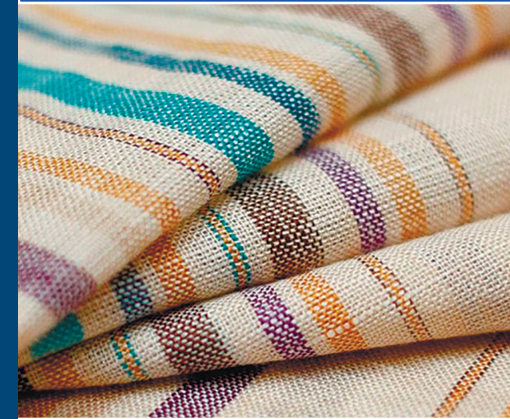


ISSN 2782-2915

TECHNICAL CROPS.
SCIENTIFIC AGRICULTURAL JOURNAL



№2(3)
2023



**ТЕХНИЧЕСКИЕ
КУЛЬТУРЫ**

**НАУЧНЫЙ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ**



ISSN 2782-2915

23001

9 772782 291006 >

СОРТА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР СЕЛЕКЦИИ ФГБНУ ФНЦ ЛК



Лен-долгунец сорт УНИВЕРСАЛ

Высокопродуктивный сорт. Среднеспелый (78–83 дня), голубоцветковый. Высота растения – 86 см. Урожайность волокна – 27,6 ц/га, льносемян – 7,3 ц/га. Содержание волокна в стеблях – 25,8%, выход длинного волокна – 22,6%. Высокоустойчив к ржавчине, фузариозному увяданию и полеганию.



Конопля посевная сорт ЛЮДМИЛА

Высокопродуктивный сорт. Двустороннего (преимущественно зеленцового) направления использования. Период вегетации – 118–125 дней. Высота растений варьирует от 220 до 270 см (высокорослые), техническая длина стебля – от 177 до 215 см. Характеризуется высокой урожайностью стеблей (12,3 т/га) и семян (1,05 т/га). Содержание масла в семенах достигает 30,0%. Содержание волокна в стеблях – более 30%, выход длинного волокна – более 21%. Сорт слабо поражается болезнями и вредителями.



Пшеница яровая сорт АРХАТ

Высокопродуктивный сорт. Среднеспелый. Вегетационный период – 90 дней. Высота растения – 88,5 см. Устойчивость к полеганию – высокая. Обладает высокой устойчивостью к поражению растений бурой ржавчиной и мучнистой росой. Хлебопекарные качества зерна на уровне ценной пшеницы.



Горчица белая сорт ЛЮЦИЯ

Высокопродуктивный сорт. Раннеспелый. Вегетационный период – 90–95 дней. Высота растений – до 1,12 м. Урожайность семян – 11–13,5 ц/га, зеленой массы – 250 ц/га. Масличность – 20,5–20,7%. Устойчив к засухе, осыпанию и полеганию. Слабо поражается крестоцветными блошками и не поражается болезнями.



Мак масличный сорт ЖЕМЧУГ

Сорт предназначен для использования на масло и семена в пищевой и кондитерской промышленности. Это первый сорт с белой окраской семян. Средняя урожайность семян – 1,51 т/га. Содержание жира – 49,41%. Вегетационный период составляет 99 дней. Отличается более низким содержанием наркотически активных алкалоидов в растении, в среднем 0,228%.



Клевер луговой сорт ПОЧИНКОВЕЦ

Двуукосный диплоидный сорт. Раннеспелый. Вегетационный период – 90–95 дней. Высота растений – 54–85 см. Урожай зелёной массы – до 640 ц/га, урожайность семян – 2,5–3,3 ц/га, содержание сырого протеина – 17,2%, клетчатки – 22,6. Устойчив к фузариозу. Обеспечивает 2 полноценных укоса на зеленую массу.

Адрес: 170041, Россия, г. Тверь, Комсомольский проспект, 17/56
Телефон: 8 (4822) 41-61-10
E-mail: info@fncl.ru

СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ТЕХНИКА И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ЛЬНА



Машина сушильная для льнотресты МС-1

Предназначена для сушки льняной тресты перед мяльно-трепальными агрегатами всех марок. Отличается наличием воздушного теплогенератора, что исключает необходимость применения паровой котельной. Потребляет в 2 раза меньше тепловой энергии, чем существующие машины марки СКП, в 2 раза меньше занимаемая площадь. Производительность – до 800 кг/ч.



Мялка лабораторная МЛ-5

Предназначена для промина льняной тресты и соломы льна-долгунца и льна масличного с целью подготовки их к определению содержания волокна, луба и прочности. Производительность – до 15 проб/час. Установленная мощность – 0,5 кВт. Масса – 150 кг.

Адрес: 170041, Россия, г. Тверь, Комсомольский проспект, 17/56
Телефон: 8 (4822) 41-61-10
E-mail: info@fncl.ru



ТЕХНИЧЕСКИЕ КУЛЬТУРЫ

НАУЧНЫЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

Учредитель Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Федеральный научный центр лубяных культур»

НАУЧНЫЙ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЙ
ЖУРНАЛ

ISSN 2782-2915

Журнал зарегистрирован
Федеральной службой
по надзору в сфере связи,
информационных технологий
и массовых коммуникаций
(РОСКОМНАДЗОР)

Свидетельство
ПИ № ФС77-82351
от 23 ноября 2021 г.

Журнал включен
в Российский индекс научного
цитирования (РИНЦ)

Результаты статей размещены
на сайте электронной научной
библиотеки: <https://elibrary.ru>
Сайт: <https://technicalcrops.ru>

Охраняется законом РФ
№ 5351-1 «Об авторском праве
и смежных правах»
от 9 июля 1993 года.

Над номером работали:
И.А. Флиманкова
М.В. Алейник
М.В. Красильникова

Адрес редакции:
214025, Российская Федерация,
г. Смоленск, ул. Нахимова, д. 21
телефоны:
8(4812)41-61-10 (доб. 112),
8(4812)65-55-03
e-mail: tcpaper@mail.ru

© ФГБНУ «Федеральный
научный центр лубяных культур»

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

Ростовцев Р.А.

доктор технических наук, член-корреспондент РАН

ЗАМ. ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА

Ущатовский И.В.

кандидат биологических наук, доцент

ЗАМ. ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА

Кольцов Д.Н.

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

ОТВЕТСТВЕННЫЙ СЕКРЕТАРЬ

Гаврилова А.Ю.

кандидат биологических наук

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Голуб И.А.

доктор сельскохозяйственных наук, профессор,
академик НАН Беларуси

Лачуга Ю.Ф.

доктор технических наук, профессор, академик РАН

Лобачевский Я.П.

доктор технических наук, профессор, академик РАН

Никифоров А.Г.

доктор технических наук

Осепчук Д.В.

доктор сельскохозяйственных наук

Прахова Т.Я.

доктор сельскохозяйственных наук

Ратошный А.Н.

доктор сельскохозяйственных наук, профессор

Рожмина Т.А.

доктор биологических наук

Романова И.Н.

доктор сельскохозяйственных наук, профессор

Самсонова Н.Е.

доктор сельскохозяйственных наук, профессор

Серков В.А.

доктор сельскохозяйственных наук

Сорокина О.Ю.

доктор сельскохозяйственных наук, профессор

Тимошкин О.А.

доктор сельскохозяйственных наук, доцент

Черников В.Г.

доктор технических наук, профессор,
член-корреспондент РАН

Шардан С.К.

доктор экономических наук, доцент



СОДЕРЖАНИЕ

СЕЛЕКЦИЯ, СЕМЕНОВОДСТВО И АГРОНОМИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ И СЕВООБОРОТНЫХ КУЛЬТУР

3

**М. А. Есимбекова, С. П. Махмаджанов, Л. А. Тохетова,
А. К. Костаков, А. М. Тагаев, Б. С. Асабаев,
О. А. Костак, Д. С. Махмаджанов**
Устойчивость образцов хлопчатника
к заболеванию вертициллезным вилтом

11

В.И. Ильина
Урожайность льна-долгунца среднеспелых сортов
в зависимости от элементов агротехнологии
возделывания

18

Е.В. Капитонова, О.В. Курдакова
Сравнительная оценка новых сортономеров
контрольного питомника клевера лугового
двуукосного диплоидного типа в условиях
Смоленской области

25

Н.В. Пролётова, В.С. Зотова
Изучение влияния $AlCl_3$ на прорастание семян
и морфогенез льна-долгунца *in vitro*

33

**Л.А. Тохетова, С.И. Умирзаков, З.Р. Ершин,
С.П. Махмаджанов, Б.А. Битиков**
Использование индуцированного мутагенеза
при создании сортов и линий ярового ячменя
с применением импульсного линейного ускорителя
электронов ИЛУ-10

ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА И ТЕХНОЛОГИИ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ, ПЕРВИЧНАЯ И ГЛУБОКАЯ ПЕРЕРАБОТКА РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ

46

В.В. Альт, М.С. Чекусов, С.П. Исакова
Цифровые технологии в растениеводстве

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ АГРАРНОГО СЕКТОРА НАЦИОНАЛЬНЫХ ЭКОНОМИК

54

Н.В. Басова, Э.В. Новиков
Анализ производства лубяных культур в России
за период импортозамещения

64

В.Г. Закшевский, В.М. Новиков, Н.Ю. Полунина
Развитие коноплеводства и льноводства в России:
тенденции, проблемы, перспективы

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНДУЦИРОВАННОГО МУТАГЕНЕЗА ПРИ СОЗДАНИИ СОРТОВ И ЛИНИЙ ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ИМПУЛЬСНОГО ЛИНЕЙНОГО УСКОРИТЕЛЯ ЭЛЕКТРОНОВ ИЛУ-10

© 2023. Л. А. Тохетова¹, С. И. Умирзаков¹ З. Р. Ершин²,
С. П. Махмаджанов³, Б. А. Битиков¹

¹ТОО «Казахский НИИ рисоводства им. И. Жахаева»,
г. Кызылорда, Республика Казахстан

²АО «Парк ядерных технологий»,
г. Курчатов, Республика Казахстан

³ТОО «СХОС хлопководства и бахчеводства»,
п. Атакент, Республика Казахстан

В статье представлены результаты исследований по созданию нового исходного материала на основе индуцированного мутагенеза с применением импульсного линейного ускорителя электронов ИЛУ-10. Определены тестовые показатели наиболее эффективного мутагенного воздействия радиационной обработки в разрезе сортов, а также выделены высокопродуктивные мутантные линии, отличающиеся устойчивостью к абиотическим стрессовым факторам и сохранившие эти показатели в последующих поколениях. Наиболее ценные мутанты выделены среди форм, полученных под воздействием поглощенных доз от 100 до 150 Гр. Превышение урожайности над стандартным сортом Сыр Аруы за два года составило 6,1 – 11,6 ц/га. Важными отличительными признаками была их высокорослость в сочетании с плотной прочной соломиной и устойчивостью к полеганию. В целом, достоверная прибавка урожая определялась в основном массой зерна с колоса, обусловленная лучшей озерненностью колоса и массой 1000 зерен. Исследования показали, что применение физического мутагенеза значительно сокращает сроки выведения новых сортов путем прямого размножения мутантных линий с комплексом положительных признаков.

Ключевые слова: ячмень, селекция, мутагенез, линия, отбор, изменчивость.

Благодарности: работа выполнена в рамках программно-целевого финансирования научных исследований Министерства сельского хозяйства Республики Казахстан по научно-технической программе «Создание высокопродуктивных сортов и гибридов зерновых культур на основе достижений биотехнологии-генетики-физиологии-биохимии растений для устойчивого их производства в различных почвенно-климатических зонах Казахстана», BR10765056.

Для цитирования: Тохетова Л.А., Умирзаков С.И., Ершин З.Р., Махмаджанов С.П., Битиков Б.А. Использование индуцированного мутагенеза при создании сортов и линий ярового ячменя с применением импульсного линейного ускорителя электронов ИЛУ-10. Технические культуры. Научный сельскохозяйственный журнал. 2023; 2(3): (33-45). DOI: 10.54016/SVITOK.2023.28.69.005

Поступила: 07.02.2023 Принята к публикации: 14.04.2023 Опубликована: 29.06.2023

THE USE OF INDUCED MUTAGENESIS IN THE CREATION OF VARIETIES

AND LINES OF SPRING BARLEY USING PULSED LINEAR ELECTRON ACCELERATOR ILU-10

© 2023. L. A. Tokhetova¹, Z. R. Yershin², S. P. Makhmadjanov³, S. I. Umirzakov¹, B. A. Bitikov¹

¹LLP «Kazakh Research Institute of Rice Growing named after I. Zhakhaev», Kyzylorda, Republic of Kazakhstan

²JSC «Park of nuclear technologies», Kurchatov, Republic of Kazakhstan

³LLP «Agricultural experimental station of cotton and melon growing», Atakent, Republic of Kazakhstan

The paper presents the results of research on the creation of a new source material based on induced mutagenesis using a pulsed linear electron accelerator ILU-10. The test indicators of the most effective mutagenic effects of radiation treatment in the context of varieties were determined, and highly productive mutant lines distinguished by resistance to abiotic stress factors were identified and retained these indicators in subsequent generations. The most valuable mutants were identified among the forms obtained under the influence of absorbed doses from 100 to 150 Gr. The excess yield over the standard grade of Syr Aruy for two years amounted to 6,1 – 11,6 c/ha. Important distinguishing features were their tallness in combination with a dense, durable straw and resistance to lodging. In general, a reliable increase in yield was determined mainly by the weight of grain from the ear, due to the better water content of the ear and the weight of 1000 grains. Studies have shown that the use of physical mutagenesis significantly reduces the breeding time of new varieties by direct reproduction of mutant lines with a complex of positive signs.

Key words: barley, breeding, mutagenesis, line, selection, variability

Acknowledgments: the work was carried out within the framework of program-targeted financing of scientific research of the Ministry of Agriculture of the Republic of Kazakhstan under the scientific and technical program "Creation of highly productive varieties and hybrids of grain crops based on the achievements of biotechnology-genetics-physiology-biochemistry of plants for their sustainable production in various soil and climatic zones of Kazakhstan", BR10765056.

For citation: Tokhetova L.A., Yershin Z.R., Makhmadjanov S.P., Umirzakov S.I., Bitikov B.A. The use of induced mutagenesis in the creation of varieties and lines of spring barley using pulsed linear electron accelerator ILU-10. Technical crops. Scientific agricultural journal. 2023; 2(3): (33-45). DOI: 10.54016/SVITOK.2023.28.69.005

Received: 07.02.2023 Accepted for publication: 14.04.2023 Published online: 29.06.2023

Введение. В последнее время темпы роста урожайности сельскохозяйственных культур заметно снизились, что в первую очередь объясняют качественно новой экологической ситуацией, обусловленной глобальным потеплением, которое заметно влияет на климат Кызылординской области. Учитывая нарастание интенсивности глобального потепления, в целом изменение климата, возрастает роль селекции в создании стрессоустойчивых сортов, где особая роль отводится засухоустойчивой культуре как ячмень. Ученые отмечают ее важное экономическое значение в условиях

аридного климата [14, 28]. Для практической селекции регион Приаралья представляет особый интерес с точки зрения проведения научных исследований по изучению устойчивости к стрессовым факторам [10, 24].

Селекционеры часто сталкиваются с проблемой узкой генетической изменчивости, которая привела к потере аллелей, присутствующих у диких сородичей. Сокращение сортового разнообразия не только снижает устойчивость агроэкосистем к погодным флуктуациям, но и значительно повышает их генетическую уязвимость, в основе которой лежит увеличение генетического одно-

образия сортов и гибридов, что приведет к исчезновению традиционных местных сортов и аборигенных форм и поставит в конечном итоге под угрозу продовольственную безопасность в мире. Поэтому исходный материал требует постоянного обновления путем введения в него новых полезных генов. В достижении поставленных целей наряду с использованием потенциала мировой коллекции, внутри- и межвидовой гибридизации, индивидуально-семейного отбора, индуцированный мутагенез является одним из эффективных методов селекции, который рассматривается во всем мире как источник создания принципиально новых исходных форм, что позволяет расширить возможности синтетической селекции посредством использования в процессе гибридизации мутантных форм, обладающих уникальными селекционно-ценными признаками (карликовость, крупнозерность, высокая адаптивность к стрессовым условиям, устойчивость к болезням и вредителям и т.д.). Кроме этого, применение метода экспериментального мутагенеза сокращает сроки выведения новых сортов на 3–4 года, так как мутантные формы не подвержены расщеплению, которые присущи гибридным линиям.

Современные мутагенные стратегии в основном включают физический, химический мутагенез. Методы физического мутагенеза включают рентгеновское, гамма-(γ)-излучение, ультрафиолетовое излучение, ионное излучение (нейтронное и заряженное ионное излучение), в том числе ионный и электронный пучки, лазер, а также космическую мутацию с развитием аэрокосмической техники [9]. Первым коммерческим мутантным сортом, разработанным в 1934 году, был *Nicotiana tabacum* [20, 25]. Позднее появились мутанты *Saccharum officinarum* устойчивые к различным заболеваниям, которые были успешно выведены несколькими селекционерами путем обработки гамма-излучением и химическим мутагеном [16]. Урожайность риса *Oryza sativa* во всем мире заметно снизилась от болезни, вызванной *Pyricularia grisea*, которая приводит к некротическим поражениям на листьях, узлах, проростках и метелках. С помощью метода индуцированной мутации была создана новая комбинация генов, которая ранее не существовала в пуле зародышевой плазмы. В результате был

выведен новый коммерческий сорт риса, обладающий устойчивостью к пирикуляриозу [19]. С помощью индуцированного мутагенеза в мире выведено 263 сорта пшеницы. Максимальные разновидности были выведены с использованием физических мутагенов, за которыми последовали химические мутагены. Китай вывел максимальное количество мутантных сортов, за ним следует Российская Федерация и другие страны. Достижения в области индуцированного мутагенеза могут изменить и охарактеризовать один ген. Так с помощью систем редактирования геномов TILLING и CRISPR был создан и охарактеризован широкий спектр аллельной изменчивости агрономически важных признаков [11]. Радиационный мутагенез широко применяется в хлопководстве. Например, семена хлопчатника, облученные γ -лучами, были использованы для получения термоустойчивых и скороспелых мутантов [17, 18]. Сорт хлопчатника «Lumian 1» с высокой и стабильной урожайностью был успешно создан путем рентгеновского мутагенеза гибридного потомства линий «Zhongmian 2» и «1195» [13]. В последние годы путем космического мутагенеза также был получен ряд мутантов [15]. Например, Song и др. [21] получили и охарактеризовали мутант с пожелтением листьев с помощью космической мутации. Воздействие на семена в космической среде может вызвать новый спектр генетических мутаций и может быть использовано в программах селекции [26]. Выделен и охарактеризован один карликовый мутант Agi1327 посредством мутации атомной энергии.

В последние годы у многих стран вызывает интерес область мирного использования атомной энергии, в частности обработка сельхозпродукции ионизирующим излучением, которое является самым современным методом, отвечающим потребностям сегодняшнего аграрного рынка. Следует отметить, что в последнее десятилетие международное агентство по атомной энергии Австрии IAEA широко распространило в Азиатском и Латиноамериканском регионах, а мутационные методы создания сортов достигли очень хороших результатов. В качестве примеров можно привести высокобелковый голозерный мутантный сорт ячменя Molina-5, возделываемый в горных районах Анд, сорт

риса Zhefu-802, занимающий в Китае более 11 млн га. Зеленая революция, во многом базировавшаяся на использовании индуцированных мутантов, позволила удвоить в развивающихся странах урожай риса и пшеницы [8, 22].

МАГАТЭ в сотрудничестве с Продовольственной и сельскохозяйственной организацией Объединенных Наций (ФАО) и Национальным институтом сельскохозяйственных наук Кубы (INCA) реализует селекционные программы с использованием облучения и биотехнологии для создания новых сортов сельскохозяйственных культур, которые могут лучше приспособляться к условиям выращивания, вызванным изменением климата. Мировые достижения индуцированного мутагенеза в разрезе культур четко указывают на роль генотипа в мутационном процессе: культуры классифицируются на высоко- и низкомутабельные. Низкомутабельными являются рожь, овес и твердая пшеница, а высокомутабельными – ячмень, рис и мягкая пшеница [27]. Индуцированные мутации через физические и химические мутагены или из культивируемых клеток и тканей являются еще одной стратегией расширения пула генетической изменчивости [12]. Как показывает мировой опыт, возможности экспериментального мутагенеза в его простом, классическом, исполнении во многом уже исчерпаны, поэтому постоянно ведется поиск новых мутагенных факторов и способов их воздействия для идентификации утилитарных генотипов. В связи с этим, в настоящее время возникла настоятельная необходимость получения с помощью новых мутационных методов оригинального генофонда исходного и селекционного материала важнейших сельскохозяйственных культур для быстрого и результативного создания энергоресурсосберегающих сортов. Так, во всем мире только до 2004 года было создано более 2250 сортов, полученных либо как прямые мутанты, либо из их потомства. Индукция мутаций с помощью радиации была наиболее часто используемым методом для непосредственно выведенных мутантных сортов. Основная стратегия селекции на основе мутаций заключалась в улучшении хорошо адаптированных сортов растений путем изменения одного или двух основных признаков, которые ограничивают их продуктив-

ность или повышают ценность их качества. Многие мутанты оказали транснациональное влияние на повышение урожайности и качества некоторых культур [23]. К примеру, высокоурожайные и низкорослые мутантные сорта ячменя «Diamant» and «Golden Promise» оказали значительное влияние на пивоваренную промышленность Европы. Мутанты также использовались в качестве родителей многих ведущих сортов ячменя. Например, более 150 ведущих сортов ячменя в нескольких странах Европы, Северной Америки и Азии были получены от скрещиваний с участием Диаманта. Индуцированный гамма-излучением сорт Диамант был официально выпущен в Чехословакии в 1965 году. Диамант был на 15 см короче родительского сорта Ватицкий и превышал по урожайности зерна на 12%. И уже в 1972 году в Чехословакии 43% из 600 000 га ярового ячменя были засеяны либо Диамантом, либо мутантными сортами, полученными от Диаманта. По приблизительным оценкам, общий прирост урожая зерна составил около 1 486 000 тонн. В течение того же года сорта ярового ячменя, у которых в родословной был мутантный ген *Diamant's denso*, возделывались по всей Европе на площади 2,86 млн га [23].

Таким образом, индуцированные мутации будут по-прежнему играть важную роль в создании сортов сельскохозяйственных культур с такими признаками, как качество масла, белка и крахмала, повышенное поглощение определенных металлов, более глубокая корневая система и устойчивость к засухе, болезням и засолению, что является основным компонентом экологической безопасности и устойчивого сельского хозяйства [12].

Хотелось бы отметить, что в селекционной работе ученых Приаралья единственным классическим методом создания данных сортов служит внутривидовая гибридизация, основанная на методе «pedigri». Поэтому расширение селекционных методов в создании принципиально нового исходного материала на основе индуцированного мутагенеза значительно сокращает сроки выведения новых сортов путем прямого размножения мутантных линий с комплексом положительных признаков и является главным направлением настоящих исследований. Обра-

ботка семян ионизирующими излучениями произведена с использованием импульсного линейного ускорителя электронов ИЛУ-10 акционерного общества «Парк ядерных технологий» (г. Курчатов, ВКО). Целью исследований являлось изучение эффективности ионизирующих излучений на сортах ячменя местной селекции, решение методических вопросов мутагенного воздействия на онтогенез растений, а также получение перспективных мутантов как исходного материала для селекции сортов, адаптированных к стрессовым, почвенно-климатическим условиям Казахстанского Приаралья. Научные результаты найдут широкое применение в теоретической и практической селекции, что позволит выявить генетическую природу сложных полигенных признаков и усилит эффективность проектов по генетике и селекции в Казахстане.

Методика исследований. В 2015 году радиационной обработке были подвергнуты семена двух сортов ячменя местной селекции Сыр Аруы и Инкар по 500 зерен в ка-

ждом варианте. Был использован ускоритель электронов ИЛУ-10 в следующих параметрах технологического процесса радиационной обработки:

- энергия электронов – 5 Мэв;
- средний ток пучка электронов – 0,04; 0,08; 0,12; 0,16; 0,2 мА;
- скорость лучевой секции конвейера – 9 м/мин;
- диапазон поглощенных доз – $50 \pm 10\%$ Гр; $100 \pm 10\%$ Гр; $200 \pm 10\%$ Гр; $250 \pm 10\%$ Гр.

Анализ ростовых показателей проведен в лабораторных условиях путем определения энергии прорастания, лабораторной всхожести семян, измерения длины корешков и ростков 10 и 15-дневных проростков и других вспомогательных показателей [1].

Посев обработанных и контрольных семян проводили вручную маркером с междурядьями 15 см на семирядковых делянках площадью 1 м², в последующие годы с увеличением площади делянок в зависимости от количества полученных семян (рис. 1).



Обработка почвы – фрезерование



Разбивка делянок маркером



Посев образцов



Установка мелкоячеистых сетей для защиты от птиц и грызунов

Рисунок 1. Закладка селекционных питомников по изучению мутантных линий ячменя

В 2022 году площадь делянок в контрольном питомнике составила 10 м², в трехкратной повторности. Фенологические наблюдения за ростом и развитием растений, начало и конец наступления фаз, учеты, отбор растений для биометрического анализа, согласно методикам [2, 3].

Определение частоты видимых доминантных мутаций проводилось посредством индивидуальной оценки растений по выявлению воздействия мутагенов (окраска листьев, высота растений, форма метелок, наличие антоциановой окраски остей, ушек листьев, восковой налет, озерненность и другие морфологические признаки) посредством визуального просмотра каждого варианта в сравнении с контролем. Уборка проведена вручную с предварительным отбором по 10 растений для структурного анализа, а оставшиеся растения убирала по семьям, причем главные метелки (колосья) отдельно от боковых. Частота, спектр мутаций в М₁ и М₂, характер изменчивости и наследуемости измененных признаков обработаны с помощью методов статистического анализа [4, 5, 6, 7]. В исследованиях учитывали полевую всхожесть, выживаемость растений, продуктивную кустистость, массу зерна с колоса и с единицы площади, общее количество анализируемых растений, спектр жизнеспособных морфологических мутаций, элементы продуктивности и степень их изменчивости в М₂₋₄.

Результаты и их обсуждение. Действие радиационной обработки семян сорта ячменя Сыр Аруы на промышленном ускорителе электронов ИЛУ-10 на энергию прорастания и всхожесть семян было незначительным и их показатели во всех дозах оказались на одном уровне, за исключением первого варианта обработки семян. Интересно отметить, что при минимальной дозе излучения 50 Гр наблюдалось существенное снижение всхожести до 85,4%, тогда как на других вариантах с повышенной дозой этот показатель был на уровне контроля в пределах от 94,4 -94,9%. Иная картина наблюдалась на сорте ячменя Инкар, у которого лабораторная всхожесть прямо пропорционально снижалась с увеличением дозы ионизирующего излучения до 75,2%, и различия в сравнении с контролем были достоверно значимыми.

Изучение действия ионизирующего излучения на длину 10- и 15-дневных проростков показало, что по мере увеличения поглощенных доз у сортов ячменя происходило некоторое снижение длины 10-дневных проростков до 12,6 и 9,8 см, а по длине 15-дневных – до 14,9 и 11,3 см, при 18,3 и 17,2 см на контрольных вариантах, соответственно по сортам Сыр Аруы и Инкар. Аналогичная картина наблюдалась и по массе 15-дневных проростков и корешков (рис. 2).

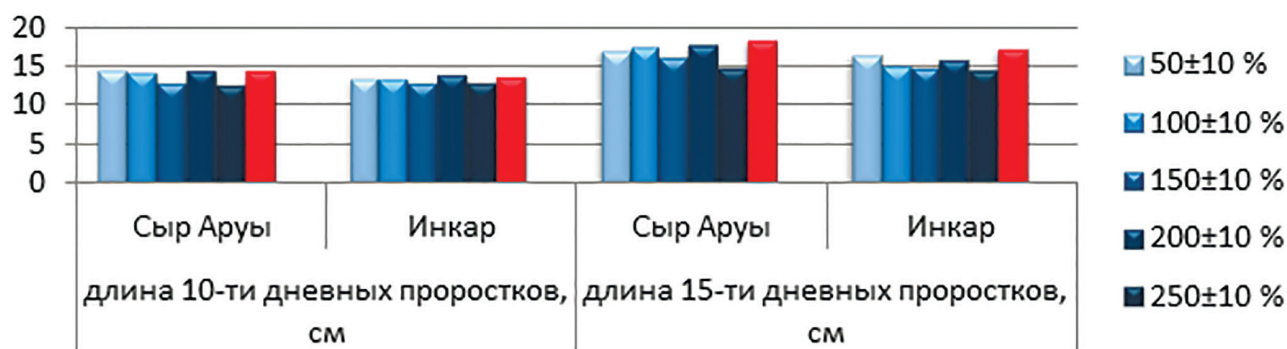


Рисунок 2. Влияние различных доз ионизирующего излучения на длину и массу проростков ячменя

Анализ показал, что доза облучения в $250 \pm 10\%$ Грей вызывала гибель проростков и составляла 65-70%. Проведенные лабораторные исследования выявили достоверное снижение значений длины и массы корешков по мере увеличения доз облучений в сравнении с контрольным вариантом, что

указывает на существенные различия между вариантами опыта, следовательно, данные признаки могут служить одним из информативных (тестовых) показателей при оценке эффективных доз ионизирующего излучения (табл. 1).

Таблица 1 – Влияние различных доз ионизирующего излучения на длину и массу корешков ячменя

Диапазон поглощенных доз, грей	Длина 15-дневных корешков, см		Масса 15-дневных корешков, г	
	Сыр Аруы	Инкар	Сыр Аруы	Инкар
$50 \pm 10\%$	$5,12 \pm 0,08$	$6,15 \pm 0,12$	$0,087 \pm 0,021$	$0,119 \pm 0,012$
$100 \pm 10\%$	$7,07 \pm 0,15$	$6,22 \pm 0,18$	$0,123 \pm 0,015$	$0,129 \pm 0,002$
$150 \pm 10\%$	$7,92 \pm 0,21$	$6,57 \pm 0,04$	$0,112 \pm 0,011$	$0,127 \pm 0,004$
$200 \pm 10\%$	$7,96 \pm 0,27$	$7,52 \pm 0,16$	$0,128 \pm 0,018$	$0,135 \pm 0,009$
$250 \pm 10\%$	$6,31 \pm 0,31$	$5,15 \pm 0,09$	$0,117 \pm 0,021$	$0,108 \pm 0,018$
контроль	$8,55 \pm 0,05$	$9,27 \pm 0,04$	$0,139 \pm 0,004$	$0,151 \pm 0,009$

В полевых исследованиях учитывали полевую всхожесть, сохранность растений (выживаемость), вегетационный период, наступление фазы колошения, элементы продуктивности, массу зерна с единицы площади, спектр видоизмененных форм в M_{1-2} .

У растений M_1 сорта Сыр Аруы колебание полевой всхожести по вариантам му-

тагенного воздействия составило от 38,0% ($250 \pm 10\%$) до 50,0% ($50 \pm 10\%$) при показателе на исходных растениях (контроль-необлученные семена) – 69,3% (рис. 3). У растений M_1 сорта Инкар величина полевой всхожести варьировала от 33,6% ($250 \pm 10\%$) до 44,8% ($50 \pm 10\%$).



Рисунок 3. Фаза полных всходов, 17.04.15 г.
 Вариант № 3 (облучение – $150 \pm 10\%$ Гр.): 1 – Инкар; 2 – Сыр Аруы;
 3- исходный сорт Инкар; 4 – исходный сорт Сыр Аруы

Сохранность растений к уборке в M_1 у изучаемых сортов несущественно отличалась от показателей контрольного варианта, а примененные дозы не оказали ингибирующего действия на выживаемость растений. Но в

процессе роста растений мутагены оказали стимулирующее влияние на продолжительность отдельных фаз онтогенеза, в частности на «посев-колошение» (табл. 2).

Таблица 2 – Влияние различных доз ионизирующих излучений на биологические признаки растений M_{1-2} сортов ярового ячменя (2016–2018 гг.)

№	Диапазон поглощенных доз, Гр	Полевая всхожесть, %	Сохранность растений к уборке, %	Период «посев-колошение», дни	Вегетационный период, дни
сорт Сыр Аруы					
	Исходный сорт – контроль	69,3	81,7	36	75
1	50±10%	50,0	80,0	40	79
2	100±10%	44,4	81,7	40	79
3	150±10%	41,6	80,8	40	79
4	200±10%	42,8	80,0	44	82
5	250±10%	38,0	79,5	49	84
сорт Инкар					
	Исходный сорт – контроль	67,6	88,7	40	79
1	50±10%	44,8	86,9	44	82
2	100±10%	32,2	84,5	42	82
3	150±10%	31,4	83,1	44	82
4	200±10%	33,8	82,7	47	84
5	250±10%	33,6	79,6	49	86

Так, продолжительность периода «посев-колошение» варьировала от 40 до 49 дней у сорта Сыр Аруы и от 42 до 49 дней у Инкар. Самое позднее наступление фазы колошения отмечено в варианте с высокой дозой облучения 250±10%, при котором отклонение от контрольного варианта составило 13 дней (Сыр Аруы) и 9 дней (Инкар). Соответственно, данное явление отразилось и на конечном показателе онтогенеза – это вегетационный период. У скороспелого сорта Сыр Аруы с вегетационным периодом не более 75 дней продолжительность вегетации удлинилась пропорционально увеличению дозы излучений от 4 до 9 дней. Аналогичная картина наблюдалась и у среднеспелого сорта Инкар.

Кроме видимых изменений в биологическом развитии растений применение мута-

генеза вызывает появление количественных изменений у различных сортов и линий, которые являются основным критерием поиска селекционера. Результаты показали, что продуктивность популяций M_1 была значительно ниже исходных сортов и также уменьшалась пропорционально с увеличением дозы ионизирующего излучения (табл. 3). Так, масса зерна с 1 м² у Сыр Аруы уменьшилась на 125,0 г (50±10%) и 186,8 г (250±10%); у Инкар – на 223,3 г (50±10%) и 283,1 г (250±10%), в сравнении с исходными генотипами.

Выявлено, что сорт Инкар в сравнении с сортом Сыр Аруы существенно снижал продуктивность под действием мутагенов, что указывает на значительную долю вклада самого генотипа, т.е. зависимость влияния мутагена от генетической природы генотипа.

Таблица 3 – Влияние различных доз ионизирующих излучений на продуктивность растений M₁₋₂ сортов ярового ячменя (2016–2018 гг.)

№	Диапазон поглощенных доз, Гр	Продуктивная кустистость, шт./растение	Число зерен в колосе, шт.	Масса 1000 зерен, г	Масса зерна с колоса, г/м ²	±, отклонение от контроля, г/м ²
сорт Сыр Аруы						
	Исходный сорт – контроль	1,7±0,04	24,7±0,92	45,0	504,9	0,0
1	50±10%	2,1±0,03	21,1±0,53	45,8	379,9	-125,0
2	100±10%	2,4±0,02	20,0±0,23	45,4	357,5	-147,4
3	150±10%	2,8±0,03	19,8±0,08	46,0	337,3	-167,6
4	200±10%	2,8±0,05	19,2±0,25	45,2	336,8	-168,1
5	250±10%	3,3±0,06	16,5±0,87	46,0	318,1	-186,8
сорт Инкар						
	Исходный сорт – контроль	1,8±0,03	25,2±0,86	45,4	514,9	0,0
1	50±10%	2,3±0,03	20,1±0,68	46,7	291,6	-223,3
2	100±10%	3,5±0,04	16,0±0,74	47,9	268,7	-246,2
3	150±10%	3,5±0,05	21,0±0,38	45,2	257,1	-257,8
4	200±10%	3,8±0,04	21,2±0,57	45,9	254,2	-260,7
5	250±10%	3,4±0,05	16,7±0,14	47,1	231,8	-283,1

Различные дозы ионизирующего излучения оказали стимулирующее действие на продуктивную кустистость и массу 1000 зерен, но несколько снизили озерненность колоса (табл. 3). Продуктивная кустистость у обоих сортов с увеличением дозы облучения повысилась до 3,3 шт./растение (Сыр Аруы) и 3,8 шт./растение (Инкар). Хотя ионизирующее излучение и оказало стимулирующий эффект на увеличение данного признака, но привело к появлению пустозерности колосьев у боковых побегов и их недозреванию. В целом, снижение продуктивности расте-

ний сортов ячменя под влиянием различных доз ионизирующих излучений вызвано, прежде всего, низкой полевой всхожестью, обусловленной ингибированием ростовых процессов уже в фазе прорастания (набухания) зерна или их нежизнеспособностью.

На протяжении всего периода вегетации велась работа по отбору измененных растений по признакам, отличающимся от исходного сорта-контроля. В поколении M₂ были обнаружены видоизмененные формы: по плотности и форме колоса, остей, высоте растений, разветвлению колоса и другие (табл. 4).

Таблица 4 – Видоизмененные формы в M_2 у сортов ячменя под действием ионизирующего излучения

№	Диапазон поглощенных доз, Гр	Число растений, шт.	Число изменений, шт.	Количество типов морфоизменений, шт.								
				высокорослые	низкорослые	рыхлый колос	прямостоячий колос	разветвление колоса	короткие ости	колос с развитыми боковыми колосками	всего типов изменений	
Сыр Аруы												
1	50±10%	250	2	-	1	-	-	-	-	-	1	2
2	100±10%	222	7	-	-	-	4	-	1	-	2	3
3	150±10%	208	5	1	-	2	1	-	-	-	1	4
4	200±10%	214	6	2	-	1	2	-	1	-	-	4
5	250±10%	190	24	5	3	4	8	1	-	-	2	6
Инкар												
1	50±10%	224	3	-	-	2	-	-	1	-	-	2
2	100±10%	161	4	-	-	-	3	-	1	-	-	2
3	150±10%	157	6	2	-	2	-	-	-	-	2	3
4	200±10%	169	8	3	-	2	2	-	-	-	1	4
5	250±10%	168	23	12	-	3	2	1	1	-	4	6

У популяций второго поколения коэффициент изменчивости возрастал по разным показателям и вариантам в 1,5–2,5 раза в сравнении с контролем. Обнаруженные измененные формы отмечались флажками и убирались отдельно (рис. 5). Далее, в лабора-

торных условиях повторно проводили отбор колосьев с видимыми морфологическими изменениями. Каждый отобранный колос в 2018 году был посеян квадратно-гнездовым способом (лунка/колос).



Рисунок 5. Видоизменение колоса – разветвление: сорт ячменя *Инкар*, вариант № 5 – 250±10%

Главным фактором в результативности применения мутагенеза является поиск количественных изменений у мутантных линий. В результате исследований нами выделены популяции, обладающие комплексом продуктивных признаков и,

самое главное, сохранившие эти показатели в последующих поколениях. С 2021 года отобранные линии изучались в составе контрольного питомника на делянках с площадью 10 м² (табл. 5).

Таблица 5 – Урожайность и качество зерна мутантных сортолиний ярового ячменя в контрольном питомнике (2021–2022 гг.)

Сорт-стандарт и мутантные линии	Вегетационный период, дней	Высота растений, см	Длина колоса, см	Число зерен в колосе, шт.	Масса 1000 зерен, г	Масса зерна с колоса, г	Кол-во прод. колосьев, шт./м	Урожай зерна, ц/га	Содержание протеина, %
Сыр Аруы, St	79	72,0	8,0	20,5	42,8	0,95	338	18,4	14,2
M ₁ /15-3-2И 100±10% Гр.	82	82,0	9,0	28,0	44,0	1,66	330	25,1	15,5
M ₁ /15-2-3И 150±10% Гр.	82	80,0	10,5	26,5	43,5	1,68	332	27,8	15,9
M ₁ /15-5-3И 150±10% Гр.	82	85,3	8,9	28,0	42,5	1,64	320	26,5	16,0
M ₁ /15-5-3СА 150±10% Гр.	79	82,7	8,5	22,0	45,0	1,72	325	24,5	15,5
M ₁ /15-3-3 СА 150±10% Гр.	81	83,0	9,0	26,0	48,0	1,98	340	30,0	15,5
НСР ₀₅		1,36	0,34	0,65	0,31	0,08	2,25	1,38	0,75

Как видно из таблицы 5, наиболее продуктивными оказались мутантные линии, исходные сорта которых были обработаны в диапазоне поглощенных доз от 100 до 150 Гр. Превышение урожайности над стандартным сортом Сыр Аруы за два года составило 6,1 – 11,6 ц/га. Наблюдалось заметное удлинение длины колоса и увеличение числа зерен в колосе до 28 шт. в колосе. Важными отличительными признаками была их высокорослость в сочетании с плотной прочной соломиной и устойчивостью к полеганию. В целом, достоверная прибавка урожая определялась в основном массой зерна с колоса, обусловленная лучшей озерненностью колоса и массой 1000 зерен. Выделенные мутантные линии контрольного питомника включены в завершающий этап селекционного процесса – в состав конкурсного питомника 2023 года.

Выводы. Создание мутантных линий ярового ячменя имеет большое значение для генетического улучшения данной культуры и селекции новых сортов. Расширение генетической изменчивости посредством мутаций может создать больше ценных ресурсов зародышевой плазмы. Кроме того, генетический фонд мутантных линий имеет большое значение для изучения функции генов. К примеру, приобретенные видоизмененные признаки вследствие мутагенной обработки внесут большой вклад в фундаментальные исследования ячменя. Многие современные методы селекции имеют практические ограничения из-за сложных операций и высокой стоимости. В данном исследовании был разработан новый метод радиационного мутагенеза с использованием линейного ускорителя электронов. Созданная в

ходе этого исследования коллекция мутантов ячменя представляет практический интерес для генетического улучшения зародышевой плазмы ячменя. Таким образом, в рамках творческого сотрудничества с АО «Парк ядерных технологий» исследования по использованию индуцированного мутагенеза, как источника создания принципиально новых исходных форм, позволят

расширить возможности синтетической селекции, получить мутантные линии, отличающиеся устойчивостью к абиотическим стрессовым факторам, а также значительно сократить сроки выведения новых сортов путем прямого размножения мутантных линий с комплексом положительных признаков.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анализ растений по ростовым показателям на начальных этапах онтогенеза: Методические указания. – Ленинград: ВИР, 1989. – 18 с.

2. Диагностика устойчивости растений к стрессовым воздействиям. – Методическое руководство / По ред. Г.В.Удовенко. – Л., 1968. – 19 с.

3. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. – Москва: Колос, 1973. – 335 с.

4. Литун П.П., Вольф В.Г. Методические рекомендации по применению математических методов для анализа экспериментальных данных по изучению комбинационной способности. – Харьков, 1980. – 77 с.

5. Методические указания ВИР по изучению мировой коллекции ячменя. – Ленинград, 1981. – 30 с.

6. Стельмах А.Ф. Принципы дисперсионного анализа данных альтернативной изменчивости // Генетический анализ количественных и качественных признаков с помощью математико-статистических методов – М.: ВНИИТЭИ сельхоз, 1973. – С.11-16.

7. Федин М.А., Силис Д.Я. Статистические методы генетического анализа. – Москва: Колос, 1980. – 205 с.

8. Шишлов М., Шишлова А., Шишлова Н., Добровольский С., Кубарев В. Мутагенез и рекомбинация сельскохозяйственных растений // Наука и инновации. – 2009. – №7 (77). – 29-33.

9. Ahloowalia B.S., Maluszynski M., Nichterlein K. Global impact of mutation-derived varieties // Euphytica. – 2004. – No. 135. – Pp. 187-204.

10. Almerkova, S., Sariev, B., Abugalieva, A., Tokhetova L., Abugalieva, S., Turuspekov, Y. Association mapping for agronomic traits in six-rowed spring barley from the USA harvested in Kazakhstan. – PLoS ONE, 2019 – Pp. 85-105.

11. Bakshi S., Jambhulkar S.J., Kumar U., Bhati P. Chapter 3. Induced mutagenesis to sus-

tain wheat production under changing climate // In Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition, Improving Cereal Productivity Through Climate Smart Practices, Woodhead Publishing, 2021. – Pp. 37-63.

12. Bo W., Zhaohui Z., Huanhuan Z., Xia W., Binglin L., Lijia Y., Xiangyan H., Deshui Y., Xuelian Z. Targeted mutagenesis of NAC transcription factor gene, OsNAC041, Leading to Salt Sensitivity in Rice // Rice Science. – 2019. – Vol. 26. – Iss. 2. – Pp. 98-108.

13. Zihao Zh., Zhixin L., Yaping Zh., Jiajing W., Yixin Zh., Xiaole Yu. Creation of cotton mutant library based on linear electron accelerator radiation mutation // Biochemistry and Biophysics Reports. 2022. – No. 30 (6). – Pp. 101228.

14. Igartua E., Casas A.M., Lasa J.M. Barley adaptation to mediterranean climates: lessons learned from the Spanish landraces // 10-th International barley Genetics Symposium, Alexandria, Egypt, 5-10 April. – Alexandria, Egypt, 2008. – Pp. 51-55.

15. Abid M.A., Wang P., Zhu T., Liang C., Meng Z., Malik W., Guo S., Zhang R. Construction of Gossypium barbadense Mutant Library Provides Genetic Resources for Cotton Germplasm Improvement // International Journal of Molecular Sciences. – 2020. – No. 21(18). – Pp. 1-13.

16. Kaur M., Thind K.S., Sanghera G.S., Kumar R., Kashyap L. Gamma rays induced variability for economic traits, quality and red rot resistance in sugarcane (Saccarum spp.) // Int. J. Environ. Sci. Technol. – 2016. – No. 5. – Pp. 355-365.

17. Maluszynski M., Beant S., Bjrjn A.S. Application of in vivo and in vitro mutation techniques for crop improvement Euphytica. – 1995. – No. 85. – Pp. 303-315.

18. Makhmadjanov S., Tokhetova L., Yesimbekova M., Daurenbek N., Kostak O. The

use of cotton gene pool in the selection process // IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. – 2022. – No. 1043. – Pp. 012001.

19. Miah G., Rafii M.Y., Ismail M.R., Puteh A.B., Rahim H.A., Asfaliza R., Latif M.A. Blast resistance in rice: a review of conventional breeding to molecular approaches // Mol. Biol. Rep. – 2013. – No. 40. – Pp. 2369-2388.

20. Oladosu Y., Rafii M.Y., Absullah N., Husain G., Ramli A., Rahim H.A., Miah G., Usman M. Principle and application of plant mutagenesis in crop improvement: a review // Biotechnol. Biotec. Eq. – 2015. – No. 30. – Pp. 1-16.

21. Song M., Yang Z., Fan S., Zhu H., Pang C., Tian M., Yu S. Cytological and genetic analysis of a virescent mutant in upland cotton (*Gossypium hirsutum* L.) // Euphytica. – 2012. – No. 187. – Pp. 235-245.

22. Songmei L., Jie J., Yang L., Jun M., Shouling X. Characterization and evaluation of OsLCT1 and OsNramp5 mutants generated through CRISPR/Cas9-mediated mutagenesis for breeding low Cd rice // Rice Science. – 2019. – Vol. 26. – Iss. 2. – Pp. 88-97.

23. Thomas J. Chapter 8. Enhancement of germplasm horticultural plant breeding, 2020. –

Pp. 129-148.

24. Tokhetova L. A., Umirzakov S. I., Nuryanova R. D., Baizhanova B. K., Akhmedova G. B. Analysis of economic-biological traits of hull-less barley and creation of source material for resistance to environmental stress factors // International Journal of Agronomy. – 2020. – Vol. 2. – Pp. 1-10.

25. Tollenaar D. Untersuchungen über mutation bei tabak // Genetica. – 1938. – No. 20. – Pp. 285-294.

26. Ma C., Rehman A., Li H.G. Mapping of dwarfing QTL of Ari1327, a semi-dwarf mutant of upland cotton // BMC Plant Biol. – 2022. – Vol. 22(5). – Pp. 1377.

27. Wangab S., Yangab Y., Guoac M., Zhongab C. Targeted mutagenesis of amino acid transporter genes for rice quality improvement using the CRISPR/Cas9 system // The Crop Journal. – 2020. – Vol. 8. – Iss. 3. – Pp. 457-464.

28. Zhou M.X., Pang J.Y., Mendham N.J. Physiological mechanism and quantitative trait loci associated with waterlogging tolerance in barley // 10-th International barley Genetics Symposium, Alexandria, Egypt, 5-10 April. – Alexandria, Egypt, 2008. – Pp. 46-50.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Тохетова Лаура Ануаровна, д-р с.-х. наук, профессор, ТОО «Казахский НИИ рисоводства им. И. Жахаева», д. 25Б, проспект Абая, г. Кызылорда, Республика Казахстан, 120008, e-mail: lauramarat_777@mail.ru

Ершин Зейнолла Райханович, кандидат техн. наук, АО «Парк ядерных технологий», д. 18/1, ул. Курчатова, г. Курчатов, Республика Казахстан, 071100, e-mail: yershin_pnt@mail.ru

Махмаджанов Сабир Партович, кандидат с.-х. наук, ТОО «СХОС хлопководства и бахчеводства», д. 1А, ул. Лабораторная, п. Атакент, Мактааральский район, Туркестанская область, Республика Казахстан, 160525, e-mail: max_s1969@mail.ru

Умирзаков Серикбай Идрисович, д-р техн. наук, ТОО «Казахский НИИ рисоводства им. И. Жахаева», д. 25Б, проспект Абая, г. Кызылорда, Республика Казахстан, 120008, e-mail: sumirzakov@mail.ru

Битиков Берик Акпарулы, ТОО «Казахский НИИ рисоводства им. И. Жахаева», д. 25Б, проспект Абая, г. Кызылорда, Республика Казахстан, 120008, e-mail: bbitik77@mail.ru

Laura A. Tokhetova, DSc in Agricultural Sciences, professor, LLP «Kazakh Research Institute of Rice Growing named after I. Zhakhaev», 25B, Abay av., Kyzylorda, Republic of Kazakhstan, 120008, e-mail: lauramarat_777@mail.ru

Zeynolla R. Yershin, PhD in Technical Sciences, JSC «Park of nuclear technologies», 18/1, Kurchatov str., Kurchatov, Republic of Kazakhstan, 071100, e-mail: yershin_pnt@mail.ru

Sabir P. Makhmadjanov, PhD in Agricultural Sciences, LLP «Agricultural experimental station of cotton and melon growing», 1A, Laboratornaya str., Atakent v., Maktaaralsky district, Turkestan region, Republic of Kazakhstan, 160525, e-mail: max_s1969@mail.ru

Serikbai I. Umirzakov, DSc in Technical Sciences, LLP «Kazakh Research Institute of Rice Growing named after I. Zhakhaev», 25B, Abay av., Kyzylorda, Republic of Kazakhstan, 120008, e-mail: sumirzakov@mail.ru

Berik A. Bitikov, LLP «Kazakh Research Institute of Rice Growing named after I. Zhakhaev», 25B, Abay av., Kyzylorda, Republic of Kazakhstan, 120008, e-mail: bbitik77@mail.ru