

*На правах рукописи*

**Жилин**  
**Николай Александрович**

**СОЗДАНИЕ ИСХОДНОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ СЕЛЕКЦИИ ЯРОВОГО  
ЯЧМЕНЯ В УСЛОВИЯХ ВОЛГО-ВЯТСКОГО РЕГИОНА  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МУТАГЕНЕЗА**

06.01.05 – Селекция и семеноводство сельскохозяйственных растений

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата биологических наук

Санкт-Петербург – 2021



## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность проблемы.** Для решения селекционных задач необходим разнообразный исходный материал. Мутационная селекция обеспечивает улучшение признаков или свойств растений без значительного изменения их генотипа (Соловьев и др., 2009; Кротова, 2015; Chaudhary et al., 2019). В настоящее время ведутся работы по поиску малотоксичных мутагенов, дающих высокий выход селекционно-ценных мутаций у растений. Такими факторами являются излучения красного диапазона и соли натрия. Следует отметить, что эти мутагенные факторы ранее на растениях тестировали отдельно (Балахонцева, Дудин, 2017; Лаштабова и др., 2017; Abou-Dahab, 2019). В этой связи определенный научный интерес представляет изучение эффективности комплексного мутагенного действия излучения красного диапазона и солей натрия на выход мутантных форм.

Потребность в новом исходном материале для создания сортов ярового ячменя, адаптивных к условиям Волго-Вятского региона России определяет актуальность темы исследований, её научное и практическое значение.

**Степень разработанности темы.** Вопросы по изучению физиологии, генетики, селекции ярового ячменя, а так же физиологического и мутагенного действия электромагнитного излучения красного диапазона и солей натрия на высшие растения в России нашли свое отражение в трудах В. В. Дидусь, И.А. Рапопорта, В.М. Шевцова, Р.И. Рутца, А.С. Щербатенко, Г.П. Дудина, О.С. Кривошеиной, Н.А. Родиной, И.Н. Щенниковой, Х.Т. Умаровой, В.М. Инюшина, Л.Г. Косулиной, С.А. Емелева, В.А. Аксеновой, и др.

В настоящее время отечественными и зарубежными учеными созданы сорта, имеющие высокий потенциал продуктивности. В благоприятные годы, они обеспечивают получение достаточно высокого урожая, благодаря использованию биоклиматического потенциала региона. Однако из-за низкой адаптивности происходят значительные колебания урожайности по годам. Поэтому, остро стоит проблема улучшения сортов, путем создания новых, которые будут способны противостоять действию абиотических и биотических стрессоров.

**Цель исследований** – обосновать использование карбоната натрия и излучений красного диапазона как эффективных мутагенных факторов в создании новых генотипов ярового ячменя.

### **Задачи исследований:**

- изучить влияние карбоната натрия и излучений красного диапазона в различных комбинациях на онтогенез растений ярового ячменя;
- выявить эффективные сочетания мутагенных факторов по выходу морфофизиологических мутаций у ячменя;
- оценить селекционную ценность новых мутантных линий ячменя.

**Научная новизна исследования.** Впервые в России научно обоснована возможность получения селекционно-ценных наследственных изменений на культуре ячменя при действии на семена раствором карбоната натрия различной концентрацией и в сочетании с лазерным красным светом (ЛКС) и дальним красным светом (ДКС).

Новизна научных исследований защищена патентом РФ от 27. 10. 2012 г. RU 2464779 на «Способ мутагенной обработки семян ячменя».

**Теоретическая и практическая значимость работы** определяется важностью конечных результатов для селекционной практики. Создана и изучена по морфологическим и хозяйственно ценным признакам генетическая коллекция ярового ячменя, состоящая из 190 мутантных образцов. Научно обосновано применение карбоната натрия, ДКС и ЛКС для управления содержанием хлорофилла и органического натрия на первых этапах онтогенеза в проростках ячменя. Разработаны и предложены способы мутагенной обработки семян ярового ячменя с использованием карбоната натрия, ЛКС и ДКС. Получены мутантные формы ячменя, представляющие селекционную ценность по признакам скороспелости, высокой продуктивности и урожайности. Семнадцать мутантных образцов переданы в коллекцию ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова».

С использованием научно-теоретических разработок создано (в соавторстве) шесть мутантных форм ярового ячменя, перспективных для использования в селекционных программах на скороспелость, длину колоса, количество зерен в колосе, массу зерна с колоса и крупность зерна.

Создан (в соавторстве) сорт ярового ячменя Памяти Дудина (М 8-3-013), переданный на Государственное сортоиспытание в 2020 г. (заявка на патент № 82980 / 7954589 от 30.11.2020).

**Методология и методы исследования.** Теория и методология исследований основана на анализе научных трудов отечественных и зарубежных исследователей по изучаемой проблеме. В работе применялись аналитический, экспериментальный (лабораторные опыты и полевые исследования), статистический (математический анализ полученных результатов исследований) и экономический методы исследований.

**Основные положения, выносимые на защиту:**

- карбонат натрия, лазерное красное излучение и дальний красный свет вызывают мутации *Waxy*-гена ячменя;
- применение карбоната натрия, лазерного красного излучения и дальнего красного света в различных сочетаниях эффективно для увеличения мутационной изменчивости ячменя и отбора селекционно-ценных мутантных форм;
- новый исходный материал для селекции ярового ячменя.

**Личный вклад соискателя.** Постановка проблемы, целей и задач исследований, экспериментальные работы, обработка, анализ и обобщение полученных результатов на 90 % выполнены автором.

**Апробация работы.** Основные результаты исследований по теме диссертации были доложены на Международных научно-практических конференциях: «Фотоника в сельском хозяйстве и природопользовании» (Москва, 2012), «Методы и технологии в селекции растений и растениеводстве» (Киров, 2014, 2016, 2017, 2018, 2019); на Всероссийской научно-практической конференции: «Инновационные технологии – в практику сельского хозяйства» (Киров, 2009), на научно-практических конференциях молодых ученых,

аспирантов и соискателей «Науке нового века - знания молодых» (Киров, 2010, 2011, 2012); «Научное обеспечение развития АПК в современных условиях» (Ижевск, 2011); «Актуальные проблемы биологии и экологии» (Сыктывкар, 2011); «Актуальные вопросы аграрной науки: теория и практика» (Киров, 2014).

Работа по теме диссертационного исследования стала победителем на соискание гранта «Молодые новаторы аграрной России» в номинации агрономия (Москва, 2010); была отмечена дипломом I степени за доклад на международной научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и соискателей «Науке нового века - знания молодых» (Киров, 2012).

**Публикации.** По результатам исследования опубликованы 23 печатные работы, в том числе 5 статей в изданиях, входящих в перечень рецензируемых научных журналов, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ.

**Структура и объем диссертации.** Диссертационная работа изложена на 171 страницах, содержит 32 таблицы, 18 рисунков, 21 приложение и состоит из введения, обзора литературы, описания условий, материалов и методов исследований, результатов и обсуждения, заключения, предложений для селекционной практики, списка использованной литературы, включающего 317 источников, из них 124 иностранных авторов.

Автор выражает искреннюю признательность за ценные советы и помощь в выполнении работы научному руководителю доктору с.-х. наук, члену-корреспонденту РАН И.Н. Щенниковой, доктору биол. наук профессору РАН А.А. Соловьеву, доктору биол. наук И.Г. Лоскутову, доктору с.-х. наук, профессору, академику РАН Г.А. Баталовой, кандидату с.-х. наук, доценту С.А. Емелеву, доктору биол. наук Т.К. Шешеговой, доктору биол. наук Е.М. Лисицыну, коллегам – сотрудникам кафедры биологии растений, селекции и семеноводства, микробиологии, а так же родным и близким.

Считаю своим долгом поклониться светлой памяти учителя – доктора биологических наук, профессора, заслуженного деятеля науки РФ Г.П. Дудина.

## **СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

### **ВВЕДЕНИЕ**

Обоснована актуальность проблемы, сформулированы цели и задачи, теоретическая и практическая значимость, научная новизна полученных результатов, основные положения, выносимые на защиту, представлены результаты апробации работы.

### **ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ**

В обзоре литературы проведен анализ истории использования индуцированного мутагенеза в селекции культурных растений, генетического и физиологического действия электромагнитного излучения красного диапазона на высшие растения и роль солей натрия в физиологии и генетике растений.

## ГЛАВА 2. УСЛОВИЯ, МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Полевые исследования проводили в 2009...2019 годах на учебно-опытном поле Вятской ГСХА г. Киров. Почва участка дерново-среднеподзолистая, среднесуглинистая. Реакция почвенного раствора кислая и слабокислая: pH колебалась по годам от 4,0 до 5,65. Обеспеченность почв подвижным фосфором средняя и высокая (91-190 мг на кг почвы), калием – низкая и высокая (73...202 мг на кг почвы), содержание натрия в почве менее 0,001 ммоль/100 г почвы. Содержание гумуса колебалось по годам от 1,35 % до 2,59 %.

Анализ метеорологических условий провели по данным Кировского областного центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды.

Годы исследований различались по погодным условиям вегетационных периодов ячменя (май-август). Количество осадков за вегетационный период меньше нормы (251 мм) отмечено в 2010, 2013, 2014, 2016 гг. При этом наблюдались ранневесенние засухи. За период исследований в мае выпало в среднем 35,5 мм осадков, 64 % от нормы. Майская засуха отмечена в 2009 – 2016, 2018, 2019, июньская – 2013, 2016, июльская – 2009, 2010, 2013, 2014, 2019 гг. Теплообеспеченность ячменя была достаточно благоприятной за весь период исследований.

Объект исследований – яровой ячмень сорта Биос 1. Сорт получен методом сельскохозяйственной биотехнологии (гаплоидии) из гибридной комбинации в ФГБНУ ФИЦ "Немчиновка" и ИСА – филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ.

Карбонат натрия ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) использовали чистотой 99% (ГОСТ 32802-2014) с концентрацией 0,01, 0,1 и 1 н. Замачивание семян в воде и в растворе карбоната натрия проводилось в течение 12 часов при комнатной температуре.

Лазерный красный свет получали на гелий-неоновой установке ОКГ-12-1 с длиной волны 632,8 нм. Режим облучения непрерывный, плотность мощности луча 0,3 мВт/см<sup>2</sup>. Дальний красный свет с длиной волны 754±10 нм получали от электрической лампы накаливания через интерференционный светофильтр с применением осветителя ОИ-19, плотность мощности луча 0,3 мВт/см<sup>2</sup>. Экспозиция облучения семян 60 минут.

Схема опыта включала следующие варианты: 1 – Контроль (С.з. – семена, замоченные в дистиллированной воде), 2 – 0,01 н  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ; 3 – 0,1 н  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ; 4 – 1 н  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ; 5 – С.з. + ЛКС; 6 – С.з. + ДКС; 7 – 0,1 н  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  + ЛКС; 8 – ЛКС + 0,1 н  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ; 9 – 0,1 н  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  + ДКС, 10 – ДКС + 0,1 н  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ; 11 – ЛКС + 0,1 н  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  + ДКС; 12 – ДКС + 0,1 н  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  + ЛКС. В каждом варианте обрабатывали по 500 зерен (125 шт. на делянку в 4-х кратной повторности). Посев проводили в ручную, расстояние между рядками 15 см, между зернами в рядке – 4 см, площадь делянки 1 м<sup>2</sup>.

Для изучения генетического действия используемых факторов применяли тест-метод *Ваху*-изменений в пыльцевых зернах (Eriksson, 1969; Виленский, Щербаков, 1985). Определение энергии прорастания и всхожести семян в лабораторном опыте проводили по методике ГОСТ 12038-84 «Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести» в редакции 23.06.2009 года. Определение сухого вещества в семидневных проростках ячменя

осуществляли по ГОСТ Р 52838-2007, содержание калия по ГОСТ 30504-97, натрия по ГОСТ 30503-97. Содержание хлорофилла определяли по методу Lichtenthaler и Buschmann (2001) в семидневных проростках ячменя. Хлорофилл экстрагировали 100 % ацетоном и определяли с помощью спектрофотометра «Shimadzu UV mini – 1240».

В первом и последующих поколениях проводили фенологические наблюдения, определяли устойчивость ячменя к полеганию (Международный классификатор СЭВ, 1983), учитывали полевую всхожесть семян, выживаемость растений, анализировали элементы структуры продуктивности, выделяли семьи с хлорофилльными мутациями по классификатору, разработанному Ю. Калам, Т. Орав (1974), проводили отбор растений с видимыми морфологическими и физиологическими отклонениями от исходного сорта.

В  $M_1$  определяли суммарный характер воздействия факторов на растения, оценивали с помощью коэффициента депрессии ( $D$ , %), стимуляции ( $St$ , %) (Володин, Лисовская, 1979).

В  $M_2$  посемейно высевали семена с главного колоса растений первого поколения. Анализ элементов структуры продуктивности проводился у всех растений в выделенной семье с изменениями (Лысиков, 1975); определяли спектр новообразований и частоту семей с изменениями в процентах к общему числу высеянных семей в данном варианте.

В  $M_3$  посемейно высевали семена с главного колоса измененных растений  $M_2$ . Проверялось наследование измененных признаков, выявленных во втором поколении. Проводился учет проявившихся новых изменений. Рассчитывался процент наследственности и частота мутаций (Володин, 1975).

В  $M_4$ - $M_{11}$ , выделенные мутантные формы с хозяйственно-ценными признаками, представляющие интерес для селекции, изучали по полной схеме селекционного процесса, принятой для самоопылителей, в соответствии с методикой Госкомиссии по сортоиспытанию сельскохозяйственных культур (Гужов и др., 2003).

В качестве стандартов использовали рекомендованные Госкомиссией по сортоиспытанию по Кировской области сорта ярового ячменя: Биос 1 (2009 г.), Нур (с 2010 г. по 2014 г.) и Белгородский 100 (с 2015г. по настоящее время).

Для оценки изменчивости количественных признаков проводили статистическую обработку экспериментальных данных. Результаты, полученные в опыте, которые связаны  $n$ -количеством повторений, обрабатывали с помощью дисперсионного анализа для однофакторных экспериментов, существенность различий между опытными вариантами и контролем устанавливали с помощью критерия Стьюдента ( $t_{st}$ ) (Доспехов, 2011; Моисейченко и др., 1996). При оценке показателей альтернативной (качественной) изменчивости определяли долю признака ( $P_1$ ,  $P_2$  и т.д.) и стандартную ошибку доли ( $S_p$ ) (Вольф, 1966).

Формулы гордеинов мутантов ячменя определяли методом электрофореза (Поморцев, 1985) в лаборатории генетических основ идентификации растений ФГБУН Институт общей генетики им. Н.И. Вавилова РАН (г. Москва).

Экспериментальный материал обрабатывали статистически с помощью компьютерной программы Microsoft Excel.

### ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

#### 3.1 Мутации ячменя в локусе *Waxy*, индуцированные карбонатом натрия, лазерным красным и дальним красным светом

Генетическая активность используемых физических и химических факторов оценивалась с помощью чувствительной тест системы на изменение рецессивной аллели локуса *Waxy* ячменя (таблица 1). Метод учета мутаций в локусе *Waxy* считается высокоточным, позволяющий ускорить процесс определения эффективности мутагена, поскольку все мутации, возникающие в гаплоидном геноме пыльцевых зерен проявляются непосредственно в год воздействия (Кочнова, 1994; Дудин, Двинских, 2013).

Таблица 1 – Частота мутаций локуса *Waxy* у ячменя

Вариант опыта	Число пыльцевых зерен		
	проанализировано, тыс. шт.	мутантных	
		n	p±Sp, %
Контроль (С.з.)	101,6	31	0,031±0,005
0,01н Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	54,6	240	0,440±0,028*
0,1н Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	52,8	174	0,330±0,025*
1н Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	53,2	128	0,241±0,021*
С.з. + ЛКС	54,0	116	0,215±0,020*
С.з. + ДКС	52,4	109	0,208±0,020*
0,1н Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> + ЛКС	53,8	103	0,191±0,019*
ЛКС + 0,1н Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	51,2	163	0,318±0,025*
0,1н Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> + ДКС	52,5	133	0,253±0,022*
ДКС + 0,1н Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	54,8	133	0,243±0,021*
ЛКС + 0,1н Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> +ЛКС	55,1	147	0,267±0,022*
ДКС + 0,1н Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> +ЛКС	53,0	182	0,343±0,025*

Примечание: \* – уровень достоверности (P<0,001)

Частота спонтанного мутирования в контроле составила 0,031 %, что находится в соответствии с данными других авторов (Дудин, 1991 а; Пуртова, 1993; Балахонцева, 2015). При увеличении концентрации карбоната натрия наблюдалась тенденция уменьшения частоты *Waxy* мутаций с 0,440 % при 0,01н растворе до 0,241 % при 1н растворе.

Частота *Waxy* мутаций ячменя в вариантах ЛКС и ДКС составила, соответственно 0,215 и 0,208 %. В парных и комплексных вариантах аддитивного эффекта от совместного применения мутагенных факторов не наблюдается.

Таким образом, максимальному выходу мутантных пыльцевых зерен в опыте способствовала обработка семян ячменя в 0,01н и 0,1н растворе Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, ЛКС + 0,1н Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> и ДКС + 0,1н Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> + ЛКС. Следовательно, свет как лазерный красный, так и дальний красный, а также карбонат натрия, как отдельно, так и совместно, являются мутагенными факторами, действующими на рецессивную аллель локуса *Waxy* ячменя.

### 3.2. Влияние карбоната натрия и излучения красного диапазона на семена и проростки ячменя в лабораторных условиях

Энергия прорастания семян ячменя после обработки химическими и физическими факторами была ниже контроля во всех вариантах опыта. Существенное снижение данного показателя отмечено в вариантах 1н Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, ЛКС + 0,1н Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> и 0,1н Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> + ДКС, где энергия прорастания составила, соответственно, 40,0 %, 64,5 %, 63,8 %, в контроле – 77,5 % (таблица 2).

Таблица 2 – Энергия прорастания семян, длина корня, колеоптиле и проростка ячменя сорта Биос 1

Вариант	Энергия прорастания, %	Длина на 3 сутки, см		Длина на 7 сутки, см	
		корня	колеоптиле	корня	проростка
Контроль (С.з.)	77,5	2,8	0,3	14,5	11,5
0,01н Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	75,3	2,7	0,3	12,0	12,1
0,1н Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	73,5	1,9*	0,2	13,2	12,3
1н Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	40,0*	0,5*	0,0*	11,4	9,2*
С.з. + ЛКС	75,3	2,1*	0,3	12,8	11,8
С.з. + ДКС	76,0	2,4	0,3	14,6	12,1
0,1н Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> + ЛКС	66,3	1,4*	0,2*	13,2	12,0
ЛКС + 0,1н Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	64,5*	1,5*	0,1*	14,0	11,8
0,1н Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> + ДКС	63,8*	1,3*	0,2	13,8	11,6
ДКС + 0,1н Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	68,8	1,4*	0,2	14,0	10,9
ЛКС + 0,1н Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> + ДКС	66,5	1,7*	0,3	13,4	11,4
ДКС + 0,1н Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> + ЛКС	66,5	1,8*	0,2*	15,1	11,8
НСР <sub>05</sub>	12,8	0,6	0,1	4,7	1,5

Примечание: \* – существенная разность при НСР<sub>05</sub>

Во всех вариантах опыта (кроме 0,01н Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> и С.з. + ДКС) наблюдалось достоверное уменьшение длины корней до 0,5...2,1 см, в контроле - 2,8 см.

Отмечена тенденция снижения длины корня трехдневных проростков во всех парных и комплексных вариантах (1,3...1,8 см) в сравнении с индивидуальной обработкой семян ячменя 0,1н Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, ЛКС и ДКС, соответственно, 1,9; 2,1; 2,4 см.

При замачивании семян ячменя в 1н растворе Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> на третьи сутки опыта полностью отсутствовали колеоптиле. Существенная их депрессия отмечена в вариантах с прямым и обратным сочетанием лазерного излучения и 0,1н Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, в комплексном варианте ДКС + 0,1н Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> + ЛКС, соответственно, 0,1; 0,2 и 0,2 см, в контроле 0,3 см.

На седьмые сутки подтвердилось, что максимальная концентрация карбоната натрия оказывает угнетающее действие на прорастание семян ячменя.

Существенное снижение всхожести семян до 44,0 % отмечено в варианте 1н  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , в контроле 78,5 %. Другие факторы не оказали существенного влияния на всхожесть семян ячменя, но во всех вариантах опыта наблюдалась тенденция уменьшения данного показателя относительно контроля.

Наибольшая длина корней на седьмые сутки отмечалась в варианте ДКС + 0,1н  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  + ЛКС и составила 15,1 см, минимальная в варианте 1н  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  – 11,4 см, в контроле 14,5 см; максимальная длина проростков ячменя установлена в варианте с семенами, замоченными в 0,1н растворе  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (12,3 см), в контроле 11,5 см. Существенное снижение длины проростка на 2,3 см выявлено в варианте 1н  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ .

В контроле наблюдали стандартное соотношение  $\text{K}^+/\text{Na}^+$ , два к одному (Алехина и др., 2007). При увеличении концентрации карбоната натрия в растворе происходило постепенное замещение в проростках калия натрием и в варианте 1н  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  соотношение  $\text{K}^+/\text{Na}^+$  менялось и становилось 1:2. При рассмотрении вариантов ЛКС и ДКС видно, что данные факторы не оказали депрессирующего влияния на прорастание семян, сохранилось соотношение между  $\text{K}^+$  и  $\text{Na}^+$  2:1, но уменьшилось их содержание в проростках. В парных и комплексных вариантах наблюдалась тенденция снижения содержания калия в вариантах с облучением ДКС сухих семян и последующим замачиванием в 0,1н растворе  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . Данную закономерность можно объяснить тем, что обработка ДКС, вероятнее всего, открывает каналы, отвечающие за вынос калия из клетки, при этом обработка лазерным светом наоборот способствует большему поступлению натрия. Таким образом, при увеличении концентрации  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  происходит накопление  $\text{Na}^+$  в проростках ячменя и уменьшение концентрации  $\text{K}^+$ . Обработка лазерным и дальним красным светом на первоначальных этапах приводит к незначительному замедлению ростовых процессов растений ячменя, а при дальнейшем замачивании в растворе карбоната натрия, аддитивно затормаживает процесс прорастания семян.

Достоверное повышение суммарного содержания каротиноидов у растений ячменя наблюдалось при замачивании семян в 0,1 н растворе  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  в течение 12 часов, а так же в варианте С.з. + ЛКС. Достоверное снижение содержания хлорофилла *a* на 5,54 мкг, относительно контроля – 31,22 мкг на г сухой массы, происходило в вариантах ДКС + 0,1н  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  и ДКС + 0,1н  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  + ЛКС.

### **3.3. Влияние карбоната натрия, красного лазерного излучения и дальнего красного света на рост и развитие ячменя в первом поколении**

Увеличение концентрации карбоната натрия с 0,1 до 1н при обработке семян существенно снизило полевую всхожесть ячменя на 11,4 %.

Наблюдения за динамикой развития ячменя в первом поколении показали, что на два дня позже, по отношению к контролю, появились всходы и наступила фаза кущения в варианте с обработкой семян ячменя карбонатом натрия с 1н концентрацией. Реакцию ячменя на изучаемые факторы оценивали с использованием среднего суммарного показателя депрессии (D, %) и стимуляции

(St, %). Коэффициент D, % (St, %) рассчитывали по признакам: полевая всхожесть семян, длина соломины и колоса, число зерен и масса зерна с колоса.

В первом поколении после воздействия рассматриваемых факторов установлен эффект депрессии во всех вариантах опыта. При увеличении концентрации соли  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  возрастает её депрессирующее действие с -2,74 до -6,05%, за счет снижения полевой всхожести семян, уменьшения длины соломины и колоса, числа зерен и массы зерна с колоса. Наиболее депрессирующее действие оказали парные и комплексные варианты с первичной обработкой лазерным красным светом: ЛКС + 0,1н  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (D = -8,92 %), ЛКС + 0,1н  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  + ДКС (D = -7,63 %). Обратное сочетание факторов менее угнетающе подействовало на растения ячменя первого поколения. Это связано с тем, что при воздействии ЛКС на семена происходит изменение конформации фитохрома, усиление проницаемости клеточных мембран для  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . Рост концентрации  $\text{Na}^+$  в клетке, обуславливает нарушение физиологических процессов в ней и оказывает отрицательное влияние на рост и развитие растений.

### 3.4. Изменчивость ярового ячменя во втором поколении

В  $M_2$  изучалось 3788 семей. Во всех вариантах опыта, кроме контроля были отмечены хлорофилльные мутации. Всего отобрано 37 семей с изменениями. Наибольшее количество семей с хлорофилльными мутациями наблюдали в комплексном варианте ДКС + 0,1н  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  + ЛКС – 10 семей (3,09 %).

В опыте выделен 21 тип хлорофилльных мутаций. Наиболее часто встречалась мутация типа *albina* (30,8 %) – растения, имеющие белые листья. Доля хлорофилльных мутаций типа *viriduloalba* и *xanthovirescens* составила по 7,7 %, *albotigrina*, *alboviridoterminalis*, *viridovirescens* – 5,1 %, 15 типов хлорофилльных мутаций наблюдались с долей 2,6 %. В варианте с использованием 0,01н  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  и комплексном ДКС + 0,1н  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  + ЛКС, произошло более значительное нарушение генетической программы, отвечающей за образование хлорофилла и отмечено 7 и 6 типов мутаций соответственно. Выявленные хлорофилльные мутации позволяют судить о том, что карбонат натрия, ЛКС и ДКС являются мутагенами на культуре ячменя.

Кроме хлорофилльных мутаций в  $M_2$  выделены семьи с морфологическими и физиологическими изменениями. Наибольшее количество семей с изменениями (53) наблюдали в варианте с замачиванием семян в 0,01н  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . Увеличение концентрации карбоната натрия несущественно снизило частоту морфологических и физиологических изменений с 15,3 % до 11,6 % (таблица 3).

Применение дальнего красного света и лазерного красного излучения после замачивания семян в дистиллированной воде индуцировало морфофизиологические изменения с одинаковой частотой (7,3 %). Применение ЛКС до замачивания семян в 0,1н растворе карбоната натрия обеспечило получение 12,1 % семей с изменениями, а после замачивания – 9,5 % семей. Обратная картина наблюдалась при обработке дальним красным светом: облучение семян перед замачиванием в 0,1н  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  индуцировало 4,6 % семей, а после замачивания 8,3 % семей с морфофизиологическими изменениями. В

парных и комплексных вариантах, изучаемых в опыте, аддитивного эффекта от используемых физических и химических факторов не наблюдалось.

Таблица 3 – Частота семей ячменя с морфологическими и физиологическими изменениями в  $M_2$

Вариант опыта	Проанализирован о семей	Частота семей с изменениями	
		n	$p \pm S_p, \%$
Контроль (С.з.)	364	-	-
0,01н $Na_2CO_3$	347	53	15,3±1,9*
0,1н $Na_2CO_3$	337	41	12,2±1,8*
1н $Na_2CO_3$	302	35	11,6±1,8*
С.з. + ЛКС	314	23	7,3±1,5*
С.з. + ДКС	289	21	7,3±1,5*
0,1н $Na_2CO_3$ + ЛКС	307	29	9,5±1,7*
ЛКС + 0,1н $Na_2CO_3$	265	32	12,1±2,0*
0,1н $Na_2CO_3$ + ДКС	300	25	8,3±1,6*
ДКС + 0,1н $Na_2CO_3$	330	15	4,6±1,2*
ЛКС + 0,1н $Na_2CO_3$ + ДКС	309	15	4,9±1,2*
ДКС + 0,1н $Na_2CO_3$ + ЛКС	324	22	6,8±1,4*

Примечание: \* - уровень достоверности ( $P < 0,01$ )

При увеличении концентрации карбоната натрия в  $M_2$  наблюдалась тенденция уменьшения выхода как хлорофилльных мутаций, так и морфофизиологических изменений, что подтверждают данные полученные по мутаций линии *Waxy*.

Наибольшее количество типов морфологических и физиологических изменений наблюдали в вариантах 0,01н  $Na_2CO_3$  и 0,1н  $Na_2CO_3$  – 15 и 14 соответственно. Минимальное количество типов новообразований отмечено в варианте ЛКС + 0,1н  $Na_2CO_3$  + ДКС (7 типов). Спектр морфофизиологических изменений в парных вариантах шире, чем в вариантах с индивидуальным использованием физических факторов. В комплексных вариантах произошло существенное снижение количества типов новообразований по сравнению с индивидуальной обработкой 0,1н карбонатом натрия. Анализируя общий спектральный состав морфологических и физиологических изменений в опыте отмечено, что наиболее часто наблюдались новообразования по признакам: увеличение длины соломины (71,6 %) и колоса (71,6 %), формы с длинными остями встречались в опыте с частотой 58,2 %. По длине вегетационного периода отличных от исходного сорта Биос 1, выделено 4,2 % с ранним созреванием и 19,2 % – формы с более поздним созреванием.

Установлена в  $M_2$  достоверная корреляционная зависимость частоты полученных в полевом опыте морфофизиологических изменений ( $r = 0,77^*$ ) и частоты хлорофилльных мутаций ( $r = 0,66^*$ ) от уровня мутирования *Waxy* – гена.

### 3.5. Мутационная и модификационная изменчивость ячменя в третьем поколении

В  $M_3$  выделено 190 мутантных семей ячменя. Наследование хлорофилльных мутаций носило сложный характер и зависело от типа мутаций и мутагенного фактора. Спектр хлорофилльных мутаций сузился с 21 типа ( $M_2$ ) до 4 типов в  $M_3$ .

Полная наследственность хлорофилльных изменений наблюдалась в вариантах – С.з. + ЛКС и ДКС + 0,1н  $Na_2CO_3$ . В варианте 0,01н  $Na_2CO_3$  преобладание хлорофилльных изменений составила 16,7 %, а в варианте ДКС +  $Na_2CO_3$  0,1н + ЛКС – 10,0 %. В третьем поколении сохранились мутации типа *albina*, *albotigrina* (рисунок 1), *viridoxantha* и *viridis*.



Рисунок 1 – Мутации типа *albina* (слева), *albotigrina* (справа)

В семье 2-17-*Xa*, выделенной в варианте с семенами, замоченными в 0,01н растворе  $Na_2CO_3$  в  $M_2$  было обнаружено 6 растений с мутацией типа *albina*, в  $M_3$  в этой же семье отмечено 13 растений с мутацией *albina*. В семье 5-8-*Xa* (С.з. + ЛКС) в  $M_2$  было 2 растения с мутацией типа *viridoxantha*, при изучении семей в третьем поколении отмечено 19 растений с данным изменением. Так же в этом варианте, в семье 5-21-*Xa* во втором поколении отмечены мутации типа *viridis*, которые оказались летальными в условиях 2010 года, в  $M_3$  выделено 19 растений с данным типом мутаций. В варианте ДКС + 0,1н  $Na_2CO_3$  во втором поколении отмечена 1 семья (10-7-*Xa*) с мутацией одного растения типа *albina*. В третьем поколении при изучении данной семьи выделено 38 растений с летальной мутацией *albina*. Полученные данные свидетельствуют о том, что указанные хлорофилльные мутации обусловлены изменениями ядерных генов. Снижение частоты проявления хлорофилльных мутаций в третьем поколении обусловлено тем, что многие мутации, особенно *albina*, *chlorina*, *lutea* и *xantha*, летальны и они вызваны мутациями плазмогенов. Растения с такими изменениями погибают во втором поколении, не оставляя потомства. Хлорофилльные мутации, несмотря на сложность механизма проявления, служат

важным элементом для оценки активности мутагена и устойчивости растительного генотипа к мутагенным факторам.

Изучение характера наследования морфологических и физиологических изменений показало, что часть из них имела модификационную природу и в  $M_3$  вернулись к исходному фенотипу. В третьем поколении подтвердилась мутантная природа у 60,7 % семей, выделенных во втором поколении. В  $M_3$  доля мутантных семей по вариантам оказалась ниже по сравнению с числом измененных семей в  $M_2$  (таблица 4).

Таблица 4 – Частота семей с морфофизиологическими мутациями ячменя в  $M_3$

Вариант опыта	Число изучаемых семей в $M_2$	Число семей с изменениями			Доля семей, сохранивших измененные признаки в $M_3$ , $p \pm S_p$ , %
		$M_2$	$M_3$		
		n	n	$p \pm S_p$ , %	
Контроль (С.з.)	364	-	-	-	-
0,01н $Na_2CO_3$	347	53	37	10,7 $\pm$ 1,7*	69,8 $\pm$ 6,3*
0,1н $Na_2CO_3$	337	41	21	6,2 $\pm$ 1,3*	51,2 $\pm$ 7,8*
1н $Na_2CO_3$	302	35	25	8,3 $\pm$ 1,6*	69,4 $\pm$ 7,9*
С.з. + ЛКС	314	23	15	4,8 $\pm$ 1,2*	65,2 $\pm$ 9,9*
С.з. + ДКС	289	21	15	5,2 $\pm$ 1,3*	71,4 $\pm$ 9,9*
0,1н $Na_2CO_3$ + ЛКС	307	29	15	4,9 $\pm$ 1,2*	51,7 $\pm$ 9,3*
ЛКС + 0,1н $Na_2CO_3$	265	32	19	7,2 $\pm$ 1,6*	59,4 $\pm$ 8,7*
0,1н $Na_2CO_3$ + ДКС	300	25	13	4,3 $\pm$ 1,2*	52,0 $\pm$ 10,0*
ДКС + 0,1н $Na_2CO_3$	330	15	7	2,1 $\pm$ 0,8*	46,7 $\pm$ 12,9*
ЛКС + 0,1н $Na_2CO_3$ + ДКС	309	15	11	3,6 $\pm$ 1,1*	73,3 $\pm$ 11,4*
ДКС + 0,1н $Na_2CO_3$ + ЛКС	324	22	12	3,7 $\pm$ 1,1*	54,6 $\pm$ 10,6*

Примечание: \* – уровень достоверности ( $P < 0,05$ )

Наименьший процент семей, сохранивших новые признаки, отмечен в варианте ДКС + 0,1н  $Na_2CO_3$  – 46,7 %. Наибольший процент семей, наследовавших измененные признаки в  $M_3$ , наблюдали в вариантах ЛКС + 0,1н  $Na_2CO_3$  + ДКС (73,3 %), С.з. + ДКС (71,4 %), 0,01н  $Na_2CO_3$  (69,9 %) и 1н  $Na_2CO_3$  (69,4%).

Максимальная частота мутаций отмечена в варианте с семенами, замоченными в 0,01 н растворе  $Na_2CO_3$  – 10,7 %.

В парных и комплексных вариантах частота мутантных семей ячменя в  $M_3$  на уровне или ниже частоты мутаций вариантов применяемых физических факторов. При облучении ЛКС замоченных в воде семян ячменя получено 4,8% мутантных семей, при воздействии на замоченные семена ДКС частота мутаций составила 5,2 %.

Наиболее широкий спектр мутаций ячменя в третьем поколении отмечен в варианте 0,01н  $Na_2CO_3$  – 13 типов. По 7-8 типов мутаций ячменя наблюдали в вариантах: 0,1н  $Na_2CO_3$ ; 1н  $Na_2CO_3$ ; С.з. + ДКС; ЛКС + 0,1н  $Na_2CO_3$ ;

0,1н  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  + ДКС; ДКС + 0,1н  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  + ЛКС. Наиболее узкий спектр наследственных изменений – 4 типа мутаций был в двух вариантах – С.з. + ЛКС и ЛКС + 0,1н  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  + ДКС. В данных двух вариантах выделены мутантные формы, характеризующиеся длинным стеблем, колосом, остями и высокой массой зерна с главного колоса.

В третьем поколении среди новообразований преобладали мутации морфологических и количественных признаков ячменя. Отмечены различия в спектральном составе мутаций между вариантами. Проведенные исследования показали, что 0,01н карбонат натрия является эффективным мутагенным фактором на культуре ярового ячменя. Выделены раннеспелые формы мутантов с большим количеством зерен в колосе и массой зерен с колоса, которые могут быть ценным исходным материалом для селекции ярового ячменя. Установлена сильная ( $r = 0,73^*$ ) корреляционная связь уровня мутирования *Waxy*-гена с морфофизиологическими мутациями.

### **3.6. Электрофоретические спектры запасных белков у мутантных форм ячменя**

Для определения однородности, оригинальности и идентификации сортов, а также сортообразцов применяют электрофорез полиморфных запасных белков. По электрофореграмме компонентного состава запасных белков устанавливают соответствие генотипов к тому или иному сорту, или исходному образцу. Ячмень сорта Биос 1 имеет следующую формулу компонентного состава гордеина: *HrdA2 B8 F2*. Наиболее хозяйственно-ценные из полученных мутантов были подвергнуты электрофоретическому анализу запасных белков. Соответствие электрофоретических формул гордеинов у полученных мутантов ячменя формуле сорта Биос 1 свидетельствует об их происхождении от данного сорта. Отклонение в спектре гордеинов не обнаружено. Изучаемые мутагенные факторы изменили лишь часть генома ячменя, вызвав хлорофилльные, морфологические и физиологические мутации, и не затронули гены, контролирующие синтез запасных белков эндосперма.

### **3.7. Селекционная и хозяйственная ценность мутантных форм ячменя**

В  $M_4$  из четырнадцати высеянных образцов, одиннадцать мутантных форм ячменя показали достоверную прибавку урожайности в сравнении со стандартом на 17,1-51,7 %. Урожайность мутантов ячменя находилась в интервале от 3,6 до 5,3 т/га. Урожайность стандартного сорта Нур составила 3,5 т/га, исходного сорта Биос-1 – 3,4 т/га.

Максимальную прибавку урожайности показал мутант 8-3-013 (+ 1,8 т/га), выделенный в парном варианте ЛКС + 0,1н  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . Это обусловлено повышенной продуктивной кустистостью, большим числом колосков и зерен в колосе, увеличенной массой зерна с колоса.

В  $M_5$  в 2013 году были высеяны шесть наиболее ценных образцов ячменя, показавшие хорошие результаты по итогам испытания 2012 года. Из них три мутантные формы: М 4-16-3, М 8-3-013, М 11-13-Ха обеспечивали достоверную прибавку урожайности ячменя (таблица 5).

Максимальная урожайность в 2013 году отмечена у мутанта М 4-16-3, прибавка к стандарту составила 1,13 т/га. Рост урожайности обеспечен за счет большей, относительно стандарта, длины колоса, числа колосков и зерен в колосе. Минимальная урожайность ячменя (2,2 т/га) наблюдалась у сорта Белгородский 100, который являлся стандартом для скороспелых сортов Кировской области.

Таблица 5 – Урожайность мутантных форм ячменя

Сорт, мутант	Урожайность т/га			
	2013 г.	2014 г.	2015 г.	Средняя за 3 года
Нур (st)	2,99	4,66	3,48	3,71
Белгородский 100 (st)	2,22	4,57	3,74*	3,51
М 2-37-6	3,37	4,92	4,06*	4,12
М 4-16-3	4,12*	6,20*	4,21*	4,84
М 6-7-х	3,34	4,80	3,24	3,79
М 9-5-3	2,92	5,39	3,91*	4,07
М 8-3-013	3,61*	5,90*	4,35*	4,62
М 11-13-Ха	3,41*	5,24	3,50	4,05

Примечание: \* – существенная разность при НСР<sub>05</sub>

Максимальная урожайность в 2013 году отмечена у мутанта М 4-16-3, прибавка к стандарту составила 1,13 т/га. Рост урожайности обеспечен за счет большей, относительно стандарта, длины колоса, числа колосков и зерен в колосе. Минимальная урожайность ячменя (2,2 т/га) наблюдалась у сорта Белгородский 100, который являлся стандартом для скороспелых сортов Кировской области.

Все изучаемые формы ячменя в М<sub>6</sub> (2014 г.) показали прибавку урожайности в сравнении со стандартными сортами. Максимальная урожайность (6,2 т/га) была у мутанта 4-16-3 (у сорта Нур – 4,7 т/га). У мутанта ячменя 8-3-013 урожайность была выше – 5,9 т/га.

В 2015 году у мутантов седьмого поколения достоверную прибавку урожайности показали образцы: М 2-37-6 (0,58 т/га), М 4-16-3 (0,73 т/га), М 9-5-3 (0,43 т/га) и М 8-3-013 (0,87 т/га). Урожайность у сорта Нур – составила: 3,5 т/га. Средняя за три года изучения наибольшая урожайность ячменя была у номеров 4-16-3 и 8-3-013, соответственно, 4,84 и 4,62 т/га. Лучшие мутантные номера ячменя М<sub>8</sub>... М<sub>11</sub> – изучались в 2016 – 2019 гг. в конкурсном сортоиспытании.

Средняя урожайность мутантных номеров за 5 лет изучения в питомнике конкурсного сортоиспытания изменялась от 3,93 (М 11-13-Ха) до 4,62 т/га (М 8-3-013) (таблица 6).

В 2016 году при оценке образцов ячменя в конкурсном сортоиспытании все мутантные формы показали урожайность на уровне стандартного сорта

Белгородский 100 – 4,1 т/га. Наибольшая урожайность ячменя в 2016 году была отмечена у мутанта М 8-3-013 – 4,3 т/га.

По результатам дисперсионного анализа в 2017 году из пяти образцов только одна мутантная форма ячменя (М 8-3-013 – 4,5 т/га) показала достоверное увеличение урожайности в сравнении со стандартным сортом Белгородский 100 (4,3 т/га).

Таблица 6 – Урожайность сортообразцов ярового ячменя в КСИ, т/га

Сорт, мутант	Урожайность т/га				
	2016	2017	2018	2019	Средняя за 4 года
Белгородский 100 (st)	4,12	4,29	2,72	6,75	4,47
М 2-37-6	3,91	4,13	2,86	6,79	4,42
М 4-16-3	3,80	3,83	2,70	6,80	4,28
М 8-3-013	4,29	4,53*	2,89	7,02	4,73
М 9-5-3	3,72	3,89	2,74	6,57	4,23
М 11-13-Ха	3,84	3,74	2,09	6,59	4,07

*Примечание: \* – существенная разность при НСР<sub>05</sub>*

В 2018 году урожайность по вариантам колебалась от 2,1 (М 11-13-Ха) до 2,9 т/га (М 8-3-013). Сложившиеся погодные условия 2018 года в значительной мере повлияли на низкую урожайность ячменя на учебно-опытном поле Вятской ГСХА.

Урожайность в 2019 году благодаря сложившимся погодным условиям была максимальная за период конкурсного сортоиспытания и составляла более 6,5 т/га. У мутантной формы М 9-5-3 она была на уровне стандарта и составляла 6,6 т/га. Наибольшая урожайность ячменя в 2019 году была отмечена у скороспелого мутанта М 8-3-013 – 7,0 т/га.

Мутанты М 4-16-3, М 2-37-6 по урожайности находились на уровне стандарта, мутант М 9-5-3, уступал стандартному сорту, но они обладали относительно узкой нормой реакции – практически не реагировали на изменение условий внешней среды. Мутантная форма ячменя М 8-3-013 превышала по урожайности стандарт и контроль, а форма 11-13-Ха уступала по урожайности сорту Белгородский 100, но они имели широкую норму реакции на среду, то есть их можно отнести к интенсивному типу возделывания.

Таким образом, по результатам конкурсного испытания (2016-2019 гг.) на государственное сортоиспытание передан сорт ярового ячменя Памяти Дудина (М 8-3-013), характеризующийся высокой урожайностью, прибавка к стандарту Белгородский 100 за годы сортоиспытания составляла от 0,3 до 0,8 т/га. Для дальнейшей селекционной работы в качестве исходного материала выделены мутанты, имеющие ценные признаки и свойства.

### **3.8. Характеристика мутантов ячменя с хозяйственно-полезными признаками**

В результате исследования мутагенного действия карбоната натрия и излучения красного диапазона на яровой ячмень сорта Биос 1 выделено 190 семей

с морфофизиологическими мутациями.

Семнадцать форм переданы в коллекцию ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова» (ВИР). Десять форм, представляющие селекционный интерес по признакам раннеспелости, продуктивности, длины колоса, массы зерна с главного колоса и массы 1000 зерен могут быть использованы в селекционных программах по созданию сортов ячменя, адаптивных к условиям Волго-Вятского региона.

Характеристика отдельных мутантных форм.

**Мутант 2-37-6** получен при замачивании семян в растворе  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  с концентрацией 0,01н в течение 12 часов. Разновидность *nutans*. Колос средний, желтый, длиной 8,1 см, соломина 70,2 см. Отличается сильной продуктивной кустистостью 3,0, количество зерен в колосе 23,9 шт. – выше среднего, в контроле 21,7 шт. Масса 1000 зерен высокая 48,3 грамма. Урожайность 4,3 т/га. Созревает на 2 дня раньше стандарта.

**Мутант 4-16-3** получен при замачивании семян в растворе  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  с 1н концентрацией в течение 12 часов. Разновидность *nutans*. Колос средней длины 8,2 см, ости длиной 16,8 см, количество колосков в колосе среднее – 23,9 шт., зерен в колосе – 22,8 шт. Длина соломины 68,1 см. Масса 1000 зерен высокая – 48,1 г. Урожайность 4,2 т/га. Созревает на 3 дня раньше стандарта.

**Мутант 8-3-013** получен в варианте ЛКС + 0,1н  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . Разновидность *nutans*. Колос средний – 8,9 см, у исходной формы 8,0 см, количество колосков в колосе и зерен среднее (25,6 шт., 24,3 шт., соответственно). Масса 1000 зерен высокая – 49,2 г. Соломина длиной в среднем 72,4 см. Урожайность 4,6 т/га. Созревает на 4 – 7 дней раньше стандарта.

**Мутант 9-5-3** получен в варианте 0,1н  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  + ДКС. Разновидность *nutans*. Длина колоса 8,0 см, количество колосков низкое (22,5 шт.), а зерен среднее (21,4 шт.), масса зерна с главного колоса средняя – 1,24 г. Масса 1000 зерен очень высокая – 54,6 грамма. Длина соломины 64,2 см. Урожайность 4,1т/га. Созревает на 3 дня раньше стандарта.

**Мутант 11-13-Ха** получен в комплексном варианте ЛКС + 0,1н  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  + ДКС. Разновидность *nutans*. Колос короткий (7,1 см), число колосков в колосе – 21,3 шт., зерен среднее – 20,1 шт. Масса 1000 зерен высокая – 46,0 грамм. Длина соломины 46,8 см. Устойчив к полеганию. Урожайность 3,9 т/га. Созревает на 9-11 дней раньше стандарта.

Компонентный состав гордеина всех мутантных образцов ячменя идентичен исходному сорту Биос 1, что свидетельствует о том, что все они произошли от данного сорта.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования показали эффективность использования карбоната натрия, лазерного красного излучения и дальнего красного света в качестве мутагенных факторов при создании нового исходного материала для селекции ярового ячменя.

Разработан способ получения наследственных изменений на культуре ячменя при действии на семена раствором карбоната натрия в различной концентрации и в сочетании с лазерным красным и дальним красным светом. Отдельные этапы селекционной работы защищены патентом на изобретение. С применением авторских разработок созданы новые перспективные мутантные формы ячменя, сочетающие скороспелость с высокой урожайностью и рядом селекционно-ценных признаков.

На основании представленных исследований можно сделать следующие **выводы:**

1. Мутагенные свойства карбоната натрия, лазерного красного излучения и дальнего красного света подтверждены биотестом мутаций *Waxy*-локуса.

2. Установлено, что карбонат натрия, излучения красного диапазона оказывали следующее действие на онтогенез растений ярового ячменя в  $M_1$ :

- снижали полевую всхожесть семян при увеличении концентрации раствора карбоната натрия до 1н и облучении дальним красным светом семян, замоченных в дистиллированной воде;

- увеличивали общую кустистость во всех вариантах опыта, кроме варианта 0,1н  $Na_2CO_3$  + ДКС, продуктивную кустистость – в варианте с обработкой ДКС + 0,1н  $Na_2CO_3$ ;

- выявлена тенденция увеличения общей и продуктивной кустистости, длины соломины, числа зерен и массы зерна с колоса в комплексных вариантах при применении последним ЛКС по сравнению с вариантом, где завершающим был ДКС.

3. Выявлено, что изменение соотношения калия и натрия в пользу натрия в клетках ячменя под влиянием мутагенных факторов снижает содержание хлорофилла *a* и каротина, оказывает депрессирующее влияние на энергию прорастания семян, длину зародышевых корней, а так же онтогенез растений ячменя первого поколения.

4. В  $M_2$  частота морфологических и физиологических изменений, варьировала от 4,55 % до 15,27%:

- наибольшее количество семей с изменениями (53) было в варианте 0,01н  $Na_2CO_3$ ;

- максимальная частота хлорофилльных мутаций наблюдалась в комплексном варианте ДКС + 0,1н  $Na_2CO_3$  + ЛКС – 3,09 %.

5. В  $M_3$  преобладали мутации связанные с длиной соломины и колоса, и массой зерна с колоса.

6. Наиболее широкий спектр мутационных изменений отмечен в варианте 0,01н  $Na_2CO_3$  – 13 типов.

Высокий процент наследуемости морфофизиологических признаков в  $M_3$  отмечен в вариантах ЛКС + 0,1н  $Na_2CO_3$  + ДКС - 73,3%, С.з. + ДКС - 71,4%, 1н  $Na_2CO_3$  – 69,4%.

7. Подтверждена возможность получения хлорофилльных, морфологических и физиологических мутаций с помощью карбоната натрия, ЛКС и ДКС без изменения в гордеиновом спектре электрофоретическим анализом проламина в зерне.

8. Использование разработанных автором способов создания нового исходного материала повышает эффективность получения перспективного селекционного материала и выведения новых высокоурожайных сортов ярового ячменя. Теоретические исследования и экспериментальные данные послужили основой для создания сорта ячменя Памяти Дудина (М 8-3-013, заявка на патент № 82980 / 7954589 от 30.11.2020) и 23 селекционно-ценных мутантных форм ячменя.

### ПРЕДЛОЖЕНИЯ ДЛЯ СЕЛЕКЦИОННОЙ ПРАКТИКИ

1. Для создания исходного материала ярового ячменя предлагается использовать эффективные по выходу морфологических и физиологических мутаций параметры мутагенных факторов:

- замачивание семян в растворе карбоната натрия с концентрациями 0,01н или 1н в течение 12 часов (патент РФ RU 2464779 на «Способ мутагенной обработки семян ячменя» от 27.10.2012 г.);

- облучение сухих семян лазерным красным светом ( $\lambda = 632,8$  нм) с плотностью мощности луча  $0,3$  мВт/см<sup>2</sup>, экспозицией воздействия 60 минут и дальнейшим замачиванием в 0,1 н растворе Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> в течение 12 часов.

2. Селекционным учреждениям рекомендуем использовать в селекционных программах мутантные формы ячменя – М 2-26-0, М 9-13-0 и М 11-13-Ха, М 2-37-6, М 4-16-3, М 6-7-Х, М 8-3-013, М 9-5-3.

### СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

#### Публикации в изданиях, входящих в перечень ВАК Минобрнауки РФ

1. **Жилин Н.А.** Мутационная изменчивость ярового ячменя под влиянием лазерного красного света и карбоната натрия / Н.А. Жилин, Г.П. Дудин // Плодоводство и ягодоводство России. – 2012. – Т. 33. – С. 169-176.

2. **Жилин Н.А.** Мутационная изменчивость ячменя под влиянием карбоната натрия и излучения красного диапазона / Г.П. Дудин, **Н.А. Жилин** // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2014. – №12 (122). – С. 44-49.

3. **Жилин Н.А.** Стимулирующий эффект лазерного и дальнего красного света и карбоната натрия на первоначальных этапах онтогенеза ячменя / Г.П. Дудин, Жилин Н.А., Гребнева С.С. // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2014. – № 4 (62). – С. 122-128.

4. **Жилин Н.А.** Методы и результаты селекции ячменя в Волго-Вятском регионе / Н.А. Жилин, И.Н. Щенникова // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. – 2020. – №1 (60). – С. 79-82.

5. **Жилин Н.А.** Сорт 'Биос 1' как исходный материал для селекции ячменя / Н.А. Жилин, И.Ю. Зайцева, И.Н. Щенникова, С.А. Емелев // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. – 2020. – 181(2). – С. 96-100. – DOI: 10.30901/2227-8834-2020-2-96-100.

### Патенты

6. Патент РФ на изобретение RU 2464779. Способ мутагенной обработки семян ячменя / Дудин Г.П., **Жилин Н.А.** Выдан по заявке 2011114778/13с датой приоритета 14.04.2011. Зарегистрировано в государственном реестре изобретений Российской Федерации 27 октября 2012 г.

### Материалы научно-практических, международных конференций

7. **Жилин Н.А.** Влияние карбоната натрия и когерентного лазерного излучения красного диапазона на рост ячменя Биос-1 в первом поколении / Г.П. Дудин, Н.А. Жилин // Инновационные технологии в практику сельского хозяйства. – 2009. – С. 27-31.

8. **Жилин Н.А.** Влияние карбоната натрия и красного света на рост ячменя сорта Биос-1 в первом поколении / Г.П. Дудин, Н.А. Жилин // Науче нового века-знания молодых. – 2010. – С. 51-55.

9. **Жилин Н.А.** Методологические идеи мутационной генетики / Жилин Н.А. // Философия – культура – социум: аспекты взаимодействия: сборник научных материалов студентов и аспирантов. – Киров: Изд-во ВятГГУ. – 2010. – С.49-52.

10. **Жилин Н.А.** Индицирование хлорофилльных мутаций и морфофизиологических изменений ячменя в  $M_2$  под влиянием дальнего красного света и карбоната натрия / Г.П. Дудин, Н.А. Жилин // Науче нового века-знания молодых. – 2011. – С. 55-60.

11. **Жилин Н.А.** Соли калия и натрия как мутагенные факторы на культуре ячменя / Научное обеспечение развития АПК в современных условиях: материалы Всероссийской научн.-практ. конф. В 3 т. Т. 1 / Г.П. Дудин, Л.Н. Двинских, Н.А. Жилин, И.В. Исупова // Научное обеспечение развития АПК в современных условиях. – 2011. – С. 42-47.

12. **Жилин Н.А.** Действие карбоната натрия и когерентного монохромного красного света на прорастание ячменя сорта Биос 1 / Г.П. Дудин, Н.А. Жилин, С.С. Докучаева // Аграрная наука в XXI веке: проблемы и перспективы. – 2011. – С. 63-66.

13. **Жилин Н.А.** Действие карбоната натрия и дальнего красного света на прорастание семян ячменя сорта Биос 1 / Н.А.Жилин // Актуальные проблемы биологии и экологии: Матер. Молодежной XVIII конф. (4-8апреля 2011г., Сыктывкар). Сыктывкар. – 2011. – С. 249-251.

14. **Жилин Н.А.** Влияние лазерного красного света с карбонатом натрия на изменчивость ячменя / Г.П. Дудин, Н.А. Жилин // Материалы III Международной научно-практической конференции «Аграрная наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения» - Ульяновск: ГСХА. – 2011. – Т. II. – С. 21-25.

15. **Жилин Н.А.** Мутагенез и создание исходного материала для селекции ярового ячменя под влиянием красного излучения и карбоната натрия / Н.А. Жилин // Сборник конкурсных работ Программы У.М.Н.И.К. – Киров. – 2011. – С. 69-71.

16. **Жилин Н.А.** Действие красного излучения и карбоната натрия на прорастание семян ячменя и содержание хлорофилла / Г.П. Дудин, Н.А. Жилин // Наука нового века-знания молодых. – 2012. – С. 21-23.
17. **Жилин Н.А.** Мутагенное действие карбоната натрия на яровой ячмень / Г.П. Дудин, Н.А. Жилин // Индукованый мутагенез в селекції рослин: Зб. наук.праць / Інститут Фізіології рослин і генетики НАНУ, Укр. Т-во генетиків і селекціонерів ім М.І. Вавилова, Білоцерківський національний аграрний університет. Біла Церква. – 2012. – С. 133-138.
18. **Жилин Н.А.** Способ мутагенной обработки семян ячменя / Г.П. Дудин, Н.А. Жилин // Методы и технологии в селекции растений: Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Киров: НИИСХ Северо-Востока. – 2014. – С. 72-75.
19. **Жилин Н.А.** Раннеспелые мутанты ярового ячменя, полученные под влиянием солей калия, натрия и излучения красного диапазона / Г.П. Дудин, Л.Н. Балахонцева, Н.А. Жилин // Актуальные вопросы аграрной науки: теория и практика. – 2014. – С. 57-60.
20. **Жилин Н.А.** Прорастание семян и содержание хлорофилла в проростках ячменя сорта Биос 1 под воздействием карбоната натрия и дальнего красного света / Н.А. Жилин, С.С. Гребнева // В сборнике: Инновационные процессы и технологии в современном сельском хозяйстве Материалы международной научно-практической конференции: в 2-х частях. Благовещенск: Дальневосточный государственный аграрный университет. – 2014. – С. 196-199.
21. **Жилин Н.А.** Урожайность мутантов ярового ячменя в конкурсном сортоиспытании / Г.П. Дудин, Л.Н. Балахонцева, Н.А. Жилин, С.А. Емелев // Методы и технологии в селекции растений и растениеводстве: монография / Под общей редакцией В.А. Сысуева, Г.А. Баталовой, Е.М. Лисицына. – Киров: НИИСХ Северо-Востока. – 2016. – С. 43-47.
22. **Жилин Н.А.** Оценка урожайности мутантов ярового ячменя в конкурсном сортоиспытании / Г.П. Дудин, Л.Н. Балахонцева, Н.А. Жилин, С.А. Емелев // Методы и технологии в селекции растений и растениеводстве. – 2017. – С. 11-14.
23. **Жилин Н.А.** Оценка урожайности сортообразцов ярового ячменя в конкурсном сортоиспытании / Г.П. Дудин, Л.Н. Балахонцева, Н.А. Жилин, С.А. Емелев // Методы и технологии в селекции растений и растениеводстве. – 2018. – С. 74-78.
24. **Жилин Н.А.** Оценка урожайности сортообразцов ярового ячменя в конкурсном сортоиспытании / Балахонцева Л.Н., Дудин Г.П., Емелев С.А., Жилин Н.А. в сборнике: Материалы V Международной научно-практической конференции "Методы и технологии в селекции растений и растениеводстве". – Киров: ФАНЦ Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого. – 2019. – С. 66-69.

Подписано в печать 2021г.  
Формат 60 x 84/16  
Усл.печ.л. 2,0. Тираж экз. Заказ №  
Отпечатано с оригинал макета

Типография ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого  
610007, г. Киров, ул. Ленина, 166-а.