

На правах рукописи

Рипбергер Елена Ивановна

**АДАПТИВНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ МЕЖСОРТОВЫХ ГИБРИДОВ МЯГКОЙ
ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ (*TRITICUM AESTIVUM L.*) В РАЗЛИЧНЫХ
ПОЧВЕННО-КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ**

06.01.05 – селекция и семеноводство сельскохозяйственных растений

**АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата сельскохозяйственных наук**

Тюмень – 2015

Работа выполнена на кафедре ботаники, биотехнологии и ландшафтной архитектуры ФГБОУ ВПО «Тюменский государственный университет»

Научный руководитель: доктор сельскохозяйственных наук, профессор
Боме Нина Анатольевна

Официальные оппоненты: **Поползухина Нина Алексеевна**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой экологии, природопользования и биологии Омского государственного аграрного университета им. П.А. Столыпина

Тоболова Галина Васильевна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, доцент кафедры технологии производства, переработки и хранения продукции растениеводства Государственного аграрного университета Северного Зауралья

Ведущая организация: **Институт цитологии и генетики СО РАН**

Защита состоится «26» июня 2015 г. в 10-00 часов на заседании диссертационного совета Д 220.064.02 при Государственном аграрном университете Северного Зауралья по адресу:
625003, г. Тюмень, ул. Республики, д. 7.
Тел./факс: (3452) 46-87-77; E-mail: dissTGSNA@mail.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Государственного аграрного университета Северного Зауралья и на сайте <http://www.tsaa.ru>

Автореферат разослан «30» апреля 2015 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат с.-х. наук

Литвиненко Н.В.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Пшеница является одной из основных культур мирового рынка зерна, характеризуется высокой экологической пластичностью и занимает площадь 218,6 млн. га в мире (Phillips, Norton, 2012). По прогнозам продовольственной и сельскохозяйственной организации объединённых наций, к 2050 г. быстрый рост населения (до 9,6 млрд. человек) в сочетании с последствиями изменения климата может привести к снижению урожайности зерновых культур на 25% (Экспертный форум высокого уровня, 2009). В обеспечении продовольственной, биоресурсной безопасности и устойчивом развитии экологически ориентированного сельского хозяйства значительная роль принадлежит генетическим ресурсам культурных растений.

В этой связи актуально изучение структурно-функционального состояния, биологического разнообразия *Triticum aestivum* L., создание форм с новыми или улучшенными признаками, определение эколого-генетической устойчивости растений к неблагоприятным погодно-климатическим и почвенным факторам.

Цель исследований – изучение эколого-генетического потенциала мягкой яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) по изменчивости количественных признаков в различных почвенно-климатических условиях.

Задачи исследований:

1. Изучить эколого-генетические возможности реализации количественных признаков яровой пшеницы по характеру наследования и показателям комбинационной способности у гибридов (F_1 ; F_2)

2. Изучить реакцию на факторы окружающей среды гибридных (F_1 - F_5) и исходных форм яровой пшеницы по полевой всхожести семян, выживаемости растений и устойчивости к болезням в период вегетации.

3. Определить влияние генотипа и факторов окружающей среды на общую фенотипическую изменчивость признаков высоты растений и продуктивности колоса в различных почвенно-климатических условиях.

4. На основании комплексной оценки популяционных и индивидуальных признаков, а также параметров экологической пластичности и стабильности выделить генотипы с высоким адаптивным потенциалом.

5. Изучить мутационную изменчивость гибридов яровой пшеницы, индуцированную химическим препаратом (фосфемидом) при обработке семян.

Научная новизна работы. Впервые проведено комплексное эколого-генетическое изучение адаптивного потенциала мягкой яровой пшеницы в меняющихся условиях внешней среды. Оценена возможность применения методов гибридизации и химического мутагенеза для расширения генетического и морфологического разнообразия яровой пшеницы. Показано, что в первом гибридном поколении информативными критериями реализации количественных признаков генотипа являются комбинационная способность, эффект гетерозиса и степень доминирования. Определены изменчивость, степень выраженности популяционных и индивидуальных признаков гибридных и исходных форм в различных экологических условиях. Выявлена значительная дифференциация гибридного материала по устойчивости к болезням по эколого-географическим пунктам. Получены новые данные по соответствию генотипов яровой пшеницы к

почвенно-климатическим условиям юга Тюменской области (Россия), Земли Баден-Вюртемберг и Земли Нижняя Саксония (Германия) с помощью показателей пластичности и стабильности в резко различающихся условиях.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Сочетание методов гибридизации и химического мутагенеза обеспечивает расширение генетического разнообразия и адаптивного потенциала *Triticum aestivum* L. для условий Северного Зауралья.

2. Использование расширенного эколого-географического испытания в трёх пунктах с контрастными почвенно-климатическими условиями, позволяет оценить действие экологических факторов на реализацию генетического потенциала гибридных форм мягкой яровой пшеницы и выявить экологический эффект на изменчивость количественных признаков, характеризующих их приспособленность; по параметрам стабильности и пластичности выделены гибридные формы с оптимальным проявлением признаков продуктивности.

Теоретическая значимость. Настоящая работа вносит определенный вклад в совершенствование теоретических основ и методов изучения селекционного материала, разработку эколого-генетических моделей количественных признаков для определения устойчивости генотипов *Triticum aestivum* L. к неблагоприятным погодно-климатическим и почвенным условиям.

Практическая значимость работы определяется созданием межсортовых гибридов, с высокой экологической пластичностью и пригодных для формирования продуктивности северных агроценозов мягкой яровой пшеницы.

Выявленные корреляционные связи, закономерности в изменчивости, характере наследования количественных признаков гибридов и сортов могут быть использованы при составлении программ адаптивной селекции и разработке моделей сортов с учётом условий среды и потенциала культуры.

Генетическое разнообразие *Triticum aestivum* L., созданное с использованием комбинационной и мутационной изменчивости, рассматривается как источник пополнения коллекционного фонда яровой пшеницы Института биологии Тюменского государственного университета и Тюменского опорного пункта ВНИИР им. Н.И. Вавилова.

Методики полевых и лабораторных экспериментов при оценке генотипов, математической обработке данных используются в учебном процессе студентов Института биологии ТюмГУ по направлению Биология.

Апробация работы. Основные результаты исследований апробированы на: Международных конференциях (Тюмень, 2011; Германия, Оsnабрюк, 2012; Новосибирск, 2013; Казань, 2014; Украина, Одесса, 2014; Украина, Умань, 2015; Москва, 2015), Всероссийском научно-практическом семинаре (Тюмень, 2014), научно-методическом семинаре летней школы молодых ученых при РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева «Биотехнология в сельском хозяйстве, AgroBioTech – 2013» (Москва, 2013), Всероссийском конкурсе У.М.Н.И.К. (Тюмень, 2011, 2012), I Межрегиональном конкурсе молодежных инновационных проектов «Открытие века перемен» (Екатеринбург, 2012), заседаниях кафедры ботаники, биотехнологии и ландшафтной архитектуры ФГБОУ ВПО «Тюменский государственный университет» (2013-2015).

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 13 научных работ, из них 4 – в журналах, рекомендованных ВАК РФ, 2 – в зарубежном академическом издании.

Структура и объем диссертации.

Диссертационная работа состоит из введения, 5 глав, выводов, библиографического списка из 218 наименований, из которых 33 – иностранных авторов. Объем работы составляет 185 страниц машинописного текста, включает 14 таблиц и 30 рисунков. Приложение состоит из 20 таблиц, 3 рисунков.

Личный вклад соискателя состоял в планировании и выполнении лабораторных и полевых опытов, анализе и интерпретации экспериментальных данных, математической и статистической обработке результатов, подготовке и оформлении рукописи диссертации, материалов основных публикаций.

Благодарности. Автор выражает искреннюю признательность и глубокую благодарность научному руководителю, профессору Н.А. Боме за научную и методическую помощь в работе над диссертацией; профессору факультета сельского хозяйства и ландшафтной архитектуры Университета прикладных наук г. Оsnабрюк (Германия) Д. Траутцу за помощь в организации экологического испытания. Автор благодарит доцента кафедры ботаники, биотехнологии и ландшафтной архитектуры Тюменского государственного университета Н.Н. Колоколову за научные и методические консультации по идентификации листовых фитопатогенов, а также студентов и аспирантов ТюмГУ и Университета прикладных наук г. Оsnабрюк при проведении полевых испытаний.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Введение

Обоснована актуальность темы, поставлены цель исследования, сформулированы задачи, определены научная новизна и практическая значимость, сформулированы положения, выносимые на защиту.

1. Обзор литературы

В главе представлена систематическая и генетическая принадлежность *Triticum aestivum* L., основные анатомо-морфологические характеристики вида. Приводится теоретическое обобщение имеющихся в научной литературе сведений об отношении мягкой пшеницы к основным абиотическим факторам. Рассматривается проблема генетического разнообразия культурных растений и изучения их адаптивных способностей.

2. Условия, материал и методы исследований

Объект исследований – 5 исходных сортов различного эколого-географического происхождения (Скэнт 1, Скэнт 3, Лютесценс 70, Cara, Hybrid) и 10 гибридных форм (F_1 - F_5) мягкой яровой пшеницы, полученных от скрещивания этих сортов по неполной дигалльской схеме (Griffing, 1956).

В вегетационный период 2010 г. по комплексу морфологических признаков и биологических свойств изучено 130 гибридных (F_1) растений (площадь питания $10 \times 20 \text{ см}^2$). В 2011-2013 гг. (F_2 - F_4) потомство каждого растения высевалось и оценивалось отдельно (семьями) с отбором лучших и браковкой нетипичных форм

(2011 г. – 66 семей; 2012 г. – 107 семей; 2013 г. – 68 семей). Сравнение выполнялось с исходными сортами.

В гибридных поколениях (F_1 и F_2) изучали изменчивость и особенности наследования количественных признаков. Рассчитывали эффект гетерозиса (Γ , %) (Гужов, 1999, 2003), степень доминирования (H_p) (Beil, Atkins, 1965), депрессию (D , %) (Омаров, 1975), степень (T_c , %) и частоту (T_q , %) трансгрессии (Воскресенская, Шпот, 1967), коэффициент наследуемости (h^2) в широком смысле (Mahmud, Kramer, 1951), общую (OKC) и специфическую (CKC) комбинационную способность сортов (Усманов, Васильева, Васильев, 1987).

В 2013-2014 гг. проводили экологическое испытание 4-х лучших гибридных (F_4 , F_5) форм ($\text{♀Cara} \times \text{♂Скэнт 1}$, $\text{♀Cara} \times \text{♂Скэнт 3}$, $\text{♀Cara} \times \text{♂Лютесценс 70}$ и $\text{♀Hybrid} \times \text{♂Лютесценс 70}$) яровой пшеницы в 3-х географических пунктах: 1. Россия, Тюменская область, Нижнетавдинский район (биостанция «Озеро Кучак» Тюменского государственного университета); 2. Германия, Земля Баден-Вюртемберг, г. Швебиш-Гмюнд (экспериментальный участок Вальдорфской школы); 3. Германия, Земля Нижняя Саксония, г. Оsnабрюк (опытная станция Института прикладных наук «Waldhof»). Сравнение гибридов выполнено с сортами, рекомендованными для выращивания в каждой эколого-географической зоне: Россия, Тюменская область – Новосибирская 15, Иргина; Германия, г. Швебиш-Гмюнд – Ashby, Scirocco; Германия, г. Оsnабрюк – Eminent, Granus. Данный этап работы выполнен в рамках международного проекта «Устойчивое землепользование и стратегии адаптации к изменению климата для сельскохозяйственной зоны юга Западной Сибири (SASCHA)».

На экспериментальных участках пунктов исследований выполнен отбор почвенных проб (ГОСТ 28168-89). Анализ проб с биостанции «Озеро Кучак» проведен аккредитованной лабораторией «Экотоксикология» (РОСС RU. 0001.516420) Тобольской комплексной научной станции Уральского отделения РАН, с участков Германии – аккредитованной лабораторией «Umwelt Analyse Zentrum».

Изучение экологической изменчивости количественных признаков проводили с помощью трёхфакторного дисперсионного анализа, о модификационной изменчивости судили по коэффициенту вариации (CV, %), норме реакции на различающиеся условия среды – размаху варьирования. Экологическую пластичность (bi) и стабильность (Si^2) рассчитывали по методике S.A. Eberhart и W.A. Rassell (1966).

Для изучения мутационной изменчивости и отбора ценных генотипов яровой пшеницы использовали химический мутаген – диэтиленимид 2-амидопirimидилфосфорную кислоту (фосфемид). Воздушно-сухие семена сортов Cara и Скэнт 3 и их гибридного потомства (F_4) выдерживали в течение 3-х часов в растворе мутагена (0,002%; 0,01%), контроль – в дистиллированной воде (Зоз, 1968; Вайсфельд, 2010). Для определения энергии прорастания семян, морфометрических параметров проростков семена, обработанные мутагеном, и контроль проращивали в чашках Петри на увлажнённой дистиллированной водой фильтровальной бумаге в соответствии с ГОСТ 12038-84 (2011). Посев семян в полевых условиях в 2013 г. осуществляли блоками для каждого варианта (M_1) в 4-х кратной повторности. Изучение, уборка и посев M_2 в 2014 г. каждого растения проводились индивидуально.

Закладка полевых опытов, наблюдения и учеты популяционных и индивидуальных признаков растений проводились по методикам государственного испытания сельскохозяйственных культур (1971), Б.А. Доспехова (1985), ВНИИ растениеводства им. Н.И. Вавилова (Градчанинова, 1987), Ю.Л. Гужова (2003). Для изучения устойчивости гибридов и сортов к фитопатогенным грибам выполняли скрининг растений в полевых условиях на естественном инфекционном фоне, собирали микологический гербарий. В лаборатории биотехнологических и микробиологических исследований ТюмГУ проводили идентификацию и фотосъемку возбудителей болезней методами макроскопирования, микроскопирования и влажной камеры, с использованием оборудования: ламинарный бокс NU-425-400E («Binder», Германия) и микроскопа Axiostar Plus («Karl Zeiss», Германия).

Содержание фотосинтетических пигментов в клетках флаговых листьев в фазе колошения определяли на спектрофотометре photoLab 6600 UV-VIS с использованием электронной программы Hlorof. Вытяжку пигментов готовили по методическим рекомендациям И.А. Шульгина (1974) и временному методическому руководству по нормированию уровней содержания химических веществ в донных отложениях поверхностных водных объектов (на примере нефти) (2002).

Статистическую обработку данных выполняли по методикам Б.А. Доспехова (1985), М. Мазер и Дж. Джикс (1985), Г.Ф. Лакина (1990), W.G Matthäus и J. Schulze (2011), Field A. с соавторами (2012), с использованием табличного процессора Microsoft Excel и программного обеспечения STATAN, STATISTICA 6.0 (StatSoft).

Таблица 1 – Характеристика вегетационных периодов исследований по ГТК

Год	ГТК		
	OK	WS	WH
2009	0,86	-	-
2010	1,05	-	-
2011	0,96	-	-
2012	0,50	-	-
2013	1,19	2,26	1,16
2014	1,23	1,92	2,47
Среднее по годам	0,97	2,09	1,82

Примечание: OK – биостанция «Озеро Кучак»; WS – экспериментальный участок Вальдорфской школы; WH – опытная станция «Waldhof».

Вегетационные периоды 2009–2014 гг. значительно отличались по тепло- и влагообеспеченности. Гидротермический коэффициент (ГТК) на экспериментальном участке биостанции «Озеро Кучак» изменялся от 0,50 (2012 г., очень засушливый) до 1,23 (2014 г., слабо засушливый). Условия в Германии характеризовались достаточным увлажнением и более благоприятным температурным режимом в течение 2-х лет экологического изучения гибридов и сортов яровой пшеницы (табл. 1).

3. Анализ характера наследования и оценка полученного генетического материала яровой пшеницы по селекционно-ценным признакам в условиях Северного Зауралья

Комбинационная способность исходных форм. Оценить долю вклада родительских компонентов, характер взаимодействия генов, а также значительно сократить объем и сроки селекционного процесса, позволяет изучение общей (OKC) и специфической (CKC) комбинационной способности исходного

материала (Беседа, 2009; Маслинская, 2012; Донцова, 2014). На основании анализа эффекта общей (OKC_q) и вариансы специфической ($CKC_{\sigma^2_s}$) комбинационной способности по признакам продуктивности колоса (количество зёрен в колосе и масса зерна в колосе) выделены ценные сорта мягкой яровой пшеницы. Положительными эффектами OKC_q по оцениваемым признакам характеризовались сорта Лютесценс 70 и Cara. По значениям $CKC_{\sigma^2_s}$ выделились сорта Скэнт 1 (количество зерен в колосе), Лютесценс 70 (масса зерна в колосе) (табл. 2). Сорта можно использовать как исходный материал при создании синтетических популяций яровой пшеницы. Для индивидуальных скрещиваний по признаку количества зёрен в колосе можно рекомендовать сорт Скэнт 1, в меньшей степени – сорта Скэнт 3, Cara, Лютесценс 70 и Hybrid.

Таблица 2 – Оценка эффектов и варианс общей и специфической комбинационной способности яровой пшеницы

Сорт	Количество зёрен в колосе		Масса зерна в колосе	
	OKC_q	$CKC_{\sigma^2_s}$	OKC_q	$CKC_{\sigma^2_s}$
Скэнт 1	-6,69	+173,99	-0,69	+0,06
Скэнт 3	-4,45	+12,02	-0,15	-0,07
Лютесценс 70	+6,98	+18,75	+0,33	+0,92
Cara	+4,15	+13,64	+0,44	-0,05
Hybrid	-9,59	+19,65	-0,46	-0,04
HCP ₀₅	2,90	4,00	0,05	0,12

Примечание: OKC_q – эффект общей комбинационной способности; $CKC_{\sigma^2_s}$ – варианса специфической комбинационной способности.

Характер наследования признаков. Успешность проведённого отбора зависит от правильного определения и выявления характера наследования признаков у полученного гибридного материала. Полигенное наследование, непрерывная изменчивость, а также зависимость, как от генотипических особенностей, так и экологических условий среды, значительно усложняют их анализ (Айала, Кайгер, 1988; Инге-Вечтомов, 1989; Воробьева, Таглина, 2006; Becker, 2011). Коэффициент вариации полученных гибридных форм по признакам количества (16,11-67,34%) и массы (20,28-88,40%) зерен в колосе значительно различался по годам исследований. Следует отметить, что в F_2 по сравнению с F_1 степень изменчивости признаков снижалась на 15-20%. При анализе эффекта гетерозиса по признакам озерненности и массы зерна в колосе отмечено затухание гетерозиса у гибридов F_2 . Выделены гибридные комбинации, показавшие высокий гетерозис в F_1 и характеризовавшиеся высокими значениями признаков в F_2 : ♀Скэнт 3 x ♂Скэнт 1 – 98,1%; ♀Hybrid x ♂Cara – 95,2%; ♀Cara x ♂Скэнт 1 – 93,4%; ♀Hybrid x ♂Скэнт 3 – 95,4%; ♀Cara x ♂Скэнт 3 – 94,1% (по количеству зёрен в колосе), ♀Лютесценс 70 x ♂Скэнт 1 – 93,8%; ♀Скэнт 3 x ♂Скэнт 1 – 100,8% (по массе зерна в колосе). У большинства гибридов отмечалось сверхдоминирование по изученным признакам. Наиболее желаемая для селекционеров степень доминирования – промежуточное наследование или адоминирование выявлена по массе зерна в колосе у гибридной комбинации ♀Лютесценс 70 x ♂Скэнт 1. Высокой положительной степенью трансгрессии в F_2 по количеству и массе зёрен в колосе характеризовались 5 гибридных комбинаций: ♀Cara x ♂Лютесценс 70, ♀Hybrid x ♂Лютесценс 70, ♀Cara x ♂Скэнт 1, ♀Hybrid x ♂Скэнт 1 и ♀Cara x ♂Скэнт 3; только по количеству зёрен – ♀Hybrid x ♂Скэнт 3 и массе зерна – ♀Скэнт 3 x

♂Скэнт 1. У 70% гибридных форм в F₂ по изучаемым признакам коэффициент наследуемости в узком смысле был выше 50% (табл. 3).

Таблица 3 – Степень доминирования (F₁), трансгрессия и наследуемость (F₂) признаков количества и массы зерен в колосе гибридных форм яровой пшеницы

Гибридная комбинация	Количество зёрен в колосе				Масса зерна в колосе			
	H _p	T _c ,%	T _q ,%	h ²	H _p	T _c ,%	T _q ,%	h ²
♀Cara x ♂Лютесценс 70	+20,4	23,3	20,0	0,55	+16,1	35,7	20,0	0,50
♀Лютесценс 70 x ♂Скэント 1	-1,8	-9,7	3,3	0,30	0	6,3	23,3	0,29
♀Скэント 3 x ♂Скэント 1	+1,5	0	41,5	0,18	+0,6	35,9	23,1	0,14
♀Лютесценс 70 x ♂Скэント 3	0,9	-3,3	9,2	0,18	+0,5	-20,8	5,9	0,38
♀Hybrid x ♂Лютесценс 70	+0,6	10,0	22,8	0,78	+0,6	38,9	14,0	0,81
♀Hybrid x ♂Cara	-1,3	-21,4	22,8	0,56	-1,7	6,51	35,0	0,60
♀Cara x ♂Скэント 1	+4,8	25,8	30,8	0,68	+1,8	47,9	34,6	0,64
♀Hybrid x ♂Скэント 1	+0,2	16,1	46,7	0,78	+0,8	90,9	22,7	0,69
♀Hybrid x ♂Скэント 3	-1,8	30,0	20,0	0,80	-1,9	4,57	16,0	0,83
♀Cara x ♂Скэント 3	+41,0	30,0	41,3	0,68	+2,6	15,2	22,7	0,63

Примечание: H_p – степень доминирования; T_c – степень трансгресии; T_q – частота трансгресии; h² – наследуемость.

Реакция гибридных форм (F₁-F₅) на факторы окружающей среды по показателям полевой всхожести семян. Период прорастания семян представляет собой ряд взаимосвязанных процессов физиологического, биохимического и морфологического характера, в связи с чем, рассматривается как критический в онтогенезе растений при формировании всходов (Васько, 2012). В Тюменской области одной из основных проблем в растениеводстве является полевая всхожесть семян, что объясняется зависимостью данного показателя от комплекса экологических факторов. Проведённые исследования демонстрируют широкое варьирование полевой всхожести семян гибридных (F₁-F₅) (от 67,66 до 84,09%) и исходных форм (от 63,95 до 91,00%) в различные по метеорологическим условиям вегетационные периоды. Снижение полевой всхожести по отношению к лабораторной у гибридов составило 21,77%, у родителей – 18,74%. На основании многолетних (2010-2014 гг.) данных были выделены гибридные комбинации: ♀Лютесценс 70 x ♂Скэント 1, ♀Hybrid x ♂Cara, ♀Hybrid x ♂Скэント 1 и ♀Cara x ♂Скэント 3.

Устойчивость гибридных форм (F₁-F₅) к основным грибным болезням в различные вегетационные периоды. Распространённость фитопатогена и поражение им растений во многом определяется генотипическими особенностями растения хозяина, биологией возбудителя, а также абиотической составляющей факторов среды (Вавилов, 1986). Следовательно, устойчивость гибридных (F₁-F₅) и родительских форм к основным фитопатогенным грибам в годы исследований, различающихся по температурному фактору и количеству осадков, была неодинакова. Поражения растений мучнистой росой не отмечено в 2013 г., неблагоприятными для распространения возбудителя бурой листовой ржавчины были условия 2010, 2011 и 2013 гг. Симптомы пятнистостей отмечены во все вегетационные периоды исследований. Наибольшая распространённость фитопатогенных грибов отмечена в очень засушливых (ГТК=0,50) условиях 2012 г. Выявлено, что гибриды по сравнению с исходными формами и другими годами исследований были более восприимчивыми к *Erysiphe graminis* DC (табл. 4).

Таблица 4 – Устойчивость гибридных (F_1 - F_5) и исходных форм к основным грибным болезням в различные вегетационные периоды

Год	Мучнистая роса		Пятнистости		Бурая листовая ржавчина	
	гибриды	родители	гибриды	родители	гибриды	родители
2010	-+	-	+	-+	-//-	-//
2011	-+	-+	+	-+	-//-	-//
2012	-	-+	++	++	++	++
2013	-//-	-//-	+	++	-//-	-//
2014	+	-+	++	++	++	+

Примечание: «-//» – отсутствие признаков поражения; «-» – очень низкая; «-» – низкая; «-+» – средняя; «+» – высокая; «++» – очень высокая.

Известно о значительной чувствительности фотосинтетического аппарата растений к неблагоприятным природным факторам (Marais, 2007; Хамидов, 2012; Бухарина и др., 2013; Сысоева и др., 2013). В связи с этим, определяли концентрацию пигментов (Хл *a* и Хл *b*, каротиноиды) в клетках флаговых листьев. Содержание (мг/г сырой массы) Хл *a* ($2,2\pm0,02$), Хл *b* ($0,8\pm0,01$), их сумма (3,0) и каротиноидов ($1,9\pm0,05$) в листьях исходных форм было выше по сравнению с гибридами (Хл *a* – $1,6\pm0,01$; Хл *b* – $0,5\pm0,01$; каротиноиды – $1,4\pm0,004$). Соотношение Хл *a* и Хл *b* в листьях гибридов составило 3,1, исходных сортов – 2,8. Наибольшее содержание хлорофиллов (*a* – $3,0\pm0,9$; *b* – $1,1\pm0,01$) и каротиноидов ($2,4\pm0,01$) было в листьях сорта Скэнт 1; устойчивость сорта к мучнистой росе средняя ($R=45\%$). Гибридные комбинации с участием этого сорта ($\text{♀Скэнт 3} \times \text{♂Скэнт 1}$, $\text{♀Hybrid} \times \text{♂Скэнт 1}$, $\text{♀Cara} \times \text{♂Скэнт 1}$, $\text{♀Лютесценс 70} \times \text{♂Скэнт 1}$) характеризовались меньшим содержанием основных фотосинтетических пигментов (мг/г): Хл *a* 1,2-2,3, Хл *b* 0,4-0,8, каротиноидов 1,1-1,9 и были более восприимчивы к мучнистой росе ($R=85-90\%$). Высокая устойчивость в 2012 г. отмечена у одной гибридной формы ($\text{♀Hybrid} \times \text{♂Лютесценс 70}$, $R=25\%$) и одного сорта (Cara, $R=35\%$). Четкой зависимости устойчивости растений к мучнистой росе от содержания пигментов не обнаружено. Корреляционный анализ не выявил сильной связи между устойчивостью гибридов и сортов к болезням и морфометрическими параметрами флагового листа, а также высотой растений; наибольшая связь обнаружена с площадью флагового листа ($r=0,46$).

По результатам оценки (2010-2014 гг.) выделены устойчивые формы: к мучнистой росе (гибриды – $\text{♀Hybrid} \times \text{♂Лютесценс 70}$, $\text{♀Cara} \times \text{♂Скэнт 1}$, $\text{♀Лютесценс 70} \times \text{♂Скэнт 3}$; сорт Cara), пятнистостям (гибриды – $\text{♀Hybrid} \times \text{♂Лютесценс 70}$, $\text{♀Hybrid} \times \text{♂Скэнт 3}$, $\text{♀Cara} \times \text{♂Скэнт 3}$, $\text{♀Cara} \times \text{♂Скэнт 1}$; сорта – Лютесценс 70, Cara), бурой листовой ржавчине (все изученные гибриды; сорта Скэнт 1, Скэнт 3, Лютесценс 70 и Hybrid). Комплексную устойчивость ко всем идентифицированным фитопатогенам проявили 2 гибрида: $\text{♀Hybrid} \times \text{♂Лютесценс 70}$, $\text{♀Cara} \times \text{♂Скэнт 1}$; к возбудителям мучнистой росы и бурой листовой ржавчины – $\text{♀Лютесценс 70} \times \text{♂Скэнт 3}$; возбудителям пятнистостей и бурой листовой ржавчины – $\text{♀Hybrid} \times \text{♂Скэнт 3}$, $\text{♀Cara} \times \text{♂Скэнт 3}$.

Оценка биологической устойчивости генотипов по выживаемости растений в различные по метеорологическим условиям вегетационные периоды. Приспособленность растительного организма к постоянно меняющимся

условиям среды можно изучить по выживаемости растений, так как данный показатель охватывает весь вегетационный период (от прорастания семени до полной спелости), тем самым характеризует реакцию растений на комплекс абиотических и биотических факторов среды (Гужов, Фукс, Валичек, 1999; Жученко, 2001; Васько, 2004; Тишков, 2004). В среднем за годы исследований отмечено варьирование показателей биологической устойчивости растений гибридных (F_1 - F_5) комбинаций от 43,72 до 75,56% и исходных сортов от 42,33 до 66,60%. Очень низкая выживаемость растений в период вегетации отмечена в 2012 г. (гибриды – 48,03%, сорта – 45,40%).

Показатель биологической устойчивости находился в зависимости от генетических особенностей исследуемого материала, биотических и абиотических факторов среды. Несмотря на существенные различия вегетационных периодов по проявлению экологических факторов, с преобладанием условий менее благоприятных для нормального роста и развития яровой пшеницы, выявлена гибридная комбинация ♀Лютесценс 70 x ♂Скэнт 1, характеризовавшаяся относительно высоким и стабильным за годы исследований (2010-2014 гг.) показателем выживаемости растений (75,56%).

4. Экологическая изменчивость популяционных и индивидуальных признаков яровой пшеницы в различных эколого-географических пунктах

Характеристика эколого-географических пунктов. Экологическое испытание гибридного материала проведено в 3-х пунктах России и Германии, существенно различающихся по географическому расположению и почвенно-климатическим условиям (табл. 5).

Таблица 5 – Особенности эколого-географических пунктов исследований

Признаки	OK	WS	WH
Удалённость от г. Тюмени, км	50,00	4480,23	4315,38
Высота над уровнем моря, м	61	348	105
Тип климата	резко-континентальный	умеренный морской	умеренный морской
Среднегодовая температура воздуха, °C	0,3	8,1	8,6
Среднегодовое количество осадков, мм	457	980	746
Тип почвы	дерново-подзолистая, супесчаная	темно-серая лесная, тяжелосуглинистая	темно-серая лесная, легкосуглинистая
Кислотность почвы, ед.	6,6	7,0	7,0
Гумус, %	3,67	4,00	4,00
Содержание макро- и микроэлементов в почве, мг/кг	Нитратный азот	18,80	4,22
	Подвижный фосфор	433,30	565,00
	Ca	3362,33	3100,00
	Mg	1125,37	315,00
	Fe	3553,51	3010,00
	Cu	55,41	6,51
	Zn	402,52	12,70

Примечание: обозначение географических пунктов см. в табл. 1

Полевая всхожесть семян. Изучение полевой всхожести семян яровой пшеницы в различных эколого-географических пунктах позволяет оценить приспособленность растений к существенно отличающимся почвенно-

климатическим условиям среды с первых этапов онтогенеза. Наиболее благоприятными для прорастания семян и формирования всходов в 2013 (66,5-86,5%) и 2014 гг. (79,5-93,5%) были условия опытной станции «Waldhof». Анализ полевой всхожести гибридных форм (F_4 ; F_5) по отношению к лучшему районированному сорту показал неоднозначную реакцию генотипов на различные условия среды. Превышение над лучшим стандартным сортом отмечено на экспериментальном участке «Озеро Кучак» в 2013 г. у гибридов ♀Cara x ♂Скэнт 1 (103,3%) и ♀Hybrid x ♂Лютесценс 70 (112,6%), в 2014 г. – ♀Cara x ♂Скэнт 3 (101,8%). Незначительно уступали в 2014 г. стандартам в Германии на экспериментальном участке Вальдорфской школы гибридные формы ♀Cara x ♂Скэнт 1 (97,7%) и опытном участке «Waldhof» – ♀Cara x ♂Скэнт 1 (96,3%), ♀Cara x ♂Лютесценс 70 (98,4%).

Особенности развития основных грибных болезней. Поскольку распространённость фитопатогенных грибов в значительной степени определяется условиями окружающей среды, фитопатогенная активность в географических пунктах исследований была не одинакова. Поражение мучнистой росой в 2013 г. отмечались только на опытном участке «Waldhof» ($P=15\text{-}50\%$). В 2014 г. симптомы обнаружены во всех пунктах исследований, с максимальной распространённостью ($P=100\%$) на экспериментальном участке биостанции «Озеро Кучак». Наименьший процент распространённости ($P=3\text{-}10\%$) отмечен на участке Вальдорфской школы. Поражение листьев пятнистостями в годы исследований выявлено в опытах на биостанции «Озеро Кучак» ($P_{2013}=3\text{-}30\%$; $P_{2014}=3\text{-}100\%$) и на участке Вальдорфской школы ($P_{2013}=2\text{-}15\%$; $P_{2014}=0\text{-}10\%$). Максимальная распространённость бурой листовой ржавчины зафиксирована в 2014 г. на биостанции «Озеро Кучак» ($P=10\text{-}100\%$), минимальная – в Германии. В различных эколого-географических условиях выделены гибридные комбинации с высокой и очень высокой устойчивостью к болезням: мучнистой росе (*Erysiphe graminis* DC) – ♀Cara x ♂Скэнт 1, ♀Cara x ♂Лютесценс 70; пятнистостям (*Alternaria* spp. и *Helminthosporium* spp.) – ♀Cara x ♂Скэнт 1, ♀Cara x ♂Лютесценс 70, ♀Hybrid x ♂Лютесценс 70, ♀Cara x ♂Скэнт 3; бурой листовой ржавчине (*Russinia recondita* Rob. ex. Desm. f. sp. *tritici* Eriks. (=*P. triticina* Eriks.)) – ♀Cara x ♂Скэнт 1, ♀Cara x ♂Лютесценс 70, ♀Hybrid x ♂Лютесценс 70, ♀Cara x ♂Скэнт 3; комплексной устойчивостью обладали ♀Cara x ♂Скэнт 1, ♀Cara x ♂Лютесценс 70.

Влияние факторов среды на изменчивость высоты растений и устойчивость к полеганию. Для каждой эколого-географической зоны характерен свой оптимальный экотип растений (Ведров, 1984; Лихенко, 2004; Шаманин, Трушенико, 2006; Яковский, 2010; Barsel, 2006; Acquaah, 2007). Выявлено, что растения гибридов (F_4 ; F_5) в условиях юга Тюменской области в среднем за 2013-2014 гг. на 30 см были ниже по сравнению с растениями тех же гибридов в Германии. На экспериментальном участке биостанции «Озеро Кучак» гибиды имели высоту растений 54,3 см ($CV=10,29\%$), Вальдорфской школы – 79,6 см ($CV=15,43\%$), опытной станции «Waldhof» – 91,6 см ($CV=12,19\%$). Норма реакции гибридных форм на факторы среды по признаку высоты растений была не одинакова. Наибольшим размахом варьирования на экспериментальных участках Вальдорфской школы (60,1 см) и станции «Waldhof» (42,5 см) характеризовалась

гибридная комбинация ♀ Hybrid x ♂ Лютесценс 70, биостанции «Озеро Кучак» – ♀ Cara x ♂ Скэнт 1 (19,5 см). Широкий размах варьирования признака высоты растений в различных условиях испытания, вероятно, связан с разнообразием экологических факторов географических пунктов и адаптивными механизмами гибридов.

Отмечены значительные различия факторов по силе влияния в общей



Рисунок 1 – Доля влияния факторов на изменчивость высоты растений гибридных (F_4 ; F_5) форм, % (2013-2014 гг.)

полеганию в период колошение-восковая спелость зерна показала, что все гибридные формы обладали высокой и очень высокой устойчивостью (7-9 баллов).

Особенности реакции генотипов на факторы среды по признакам продуктивности. Величина урожайности определяется производственными характеристиками колоса, зависящими от экологических, агротехнических факторов и генотипических особенностей сорта (Кузнецов, 1980; Натрова, Смочек, 1983; Ведров, 1984, Арбузова, Ефремова, Мартинек, 2014). Изучение количества зерен в колосе гибридных (F_4 ; F_5) форм выявило различия по фенотипической выраженности признака в географических пунктах. В среднем за 2013-2014 гг. наибольшее значение признака отмечено на экспериментальном участке Вальдорфской школы – 37,5 шт. ($CV=17,59\%$); на опытной станции «Waldhof» в колосе насчитывалось 32,0 зерна ($CV=22,36\%$), биостанции «Озеро Кучак» – 27,6 зерен ($CV=24,90\%$). В географических пунктах Германии гибридные растения формировали колосья с массой зерна 1,62 г (Вальдорфская школа) – 1,34 г («Waldhof»), в пункте России – 0,75 г; степень изменчивости признака на всех участках высокая ($CV=28,54$; $28,87$; $31,73\%$ соответственно). Высокая амплитуда варьирования признака количества зёрен в колосе отмечена у гибридной комбинации ♀ Cara x ♂ Скэнт 3 (29 шт.) на экспериментальном участке Вальдорфской школы. По массе зерна в колосе широким размахом варьирования в обоих пунктах Германии характеризовался гибрид ♀ Cara x ♂ Скэнт 1 – 1,22 г. На биостанции «Озеро Кучак» размах варьирования по количеству зерен в колосе составил 18 шт., по массе зерна в колосе – 0,57 г.

Дисперсионный анализ позволил судить о различиях основных факторов по влиянию на формирование признаков продуктивности колоса (рис. 2).

фенотипической изменчивости признака высоты растений. Прежде всего, она была обусловлена особенностями экологических пунктов исследований (58,70%). Значительно ниже была доля изменчивости, вызванная условиями вегетации (2013-2014 гг.) – 8,19%, а также взаимодействием данного фактора с «пунктом» (5,06%) и «генотипом» (3,04%). Наименьшее влияние оказали генотипические различия – 1,11%. Одновременное действие других факторов на высоту растений было незначительным (рис. 1).

Оценка гибридов в трёх пунктах испытаний в течение двух вегетационных периодов по устойчивости растений к

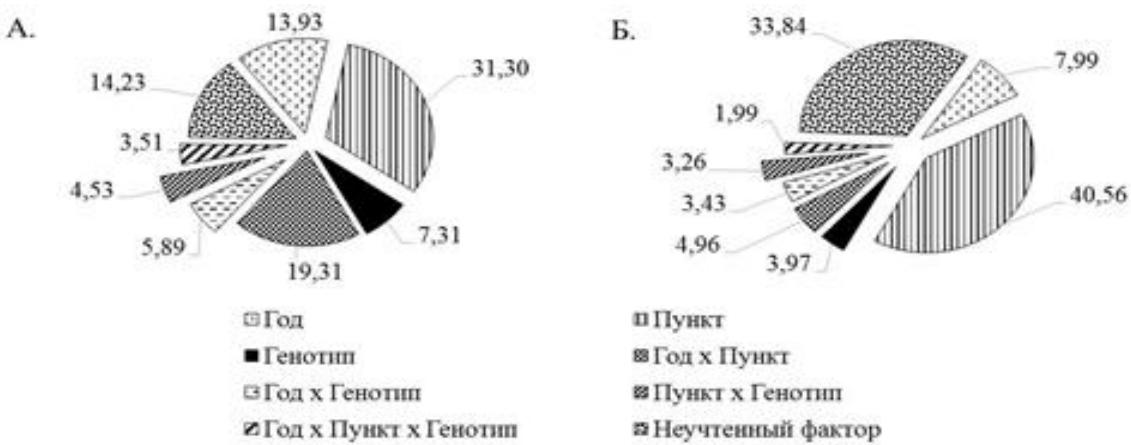


Рисунок 2 – Доля влияния факторов на изменчивость признаков количества [А.] и массы [Б.] зерна в колосе гибридных (F_4 ; F_5) форм, % (2013-2014 гг.)

Основной вклад в изменчивости признака количества (31,30%) и массы зерна (40,56%) в колосе определялся условиями эколого-географических пунктов исследований. Значительный вклад в варьирование признака количества зёрен в колосе оказали условия вегетации (2013-2014 гг.) (13,93%), а также взаимодействие факторов «год» х «пункт» (19,31%). Доля генотипических различий в изменчивости признака количества зёрен в колосе (7,31%) была выше, чем по признаку массы зерна в колосе (3,97%). Влияние остальных факторов на изучаемые признаки было незначительным.

Пластичность и стабильность проявления признаков под действием комплекса экологических факторов является неотъемлемым и необходимым свойством адаптивности (Риклефс, 1979; Потанин, Алейникова, Стёпочкин, 2014). По показателям экологической пластичности и стабильности признака количества зёрен в колосе выделены гибридные формы высокointенсивного типа – ♀Cara x ♂Скэнт 1, ♀Hybrid x ♂Лютесценс 70, а также характеризовавшиеся низкой стабильностью и хорошей отзывчивостью на условия среды в 2013 и 2014 гг. – ♀Cara x ♂Лютесценс 70, ♀Cara x ♂Скэнт 3 (табл. 6).

Таблица 6 – Количество зёрен в колосе (Хср.) гибридных (F_4 ; F_5) форм яровой пшеницы

Пункт	Год	Гибридные формы				Ij
		1	2	3	4	
OK	2013	14,60	15,23	16,07	18,90	-10,3
	2014	48,00	39,00	32,10	37,67	-1,3
	Средняя	31,30	27,12	26,87	28,29	-
WS	2013	29,80	32,60	32,60	51,60	7,3
	2014	38,33	45,33	29,33	40,33	3,4
	Средняя	34,07	38,97	30,97	45,97	-
WH	2013	34,70	31,21	27,78	31,49	2,9
	2014	32,33	35,17	29,67	33,67	-2,2
	Средняя	33,52	33,19	28,73	32,59	-
Среднее по пунктам		32,96	33,09	27,93	35,61	-
Пластичность, bi	2013	0,86	1,04	0,91	1,12	-
	2014	0,17	1,44	0,32	1,66	-
Стабильность, Si ²	2013	0,29	5,82	0,34	5,96	-
	2014	126,54	62,20	33,25	51,25	-

Примечание:
1. ♀Cara x ♂Скэнт 1;
2. ♀Cara x ♂Лютесценс 70;
3. ♀Hybrid x ♂Лютесценс 70;
4. ♀Cara x ♂Скэнт 3;
Ij – индекс условий среды;
обозначение географических пунктов см. в табл. 1.

Зерновая продуктивность. Известно, что урожайность является результатом сложного взаимодействия генотипа с условиями среды (Gaju O, et al., 2009; Protich R., Nodorovich G., Protich N., 2012; Knezevic D., et al., 2012). По нашим данным биологическая урожайность гибридных (F_4 ; F_5) форм значительно изменялась по географическим пунктам: на экспериментальном участке биостанции «Озеро Кучак» от 288,0 ($\text{♀Cara} \times \text{♂Скэнт 1}$) до 448,0 $\text{г}/\text{м}^2$ ($\text{♀Cara} \times \text{♂Скэнт 3}$), на экспериментальном участке Вальдорфской школы от 293,6 ($\text{♀Cara} \times \text{♂Лютесценс 70}$) до 544,1 $\text{г}/\text{м}^2$ ($\text{♀Cara} \times \text{♂Скэнт 3}$) и на опытном участке «Waldhof» от 612,5 ($\text{♀Cara} \times \text{♂Скэнт 3}$) до 817,6 $\text{г}/\text{м}^2$ ($\text{♀Cara} \times \text{♂Лютесценс 70}$). При сравнении полученных данных с урожайностью лучшего районированного в каждом пункте сорта выявлено, что превышение гибридной комбинации $\text{♀Cara} \times \text{♂Скэнт 3}$ составило в Тюменской области 62,2%, в Баден-Вюртемберге – 44,1%. В Нижней Саксонии максимальной потенциальной урожайностью (1038,0 $\text{г}/\text{м}^2$) характеризовался районированный сорт Granus, лучшая гибридная комбинация $\text{♀Cara} \times \text{♂Лютесценс 70}$ уступала на 21,2%.

Биологическая устойчивость гибридов яровой пшеницы. Информативным критерием адаптационных свойств генотипов в различных экологических условиях является выживаемость растений. В 2013 и 2014 гг. выделены гибридные комбинации, превосходящие по данному признаку лучшие районированные сорта на биостанции «Озеро Кучак» – $\text{♀Cara} \times \text{♂Скэнт 1}$ (102,3%; 119,2%), $\text{♀Hybrid} \times \text{♂Лютесценс 70}$ (106,9%; 109,1%), $\text{♀Cara} \times \text{♂Скэнт 3}$ (108,5%; 112,6%). В Германии в 2013 г. на опытной станции «Waldhof» по сравнению с лучшими стандартными сортами хорошие результаты показали $\text{♀Cara} \times \text{♂Лютесценс 70}$ (94,6%) и $\text{♀Hybrid} \times \text{♂Лютесценс 70}$ (96,9%), на экспериментальном участке Вальдорфской школы в 2014 г. – $\text{♀Cara} \times \text{♂Скэнт 1}$.

5. Использование химического мутагенеза в расширении границ отбора ценных генотипов мягкой яровой пшеницы

Изучение влияния химического препарата фосфемида на основные показатели роста, развития и продуктивности мягкой яровой пшеницы. Применение химического мутагенеза является одним из способов получения большого разнообразия новых признаков и свойств у мутационного материала (Рапопорт, 1993; Боме, 1996; Поползухина, 2003; Кротова, 2009; Эйгес, 2011). Изучение чувствительности сортов (Cara; Скэнт 3) и гибрида, полученного от их скрещивания к двум концентрациям (0,002 и 0,01%) фосфемида проводили по изменчивости популяционных (энергия прорастания, всхожесть семян, выживаемость растений) и индивидуальных (длина проростков, высота растений, продуктивность) признаков в M_1 . По морфометрическим параметрам проростков и полевой всхожести семян выявлено максимальное ингибирующее действие химического препарата, наибольший стимулирующий эффект отмечен по показателю выживаемости растений. Изученные образцы проявляли различную чувствительность к воздействию химического препарата, что может указывать на генотипические особенности исследуемого материала и необходимость тщательного изучения и подбора концентрации мутагенного вещества – фосфемида. Отмечено, что созданная гибридная комбинация $\text{♀Cara} \times \text{♂Скэнт 3}$ обладала меньшей чувствительностью к мутагену по сравнению с родительскими

формами и даже превосходила их по показателям энергии прорастания семян (+6,0%), выживаемости растений (+14%) и семенной продуктивности (+16%).

Устойчивость растений M_1 и M_2 к фитопатогенным грибам. В реакции гибрида и родительских сортов на мутагенное воздействие по восприимчивости к болезням проявилась ярко выраженная специфичность. Индекс развития (R) пятнистостей в 2013 г на листьях гибридной комбинации ♀Сара x ♂Скэнт 3 в вариантах с фосфемидом (концентрация 0,002 и 0,01%) был на 5% ниже по сравнению с контролем. Не обнаружено положительного влияния низкой концентрации (0,002%) мутагена на устойчивость растений гибридов и родителей к мучнистой росе и бурой листовой ржавчине. Неоднозначный эффект получен в варианте с концентрацией 0,01%, при которой устойчивость сортов Сара и Скэнт 3 к мучнистой росе снижалась, в то время как у гибридной формы по сравнению с контролем она была выше. Поражаемость бурой листовой ржавчиной возрастила у сорта Сара и гибрида. Полученные данные говорят о различиях генетического материала и об эффективности концентраций химического мутагена.

Частота и разнообразие фенотипических изменений в M_2 . Гибридная форма по количеству растений, уклоняющихся от исходных форм по фенотипическим признакам, превосходила родительские сорта как в контроле (на 50%), так и в вариантах с мутагеном (на 53%). Наибольшая частота появления измененных форм при воздействии 0,01% раствором фосфемида выявлена у гибрида ♀Сара x ♂Скэнт 3 (30,33%), при меньшей концентрации (0,002%) – у сорта Сара (15,31%).

Спектр фенотипических изменений в вариантах с применением химического мутагена оказался достаточно широким. В M_2 выделены следующие селекционно-значимые типы: высокорослые, низкорослые, карлики, крупноколосые, растения озимого типа, позднеспелые, раннеспелые, растения с широким флаговым листом, с измененной формой и окраской колоса (спельтоидный, пирамидальный, желтый), с прочной соломиной. Настоящий материал можно рассматривать как перспективный для пополнения коллекции дивергентных линий с последующим выделением наиболее перспективных в практическом отношении.

Заключение

Возрастающая опасность генетической эрозии культурных растений, связанная с ростом антропогенной нагрузки и климатических катаклизмов, требует особых подходов к сохранению и увеличению их биологического разнообразия (Дзюбенко Н.И., 2012; Tome N.A. et al., 2014). В природно-климатических условиях сельскохозяйственной зоны Тюменской области биологическое разнообразие зависит от комплекса факторов, в том числе и стрессовых, под влиянием которых происходит рост и развитие растений. Следовательно, одной из важнейших задач остается поиск путей, обеспечивающих расширение генетического полиморфизма растений. По мнению Н.И. Вавилова (1987) проблема исходного материала имеет особое значение, среди разделов селекции занимает главное место и в огромной степени определяет ее успех.

В ходе наших исследований показана эффективность внутривидовой гибридизации и химического мутагенеза для получения форм мягкой яровой пшеницы с улучшенными признаками. Большини резервами генотипической изменчивости обладает мировая коллекция Всероссийского научно-

исследовательского института растениеводства им. Н.И. Вавилова, что подтверждено использованием нами коллекционных образцов в качестве компонентов скрещиваний и исходного материала при обработке семян химическим мутагеном.

При изучении потенциальных способностей первого и второго поколений селекционного материала, возможностей реализации генотипа в меняющихся условиях среды использованы информативные показатели: эффект гетерозиса, степень доминирования, коэффициент наследуемости, комбинационная способность (ОКС и СКС), частота и степень трансгрессии (для гибридных комбинаций F_1 , F_2), чувствительность к воздействию мутагена и мутабильность (для мутантных вариантов M_1 , M_2).

При организации расширенного экологического испытания в географических пунктах двух стран (Россия и Германия) исходили из того, что каждый генотип обладает определенной градацией приспособленности к факторам окружающей среды (температурный режим, содержание гумуса и химических элементов в почве, влагообеспеченность). Изученные гибридные формы в контрастных почвенно-климатических условиях характеризовались избирательным отношением к меняющимся условиям среды, что нашло отражение в показателях фенотипической изменчивости, стабильности и пластиичности. По результатам оценки селекционного материала по основным популяционным и индивидуальным признакам выделены гибридные формы, обладающие широкой адаптивной способностью.

Полученные гибридные и мутантные формы представляют несомненный интерес для адаптивной селекции как исходный материал для селекционно-генетических программ. Теоретические результаты исследований, могут быть использованы при моделировании современных сортов северных агроценозов.

Выводы

1. Для расширения генетического разнообразия северных агроценозов мягкой яровой пшеницы целесообразно использовать сорта Лютесценс 70 и Cara, характеризующиеся высокими эффектами общей комбинационной способности (ОКС), при создании синтетических популяций. В качестве компонентов индивидуальных скрещиваний рекомендуются сорта Скэнт 1 (по количеству зерен в колосе) и Лютесценс 70 (по массе зерна с колоса), обладающие высокими вариансами констант специфической комбинационной способности (СКС).

2. Отмечено снижение эффекта гетерозиса во втором гибридном поколении (F_2) по признакам озерненности и массы зерна в колосе по сравнению с первым поколением (F_1). Наследование признаков у большинства гибридов проходило по типу сверхдоминирования. Выделено 5 гибридных комбинаций с высокой степенью трансгрессии по продуктивности колоса в F_2 .

3. При создании и оценке новых форм яровой пшеницы, устойчивых к гидротермическим стрессам, информативными критериями являются полевая всхожесть семян (18,50-100%) и биологическая устойчивость растений (10,50-100%), как признаки, характеризующие ряд взаимосвязанных процессов онтогенеза и отражающие реакцию растений на факторы окружающей среды.

4. Изучение экологической изменчивости высоты растений яровой пшеницы показало, что на экспериментальном участке биостанции «Озеро Кучак» (Россия)

гибридные формы (F_4 - F_5) формировали более низкие растения, чем в географических пунктах Германии. В общей фенотипической изменчивости признака существенная доля обусловлена различием пунктов испытаний (58,70%), наиболее стабильным проявлением признака в меняющихся условиях окружающей среды характеризовались гибридные комбинации: ♀Hybrid x ♂Лютесценс 70 и ♀Cara x ♂Скэнт 3.

5. В пунктах России и Германии выявлена относительно большая доля изменчивости количества зёрен ($CV=11\text{-}25\%$), и массы зерна в колосе ($CV>25\%$), обусловленная условиями выращивания пшеницы. По показателям стабильности и пластичности количества зерен в колосе выделены гибриды: высокоинтенсивного типа (♀Cara x ♂Скэнт 1; Hybrid x ♂Лютесценс 70); с низкой стабильностью и хорошей отзывчивостью на условия среды (♀Cara x ♂Лютесценс 70; ♀Cara x ♂Скэнт 3); с низкой экологической пластичностью и стабильностью (♀Cara x ♂Скэнт 1).

6. Распространение и развитие фитопатогенных грибов в эколого-географических пунктах было неодинаковым: поражение растений мучнистой росой отмечено в трех пунктах ($P=3\text{-}100\%$); пятнистостями листьев – на биостанции «Озеро Кучак» ($P=3\text{-}100\%$) и участке Вальдорфской школы ($P=0\text{-}15\%$), бурой листовой ржавчиной – на биостанции «Озеро Кучак» ($P=10\text{-}100\%$). Анализ данных по реакции на воздействие фитопатогенных грибов показал, что гибридные формы имели значительную дифференциацию по устойчивости к болезням. Комплексную устойчивость к болезням проявили гибридные комбинации: ♀Cara x ♂Скэнт 1; ♀Cara x ♂Лютесценс 70.

7. Лучшая гибридная форма (♀Cara x ♂Скэнт 3) по биологической урожайности превосходила стандартные сорта в Тюменской области на 62,2%, Баден-Вюртемберге – на 44,1%, в Нижней Саксонии преимущества не выявлены.

8. При применении на семенах яровой пшеницы химического мутагена (фосфемида) установлен жесткий ингибирующий эффект на всхожесть семян и морфометрические параметры проростков, который зависит от дозы мутагена. Стимуляция ростовых процессов обнаружена по показателям выживаемости растений в период вегетации. Гибридная комбинация ♀Cara x ♂Скэнт 3 по сравнению с родительскими формами M_1 характеризовалась меньшей чувствительностью к мутагену, большей частотой (30,33%) и разнообразием измененных форм в M_2 (количество типов изменений – 8).

Практические рекомендации

1. В селекции мягкой яровой пшеницы для условий Северного Зауралья в качестве исходного материала по признакам продуктивности колоса (количество и масса зерна) рекомендуется использовать сорта Скэнт 1, Лютесценс 70, гибридные комбинации высокоинтенсивного типа ♀Cara x ♂Скэнт 1 и ♀Hybrid x ♂Лютесценс 70.

2. В качестве доноров селекционно-ценных признаков предлагаются гибридные формы:

- ♀Cara x ♂Скэнт 1, носитель комплексной устойчивости к основным листовым фитопатогенам (мучнистая роса, бурая листовая ржавчина, пятнистости);

– ♀Лютесценс 70 x ♂Скэнт 1, высокими показателями полевой всхожести семян и биологической устойчивости растений.

3. Для объективной оценки селекционного материала по экологической адаптивности к факторам окружающей среды и стабильности проявления ценных признаков рекомендуется испытание в пунктах, находящихся в регионах географически удаленных друг от друга, и резко различающихся по почвенно-климатическим условиям.

4. В целях расширения разнообразия исходного материала и обогащения генофонда *Triticum aestivum* L. эффективно использование рекомбинационной и мутационной изменчивости, индуцированной химическим мутагеном фосфемидом (концентрация 0,01%).

СПИСОК ОСНОВНЫХ РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Работы, опубликованные в изданиях, рекомендованных ВАК РФ

1. **Рипбергер Е.И.** Внутривидовое разнообразие гибридов *Triticum aestivum* L. по устойчивости к фитопатогенным грибам / **Е.И. Рипбергер**, Н.А. Боме, А.Я. Боме // Плодоводство и ягодоводство России. – 2012. – Т. XXXIV. – Ч. 2. – С. 175-182.

2. **Рипбергер Е.И.** Использование химического мутагенеза в расширении границ отбора ценных генотипов мягкой яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) / **Е.И. Рипбергер**, Н.А. Боме // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 9. – С. 90-95.

3. **Рипбергер Е.И.** Изучение полевой всхожести семян гибридов мягкой яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) в различных эколого-географических условиях / **Е.И. Рипбергер**, Н.А. Боме, Д. Траутц // В мире научных открытий. – 2014. – № 8(56). – С. 148-168.

4. Боме Н.А. Изменчивость признаков продуктивности колоса гибридных форм *Triticum aestivum* L., как способ адаптации в различных эколого-географических условиях / Н.А. Боме, **Е.И. Рипбергер**, Д. Траутц // Вестник Тюменского государственного университета. – 2015. – Т. 1. – №1. – С. 73-83.

Работы, опубликованные в зарубежных академических изданиях

5. Bome N.A. A study of ecological and biological potential and formation of gene pool of cultural plant in institute of biology of Tyumen state university / N.A. Bome, A.Ya. Bome, **E.I. Ripberger**, S.V. Arsentyev, L.I. Weisefeld // Ecological Consequences of Increasing Croup Productivity. – Apple Academic Press-Francis&Taylor Group-Canada, USA, 2014. – P. 57-68.

6. **Ripberger E.I.** The susceptibility of environmental factors on seed germination characteristics and biological resistance of plants hybrid *Triticum aestivum* L. / **E.I. Ripberger**, N.A. Bome, Ya.A. Bome // Ecological Consequences of Increasing Croup Productivity. – Apple Academic Press-Francis&Taylor Group-Canada, USA, 2014. – P. 79-87.

Работы, опубликованные в сборниках научных конференций и других изданиях

7. **Рипбергер (Наумова) Е.И.** Использование коллекционного фонда для получения гибридов (*Triticum aestivum* L.) при различных скрещиваниях / **Е.И.**

Наумова, Н.А. Боме, А.Я. Боме // Успехи современного естествознания. – 2010. – № 7. – С. 25-26.

8. **Рипбергер (Наумова) Е.И.** Создание гибридов мягкой яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) методом диаллельных скрещиваний и технология их комплексной оценки / **Е.И. Наумова**, Н.А. Боме // Лучшие выпускные квалификационные работы 2011 год: сборник статей на основе лучших выпускных квалификационных работ. – Тюмень: Изд-во Тюменского государственного университета, 2011. – Ч. 1. – С. 143-158.

9. **Рипбергер Е.И.** Восприимчивость гибридных и родительских форм (*Triticum aestivum* L.) к фитопатогенным грибам в зависимости от метеорологических факторов / **Е.И. Рипбергер**, Н.А. Боме // Окружающая среда и менеджмент природных ресурсов: тезисы докладов 2 Международной конференции. – Тюмень: Изд-во Тюменского государственного университета, 2011. – С. 49-51.

10. **Рипбергер Е.И.** Воздействие экологических факторов на прорастание семян и биологическую устойчивость растений гибридов *Triticum aestivum* L. / **Е.И. Рипбергер**, Н.А. Боме // Генофонд и селекция растений: доклады и сообщения I Международной научно-практической конференции. – Новосибирск: СибНИИРС Россельхозакадемии, 2013. – Т. 1. – С. 379-386.

11. **Рипбергер Е.И.** Особенности развития основных грибных болезней в различные вегетационные периоды на растениях исходных и гибридных форм мягкой яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) / **Е.И. Рипбергер**, Н.А. Боме // Биотехнология. Взгляд в будущее: материалы III Международной научной Интернет-конференции. – Казань: ИП Синяев Д.Н., 2014. – Т. 2. – С. 61-71.

12. **Рипбергер Е.И.** Изучение комбинационной способности мягкой яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) в системе диаллельных скрещиваний / **Е.И. Рипбергер**, Н.А. Боме // Сборник научных трудов SWorld. – 2014. – Т. 29. Выпуск 3(36). – С. 51-58.

13. Боме Н.А. Чувствительность озимых и яровых форм *Triticum aestivum* L. к воздействию фосфемида / Н.А. Боме, Л.И. Вайсфельд, **Е.И. Рипбергер**, С.В. Арсентьев // Биотехнология: состояние и перспективы развития: VIII Московский международный конгресс. – М.: ЗАО «Экспо-биохим-технологии», РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2015. – Ч. 2. – С. 82-83.