

На правах рукописи



Ковтунов Владимир Викторович

**СЕЛЕКЦИОННО-ГЕНЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПОВЫШЕНИЯ
УРОЖАЙНОСТИ И УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА ЗЕРНА СОРГО
ЗЕРНОВОГО**

Специальность: 4.1.2. Селекция, семеноводство и биотехнология растений

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени

доктора сельскохозяйственных наук

Москва – 2024

Диссертационная работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Аграрный научный центр «Донской»

Научный консультант: **Костылев Павел Иванович**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства риса Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Аграрный научный центр «Донской»

Официальные оппоненты: **Гончаров Сергей Владимирович**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры селекции, семеноводства и биотехнологии ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I»

Шилов Илья Александрович, доктор биологических наук, заведующий лабораторией анализа геномов Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной биотехнологии»

Хатефов Эдуард Балилович, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник отдела генетических ресурсов крупяных культур Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова»

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр»

Защита состоится «17» апреля 2024 г. в 10.00 часов на заседании диссертационного совета 24.1.248.01, созданного на базе ФГБНУ «Федеральный научный селекционно-технологический центр садоводства и питомниководства» по адресу: 115598, г. Москва, ул. Загорьевская, д.4, тел.: 8(495)329-53-88

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБНУ «Федеральный научный селекционно-технологический центр садоводства и питомниководства», на официальном сайте <https://vstisp.org> и на сайте ВАК при Минобрнауки РФ <https://vak.minobrnauki.gov.ru>

Автореферат разослан «___» _____ 2024 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат биологических наук

Келина Анна Викторовна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследований. Сорго одна из важнейших сельскохозяйственных культур, которая имеет широкий ареал распространения в мировом земледелии. Оно отличается высокой засухоустойчивостью и жаростойкостью.

Усиление аридности климата, в настоящее время, является одним из наиболее значимых факторов, без учета которого нельзя эффективно вести сельскохозяйственное производство. Поэтому большое внимание необходимо уделять подбору засухоустойчивых культур. В южных регионах Российской Федерации, где всё чаще наблюдается проявление засухи, большое значение в укреплении кормовой и сырьевой базы может обеспечить выращивание культуры сорго. При правильном выборе сортов и гибридов сорго зерновое способно формировать высокие и стабильные по годам урожаи зерна с высоким качеством.

Несмотря на все достоинства культуры, она имеет недостаточное распространение в нашей стране. Для успешного внедрения и расширения посевной площади необходимо создание раннеспелых, высокоурожайных сортов и гибридов, обладающих высоким качеством зерна и приспособленных к почвенно-климатическим условиям зоны выращивания.

Достижение данной цели возможно за счёт выделения и привлечения в гибридизацию новых источников основных хозяйственно-ценных признаков и свойств, всесторонней оценки селекционных линий и гетерозисных гибридов, создание которых опирается на научно-обоснованные принципы подбора родительских пар и знание закономерностей наследования наиболее важных признаков. Все эти вопросы определили актуальность проведённых исследований и отражены в диссертационной работе.

Степень разработанности темы. Научно-исследовательская работа по селекции сорго в России проводится учёными ФГБНУ «АНЦ «Донской», ФГБНУ РосНИИСК «Россорго», ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ», Поволжский НИИСС – филиал СамНЦ РАН и другими НИУ. На 2022 г. в Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию, включены 140 сортов и гибридов отечественных и иностранных оригинаторов.

Постоянный рост сельскохозяйственного производства требует систематической смены сортов и гибридов, улучшения их продуктивности и качества, сокращения сроков их выведения. По мнению П.А. Мангуш и О.Д. Шаровой (1990), Ф.Х. Абдуллаева (2003), для того чтобы получить сорта и гибриды, превосходящие прежние по урожайности и качеству, селекционеры должны располагать эффективными генетическими методами и программами, максимально снижающими элемент случайности в селекционной работе.

Цель и задачи исследований. Цель исследований – выделить новый исходный материал сорго зернового, установить закономерности наследования

хозяйственно-ценных признаков и свойств, на основе которых создать сорта и гибриды с высокой урожайностью и качеством зерна, адаптированные к почвенно-климатическим условиям юга России.

Для достижения данной цели были поставлены следующие задачи:

1. Изучить генофонд сорго зернового различного эколого-географического происхождения и выделить лучшие образцы для дальнейшего использования в селекционном процессе.
2. Определить характер корреляционных связей между основными хозяйственно-ценными признаками и свойствами.
3. С помощью ПЦР-анализа оценить образцы сорго зернового на наличие генов восстановителей фертильности.
4. Установить закономерности наследования основных количественных признаков и свойств сорго зернового.
5. Создать новые сорта и гибриды сорго зернового с высокой урожайностью и качеством зерна.
6. Оценить устойчивость сортов и гибридов сорго зернового к пониженным положительным температурам в период прорастания.
7. Выявить наиболее подходящие сорта сорго для выпечки хлеба и производства крахмала.
8. Дать экономическую и биоэнергетическую оценку новых сортов и гибрида сорго зернового.

Научная новизна работы. Впервые в условиях Ростовской области проведено всестороннее изучение более 220 коллекционных образцов сорго зернового различного эколого-географического происхождения и выделены источники основных хозяйственно-ценных признаков и свойств.

Осуществлён гибридологический анализ количественных признаков и свойств, влияющих на урожайность и качество зерна. Установлены закономерности их наследования. Определено количество аллельных различий генов, которые контролируют признаки и свойства, прямо или косвенно влияющие на урожайность и качество зерна. Отмечено, что по длине метёлки, массе 1 000 зёрен, содержанию крахмала, лизина в белке различия между родительскими формами составляют 1-3 гена. По содержанию сырого белка различия достигают 4 генов.

Проведена оценка генетически разнообразного материала с помощью ДНК-маркеров Xtxp18, Xtxp 297, Xnhsbm 1084, SB 2386, тесно сцепленных с генами восстановителями фертильности (Rf). Выделено 35 образцов с геном Rf1 в доминантном состоянии, 11 образцов – с функциональным аллелем гена Rf2, а также 56 и 186 образцов носителей генов Rf5 и Rf6 соответственно.

Созданы 4 новых сорта сорго зернового и один гибрид с высокой урожайностью и качеством зерна.

Теоретическая и практическая значимость работы. Проведённые исследования позволят повысить результативность селекционной работы по созданию сортов и гибридов сорго зернового с высокой урожайностью и качеством зерна.

Выделены образцы, обладающие различными ценными признаками и свойствами, которые рекомендованы к использованию в селекционном процессе по сорго зерновому.

Установленные закономерности наследования и количество главных генов, контролирующих основные хозяйственно-ценные признаки и свойства, по которым различаются исходные формы, позволяют планировать селекционную программу, а именно минимальный размер необходимой для анализа популяции F_2 и направление отбора при создании новых сортов сорго.

Выявлены образцы, имеющие в своём генотипе гены Rf1, Rf2, Rf5, Rf6, доминантные аллели которых контролируют восстановление фертильности ЦМС типа А1. Использование ДНК-маркеров в подборе отцовских форм позволит ускорить селекционную работу по созданию гетерозисных гибридов.

В результате селекционной работы созданы новые высокоурожайные сорта и гибриды сорго зернового. В Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию в РФ, внесены сорта сорго зернового Зерноградское 88, Атаман, Есаул и гибрид Дюйм. Передан на Государственное сортоиспытание сорт сорго зернового Сотник. Посевная площадь в 2021 г. созданных с участием соискателем сортов составила 27%, а в 2022 г. – 14% от занимаемых площадей под культурой зерновое сорго в Ростовской области. Данные площади расположены в таких сельскохозяйственных предприятиях как КФХ Зубайраев С.А., КФХ Лопата С.С., КФХ Лащёнов В.Е., КФХ Пономаренко Е.П. и других. Кроме того, семена отмеченных сортов пользуются спросом в сельскохозяйственном производстве других регионов РФ и высеваются в СХА «Птицефабрика Кумская» (Ставропольский край), КФХ Адоевцева Е.А. (Краснодарский край), ООО «Узень» (Саратовская область), ООО «Инвид-Агро» (Волгоградская область), ООО «Имени Куйбышева» (Волгоградская область), КФХ Голов Л.И. (Воронежская область).

Методология и методы исследований. Методология исследований базируется на системном подходе в изучении возможности повышения урожайности и улучшении качества зерна сорго зернового. В представленной работе проанализирован опыт отечественных и иностранных авторов по теме исследований. Для получения экспериментальных данных применялись полевые и лабораторные методы исследований, с последующей статистической и математической обработкой.

Степень достоверности и апробация работы. Представленная работа проводилась на базе Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Аграрный научный центр «Донской» в рамках государственного задания научно-исследовательских работ: 2008-2010 гг. – № 04.04.01.01 и № 04.05.04.04; 2011-2013 гг. – № 04.03.02.01 и № 04.05.02.11.; 2014-2017 гг. – № 0706-2014-0003 и №0706-2014-0025; 2018 г. – №0706-2018-0004 и № 0706-2018-0012; 2019-2021 гг. – № 0706-2019-0001; 2022 г. – № 0505-2022-0003. Исследования выполнены с использованием соответствующих ГОСТов и методик, с последующей статистической и математической обработкой значительного объёма полученных экспериментальных данных. Методической комиссией ФГБНУ «АНЦ «Донской» ежегодно осуществлялся контроль за соблюдением

методики закладки и проведения опытов. Применены современные методы исследований, а также проведён сравнительный анализ полученных результатов с исследованиями других отечественных и иностранных авторов. На основании этого, сформулированные научные положения и сделанные выводы, приведённые в диссертационной работе, имеют высокую степень обоснованности.

Основные положения по теме диссертации докладывались на Ученых советах ФГБНУ «АНЦ «Донской» (2009-2022 гг.); Международной научно-производственной конференции «Потенциал сорго – сельскому хозяйству России (современный опыт)» (г. Оренбург, ФГБОУ Оренбургский ГАУ, 2013 г.); Конференции молодых учёных «Первые шаги в науку» (г. Зерноград, ФГБНУ ВНИИЗК, 2014 г.); Всероссийской научной конференции «Научное обеспечение АПК Юга России» (г. Зерноград, АЧИИ ДонГАУ, 2015-2017 гг.); Международном саммите молодых учёных «Современные решения в развитии сельскохозяйственной науки и производства» (г. Краснодар, ФГБНУ ВНИИ риса, 2016 г.); II Всероссийской научной конференции с международным участием «Современное состояние, проблемы и перспективы развития аграрной науки» (г. Ялта, ФГБНУ НИИСХ Крыма, 2017 г.); I и II Международной конференции молодых учёных «Наука и молодёжь: фундаментальные и прикладные проблемы в области селекции и генетики сельскохозяйственных культур» (г. Зерноград, ФГБНУ «АНЦ «Донской», 2017 г., 2019 г.); II и III Всероссийской научно-практической интернет-конференции молодых учёных и специалистов с международным участием «Экология, ресурсосбережение и адаптивная селекция» (г. Саратов, ФГБНУ «НИИСХ Юго-Востока, 2018 г., 2019 г.); Международной научно-практической конференции «Ресурсосбережение и адаптивность в технологиях возделывания с.-х. культур и переработки продукции растениеводства» (п. Персиановский, ФГБОУ ВО «ДонГАУ», 2018-2020 гг.); Международной научно-практической конференции «Инновационные технологии производства и переработки сельскохозяйственной продукции» (г. Зерноград, Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО ДонГАУ, 2018-2019 гг.); II Европейском конгрессе по сорго (г. Милан, Италия, 2018 г.); Международной конференции «Инновационные разработки молодых учёных – развитию агропромышленного комплекса» (г. Ставрополь, ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ», 2018-2020 гг.); семинаре «ПроКрахмал-2019» (г. Москва, Ассоциация российских производителей крахмало-паточной продукции «Роскрахмалпаточка», 2019 г.); Международной научно-практической конференции с элементами школы молодых учёных «Научные приоритеты адаптивной интенсификации сельскохозяйственного производства» (г. Краснодар, ФГБНУ «ВНИИ риса», 2019 г.); VIII Научно-практической конференции с международным участием «Генетика – фундаментальная основа инноваций в медицине и селекции» (г. Ростов-на-Дону, ЮФУ, 2019 г.); Международной научно-практической конференции «Научно-техническое обеспечение АПК Юга России» (г. Зерноград, Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО ДонГАУ, 2020 г.); Международной научно-практической конференции «Современные наукоёмкие технологии – основа модернизации агропромышленного комплекса» (п. Персиановский, ФГБОУ ВО «ДонГАУ», 2021 г.); XIV Международной научно-

практической конференции «Состояние и перспективы агропромышленного комплекса «Интерагромаш 2021» (г. Ростов-на-Дону, ФГБОУ ВО «ДГТУ», 2021 г.); Всероссийской научно-практической конференции «Инновационные технологии производства и переработки сельскохозяйственной продукции» (г. Зерноград, Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО ДонГАУ, 2021 г.); Всероссийской научно-практической конференции «Научно-техническое обеспечение АПК Юга России» (г. Зерноград, Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО ДонГАУ, 2022 г.).

Представленный соискателем, сорт сорго зернового Зерноградское 88, в рамках регионального конкурса Министерства сельского хозяйства и продовольствия Ростовской области (г. Ростов-на-Дону, 2015 г.) отмечен как «Лучшая инновационная разработка в области растениеводства», а на Молодёжном инновационном конвенте Ростовской области (г. Ростов-на-Дону, 2017 г.) – дипломом за I место в номинации «Лучший инновационный продукт».

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Характеристика исходного материала сорго зернового и выявленных корреляционных связей.
2. Гетерозисные гибриды сорго зернового на стерильной основе.
3. Результаты ПЦР-анализа по выявлению генов восстановителей фертильности.
4. Закономерности наследования основных хозяйственно-ценных признаков и свойств.
5. Основные достоинства новых сортов и гибрида сорго зернового.
6. Сортвые особенности сорго зернового при использовании в выпечке хлеба и производстве крахмала.
7. Экономическая и биоэнергетическая эффективность использования новых сортов и гибрида сорго зернового.

Публикации. По материалам исследований опубликовано 70 научных работ, в том числе 29 – в изданиях, рекомендованных ВАК РФ и 3 – Scopus, научно-методическая рекомендация и каталог. Издана монография. Соискателем получено 3 авторских свидетельства на сорта сорго зернового Зерноградское 88, Атаман и гибрид Дюйм.

Структура и объём работы. Диссертация включает введение, 9 глав, заключение, предложения селекционной практике и производству, список использованной литературы, приложения. Работа изложена на 412 страницах машинописного текста, содержит 130 рисунков, 62 таблицы, 21 приложение и 469 источников, в том числе 263 – иностранных авторов.

Личный вклад соискателя. Теоретическое обоснование, разработка плана и подбор методик для проведения исследований, выполнение экспериментов и опытов, обобщение и анализ полученных результатов, апробация результатов исследований, подготовка и публикация результатов исследований в изданиях, включая рекомендованные перечнем ВАК РФ и Scopus, проведены автором лично, а также при непосредственном участии и сотрудничестве с коллегами ФГБНУ «АНЦ «Донской».

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Введение. Обоснована актуальность научных исследований, поставлены цель и задачи, сформулированы теоретическая и практическая значимость работы, отмечены основные положения, выносимые на защиту, а также степень достоверности и апробация результатов исследований, структура и объём работы.

ГЛАВА 1 СОСТОЯНИЕ ИЗУЧЕННОСТИ ИССЛЕДУЕМЫХ ВОПРОСОВ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

В первой главе описывается народно-хозяйственное значение культуры, её ценность и распространение. Обобщена информация об истории происхождения сорго и классификации. Отражены сведения о количественных признаках, прямо или косвенно влияющих на урожайность и технологичность сортов и гибридов сорго зернового. Представлены результаты исследований отечественных и зарубежных учёных по биохимическим показателям качества зерна. Изложены теоретические основы гетерозиса, значение ЦМС в селекции сорго, а также принципы подбора пар для гибридизации.

ГЛАВА 2 УСЛОВИЯ, МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводили с 2008 по 2022 гг. в полевых условиях на опытных участках лаборатории селекции и семеноводства сорго зернового, а также в лабораторных условиях лаборатории биохимической оценки селекционного материала и качества зерна, лаборатории маркерной селекции и лаборатории физиологии растений Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Аграрный научный центр «Донской» (г. Зерноград, Ростовская область).

Почвенный покров опытного участка представлен обыкновенным (предкавказским) чернозёмом. По механическому составу почва глинистая и легкоглинистая с преобладанием лёссовидной (27,75%) фракции. Рельеф участка ровный. Почва опытного участка обладает нейтральной реакцией почвенного раствора (рН 7,0-7,1), содержанием гумуса в пахотном горизонте 3,28. По своим физико-химическим свойствам и уровню плодородия почва благоприятна для возделывания сорго зернового.

Климат континентальный. Среднегодовое количество осадков составляет 474-500 мм, а испарение за год – 825-912 мм. Гидротермический коэффициент варьирует от 0,9 до 0,3. Среднегодовое количество температур выше 10°C составляет 3304°C, а среднегодовая температура воздуха находится на уровне 8,9°C. Продолжительность безморозного периода варьирует от 160 до 200 дней, число суховейных дней – от 45 до 55.

Объектом исследований являлись коллекционные образцы сорго зернового, поступившие на изучение из ВИР и других НИУ РФ, новые сорта и гибриды собственной селекции, а также их родительские формы.

Полевые опыты закладывали в соответствии с Методикой государственной комиссии по сортоиспытанию сельскохозяйственных культур (1989), Методическими указаниями по изучению коллекционных образцов кукурузы, сорго и крупяных культур (1968).

Опытные делянки размещались в трёхпольном севообороте:

1. Черный пар;
2. Озимая пшеница;
3. Сорго.

Посев коллекционных образцов, сортов и гибридов сорго зернового проводили селекционной сеялкой СПЧ-6 (2008-2015 гг.) и Клён-4,2 (2016-2022 гг.) в первой-второй декаде мая (при температуре почвы 14-16°C) с нормой высева семян 280 тысяч штук/га на глубину 5-6 см и междурядьем 70 см.

В качестве стандарта в раннеспелой группе созревания с 2008 по 2015 гг. использовали сорт Хазине 28, а в среднеранней группе – Зерноградское 53. В период с 2016 г. сорт Хазине 28 был заменён на новый более продуктивный сорт Зерноградское 88. В опыте по изучению гибридов на стерильной основе в качестве стандарта высевали гибрид сорго зернового Дюйм, а также были включены родительские формы с целью определения различных типов наследования и проявления гетерозиса.

Изучение образцов и сортов сорго зернового осуществляли с учётом «Широкого унифицированного классификатора СЭВ и международного классификатора СЭВ возделываемых видов рода *Sorghum Moench*» (Якушевский и др., 1982).

Содержание сырого белка, крахмала, сырого жира, сырой золы и сырой клетчатки в зерне сорго определяли на инфракрасном анализаторе зерна SpectraStar 2200, содержание лизина – методом «связывания красителя ацилан оранж». Для установления процентного содержания танина использовали метод, основанный на реакции полифенолов с ванилином в присутствии HCl (Ермаков и др., 1987). Качество хлеба оценивали согласно Методике государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур по технологической оценке зерновых, крупяных и зернобобовых культур (1988). Изучение сортов сорго зернового по выходу крахмала и побочных продуктов проводилось по договору о научно-техническом сотрудничестве во ВНИИ крахмалопродуктов (в настоящее время ВНИИК – филиал ФГБНУ «ФИЦ картофеля имени А.Г. Лорха») в двукратной повторности в соответствии с требованиями международной организации по стандартизации ИСО, а также согласно методик, рекомендованных для крахмалопаточной отрасли.

Для выделения геномной ДНК использовали СТАВ-метод (Murray and Thompson, 1980). Гомогенизацию образцов осуществляли при помощи прибора Bertin Precellys 24, полимеразную цепную реакцию (ПЦР) – в приборе Bio-Rad T-100, а визуализацию продуктов реакции – Bio-Rad Molecular Imager GelDoc XR+. Анализ электрофорезных гелей выполняли в программе Bio-Rad ImageLab 6.0.1.

Холодостойкость сортов и гибридов сорго зернового определяли согласно методическим рекомендациям «Диагностика устойчивости растений к стрес-

совым воздействиям» (Дроздов и др., 1988). Классификацию изученных сортов и линий сорго зернового проводили по пяти группам устойчивости: I группа – высокая холодостойкость (81-100%), II группа – устойчивость выше средней (61-80%), III группа – среднеустойчивые (41-60%), IV – устойчивость ниже средней (21-40%), V группа – неустойчивые (0-20%) (Ионова, Алабушев, 2009).

Величину проявления гена, контролирующего признак, оценивали по значению коэффициента доминирования, учитывающего параметры родительских особей и гибрида F₁ (Мазер, Джинкс, 1985). Гетерозис рассчитывали по формулам Д.С. Омарова (1975).

Математическую обработку данных осуществляли согласно методам, изложенным в «Методике полевого опыта» (Доспехов, 2014) и методическим рекомендациям В.А. Дзюба (2007), оценку эффектов ОКС и дисперсий СКС – на основе «Методических рекомендаций по применению математических методов для анализа экспериментальных данных по изучению комбинационной способности» (Вольф и др., 1980). Для генетического анализа основных хозяйственно-ценных признаков сорго зернового у гибридов F₂ применяли программу поиска моделей расщепления Полиген А (Мережко, 2005).

ГЛАВА 3 РЕЗУЛЬТАТЫ ОЦЕНКИ ИСХОДНОГО МАТЕРИАЛА СОРГО ЗЕРНОВОГО ПО ОСНОВНЫМ ХОЗЯЙСТВЕННО-ЦЕННЫМ ПРИЗНАКАМ И СВОЙСТВАМ

3.1 Изучение морфологических признаков и биологических свойств сорго зернового

За период 2008-2010 гг. исследований коллекционный питомник сорго зернового ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской» включал 150 образцов. Для проведения эффективной гибридизации и селекционной работы в целом исходный материал непрерывно пополнялся и обновлялся. Изученная с 2016 по 2020 гг. коллекция сорго зернового состояла из 221 образца различного эколого-географического происхождения (17 стран мира).

В программе по селекции сорго зернового одним из направлений является создание раннеспелых сортов и гибридов, возделывание которых позволяет получать урожай зерна до наступления раннеосенних заморозков. В связи с этим, выделение исходного материала с коротким вегетационным периодом является актуальным.

Продолжительность периода вегетации «всходы – полная спелость» у образцов коллекции 2008-2010 гг. варьировала от 90 до 140 дней, а 2016- 2020 гг. – от 80 до 121 дней. В результате пополнения коллекционного питомника новыми образцами и отбором наиболее приспособленных к зоне проведения исследований, обладающих хозяйственно-ценными признаками и свойствами, отмечено снижение их количества в позднеспелой и среднепоздней группах созревания, а также увеличение в среднеспелой (до 24 шт.) и среднеранней (до 97 шт.). Значительная часть образцов (2008-2010 гг. – 81 шт., 2016-2020 гг. – 99 шт.) достигала полной спелости зерновки за период менее 100 дней и отне-

сена к раннеспелой группе созревания. Самый короткий период вегетации «всходы – полная спелость» (<90 дней) отмечен у образцов селекции ФГБНУ РосНИИСК «Россорго» (Перспективный 1, Огонёк, Старт, Азарт, Zenит, Кремное и другие), Поволжский НИИСС – филиал СамНЦ РАН (Славянка, Премьера, Рось), ФГБНУ «ФАНЦ Юго-Востока» (Белочка, Солнышко), ФГБНУ «ФНЦ Агроэкологии РАН» (Камышинское 75), а также у образцов мировой коллекции ВИР (Сандал – суданка зерновая; Пионер 88/Фетерита ранняя 141).

В результате проведённых исследований выявлена тесная положительная корреляция ($r=0,82\pm 0,04$) между вегетационным периодом и количеством листьев на растении. Кроме того, в условиях 2016-2020 гг. отмечена средняя положительная связь ($r=0,58\pm 0,06$) продолжительности вегетационного периода с урожайностью зерна. При увеличении периода «всходы – полная спелость» на 1 день урожайность зерна повышается на $8,96 \text{ г/м}^2$ (рисунок 1).

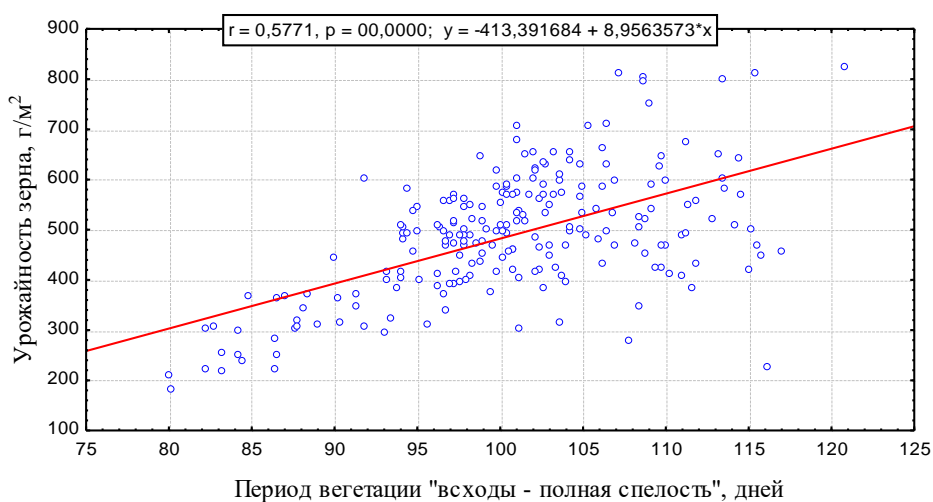


Рисунок 1 – Влияние продолжительности периода вегетации «всходы – полная спелость» на урожайность зерна, 2016-2020 гг.

Одним из наиболее важных признаков сорго зернового является высота растений. Коллекция 2008-2010 гг. состояла из образцов с высотой растений от 66 до 225 см, а 2016-2020 гг. – от 64 до 167 см. Обновление исходного материала произошло за счёт образцов с низкой и средней высотой растений. В итоге, в коллекционном питомнике 2016-2020 гг. наибольшую долю (72,0% или 159 шт.) занимали низкорослые образцы с высотой растений 64-120 см. Среднерослые (121-150 см) образцы составили 26,2% (58 шт.), а высокорослые (более 150 см) – 1,8% (4 шт.) коллекции.

При создании сортов и гибридов сорго зернового селекционеры должны отдавать предпочтения растениям с высотой 100-120 см. Сорта и гибриды, соответствующие данным параметрам, отличаются высокой технологичностью, что имеет наибольшую ценность при механизированной уборке. К таким образцам относится ряд сортов российских научно-исследовательских учреждений: Камышинское 31, Камышинское 64, Камышинское 75 (ФГБНУ «ФНЦ Агроэкологии РАН»); Рось (Поволжский НИИСС – филиал СамНЦ РАН); Ким

(ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ»); Солнышко (ФГБНУ «ФАНЦ Юго-Востока»); Аванс, Пищевое 35, Старт, Факел, Пищевое 614, Кремовое, Восторг, Азарт, Топаз (ФГБНУ РосНИИСК «Россорго»); Зерноградское 53, Лучистое, Хазине 28, Орловское (ФГБНУ «АНЦ «Донской»). Значительное количество образцов, соответствующих данным параметрам, поступило на изучение из мировой коллекции ВИР (Китайское 3, Китайское 6, Китайское 7, Геническое 9, Геническое 130, Геническое 11 улучшенное, Одесское 20ф, Майло карликовое 351, ТАМ 2694 В-В и др.).

Влияния высоты растений на урожайность зерна в исследованиях не наблюдалось ($r=0,20\pm 0,07$). Таким образом, селекционная работа, направленная на уменьшение высоты растений у новых сортов и гибридов до оптимальных значений не приведёт к снижению урожайности зерна.

Уровень технологичности сорта или гибрида у сорго зернового, наряду с высотой растения, определяется размером верхнего междоузлия (выдвинутость ножки метёлки), которое влияет на проведение качественной механизированной уборки. Сравнительный анализ исходного материала, изученного в 2008-2010 гг. и 2016-2020 гг., показал увеличение количества образцов с 39 шт. до 56 шт., обладающих средней выдвинутостью ножки метёлки. Кроме того, выделены образцы с сильной выдвинутостью ножки метёлки: Зерновое 1-14 (22 см), Пионер 88/Фетерита ранняя 141 (23 см), Сандал – суданка зерновая (24 см).

Основной целью в селекции сельскохозяйственных культур, в том числе и сорго, является создание сортов и гибридов, обладающих высокой урожайностью. Так как урожайность является комплексным признаком, в наших исследованиях особое внимание было уделено таким элементам продуктивности, как количество зёрен в метёлке и масса 1 000 зёрен.

По результатам исследований между количеством зёрен в метёлке и урожайностью зерна установлена тесная положительная связь ($r=0,78\pm 0,04$). На основании статистического анализа выявлена возможность увеличения урожайности зерна в среднем на 22 г/м^2 при дополнительном формировании 100 зёрен в метёлке (рисунок 2).

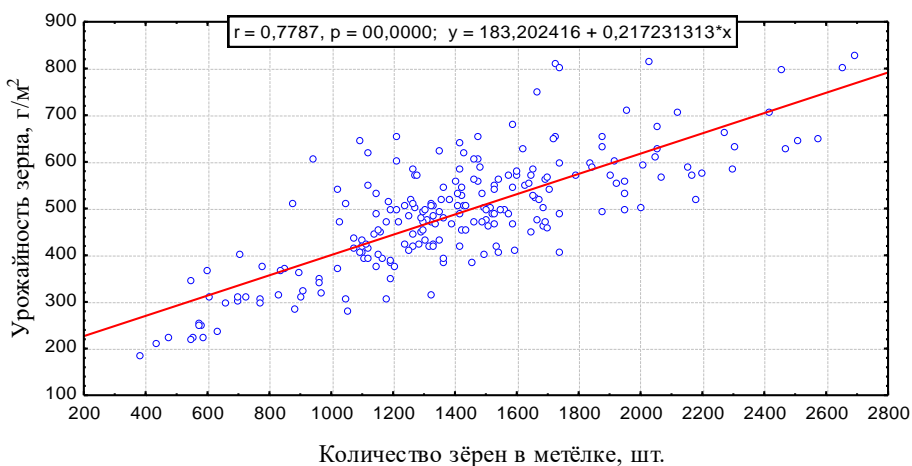


Рисунок 2 – Зависимость урожайности зерна от количества зёрен в метёлке, 2016-2020 гг.

Количество зёрен у образцов 2008-2010 гг. в среднем варьировало от 567 до 2 355 шт., а коэффициент вариации ($V=30,9\%$) свидетельствовал о значительной изменчивости признака. При этом основная доля (88,7% или 133 шт.) образцов характеризовалась содержанием зёрен в метёлке от 501 до 1 500 шт. В коллекции 2016-2020 гг. изученные образцы также существенно отличались (озернённость от 383 до 2 692 шт.; $V=25,2\%$) по данному признаку. Однако, отмечено увеличение числа образцов (с 65 шт. в 2008-2010 гг. до 106 шт. в 2016-2020 гг.) с озернёностью метёлки 1 001-1 500 шт. Значительное количество образцов (78 шт. или 35,3%) формировало 1 501-2 500 зёрен в метёлке. Выделено 4 образца с количеством зёрен в метёлке 2 511-2 692: КХ №8 (2 511 шт.), Китайское 8 (2 575 шт.), Китайское 7 (2 655 шт.), и В-10434 (2 692 шт.).

Одним из основных элементов продуктивности сорго зернового является масса 1 000 зёрен. Этот признак характеризует крупность и выполненность зерна. Во все годы исследований между этими признаками проявилась слабая положительная корреляция (2008-2010 гг.: $r=0,25\pm 0,08$; 2016-2020 гг.: $r=0,17\pm 0,07$).

В коллекции 2008-2010 гг. исследования масса 1 000 зёрен варьировала от 15,3 до 54,8 г. Научно-исследовательская работа в период с 2008 по 2020 гг., направленная на пополнение исходного материала и отбор наиболее ценных форм, привела к увеличению образцов в коллекции 2016-2020 гг., обладающих средней (21-30 г) массой 1 000 зёрен с 94 до 174 шт., а большой (31-40 г) – с 12 до 34 шт. К наиболее крупнозёрным относились образцы №61-13 (40,7 г), Spur Feterita (41,2 г), Сорго Абу-Себейн (41,2 г), Аванс (41,6 г), Redhull Feterita (42,4 г), Д. 1034/07 (42,8 г), Feterita (43,3 г), Джугара 185 (54,8 г).

Наибольшая урожайность зерна отмечена среди коллекционных образцов изученных в период 2016-2020 гг.: Китайское 6 (674 г/м²), 05-0051R (679 г/м²), Китайское 1 (706 г/м²), Китайское 9 (706 г/м²), Китайское 4 (710 г/м²), Китайское 5 (750 г/м²), F₁₆ BC1 Хегари 2259 x К-924 (795 г/м²), Китайское 7 (801 г/м²), 2477с В-В (802 г/м²), к-255 (811 г/м²), Pink Kaffir (813 г/м²), В-10434 (825 г/м²).

3.2 Изучение показателей качества зерна сорго

Количество белка в зерне имеет одно из определяющих значений при характеристике его кормовых и пищевых достоинств.

Основная доля (123 шт. или 82%) коллекционных образцов 2008-2010 гг. было представлено формами с высоким (13,1-15,5%) содержанием сырого белка. Очень высоким уровнем (более 15,5%) сырого белка характеризовались образцы разных групп спелости: Красноплодное 79, Sb-126/4, ЗР-66, ЛБК 28, Юпитер, М-60366, к-10773, Orana и другие. Коллекция 2016-2020 гг. преимущественно (201 шт. или 91%) состояла из образцов со средним (10,6-13,0%) содержанием сырого белка, а высокое значение отмечено только у 14 образцов. Наиболее высокое содержание отмечено у образцов Пионер 88/Фетерита ранняя 141 (14,2%), ЗСК 1912/16 (14,3%), Д.644/16 (14,5%) и ЗСК 1910/16 (14,6%).

Детальный анализ исходного материала по отдельным годам исследования показал близкие средние значения белка (от 14,2% в 2009 г. при ГТК=0,97 до 14,7% в 2010 г. при ГТК=0,65) данного признака в период с 2008 по 2010 гг., а коэффициент вариации ($V=8,3-9,4\%$) указывает на его незначительную изменчивость. Среднее значение содержания сырого белка в коллекции 2016-2020 гг. отличалось, в большей степени, по годам. Наименьшее накопление сырого белка (11,0%) у образцов данной коллекции наблюдалось в 2017 г. при гидротермическом коэффициенте 0,86, а наибольшее (12,9%) – в 2018 г. при ГТК 0,30 (рисунок 3). Таким образом, можно сделать вывод о накоплении более высокого количества белка в засушливые годы.

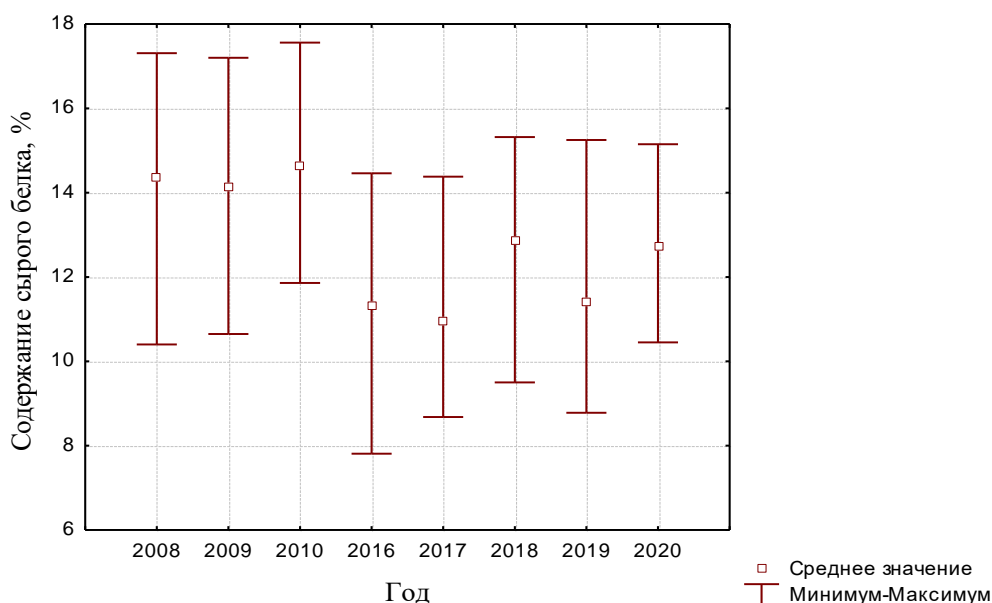


Рисунок 3 – Содержание сырого белка в зерне в зависимости от года исследования

Между содержанием сырого белка и урожайностью зерна выявлена слабая отрицательная связь ($r=-0,23\pm 0,07$).

Сорго характеризуется низким уровнем некоторых аминокислот, прежде всего, лизина. Следовательно, в селекционной работе, направленной на повышение качества зерна сорго, наряду с увеличением содержания белка, необходимо стремиться к улучшению его аминокислотного состава, и, особенно, к увеличению концентрации лизина в белке. Для этого важно знать его уровень и степень варьирования у имеющегося исходного материала.

В исследованиях, проведенных в 2008-2010 гг., содержание лизина в белке варьировало от 1,43 до 3,69%, а за период 2016-2020 гг. составило 2,54-3,69%. При этом, большая часть образцов коллекции 2008-2010 гг. (122 шт. или 81,3%) имела значение признака менее 3,00%. В связи со снижением количества сырого белка в коллекции 2016-2020 гг. и отмеченной тесной отрицательной корреляционной связи ($r=-0,79\pm 0,04$) между данными признаками, основная доля (83,7% или 185 шт.) образцов в этот период характеризовалась содержанием лизина в белке более 3,01%.

По мнению Б.Н. Малиновского и его соавторов (1992), необходимо создание сортов и гибридов сорго зернового с содержанием белка 13,0-14,0% и лизина на уровне 2,8-3,0%. Этим требованиям отвечают образцы: Рось, ЗСК 931/15, МСЛ-23-ф, Пионер 412/Миловское 6, Л-59, Белочка, Редлайн 66, Пионер 878 /Геническое бурое 129, О.О. Yellow Sooner Milo-2501.

Корреляционный анализ между основными биохимическими компонентами зерновки (содержание белка и крахмала) показал наличие средней ($r=-0,70\pm 0,05$) отрицательной связи (рисунок 4).

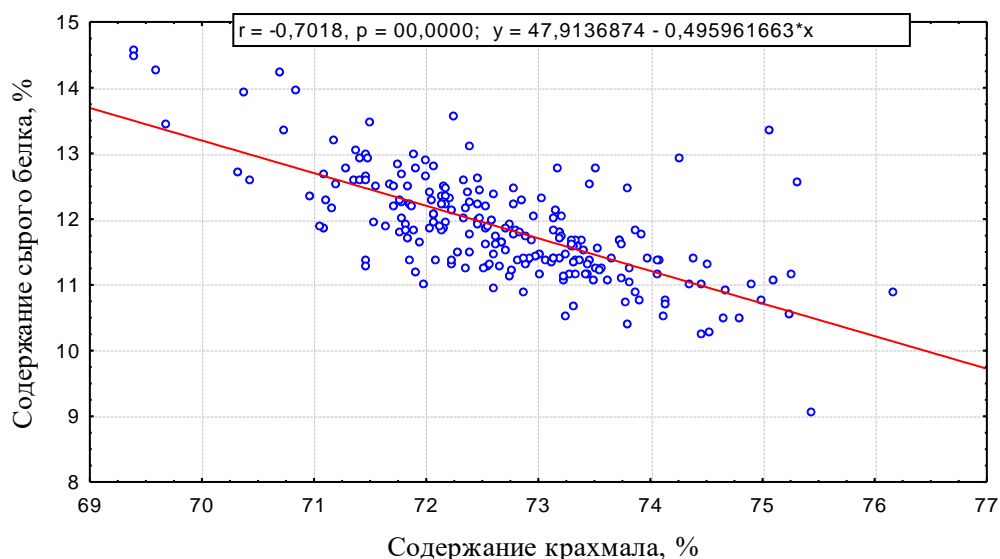


Рисунок 4 – Взаимосвязь содержания сырого белка и крахмала в зерне, 2016-2020 гг.

Варьирование содержания крахмала в зерне было незначительное ($V=1,6-2,0\%$). В коллекции 2008-2010 гг. существенная доля образцов (91,3% или 137 шт.) обладала средним содержанием крахмала, а высокое содержание отмечено только у 9 образцов (Лучистое (71,0%), С-678 (71,0%), к-2436 (71,1%), Zine 84 (71,2%), к-2736 (71,8%), Наст 76 (72,0%), ЗР 88 (72,1%), Снежок 55 (72,2%), *Sorghum vulgare* (72,4%)). В коллекции 2016-2020 гг. к классу с высоким содержанием крахмала отнесено 203 образца (91,9%). Кроме того, были выделены формы с очень высоким содержанием крахмала (более 75,0%): КУ-1 (75,1%), МСЛ-23-ф (75,1%), Геническое 9 (75,2%), R-116 (75,3%), line CPI 62230 IS84 (75,3%), 06-2031 (75,4%) и к-3025 (76,2%).

Максимальное содержание сырого жира отмечено у образцов Зерновое 1-14 (4,51%), Д.1216/16 (4,57%), Перспективный 1 (4,58%), КХ №11 (4,63%), Факел (4,63%), Л-73 (4,69%), ЗСК 1910/16 (4,73%), Sb-121/5 (4,84%), ЗСК 1904/16 (4,93%), 03-3003 Б (5,06%), 1281-28 (5,10%), j-108 (5,14%), Хазине 28 (5,19%), СПЗС-11 (5,32%). По содержанию клетчатки минимальными значениями характеризовались образцы: Джугара 185 (1,06%), *Sorghum Feterita* (1,16%), к-6844 (1,18%), Популяция 32 (1,19%), МСЛ-23-ф (1,95%), к-255 (1,96%), Лучистое (1,93%), Премьера (1,95%) и Великан (1,99%).

Содержание танина в зерне исходного материала 2008-2010 гг. варьировало от 0,04 до 4,53%, а в 2016-2020 гг. – от 0,12 до 6,07%. Наиболее низкие значения признака отмечены у образцов: М-60366 (0,04%), к-6844 (0,06%), к-2736 (0,07%), Аист (0,07%), к-5521 (0,08%), Сорго Абу-Себейн (0,09%), Sorghum Feterita (0,10%), Атаман (0,12%), Зерноградское 204/4 (0,17%), Крымбел (0,22%), Пионер 878/Геническое бурое 129 (0,23%), а также у стандарта Зерноградское 88 (0,17%).

Отмечено проявление сильной положительной зависимости содержания танинов в зерне сорго от окраски зерновки ($r=0,84\pm 0,04$). Это указывает на преимущество использования для кормовых целей образцов со светлой окраской зерновки по сравнению с тёмно-окрашенными. Несмотря на это, генотипы с белой, цвета слоновой кости и желтой окраской зерновки могут иметь как низкое (<1,0%), так и среднее (1,0-2,0%) содержание танина в зерне. В пределах данных групп отмечена значительная изменчивость признака ($V=56-62\%$). Среди образцов с розовой окраской зерновки выделялись формы с низким, средним и высоким содержанием танина. У коллекционных образцов, обладающих красным цветом зерновки, низкого содержания танина не установлено, а варьирование этого признака находилось в пределах 1,55-5,40%. Образцы с бурой окраской зерновки характеризовались только высоким содержанием танина (более 2,00%), а изменчивость признака соответствовала средним значениям ($V=15-20\%$) (таблица 1).

Таблица 1 – Статистические показатели содержания танина у образцов с различной окраской зерновки

Окраска зерновки	Мин., %		Макс., %		\bar{X} , %		S, %		V, %	
	2008-2010 гг.	2016-2020 гг.	2008-2010 гг.	2016-2020 гг.	2008-2010 гг.	2016-2020 гг.	2008-2010 гг.	2016-2020 гг.	2008-2010 гг.	2016-2020 гг.
белая	0,06	0,12	1,56	1,93	0,63	0,79	0,39	0,44	62	56
слоновая кость	0,04	0,33	1,93	1,34	0,73	0,65	0,40	0,32	55	49
желтая	0,07	0,30	1,30	1,99	0,53	0,83	0,27	0,38	51	46
розовая	1,78	0,81	3,80	5,49	2,76	2,73	0,66	0,87	24	32
красная	1,83	1,55	4,33	5,40	3,48	3,52	0,58	1,05	17	30
бурая	2,11	2,77	4,53	6,07	3,89	4,61	0,57	0,92	15	20
общая выборка	0,04	0,12	4,53	6,07	1,78	2,12	1,49	1,59	84	75

Таким образом, на начальном этапе селекции при большом объёме исходного материала и отсутствия возможности проведения биохимического анализа, окраску зерновки можно использовать в качестве маркерного признака. На заключительных этапах селекционного процесса необходимо проведение оценки содержания танина в зерне перспективных сортов или гибридов.

Исследования по изучению исходного материала позволили выделить образцы, обладающие различными ценными признаками, а также корреляцион-

ные связи, которые используются нами в селекционных программах на повышение урожайности и улучшение качества зерна сорго.

ГЛАВА 4 ГЕТЕРОЗИСНАЯ СЕЛЕКЦИЯ СОРГО ЗЕРНОВОГО

4.1 Селекция на раннеспелость, технологичность и повышение урожайности зерна

Использование гетерозиса является одним из наиболее эффективных способов повышения урожайности сельскохозяйственных культур, в том числе и сорго. В связи с этим, одной из задач проведённой работы являлось создание новых гибридов на стерильной основе, а также определение уровня гетерозиса и типа наследования по основным хозяйственно-ценным признакам и свойствам. Для анализа использованы 38 гибридных комбинаций, созданных в 2018 г. с участием ЦМС-линий Деметра и Джетта, а также 19 опылителей.

По продолжительности периода вегетации «всходы – вымётывание» у 76% (29 шт.) гибридных комбинаций отмечена гибридная депрессия или доминирование меньшего значения признака, отрицательные значения истинного гетерозиса имели 92% (35 шт.), гипотетического – 76% (29 шт.) гибридов. Степень проявления конкурсного гетерозиса, в значительной мере зависит от генотипа используемой в гибридизации ЦМС-линии. У гибридов, полученных с использованием ЦМС-линии Деметра, в 68% (13 шт.) случаях проявился отрицательный конкурсный гетерозис. Использование ЦМС-линии Джетта приводило к получению более позднеспелых гибридов по сравнению со стандартом F₁ Дюйм.

Для создания гибридов, приспособленных к механизированной уборке, использованы опылители с высотой растений (90-120 см), близкой к оптимальным значениям. Анализируемые гибриды с участием ЦМС-линии Деметра формировали высоту растений от 96 до 123 см. Значительная доля гибридов (42% или 8 шт.) проявили истинный гетерозис от 0,9 до 25,6% и сверхдоминирование ($h_p=1,1-10,2$). В остальных комбинациях (58% или 11 шт.) отмечено доминирование родительских (отцовских) форм с большим значением признака ($h_p=0,1-0,9$). Гибриды, полученные на основе ЦМС-линии Джетта, характеризовались высотой растений от 103 до 125 см. Сверхдоминирование ($h_p>1,0$) и истинный гетерозис ($\Gamma_{ист.}=1,8-35,6\%$) в данном случае отмечены у 68% (13 шт.) комбинаций скрещиваний.

Оценка новых гибридов сорго зернового по выдвинутости ножки метёлки позволила установить, что частота проявления полного доминирования большего значения признака и сверхдоминирования у изученных гибридов составляет 50%, а истинный гетерозис – 31,6%.

По массе 1 000 зёрен из 38 изученных гибридов истинный гетерозис проявился только у 39% (15 шт.), гипотетический – у 51% (20 шт.), а конкурсный – у 45% (17 шт.) комбинаций. Привлечение в качестве опылителя образца ЗСК 34 приводило к проявлению сверхдоминирования признака «масса 1 000 зёрен» у полученных гибридов с обеими ЦМС-линиями. Большая масса 1 000 зёрен

формировалась в комбинациях Джетта × Зерноградское 204/4 (31,2 г), Джетта × ЗСК 196/17 (32,8 г), Джетта × ЗСК 34 (32,8 г), Деметра × ЗСК 34 (33,3 г), Джетта × ЗСК 163/17 (33,3 г) и Джетта × Крупнозёрное 2230 (35,6 г).

Анализ наследования озернённости метелки у гибридов, в основе которых использована ЦМС-линия Деметра, показал, что из 19 комбинаций у 89% (17 шт.) наблюдалось сверхдоминирование ($h_p=1,5-28,0$), а в двух комбинациях отмечено частичное ($h_p=0,1$) и неполное доминирование ($h_p=0,8$) родительских форм с большим количеством зёрен в метёлке. Основная доля (95% или 18 шт.) гибридов со стерильной линией Джетта характеризовалась положительными значениями истинного ($\Gamma_{ист.}=3,4-74,6\%$) и гипотетического ($\Gamma_{гип.}=19,1-83,0\%$) гетерозиса, а также наследованием признака по типу сверхдоминирования ($h_p=1,2-149,4$). Максимальное количество зёрен в метёлке (2 263 шт.) формировалось в комбинации Джетта × СПЗС-16. Превышение по сравнению со стандартом составило 678 зёрен, а конкурсный гетерозис соответствовал 48,3%.

Центральным звеном в селекционной работе на гетерозис является оценка исходных форм по комбинационной способности. Стабильно высокими оценками эффектов ОКС по урожайности зерна во все годы исследований (2019-2021 гг.) характеризовались образцы СПЗС-16 (0,81-0,99), ЗСК 176/16 (0,64-1,14), ЗСК 196/17 (0,29-0,41), Норд 2 (0,65-1,04) и ЗСК 34 (0,49-0,75). Достоверно высокие варианты СКС отмечены у образцов ЗСК 196/17 (0,029-0,033), ЗСК 231/16 (0,052-0,115), ЗСК 1530/15 (0,063-0,079) и ЗСК 500/16 (0,074-0,216) (таблица 2).

Таблица 2 – Эффекты ОКС и дисперсия СКС линий-опылителей сорго зернового по урожайности зерна, 2019-2021 гг.

Образец	Оценки эффектов ОКС (gi)			Дисперсия СКС (σ^2si)		
	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.
СПЗС-16	0,82	0,99	0,81	-0,008	-0,007	-0,010
ЗСК 163/17	-0,17	-0,07	-0,22	-0,008	-0,009	-0,010
ЗСК 176/16	0,67	1,14	0,64	-0,004	-0,008	-0,007
ЗСК 196/17	0,34	0,41	0,29	0,029	0,045	0,033
Крупнозёрное 2230	-0,14	-0,82	0,08	0,000	0,062	0,051
Лазурит 486/17	0,22	-0,07	0,14	0,015	0,055	0,002
ЗСК 2262/17	-0,62	-0,25	-0,47	0,001	0,002	0,011
ЗСК 1568/14	-0,01	0,09	0,10	-0,007	-0,011	-0,008
ЗСК 231/16	0,14	0,17	-0,01	0,115	0,052	0,065
ЗСК 449/17	-0,60	-0,29	-0,56	0,002	-0,009	-0,008
ЗСК 1530/15	0,03	0,19	0,001	0,063	0,079	0,066
Зерноградское 204/4	-0,73	-1,25	-0,93	-0,008	0,005	-0,012
Норд 2	1,04	0,65	0,84	0,004	0,050	0,017
ЗСК 34	0,49	0,75	0,65	0,010	0,003	-0,010
ЗСК 411/16	-0,58	-0,37	-0,58	-0,001	-0,010	-0,006
ЗСК 500/16	-0,67	-1,21	-0,63	0,074	0,216	0,059
Дружба	-0,34	-0,07	-0,27	0,020	0,016	0,014
ЗСК 2010	0,29	-0,02	0,29	-0,007	0,026	-0,012
ЗСК 282/14	-0,16	0,07	-0,17	0,005	0,012	0,003
НСР/(σ^2si)	0,14	0,15	0,16	0,016	0,030	0,012

Оценка комбинационной способности тестеров выявила наибольшую ценность ЦМС-линии Джетта (эффекты ОКС варьировали от 0,16 до 0,18) по сравнению с линией Деметра (эффекты ОКС – -0,16 – -0,18), что указывает на более высокую вероятность создания высокопродуктивных гибридов с участием данной стерильной линии.

4.2 Селекция на улучшение качества зерна

Наряду с достижением основной цели, а именно созданием высокоурожайных, раннеспелых и приспособленных к механизированному возделыванию гибридов, важной задачей современной селекции является улучшение качества зерна сорго.

В гибридных комбинациях, где в качестве материнской формы использовалась ЦМС-линия Деметра, содержание сырого белка варьировало от 9,8 до 13,4%. Созданные гибриды на основе стерильной линии Джетта формировали зерновку со значениями данного показателя от 10,3 до 13,6%. Общий анализ гибридов показал проявление промежуточного наследования признака ($h_p = -0,7-0,8$) у 58% (22 шт.) и гибридной депрессии (29% или 11 шт.) у большинства изученных комбинаций. Кроме того, отмечено полное доминирование меньших (одна комбинация) или больших (две комбинации) значений признака, а также сверхдоминирование (две комбинации). Высокое содержание сырого белка, как правило, наблюдалось у гибридов с привлечением в качестве опылителей более высокобелковых отцовских форм. Включение в гибридизацию среднебелковых ЦМС-линий с низко- и среднебелковыми опылителями не приводило к получению высокобелковых гибридов.

Отрицательная корреляция между содержанием сырого белка и крахмала в зерне сорго ($r = -0,64 \pm 0,13$) подтверждается проведённым анализом гибридов F_1 . Основная доля гибридов при более высоком содержании сырого белка в зерне характеризовались меньшим содержанием крахмала и наоборот.

Содержание крахмала в зерне гибридов с участием ЦМС-линии Деметра находилось на уровне 72,7-76,9%, а в комбинациях, полученных с ЦМС-линией Джетта – 71,8-76,0%. Изучение полученных комбинаций показало, что у 58% (22 шт.) наследование признака проходило по типу сверхдоминирования ($h_p = 1,1-8,7$), у 24% (9 шт.) – доминировало более высокое содержание крахмала ($h_p = 0,4-1,0$), а у остальных гибридов отмечено влияние форм ($h_p = -0,1 - -0,7$), имеющих более низкий уровень крахмала в зерне. Истинный гетерозис проявился у 58% (22 шт) гибридных комбинаций, гипотетический – у 74% (28 шт.), а конкурсный – у 87% (33 шт.). Привлечение в гибридизацию в качестве опылителей образцов ЗСК 500/16, ЗСК 2010 и ЗСК 282/14 приводило к получению гибридов с очень высоким содержанием крахмала в зерне (75,1-76,9%) с обеими стерильными линиями.

Наследование сырого жира у значительной (92,1%) доли гибридов, независимо от материнской формы, проходило по типу доминирования большего значения признака ($h_p = 0,1-1,0$) или сверхдоминирования ($h_p > 1,0$).

Содержание танина в зерне гибридов, полученных на основе ЦМС-линии Деметра, имело промежуточный характер наследования. Причём, у 68% (13 шт.) комбинаций наблюдалось доминирование больших значений ($h_p=0,1-0,7$) признака, в трёх комбинациях – отсутствие доминирования ($h_p=0,0$), а в комбинациях Деметра × Лазурит 486/17, Деметра × Крупнозёрное 2230 и Деметра × ЗСК 282/14 проявилось доминирование отцовских форм, имеющих более низкое содержание танина в зерне ($h_p=-0,2 - -0,3$).

Все анализируемые гибриды характеризовались отрицательным истинным гетерозисом ($\Gamma_{ист.}=-9,3 - -57,5\%$). Гипотетический гетерозис с отрицательными значениями ($\Gamma_{гип.}=-2,4 - -24,9\%$) проявился у 32% (6 шт.) гибридов. Подобный характер наследования содержания танина в зерне сорго отмечен у гибридов, где в качестве материнской формы использовалась стерильная линия Джетта.

Так как обе ЦМС-линии имеют высокое содержание танина в зерне (Деметра – 5,29%, Джетта – 4,79%), полученные гибриды характеризовались средними и высокими значениями (1,99-4,80%). Таким образом, для создания гибридов с пониженным содержанием танина необходимо привлекать в гибридизацию низкотаниновые ЦМС-линии.

4.3 Использование ПЦР-анализа в селекции сорго зернового на гетерозис

Прежде чем использовать в селекционной работе те или иные образцы в качестве опылителей, требуется предварительно выявить их способность восстанавливать фертильность пыльцы у полученных гибридов.

Одним из перспективных вспомогательных инструментов подбора отцовских родительских форм, восстанавливающих фертильность пыльцы у гибридов F_1 , является применение ДНК-маркеров, тесно сцепленных с генами restoration of fertility (Rf). У сорго идентифицированы гены Rf1, Rf2, Rf5, Rf6 доминантные аллели которых, контролируют восстановление фертильности ЦМС типа A1.

Для идентификации гена Rf1 нами использован диагностический маркер Htxp18. В результате скрининга 300 образцов сорго зернового по гену восстановления фертильности Rf1 был получен ряд рабочих гелей и электрофореграмм. На их основе у 35 образцов идентифицирован ген Rf1.

Ампликон размером 220 пары нуклеотидов, соответствующий аллелю, ассоциированному с доминантным аллелем гена восстановителя фертильности Rf1, идентифицирован у образцов №5 (S bicolor IS 2341 SPV), №6 (Pop Sorghum), №9 (Кубанское 198/M-1), №10 (Кубанское красное 1677), №12 (M-61134), №14 (КС-2 ранний), №16 (V4B), №18 (Лазурит). У образцов №2 (2018-1214), №3 (06-2199K), №7 (Кубанское 126/01), №8 (Геническое 209), №13 (06-2063), №15 (06-2177) выявлен ампликон размером 238 пар нуклеотидов, ассоциированный с рецессивным аллелем гена rf1 (рисунок 5).

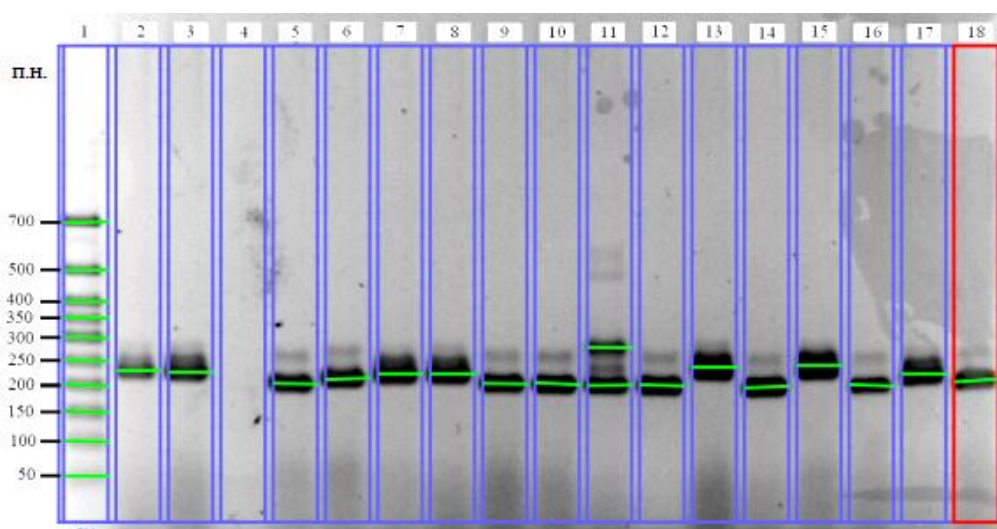


Рисунок 5 – Электрофореграмма скрининга образцов сорго зернового на наличие гена Rf1 на агарозном геле молекулярным маркером Xtxp 18

Применение маркера Xtxp 297 по идентификации гена Rf2 у 305 образцов позволило выделить только 11 образцов с функциональным аллелем гена Rf2, соответствующим размеру 220 пар нуклеотидов. К образцам с ампликоном (220 п.н.), характерным для восстановителей фертильности, относятся образцы №7 (К18-1216), №12 (Славянка) и №18 (Круста).

Для выявления гена Rf5 применён диагностический маркер Xnhsbm 1084. Проведённый скрининг 313 образцов сорго позволил получить ряд рабочих гелей и электрофореграмм, на основе которых выделено 56 (18,5%) образцов, имеющих ген Rf5 (280 п.н.). К таким образцам относятся: №2 (ЗСК 296/17), №3 (ЗСК 298/17), №6 (ЗСК 408/17), №7 (ЗСК 425/17), №9 (ЗСК 814/17), №11 (ЗСК 838/17), №13 (ЗСК 404/17), №14 (Лазурит 486/17), №15 (ЗСК 231/16), №16 (Зерноградское 204/4), №17 (ЗСК 34) и №18 (Seso 1) (рисунок 6).

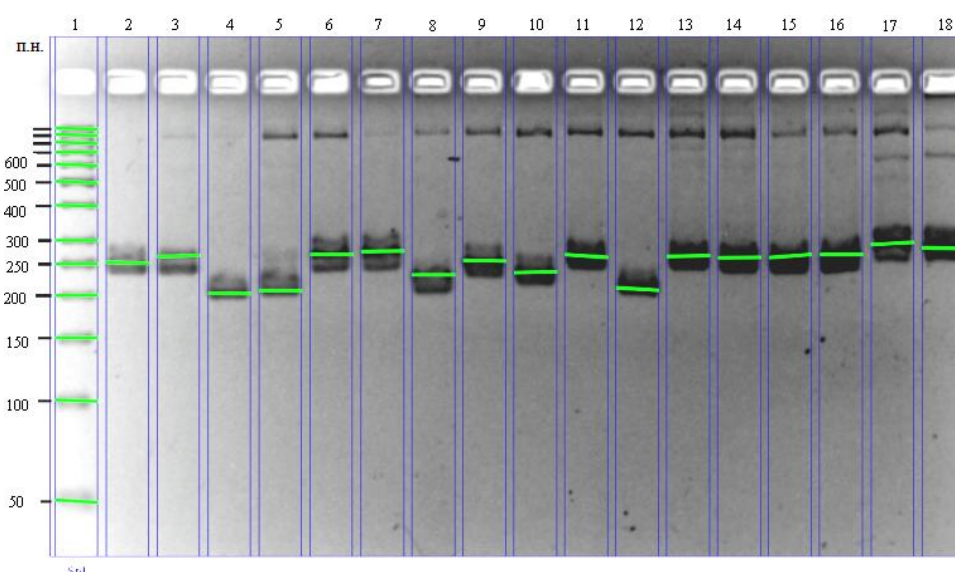


Рисунок 6 – Электрофореграмма скрининга образцов сорго зернового по идентификации гена Rf5 на агарозном геле молекулярным маркером Xnhsbm 1084

С помощью ПЦР-анализа (SSR маркер SB 2386) выявлено 186 (59,4%) образцов с размером ампликона 169 пар нуклеотидов, соответствующих восстановителям фертильности по гену Rf6. В том числе доминантный аллель отмечен у образцов №2 (ЗСК 163/17), №3 (ЗСК 176/16), №4 (ЗСК 196/17), №5 (Ринг 28), №6 (ЗСК 4), №7 (Скороспелое 461/17), №8 (Крупнозёрное 2230), №9 (Лазурит 488/17), №10 (ЗСК 2262/17), №11 (ЗСК 1568/17), №12 (Отбор 100), №13 (ЗСК 449/17), №14 (ЗСК 1530/15), №15 (Норд 2), №16 (144 ф/8), №17 (ЗСК 411/16), №18 (ЗСК 500/16) (рисунок 7).

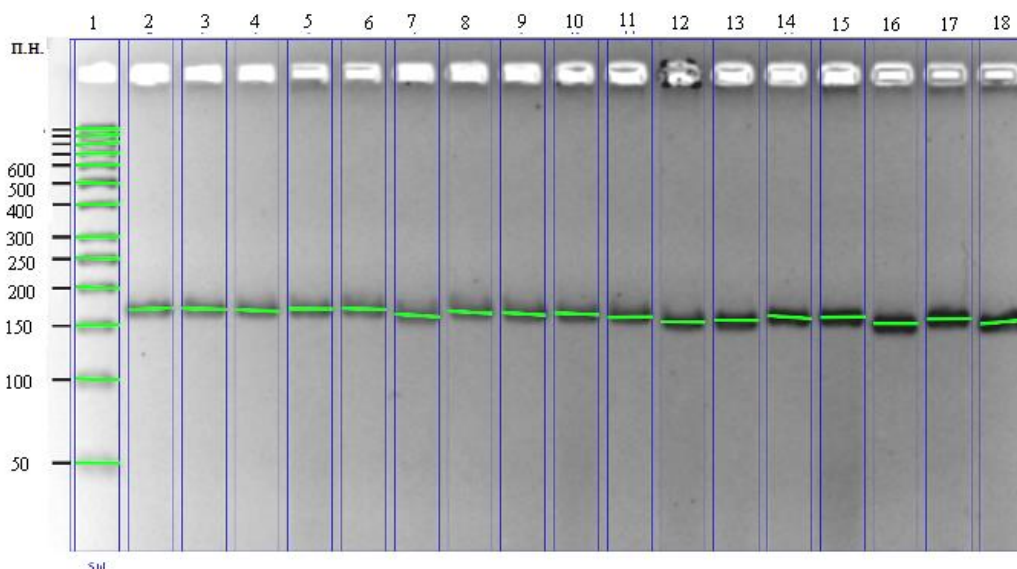


Рисунок 7 – Электрофореграмма скрининга образцов сорго зернового по идентификации гена Rf6 на агарозном геле молекулярным маркером SB 2386

Выделенные образцы с геном Rf5 (Лазурит 486/17, Зерноградское 204/4, ЗСК 34) и Rf6 (ЗСК 163/17, ЗСК 176/16, ЗСК 196/17, Зерноградское 2230, ЗСК 449/17, ЗСК 1530/15, Норд 2, ЗСК 411/16, ЗСК 500/16) были использованы в гибридизации. Причём, оценка гибридов по озернённости метёлки с участием данных образцов в качестве опылителей подтвердила их восстановительную способность.

Сопоставление полученной информации позволило выделить 53 образца, имеющих в своем генотипе два доминантных гена Rf. Так, образцы ОН-35ф, К-10989, КХ №10, КХ №12 и другие, характеризуются наличием генов Rf1 и Rf6; ЗСК 2262/17, ЗСК 1568/17, КХ №6 сочетают гены Rf2 и Rf6; НК-90, Краснозёрное 79, Gassabi, Yulum 3, ЗСК 425/17 и другие – Rf5 и Rf6. Кроме того, выделены образцы с тремя генами Rf в доминантном состоянии: Китайское 8 (Rf1Rf1Rf2 Rf2Rf6Rf6), ЗСК 176/17 и СПЗС-6 (Rf1Rf1Rf5Rf5Rf6Rf6).

Использование ДНК-маркеров в подборе отцовских форм позволит ускорить селекционную работу по созданию гетерозисных гибридов.

ГЛАВА 5 СЕЛЕКЦИЯ СОРГО ЗЕРНОВОГО НА ФЕРТИЛЬНОЙ ОСНОВЕ

Для повышения эффективности проводимых скрещиваний одной из основных задач наших исследований являлось определение закономерности наследования и количества главных генов, которые контролируют признаки и свойства, прямо или косвенно влияющие на урожайность и качество зерна. Для анализа были взяты гибриды первого и второго поколения, полученные между контрастными по фенотипу образцами.

Изучение длины метёлки у 20 гибридов F_1 , полученных по двум диаллельным схемам (I – Sb-126/4, 144 ф/8, зерноградское 204, СПЗС-11; II – Отбор 100, Белозёрное 100, ЗСК-4, 34045), позволило выявить, что в большинстве комбинаций скрещивания (16 шт.) отмечено сверхдоминирование или полное доминирование признака, в остальных комбинациях наблюдалось частичное и неполное доминирование большего или меньшего значения признака. Положительные значения истинного гетерозиса проявились в 15 гибридных комбинациях, гипотетического – в 18.

Проведённый гибридологический анализ F_2 по данному признаку выявил, что конфигурация кривых распределения частот изученных гибридов зависит от степени различий исходных родительских образцов, направления и степени доминирования, числа и силы гена.

Так, в результате сравнительного анализа гибридов, полученных от скрещивания образцов Sb-126/4 и 144 ф/8, отмечено отсутствие различий исходных форм между собой по аллельному состоянию генов, так как кривые их распределения и гибрида практически совпадали (рисунок 8).

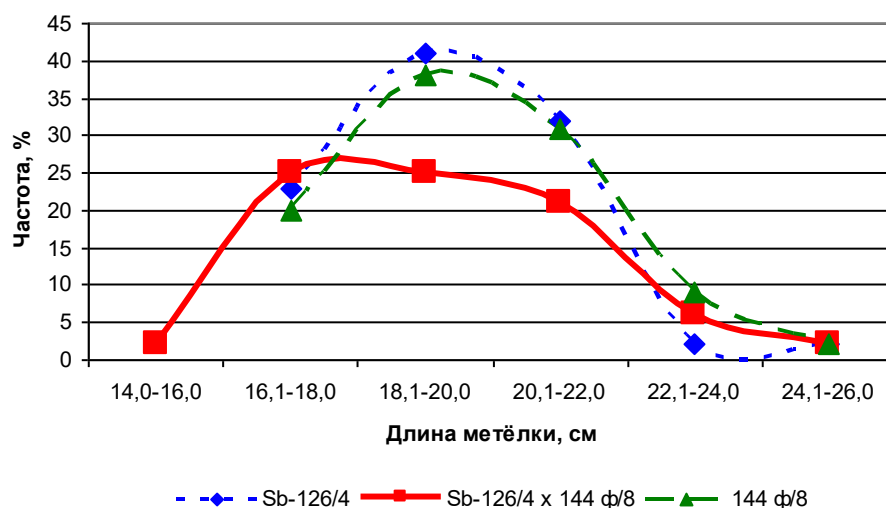


Рисунок 8 – Распределение частот значений признака «длина метёлки» у родительских форм и гибрида F_2 Sb-126/4 × 144 ф/8, 2011 г.

Моногенное наследование выявлено в гибридной комбинации, полученной от скрещивания образца 144 ф/8, использованного в качестве материнской формы и сорта зерноградское 204 – в качестве опылителя. Расщепление проис-

ходило в соотношении 1:2:1 (рисунок 9). Сила гена (d) составила 3,8 см, степень доминирования ($h_p = -0,18$) указывала на частичное доминирование признака с меньшими значениями, а коэффициент асимметрии ($A_s = 0,170$) – на незначительный правосторонний скос.

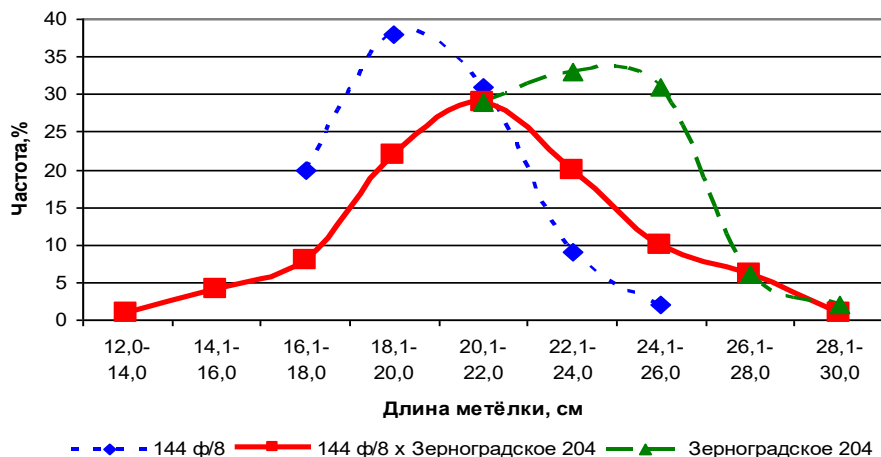


Рисунок 9 – Распределение частот значений признака «длина метёлки» у родительских форм и гибрида F_2 144 ф/8 × зерноградское 204, 2011 г.

Подобный тип наследования отмечен у гибрида F_2 Sb-126/4 × зерноградское 204, в её реципрокной комбинации (F_2 зерноградское 204 × Sb-126/4), а также в реципрокных комбинациях F_2 Белозёрное 100 × Отбор 100, F_2 ЗСК-4 × Отбор 100 и F_2 34045 × ЗСК-4 из второй диаллельной схемы.

Различие родительских форм по двум парам генов установлено в результате гибридизации образцов СПЗС-11 и зерноградское 204, отличающихся по длине метёлки в большей степени (средняя длина метёлки образца зерноградское 204 – 23,9 см, СПЗС-11 – 36,1 см). У гибрида F_2 СПЗС-11 × зерноградское 204 расщепление соответствовало соотношению 1:2:2:2:4:2:2:1 (рисунок 10).

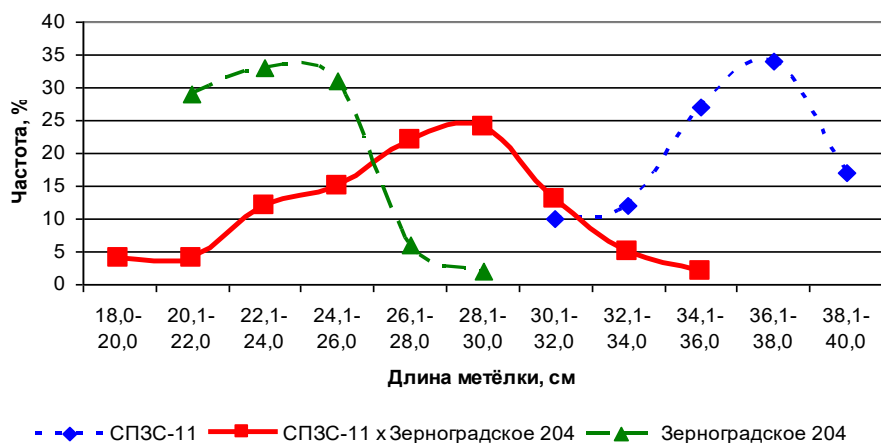


Рисунок 10 – Распределение частот значений признака «длина метёлки» у родительских форм и гибрида F_2 СПЗС-11 × зерноградское 204, 2011 г.

Кривая распределения частот признака анализируемого гибрида имела левостороннюю асимметрию ($A_s = -0,241$). Сила одного гена равнялась 6,1 см. Такое же расщепление отмечено в обратной комбинации.

Дигенное наследование проявилось также в прямых и обратных комбинациях, полученных в результате скрещивания образцов Отбор 100 и ЗСК-4, а также в комбинации 34045 × Белозёрное 100 из другой диаллельной схемы.

Тригибридное расщепление установлено в комбинациях, полученных в результате привлечения в гибридизацию образцов, имеющих короткие метёлки Sb-126/4 (19,8 см), 144 ф/8 (20,1 см) с родительской формой СПЗС-11, обладающей наибольшей длиной метёлки (36 см). Так, в комбинации F_2 СПЗС-11 × Sb-126/4 кривая распределения частот гибрида находилась в пределах изменчивости исходных образцов, доминирование отсутствовало ($h_p = 0$), а расщепление происходило по тригенной схеме в соотношении 1:6:15:20:15:6:1 (рисунок 11). Сила действия гена равна 5,4 см.

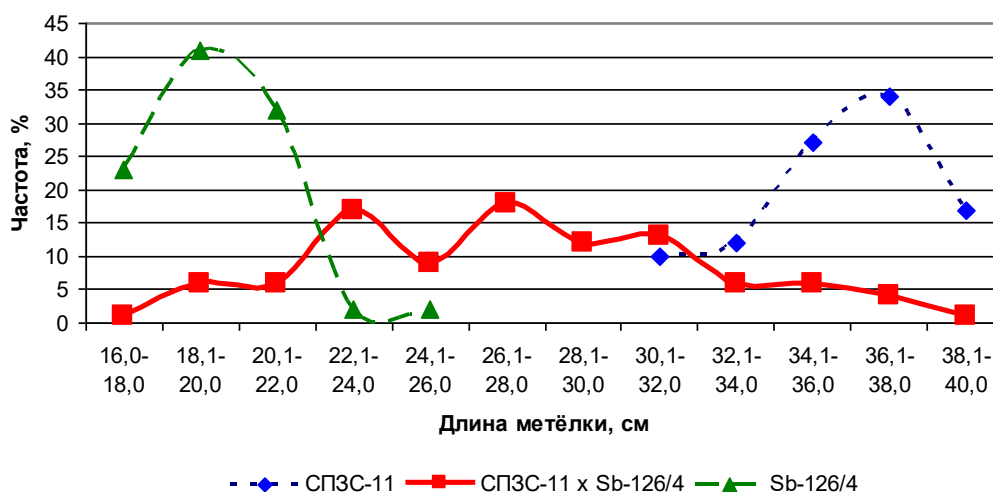


Рисунок 11 – Распределение частот значений признака «длина метёлки» у родительских форм и гибрида F_2 СПЗС-11 × Sb-126/4, 2011 г.

Тригибридное расщепление в соотношении 1:6:15:20:15:6:1 выявлено также в прямой и обратной комбинации F_2 34045 × Отбор 100 во второй диаллельной схеме.

Таким образом, проведённый генетический анализ гибридов второго поколения, полученных по диаллельной схеме скрещиваний между контрастными образцами Sb-126/4 (19,8 см), 144 ф/8 (20,1 см), Зерноградское 204 (23,9 см) и СПЗС-11 (36,1 см) выявил как отсутствие различий по длине метёлки, так и различия по аллельному состоянию 1-3 генов (рисунок 12).

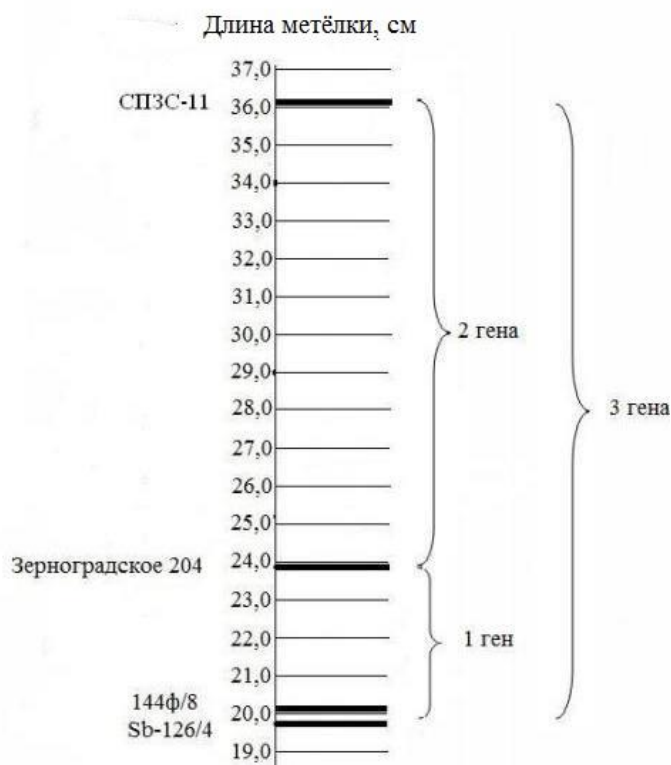


Рисунок 12 – Генотипические различия родительских форм СПЗС-11, Зерноградское 204, 144 ф/8 и Sb-126/4 по признаку «длина метёлки», 2011 г.

Гибридологический анализ гибридов F_2 второй диаллельной схемы, где были подобраны образцы со средней длиной метёлки 23,2 см (34045), 25,2 см (ЗСК-4), 29,0 см (Белозёрное 100) и 34,0 см (Отбор 100) с помощью компьютерной программы Полиген А также выявил различия между родительскими формами в 1-3 гена (рисунок 13).

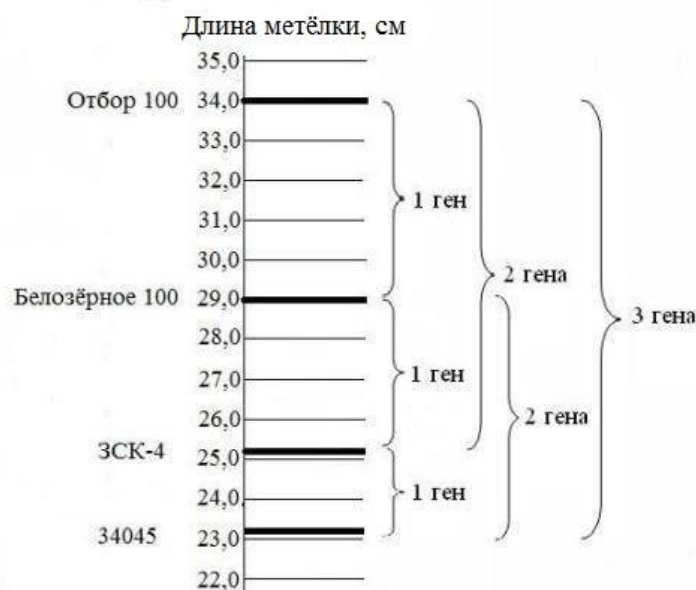


Рисунок 13 – Генотипические различия родительских форм Отбор 100, Белозёрное 100, ЗСК-4 и 34045 по признаку «длина метёлки», 2011 г.

Подобные исследования были проведены по массе 1 000 зёрен, а также основным признакам (содержание сырого белка, крахмала, лизина), определяющим качество зерна сорго.

Исследования, направленные на изучение наследования массы 1 000 зёрен у гибридов F_1 сорго зернового, показали, что в 5 комбинациях скрещиваний (ЗСК-4 × Белозёрное 100, Белозёрное 100 × ЗСК-4, ЗСК-4 × Отбор 100, Отбор 100 × ЗСК-4, ЗСК-4 × 34045) проявилось сверхдоминирование ($h_p=1,1-2,8$), а также истинный ($\Gamma_{ист.}=0,4-9,3\%$) и гипотетический гетерозис ($\Gamma_{гип.}=6,3-22,6\%$). Выделенные гибриды характеризовались большей массой 1 000 зёрен по сравнению с исходными родительскими формами. В 10 комбинациях отмечено частичное и неполное доминирование больших или меньших значений признака ($h_p=-0,7-0,6$), а у 5 гибридов – гибридная депрессия ($h_p=-1,4 - -2,8$).

Анализ массы 1 000 зёрен у гибридов второго поколения, полученных по диаллельной схеме от скрещивания образцов Sb-126/4, Зерноградское 204, 144 ф/8 и СПЗС-11, позволил выявить аллельные различия между ними не более чем в 2 гена (рисунок 14).

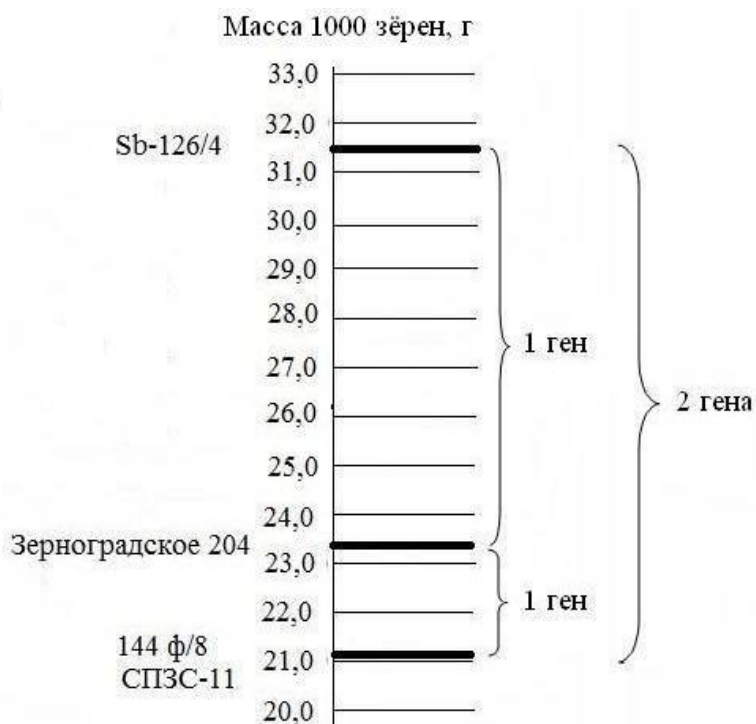


Рисунок 14 – Генотипические различия родительских форм СПЗС-11, Зерноградское 204, 144 ф/8 и Sb-126/4 по признаку «масса 1 000 зёрен», 2011 г.

Анализ гибридов, полученных во второй диаллельной схеме, позволил выявить различия по признаку «масса 1 000 зёрен» между родительскими формами в 1-3 гена (рисунок 15). Сила одного гена варьировала от 0,8 до 3,5 г.

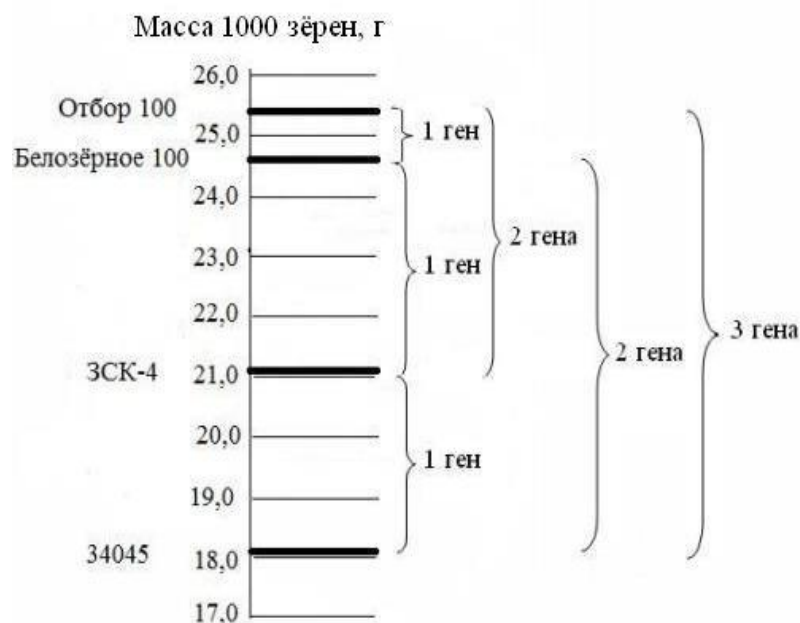


Рисунок 15 – Генотипические различия родительских форм Отбор 100, Белозёрное 100, ЗСК-4 и 34045 по признаку «масса 1 000 зёрен», 2011 г.

Содержание сырого белка у гибридов F_2 , в большинстве случаев, варьировало в пределах изменчивости родительских форм, однако в отдельных комбинациях проявились положительные и отрицательные трансгрессии. Установлено, что по данному признаку аллельные различия исходных форм достигают 4 генов. Сила одного гена варьирует от 0,15 до 1,6%.

В проведённых исследованиях по изучению наследования содержания лизина в белке гибридов F_2 между привлечёнными в гибридизацию образцами сорго зернового установлены различия в 1-3 гена. При этом, генотип у образцов Зерноградское 204 и 144 ф/8 соответствовал формуле ААВВСС, у родительской формы Отбор 100 – ААВВсс, у исходных образцов ЗСК-4, Белозёрное 100 и Sb-126/4 – ААbbcc, у СПЗС-11 – aaВВсс, а у 34045 – aabbcc.

Генетические различия в 1-3 гена между исходными формами выявлены по содержанию крахмала. Наибольшие различия (3 гена) отмечены между образцом СПЗС-11 и 144 ф/8.

В результате проведённой селекционной работы из первой диаллельной схемы на Государственное сортоиспытание в 2020 году передан новый белозёрный сорт сорго зернового Есаул, где в качестве родительских форм использовались образцы Зерноградское 204 и СПЗС-11.

Из второй диаллельной схемы в конкурсном сортоиспытании выделилась перспективная линия ЗСК 1818/18, полученная в результате гибридизации сортообразцов ЗСК-4 и Отбор 100. По результатам конкурсного испытания, данная линия под названием Сотник передана в 2022 г. на Государственное сортоиспытание.

ГЛАВА 6 СЕЛЕКЦИЯ СОРГО ЗЕРНОВОГО НА ХОЛОДОСТОЙКОСТЬ

Урожайность зерна сорго зависит от большого количества факторов, включая устойчивость к абиотическим и биотическим стрессам. Оно относится к теплолюбивым растениям, а также характеризуется высокой засухоустойчивостью и жаростойкостью. В тоже время, культура отличается высокой чувствительностью к пониженным температурам и заморозкам в начальный период роста и развития (Шепель, 1994).

Изученные сорта и линии сорго зернового селекции ФГБНУ «АНЦ «Донской» по уровню холодостойкости разделены на 3 группы устойчивости. К III группе – среднеустойчивых образцов отнесён белозёрный сорт Великан, имеющий всхожесть при пониженных температурах от 48,1 до 66,8% к контролю. Холодостойкостью выше средней характеризуются белозёрные сорта Зерноградское 88 (78,7%), Хазине 28 (79,5%) и сорт Зерноградское 53 (78,4%) с красной окраской зерновки. Высокую холодостойкость (всхожесть 85,7-98,1% к контролю) проявили тёмноокрашенные сорта Орловское, Лучистое, белозёрный сорт Атаман и Есаул, а также перспективные образцы ЗСК 600/15, Уч. 6/17, ЗСК 445/16, ЗСК 421/16, Крупинка 117/6, Зерноградское 88/4, Лазурит 601/16, ЗСК 540/15, ЗСК 427/10, ЗСК 420/16 (таблица 3).

Таблица 3 – Холодостойкость сортов и линий сорго зернового, 2016-2018 гг.

Сорт (линия)	Окраска зерновки	Лабораторная всхожесть при пониженной температуре (8°C) к контролю (25°C), %				Группа устойчивости
		2016 г.	2017 г.	2018 г.	среднее	
Орловское	бурая	88,6	82,3	96,5	89,1	I
Лучистое	розовая	88,0	85,0	89,3	87,4	I
Атаман	белая	87,1	87,6	82,5	85,7	I
Зерноградское 88	белая	66,3	76,0	93,8	78,7	II
Хазине 28	белая	66,1	85,6	86,9	79,5	II
Зерноградское 53	красная	78,2	73,7	83,3	78,4	II
Великан	белая	66,8	55,6	48,1	56,8	III
Есаул	белая	87,0	87,6	92,9	89,2	I
ЗСК 600/15	розовая	82,3	94,2	90,5	89,0	I
Уч. 6/17	розовая	98,0	98,9	93,3	96,7	I
ЗСК 445/16	белая	97,0	91,1	88,8	92,3	I
ЗСК 421/16	розовая	97,8	74,5	88,8	87,0	I
Крупинка 117/6	розовая	98,0	86,5	84,3	89,6	I
Зерноградское 88/4	белая	97,3	76,9	88,8	87,7	I
Лазурит 601/16	желтая	97,8	98,8	97,7	98,1	I
ЗСК 540/15	белая	95,5	98,9	95,2	96,5	I
ЗСК 427/10	розовая	97,8	96,9	94,4	96,4	I
ЗСК 420/16	белая	98,0	91,0	91,3	93,4	I

Анализ уровня холодостойкости гибридов F₁ на стерильной основе, в сравнении с привлечёнными в гибридизацию родительскими формами, показал, что использование в гибридизации ЦМС-линии Деметра с высокой устойчиво-

стью к пониженным температурам (всхожесть 88,3% к контролю) привело к созданию гибридов с лабораторной всхожестью от 54,5% до 96,9% к контролю. При этом, большая часть (68% или 13 шт.) относилась к I группе холодостойкости. Значительная доля (42% или 8 шт.) гибридов проявила сверхдоминирование ($h_p=1,3-5,0$) и истинный гетерозис ($\Gamma_{ист.}=1,6-10,6\%$). Частичное, полудоминирование и неполное доминирование более холодостойкой родительской (материнской) формы наблюдалось у 37% (7 шт.) гибридных комбинаций. Частичное и неполное доминирование менее холодостойких форм установлено в двух комбинациях, два гибрида характеризовались гибридной депрессией. Включение в гибридизацию менее холодостойкой ЦМС-линии Джетта (всхожесть 26,7% к контролю) снизило количество гибридов, проявивших сверхдоминирование, до 21% (4 шт.). Частичное или неполное доминирование меньших значений признака отмечено у 47% (9 шт.) комбинаций. Причём, во всех этих случаях, за исключением гибрида F_1 Джетта \times ЗСК 34, родительской формой с меньшим значением признака являлась стерильная линия. Несмотря на отсутствие проявления гибридной депрессии, гибриды, полученные со стерильной линией Джетта, в целом, обладали не высоким уровнем холодостойкости. Комбинаций, относящихся к I группе устойчивости, не выявлено.

Таким образом, для создания гибридов сорго зернового с высокой устойчивостью к пониженным температурам следует привлекать в селекционные программы наиболее холодостойкие ЦМС-линии.

ГЛАВА 7 РЕЗУЛЬТАТЫ СЕЛЕКЦИОННОЙ РАБОТЫ ПО СОРГО ЗЕРНОВОМУ

В результате целенаправленной селекционной работы созданы и внесены в Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию раннеспелые, высокопродуктивные, технологичные, обладающие высоким качеством зерна сорта сорго зернового Зерноградское 88, Атаман, Есаул, а также гибрид Дюйм. Передан на Государственное сортоиспытание низкорослый, высокоурожайный сорт Сотник.

Сорт сорго зернового Зерноградское 88 раннеспелый (период от всходов до полной спелости зерна 94-96 дней), низкорослый (высота растений 92-100 см), устойчив к полеганию. Зерно эллиптической формы, белое, заметно открытое. Масса 1 000 семян – 26-32 г. Урожайность зерна в конкурсном сортоиспытании в период с 2009 по 2011 гг. находилась на уровне 4,82-5,68 т/га. Сорт отличается высоким качеством зерна. В зависимости от погодно-климатических условий содержание белка в зерне варьирует от 11,7 до 13,4%, крахмала – 72,4-75,0%, жира – 3,8-4,5%. Характеризуется низким содержанием танина в зерне (0,12-0,21%). По результатам государственного сортоиспытания сорт допущен к использованию с 2013 года по Северо-Кавказскому (6) региону РФ.

Гибрид сорго зернового Дюйм создан в результате гибридизации ЦМС-линии Деметра и сорта Зерноградское 88. Относится к раннеспелой группе созревания (период от всходов до полной спелости зерна 90-94 дня). Высота растений при созревании составляет 106-112 см. Зерно округлое, красное, заметно

открытое, хорошо вымолачивается, содержит 72,5-73,5% крахмала, 12,0-13,2% сырого белка, 3,9-4,1% жира. Масса 1 000 семян – 27-30 г. Урожайность зерна (2009-2011 гг.) составляет 6,18-6,78 т/га. Включен в Государственный реестр селекционных достижений с 2013 года по Северо-Кавказскому (6) региону РФ.

Сорт сорго зернового Атаман формирует зерновку с полной спелостью за 94-97 дней после появления всходов, а высоту растений при созревании на уровне 115-130 см. Зерно – желтовато-белое, голозерное, легко вымолачивается. Масса 1 000 семян – 26-30 г. Урожайность зерна (2013-2015 гг.) находится на уровне 5,01-5,96 т/га. Содержание белка в зерне – 11,9-12,7%, крахмала – 72,1-78,7%, жира – 3,6-4,1%. Содержит танины в зерне на уровне 0,07-0,14%. Допущен к использованию с 2018 года по Нижневолжскому (8) региону РФ.

Сорт сорго зернового Есаул передан на Государственное сортоиспытание в 2020 году. Создан методом отбора белозёрных форм из гибридной комбинации Зерноградское 204 × СПЗС-11. Период вегетации «всходы – полная спелость» составляет 97-101 день, высота растений при созревании 110-115 см. Зерновка округло-эллиптической формы, белая, голозерная, легко вымолачивается. Урожайность зерна за годы конкурсного сортоиспытания (2018-2020 гг.) составила 6,12-6,34 т/га. Содержание белка в зерне 12,3-13,1%, крахмала 72,1-75,6%, танина – 0,04-0,19%. Допущен к использованию с 2023 г. по Северо-Кавказскому (6) и Нижневолжскому (8) регионам РФ.

Сорт сорго зернового Сотник передан на Государственное сортоиспытание в 2022 году. Получен в результате отбора низкорослых, продуктивных форм из гибридной комбинации ЗСК-4 × Отбор 100. Высота растений при созревании находится на уровне 92-104 см, а период вегетации «всходы – полная спелость» составляет 97-99 дней. Зерновка желтовато-белого цвета, голозерная. Формирует урожайность зерна (2019-2021 гг.) от 5,60 до 6,49 т/га. Сорт характеризуется средним содержанием сырого белка в зерне (11,0-12,2%), высоким и очень высоким содержанием крахмала (74,8-76,7%). Передан для изучения в Северо-Кавказском (6) и Нижневолжском (8) регионах РФ.

ГЛАВА 8 ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОРГО ЗЕРНОВОГО В ПЕРЕРАБОТКЕ

Одной из задач проведённых исследований являлось изучение возможности включения муки сортов сорго зернового Зерноградское 88, Атаман, Великан, Зерноградское 53, Лучистое, Орловское и Хазине 28 взамен части пшеничной муки при выпечке хлеба, а также использование зерна сорго зернового в качестве сырья для производства крахмала.

На основе полученной общей хлебопекарной оценки сделаны выводы о возможности использования муки из зерна сорго при выпечке хлеба. Однако, необходимо принимать во внимание мука какого сорта применяется в рецептуре. Оценка «хорошо» (3,8-4,2 балла) отмечена на контроле, а также в варианте опыта с соотношением 5% (сорго зерновое):95% (мягкая пшеница) не зависимо от привлечённого в изучение сорта сорго зернового. Наиболее высокий балл (4,1) выявлен у новых белозёрных сортов Зерноградское 88 и Атаман, а наименьший (3,8) – у сорта Орловское. При увеличении в хлебопекарной смеси

доли муки сорго зернового, сортовые особенности проявлялись в большей степени. «Вполне удовлетворительной» оценкой (3,2-3,7 балла) сорта Зерноградское 53, Орловское и Хазине 28 характеризовались с включением 10-15% сорговой муки. У сортов Атаман, Великан, Лучистое такая оценка получена при дозировке муки сорго от 10 до 20%, а у сорта сорго зернового Зерноградское 88 оценка не снижалась до 25% включительно. Дальнейшее повышение процентного содержания муки сорго привело к снижению до 2,5-3,1 баллов («удовлетворительная» оценка), а у сортов Хазине 28 и Зерноградское 53 при включении 30% муки сорго общая хлебопекарная оценка соответствовала «неудовлетворительной» оценки (менее 2,5 балла). Таким образом, муку сортов сорго зернового Хазине 28, Орловское, Зерноградское 53 рекомендуется включать в рецептуру не более 15%, сортов Атаман, Великан, Лучистое – не более 20%, сорта Зерноградское 88 – не более 25%.

На основе заключенного договора о научно-техническом сотрудничестве с ФГБНУ ВНИИ крахмалопродуктов, проведены исследования по изучению допущенных к использованию сортов сорго зернового (Хазине 28, Лучистое, Зерноградское 53, Орловское, Зерноградское 88, Великан, Атаман) селекции ФГБНУ «АНЦ «Донской» на возможность использования их в качестве сырья для производства крахмала. Проведённая оценка показала высокую массовую долю крахмала в сухом веществе изученных сортов сорго. Они формируют зерновку с содержанием крахмала от 75,7% до 80,5% к сухому веществу. Наиболее высокое содержание крахмала в сухом веществе отмечено у сорта сорго зернового Лучистое. Гибрид кукурузы Зерноградский 282 МВ характеризуется содержанием крахмала на уровне 72,5%, что ниже по сравнению с изученными сортами сорго на 3,2-8,0%. Выход крахмала из зерна сорго также был выше, чем из зерна кукурузы. У стандарта (гибрид кукурузы) выход крахмала составил 63,0%, а у сортов сорго варьировал от 63,6 до 67,7%. Максимальный выход крахмала (65,9-67,7%) отмечен у сортов сорго зернового Хазине 28, Атаман и Лучистое (таблица 4).

Таблица 4 – Выход крахмала из зерна сорго зернового сортов селекции ФГБНУ «АНЦ «Донской»

Сорт (гибрид)	Окраска зерна	Содержание сухих веществ (СВ), %	Массовая доля крахмала, % к СВ	Выход крахмала, % к СВ
Зерноградский 282 МВ (кукуруза), стандарт	желтая	89,6	72,5	63,0
Зерноградское 88	белая	90,0	76,7	64,8
Атаман	белая	89,0	78,5	66,7
Великан	белая	90,0	75,7	63,6
Хазине 28	белая	89,4	77,9	65,9
Лучистое	розовая	89,1	80,5	67,7
Зерноградское 53	красная	90,2	76,3	64,2
Орловское	бурая	89,6	76,4	64,6

Однако в процессе переработки зерна сорго отмечены более высокие потери крахмала с побочными продуктами переработки по сравнению с кукурузой. Содержание крахмала в мезге из сорго превышало стандарт на 9,6-12,0%.

В результате проведенных исследований сделаны выводы о возможности использования сорго зернового в качестве страховой культуры, как сырья для предприятий крахмалопаточной отрасли.

ГЛАВА 9 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ И БИОЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ НОВЫХ СОРТОВ И ГИБРИДА СОРГО ЗЕРНОВОГО

Внедрение в сельскохозяйственное производство новых, высокоурожайных сортов и гибридов считается менее затратным и наиболее экономически эффективным способом повышения производства растениеводческой продукции. Средняя урожайность зерна в 2019-2021 гг. у новых сортов и гибрида составила 5,23-6,02 т/га. При затратах на один гектар 24 960-25 413 рублей и реализации рядового зерна по 9000 рублей за одну тонну, возделывание новых сортов и гибрида экономически выгодно. Условный чистый доход составляет 22 110 – 28 767 руб./га., а рентабельность – 89-113% (таблица 5).

Таблица 5 – Экономическая эффективность возделывания новых сортов и гибрида сорго зернового, 2019-2021 гг.

Сорт, гибрид	Урожайность зерна, т/га	Производственные затраты, руб./га	Себестоимость продукции, руб./т	Условный чистый доход, руб./га	Рентабельность, %
Зерноградское 88	5,23	24960	4772	22110	89
Атаман	5,55	25143	4530	24807	99
F ₁ Дюйм	5,97	25384	4252	28346	112
Есаул	6,02	25413	4221	28767	113
Сотник	5,96	25378	4258	28262	111

В настоящее время особое внимание уделяется методу энергетической оценки, который учитывает количество затраченной на получение единицы сельскохозяйственной продукции и аккумулированной в ней энергии (Горпиниченко и др., 2016).

Энергетическая оценка эффективности технологии возделывания сорго зернового в среднем за 2019-2021 гг., показала, что изучаемые сорта и гибрид по выходу энергии с урожаем были на уровне 82,0-95,0 ГДж/га, а чистый энергетический доход составил 68,7-81,2 ГДж/га (таблица 6).

Таблица 6 – Биоэнергетическая оценка возделывания сортов и гибрида сорго зернового по адаптивной технологии, 2019-2021 гг.

Сорт, гибрид	Получено энергии с урожаем зерна, ГДж/га	Затраты энергии, ГДж/га	Чистый энергетический доход, ГДж/га	Энергоёмкость продукции, ГДж/т	КЭЭ
Зерноградское 88	82,0	13,4	68,7	2,55	6,1
Атаман	87,5	13,5	74,0	2,44	6,5
F ₁ Дюйм	94,2	13,7	80,4	2,30	6,9
Есаул	95,0	13,8	81,2	2,29	6,9
Сотник	94,0	13,7	80,3	2,30	6,8

Энергоёмкость продукции находилась в пределах 2,29-2,55 ГДж/т, что позволило получить энергии с урожаем в 6,1-6,9 раза больше, чем было затрачено на производство этой продукции.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. На основе проведённой оценки исходного материала выделены лучшие образцы (источники) по признакам «продолжительность периода вегетации «всходы – полная спелость»» (<90 дней), «высота растений» (100-120 см), «выдвинутость ножки метёлки» (>21 см), «количество зёрен в метёлке» (>2500 шт.), «масса 1 000 зёрен» (>40 г), а также признакам определяющим качество зерна (содержание сырого белка (>13,0 %), лизина (>2,8 %), крахмала (>75,0 %), сырой клетчатки (<2,0 %), сырого жира (>4,5 %) и танина (<0,23 %)).

2. Установлена сильная положительная корреляция урожайности зерна с озернёностью метёлки ($r=0,78\pm 0,04$), средняя положительная – с продолжительностью периода вегетации «всходы – полная спелость» ($r=0,58\pm 0,06$), слабая положительная – с высотой растения ($r=0,20\pm 0,07$) и массой 1 000 зёрен ($r=0,17\pm 0,07$), а также слабая отрицательная – с содержанием сырого белка ($r=-0,23\pm 0,07$); отмечена тесная положительная корреляция между вегетационным периодом и количеством листьев на растении ($r=0,82\pm 0,04$), содержанием танинов в зерне и окраской зерновки ($r=0,84\pm 0,04$), средняя отрицательная – между содержанием сырого белка и крахмала ($r=-0,70\pm 0,05$).

3. Выявлены закономерности наследования и проявление гетерозиса по основным хозяйственно-ценным признакам и свойствам у гибридов F₁, полученных на стерильной основе. Наиболее высокая частота проявления гетерозиса и наследование по типу сверхдоминирования отмечено по признаку «количество зёрен в метёлке». В гибридных комбинациях, в основе которых использована ЦМС-линия Деметра, сверхдоминирование наблюдалось в 89% случаев, а со стерильной линией Джетта – в 95%.

4. Анализ комбинационной способности показал, что в селекционной работе на повышение урожайности зерна в качестве опылителей для создания высокогетерозисных гибридов следует использовать образцы СПЗС-16,

ЗСК 176/16, ЗСК 196/17, Норд 2 и ЗСК 34, которые характеризуются стабильно высокими оценками эффектов ОКС, а также ЗСК 196/17, ЗСК 231/16, ЗСК 1530/15 и ЗСК 500/16 с достоверно высокими вариансами СКС.

5. С помощью ДНК маркеров идентифицированы гены Rf1, Rf2, Rf5, Rf6 доминантные аллели которых, контролируют восстановление фертильности ЦМС типа А1:

- в результате скрининга 300 образцов сорго зернового по гену восстановления фертильности Rf1 выделено 35 образцов. К ним относятся S bicolor IS 2341 SPV, Pop Sorghum, Кубанское 198/М-1, Кубанское красное 1677, М-61134, КС-2 ранний, V4В, Лазурит и др.;

- использование маркера Хtхр 297 по идентификации гена Rf2 у 305 образцов позволило выделить только 11 образцов с функциональным аллелем гена Rf2. К образцам с ампликоном характерным для восстановителей фертильности относятся: К18-1216, Славянка, Круста и др.;

- проведённый скрининг 313 образцов сорго позволил выделить 56 (18,5%) образцов, имеющих ген Rf5. К таким образцам относятся: ЗСК 296/17, ЗСК 298/17, ЗСК 408/17, ЗСК 425/17, ЗСК 814/17, ЗСК 838/17, ЗСК 404/17, Лазурит 486/17, ЗСК 231/16, Зерноградское 204/4, ЗСК 34, Seso 1 и др.;

- из 313 образцов, изученных с помощью ПЦР-анализа на наличие гена Rf6 выделено 186 (59,4%) образцов с соответствующим размером ампликона. Доминантный аллель отмечен у образцов ЗСК 163/17, ЗСК 176/16, ЗСК 196/17, Ринг 28, ЗСК 4, Скороспелое 461/17, Крупнозёрное 2230, Лазурит 488/17, ЗСК 2262/17, ЗСК 1568/17, Отбор 100, ЗСК 449/17, ЗСК 1530/16, Норд 2, 144 ф/8, ЗСК 411/16, ЗСК 500/16 и др.

- выделено 53 образца, имеющих в своем генотипе два доминантных гена Rf. Образцы ОН-35ф, К-10989, КХ №10, КХ №12 и другие, характеризуются наличием генов Rf1 и Rf6; ЗСК 2262/17, ЗСК 1568/17, КХ №6 сочетают гены Rf2 и Rf6; НК-90, Краснозёрное 79, Gassabi, Yulum 3, ЗСК 425/17 и другие – Rf5 и Rf6. Кроме того, выделены образцы с тремя генами Rf в доминантном состоянии: Китайское 8 (Rf1Rf1Rf2Rf2Rf6Rf6), ЗСК 176/17 и СПЗС-6 (Rf1Rf1Rf5Rf5Rf6Rf6).

6. На основе гибридологического анализа гибридов второго поколения сорго зернового полученных на фертильной основе установлено, что по длине метёлки, массе 1 000 зёрен, содержанию крахмала, лизина в белке различия между родительскими формами составляют 1-3 гена. По содержанию сырого белка выявлены различия в 1-4 гена, а в отдельных комбинациях наблюдалось отсутствие различий.

7. Оценка холодостойкости допущенных к использованию в РФ сортов сорго зернового и перспективных линий позволила выявить наиболее стрессоустойчивые формы. Высокую холодостойкость (всхожесть 85,7-98,1% к контролю) проявили, тёмноокрашенные сорта Орловское, Лучистое, белозёрные сорта Атаман, Есаул, а также образцы ЗСК 600/15, Уч. 6/17, ЗСК 445/16, ЗСК 421/16, Крупинка 117/6, Зерноградское 88/4, Лазурит 601/16, ЗСК 540/15, ЗСК 427/10, ЗСК 420/16.

8. Анализ наследования холодостойкости гибридов F₁ позволил установить, что привлечение в гибридизацию ЦМС-линии Деметра с высокой устойчивостью к пониженным температурам привело к созданию гибридов с уровнем холодостойкости соответствующая средней, выше средней и высокой. Причём, большая часть (68%) относились к I группе (высокой) холодостойкости. Использование в гибридизацию ЦМС-линии Джетта с слабой устойчивостью снизило количество гибридов, проявивших сверхдоминирование. При этом, комбинаций, относящихся к I группе устойчивости выявлено не было.

9. На основе полученной общей хлебопекарной оценки определена возможность использования муки из зерна сорго при выпечке хлеба. Муку сортов сорго зернового Хазине 28, Орловское, Зерноградское 53 рекомендуется включать в рецептуру не более 15%, сортов Атаман, Великан, Лучистое – не более 20%, сорта Зерноградское 88 – не более 25%. Кроме того, установлена возможность использования сорго зернового в качестве страховой культуры как сырья для крахмалопаточной промышленности. При этом, лучшие результаты (выход крахмала 65,9-67,7%) показали сорта сорго зернового Хазине 28, Атаман и Лучистое.

10. В результате селекционной работы созданы и внесены в Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию в РФ сорта сорго зернового Зерноградское 88, Атаман, Есаул и гибрид Дюйм. Передан на Государственное сортоиспытание новый сорт сорго зернового Сотник, существенно превышающий стандарт по урожайности зерна.

11. Возделывание новых сортов и гибрида сорго зернового экономически выгодно. Условный чистый доход составляет 22110-28767 руб./га., а рентабельность – 89-113%. Энергетическая оценка эффективности технологии их возделывания показала, что изучаемые сорта по выходу энергии с урожаем были на уровне 82,0-95,0 ГДж/га, а чистый энергетический доход составил 68,7-81,2 ГДж/га. Энергоёмкость продукции по изучаемым сортам находилась в пределах 2,29-2,55 ГДж/т, что позволило получить энергии с урожаем в 6,1-6,9 раза больше, чем было затрачено на производство этой продукции.

ПРЕДЛОЖЕНИЯ СЕЛЕКЦИОННОЙ ПРАКТИКЕ И ПРОИЗВОДСТВУ

1. В селекционных программах по сорго зерновому, направленных на:

- создание раннеспелых сортов и гибридов использовать образцы Перспективный 1, Огонёк, Старт, Азарт, Зенит, Кремовое, Славянка, Премьера, Рось, Белочка, Солнышко, Камышинское 75, Сандал – суданка зерновая, Пионер 88/Фетерита ранняя 141 и др.;

- улучшение технологичности – низкорослые образцы Камышинское 31, Камышинское 64, Камышинское 75, Рось, Ким, Солнышко, Аванс, Пищевое 35, Старт, Факел, Пищевое 614, Кремовое, Восторг, Азарт, Топаз, Зерноградское 53, Лучистое, Хазине 28, Орловское, Китайское 3, Китайское 6, Китайское 7, Геническое 9, Геническое 130, Геническое 11 улучшенное, Одесское 20ф, Майло карликовое 351, ТАМ 2694 В-В и образцы с сильной выдвинутостью ножки

метёлки (>21 см) Зерновое 1-14, Пионер 88/Фетерита ранняя 141, Сандал – суданка зерновая;

- увеличение продуктивности метёлки – высокоозернённые образцы КХ №8, Китайское 8, Китайское 7, В-10434, а также крупнозёрные образцы Сорго Абу-Себейн, Д. 1034/07, Feterita, Джугара 185, №61-13, Spur Feterita, Redhull Feterita, Аванс;

- повышение качества зерна – образцы, сочетающие высокое содержание сырого белка в зерне (13,0-13,9%) и лизина (2,79-3,14%) Рось, ЗСК 931/15, МСЛ-23-ф, Пионер 412/Миловское 6, Л-59, Белочка, Редлайн 66, Пионер 878 /Геническое бурое 129, О.О. Yellow Sooner Milo-2501; обладающие очень высоким содержанием крахмала в зерне (>75,0%) Лучистое, С-678, к-2436, Zine 84, к-2736, Наст 76, ЗР 88, Снежок 55, Sorghum vulgare, к-3025, 06-2031, line CPI 62230 IS84, R-116, Геническое 9, МСЛ-23-ф, КУ-1; низким содержанием танина (<0,23%): М-60366, к-6844, к-2736, Аист, к-5521, Сорго Абу-Себейн, Sorghum Feterita, Атаман, Зерноградское 204/4, Крымбел, Пионер 878 /Геническое бурое 129, Зерноградское 88.

2. Для создания гибридов сорго зернового с высокой устойчивостью к пониженным положительным температурам следует привлекать в селекционную работу наиболее холодостойкую ЦМС-линию Деметра.

3. С целью увеличения результативности подбора восстановителей фертильности при создании гибридов сорго зернового и ускорения селекционного процесса необходимо использовать ДНК-маркер Xtxp18 для выявления гена Rf1, при идентификации гена Rf2 – Xtxp 297, Rf5 – диагностический маркер Xnhsbm 1084, гена Rf5 – маркер SB 2386.

4. Более широко возделывать в сельскохозяйственном производстве высокопродуктивные, с высоким качеством зерна сорта сорго зернового Зерноградское 88, Атаман, Есаул, гибрид Дюйм, а также новый сорт Сотник после включения его в Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию в РФ.

5. Использовать зерно сорго зернового в качестве сырья для производства крахмала и муки, которую целесообразно включать до 15-25% в рецептуры при выпечке хлеба целевого назначения.

СПИСОК ОСНОВНЫХ РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК РФ:

1. **Ковтунов, В.В.** Типы наследования протеина в зерне гибридов F₁ сорго зернового / В.В. Ковтунов, С.И. Горпиниченко, П.И. Костылев // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2011. – № 66 (02). – С. 557-566. <http://ej.kubagro.ru/2011/02/pdf/13.pdf>

2. **Ковтунов, В.В.** Комбинационная способность родительских форм и типы наследования крахмала у гибридов F₁ сорго зернового / В.В. Ковтунов //

Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2011. – № 3 (30). – С. 157-160.

3. **Ковтунов, В.В.** Содержание лизина в зерне сорго и наследование этого признака у гибридов F₁ / В.В. Ковтунов, Н.А. Ковтунова, Н.И. Сарычева // *Зерновое хозяйство России*. – 2011. – № 6 (18). – С. 9-13.

4. **Ковтунов, В.В.** Основные направления использования сорго зернового / В.В. Ковтунов, С.И. Горпиниченко // *Зерновое хозяйство России*. – 2011. – № 6 (18). – С. 28-32.

5. Горпиниченко, С.И. Новый сорт сорго зернового Великан / С.И. Горпиниченко, О.А. Лушпина, В.В. Ковтунов // *Зерновое хозяйство России*. – 2012. – № 5 (23). – С. 12-14.

6. **Ковтунов, В.В.** Коллекция источников и доноров основных хозяйственно-ценных признаков сорго зернового / В.В. Ковтунов, Н.А. Ковтунова // *Зерновое хозяйство России*. – 2013. – № 1 (25). – С. 13-17.

7. Алабушев, А.В. Состояние и проблемы селекции сорго зернового / А.В. Алабушев, С.И. Горпиниченко, **В.В. Ковтунов** // *Зерновое хозяйство России*. – 2013. – № 5 (29). – С. 5-9.

8. Горпиниченко, С.И. Основные направления и результаты селекции и семеноводства сорго зернового в ГНУ ВНИИЗК Россельхозакадемии / С.И. Горпиниченко, **В.В. Ковтунов** // *Зерновое хозяйство России*. – 2013. – № 6 (30). – С. 16-20.

9. Ковтунова, Н.А. Наследование высоты растений у гибридов второго поколения разных групп сорго / Н.А. Ковтунова, **В.В. Ковтунов** // *Зерновое хозяйство России*. – 2014. – № 1 (31). – С. 9-12.

10. **Ковтунов, В.В.** Анализ динамики сортосмены сорго зернового, сахарного и суданской травы / В.В. Ковтунов, С.И. Горпиниченко, О.А. Лушпина // *Зерновое хозяйство России*. – 2014. – № 3 (33). – С. 15-17.

11. **Ковтунов, В.В.** Закономерности наследования сырого белка в зерне гибридов F₁-F₂ сорго зернового / В.В. Ковтунов, П.И. Костылев, Н.А. Ковтунова // *Аграрный вестник Урала*. – 2014. – № 9 (127). – С. 9-13.

12. **Ковтунов, В.В.** Наследование сырого жира и сырой клетчатки в зерне гибридов F₁ сорго зернового / В.В. Ковтунов, О.А. Лушпина // *Зерновое хозяйство России*. – 2015. – № 2 (38). – С. 14-17.

13. **Ковтунов, В.В.** Наследование основных количественных признаков гибридами первого поколения сорго зернового / В.В. Ковтунов // *Зерновое хозяйство России*. – 2015. – № 3 (39). – С. 37-39.

14. **Ковтунов, В.В.** Оценка коллекционных образцов сорго зернового на скороспелость / В.В. Ковтунов, О.А. Лушпина, Н.Н. Сухенко // *Зерновое хозяйство России*. – 2015. – № 4 (40). – С. 31-34.

15. Яцына, А.А. Активность полифенолаксидазы в зерне сорго (*Sorghum bicolor* L.) / А.А. Яцына, **В.В. Ковтунов** // *Зерновое хозяйство России*. – 2015. – № 6 (42). – С. 26-30.

16. **Ковтунов, В.В.** Закономерности наследования крахмала в зерне гибридов F₂ сорго зернового / В.В. Ковтунов, П.И. Костылев, Н.А. Ковтунова, Н.Г. Игнатьева // *Аграрный вестник Урала*. – 2015. – № 7 (137). – С. 6-11.

17. Лушпина, О.А. Коллекционный материал сорго зернового для селекции на продуктивность / О.А. Лушпина, Н.Н. Сухенко, **В.В. Ковтунов** // Зерновое хозяйство России. – 2016. – № 3 (45) – С. 13-16.

18. Метлина, Г.В. Продуктивность и энергетическая эффективность возделывания сортов сорго зернового / Г.В. Метлина, **В.В. Ковтунов**, О.А. Лушпина, С.А. Васильченко // Зерновое хозяйство России. – 2016. – № 3 (45). – С. 54-57.

19. Горпиниченко, С.И. Результаты работы научно-исследовательских учреждений Российской Федерации по культуре сорго / С.И. Горпиниченко, Н.А. Ковтунова, **В.В. Ковтунов** // Зерновое хозяйство России. – 2017. – № 3 (51). – С. 14-18.

20. **Ковтунов, В.В.** Питательная ценность зерна сорго / В.В. Ковтунов, Н.А. Ковтунова, О.А. Лушпина, Н.Н. Сухенко, Н.Г. Игнатьева // Зерновое хозяйство России. – 2017. – № 3 (51). – С. 51-54.

21. **Ковтунов, В.В.** Селекция белозёрных сортов сорго зернового / В.В. Ковтунов, Н.А. Ковтунова, О.А. Лушпина, Н.Н. Сухенко, Н.Г. Игнатьева // Зерновое хозяйство России. – 2018. – № 1 (55). – С. 17-20.

22. **Ковтунов, В.В.** Посевная площадь и урожайность сорго зернового / В.В. Ковтунов // Зерновое хозяйство России. – 2018. – № 3 (57). – С. 47-49.

23. Ковтунова, Н.А. Биоразнообразие сорго / Н.А. Ковтунова, **В.В. Ковтунов** // Зерновое хозяйство России. – 2018. – № 5 (59). – С. 49-52.

24. **Ковтунов, В.В.** Новый белозёрный сорт сорго зернового Атаман / В.В. Ковтунов, Н.А. Ковтунова, О.А. Лушпина, Н.Н. Сухенко, Н.Г. Игнатьева // Зерновое хозяйство России. – 2019. – № 1 (61). – С. 14-17.

25. **Ковтунов, В.В.** Антиоксидантные свойства зерна сорго / В.В. Ковтунов, Н.А. Ковтунова, Н.С. Кравченко // Достижения науки и техники АПК. – 2019. – Т. 33, № 6. – С. 37-39.

26. **Ковтунов, В.В.** Изучение образцов сорго зернового из Восточной Африки в условиях Ростовской области / В.В. Ковтунов, Н.А. Ковтунова, О.А. Лушпина, Н.Н. Сухенко, Е.А. Шишова, Н.С. Кравченко // Зерновое хозяйство России. – 2020. – № 6 (72). – С. 39-44.

27. Алабушев, А.В. Особенности наследования лизина у гибридов второго поколения зернового сорго / А.В. Алабушев, **В.В. Ковтунов**, П.И. Костылев, Н.А. Ковтунова, Н.С. Кравченко // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2020. – Т. 21, № 3. – С. 273-282.

28. Барановский, А.В. Оценка современных сортов сорго зернового для выращивания в условиях Луганской области / А.В. Барановский, **В.В. Ковтунов**, Т.М. Косогова, В.В. Яланский, С.Н. Попелнуха // Вестник аграрной науки. – 2021. – № 2 (89). – С. 23-32.

29. **Ковтунов, В.В.** Оценка коллекционных образцов сорго зернового для селекции новых сортов / В.В. Ковтунов, Н.Н. Сухенко, О.А. Лушпина, Ю.В. Репешко // Зерновое хозяйство России. – 2022. – Т. 14, № 4. – С. 46-51.

Статьи, опубликованные в изданиях, входящих в перечень международных реферативных баз данных Scopus:

30. **Kovtunov, V.** The use of the Ugandan initial grain sorghum forms in the hybridization of the sorghum varieties for forage and food / V. Kovtunov, N. Kovtunova // E3S Web of Conferences. XIV International Scientific and Practical Conference “State and Prospects for the Development of Agribusiness – INTERAGROMASH 2021”. – 2021. – Vol. 273. – N. 13009.

31. **Kovtunov, V.V.** The indices of sorghum seed quality in dependence on ecological and geographical origin / V.V. Kovtunov, N.A. Kovtunova, A.S. Popov // IOP Conf. Series: Earth and Environmental. – 2021. – Science 843. – N. 012007.

32. Nekrasova, O.A. Biochemical indicators of grain sorghum varieties in the Rostov region / O.A. Nekrasova, E.V. Ionova, N.S. Kravchenko, N.G. Ignateva, **V.V. Kovtunov** // Environmental Footprints and Eco-Design of Products and Processes. – 2022. – P. 217-225.

Авторские свидетельства:

33. Авторское свидетельство № 61153 от 02.12.2013 на сорт сорго зернового Зерноградское 88 / **В.В. Ковтунов**, Н.А. Беседа, С.И. Горпиниченко, Н.Г. Игнатьева, О.А. Лушпина, Г.В. Метлина, М.Г. Муслимов.

34. Авторское свидетельство № 61181 от 03.12.2013 на гибрид сорго зернового Дюйм / **В.В. Ковтунов**, Н.А. Беседа, Л.В. Вахрушева, Г.П. Герасименко, С.И. Горпиниченко, О.А. Лушпина, Н.И. Сарычева.

35. Авторское свидетельство № 67903 от 18.10.2018 на сорт сорго зернового Атаман / **В.В. Ковтунов**, Т.В. Баранчук, С.И. Горпиниченко, Г.М. Ермолина, Н.Г. Игнатьева, Н.А. Ковтунова, О.А. Лушпина, Г.В. Метлина, А.Е. Романюкин, Н.Н. Сухенко, Е.А. Шишова.

Статьи в прочих российских изданиях, материалах конференций:

36. **Ковтунов, В.В.** Содержание питательных веществ в зерне сорго и корреляции между ними / В.В. Ковтунов, С.И. Горпиниченко, П.И. Костылев // Вестник аграрной науки Дона. – 2009. – № 2. – С. 69-72.

37. **Ковтунов, В.В.** Качество зерна сорго зернового и пути его улучшения / В.В. Ковтунов // Кукуруза и сорго. – 2009. – № 6. – С. 10-11.

38. **Ковтунов, В.В.** Основные показатели качества зерна сорго и их взаимосвязь / В.В. Ковтунов, С.И. Горпиниченко, П.И. Костылев, Н.Г. Игнатьева // Кукуруза и сорго. – 2010. – № 1. – С. 6-7.

39. **Ковтунов, В.В.** Селекция сорго зернового на содержание крахмала / В.В. Ковтунов, С.И. Горпиниченко // Зерновое хозяйство России. – 2010. – № 6 (12). – С. 32-34.

40. **Ковтунов, В.В.** Исходный материал для селекции сорго зернового / В.В. Ковтунов, С.И. Горпиниченко, Н.А. Беседа // Вестник аграрной науки Дона. – 2010. – № 2. – С. 76-80.

41. **Ковтунов, В.В.** Комбинационная способность отдельных количественных признаков характеризующих качество зерна сорго / В.В. Ковтунов // «Конкурентоспособная научная продукция – АПК России»: Материалы Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых. – Казань: Атекс, 2011. – С. 93-96.

42. **Ковтунов, В.В.** Крупяное направление в селекции сорго зернового / В.В. Ковтунов, С.И. Горпиниченко, О.А. Лушпина, Н.Г. Игнатьева // Донская аграрная научно-практическая конференция «Инновационные пути развития агропромышленного комплекса: задачи и перспективы»: международный сборник научных трудов «Стабилизация производства продукции растениеводства в условиях изменяющегося климата». – Зерноград: ФГБОУ ВПО АЧГАА, 2012. – С. 222-228.

43. **Ковтунов, В.В.** Зерноградское 88 – новый раннеспелый сорт сорго зернового / В.В. Ковтунов, С.И. Горпиниченко, О.А. Лушпина // Научное обеспечение агропромышленного комплекса Юга России. Сборник докладов Региональной научно-практической конференции. 22 мая 2013 года. I часть. – Майкоп: изд-во «Магарион О.Г.», 2013. – С. 76-79.

44. **Ковтунов, В.В.** Корреляционные связи у сорго зернового / В.В. Ковтунов, Н.А. Ковтунова // Роль ботанических садов в сохранении и мониторинге биоразнообразия. Сборник материалов. – Ростов-на-Дону: Издательство Южного федерального университета, 2015. – С. 390-393.

45. Алабушев, А.В. Сорго зерновое – перспективное сырьё для производства крахмала / А.В. Алабушев, **В.В. Ковтунов**, О.А. Лушпина // Достижения науки и техники АПК. – 2016. – Т. 30, № 7. – С. 64-66.

46. Алабушев, А.В. Оценка новых сортов сорго зернового при использовании в хлебопечении / А.В. Алабушев, **В.В. Ковтунов**, Н.С. Кравченко, О.А. Лушпина, Н.Г. Игнатьева // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2017. – № 3 (54). – С. 144-150.

Научно-методическая рекомендация и каталог:

47. Методические указания по производству гибридных и сортовых семян сорго в Ростовской области / А.В. Алабушев, С.И. Горпиниченко, **В.В. Ковтунов**, О.Д. Шарова. – Ростов н/Д. : Книга, 2014. – 56 с.

48. Каталог источников и доноров хозяйственно-ценных признаков сорго зернового, сахарного и суданской травы / Н.А. Ковтунова, С.И. Горпиниченко, **В.В. Ковтунов**, Г.М. Ермолина, О.А. Лушпина, Е.А. Шишова. – Ростов н/Д. : Книга, 2014. – 24 с.

Монография:

49. Алабушев, А.В. Качество зерна коллекционных образцов сорго зернового / А.В. Алабушев, **В.В. Ковтунов**, Н.А. Ковтунова. – Ростов н/Д: ЗАО «Книга», 2013. – 144 с.