenesis, yield capacity, yield structure elements, grain quality, growing season, lodging resistance, loose smut.

References

1. Barkovskaya T.A., Gladysheva O.V., Kokoreva V.G. Assessment of adaptability and potential productivity of spring soft wheat in the conditions of the Ryazan region. *Agricultural Science Euro-North-East*. 2023;24(1):58–65. (In Russ.) <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.1.58-65>
2. Belkina R.I., Gubanov M.V., Gryaznov A.A., Gubanova V.M. Grain quality of varieties of filmy and naked barley in the conditions of the Northern Urals. *Agro-Food Policy in Russia*. 2015;10:22–25. (In Russ.)
3. Boyko E.S., Salfetnikov A.A., Repko N.V., Nazarenko L.V. Estimation of initial material for breeding of winter barley in KubSAU. *Polythematic Online Scientific Journal of Kuban State Agrarian University*. 2014;97:799–809. (In Russ.)
4. Goncharenko A.A. On adaptivity and ecological resistance of grain crop varieties. *Vestnik Rossiyskoy akademii sel'skokhozyaystvennykh nauk*. 2005;6:49–53. (In Russ.)
5. Dospekhov B.A. *Methodology of field experiment*. Moscow, USSR: Kolos, 1985:416. (In Russ.)
6. Zhilin N.A., Schennikova I.N. Barley breeding methods and results in the Volga-Vyatka region. *The Bulletin of Michurinsk State Agrarian University*. 2020;1(60):79–82. (In Russ.)
7. Zykin V.A., Meshkov V.V., Sapega V.A. *Parameters of ecological plasticity of agricultural plants, their calculation and analysis: methodical recommendations*. Novosibirsk, USSR: SO VASKhNIL, 1984:11–21. (In Russ.)
8. Kozlova L.M., Popov F.A., Noskova E.N., Ivanov V.L. Improved resource-saving technology of soil cultivation and use of bio-preparations for spring cereals crops under conditions of central zone of North-East of European part of Russia. *Agricultural Science Euro-North-East*. 2017;(3):43–48. (In Russ.)
9. Krivchenko V.I., Shchelko L.G., Timoshenko Z.V. *Methods for studying the resistance of barley and oats to smut diseases. Methods of phytopathological and entomological research in plant breeding*. Moscow, USSR: Kolos, 1977:51–57. (In Russ.)
10. Lanochkina M.A., Blokhin V.I., Ganieva I.S., Dyurbin D.S., Vil'danova G.V. Source material for productivity in the breeding of spring barley. *Vserossiyskaya*

nauchno-prakticheskaya konferentsiya, posvyashchennaya 95-letiyu so dnya osnovaniya TatNIISKH "Povyshenie effektivnosti APK v sovremennykh usloviyakh". July 02–03, 2015. Kazan, Russia: OOO "Tsentri innovatsionnykh tekhnologiy", 2015:161–175. (In Russ.)

11. Malchikov P.N., Myasnikova M.G. Approaches to the development of durum wheat cultivars (*Triticum durum* desf.) with wide variability of the growing season. *Vavilov journal of genetics and breeding*. 2015;19(2):176–184. (In Russ.) <https://doi.org/10.18699/VJ15>

12. *Methodology of state variety testing of agricultural crops. Issue 1. General part*. Moscow, Russia, 2019:329. (In Russ.)

13. Novikova V.M., Zharkova S.V., Dvornikova E.I., Shmidt R.V., Rosikhin P.S. Formation of indicators of the “yield” trait of spring barley varieties in the conditions of the grove belt of the Salair foothills. *XII mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya "Agrarnaya nauka – sel'skomu khozyaystvu". February 07–08, 2017. Barnaul, Russia: Altai State Agricultural University, 2017:221–223. (In Russ.)*

14. Orlova E.A., Baechtold N.P. Characteristics of the gene pool of spring wheat (*Triticum aestivum* L.) for resistance to loose smut in the forest-steppe of Western Siberia. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2019;23(5):551–558. (In Russ.) <https://doi.org/10.18699/VJ19.524>

15. Repko N.V., Koblyanskiy A.S., Khronyuk E.V. Plant height and lodging resistance of collection varieties of winter barley. *Polythematic Online Scientific journal of Kuban State Agrarian University*. 2017;133:160–172. (In Russ.)

16. Ryndin A.Yu. Physical of defining grain quality: analysis of sources. *Vestnik NGIEI*. 2013;12(31):72–82. (In Russ.)

17. Selyaninov G.T. On agricultural climate assessment. *Trudy po sel'skokhozyaystvennoy meteorologii*. 1928;20:165–177. (In Russ.)

18. Talanov I.P., Vildanova G.V., Blokhin V.I., Lanochkina M.A. et al. Formation of protein in barley grain, cultivated in Tatarstan. *Vestnik of the Kazan State Agrarian University*. 2016;11(1):10–15. (In Russ.) <https://doi.org/10.12737/19300>

19. Tetyannikov N.V., Bome N.A. Studies on mutagenic effect of phosphemide in barley. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2022;183(4):141–151. (In Russ.) <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2022-4-141-151>

20. Usoltsev Yu.A. Reduction of losses of the harvest of spring barley from head diseases. *Vestnik Kurganskoy GSKhA*. 2018;3 (27):65–69. (In Russ.)

21. Sheshegova T.K. Analysis of a phytosanitary condition of sowings of spring grain crops in the Kirov region (Analytical review). *Agricultural Science Euro-North-East*. 2015;5 (48):10–14. (In Russ.)

22. Shchennikova I.N., Sheshegova T.K., Kokina L.P., Zaytseva I.Yu., Kovaleva O.N. *Bioresources of spring barley for breeding new commercial varieties in the conditions of the Volga-Vyatka region: Methodological guidance*. Kirov, Russia: Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, 2022:28. (In Russ.)

23. Yusova O.A., Nikolaev P.N., Anis'kov N.I., Safonova I.V. Adaptability of barley varieties by the weight of 1000 grains under forest-steppe conditions of the Omsk region. *Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex*. 2020;34(2):24–28. (In Russ.) <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2020-10205>

24. Yusova O.A., Nikolaev P.N. Highlights of the strategy for the implementation of the brewing barley variety program. *Pomiculture and small fruits culture in Russia*. 2023;72:13–15. (In Russ.) <https://doi.org/10.31676/2073-4948-2023-72-13-15>

25. Yakovlev V.K., Pershakov A.Yu., Belkina R.I. Productivity and grain quality of malting barley in Northern Trans-Urals. *Bulletin of KSAU*. 2017;12:10–15. (In Russ.)
26. Ansari S.B., Raina A.A., Amin R., Jahan R. et al. Mutation breeding for quality improvement: A case study for oilseed crops shazia bi ansari, aamir raina. *Mutagenesis, Cytotoxicity and Crop Improvement: Revolutionizing Food Science*. 2021:171–221.
27. Fita A., Rodríguez B.A., Boscaiu M., Prohens J., Vicente O. Breeding and domesticating crops adapted to drought and salinity: a new paradigm for increasing food production. *Frontiers in Plant Science*. 2015;6:978. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00978>
28. Ichida H., Morita R., Shirakawa Y., Hayashi Y., Abe T. Targeted exome sequencing of unselected heavy-ion beam-irradiated populations reveals less-biased mutation characteristics in the rice genome. *The Plant Journal*. 2019;98(2):301–314. <https://doi.org/10.1111/tpj.14213>
29. International Atomic Energy Agency (IAEA). URL: <https://www.iaea.org/>
30. Luxiang L., Xiong H., Guo H., Zhao L., Xie Y. New mutation techniques applied in crop improvement in China. *FAO/IAEA International Symposium on Plant Mutation Breeding and Biotechnology*, 2018.
31. Thomas C.D., Alison C., Green E., Bakkenes M. et al Extinction risk from climate change. *Nature*. 2004;427(6970):145–148.
32. Trukhachev V.I., Sklyarov I.Y., Sklyarova J.M., Latysheva L.A., Lapina H.N. Contemporary state of resource potential of agriculture in South Russia. *International Journal of Economics and Financial Issues*. 2016;6 (S5):33–41.
33. Viana V.E., Pegoraro C., Busanello C., Costa de Oliveira A. Mutagenesis in rice: the basis for breeding a new super plant. *Frontiers in plant science*. 2019;10. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01326>

Сведения об авторах

Зайцева Ирина Юрьевна, канд. биол. наук, младший научный сотрудник лаборатории селекции и первичного семеноводства ячменя, ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого; 610007, Российская Федерация, г. Киров, ул. Ленина, 166а; e-mail: irina-zajjceva30@ Rambler.ru; тел.: (900) 528–38–96. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1228-2151>

Панихина Любовь Владимировна, аспирант, младший научный сотрудник лаборатории селекции и первичного семеноводства ячменя, ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого; 610007, Российская Федерация, г. Киров, ул. Ленина, 166а; e-mail: miss.lovemama@mail.ru; тел.: (912) 362–95–32. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2227-7716>

Щенникова Ирина Николаевна, д-р с.-х. наук, заведующий лабораторией селекции и первичного семеноводства ячменя, ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого, член-корреспондент РАН; 610007, Российская Федерация, г. Киров, ул. Ленина, 166а; e-mail: i.schennikova@mail.ru; тел.: (912) 737–63–44. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5143-9246>

Жилин Николай Александрович, канд. биол. наук, научный сотрудник отдела семеноводства, ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого; 610007, Российская Федерация, г. Киров, ул. Ленина, 166а; e-mail: zhilin.nickolaj@gmail.com; тел.: (900) 525–01–97. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6827-5102>

Information about the authors

Irina Yu. Zaitseva, CSc (Bio), Junior Research Associate at the Laboratory of Breeding and Primary Seed Production of Barley, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky (166a Lenina St., Kirov, 610007, Russian Federation; phone: (900) 528–38–96; e-mail: irina-zajjceva30@rambler.ru; <https://orcid.org/0000-0002-1228-2151>)

Lyubov V. Panikhina, post-graduate student, Junior Research Associate at the Laboratory of Breeding and Primary Seed Production of Barley, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky (166a Lenina St., Kirov, 610007, Russian Federation; phone: (912) 362–95–32; e-mail: miss.lovemama@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2227-7716>)

Irina N. Schennikova, DSc (Ag), Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Head of the Laboratory of Breeding and Primary Seed Production of Barley, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky (166a Lenina St., Kirov, 610007, Russian Federation; phone: (912) 737–63–44; e-mail: i.schennikova@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-5143-9246>)

Nikolay A. Zhilin, CSc (Bio), Research Associate at the Seed Production Department, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky (166a Lenina St., Kirov, 610007, Russian Federation; phone: (900) 525–01–97; e-mail: zhilin.nickolaj@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-6827-5102>)