

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ НАУЧНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ
«АГРАРНЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР «ДОНСКОЙ»
(ФГБНУ «АНЦ «Донской»)

На правах рукописи

КОВТУНОВ ВЛАДИМИР ВИКТОРОВИЧ

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

4.1.2 - Селекция, семеноводство и биотехнология растений

Диссертация
на соискание ученой степени
доктора сельскохозяйственных наук

Научный консультант:
доктор сельскохозяйственных наук,
профессор Костылев Павел Иванович

Зерноград 2023

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
ГЛАВА 1 СОСТОЯНИЕ ИЗУЧЕННОСТИ ИССЛЕДУЕМЫХ ВОПРОСОВ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)	
1.1 Значение культуры и посевные площади сорго.....	13
1.2 История происхождения и классификация сорго.....	19
1.3 Количественные признаки и биологические свойства сорго	23
1.4 Биохимический состав зерна сорго зернового.....	32
1.5 Теоретические основы гетерозиса.....	51
1.6 ЦМС в селекции сорго.....	55
1.7 Основные принципы подбора родительских пар для скрещиваний	58
1.8 Комбинационная способность	60
1.9 Влияние внешних факторов окружающей среды на урожайность и качество зерна сорго	63
ГЛАВА 2 УСЛОВИЯ, МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ	
2.1 Почвенно-климатические условия	68
2.2 Материалы исследований.....	77
2.3 Методика проведения исследований	83
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.....	90
3.1.1 Продолжительность периода вегетации «всходы – полная спелость»	90
3.1.2 Признаки, определяющие технологичность сорго зернового.....	97
3.1.3 Урожайность зерна и её основные элементы.....	102
3.2 Изучение показателей качества зерна сорго	117
3.2.1 Сырой белок и лизин	117
3.2.2 Крахмал.....	126

3.2.3 Сырая клетчатка.....	129
3.2.4 Сырой жир	132
3.2.5 Сырая зола	135
3.2.6 Танин	137
3.2.7 Овсяные кормовые единицы и обменная энергия.....	141
ГЛАВА 4 ГЕТЕРОЗИСНАЯ СЕЛЕКЦИЯ СОРГО ЗЕРНОВОГО.....	144
4.1 Селекция на раннеспелость, технологичность и повышение урожайности зерна.....	144
4.2 Селекция на улучшение качества зерна	163
4.3 Использование ПЦР-анализа в селекции сорго зернового на гетерозис	180
ГЛАВА 5 СЕЛЕКЦИЯ СОРГО ЗЕРНОВОГО НА ФЕРТИЛЬНОЙ ОСНОВЕ	188
5.1 Подбор родительских пар для гибридизации контрастных по морфологическим признакам и биологическим свойствам, выявление закономерностей их наследования	188
5.1.1 Закономерности наследования длины метёлки	188
5.1.2 Закономерности наследования массы 1 000 зёрен	197
5.1.3 Закономерности наследования содержания сырого белка	203
5.1.4 Закономерности наследования содержания лизина в белке.....	214
5.1.5 Закономерности наследования содержания крахмала.....	223
5.2 Подбор пар и гибридизация на основе принципа эколого-географического происхождения	232
ГЛАВА 6 СЕЛЕКЦИЯ СОРГО ЗЕРНОВОГО НА ХОЛОДОСТОЙКОСТЬ.....	254
6.1 Оценка перспективных сортов сорго зернового на холодостойкость.....	254
6.2 Анализ наследования холодостойкости у гибридов F ₁	256
ГЛАВА 7 РЕЗУЛЬТАТЫ СЕЛЕКЦИОННОЙ РАБОТЫ ПО СОРГО ЗЕРНОВОМУ.....	261
ГЛАВА 8 ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОРГО ЗЕРНОВОГО В ПЕРЕРАБОТКЕ	271
8.1 Хлебопекарная оценка сортов сорго зернового.....	271
8.2 Изучение сортов сорго зернового как сырья для получения крахмала.....	283

ГЛАВА 9 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ И БИОЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ НОВЫХ СОРТОВ И ГИБРИДА СОРГО ЗЕРНОВОГО	286
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	289
ПРЕДЛОЖЕНИЯ СЕЛЕКЦИОННОЙ ПРАКТИКЕ И ПРОИЗВОДСТВУ	293
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	295
ПРИЛОЖЕНИЯ	346

ВВЕДЕНИЕ

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 ре-

есть 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 про-

грамму, 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 Лашёнов 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 «Роскрахмалпатока», 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».

Благодарность. Соискатель искренне благодарит научного консультанта – профессора, доктора сельскохозяйственных наук, главного научного сотрудника ФГБНУ «АНЦ «Донской» Костылева П.И. за поддержку, ценные советы при анализе и обсуждении полученных результатов. Глубокая признательность выражается сотрудникам лаборатории селекции и семеноводства сорго зернового, лаборатории селекции и семеноводства сорго кормового, лаборатории биохимической оценки селекционного материала и качества зерна, лаборатории маркерной селекции, а также лаборатории физиологии растений ФГБНУ «АНЦ «Донской» за помощь в получении экспериментального материала. Особая благодарность выражается коллективу ВНИИК – филиал ФГБНУ «ФИЦ картофеля имени А.Г. Лорха» за проведённую по договору о научно-техническом сотрудничестве оценку сортов сорго зернового селекции ФГБНУ «АНЦ «Донской» по выходу крахмала и предоставление полученных результатов.

ГЛАВА 1 СОСТОЯНИЕ ИЗУЧЕННОСТИ ИССЛЕДУЕМЫХ ВОПРОСОВ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

1.1 Значение культуры и посевные площади сорго

Сорго (*Sorghum bicolor* L. Moench) относится к числу наиболее важных сельскохозяйственных культур. По химическому составу и энергетической ценности оно близко к кукурузе, незначительно отличаясь от него меньшим количеством жира и большим содержанием протеина (Исаков, 1987; Асташов и др., 2009).

Зерно сорго имеет широкое применение (Delserone, 2007). Более половины (55%) всего производимого в мире сорго используется в пищу человеком (Reddy et al., 2010). Только в Африке и Юго-Восточной Азии сорго обеспечивает продовольствием более 500 миллионов человек (Morris et al., 2013 a; Krishnananda et al., 2019). Таким образом, для миллионов людей, проживающих в полузасушливых тропиках, оно является одним из главных источников белка (Fano, 2017; Fantaye, 2018). Во многих частях Африки, а также в арабской кухне сорго используется для приготовления супов, каш и лепешек. Из зерна сорго изготавливают попкорн (Delserone, 2007). В последние годы наблюдается увеличение спроса на специальные продукты, которые не содержат глютен (Taylor et al., 2006). В связи с отсутствием в составе запасных белков сорго глютеинов, пищевые продукты из него могут использоваться для питания людей, больных целиакией (непереносимость глютена), вынужденных соблюдать безглютениновую диету (Эльконин и др., 2019 а; Эльконин и др., 2019 б). В связи с этим зерно сорго всё чаще используется в хлебопечении и в виде круп для решения данной проблемы (Delserone, 2007). В зависимости от применяемого сорта выход крупы варьирует от 58,7 до 82,4%. Сорговая крупа по содержанию основных показателей качества (белки, жиры, углеводы) и пищевым достоинствам близка к рису и кукурузе (Захаренко и др., 1990; Метлин и др., 1995 а; Ишин и др., 2004). Крупа из сорго стимулирует снижение уровня холестерина и повышение аппетита (Бритвин и др., 2021). Кроме

того, макаронные изделия, такие как спагетти и макароны, могут быть приготовлены из смесей комбинированной муки, с включением к пшеничной муке 30-50% сорго (Hugo et al., 2000; Hugo et al., 2003).

Как в развитых, так и в развивающихся странах оно является вторым по важности после кукурузы источником концентрированных кормов (Tesso et al., 2005). Около 33% выращенного сорго в мире используется на кормовые цели (Reddy et al., 2010). Зерно сорго по содержанию основных питательных веществ имеет близкие значения с другими зернофуражными культурами (Tesso et al., 2005; Даниленко и др., 2010). Например, по содержанию незаменимых аминокислот оно равноценно зерну кукурузы (Rostagno, 2000). Однако, отличается более высоким уровнем макро- и микроэлементов, а также превышает кукурузу в 1,5 раза по содержанию кальция, в 1,3 и 4 раза магния и калия, соответственно. Зерно сорго по макроэлементному составу сравнимо с зерном ячменя. По содержанию основных микроэлементов также не уступает ему (Стафийчук, Телятникова, 1967; Щербаков, 1983).

В состав зерна сорго входят фосфорсодержащие вещества (фосфолипиды, фитин и минеральные соли фосфора, магния и калия) провитамин каротин, рибофлавин, витамины группы В. Наиболее высоким содержанием каротина характеризуются сорта и гибриды сорго с красной и жёлтой окраской зерновки (Шорин и др., 1973; Шепель, 1989). Помимо фосфора и калия, оно богато железом и цинком (Anglani, 1998).

По данным ряда авторов (Шепель, 1994; Алабушев и др., 2004; Алабушев, 2007; Левахин и др., 2006) в 100 кг зерна сорго содержится от 118 до 130 кормовых единиц, а его переваримость достигает 86%. Оно характеризуется высокой питательностью. Замена в рационе телят и свиней зерна ячменя на зерновое сорго значительно увеличивает их суточный прирост (Вахопский, 2002; Левахин и др., 2006). По мнению Н.Т. Гайко и Н.Ф. Шимель (1990) в рационах свиней можно включать до 25-30% зерна сорго без снижения среднесуточных привесов. Использование зерна сорго оказывает благоприятное воздействие на рост и развитие цыплят. Яйценоскость птиц, при кормлении зерном сорго, повышается на 25-30%

по сравнению с пшеницей и кукурузой. При кормлении зерном сорго прудовых рыб, их продуктивность увеличивается на 34% по сравнению с традиционными комбикормами (Шепель, 1994). Проведённые исследования по кормовой оценке зерна сорго в кормлении овец, не выявили отрицательного влияния на прирост живой массы ярок. Замена зерна ячменя в рационе овец на зерно сорго также отрицательно не повлияло на длину и прочность шерстяных волокон (Володин и др., 2017 а).

Таким образом, зерно сорго характеризуется высокими кормовыми достоинствами, что определяет возможность успешно использовать его в качестве концентрированного корма для сельскохозяйственных животных, как в чистом виде, так и в составе комбикормов (Стафийчук, Телятникова, 1967; Щербаков, 1983).

Кроме того, сорго применяется в качестве сырья для выработки биоэтанола, а также на другие промышленные цели (Suresh et al., 1999; Aggarwal et al., 2001; Mofokeng et al., 2017). Из 100 кг зерна сорго можно получить 65 кг крахмала по своим характеристикам близкий к картофельному и превышающий по качеству кукурузный (Шепель, 1990). Крахмал из сорго является хорошим сырьём для производства спирта и сахаристых веществ (Шепель, 1994; Мони́на, Костина, 1999; Сыркина, Никонорова, 2020). В Китае сорго используется в качестве основного ингредиента для приготовления алкогольных напитков, а в Соединенных Штатах Америки – при производстве безглютенового пива (Delserone, 2007). В Нигерии и Южной Африке сорго промышленно используется для производства светлого пива (Dicko et al., 2006). Сухой зародыш зерна сорго характеризуется содержанием жира до 55%. Он может использоваться в качестве сырья для получения масла, которое по физико-химическим свойствам и кислотному составу близкое кукурузному (Филиппова, 1991; Шепель, 1994). Среди продуктов переработки зерна сорго наиболее распространённым в странах с традиционно высоким потреблением в пищу зерна этой культуры является сорговая мука. Её используют для частичной замены пшеничной муки при производстве хлебобулочных и мучных кондитерских изделий (пряники, кексы) (Малиновский и др., 1992).

Широкое использование сорго связано с его естественным генетическим и фенотипическим разнообразием. Сорго обладает высоким уровнем устойчивости к засухе и жаре, с которой не могут сравниться большинство основных зерновых культур (Tuinstra et al., 1997; Алабушев, 2020).

В мировом земледелии по объёму производства и площади посева сорго занимает пятое место после пшеницы, риса, кукурузы, и ячменя (Boyles et al., 2019; Серебренникова, Анисимова, 2022; Сыркина, Никонорова, 2022). Оно возделывается в 86 странах мира при годовом валовом сборе зерна на уровне 58 млн. тонн (Fano, 2017; Fantaye, 2018). При этом, посевные площади сорго зернового в мире, по данным FAOSTAT составляют 39,2-44,7 млн. га. (рисунок 1).

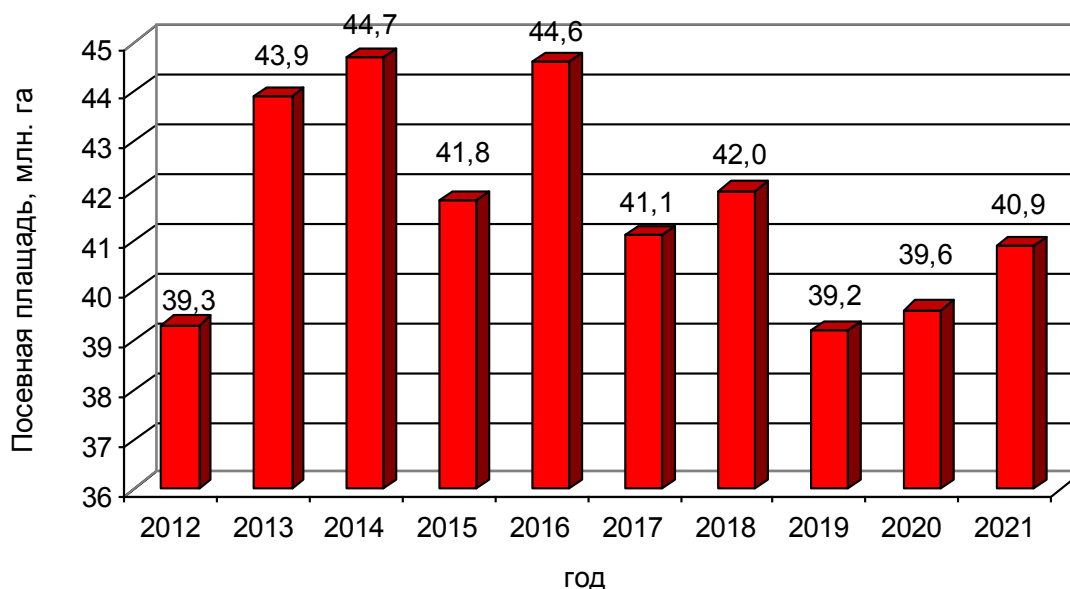


Рисунок 1 – Посевная площадь сорго в мире, 2012-2021 гг.

Основная доля (75%) посевной площади сорго приходится на США, Мексику, Индию, Нигерию, Эфиопию, Китай, Судан, Нигер, Центральноафриканскую Республику, Буркина-Фасо и Мали (Fano, 2017; Fantaye, 2018). По сравнению с другими континентами, в Европе сорго до сих пор не имеет большого распространения. Объем производства составляет около 2% от мирового производства. Причём, 90% площадей и производства зернового сорго в Европе приходится на Францию, Италию, Россию и Украину (Windpassinger, 2016).

Несмотря на ценные биологические особенности, высокое качество зерна и универсальность использования, в России сорго не получило ещё соответствующего распространения и под неё продолжают выделять незначительные посевные площади. Согласно данным Единой межведомственной информационно-статистической системы в последние годы (2012-2021 гг.) площадь посева сорго в России варьировала от 54,7 до 228,7 тыс. га (рисунок 2).

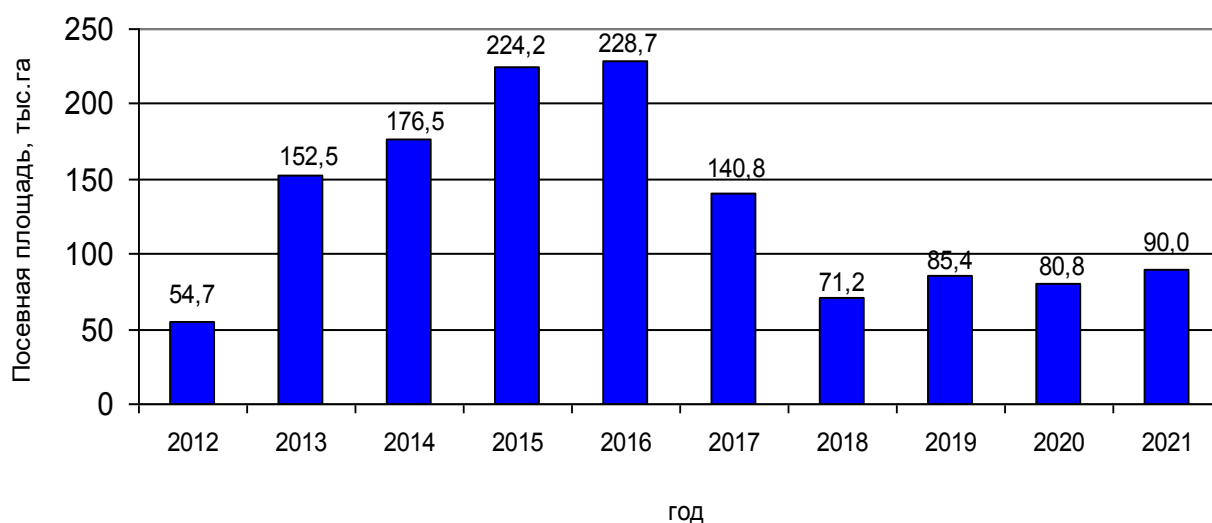


Рисунок 2 – Посевная площадь сорго в России, 2012-2021 гг.

Основной причиной недостаточно широкого внедрения сорго в России и стабильного увеличения её посевной площади считается слабое развитие животноводства, которое является главным его потребителем (Алабушев и др., 2013; Ковтунов, 2018; Сыркина и др., 2021).

По своим природно-климатическим условиям регионы выращивания сорго находятся в зонах от крайне засушливых (Поволжье) до зон неустойчивого и достаточного увлажнения (Северный Кавказ). В крайне засушливой зоне возделывания с количеством осадков 200-250 мм урожайность зерна сорго зерновое способно сформировать на уровне 1,0-2,0 т/га, в засушливой зоне (250-350 мм осадков) – 2,0-2,5 т/га, в зоне неустойчивого увлажнения (350 мм и более) – 3,0-6,0 т/га, а в зоне достаточного увлажнения и на орошении уровень урожайности сорго находится в пределах 7,0-10,0 т/га (Алабушев, Анипенко, 2002). Способность фор-

мировать данной культурой высокую урожайность зерна (3-6 т/га) в условиях недостаточного увлажнения и высокой температуры отмечается в исследованиях Костылевой Л.М. и Костылева П.И. (2002 а).

В работе А.В. Алабушева и Л.Н. Анипенко (2002) указывается, что в период с 1966 по 2000 гг. основными районами производства зернового сорго в России являлись Северный Кавказ (70-80%), Поволжье (12-18%) и Центральное Черноземье (5-10%). В настоящее время основные регионы возделывания сорго: Приволжский (28,5-141,7 тыс. га) и Южный (22,3-94,0 тыс. га) федеральный округ. На долю остальных регионов приходится 2,4-13,7 тыс. га (Единая межведомственная информационно-статистическая система) (рисунок 3).

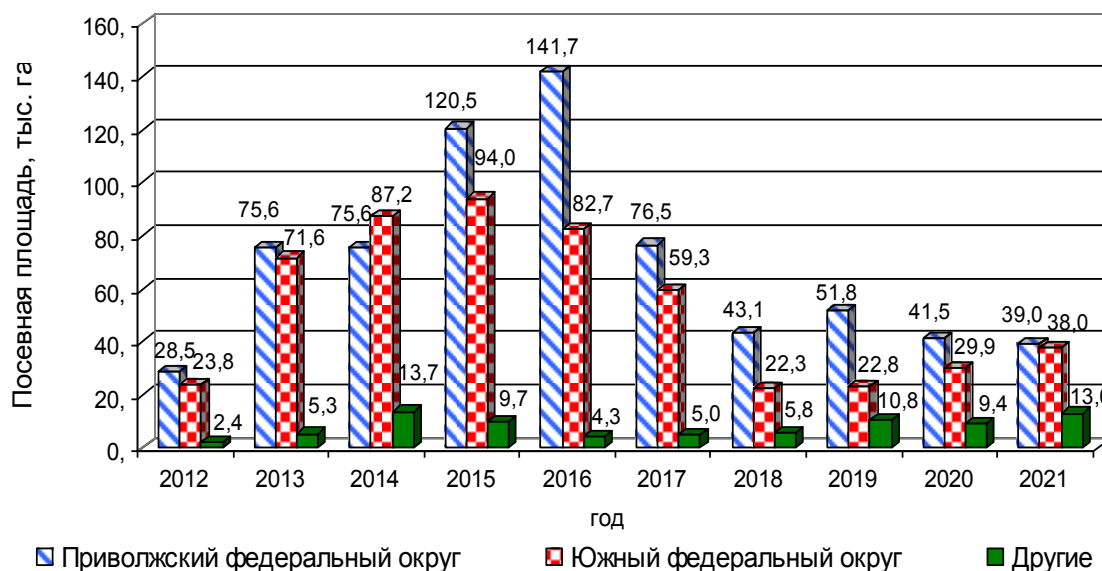


Рисунок 3 – Распределение посевной площади сорго в России по федеральным округам, 2012-2021 гг.

В связи с реформами в АПК необходимы изменения системы севооборотов и структуры посевных площадей, включение культур, способных формировать высокий и стабильный урожай во всех засушливых зонах России. При выращивании культур на зернофураж предпочтение должно быть отдано сорго зерновому. Замена зернофуражных и кормовых культур на сорго в зонах с годовым количе-

ством осадков 250-300 мм должна быть произведена на 40% посевных площадей, 300-400 мм – на 12-25%, 450-500 мм – на 10-15% (Алабушев, 2012).

Таким образом, зерновое сорго является очень ценной, но пока мало распространённой в России зернофуражной культурой. Однако, в связи с устойчивой тенденцией на протяжении последних лет к увеличению среднегодовой температуры и связанной с этим глобальным потеплением климата, значение культуры сорго, а соответственно и посевные площади, по мнению Л.А. Эльконина и др., (2019 б), будут несомненно возрастать.

1.2 История происхождения и классификация сорго

Род Сорго (*Sorghum Moench*) относится к классу однодольных (*Monocotyledones*), семейству злаковых (*Poaceae*), трибе бородачевниковых (*Andropogoneae*) (Алабушев и др., 2003).

Как сельскохозяйственная культура, сорго известна с древнейших времён. В связи с этим, о её месте происхождения у учёных нет единого мнения (Дремлюк, 2008).

С точки зрения Линнея и Витра, родиной сорго считается Индия, где его возделыванием занимались за 3 000 лет до нашей эры. В то же время, диких форм сорго в Индии найдено не было. В Китае сорго известно за 2 000 лет до нашей эры (Щербаков, 1983). В качестве наиболее вероятного центра происхождения выделяется Африка. Ряд авторов утверждают, что сорго возникло около 5 000-7 000 лет назад в северо-восточной Африке, где в настоящее время располагаются Эфиопия и Судан. Существуют эволюционные доказательства в поддержку этого утверждения, такие как широкое видовое разнообразие сорго, культивируемых в регионе, а также все ещё преобладающие здесь разнообразные формы диких видов сорго (Wendorf et al., 1992; Ayana and Bekele, 1998; Rich et al., 2004; Fantaye, 2018). Из своего центра происхождения культура распространилась в другие части Африки, Индии, Юго-Восточной Азии, Австралии, США и другие страны, где она переросла в новые виды, культивируемые в настоящее время (Fantaye, 2018).

Имеется также гипотеза, что происхождение культуры в одинаковой степени связано с Африкой, Индией и Китаем, где её возделывание начато самостоятельно (Щербаков, 1983).

Наиболее древней зоной соргосеяния в нашей стране являются Приморский и Хабаровский край, особенно районы, имеющие общую границу с Китаем. Здесь сорго начали возделывать ещё 2 500-3 000 лет назад (Алабушев, Анипенко, 2002; Алабушев и др., 2017). На рубеже XVIII-XIX веков культура сорго получила распространение в европейской части России, и в первую очередь на Северном Кавказе (Шепель, 1994; Алабушев, 2000). С 1901 г. начали проводиться первые опыты по акклиматизации сорго в этой зоне. Они выявили высокую продуктивность и хозяйственную ценность культуры (Щербаков, 1983). На Дону опыты по сорго были заложены с 1912 г. в Ростово-Нахичеванской областной сельскохозяйственной опытной станции. Исследования показали, что сорго является важной продовольственной и кормовой культурой (Шепель, 1994). Селекционная работа по сорго на Дону была организована в 1963 г. на основе селекционного материала мировой коллекции ВИР и образцов, привезённых из Дагестанского НИИСХ (Исаков, 1983).

Сорго обладает относительно небольшим геномом (~ 730 Mb), состоящий из 34 000-40 000 генов. Геном разбит на десять хромосом (Dicko et al., 2006; Barnaud et al., 2008; Paterson et al., 2009). Впервые последовательность генома сорго представлена в 2009 г. (Paterson et al., 2009). Секвенирование всего генома сорго выявило генетическое разнообразие, которое еще предстоит в полной мере использовать для улучшения хозяйственно-ценных признаков и свойств (Paterson et al., 2009; Mace et al., 2013).

Геном сорго имеет значительное сходство последовательностей с геномом сахарного тростника и кукурузы (Paterson et al., 2009). Предполагается, что сорго отделилось от кукурузы примерно 12 млн лет назад, а от риса около 50 млн лет назад (Swigoňová et al., 2004). Есть также мнение ряда учёных (Paterson et al., 2003; Dicko et al., 2006), что сорго, кукуруза, рис и пшеница произошли от общего предка порядка 50-70 млн лет назад.

В связи с древним происхождением и широким распространением, его классификация затруднена из-за большого географического и сортового разнообразия (Алабушев и др., 2003).

Систематика рода *Sorghum* Moench до настоящего времени подвергается постоянным пересмотрам. В связи с этим, в соргосеющих странах опираются на разные классификации. В США используют классификацию Snowden (Костина, Ишин, 2005). В основе его видовой классификации использованы морфологические признаки колосков и зерновки. Он разделил сорго на секции *Eu-Sorghum* (истинное сорго) и *Para-Sorghum* (соргоподобные), а секцию *Sorghastrum* выделил в отдельный род, в который входят наиболее удалённые виды. Секция *Eu-Sorghum* включает подсекцию *Arundinacea*, которая состоит из серии *Sativa* (31 вид, $2n=20$) и *Spontanea* (17 видов, $2n=20;40$), а также подсекцию *Halepensis* состоящую из 4 видов ($2n=40$). Все культурные сорта относятся к серии *Sativa*, которая разделяется на 6 подсерий: *Caffra*, *Nervosa*, *Bicoloria*, *Durra*, *Guinensia*, *Drummondii* (Алабушев и др., 2003).

De Wet и Hackabay (1967) подвергли пересмотру систему Snowden и в связи с отсутствием генетических барьеров для переопыления предложили все виды, входящие в его классификацию объединить в один вид *S. bicolor* (L. Moench). Позже в сорго двухцветном (*S. bicolor* L. Moench) выделили два подвида, из которых один включал пять культурных и десять гибридных разновидностей, а второй – шесть диких разновидностей (Алабушев и др., 2003).

В работе Ayana et al. (2002) отмечено, что сорго является диплоидной ($2n=20$) культурой, классифицированной на две группы: дикое и культивируемое. Дикорастущее сорго включают *Sorghum halepense*, *Sorghum propinquum*, *Sorghum bicolor* subspecies *drummondii* и *Sorghum bicolor* subspecies *verticilliflorum*. Культивируемое сорго было классифицировано по пяти основным видам (Mofokeng et al., 2017). В зависимости от морфологии метелки, колоска и семени делится на: *bicolor*, *guinea*, *caudatum*, *kafir*, *durra*. *Bicolor* имеет широкое географическое распространение и происходит из Центральной Африки. *Guinea* адаптировано к влажной среде, происходит из Западной Африки с последующим распространи-

ем в Восточную Африку и Индию. Оно характеризуется длинным и рыхлым соцветием. *Caudatum* происходит из Центральной и Восточной Африки, характеризуется плотными метёлками и высоким качеством зерна. *Kafir* характеризуется прямыми цилиндрическими метёлками. Предполагается, что оно возникло на юге Африки, а затем распространилось в Индию. *Durra* обладают плотной и компактной метёлкой. Оно встречается в засушливых районах Индии и в Восточной Африке (Brown et al., 2011).

Иванюкович Л.К. (1990) считает, что существующие классификации сорго являются ещё не совершенными и на основании изучения мирового разнообразия видов сорго, литературных источников, сделала выводы о необходимости уточнения систематики рода *Sorghum* Moench. По её мнению Snowden в классификации не были учтены ряд важных признаков. С учётом имеющихся материалов по систематике Л.К. Иванюкович всё разнообразие видов (70) объединила в семь секций, представленных пятью сериями (Алабушев и др., 2003; Костина, Ишин, 2005).

Однако, в России и странах СНГ, до настоящего времени общепринятой для селекционной практики является классификация сорго по Е.С. Якушевскому (Костина, Ишин, 2005). Согласно этой классификации все образцы сорго по направлению их использования разделены на следующие группы: зерновое, травянистое, сахарное и веничное (Якушевский, 1959; Щербаков, 1983). В пределах выше перечисленных групп в результате изучения мировой коллекции сорго он выделил следующие виды и подвиды:

- сорго зернового: гвинейское (*S. guineense* (Stapf.) Jacushev.); кафрское (*S. caffrorum* (Beauv.) Jacushev.); негритянское (*S. bantuorum* Jacushev.); китайское или гаолян (*S. chinense* Jacushev.), которое в свою очередь по консистенции зерновки подразделяется на гаолян восковидный (*S. chinense* convar. *glutinatum* Jacushev.) и гаолян обыкновенный (*S. chinense* convar. *communis* Jacushev.); хлебное (*S. durra* (Forsk.) Jacushev. – Дурра-джугара-майло) подразделяющееся на сорго арабское (*S. durra* ssp. *arabicum* Jacushev.), нубийское (*S. durra* ssp. *nubicum* Jacushev.) и эфиопское (*S. durra* ssp. *aethiopicum* Jacushev.);

- сорго сахарное (*S. saccharatum* (L) Pers), которое разделяется по плотности метёлки на эффузум или развесистое (*S. saccharatum* convar. *effusum* Jacushev.) и контрактум или сжатое (*S. saccharatum* convar. *contractum* Jacushev.);

- сорго веничное или техническое (*S. technicus* (Koern) Rozshev), подразделяющееся по упругости веточек метёлки на восточно-евразийское (*S. technicus* convar. *oriento-eurasieum* Jacushev.) и западно-евразийское (*S. technicus* convar. *occidento-eurasieum* Jacushev.);

- сорго травянистое, включающее ряд однолетних и многолетних видов, из которых в культуру вошли два вида: суданская трава (*Sorghum sudanense* (Riper) stapf) и сорго щедрое (*Sorghum almum* (Parodi)) (Шепель, 1994).

Сорго является факультативным перекрёстно опыляемым растением (Алабушев и др., 2003). В зависимости от структуры метелки и погодных условий во время цветения может происходить до 50% перекрестного опыления (Osuna-Ortega et al., 2003).

На основании этого Brown P.J. et al. (2011) предположили, что в настоящее время существуют промежуточные виды, полученные в результате искусственной и естественной гибридизации между основными видами.

1.3 Количественные признаки и биологические свойства сорго

Изучение количественных признаков для оценки имеющегося у селекционера генетического разнообразия генотипов имеет определённую ценность. Количественные признаки включают высоту растения, площадь листа, длину и ширину листа, количество листьев, длину и ширину метелки, урожайность зерна на растение, размер зерна, массу 1 000 зерен, количество зерен в метелке, вес метелки (Punitha et al., 2010). Морфологическая характеристика необходима для разработки будущих селекционных программ, изучения характера генетических вариаций и установления взаимосвязи между агрономическими признаками. Кроме того, для успешного подбора исходного материала в целях селекции сорго важно иметь

представление о генетическом контроле хозяйственно-значимых признаков у широкого набора сортов (Метлин и др., 1995 б).

Вегетационный период. Сорго является типичным растением короткого дня. Сорты и гибриды сорго имеют различную реакцию на длину светового дня. Одни образцы сильно реагируют на длину светового дня, другие – слабо, а третьи обладают фотопериодически нейтральной реакцией. При коротком (9-10 часов) дневном освещении у сорго ускоряются процессы роста и развития, наступление фазы выметывания, цветения и созревания зерна. При естественном 16-17 часовом дневном освещении у среднепоздних образцов сильно удлиняется период вегетации «всходы – полная спелость зерна», а у позднеспелых форм может не наступить фаза «выметывания» (Шепель, 1994).

Кроме того, по мнению Н.А. Шепель (1985 а) в условиях Северного Кавказа наибольший уровень урожайности формируют ранне- и среднеспелые гибриды зернового сорго. Позднеспелые формы в большей степени испытывают недостаток влаги, и как следствие не реализуют полностью своих потенциальных возможностей. Основная часть гибридов по данному признаку занимали промежуточное положение по сравнению с родительскими образцами с уклоном к более скороспелому родителю.

Установлено, что вегетационный период у сорго находится под контролем четырёх локусов гена *Ma* (Maturation): *Ma*₁, *Ma*₂, *Ma*₃, *Ma*₄. Доминантные аллели у сорго провоцируют позднее цветение. Мутации в этих локусах приводят к образованию рецессивных аллелей скороспелости, которые определяют отсутствие реакции на фотопериод и возможность цветения в условиях длинного дня (Quinbi, 1973; Ишин и др., 1987; Метлин и др., 1995 в; Schaffasz et al., 2019).

Позже Rooney и Auydin (1999) описали два новых гена *Ma*₅ и *Ma*₆ которые влияют на чувствительность к фотопериоду. Они впервые сообщили о гибриде с очень поздним цветением, полученным в результате скрещивания двух раннеспелых линий. Данный феномен является результатом комплементарного доминантного взаимодействия между двумя новыми локусами (*Ma*₅ и *Ma*₆).

Появилась информация о дополнительном локусе Ma_7 , оказывающим влияние на продолжительность вегетационного периода. Предположено, что Ma_7 играет роль в реакции чувствительности к фотопериоду посредством взаимодействия с Ma_5 и / или Ma_6 (Mullet et al., 2010).

Среди известных локусов наибольшее влияние на продолжительность вегетационного периода оказывает локус Ma_1 . Рецессивной мутации только в этом локусе, достаточно чтобы образцы стали фотонейтральны (Klein et al., 2008; Murphy et al., 2011; Klein et al., 2015; Schaffasz et al., 2019).

О функциях локусов Ma_2 , Ma_4 , Ma_5 и Ma_6 недостаточно информации. Известно, что локус Ma_4 находится на 10-й хромосоме (Mace and Jordan, 2010).

В результате взаимодействия рецессивных и доминантных аллелей разных локусов наблюдается широкая изменчивость по продолжительности вегетационного периода. Доминантное действие генов Ma_2 и Ma_3 проявляется только при наличии доминантного гена Ma_1 (Ишин и др., 1987). В свою очередь, присутствие гена Ma_1 в гетерозиготном состоянии удлиняет вегетационный период. Однако, для этого необходимо условие, чтобы гетерозиготность (Ma_1ma_1) по первому локусу Ma_1 сопровождалось гомозиготностью по рецессивному аллелю второго локуса (ma_2ma_2). Такого же эффекта при гомозиготности по доминантным аллелям второго локуса (Ma_2Ma_2) не наблюдалось (Ишин и др., 1987; Алабушев и др., 2003).

К существенному увеличению вегетационного периода приводит комплементарное взаимодействие всех четырёх аллелей (Ma_1-Ma_4), находящихся в доминантном состоянии (Филатов и др., 1979).

Фоточувствительность определяется локусами Ma_1 , Ma_5 и Ma_6 (Packer, Rooney, 2014). По их мнению, при скрещивании нечувствительной к фотопериоду линии с родительской формой, имеющей противоположную аллельную конфигурацию ($ma_1ma_1Ma_5Ma_5ma_6ma_6$ / $Ma_1Ma_1ma_5ma_5Ma_6Ma_6$), получается чувствительное к фотопериоду гибридное потомство ($Ma_1ma_1Ma_5ma_5Ma_6ma_6$).

Кроме контроля времени цветения, выявленные гены скороспелости отвечают за количество листьев на растении, а также массу метёлки и её форму. От-

мечено, что ген Ma_3 в рецессивном состоянии увеличивает вес метёлки. Гетерозиготность гена Ma_1 , кроме удлинения периода до наступления фазы цветения, увеличивает массу метёлки, а гетерозиготы генов Ma_2 и Ma_3 влияют на существенное увеличение озернённости метёлки (Quinbi, 1975; Ишин и др., 1987).

На продолжительность вегетационного периода сорго влияют внешние факторы среды, такие как длина светового дня и сумма температур, необходимая для формирования урожая. Для раннеспелых сортов и гибридов сорго требуется сумма температур в пределах 2 000-2 400°C, а для средне- и позднеспелых – 2 800-3 500°C. Максимальная потребность в тепле у сорго отмечается в период «всходы-вымётывание» (1 400-1 800°C). Между урожайностью сорго и суммой температур за период вегетации «всходы-полная спелость» выявлена положительная корреляционная связь. Наблюдается увеличение урожайности зерна до 1,0 т/га при повышении суммы температур на 100°C. Кроме того, отмечается ускорение развития растений и сокращение межфазных периодов от посева до созревания (Шепель, 1994).

На основе изложенной информации можно сделать вывод о необходимости изучения продолжительности вегетационного периода у исходного материала, а также оценки созданных сортов и гибридов на адаптивность к почвенно-климатическим условиям зоны возделывания.

Высота растения и длина междоузлий. В селекционной программе по сорго большое внимание уделяется как продолжительности вегетационного периода, так и высоте растений, которые генетически связаны между собой (Lin et al., 1995; Brown et al., 2006; Zhang et al., 2015).

Растения исходных форм сорго были высокорослыми. За длительный период возделывания культуры отобраны карликовые формы, отличающиеся меньшей высотой растений и пригодные для механизированной уборки (Ишин и др., 1987; Алабушев и др., 2003).

Привлечение в гибридизацию контрастных по высоте растений форм приводит к появлению в F_1 высокорослых образцов. В F_2 проявляется расщепление с образованием карликовых форм, широко распространённых при выращивании

сорго на зерно (Ишин и др., 1987). В исследованиях А.В. Алабушева и др. (2003) в F_1 также наблюдалось наследование высоты растений по типу доминирования и сверхдоминирования высокорослости. В F_2 из-за снижения гетерозиса и выщепления большого количества низкорослых форм средние значения высоты растений существенно уменьшались. Таким образом, высокорослость частично доминирует над карликовостью (Костылев, 1998; Алабушев и др., 2003; Беседа, 2010 а).

Высота растений является комплексным признаком, который определяется числом узлов, длиной междоузлий и метёлки (Ишин и др., 1987). По мнению Дремлюк Г.К. (2008) для зернового сорго доминирование высокорослости и отсутствие ножки метёлки считается нежелательным явлением, затрудняющим прямое комбайнирование.

Обнаружено четыре независимо функционирующих гена *dwarf* (Dw_1 , Dw_2 , Dw_3 , Dw_4), отвечающих за контроль высоты растения (Quinbi, 1975; Ишин и др., 1987; Алабушев и др., 2003; Yamaguchi et al., 2016).

В исследованиях по применению экспериментального мутагенеза отмечалось мутирование всех четырёх генов Dw . Мутации Dw_1 и Dw_2 приводили к изменению средней длины междоузлий, Dw_3 – оказывало влияние на число междоузлий, Dw_4 – на длину подметельчатого междоузлия и метёлки (Ишин и др., 1987).

Отмечено, что Dw_2 также влияет на длину метелки, массу 1 000 семян и площадь листьев (Pereira and Lee, 1995). Рецессив dw_3 оказывает воздействие на увеличение диаметра стебля и удлинение цветоножек (Schertz, 1973). В работах ряда исследователей (Pereira and Lee, 1995; Truong et al., 2015) обнаружено влияние Dw_3 на количество семян в метелке и массу семян, количество побегов, размер метелки и угол наклона листьев. Кроме того, образцы с геном Dw_3 обладают увеличенной прочностью стебля за счет дополнительных слоев паренхимных клеток в междоузлиях (Multani et al, 2003; Brown and Paterson, 2013).

В результате картирования установлено расположение гена Dw_1 на 9 хромосоме (Brown et al., 2008; Morris et al., 2013 а; Thurber et al., 2013; Higgins et al., 2014). Ген Dw_2 связан с основным локусом чувствительности к фотопериоду Ma_1

и также как он находится на 6 хромосоме (Lin et al., 1995; Brown et al., 2008; Morris et al., 2013 a). Расположение гена Dw_3 обнаружено на 7 хромосоме (Multani et al., 2003). Местоположение гена Dw_4 окончательно не определено (Hilley et al., 2016). Morris G.P. et al. (2013 a) предположили, что QTL, обнаруженный на противоположном конце 6 хромосомы от Dw_2 является геном Dw_4 . В тоже время, Li X. et al. (2015) обнаружили QTL на хромосоме 4, который как они допустили, является Dw_4 , а позже в работе этих же авторов установлено нахождение этого локуса на 7 хромосоме не далеко от Dw_3 .

Установлено, что гомозиготность по одному рецессивному гену приводит к снижению высоту растений на 30 см и более. Например, расстояние от основания до флагового листа у форм, гомозиготных по трём рецессивным генам, составляет порядка 50 см, у форм гомозиготных по двум рецессивным генам – достигает 100 см, а у гомозиготных по одному рецессивному гену – 150 см и более (Алабушев и др., 2003).

Сорта с одинаковым генотипом могут отличаться по высоте растений. Предполагается, что это обусловлено сериями аллелей в различных локусах, а не модифицирующими факторами в других локусах. При взаимодействии комплементарных факторов, в потомстве высокорослых родительских образцов могут выделяться карликовые формы, и наоборот – от низкорослых исходных форм наблюдается появление высокорослых гибридов (Алабушев и др., 2003).

В результате селекционной работы Г.К. Дремлюк (1988) выделил спонтанный рецессивный карликовый мутант с укороченным подметельчатый междуузлем. При включении его в гибридизацию в F_1 проявилась высокорослость, а в F_2 отмечено моногенное расщепление.

В исследованиях А.Г. Ишина (1987) целенаправленное снижение высоты растений у химического мутанта из сортообразца Желтозёрное 10 сопровождалось увеличением кустистости и белка в зерне.

Информацию о влияния генов Dw на другие хозяйственно-ценные признаки необходимо учитывать в селекционной работе на снижение высоты растений и

увеличения длины подметельчатого междоузлия путём всесторонней оценки селекционного материала.

Элементы структуры урожайности сорго зернового. Урожайность зерна считается очень сложным количественным признаком. Однако, в результате генетического картирования сорго удалось идентифицировать QTL для связанных с урожайностью признаков (Rami et al., 1998; Brown et al., 2006; Murray et al., 2008; Ritter et al., 2008; Srinivas et al., 2009; Shiringani et al., 2010; Reddy et al., 2013; Sukumaran et al., 2016).

Урожайность у сорго, как и у многих других зерновых культур, определяется четырьмя основными составляющими: количеством растений на единице площади, количеством метелок на растении, количеством зерен в метелке и массой 1000 зёрен (Hart et al., 2001; Tao et al., 2018). Наибольший вклад в общий урожай зерна сорго вносят количество зерен в метелке и масса 1000 зёрен (Heinrich et al., 1983). По данным Maman et al. (2004) урожайностью зернового сорго имеет прямую корреляционную связь с массой 1000 зёрен ($r = 0,65-0,73$) и количеством зерен в метелке ($r = 0,21-0,32$).

Размер зерновки считается одним из наиболее важных признаков. Образцы с крупным зерном, как правило, более урожайные за счёт лучшего прорастания, а также более мощного роста и развития проростков (Костылев, Метлин, 1996; Алабушев и др., 2003). Кроме того, из зерна крупнозёрных образцов увеличивается выход крупы и улучшается её качество (Костылева, Костылев, 2002 б).

По мнению Б.К. Темирбекова (1990) масса 1 000 зёрен имеет большое значение для начального роста растений, так как более крупные семена обеспечивают проростки большим количеством питательных веществ. Кроме того, размеры семян имеют большое значение в технологии посева. Крупные семена легче поддаются механизации точного распределения семян в почве при посеве.

Учитывая эти факторы, масса зерна являлась основной целью генетических исследований и практического улучшения не только у сорго, но и у многих других культур (Tao et al., 2018).

Масса 1 000 зёрен контролируется множеством генов или локусов количественных признаков (QTL) (Han et al., 2015). По мнению ряда авторов (Miller, 1975; Алабушев и др., 2003) признак крупнозёрности у сорго определяется 3-4 аддитивными рецессивными генами. Снижение количества рецессивных генов способствует уменьшению размеров зерновки. Проведённый анализ гибридов сорго Костылевым П.И. (1999 а) по данному признаку показал, что различия между изученными родительскими формами составляют 4-5 аддитивных и 1 доминантный ген.

Предполагается, что гены, определяющие массу 1 000 зёрен, действуют сцеплено с генами, отвечающими за размеры семяпочки и меристемы. Находящийся под генетическим контролем, околоплодник оказывает влияние на увеличение зародыша и эндосперма (Yang et al., 2009; Беседа, 2010 в).

Mace и Jordan (2011) провели исследования и выявили QTL для массы зерна на всех хромосомах сорго, кроме 5 и 9. Сравнительно недавно Zhang D. и соавторы (2015) с помощью картирования QTL обнаружили четыре геномных области на хромосомах 4, 6, 7 и 10, существенно связанные с размером зерна. Однако ни один из этих генов не был точно картирован.

В работе Алабушева А.В. и др. (2003) по изучению наследования количественных признаков, у гибридов первого поколения сорго, полученных на фертильной основе, наблюдалось частичное, неполное доминирование и полудоминирование массы 1000 зёрен. Во втором поколении проявлялось промежуточное наследование с преобладанием мелкозёрной фракции. Доминирование мелкозерности у сорго также отмечено в исследованиях Метлина В.В. и Костылева П.И. (1999).

На массу 1 000 зёрен оказывают влияние как генетические, так и экологические факторы (Boyles et al., 2016). Наиболее крупная зерновка формируется в тёплые годы с высокой влагообеспеченностью (Беседа, 2010 б). С увеличением общей массы семян сорго наблюдается повышение содержания белка, жира и крахмала (Rhodes et al., 2017).

Между массой 1 000 зёрен и количеством зёрен у многих однолетних культур (Jakobsson and Eriksson, 2000; Peltonen-Sainio et al., 2007; Sadras, 2007; Griffiths et al., 2015), включая сорго (Yang et al., 2010; Burow et al., 2014), наблюдается отрицательная корреляция. Наличие данной взаимосвязи оказывает сильное влияние на селекционные программы по повышению урожайности (Tao et al., 2018). У такой культивируемой культуры как сорго масса 1 000 зёрен имеет ограниченный диапазон вариации, в то время как количество зерен более пластичный признак. Кроме того, проведённые исследования в различных почвенно-климатических условиях показали наличие сильной корреляции количества зерен в метёлке с урожайностью зерна (Boyles et al., 2016; Dampanaboina et al., 2019). Следовательно, количество зёрен, по мнению ряда авторов, считается основным фактором, определяющим урожайность зерна, и целью для селекционной работы (Borrell et al., 1999; Richards, 2000; Sadras, 2007; Gambín and Borrás, 2012; Sreenivasulu and Schnurbusch, 2012; Griffiths et al., 2015).

По данным Burow G. et al. (2014) за увеличение количества зёрен в метёлке сорго отвечает ген *msd1* (Multiseed). При этом авторами указывается, что имеется не менее пяти независимых аллелей гена *msd1*. В работе Dampanaboina L. et al (2019) сообщается о наличии трёх генов *msd* (*msd1*, *msd2*, *msd3*), которые участвуют в регуляции количества зёрен в метёлке. Однако, выделенные высокоозернённые формы с геном *msd* характеризовались уменьшением массы 1000 зёрен в два раза по сравнению с исходными родительскими формами. В связи с этим, урожайность зерна не увеличивалась, а, в отдельных случаях, снижалась по сравнению с родительскими формами (Tolk et al., 2017; Gitz et al., 2018; Gitz et al., 2019).

Формирование количества зёрен в метелке напрямую связано с формой соцветия и её размером (Bommert et al., 2005; Sreenivasulu and Schnurbusch, 2012; Burow et al., 2014). Как следствие морфология метелки оказывает прямое влияние на величину урожайности зерна. Продуктивность одного растения имеет сильную корреляцию с длиной метёлки, а также положительную корреляционную связь с числом зёрен и массой зёрен с метёлки. В свою очередь масса зерна с метёлки

коррелирует с шириной и длиной метёлки (Witt Hmon et al., 2014). У сорго основная доля признаков, сопряженные с урожайностью, являются полигенными (Bello et al., 2001; Zou et al., 2011).

Современные исследования по сорго доказывают возможность увеличения одного компонента урожайности без снижения другого (Boyles et al., 2016).

Таким образом, исследования направленные на увеличение озернённости метёлки и крупнозёрности имеет большое значение в селекционных программах по повышению урожайности зерна сорго.

1.4 Биохимический состав зерна сорго зернового

В связи с широким и разносторонним применением зерна сорго, особое внимание учёными уделяется наследованию содержания основных питательных веществ (Ишин и др., 1987). Выявление генов, тесно связанных с биохимическим составом соргового зерна, будет содействовать улучшению его структуры и качества. Согласно мнению В.Г. Смирнова (2005), накопление белков, углеводов и жиров в эндосперме или зародыше зерновки находится под контролем генов, так как проявляется существенная внутривидовая изменчивость по количественному содержанию данных биохимических компонентов. Однако, в научной литературе имеется недостаточное количество сведений по наследованию количественных признаков, определяющих качество зерна сорго. Кроме того, установить систему генов, отвечающих за различия по количественному уровню накопления их в семенах, до сих пор не удаётся.

Питательная ценность зерна сорго и его биохимический состав в значительной степени зависит от особенностей строения зерновки.

Особенности строения зерновки сорго. Основными анатомическими компонентами зерна сорго являются околоплодник (внешний слой), теста или оболочка семени, эндосперм и зародыш (эмбрион) (рисунок 4) (Sautier and O'Deye, 1989; Малиновский, 1992; Serna-Saldivar and Rooney, 1995; Dicko et al., 2006).

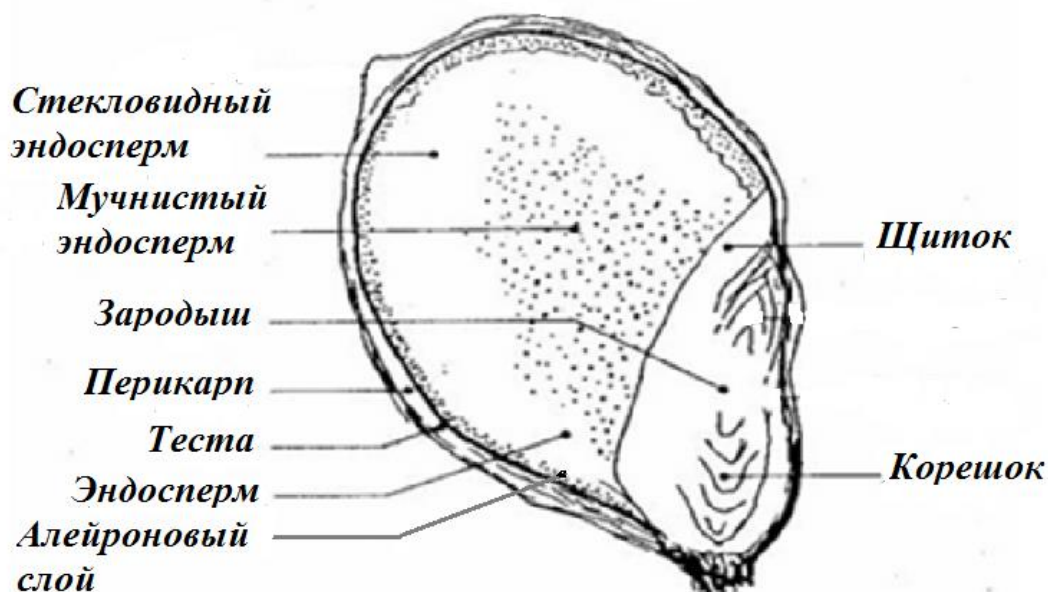


Рисунок 4 – Строение зерновки сорго (Sautier and O'Deye, 1989).

Основной тканью для хранения в зерне сорго, как и в других злаках, является эндосперм, на долю которого приходится около 85% всей зерновки, а остальное занимает зародыш и околоплодник (что составляет около 9,55% и 6,5% соответственно). Следовательно, состав клеток эндосперма во многом определяет питательную ценность всего зерна (Шепель, 1994; Fantaye, 2018).

Ткань эндосперма состоит из алейронового слоя, периферической, роговой и мучнистой областей. Алейроновый слой является наружным слоем эндосперма и состоит из одного слоя прямоугольных клеток. Клетки обладают толстой клеточной стенкой, а также большим количеством белков (алеироновых зерен, ферментов), золы и жира (Ngwenya, 2007). На алейроновый слой в среднем приходится 6-8% массы зерновки (Посыпанов, 2004). По мнению Н.А. Шепель (1985 а) важно вести селекционную работу на увеличение в семенах сорго алейронового слоя, где белка содержится до 18%, а лизина – 5-6%. Периферический крахмальный эндосперм состоит из нескольких слоев плотных клеток, содержащих больше белковых тел и более мелкие крахмальные гранулы. Клетки рогового и мучнистого эндосперма состоят из гранул крахмала, белкового матрикса, белковых тел и клеточных стенок. Крахмальные гранулы и белковые тела встроены в непрерыв-

ный белковый матрикс в периферических и роговых областях (Ngwenya, 2007). Основной долей белка в крахмалистом эндосперме являются запасные белки (у сорго называемые кафирином), которые составляют около 80% общего белка (Fantaye, 2018).

Улучшению синтеза белка способствует повышенная температура воздуха. Кроме того, в таких условиях происходит торможения отложения крахмала в зерне и увеличение доли белка за счёт снижения массы эндосперма (Павлов, 1984; Лихопой и др., 1995). Однако, большую часть эндосперма составляет крахмал, который является основным источником запасенной энергии в зерне (Лихопой, Казакова, 1992).

Зародыш состоит из двух основных частей: зародышевой (эмбриональной) оси и щитка. Эмбриональная ось делится на корешок и побег (Ngwenya, 2007). В зародыше синтезируется значительная часть белков, жира, сахаров, а иногда и крахмал. При формировании в зародыше большого количества жира, в эндосперме, как правило, образовывается меньше крахмала, и наоборот. Кроме того, в зародыше синтезируются ферменты (каталаза, амилаза, протеиназа, липаза и ряд других), а также физиологически активные вещества и витамины (Смиловенко, 2004; Мальцева, Каюмова, 2008).

Перикарп (околоплодник) зерна сорго делится на три гистологические ткани: эпикарп, мезокарп и эндокарп. Эпикарп является внешним слоем и, как правило, покрыт тонким налётом воска. Толщина данной ткани составляет 2-3 слоя клеток, которые обладают прямоугольной формой. Они могут содержать пигменты. Мезокарп в сорго отличается от большинства злаков содержанием в своём составе гранул крахмала. Эндокарп состоит из поперечных и трубчатых клеток (Waniska and Rooney, 2000).

Цвет околоплодника зерновки сорго находится под контролем генов *R* (Red) и *Y* (Yellow). Формирование белого цвета перикарпия происходит в присутствии рецессивного гена *Y* находящегося в гомозиготном состоянии (*rryy* или *R_yy*). Наличие желтого околоплодника определяется рецессивным геном *R* и доминантным *Y* (*rrY_*). Если гены *R* и *Y* в доминантном состоянии, происходит у перекар-

пия формирование красного цвета ($R_Y_$). Присутствие гена-усилителя I увеличивает интенсивность окраски околоплодника. Причём, это проявляется в большей степени у краснозёрных образцов сорго (Rooney and Miller, 1981; Hahn et al., 1984; Waniska and Rooney, 2000; Dykes and Rooney, 2006). В работе Костылева П.И. (1999 б) по окраске семян установлены дигенные различия между родительскими образцами, находящиеся в разных локусах, в зависимости от комбинации скрещивания.

За толщину околоплодника отвечает ген Z . Перикарп имеет толстую оболочку, когда ген находится в гомозиготном рецессивном состоянии (zz), и тонкую, когда ген находится в доминантном состоянии (ZZ). В мезокарпе зерновки сорго с толстым околоплодником содержатся крахмальные гранулы, а у образцов сорго с тонким околоплодником они не содержатся (Earp et al., 2004). Толщина околоплодника может варьировать от очень тонкой (8 мкм) до очень толстой (160 мкм) (Rooney and Miller, 1981).

Окраска зерновки зависит от цвета и толщины околоплодника, цвета эндосперма, а также наличия или отсутствия тесты (Rooney and Miller, 1981).

Наличие пигментированного теста у сорго обусловлено действием двух доминантных генов $B1_B2_$. Если один набор или оба являются гомозиготными рецессивными ($b1b1 B2_$, $B1_ b2b2$ или $b1b1 b2b2$), пигментация семенной оболочки отсутствует (Hahn et al., 1984).

Широкое разнообразие формы и размера, а также окраски зерна сорго влияет на направление его использования. Зерновки с белой окраской, большой массой 1000 зёрен, стекловидным эндоспермом предпочтительны для потребления человеком в пищу. Причём, пищевая ценность увеличивается, если эндосперм желтого цвета от наличия каротина. Краснозёрные сорта предпочитают для приготовления пива (Ng'uni et al., 2012).

Фракционный состав и содержание белка в зерне сорго. Белок относится к основным показателям, которые характеризуют качество зерна сорго. Он находится в эндосперме, зародыше и перикарпе примерно на 80, 30 и 16% соответственно (Taylor and Schussler, 1986).

Качество белка и его усвояемость зависит от состава белковых фракций и их количества в зерне (Namaker et al., 1995).

Белки зерновых культур в зависимости от их растворимости классифицируются на четыре фракции: альбумин (растворимый в воде), глобулин (растворимый в разбавленном солевом растворе), глютелин (экстрагируемый в разбавленных щелочных или кислотных растворах) и проламин (растворимый в спирте) (Fano, 2017).

Основными белковыми фракциями в сорго являются глютелины и проламины (кафирины), на которые приходится до 80% общего белка зерна (Namaker et al., 1995; Saito et al., 2012). Эти фракции находятся в основном в эндосперме (Wong et al., 2009). Отмечено, что повышенные уровни белка в сортах и гибридах сорго коррелировали с увеличением в основном фракции проламинов (Virupaksha and Sastry, 1968). Однако, данная фракция является бедной по содержанию лизина и триптофана. Исследования показывают, что в проламинах лизина содержится около 0,2%, тогда как в глютелине его 2,5-3% (Шепель, 1985 а). Подавление синтеза проламинов должно значительно повысить уровень лизина и улучшить качество белка сорго (Swaminathan et al., 1970; Шепель, 1985 а). У кукурузы кардинально решить проблему повышения качества белка удалось с помощью открытия генов, отвечающих за контроль и снижающих синтез проламинов. Есть предположение, что гены такого типа имеются и в генотипе сорго (Шепель, 1985 а). Плохое качество кафиринов усугубляется тем, что они трудно перевариваются (Duodu et al., 2003). В зародыше основную долю белка составляют альбумины и глобулины. Фракции альбуминов, глобулинов и глютелинов характеризуются высоким содержанием лизина и других незаменимых аминокислот (Mofokeng et al., 2017). Сорта, обладающие улучшенным качеством белка, обычно содержат больше данных фракций. В свою очередь сорта, обладающие большим соотношением зародыша к эндосперму, отличаются более высокой долей фракций альбуминов, глобулинов и глютелинов (Mohan and Axtell, 1975).

Содержание белка в зерне сорго варьирует в широких пределах в зависимости от видовых особенностей и погодно-климатических условий года (Deosthale et

al., 1972; Костина, Шебанова, 1983). В своей работе G.D. Miller (1964) выявил, что процентное содержание белка у сорго в разные годы варьировало от 5,9 до 12,8%. Подобное изменение процентного содержания белка (от 8,65 до 12,5%) отмечено С.W. Deyoe и J.A. Shellenberger (1965). В исследованиях других авторов наблюдалось более высокое содержание белка в зерне сорго с варьированием от 8,3 до 18,8% (Rhodes et al., 2017). По мнению Mofokeng et al. (2017) среднее содержание белка у сорго колеблется в пределах 7,3-15,6%.

По содержанию белка выделяются образцы китайского и хлебного видов сорго ($13,8 \pm 0,5\%$ и $12,7 \pm 0,6\%$ соответственно). Минимальное количество белка отмечено в зерне негритянского сорго (Костина, Шебанова, 1983). В исследованиях Т.А. Сусловой (1983) образцы, относящиеся к китайскому сорго, также отличались высоким уровнем белка в зерне (в среднем 13,0%). У отдельных образцов этого вида (К-823/2 и К-2372) уровень белка в зерне достигал 15,7-16,7%. Более низкий уровень белка проявлялся у образцов кафрского и негритянского видов. Сорта хлебного сорго характеризовались содержанием белка в зерне в среднем на уровне 11,6%.

В работе А.Г. Ишина и др. (2004) выявлено, что большинство гибридов первого поколения сорго обладают промежуточным количеством белка в зерне по сравнению с исходными образцами. Исследования Шепель Н.А. (1985 а) показали, что при скрещивании двух высокобелковых форм содержание белка у гибрида было меньше, чем у обоих родителей. В результате гибридизации высокобелковых форм со среднебелковыми гибриды по этому признаку приближаются к сортам опылителям, а при скрещивании среднебелковых с низкобелковыми получают низкобелковые гибриды. Таким образом, во всех группах скрещиваний в потомстве доминировало низкое содержание белка. Несмотря на это известны случаи доминирования и проявления гетерозиса по данному признаку. Существенное влияние на концентрацию белка оказывают материнские формы. Для получения гибридов с повышенным содержанием белка, необходимо включать в гибридизацию высоко- и среднебелковые образцы.

Причина более низкого содержания белка у гибридов по сравнению с их родительскими формами также объясняется тем, что в почве обычно наблюдается недостаток азота, для того чтобы гибридное растение, обладающее более мощной вегетативной массой и высоким урожаем зерна могло накопить достаточное количества белка. В свою очередь, менее урожайным родительским формам требуется меньше азота, поэтому и процент белка у них соответственно больше (Шепель, 1985 а). В дополнение к низкому содержанию белков и их аминокислотного состава, сорго содержит фенольные соединения, а именно дубильные вещества, которые снижают переваримость белков.

При изучении признаков качества зерна *Boyles et al.* (2017) отметил, что на фоне увеличения содержания сырого белка наблюдается снижение урожайности зерна. По его мнению, уменьшение уровня урожайности зерна при увеличении протеина в первую очередь возникает из-за уменьшения количества зерен. Отрицательная и очень значимая корреляция урожайности зерна с содержанием белка отмечена в работе *Chittapur и Viradar* (2015). В исследованиях *Н.А. Шепель* (1985 а) сообщается о наличии обратной корреляционной связи между массой 1000 зёрен и содержанием белка, что в целом может отрицательно влиять на урожайность. *Рава Н.* (1980) также указывал на отрицательную взаимосвязь урожайности зерна, массы 1 000 зёрен и озернённости метёлки, с одной стороны, и процентным содержанием белка в зерне – с другой. Проявление данной корреляции существенно усложняет селекционную работу по созданию высокоурожайных и высокобелковых сортов и гибридов сорго.

Rhodes et al. (2017) отмечал сильную положительную корреляцию между белком и жиром ($r = 0,77$, $p < 10^{-16}$). Также имеется информация о наличии зависимости между содержанием белка и крахмала. При этом, если у гибрида и отцовских форм количества белка было больше, то крахмала накапливается в меньшем количестве и наоборот (Шепель, 1985 а).

Понимание генетических основ наследования основных хозяйственно-полезных признаков позволит предвидеть результаты гибридизации, подбирать

соответствующий исходный материал, рассчитывать необходимый объем скрещиваний и размер гибридных популяций (Беседа, 2010 а; Костылев, Беседа, 2010).

Содержание лизина в белке сорго. Качество белка в значительной степени зависит от аминокислотного состава и, в первую очередь, от незаменимых аминокислот (Galili et al., 2002). К ним относятся лейцин, фенилаланин, треонин, триптофан, изолейцин, лизин, метионин и валин, которые должны поступать в рацион человека (Ferreira et al., 2006).

Зерно большинства зерновых культур, таких как пшеница, кукуруза, сорго, которые являются крупнейшими в мире источниками продовольствия и корма содержат недостаточное количество некоторых незаменимых аминокислот, в частности лизина, что значительно снижает его кормовые достоинства (Fantaye, 2018).

В незаменимом аминокислотном составе белка сорго наблюдается широкая вариабельность. Отмечено, что содержание лизина варьирует от 71 до 212 мг на грамм азота (Fano, 2017). Swaminathan et al. (1970) отметили снижение содержания лизина с увеличением уровня белка в зерне сорго. Аналогичные выводы, о значительной и отрицательной корреляции между белком и лизином в белке были сделаны Deosthale et al. (1970) и Шепель Н.А. (1985 а).

Корма с высоким содержанием лизина имеют большую биологическую ценность. Поэтому, необходимо не только увеличить урожайность, но и улучшить его качество. Установлено, что на повышенное содержание лизина в гибридной комбинации существенное влияние оказывает отцовский компонент (Шепель, 1985 а).

Содержание лизина в зерне сорго контролируется рецессивным геном *hl*. Ген с высоким содержанием лизина изменяет аминокислотную структуру в тканях эндосперма по сравнению с нормальным эндоспермом. Наличие этого гена повышает содержание лизина, аргинина, глицина, аспарагиновой кислоты, триптофана, а также приводит к снижению глутаминовой кислоты, лейцина, пролина и аланина (Singh and Axtell, 1973).

Впервые о гене *hl* (*high lysine*) сообщили R. Singh и J.D. Axtell в 1973 г (Riley, 1980). Они выявили 2 линии сорго из Эфиопии (IS 11758 и IS 11167) с высо-

ким уровнем лизина (3,13 и 3,33 г лизина на 100 г белка соответственно). Идентифицированные линии характеризовались концентрацией лизина на 60-70% выше, чем у других сортов сорго. Кроме того, они отличались высоким процентным содержанием белка (17,2 и 15,7% соответственно). Было предположено, что высокий уровень лизина в изученных линиях находится под контролем одного рецессивного гена. Однако не было ясно, являются ли гены из обеих линий аллельными. Зерновка этих линий имела мучнистый эндосперм, морщинистую форму и малую массу 1 000 зёрен. Установлено, что морщинистый фенотип, который связан с высоким содержанием лизина в линиях IS 11758 и IS 11167, может определяться плеiotропным эффектом гена *hl*. Кроме того, это может быть результатом действия генов-модификаторов, которые оказывают влияние на нормальную форму и поверхность зерновки сорго. Нормальные по форме зерновки характеризовались низким содержанием лизина и стекловидным эндоспермом. Таким образом, нарушение естественной формы зерновки обусловлено полным отсутствием стекловидного крахмала в тканях эндосперма. В рамках начатой в ICRISAT программы по селекции сорго на основе гибридизации эфиопских источников высокого лизина IS 11758 и IS 11167 с ЦМС-линиями, обладающими нормальной конфигурацией зерновки, проведена её фенотипическая оценка. Семена гибридов первого поколения, полученные в результате проведённых скрещиваний, имели стекловидное зерно. Во втором поколении наблюдалось расщепление 3:1 (выполненное: щуплое). В результате проведённого генетического анализа гибридов второго поколения предположено, что высокое содержание лизина определяется рецессивным геном (Singh and Axtell, 1973; Fano, 2017; Fantaye, 2018).

В 1975 году Mohan индуцировал мутант сорго P721, обладающий высоким уровнем лизина (Mohan, 1975; Mohan and Axtell, 1975). Мутант P721Q (Q – мучнистый эндосперм) был получен путем химического мутагенеза (обработка диэтилсульфатом) из P721N (N – стекловидный эндосперм). Снижение накопления основного запасного белка кафиринов в P721Q увеличило содержание лизина по сравнению с P721N. Чтобы изучить наследование содержания лизина, P721Q вовлекли в прямые и обратные скрещивания с линией Tx430. В результате все семе-

на F₁ были мучнистыми. Это указывает на то, что действие *hdhl* является доминантным. Семена F₁ впоследствии самоопылялись или подвергались обратному скрещиванию с Tх430, который использовался в качестве материнской формы. В результате проведённых исследований отмечено, что в F₂ распределение мучнистых и стекловидных семян происходило в соотношении 3:1. Данные расщепления указывают на то, что *hdhl* является единственным локусом (Wu et al., 2013). В работе Oria et al. (2000) сообщается об идентификации новой линии, с высокой переваримостью белка полученной в результате гибридизации с участием P721.

Необходимо отметить, что во всех трёх образцах сорго содержание лизина в зародыше находилось на уровне среднего значения, а его концентрация в эндосперме была выше, чем в нормальных образцах (Fano, 2017). На основе полученных данных можно сделать вывод о наличии двух мутантных генов, которые контролируют образование высокого содержания лизина, а именно: ген *P721*, индуцированный этилметансульфонатом и спонтанный мутантный ген *hl*, идентифицированный в эфиопских линиях (Fantaye, 2018). Выявление этих мутантных генов открыло новые возможности для улучшения питательных качеств зерна сорго.

В исследованиях ряда авторов (Bressani and Rios, 1962; Virupaksha and Sastry, 1968) установлено сходство аминокислотного состава кукурузы и сорго. На основе чего, сделано заключение о возможности замены кукурузы на сорго в рационе животных без существенного изменения его питательной ценности.

Содержание крахмала в зерне сорго. В зерновке основную долю заполняет эндосперм, в котором расположены запасные питательные вещества. Доля мучнистой части эндосперма достигает 80-85% массы зерновки сорго (Посыпанов и др., 1997). Основным источником запасенной энергии в зерне является крахмал. Он откладывается в виде гранул в клетках эндосперма. Гранулы крахмала сорго имеют диаметр от 5 до 25 мкм (в среднем 15 мкм) (Dufour et al., 1992; Taylor, 1992).

В исследованиях Rhodes D.H. et al. (2017) содержание крахмала в зерне сорго варьировало от 61,7 до 70,8%, и наблюдалась сильная отрицательная корреля-

ция с белком ($r = -0,90$, $p < 10^{-16}$) и жиром ($r = -0,70$, $p < 10^{-16}$). В работе Н.А. Шепель (1985 а) также была выявлена отрицательная зависимость между содержанием крахмала и жира. Это связано с тем, что жир сосредоточен в основном в зародыше, а крахмал – в эндосперме. С повышением относительного веса зародыша происходит увеличение количества жира и снижение крахмала.

Между содержанием крахмала в зерне сорго и урожаем зерна установлена положительная корреляция (Murray et al., 2008).

Известно, что в генетическом контроле качества зерна злаковых культур участвуют несколько генов (Wilson et al., 2004; Boyles et al., 2017). За синтез крахмала отвечают гены *Sh2* (Shrunken 2), *Ae1* (Amylose extender 1), *Bt2* (Brittle 2), *SssI* (Soluble starch synthase I), *Wx* (Waxy). Гены сорго, гомологичные пяти генам *Sh2*, *Ae1*, *Bt2*, *SssI* и *Wx*, были локализованы на хромосомах 3, 4, 7, 10 и 10 соответственно (Figueiredo et al., 2010).

Биосинтез крахмала в злаках катализируются различными жизненно важными ферментами (Jeon et al., 2010). Были обнаружены мутации, которые вызывают изменения в активности этих ферментов влияющие качества и количества крахмала. Wilson et al. (2004) и Manicacci et al. (2007) отметили, что *Bt2* и *Sh2* кодируют фермент, участвующий в лимитирующей стадии биосинтезе крахмала. Под контролем генов *Ae1* и *SssI* находится фермент, который отвечает за синтез амилопектина (Figueiredo et al., 2010).

Установлено, что гены *Sh2*, *Bt2*, *Ae1* и *Wx* оказывают влияние и на массу 1 000 зёрен (Figueiredo et al., 2010).

Наиболее изученный ген *Wx* определяет формирование типа эндосперма. Рецессив *wx* приводит к образованию воскового эндосперма (Karper, 1933; McIntyre et al., 2008). Крахмал структурно состоит из двух высокомолекулярных полисахаридов – амилоза и амилопектин (Dicko et al., 2006). Их соотношение зависит от генетических особенностей сорта или гибрида (Taylor and Emmambux, 2010). Присутствие гена *wx* приводит к снижению содержания амилозы, но увеличивает долю амилопектина, что благоприятно влияет на питательную ценность зерна. В зависимости от числа рецессивных аллелей в генотипе различают крах-

малистый ($WxWxWx$), средневосковой ($WxWxwx$; $Wxwxwx$) и восковой ($wxwxwx$) типы эндосперма. У образцов с восковым типом эндосперма содержание амилопектина достигает 100%. Зерновка сортов и гибридов с невосковым типом эндосперма характеризуется содержанием 75% или более амилопектина и до 25% амилозы (Lichtenwalter et al., 1978; Sang et al., 2008).

Окраска зерновки не влияет на количество крахмала в зерне. Между зернами красного и белого сорго нет существенной разницы в содержании крахмала (Dicko et al., 2006).

Стекловидность эндосперма является важным качественным параметром для многих зерновых культур, включая пшеницу (Turnbull and Rahman, 2002), ячмень (Swanston et al., 1995), кукурузу (Robutti et al., 2002) и сорго (Rooney and Murty, 1982). Причем стекловидный эндосперм для зерновых культур является более предпочтительным. У образцов со стекловидным эндоспермом наблюдается улучшение помола и качества продуктов питания, устойчивость к грибковым патогенам и более высокая урожайность зерна (Dobraszczyke, 2002). Тем не менее, как в кукурузе, так и у сорго, некоторые признаки качества, такие как высокое содержание незаменимых аминокислот и переваримость, имеют тенденцию ассоциироваться с мучнистым эндоспермом (Tesso et al., 2005).

Содержание жира, золы и клетчатки в зерне сорго. Жир является запасным веществом, представляющим собой, наряду с углеводами, концентрированный энергетический и строительный резерв семени. Некоторые жирные кислоты (арахидоновая, линолевая и линоленовая) жизненно необходимы для нормальных процессов обмена веществ, роста и развития животных и поэтому обязательно должны поступать с кормом (Калашников и др., 2003). Жир в зерне сорго (содержащийся в основном в зародыше) богат полиненасыщенными жирными кислотами (Glew et al., 1997). Состав жирных кислот жира сорго (линолевая кислота 49%, олеиновая 31%, пальмитиновая 14%, линоленовая 2,7%, стеариновая 2,1% и др.) близок по содержанию кукурузному жиру (Adeyeye and Ajewole, 1992; Abah et al., 2020).

Поступающий с кормом жир в умеренном количестве повышает аппетит, улучшает пищеварение и всасывание в кишечнике. С жиром поедаемого корма организм животных поступают жирорастворимые витамины (Калашников и др., 2003).

Несмотря на то, что сырой жир (липиды), имеет самую низкую концентрацию (2-4% сухого вещества) в зерне сорго, его высокая калорийность повышает питательную ценность кормов для животных (Kriegshauser et al., 2006). В исследованиях Rhodes D.H. et al. (2017) содержание жира в зерне сорго варьировало от 1,0 до 4,4%. Установлено, что образцы с щуплой зерновкой обладают высокой долей зародыша в зерне и высоким содержанием жира (Singh and Axtell, 1973). Однако, при увеличении содержания жира в зерне наблюдается снижение урожайности сорго, которое обусловлено снижением массы 1000 зерен (Boyles et al., 2017). Сильная отрицательная корреляция урожайности зерна с содержанием жира подтверждается исследованиями Chittapur R. et al. (2015).

Из выявленных Mace и Jordan (2010) генов основных признаков, ни один не был связан с биосинтезом жира. Однако, Boyles R.E et al. (2017) на 10 хромосоме идентифицировали QTL, который в разные годы был тесно связан с содержанием жира в зерне сорго. Также значимые QTL сырого жира были выявлены на хромосомах 1, 2, 5 и 6, но они зависели от условий окружающей среды и ни один из них не был близок к эффекту QTL хромосомы 10.

В исследованиях Н.А. Шепель (1985 а) созданные гибриды по содержанию жира, в основном, занимали промежуточное положение между родительскими формами или уступали им. Только у некоторых гибридных комбинаций наблюдалось увеличение жира по сравнению с исходными образцами.

Клетчатка входит в состав клеточных стенок и является вторым по значению после крахмала полисахаридом зерна. В состав сырой клетчатки входит: целлюлоза (собственно клетчатка), часть гемицеллюлозы, а также лигнин, кутин и суберин (Калашников и др., 1985). Содержание клетчатки в зерне сорго в 2,86 раза выше, чем в зерне кукурузы (Чарыев, Гадиев, 2016). При увеличении содержания клетчатки в зерне снижается питательная ценность растительного корма. Она

трудно переваривается и плохо усваивается организмом сельскохозяйственных животных (Мастерова, Ананьина, 1974).

В работе Н.А. Шепель (1985 а) клетчатки у большинства гибридов содержалось больше, чем у исходных форм. Однако, в благоприятных по погодноклиматическим условиям годы у многих гибридов её было меньше или наблюдалось промежуточное наследование. В исследованиях В.В. Ковтунова и О.А. Лушпиной (2015) у гибридов F₁ сорго зернового также отмечено доминирование большего значения признака и сверхдоминирование.

Сырая зола представляет собой несгораемый остаток сухого вещества состоящая из окислов химических элементов. В золе содержатся, в основном, кислотные элементы – фосфор, сера, хлор, кальций; щелочные – натрий и калий; а также микроэлементы – медь, кобальт, фтор, йод, цинк, марганец, никель, мышьяк, молибден, бор и алюминий. В зерне бесплёнчатых культур, к которым относится зерновое сорго, наибольшая доля приходится на окислы фосфора, калия и магния (более 85%) (Ермаков и др., 1987). Минеральные вещества выполняют важные физиологические функции: поддерживают постоянное осмотическое давление в клетках живого организма, которое необходимо для всасывания и усвоения питательных веществ. Минеральные вещества животные получают с кормом и не значительную часть с водой. Недостаточное количество их в потребляемом корме способствует уменьшению продуктивности и плодовитости, а также снижению использования кормов. Особое значение для домашних животных имеет магний, фосфор, кальций, железо и натрий (Мастерова, Ананьина, 1974).

Учитывая значимость уровня содержания сырого жира, сырой золы и сырой клетчатки необходимо проводить изучение исходного материала, созданных сортов и гибридов по данным признакам, выделять соответствующие источники и включать их в гибридизацию.

Содержание танина в зерне и его антиоксидантные свойства. Содержание дубильных веществ в зерне сорго считается нежелательным из-за способности ингибировать ферменты и образовывать белково-таниновые комплексы, снижая их переваримость (King-Thorn et al., 1998; Scalbert et al., 2000; Duodu et al.,

2002). Однако, в настоящее время во всём мире увеличивается интерес к фенольным соединениям, получаемых из растений в связи с их потенциальной возможностью использоваться в качестве антиоксидантов. Танины – это полифенольные соединения, которые классифицируются на гидролизуемые и конденсированные (Awika, 2003). Конденсированные танины представляют собой полифенолы с высокой молекулярной массой. Сорты и гибриды сорго с пигментированной тестой содержат танины, которые контролируются генетически (Dykes and Rooney, 2006). Согласно, классическим исследованиям наследования известно, что не менее двух локусов контролируют наличие коричневой окраски зерновки сорго (B1 и B2), которые были сопоставлены с хромосомой 2 и хромосомой 4 (Wu et al., 2012; Morris et al., 2013 b). Используя картирование генетического сцепления, Wu et al. (2012) клонировали ген Tannin1 (Tan1), лежащий в основе локуса B2 и кодирующий белок WD40 (Lasky et al., 2015; Xie et al., 2019). Проведённые исследования Morris et al. (2013 b) выявили второй главный локус, который контролирует присутствие танина. Установлено, что он находится около 8 МБ на хромосоме 2. Ген, лежащий в основе локуса B1, назван Tan2. Dykes и Rooney (2006) отмечали, что конденсированные танины присутствуют только в сорго, содержащем генотип B1_B2_. Дубильные кислоты, которые представляют собой гидролизуемые танины, в зерне сорго отсутствуют.

Конденсированные дубильные вещества являются основным компонентом зерна сорго с пигментированной оболочкой. Они содержатся в околоплоднике и оболочке зерновки (Hagerman et al., 1998; Bors et al., 2000).

По мнению других авторов (Boren and Waniska, 1992; Dykes and Rooney, 2006) цвет околоплодника нельзя применять в качестве точного маркера содержания танинов в зерне сорго. Образцы сорго с различной окраской перикарпа (белого, желтого, красного или коричневого цвета), в зависимости от присутствия пигментированного теста, обладают разным уровнем содержания дубильных веществ (рисунок 5).

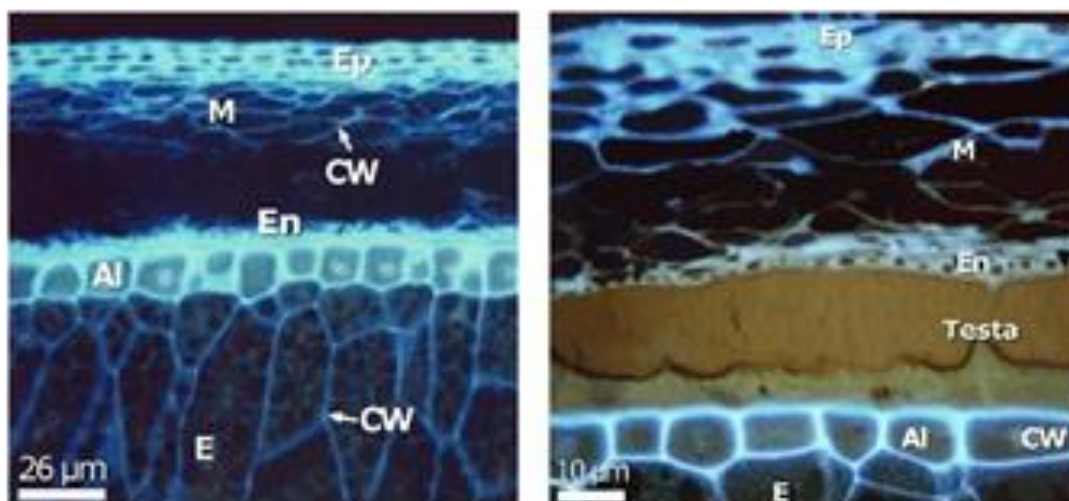


Рисунок 5 – Флуоресцентная микрофотография поперечных срезов без танинового (слева) и содержащего танины зерна сорго (справа). Al – алейрон; CW – клеточная стенка; E – эндосперм; Ep – эндокарп; Ep – эпикарп; M – мезокарп; T – пигментированное теста, (по материалам Awika and Rooney (2004)).

У образцов с пигментированным теста, в присутствии гена распространителя *S* находящегося в доминантном состоянии перикарп обладает коричневым цветом. Интенсивность коричневого цвета околоплодника зависит от генетического цвета околоплодника. Ген *Spreader (S)* контролирует присутствие пигментов и танина в эпикарпе. Когда *S* находится в доминантном состоянии, в перикарпе содержится больше танинов, чем при рецессивном состоянии (Blakeley, 1979; Hahn and Rooney, 1986). Наиболее высокое содержание конденсированных танинов отмечено у образцов сорго, имеющие доминантные гены *B1_B2_SS*. Таким образом, в зависимости от содержания танинов и наличия пигментированной тесты сорта сорго делятся на три группы: I типа (*b1b1B2_*, *B1_b2b2*, *b1b1b2b2*) – не имеют пигментированной тесты и содержат низкий уровень танинов; II – с пигментированной тестой и рецессивным геном *S (B1-B2-ss)*; III – содержат пигментированную тесту и ген распространитель в доминантном состоянии (*B1_B2_S_*). Сорго типа III имеет самый высокий уровень танинов (Hahn and Rooney, 1986; Dykes and Rooney, 2006).

Отмечается преимущество танинов над простыми фенолами, используемых в качестве антиоксидантов (Hagerman et al., 1998; Bors et al., 2000). На основании

этого некоторые учёные предполагают, что уникальные фитохимические свойства сорго могут быть сильнее, чем биологическая активность аналогичных соединений из других пищевых растений (Carr et al., 2005; Shih et al., 2007).

Роль пищевых антиоксидантов в предотвращении развития ряда заболеваний человека хорошо изучена. Антиоксиданты обладают способностью защищать организм от свободных радикалов, которые связаны с развитием некоторых видов рака, а также таких заболеваний как атеросклероз, ишемическая болезнь сердца и процесс старения (Chung et al., 1998). Существуют предположения, что антиоксиданты могут быть полезными для людей, инфицированных вирусом иммунодефицита человека (Sepulveda and Watson, 2002).

Зерно сорго характеризуется не только антиоксидантными свойствами (Choi et al., 2007), но и способствует уменьшению риска сердечно-сосудистых заболеваний (Cho et al., 2000), а также обладает антимуtagenным и противораковым эффектами (Kwak et al., 2004).

Основной целью изучения природных антиоксидантов является улучшение здоровья человека. Наиболее эффективным применением антиоксидантов являются пищевые продукты. Отруби сорго с высоким содержанием фенольных соединений могут использоваться для улучшения качества хлеба и печенья (Awika, 2003).

В связи с наличием танинов в зерне сорго, крахмал хуже усваивается (Dicko et al., 2006). Пища, приготовленная из сортов сорго с высоким содержанием танина, переваривается в желудке дольше (Awika and Rooney, 2004). Известно, что пищевые продукты, содержащие медленно усваиваемый крахмал, обладают низким гликемическим индексом и повышают чувство сытости (Shin et al., 2004). Такая особенность сорго применяется для борьбы с ожирением и в питании диабетиков (Awika and Rooney, 2004).

Сорго с коричневой окраской зерновки обладают лучшей антиоксидантной активностью, чем красnozёрные образцы. Сорта и гибриды сорго с белой окраской зерна характеризуются наиболее низкой активностью (Awika, 2003).

Все сорго содержат танин, но концентрация в каждом конкретном генотипе может существенно различаться в зависимости от генетических особенностей и влияния окружающей среды (Dykes et al., 2005; Taleon et al., 2012). На содержание танина в зерновке большое влияние оказывает его окраска. Сорго с белым цветом зерновки содержит только одну треть от концентрации танина краснозёрных образцов сорго (Rooney, 2000). В работе Chakravorty (1969) отмечено, что сорта сорго с окрашенным зерном обычно содержат больше белков. Различия в усвояемости белых и красных зерен сорго были незначительными, но сорта с коричневыми семенами хуже переваривались у крупного рогатого скота.

Окраска зерновки сорго оказывает влияние на цвет и возможность использования его при производстве продуктов питания (Waniska and Rooney, 2000). Большое количество традиционных пищевых продуктов (каши, алкогольных и безалкогольных напитков) готовят с использованием зерна сорго с повышенным содержанием танина (Beta et al., 2000; Vvochora et al., 2005; Dicko et al., 2005; Osman, 2004). Сорго с высоким содержанием танина и красно-коричневым перикарпом часто используется при производстве тёмного пива (Beta et al., 2000). Из зерна сорго с пигментированным околоплодником возможно производить пищевые продукты с натуральным темным цветом, высоким содержанием пищевых волокон и антиоксидантов. Например, хлеб хорошего качества, содержащий отруби танинового сорго, обладает высоким содержанием фенолов, антиоксидантной активностью и уровнем пищевых волокон с естественным темно-коричневым цветом и превосходным вкусом (Rooney and Waniska, 2000).

Сорго с повышенным содержанием танина в зерне имеют необоснованную репутацию токсичного при кормлении животных (Dykes and Rooney, 2006). Танины в сорго не вызывают проблем с токсичностью у животных, потребляющих зерно. Однако, эффективность кормления зерном сорго с высоким содержанием танина в зависимости от вида животных, способа обработки зерна и рациона питания может быть снижена на 10-30% по сравнению с сорго, не содержащего танина. Для получения единицы прироста веса, животные, как правило, потребляют

больше корма имеющее в своём составе сорго с высоким содержанием танина по сравнению с низкотаниновым сорго (Rooney, 2005; Sedghi et al., 2011).

Сорго, содержащее танины, менее вредно для жвачных, чем для нежвачных животных. Доказано, что зерно сорго с высоким содержанием танинов влияет на суточный прирост веса кур и свиней, но овцы и крупный рогатый скот не страдают (Hancock and Bramel-Cox, 1992).

В работе Elkin et al. (1996) отмечено, что сорго с одинаковым уровнем содержания танина в зерне имеет различную перевариваемость. Это говорит лишь о частичном влиянии танина на низкую перевариваемость белка. В проведённых исследованиях по кормлению крупного рогатого скота не наблюдалось отрицательного влияния использования в кормах зерно сорго, содержащее танины.

Включение в рацион зерно сорго с содержанием танина приводило к снижению роста цыплят (Rayudu et al., 1970). В работе Jacob et al. (1996) не проявилось каких-либо побочных эффектов в рационах цыплят-бройлеров, а в исследованиях Ambula et al. (2003) таниновое сорго не оказало вредного влияния на кур-несушек.

В проведённых исследованиях Al-Mamary et al. (2001) отмечено, что у кроликов, в кормах которых содержалось сорго с низким содержанием танина, не изменялись скорость прироста, потребление пищи или коэффициент конверсии корма по сравнению с контролем. В тоже время животные, имеющие в своём рационе зерно с высоким уровнем танина, имели существенное уменьшение прибавки в весе и большее потребление корма по сравнению с контролем.

Считается, что образование комплексов между белками сорго и танинами делает белки не усваиваемыми, а также ингибирует пищеварительные ферменты. Это имеет важное значение, как в питании человека, так и в кормлении животных. (Medugu et al., 2012).

На основании выше сказанного, можно сделать вывод, что селекционную работу по уровню содержания танина в зерне сорго необходимо вести в зависимости от целевого назначения, а повышение качества зерна в целом является важным направлением в селекционной программе по сорго.

1.5 Теоретические основы гетерозиса

Гетерозис является основным фактором увеличения урожайности многих видов сельскохозяйственных культур. Гибриды обычно проявляют более высокие темпы роста и урожайность, а также лучшую устойчивость к биотическим и абиотическим стрессам по сравнению с родительскими формами (Lippman and Zamir, 2007). Применение гетерозисных гибридов приводит к повышению урожайности сельскохозяйственных культур на 10-30% (Юдина и др., 2021). За счёт внедрения в сельскохозяйственное производство гибридов, начиная с начала 1930-х годов, произошло увеличение урожайности кукурузы примерно на 15% (Duvick, 2001). Гибридный рис дает прибавку в урожайности порядка 20-30% по сравнению с сортами риса и вносит значительный вклад в продовольственную безопасность (Lin and Yuan, 1980). Использование гибридного сорго может значительно повысить урожайность сорго, поскольку оно на 20-60% превосходит урожайность сортов (House et al., 1997; Bantilan et al., 2004; Ringo et al., 2015). По мнению Г.И. Костиной (1992) гибриды, полученные с использованием ЦМС-линий, как правило, превышают сорта не только по урожайности, но и обладают более высокой устойчивостью к биотическим факторам среды.

Несмотря на то, что гетерозис был открыт более 230 лет назад, до сих пор его природа является предметом дискуссий (Гончарова, Харитонов, 2015).

Были предложены четыре гипотезы гетерозиса: доминирование, сверхдоминирование, псевдосверхдоминирование и эпистаз. Достижения в области геномики открыли другие теории гетерозиса, включая метаболизм белков и эпигенетические изменения у гибридов (Goff, 2011; Chen, 2013; Schnable and Springer, 2013).

Гипотеза доминирования предполагает повышение урожайности и улучшение других хозяйственно-ценных признаков у гибридов F_1 в результате накопления большего количества доминантных аллелей в его геноме, чем в исходных родительских формах. При этом доминантные аллели подавляют отрицательные эффекты рецессивных аллелей, такие как депрессию и снижение приспособленности потомства, полученного от скрещивания между родственными особями

(Charlesworth and Willis, 2009). В настоящее время данная концепция имеет лидирующее положение. Ее широкое распространение объясняется важным значением, которое эта теория придает аддитивным эффектам и неаллельному взаимодействию генов (Хотылева и др., 2016).

Гипотеза сверхдоминирования утверждает, что гетерозиготные формы лучше, чем любой из двух родителей с гомозиготным генотипом (Li et al., 2015). То есть, согласно этой теории, взаимодействие между членами одной и той же пары аллелей приводит к преимуществу гетерозиготы над обеими гомозиготами. Предполагается, что оба аллеля в гетерозиготе осуществляют несколько различных функций, но при этом взаимно дополняют друг друга. В этом случае речь идет о комплементарном взаимодействии между аллелями в пределах одного локуса (Хотылева и др., 2016).

Теория псевдосверхдоминирования была впервые предложена в 1917 г. как возможное объяснение гетерозиса. Предполагается, что определенный признак контролируют многие факторы и маловероятно, что один организм может иметь все благоприятные аллели в своем геноме (Li et al., 2015).

В гипотезе эпистаза указывается, что гетерозис вызывается взаимодействиями между разными локусами, влияющие на фенотипическое выражение признака (Li et al., 2015).

Исследования многих авторов на различных культурах подтвердили все четыре гипотезы, включая доминирование (Xiao et al., 1995; Garcia et al., 2008), сверхдоминирование (Krieger et al., 2010; Lariepe et al., 2012; Zhou et al., 2012), псевдосверхдоминирование (Stuber et al., 1992; Graham et al., 1997) и эпистаз (Hua et al., 2003; Melchinger et al., 2007; Kusterer et al., 2007; Tang et al., 2010).

В.А. Струнниковым предложена теория, согласно которой проявление гетерозисного эффекта обусловлено наследованием от родительских форм скоординированного компенсационного комплекса благоприятных генов, возникающего в результате отбора на фоне действия вредных генетических и экологических факторов (Струнников, Струнникова, 2000; Гончарова, Харитонов, 2015).

На основе полученных результатов различных исследователей было предположено, что генетическая основа гетерозиса, в зависимости от признаков и изучаемых видов, может быть объяснена не отдельной теорией, а множеством гипотез вместе (Li et al., 2015).

Кроме генетических гипотез, объясняющих причину проявления гетерозиса, имеются также физиолого-биохимические теории. Они объясняют гетерозис более интенсивным биологическим обменом веществ в гибридных организмах, что обуславливает ускорение образования белков, лучший рост и выживаемость (Гончарова, Харитонов, 2015). Для гибридов первого поколения характерно повышение жизнеспособности и силы роста растений, лучшая фертильность и более высокая урожайность, скороспелость, хорошее качество и однородность плодов, а также приспособленность к различным внешним условиям среды (Жученко, 2001; Гончарова, Харитонов, 2015).

Величина гетерозиса зависит от конкретных комбинаций скрещиваний, в результате которых получены гибриды. Они значительно превышают родительские формы по таким хозяйственно-ценным признакам, как высота растений, кустистость, размер метелки и листа, толщина стебля и урожай зерна (Жукова и др., 2018; Володин и др., 2021). Наибольшее внимание при изучении гетерозиса у сорго из всей совокупности признаков следует уделять продолжительности вегетационного периода, высоте растений, продуктивности и её элементам. У сорго гетерозис по высоте растений составляет от 6 до 72% (Pfeiffer et al., 2010; Ben-Israel et al., 2012). В работе Н.А. Шепель (1985 а) у гибридов зернового сорго в сравнении с родительскими формами по данному признаку в значительной степени наблюдалось проявление гетерозиса. По мнению Schnable P.S. и Springer N.M. (2013), проявление существенного гетерозиса по высоте растения, делает его идеальным признаком для изучения.

Использование гетерозиса является одним из наиболее экономически выгодных способов увеличения урожайности сорго (Андрющенко, 1992). В исследованиях Я.И. Исакова (1980) проявления гетерозиса по урожайности зерна у полученных гибридов достигало 20-30%. Современные исследования показывают, что

некоторые комбинации могут превышать родительские формы на 40-70% и более (Багринцева, Вахопский, 2003; Капустин и др., 2019). В работе Н.И. Андриющенко (1992) истинный гетерозис по данному признаку наблюдался у 98,7% гибридов, гипотетический – у 99,9%. Самый высокий эффект гетерозиса по урожайности наблюдается при межвидовых скрещиваниях кафрского сорго с хлебным или гвинейским (Володин и др., 2017 б). В работе Ю.Н. Клепко (1985) отмечено, что наибольший гетерозис проявляется у гибридов первого поколения, где в качестве материнской формы используется стерильная линия кафрского сорго, а в качестве отцовской – сорта опылители негритянского. Анализируя проявление гетерозиса у гибридов зернового сорго, Н.А. Шепель (1985 а) пришел к выводу, что из двух основных составляющих (количество зерен в метелке и масса 1 000 зёрен) урожайности зерна, в наибольшей степени подверженным влиянию гетерозиса, является признак «количество зёрен в метёлке». По массе зерна с одной метёлки высокими показателями истинного и гипотетического гетерозиса характеризуются значительная доля гибридных комбинаций (93,4 и 95,0% соответственно). По массе 1 000 зёрен наблюдается низкий процент проявления гетерозиса (истинный гетерозис – 30,7% комбинаций, гипотетический – 68%). По продолжительности вегетационного периода отмечается проявление отрицательного гетерозиса (истинный гетерозис у 81% гибридов, гипотетический – у 86%), что указывает на большую скороспелость гибридов по сравнению с родительскими формами (Андриющенко, 1992).

Выявить комбинации с гетерозисом по комплексу необходимых хозяйственно-ценных признаков не всегда удается (Кибальник и др., 2020).

Поиск возможностей применения гетерозиса и повышения урожайности сорго привел селекционеров к открытию цитоплазматической мужской стерильности. В результате появилась возможность существенного увеличения продуктивности культуры за счёт использования гетерозиса гибридов первого поколения.

1.6 ЦМС в селекции сорго

Производство гибридных семян сорго, как и других сельскохозяйственных культур, связано с цитоплазматической мужской стерильностью (ЦМС) (Klein et al., 2005; Palan et al., 2014). Впервые данное явление было открыто в 1931 году у кукурузы, независимо друг от друга и практически одновременно, в США Rhoadse M. и в СССР сотрудником Всесоюзного института растениеводства (ВИР) М.И. Хаджиновым. В настоящее время ЦМС описано более чем у 150 видов растений (Ivanov and Dymshits, 2007; Chen and Liu, 2014; Анисимова и др., 2017).

Цитоплазматическая мужская стерильность открыла большие возможности для практического использования гетерозиса у сельскохозяйственных растений. Она исключает необходимость кастрации цветков материнских стерильных линий, обеспечивая возможность их контролируемого опыления пыльцой отцовских форм для производства гибридных семян (Анисимова, Гаврилова, 2012).

ЦМС – это наследственный по материнской линии признак, при котором растения не могут производить функциональную пыльцу в результате митохондриальных мутаций или ядерно-митохондриальной несовместимости, которые нарушают функцию митохондрий на критической стадии развития пыльника (Mackenzie et al., 1994; Hanson and Bentolila, 2004; Анисимова, Гаврилова, 2012). Таким образом, ЦМС является следствием ядерно-цитоплазматических дисфункций, обусловленных перестройками митохондриального генома. Возникает ЦМС в результате отдаленной (межвидовой и межродовой) гибридизации (Chase, 2006; Анисимова, Гаврилова, 2012).

Механизмы индукции стерильности изучены недостаточно. Считается, что связанные с ЦМС дисфункции митохондрий не оказывают отрицательного воздействия на формирование вегетативных органов растений, но вредны для клеток тапетума, деятельность которых требует значительных затрат энергии. Развитие тапетума, как правило, сопровождается программируемым отмиранием клеток.

Скорее всего, ассоциированные с ЦМС гены приводят к нарушениям этого регулируемого процесса (Bentolila and Hanson, 2001; Анисимова, Гаврилова, 2012).

Селекция гетерозисных гибридов у сорго стало возможным после открытия у кафрского вида стабильно наследуемой цитоплазматической мужской стерильности A1 (milo), а также источников восстановления фертильности пыльцы к ней (Анисимова и др., 2017). Широко используемая стерильная цитоплазма A1 обусловлена взаимодействием между ядерными генами кафрского сорго, в частности, локусом Rf1 и цитоплазмой milo (Klein et al., 2001). Позже было обнаружено большое количество ЦМС-индуцирующих цитоплазм – A2, A3, A4, A5, A6, 9E, M-35-1A и др. (Reddy et al., 2005; Кибальник, 2017). На сегодняшний момент имеется информация о более 10 различных типах ЦМС у сорго (Эльконин, 2004). Однако, в селекции сорго на гетерозис в основном используются стерильные линии с высокой комбинационной способностью, полученные на основе цитоплазмы A1 (Jordan et al., 2010; Mahdy et al., 2011; More et al., 2014; Patil and Kute, 2015; Кибальник, 2017). Это связано с трудностью выделения стабильных источников восстановления фертильности для ЦМС-линий с новыми типами цитоплазм, а также изменчивости признака в зависимости от условий окружающей среды (Elkonin and Tsvetova, 2012; Elkonin et al., 2015; Kozhemyakin et al., 2017; Анисимова и др., 2017; Kante et al., 2018).

Мужскую фертильность форм с ЦМС возможно восстановить в случае внедрения в генотип ядерных генов восстановления фертильности пыльцы Rf (restoration of fertility), нужных для формирования функционального мужского гаметофита (Анисимова, Гаврилова, 2012).

В результате гибридологического анализа, был идентифицирован на хромосоме SBI-08 ген Rf1 доминантные аллели которого, контролируют восстановление фертильности ЦМС A1-milo (Klein et al., 2001; Klein et al., 2005). Другой ген (Rf2), отвечающий за восстановление фертильности для этого типа ЦМС, был картирован на хромосоме SBI-02 (Jordan et al., 2010).

Позже на хромосоме SBI-05 был выявлен ген Rf5 и ряд модификаторов, отвечающие за восстановление фертильности пыльцы ЦМС типов A1 и A2 (Jordan

et al., 2011). В работе Praveen M. et al. (2015 a) обнаружен, не описанный ранее, новый локус (Rf6), который аналогично Rf5 восстанавливал фертильность как на ЦМС A1, так и на A2. Было обнаружено, что в обеих популяциях Rf6 находится на 4 хромосоме очень близко к маркеру SB2387 SSR.

В большинстве случаев гены Rf продуцируют белки, которые специфически связаны с ЦМС, передающие транскрипты в митохондриях, что приводит к сильному снижению образования митохондриальных ЦМС-индуцирующих белков (Chen and Liu, 2014). В последние годы было обнаружено, что большинство белков, кодируемых генами Rf, принадлежат к семейству PPR (Pentatricopeptide Repeat) (Dahan and Mireau, 2013; Gaborieau et al., 2016).

В зависимости от родительских линий в одних скрещиваниях восстановление фертильности контролирует один главный ген-восстанавливающий фертильности, в других скрещиваниях с ЦМС-линиями цитоплазмы A1 два или более основных гена (или несколько генов с незначительными эффектами) (Schertz et al., 1989). В работе Reddy P.S. et al. (2010) утверждается, что для ЦМС A1 восстановление фертильности пыльцы обусловлено действием доминантных аллелей главного и двух дополнительных комплементарных генов. Следовательно, восстановление фертильности в цитоплазме A1, несмотря на действие одного или двух основных генов, имеет сложный характер наследования (Chauhan et al., 2015; Chauhan et al., 2016).

Кроме того, как на проявление мужской стерильности, так и на восстановление фертильности пыльцы оказывают влияние факторы внешней среды, такие как температура, почвенная и воздушная засуха (Эльконин, Сарсенова, 2020). Сочетание сложного генетического контроля и изменения окружающей среды определяют условия для проявления фертильности. Отсутствие детального понимания генетического контроля за восстановлением фертильности создает значительные трудности в селекции сорго. Например, при создании новых линий восстановителей единственным способом, с помощью которого селекционер может окончательно определить статус восстановления линии, является скрещивание её со стерильной линией и последующая оценка плодовитости полученного гибрида F₁.

Для уточнения степени восстановления в неблагоприятных климатических условиях может потребоваться дополнительное тестирование (Jordan et al., 2010).

Таким образом, выделение эффективных источников восстановления фертильности, а также создание высокогетерозисных гибридов на основе цитоплазматической мужской стерильности, в настоящее время рассматривается как приоритетное направление в селекционной работе по сорго.

1.7 Основные принципы подбора родительских пар для скрещиваний

Несмотря на длительный период селекционной работы по гибриднему сорго, теория подбора родительских пар для гибридизации разработана недостаточно и пока ещё слабо затронута генетикой (Дремлюк, 2008). Кроме того, проблема прогнозирования гетерозиса до настоящего времени не решена, а практически во всех технологиях селекции на гетерозис доминирует испытание большого количества комбинаций скрещиваний. В связи с этим, особое внимание должно уделяться подбору родительских пар (Козловская и др., 2019).

В свою очередь, подбор родительских форм является одной из сложных проблем в практической селекции, так как проявление признаков родительских форм в полученном гибриде находится под влиянием постоянно изменяющихся факторов внешней среды (Дзюба и др., 2012; Чихирь, Есаулова, 2016).

По мнению Н.А. Шепель (1985 а), не всякое скрещивание может привести к получению потомства, превышающего по урожайности родительские формы. Только некоторые пары родительских компонентов, хорошо приспособленные к конкретным почвенно-климатическим условиям, могут дать высокопродуктивные гибриды.

При подборе исходных родительских форм для проведения скрещиваний опираются на принцип географической отдалённости (Гуляев, 1971; Дремлюк, 2008). Принцип подбора пар по эколого-географическому происхождению основывается на закон гомологических рядов в наследственной изменчивости Н.И. Вавилова (Лепехов, 2017). В связи с тем, что в различных почвенно-

климатических условиях в результате естественного и искусственного отборов образовались разные экотипы растений, целью этого принципа являлось объединение в одном генотипе всех положительных признаков привлечённых в гибридизацию форм. Проявление гетерозиса в этом случае обусловлено генетическими различиями родительских образцов, возникших в результате географической изоляции (Зыкин, Шакирзянов, 2001; Козловская и др., 2019). Особое значение здесь имеет то, чтобы используемые в гибридизации образцы были приспособлены к почвенно-климатическим условиям зоны выращивания (Мальчиков, 2009; Давыдова, Казаченко, 2013). Иначе, использование в качестве одной из исходных форм географически отдалённого сорта, плохо адаптированного к местным условиям, ведёт к тому, что большая часть потомства вследствие этого будет формировать низкую продуктивность (Лепехов, 2017). Привлечение родительских форм различного эколого-географического происхождения В.Г. Учковский (1965) считал перспективным методом для создания высокопродуктивным гибридов кукурузы.

В работе Г.К. Дремлюк (2008) отмечено, что руководствоваться только одним этим принципом является недостаточным, так как не во всех сочетаниях отдалённых по происхождению линий наблюдается высокогетерозисное потомство. По его мнению, увеличение эффекта гетерозиса у гибридов сорго и других сельскохозяйственных культур, в значительной степени, зависит от подбора исходных форм с учётом генетических факторов и прежде всего комбинационной способности. Кроме того, при подборе родительских образцов необходимо обращать внимание на выраженность комплекса хозяйственно-ценных признаков, опираясь при этом на знания о их наследовании.

Существенная роль при гибридизации отводится генетической разнокачественности (отдалённости) исходных образцов. Установлено, что при включении в скрещивание линий, неродственных по происхождению, наблюдается высокий процент хороших комбинаций. Для выделения таких линий используют классификацию их по фенотипу и генотипу, что также можно считать одним из принципов подбора пар при гибридизации (Дремлюк, 2008).

При селекции на гетерозис большое внимание уделяется подбору родительских пар по элементам продуктивности. Использование в гибридизации образцов с высокой урожайностью или выраженностью её элементов считается достаточно надёжным основанием для получения высокогетерозисных гибридов (Обухова и др., 2012). По культуре сорго этот принцип широкое применение получил в исследованиях А.Г. Троценко (1979), где в его основу был положен учёт основных элементов структуры урожая, включая количество веточек 1-5 порядков и количество зёрен в метёлке.

Н.А. Шепель и А.В. Бойко (1990) также считали, для правильного подбора родительских пар при гибридизации, необходимо не только уметь прогнозировать гетерозис, но целесообразно всесторонне изучить агробиологические особенности исходного материала и выделить из них наиболее ценные по хозяйственным признакам.

По мнению Дремлюк Г.К. (2008) такой метод подбора пар имеет существенное значение только после строгой браковки по комбинационной способности. Оценка значений эффектов ОКС и вариантов СКС в сочетании с эколого-географической удалённостью, разнокачественностью, оценкой структурных элементов урожая является научно-обоснованным приёмом на фоне отдельных принципов подбора пар.

Выбор наиболее подходящей методики подбора родительских компонентов для проведения гибридизации в значительной мере определяется знанием закономерностей наследования гибридным потомством важнейших хозяйственно-полезных признаков (Дремлюк, 1988).

1.8 Комбинационная способность

Продолжительность и конечный успех в селекции новых сортов и гибридов сельскохозяйственных культур в значительной степени зависит от правильного подбора исходного материала (Новичихин и др., 2019; Зайцев, 2020). Поэтому, в селекции на гетерозис одним из важных этапов является изучение общей (ОКС) и

специфической (СКС) комбинационной способности исходного материала (Кибальник и др., 2014; Justin et al., 2015; Капустин и др., 2018).

Определение комбинационной способности является наиболее распространённым и эффективным методом генетического анализа селекционного материала (Зайцев, 2020). Оценка исходных форм на комбинационную способность позволяет спрогнозировать результаты будущих скрещиваний, а также уделить внимание наиболее перспективному материалу, избегая при этом затрат времени и средств на повторное создание и изучение гибридов от родительских образцов, не обладающих селекционной ценностью (Беседа и др., 2009). По мнению П.И. Костылева и др. (1995) на основе индикаторов высокой КС (стерильных линий и опылителей) в первом поколении гибридов F_1 возможно выделение высокопродуктивных комбинаций, обладающих хозяйственной ценностью.

Под общей комбинационной способностью понимается средняя ценность родительской формы во всех гибридных комбинациях с ее участием, а специфическая комбинационная способность определяется как отклонение от средних значений гетерозиса по отдельной комбинации (Кадыров, 2008; Хотылева и др., 2016). Считается, что специфическая комбинационная способность подвержена влиянию модифицирующих факторов сильнее, чем общая. Поэтому, для получения более точной информации о характере наследования признака в конкретной комбинации скрещивания требуются испытания в течение длительного периода и в различных агроклиматических условиях (Зайцев, 2020).

Комбинационная способность исходных генотипов является генетически обусловленным параметром. Проявление той или иной формы комбинационной способности обусловлено характером взаимодействия генов. ОКС определяется действием аддитивных генов, а СКС – доминантных и эпистатических (неаддитивным) (Kumar et al., 2013; Жужукин и др., 2016; Кибальник, 2017; Mofokeng et al., 2017). Оценка общей комбинационной способности необходима для выделения линий, включение в гибридизацию которых приводит к получению гибридов, превышающих по урожайности родительские формы и лучшие комбинации гибридов (Болдырева и др., 2020). Родительские формы с высокими эффектами ОКС

являются источниками хозяйственно-ценных признаков и обладают высокой адаптивностью к условиям выращивания (Fasahat et al., 2016; Кибальник, 2017). Оценка на СКС проводится с целью выявления конкретных фертильных и стерильных линий для создания высокогетерозисных гибридов (Болдырева и др., 2020).

В результате включения в гибридизацию сортов с высокой комбинационной способностью получается более урожайное гибридное потомство, чем от использования сортов, имеющих низкую комбинационную способность (Дремлюк, 2008; Борасулов и др., 2020).

В селекционной работе по сорго используют различные методы оценки комбинационной способности (Старчак, 2017). Комбинационную способность родительских пар (сортообразцов, линий) можно изучать методами диаллельного скрещивания, топкросса, поликросса и свободного опыления (Бритвин, Болдырева, 2013; Болдырева и др., 2020). На практике для оценки комбинационной способности исходного материала применяются в основном методы диаллельных и топкроссных скрещиваний. Метод диаллельных скрещиваний является более информативными и с его помощью можно получить более точные данные об ОКС и СКС, а также определить некоторые компоненты генетической дисперсии (Анашенков, 2012; Зайцев, 2020). Однако, в связи с большой трудоёмкостью по культуре сорго этот метод применяется лишь в отдельных случаях, как правило, для определения специфической комбинационной способности небольшого числа линий. Метод поликросса даёт надёжную информацию при оценке изучаемого материала на кукурузе, однако специфические особенности сорго ограничивают его применение. По этой же причине не приемлем и метод свободного опыления (Шепель, 1985 б). Наиболее эффективным, надёжным и широко распространённым является метод топкроссов, который предполагает использование 2-4 стерильных линий в качестве тестеров, а также значительное (более 10) количество сортов и линий в качестве опылителей. Оценка комбинационной способности в таком случае позволяет разделить исходный материал на группы и использовать в

селекционных программах с учётом выявленных статистических характеристик (Старчак, 2017).

Установлено, что лучшие гибриды, полученные на основе родительских форм с высокой комбинационной способностью способны превышать стандарт по урожайности зерна на 38-50% (Андрющенко, 1999).

1.9 Влияние внешних факторов окружающей среды на урожайность и качество зерна сорго

Сорго обладает исключительной устойчивостью к большинству видов абиотических стрессов (Tari et al., 2013). Оно отличается высокой засухоустойчивостью и жаростойкостью (Кибальник, 2020). Установлено, что на формирование сухого вещества сорго требуется 300 частей воды, кукурузе – 388, пшенице – 515, ячменю – 543, овсу – 600, гороху – 730 (Шепель, 1994; Антимонов и др., 2019). Для набухания семян сорго необходимо 35% воды от собственного веса, кукурузе – 40%, пшенице – 60%, а гороху – 95% (Шепель, 1994).

Высокая засухоустойчивость сорго обусловлена низким транспирационным коэффициентом за счёт особенностей листовой поверхности (наличие воскового налёта) (Premachandra et al., 1994), а также мощным развитием корневой системы (до 200 см) (Robertson et al., 1993; Singh et al., 2010). Оно обладает высокой способностью усваивать питательные вещества, устойчивостью к засолению, что позволяет расти на бедных почвах в диапазоне pH 5,0-8,5 (Шепель, 1994; Almodares et al., 2008). Кроме того, сорго оказывает рассоляющее действие на почву (Шукис и др., 2022).

По мнению Е.В. Ионовой и соавторов (2013) значительное влияние на величину и качество урожая сельскохозяйственных культур оказывают нерегулируемые факторы внешней среды (температура, влажность и др.).

Сорго относится к теплолюбивым растениям (Метлин и др., 1994; Антимонов и др., 2021; Антимонов и др., 2022). В связи с этим, оно отличается высокой чувствительностью к пониженным температурам и заморозкам (Шепель, 1994).

По данным Б.Н. Малиновского (1990) кратковременные заморозки от -1 до $-0,5^{\circ}\text{C}$ губительны для всходов, а продолжительная холодная погода оказывают негативное влияние на рост и развитие растений, сильно угнетает их, особенно в начальный период вегетации, и отрицательно влияет на дальнейшее развитие. Прежде всего, это выражается в увеличении периода «посев-всходы» и продолжительности вегетационного периода в целом, что влечёт повышение засорённости посевов, снижение урожайности на 10-15%, ухудшение химического состава зерна и качества продукции (Tiryaki and David, 2001; Ионова, Алабушев, 2009; Смирнова, 2016).

Даже в южных районах страны при посеве сорго в ранние, а иногда и в оптимальные сроки возможен возврат понижения температуры с заморозками (Малиновский, 1990).

Для ускорения селекционного процесса, выделения нового исходного материала, повышения качества селекционных работ необходимо проводить не только морфобиологические, но и физиологические исследования сорго (Колов и др., 2009).

Повышение устойчивости к холоду во время прорастания и на ранних этапах развития всходов потенциально позволит расширить производство сорго в регионах с более холодным климатом (Tiryaki and David, 2001). В более тёплых районах, повышение устойчивости к низким положительным температурам в начальный период вегетации, позволит проводить более ранний посев, что имеет большое практическое значение. Ранний посев способствует более эффективному использованию осадков весной в стартовый период роста и развития, что в конечном итоге влияет на величину урожая. Чтобы использовать преимущества раннего посева, по мнению Yu J. и Tuinstra M.R. (2001) необходимо создавать сорта и гибриды устойчивые к холоду.

Установлено, что существует существенная разница по устойчивости к холоду среди разных образцов сорго (Salas-Fernandez et al., 2014). При сравнении уровня холодостойкости между группами использования сорго отмечено, что зерновое сорго обладает более низкой холодостойкостью, чем сорго сахарное и су-

данская трава (Ионова, Алабушев, 2009). В работе В.С. Смирновой (2016) по изучению устойчивости проростков к пониженным температурам, группы сорго были распределены по степени снижения устойчивости в следующем порядке: техническое (веничное) > травянистое (суданская трава) > сорго сахарное > сорго зерновое, а по прорастанию семян в условиях пониженных температур: травянистое (суданская трава) > техническое (веничное) > сорго сахарное > сорго зерновое. В исследованиях Т.Г. Хуснетдиновой и др. (1999) всходы менее требовательных к теплу сортов и образцов сорго зернового (Волжское 4, Волжское 2, Пищевое 614 и др.) при температуре почвы на глубине заделки семян +5...+8°C появились на 5-10 дней раньше теплолюбивых. Различия по устойчивости к низким температурам проявились и на последующих этапах органогенеза, особенно в фазу налива. Причём, у холодостойких форм продолжительность вегетационного периода и продуктивность варьировали по годам в меньшей степени, чем у теплолюбивых.

В более поздние этапы органогенеза (в период цветения) температура воздуха менее +13°C может снизить фертильность пыльцы (Downes and Marshall, 1971; Osuna-Ortega et al., 2003) и привести к полной потере урожая семян (Maulana and Tesso, 2013). Тепловой стресс при температуре выше +36...+38°C во время цветения также отрицательно сказывается на завязывании семян (Singh et al., 2015).

По информации ряда учёных (Wu et al., 2012; Morris et al., 2013 a; Marla et al., 2019) QTL устойчивости к пониженным температурам тесно связана с генами контролирующими содержание танина (Tan1 и Tan2) и генами карликовости (Dw1 и Dw3), которые находились под сильным направленным отбором. Так, африканское сорго, завезенное в США, обладало базовой толерантностью к холоду. Однако, эта устойчивость была случайно снижена вместе с аллелями потери функции на tan1 и tan2 (из африканской вариации), а также dw1 и dw3 (из мутаций *de novo* в США) (Multani et al., 2003; Morris et al., 2013 b).

Урожайность зерна сорго коррелирует с множеством признаков и зависит от большого количества факторов, включая устойчивость к абиотическим и биоти-

ческим стрессам (Borrell et al., 2014; Boyles et al., 2016). Уровень влияния каждого признака на урожайность зерна зависит от генотипа, условий окружающей среды в течение вегетационного периода, а также взаимодействия генотип \times среда (G \times E) (Charman et al., 2000). Формирование массы 1 000 зёрен определяется в значительной степени генотипом, а также внешними условиями в период формирования зерновки. Отмечено, что в годы с высокой влагообеспеченностью масса 1 000 зерен может существенно увеличиться по сравнению с засушливыми годами (Беседа, 2010).

По мнению Н.А. Шепель и А.В. Бойко (1990) такие количественные признаки, как высота растения и количество зёрен в метёлке в сильной степени зависят от количества выпавших осадков за период вегетации.

Условия окружающей среды оказывают значительное влияние на концентрацию в зерне макроэлементов (крахмал, белок и сырой жир), а также основных минералов (кальций, фосфор) (Murray et al., 2008). По мнению Baenziger P.S. et al. (2001) содержание жира в зерне в значительной степени зависит от генетических особенностей сорта и факторов окружающей среды. Такие факторы, как наличие элементов питания и влаги, особенно в период формирования и созревания зерновки, могут существенно повлиять на её качество (Yang et al., 2009).

Содержание белка изменяется в зависимости от генотипа, а также условий окружающей среды, сложившихся в период роста и развития. Возможно формирование высокого содержания белка у сортов в одних почвенно-климатических условиях, и снижение или увеличение его содержания при посеве в других. Сорта, которые формируют хорошее качество белка в различных средах, имеют большое значение в селекционной работе (Kulamarva, 2009; Mofokeng et al., 2017). В свою очередь, варьирование содержания белка в зерне часто сопровождаются изменениями в аминокислотном составе белка (Fano, 2017).

По мнению Н.А. Шепель (1985 а) при высокой температуре воздуха создаются благоприятные условия для лучшего синтеза белка и уменьшения крахмала. На содержание жира погодные условия большого влияния не оказывают.

Новые сорта должны обладать способностью преодолевать неблагоприятные факторы внешней среды, ухудшающие рост и развитие растений (Некрасова и др., 2017).

Таким образом, для получения стабильного урожая с высоким качеством зерна решающее значение имеет уровень устойчивости к абиотическим стрессам. Поэтому дальнейшая селекционная работа в этом направлении имеет большое практическое значение.

ГЛАВА 2 УСЛОВИЯ, МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1 Почвенно-климатические условия

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» (ФГБНУ «АНЦ «Донской»).

Место проведения исследований расположено в Южной зоне Ростовской области, которая занимает юго-западную часть её территории, включающая Зерноградский, Кагальницкий, Егорлыкский, Целинский, Сальский и Песчанокосский районы.

Почвенный покров сельскохозяйственных угодий Ростовской области представлен, в основном чернозёмами (64,2%) и каштановыми почвами (Алабушев и др., 2008). Почвообразующими породами являются четвертичные отложения: лёссовидные суглинки, лёссы, жёлто-бурые и красно-бурые гипсоносные глины (Бельтюков, 2007).

Зерноградский район, на территории которого непосредственно находится ФГБНУ «АНЦ «Донской» и опытный участок, а также граничащий рядом Кагальницкий район обладают наиболее плодородными почвами (бонитет почв пашни 70 и 71 балл соответственно) области (Зональные системы земледелия Ростовской области на 2013-2020 годы, 2013).

Почвенный покров опытного участка представлен обыкновенным (предкавказским) чернозёмом. По механическому составу почва глинистая и легкоглинистая с преобладанием лёссовидной (27,75%) фракции (Алабушев и др., 2008). Рельеф участка ровный. Основными отличительными признаками этих почв являются большая протяженность перегнойных горизонтов, сильная перерытость профиля землероями, неплотное сложение, высокая карбонатность, наличие кро-

ме обычных форм карбонатных новообразований (жилок и белоглазки), мицелярной формы в виде карбонатной плесени. Отличительной чертой является наличие очень растянутых (постепенных) переходов между генетическими горизонтами (Безуглова, Хырхырова, 2008).

Профиль характеризуется темно-серой с буроватым оттенком окраской, осветляющуюся постепенно к низу. Структура пахотного слоя комковато-пылеватая или комковато-порошистая, в горизонте А – зернисто-комковатая или комковато-зернистая, а в горизонте В – комковато-ореховатая или ореховато-комковатая. Почва характеризуется хорошей воздухо- и водопроницаемостью (порозность в верхней части профиля составляет 55-60 %), неплотным сложением (плотность почвы в горизонте А находится на уровне 1,1-1,2 г/см³, в горизонте В – 1,25-1,30 г/см³), высокой влагоемкостью (в горизонте А – 38-40%), сравнительно небольшой максимальной гигроскопичностью (9,5-10,0%), относительно невысокой влажностью завядания растений (14-15%) и способностью накапливать значительные запасы продуктивной влаги (в перегнойно-аккумулятивном слое 25%) (Безуглова, Хырхырова, 2008). Легко поддается обработке (Алабушев и др., 2008).

Общие запасы гумуса в слое А+В находятся на уровне 325-330 т/га (Безуглова, Хырхырова, 2008). Мощность гумусового горизонта составляет 90-120 см. По химическому составу гумус отличается повышенным содержанием гуминовых кислот, с отношением их к фульвокислотам равным 2 (Алабушев и др., 2008).

Сумма поглощенных оснований – 33-39 мг/экв на 100 г почвы с преобладанием кальция. Поглощенного натрия очень мало (0,5-1,5% от емкости поглощения). Содержание общего азота в горизонте А – 0,23-0,26% при общем запасе в почве 20-30 т/га, нитрификационного азота – 1,5-2,0 мг/кг почвы, а легко гидролизуемого азота 1,5-2,0 мг/кг. Это указывает на высокую обеспеченность почвы запасами общего азота. Однако, при затяжной холодной весне и в засушливые периоды, когда аммонификационные и нитрификационные процессы подавлены, часто появляется дефицит усвояемых форм азота.

Обыкновенные черноземы характеризуются средним содержанием подвижного фосфора (15-20 мг/кг почвы), однако валовое содержание его высокое – 0,18-

0,24%. Содержание обменного калия находится на уровне 300-500 мг/кг почвы (Алабушев и др., 2008).

В таблице 1. представлены агрохимические показатели почвы опытного участка.

Таблица 1 – Агрохимическая характеристика почвы опытного участка ФГБНУ «АНЦ «Донской» (Алабушев и др., 2008)

Горизонт	Глубина отбора образца, см	рН КСl	Гумус, %	Содержание, мг/кг почвы		
				N-NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O
A _{пах}	0-25	7,0	3,28	12,5	28,5	350
A _{подпах}	25-45	7,0	3,01	9,2	14,7	320
AB	45-65	7,0	2,46	7,8	6,7	280
B ₁	65-90	7,0	2,19	6,4	3,8	250
B ₂	90-110	7,0	1,98	4,6	следы	180
BC	110-125	7,1	1,71	4,2	следы	160
C ₁	125-155	7,1	0,98	3,2	следы	130
C ₂	155-190	7,1	0,46	1,7	следы	105

Почва опытного участка обладает нейтральной реакцией почвенного раствора (рН 7,0-7,1), содержанием гумуса в пахотном горизонте 3,28%, а также высоким валовым содержанием азота (12,5 мг/кг), фосфора (28,5 мг/кг) и калия (350 мг/кг). По своим физико-химическим свойствам и уровню плодородия почва благоприятна для возделывания сорго зернового.

В агроклиматическом отношении место проведения исследований (г. Зерноград) находится в III (жарком) районе подрайоне IIIa (неустойчивого увлажнения). Высота над уровнем моря составляет 90 м (Гриценко, 2005).

Климат Южной сельскохозяйственной зоны Ростовской области континентальный (Филиппов, 2010). Основным фактором, ограничивающим стабильное получение урожая сельскохозяйственных культур, в зоне неустойчивого увлажнения, является влага (Гриценко, 2005). Согласно Зональной системе земледелия Ростовской области (2013) среднемноголетняя сумма осадков за год в Южной

зоне находится на уровне 474-500 мм, а испарение за этот период составляет 825-912 мм. Гидротермический коэффициент варьирует от 0,7-0,9 (во влажные годы) до 0,30-0,35 (в сухой год).

Температурный режим является не менее важным фактором для роста и развития сорго. Среднегодовое количество сумм температур воздуха выше $+10^{\circ}\text{C}$ составляет 3 304 $^{\circ}\text{C}$, а среднегодовая температура воздуха находится на уровне $+8,9^{\circ}\text{C}$ (Зональные системы земледелия Ростовской области на 2013-2020 годы, 2013). Территория Зерноградского района достаточно обеспечена теплом. Однако, в связи с континентальностью климата, часто отмечается неустойчивость в его поступлении, то есть переход температур от декады к декаде и от месяца к месяцу чаще всего наступает неравномерно (Гриценко, 2005). Продолжительность безморозного периода составляет 160-200 дней, число суховейных дней – 45-55 (Зональные системы земледелия Ростовской области на 2013-2020 годы, 2013).

Наступление весны отмечается во второй половине марта или первой декаде апреля, при превышении среднесуточной температура воздуха 0°C . Быстрое нарастание среднесуточной температуры воздуха в весенний период, с проявлением сухих восточных ветров, определяет необходимость проведения полевых работ в оптимально короткие сроки для максимального сохранения зимних запасов влаги.

Лето характеризуется жаркой и сухой погодой, с преобладанием солнечных дней, а также проявлением частых суховеев, когда относительная влажность воздуха уменьшается до 30%, а в некоторых случаях до 15-17%. Наблюдается нередкая смена западных ветров с осадками на сухие восточного или юго-восточного направлений, усиливая действие засухи, которая оказывает негативное влияние на рост и развитие сельскохозяйственных культур.

Осень наступает в конце сентября – начале октября, когда средняя суточная температура воздуха опускается ниже $+15^{\circ}\text{C}$. Первая половина осени, в основном характеризуется тёплой, сухой и солнечной погодой. Для второй части осени характерны туманы и морозящие дожди (Гриценко, 2005).

В целом агроклиматические условия зоны проведения исследований благоприятны для возделывания сорго. Однако, по годам в период проведения опытов они существенно различались.

В 2008 г. сумма температур за период май-сентябрь составила $3\ 122^{\circ}\text{C}$ (среднемноголетняя норма – $3\ 011^{\circ}\text{C}$), количество осадков 256,2 мм (среднемноголетняя норма – 267,8 мм), ГТК – 0,82 (приложение 1, 2). Несмотря на низкий температурный режим ($-0,8^{\circ}\text{C}$ к норме) и недостаток осадков ($-8,9$ мм к норме) в мае получены дружные всходы. Высокая температура воздуха в июне ($+20,6^{\circ}\text{C}$) и низкое количество осадков (на 57,2 % ниже нормы) способствовало приостановке развития растений. Однако, высокая влагообеспеченность (81,7 мм) в июле спровоцировала возобновление роста и развитие растений, а также благоприятно повлияла на озернёность метёлки. К III декаде августа значительная доля образцов сформировала урожай зерна. Большое количество осадков в сентябре способствовало образованию подгонов и задержке сроков уборки.

В 2009 г. сумма температур за вегетационный период сорго находилась на уровне $3\ 155^{\circ}\text{C}$, что выше среднемноголетней нормы на 144°C . В летние месяцы (июнь и июль) отклонение среднесуточной температуры воздуха от средней многолетней составляло $+3,6$ и $+2,6^{\circ}\text{C}$, соответственно. Общее количество осадков за период май-сентябрь равнялось 308,1 мм, что превышает среднемноголетнюю норму на 40,3 мм. Наибольшее количество осадков за лето выпало в июле (57,3 мм). Высокая температура воздуха в сентябре – $+17,3^{\circ}\text{C}$ (выше нормы на $1,0^{\circ}\text{C}$) и количество осадков – 132,9 мм ($+90,6$ мм к норме) провоцировали формирование подгонов.

Погодные условия 2010 г. отличались продолжительными осадками (II и III декады мая), которые носили ливневый характер, что способствовало задержке посева сорго. Лето характеризовалось жаркой и засушливой (ГТК май-сентябрь = 0,65) погодой. Сумма температур за период «посев-полная спелость» (май-сентябрь) составила $3\ 524^{\circ}\text{C}$, что превышает среднемноголетние данные на 513°C . Среднесуточная температура воздуха в июне отклонялась в сторону увеличения от среднемноголетней на $3,8^{\circ}\text{C}$, в июле – на $2,8^{\circ}\text{C}$, в августе – на $5,4^{\circ}\text{C}$. Мини-

мальное количество осадков в период май-сентябрь выпало в июне – 6,5 мм, или 9,1% от среднемноголетней нормы. В июле и августе также был отмечен недостаток атмосферных осадков. Их количество было меньше на 12,6 и 13,1 мм соответственно по сравнению со среднемноголетними данными. Низкое количество осадков в летние месяцы не позволило сорго в полной мере реализовать свой потенциал урожайности. Однако, уменьшился период формирования и созревания зерновки.

Период вегетации сорго в 2011 г. отличался теплой весной и жарким, засушливым летом (ГТК май-сентябрь = 0,65). Максимальная температура воздуха во II и III декадах июля достигала 39,1°C. Среднесуточная температура воздуха в июне и июле превышала среднюю многолетнюю на 1,3°C и 3,4°C, соответственно. Сумма температур за вегетационный период составила 3 231°C, что выше среднемноголетней (3 011°C) на 220°C. Количество атмосферных осадков в мае, июле и августе составляло по отношению к среднему многолетнему 56,1%, 126,9% и 36,4%, соответственно. Наибольшее их количество выпало в июне (90,5 мм) при средней многолетней норме 71,3 мм. Обилие влаги в июне и высокая температура воздуха (выше нормы на 1,3°C) способствовали расселению злаковой тли, что оказало негативное влияние на рост и развитие сорго.

В 2012 г. сумма активных температур за вегетационный период (май-сентябрь) составила 3 432°C, что выше среднемноголетней (3 011°C) на 421°C или 14,0%. Сумма осадков (200,3 мм) была ниже среднемноголетних данных (267,8 мм) на 67,5 мм или 25,2%. Высокая температура воздуха в мае (выше средней многолетней на 3,5°C) и обилие осадков (больше средней многолетней в мае на 44,9 мм) создали благоприятные условия для прорастания семян и роста растений сорго в первый период развития. Недобор осадков в июне на 52,9 мм, что в 3,9 раза меньше средней многолетней и высокая температура воздуха июня и июля (выше средней многолетней на 3,2°C и 1,9°C, соответственно) приостановили рост растений и ускорили начало цветения на 2 недели, причём оно прошло за более короткий период. И только осадки, выпавшие в августе (+2,1 мм к среднемноголетней норме) возобновили рост и развитие растений сорго, способствовали нали-

ву зерна. Жаркая (+2,7°C к норме) и сухая погода сентября (9,2 мм осадков при среднемноголетней 42,3 мм) позволила своевременно убрать сорго без досушки зерна с низкой влажностью 11-12%.

Метеорологические условия 2013 г. весной и летом характеризовались повышенным температурным режимом (май – +4,5°C к норме, июнь – +2,5°C, июль – +0,8°C, август – +1,8°C). В мае, июне и июле наблюдалось снижение количества осадков по сравнению со среднемноголетними (-55,5%, -64,0%, -81,1% к норме, соответственно). Такие погодно-климатические условия оказали негативное влияние на появлении всходов, дальнейшем росте и развитии растений, а также способствовали сокращению продолжительности начальных этапов органогенеза. Однако, обилие осадков в сентябре – 62,4 мм, что выше средней многолетней нормы на 20,1 мм, увеличило продолжительность уборочных работ.

Вегетационный период 2014 г. отличался благоприятными условиями для появления всходов, формирования корневой системы и вегетативных органов сорго зернового. Этому способствовала хорошая обеспеченность влагой (+7,9 мм к норме) и теплом (+2,9°C к норме) в мае, а также в июне (осадки – +0,6 мм; температура – +0,6°C к норме). В тоже время, малое количество атмосферных осадков в июле (-38,1 мм к норме) и августе (-37,5 мм к норме), а также повышенный температурный режим воздуха (июль: +1,8°C к среднемноголетним; август: +3,9°C к среднемноголетним) отрицательно повлияло на озернённость метёлки и формирование зерновки.

Метеорологические условия 2015 г. (высокая влагообеспеченность (+18,4 мм к норме) в мае и тепловой режим на уровне среднемноголетней нормы) благоприятно повлияло на появление всходов сорго зернового, а повышенное количество выпавших осадков (+42,7 мм к норме) в июне способствовало формированию вегетативных органов растений. Однако, низкое количество осадков в летние месяцы (в июле -25,5 мм, в августе -30,4 мм к норме), повышенная температура воздуха (в июле – на 0,9°C, в августе – на 2,3°C выше средней многолетней нор-

мы), а также высокая почвенная и воздушная засуха отрицательно отразились на формировании репродуктивных органов, что привело к недобору урожая.

В 2016 г. недостаточное количество тепла ($-0,6^{\circ}\text{C}$ к норме) в мае и значительное количество осадков ($+105,5$ мм к норме) привело к удлинению периода от посева семян до появления всходов у образцов сорго зернового. Низкое количество выпавших осадков в июле (на $24,9$ мм ниже нормы) и августе (на $16,4$ мм ниже нормы), а также повышенная температура воздуха (в июле $+1,6^{\circ}\text{C}$; в августе на $+4,1^{\circ}\text{C}$ к среднемноголетним) привело к снижению числа зёрен в метёлке и их массы 1 000.

Условия вегетации растений сорго в 2017 г. отличались недостаточным количеством тепла ($-0,6^{\circ}\text{C}$ к норме) в мае и его распределение по декадам, что способствовало увеличению периода «посев – всходы». Однако, обилие осадков в мае ($+3$ мм к норме) и июне ($+17,3$ мм к норме) оказало положительное влияние на дальнейший рост и развитие растений. Недобор осадков в июле ($-15,5$ мм к норме), а также высокая почвенная и воздушная засуха повлияли на формирование зерновки и её массу 1 000 зерен.

Погодно-климатические условия 2018 г. характеризовались недостаточным количеством осадков ($-38,6$ мм к норме) в мае и июне ($-67,1$ мм к норме), что привело к снижению темпов роста и развития растений, а также смещения наступления фазы «вымётывания» и «цветения» на июль. Обильные осадки в июле ($+14$ мм к норме) способствовали лучшему завязыванию зерновки и её наливу, а также образованию продуктивных подгонов. Низкая влагообеспеченность в августе ($-40,4$ мм к норме) и повышенная температура воздуха ($+2,7^{\circ}\text{C}$ к норме) ускорило прохождение последующего периода вегетации и созревания зерновки на образовавшихся подгонах.

Проведение опытов в 2019 г. сопровождалось повышенной влагообеспеченностью ($+12,6$ мм к среднемноголетним) и температурным режимом ($+2,5^{\circ}\text{C}$ к среднемноголетним) в мае, обеспечив высокую полевую всхожесть и силу роста находящихся в изучении образцов, сортов и гибридов. Недобор осадков в июне ($-60,5$ мм к норме) и I декаде июля (выпало $2,1$ мм осадков 10 июля), а также по-

вышенный температурный режим в июне ($+4,7^{\circ}\text{C}$ к норме) повлияли на развитие растений, формирование метёлок и цветение, что явилось одной из причин недобора урожая. Раннеспелые образцы, у которых фаза вымётывания и цветения наступила в конце июня и начале июля, оказались наиболее угнетёнными, что привело к снижению озернённости метёлки. Осадки во II и III декадах июля ($+14$ мм к норме) способствовали лучшему завязыванию зерновки у образцов и сортов, фаза цветения которых проходила в данный период. Кроме того, они положительно повлияли на налив зерновки. Пониженное количество осадков в августе ($-31,6$ мм к норме) и высокая температура воздуха ($+1,5^{\circ}\text{C}$ к норме) сократило период созревания.

Условия 2020 г. отличались хорошей увлажнённой почвой ($+28,6$ мм к норме) в мае, что оказало положительное влияние на полевую всхожесть сорго. Однако, пониженная температура воздуха ($-1,1^{\circ}\text{C}$ к норме) отрицательно сказалась на темпах начального роста. Осадки в июле и августе были близкими к среднемноголетним значениям ($+3,0$ мм и $-0,5$ мм, соответственно), что положительно повлияло на вымётывание и формирование зерновки. Сухая ($-39,6$ мм к норме) и тёплая ($+4,4^{\circ}\text{C}$ к норме) погода сентября способствовала проведению уборки сорго зернового на семена в сжатые сроки.

Погодно-климатические условия 2021 г. характеризовались высокой влагообеспеченностью. За вегетационный период (май-сентябрь) количество осадков составило $273,1$ мм, что на $5,3$ мм больше среднемноголетних. Гидротермический коэффициент за период май-сентябрь был равен $0,82$. Хорошая увлажнённая почва ($+13,7$ мм к норме) в мае оказала положительное влияние на полевую всхожесть сорго. Однако, недостаточное количество осадков (ниже среднемноголетнего на $33,1$ мм) в июле снизило количество зёрен в метёлке и массу $1\ 000$ зёрен.

Условия проведения исследований 2022 г. в период вегетации сорго были очень засушливыми (ГТК май-сентябрь = $0,52$). В период набухания и прорастания семян (май) наблюдалась недостаточная влагообеспеченность ($-29,6$ мм к норме), а также более низкие температуры ($-1,7^{\circ}\text{C}$) по сравнению со среднемного-

летней, что способствовало удлинению периода появления всходов и снижению полевой всхожести. Недобор осадков (10,4% от нормы) в июне привело к задержке развития растений и нарастания вегетативной массы. Это повлияло на снижение высоты растений сорго. Осадки в июле (96,7% от нормы) и августе (104,4% от нормы) были на уровне среднеголетних параметров, что положительно повлияло на вымётывание и формирование зерновки. Повышенный температурный режим в августе (+4,7°C к норме) ускорил созревание зерновки и частично сократил период вегетации «всходы – полная спелость».

Контрастные климатические условия в период проведения исследований позволили объективно оценить исходный и селекционный материал сорго зернового, а также выделить наиболее ценные образцы.

2.2 Материалы исследований

Объектом проведения исследований являлись коллекционные образцы сорго зернового, новые сорта, гибриды и их родительские формы.

В период 2008-2010 гг. исследования коллекционный питомник сорго зернового ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской» включал 150 образцов. Для проведения эффективной гибридизации и селекционной работы в целом исходный материал непрерывно пополняется и обновляется, большей частью за счёт мировой коллекции Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова и других НИУ РФ. Изученная с 2016 по 2020 гг. коллекция сорго зернового состояла из 221 образца различного эколого-географического происхождения (17 стран мира). Основная часть представлена формами из России – 91 шт. (41,2%). Причём, существенное количество образцов из них являются сортами селекции научно-исследовательских учреждений России (ФГБНУ РосНИИСК «Россорго», ФГБНУ «АНЦ «Донской», ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ», Поволжский НИИСС – филиал СамНЦ РАН, ФГБНУ «ФАНЦ Юго-Востока», ФГБНУ «ФНЦ Агроэкологии РАН» и другие), которые включены в Государственный реестр селекционных достижений допущенных к использова-

нию в Российской Федерации. Значительную долю коллекции занимали формы из Китая (20,4% или 45 шт.), Украины (16,7% или 37 шт.) и США (6,3% или 14 шт.). Кроме того, коллекция включает образцы из Западной и Восточной Европы, Африки, Азии, Южной Америки и Австралии (рисунок 6).

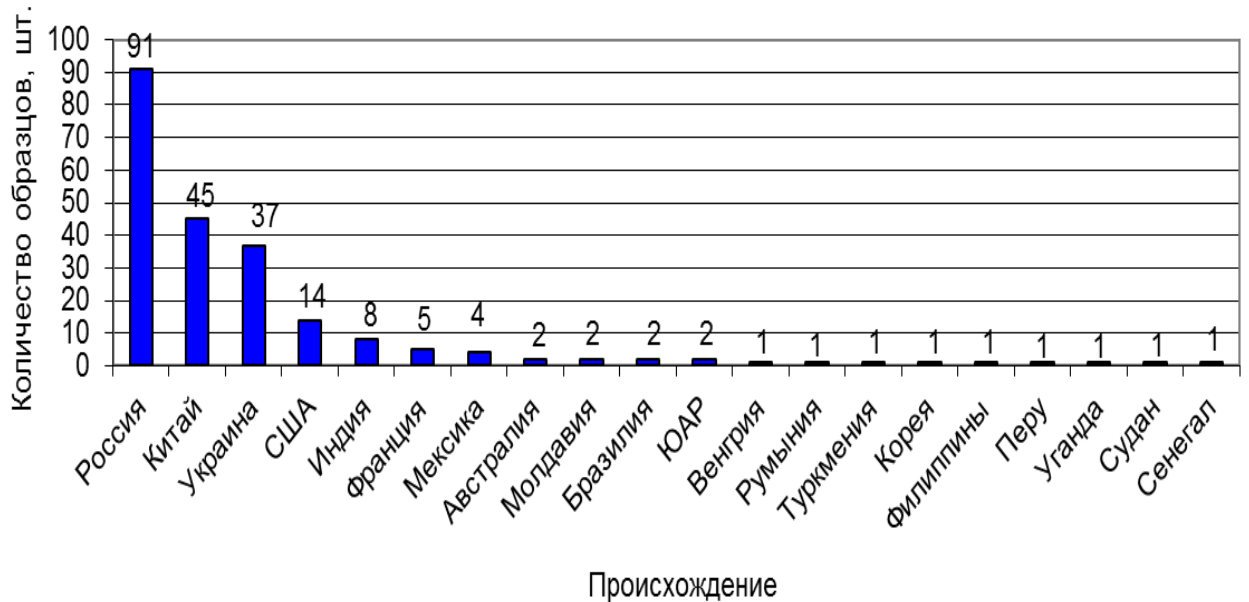


Рисунок 6 – Происхождение образцов коллекции сорго зернового, 2016-2020 гг.

Для проведение гибридологического анализа использованы родительские формы контрастные по фенотипу, а также гибриды F_1 и F_2 сорго зернового, полученные на фертильной основе по двум диаллельном схемам 4×4 (I – 34045, Белозёрное 100, ЗСК-4, Отбор 100; II – Sb-126/4, Зерноградское 204, СПЗС-11, 144 ф/8).

Образец сорго зернового 34045 – раннеспелый, созревает за 98-100 дней, характеризуется рыхлосжатой метёлкой длиной 22-25 см, зерно красного цвета, массой 1 000 зёрен – 16,5-23,0 г. Высота растений составляет 89-100 см, выдвинутость ножки метёлки – 6-8 см (рисунок 7).



Рисунок 7 – Образец сорго зернового 34045

Исходная родительская форма Белозёрное 100 – относится к раннеспелой группе созревания (период вегетации «всходы – полная спелость составляет 94-99 дней). Характеризуется рыхлой метёлкой, длина которой составляет 27-29 см, зерновкой белого цвета, массой 1 000 зёрен – 23,3-25,9 г. Высота растений – 86-104 см, выдвинутость ножки метёлки – 5 см (рисунок 8).



Рисунок 8 – Образец сорго зернового Белозёрное 100

Образец сорго зернового Отбор 100 – созревает за 100 дней, обладает рыхлоразвесистой метёлкой, длиной 28-30 см; зерно желтого цвета, массой 1 000 зёрен – 24,1-27,6 г. Высота растений варьирует от 89 до 99 см, а выдвинутость ножки метёлки – от 4 до 10 см (рисунок 9).



Рисунок 9 – Образец сорго зернового Отбор 100

Родительская форма ЗСК-4 – раннеспелый образец, период вегетации «всходы-полная спелость» составляет 96-97 дней; формирует рыхлую метёлку, длиной 26-29 см; зерно красного цвета, массой 1 000 зёрен – 20,4-23,4 г. Высота растений находится на уровне 96-105 см, а выдвинутость ножки метёлки – 10-11 см (рисунок 10).



Рисунок 10 – Образец сорго зернового ЗСК-4

Образец Sb-126/4 – среднеранний, созревает за 100-101 день. Характеризуется сжатой метёлкой, длина которой составляет 22-23 см. Зерновка красного цвета с массой 1 000 зёрен на уровне 27,1-32,6 г. Высота растений – 98-106 см, выдвинутость ножки метёлки варьирует от 2 до 6 см (рисунок 11).

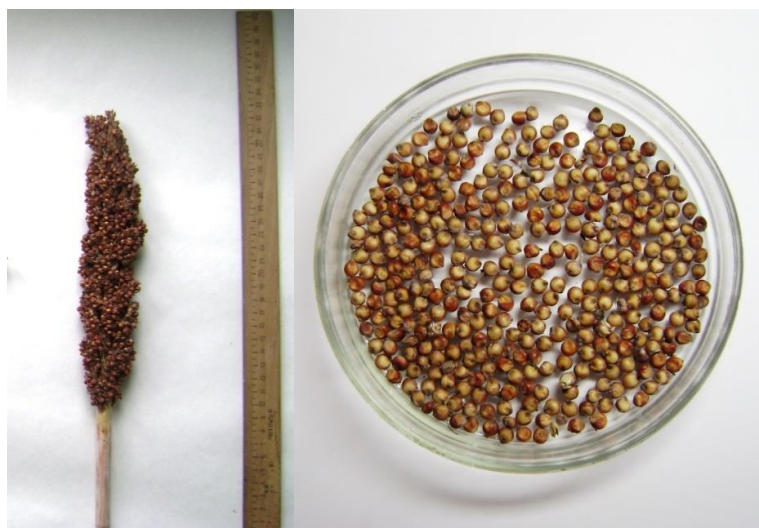


Рисунок 11 – Образец сорго зернового Sb-126/4

СПЗС-11 – среднеранний (период «всходы-полная спелость» 101-103 дня) образец, имеет развесистую метёлку длиной 30-37 см. Масса 1 000 зёрен составляет 19,5-22,2 г. Основной тон окраски зерновки красный с черной колосковой чешуёй. Высота растений достигает 140-154 см. Выдвинутость ножки метёлки – 5-11 см (рисунок 12).



Рисунок 12 – Образец сорго зернового СПЗС-11

Образец 144 ф/8 – среднеранний, период от всходов до полной спелости зерновки варьирует от 100 до 104 дней. Метёлка сжатая, длиной 22-27 см. Зерновка жёлтого цвета с чёрной колосковой чешуёй. Масса 1 000 зёрен 20,6-21,9 г.

Формирует высоту растений на уровне 119-129 см и выдвинутость ножки метёлки от 5 до 10 см (рисунок 13).



Рисунок 13 – Образец сорго зернового 144 ф/8

Образец сорго зернового зерноградское 204 относится к раннеспелой (период вегетации «всходы-полная спелость» составляет 94-99 дней) группе созревания. Метёлка длиной 24-26 см, по плотности – рыхлая. Зерновка характеризуется белым цветом и массой 1 000 зёрен 22,7-28,3 г. Высота растений – 112-120 см, выдвинутость ножки метёлки 6-9 см (рисунок 14).



Рисунок 14 – Образец сорго зернового зерноградское 204

Оценку общей и специфической комбинационной способности по урожайности зерна, величину проявления гена, контролирующего основные хозяйствен-

но-ценные признаки, а также истинный, гипотетический и конкурсный гетерозис проводили на гибридах F_1 полученных на стерильной основе с использованием ЦМС-линий Джетта и Деметра селекции ФГБНУ «АНЦ «Донской» и 19 опылителей. Для создания новых гибридов, со светлой окраской зерновки и низким содержанием танина в зерне, применялась перспективная ЦМС-линия АЗСК 21.

2.3 Методика проведения исследований

Проведение опытов осуществляли в соответствии с Методикой государственной комиссии по сортоиспытанию сельскохозяйственных культур (1989), Методическими указаниями по изучению коллекционных образцов кукурузы, сорго и крупяных культур (1968) и методик, изложенных в Методике полевого опыта Б.А. Доспехова (1985, 2014).

Опытные делянки размещались в трёхпольном севообороте: 1. Черный пар; 2. Озимая пшеница; 3. Сорго.

Посев коллекционных и селекционных 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 $+14...+16^{\circ}\text{C}$) с нормой высева семян 280 тысяч штук/га на глубину 5-6 см и междурядьем 70 см. Исключение по сроку посева составил 2010 г., когда посев был проведён 31.05. из-за продолжительных ливневых осадков. Питомник экологического испытания, коллекционный питомник, гибридизации на фертильной основе, гибридов F_1 - F_2 высевали на однорядковых делянках площадью 5 м^2 без повторности. Посев образцов в контрольном питомнике гибридов F_1 на стерильной основе осуществляли двухрядковыми делянками площадью 14 м^2 в двухкратной повторности; конкурсное испытание сортов – трёхрядковыми делянками с площадью 25 м^2 в четырёхкратной повторности. 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 сте-

рильной основе в качестве стандарта высевали гибрид сорго зернового Дюйм, а также были включены родительские формы с целью определения различных типов наследования и проявления гетерозиса.

Для гибридизации на фертильной основе применяли метод солнечной стерилизации, разработанный Н.Я. Коломийцем (1988). Его принцип заключается в следующем: до появления пыльников метёлка вместе с флаговым листом помещается в полиэтиленовый изолятор (пакет) и внизу завязывается. Размещённый под изолятором лист в результате транспирации способствует образованию водяного пара, который насыщает воздух и конденсируется на внутренней стороне изолятора, препятствуя растрескиванию пыльников. Через 5-7 дней на метёлке появляются тычинки и рыльца пестиков. Не раскрывшиеся тычинки, темнеют и отмирают. При этом, рыльца пестиков не снижают способность к оплодотворению (рисунок 15). Для проведения опыления взамен полиэтиленового пакета на соцветие надевается изолятор с собранной пылью отцовской формы.



Рисунок 15 – Метод солнечной стерилизации пыльцы сорго зернового при помощи полиэтиленового пакета

Гибриды F_1 получали на изолированных участках опылителей (отцовских форм) с ЦМС-линиями Джетта и Деметра, а также АЗСК 21 в качестве материнских форм (рисунок 16).



Рисунок 16 – Изолированные участки гибридизации сорго зернового

Изучение образцов, сортов и гибридов сорго зернового основывалось на применении «Широкого унифицированного классификатора СЭВ и международного классификатора СЭВ возделываемых видов рода *Sorghum* Moench» (Якушевский и др., 1982).

Адаптивную способность изученного исходного материала сорго зернового оценивали по коэффициенту линейной регрессии (b_i) (Eberhart and Russel, 1966), коэффициенту вариации (V) (Доспехов, 2014), а также среднеквадратическому отклонению (σ_d^2) (Eberhart and Russel, 1966).

Определение массы 1 000 зёрен выполняли по методике предусмотренной ГОСТом 10842-89. Оценку содержания сырого белка, крахмала, сырого жира, сырой золы и сырой клетчатки в зерне сорго осуществляли на инфракрасном анализаторе зерна SpectraStar 2200. Для контроля сырой белок определяли методом Кьельдаля (ГОСТ 10846-91); крахмал – поляриметрическим методом по Эверсу (ГОСТ 10845-98); сырая зола – методом озоления (ГОСТ 10847-74), сырая клетчатка – по Геннебергу и Штоманну, а сырой жир – по количеству обезжиренного остатка (методом С.В. Рушковского) с применением аппарата Сокслета. Содержание лизина выявляли методом «связывания красителя ацилан оранж». Для установления процентного содержания танина в зерне сорго использовали метод

определения полифенолов, извлекаемых спиртом, основанный на реакции полифенолов с ванилином в присутствии HCl (Ермаков и др., 1987).

Расчёт обменной энергии (ОЭ) и овсяных кормовых единиц (ОКЕ) в зерне сортов и образцов сорго зернового осуществляли согласно методических указаний по проведению полевых опытов с кормовыми культурами (Новосёлов и др., 1983).

Для выделения геномной ДНК использовали СТАВ-метод (Murray and Thompson, 1980). Гомогенизацию образцов проводили 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.

Качество хлеба оценивали в соответствии с Методикой государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур по технологической оценке зерновых, крупяных и зернобобовых культур (1988). Для определения белизны муки был применён цифровой лабораторный прибор РЗ-БПЛ-ЦМ. С целью распределения сортов по группам использовали классификацию, принятую для оценки белизны муки озимой пшеницы: высший сорт – 54-80 у.ед.; I сорт – 36-53 у.ед.; II сорт – 12-35 у.ед (ГОСТ 26361-2013).

Изучение сортов сорго зернового по выходу крахмала и побочных продуктов проводили по договору о научно-техническом сотрудничестве в ФГБНУ ВНИИ крахмалопродуктов в двухкратной повторности в соответствии с требованиями международной организации по стандартизации ИСО, а также согласно методик, используемых в крахмалопаточной отрасли. Массовая доля крахмала оценивалась с использованием поляриметра Polatron-N. Непосредственный выход крахмала проводился лабораторной переработкой, полностью имитирующий производственный процесс.

Холодостойкость сортов и гибридов сорго зернового определяли общепринятым методом, изложенным в методических рекомендациях «Диагностика устойчивости растений к стрессовым 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).

Гетерозис рассчитывали по формулам (Омаров Д.С., 1975):

$$\Gamma_{\text{ист.}} = ((F_1 - P_{\text{лучш}})/P_{\text{лучш}}) \times 100\%;$$

$$\Gamma_{\text{гип.}} = ((F_1 - P_{\text{ср}})/P_{\text{ср}}) \times 100\%;$$

$$\Gamma_{\text{конк.}} = ((F_1 - P_{\text{ст}})/P_{\text{ст}}) \times 100\%,$$

где $\Gamma_{\text{ист.}}$ – истинный гетерозис;

$\Gamma_{\text{гип.}}$ – гипотетический гетерозис;

$\Gamma_{\text{конк.}}$ – конкурсный гетерозис;

F_1 – значение признака гибрида;

$P_{\text{лучш.}}$ – значение признака лучшей родительской формы;

$P_{\text{ср.}}$ – среднее значение родительских форм;

$P_{\text{ст}}$ – значение признака стандарта.

Величину проявления гена, контролирующего признак, оценивали по значению коэффициента доминантности, учитывающий параметры родительских особей и гибрида F_1 (Мазер, Джинкс, 1985) по формуле:

$$h_p = (F_1 - P_{\text{ср.}}) / (P_{\text{бол.}} - P_{\text{ср.}}),$$

где F_1 – значение признака гибрида;

$P_{\text{бол.}}$ – родительская форма с более развитым признаком;

$P_{\text{ср.}}$ – среднее значение родительских форм;

Распределение проводили согласно следующей градации: $h_p < -1,0$ – гибридная депрессия; $0 < h_p < 0,5$ – частичное доминирование; $h_p = 0,5$ – полудоминирование; $0,5 < h_p < 1,0$ – неполное доминирование; $h_p = 1,0$ – полное доминирование; $h_p > 1,0$ – сверхдоминирование (Дзюба и др., 2012).

Оценку эффектов ОКС и дисперсий СКС проводили 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 сор-

го зернового у гибридов F_2 применяли программу поиска моделей расщепления Полиген А (Мережко, 2005). Принцип работы данной программы состоит в том, что по конфигурации кривых распределения частот того или иного признака выявляется число генов и характер наследования. По результатам полученной информацией производится планирование селекционной программы, а именно минимальный размер необходимой для анализа популяции F_2 и направление отбора.

Математическую обработку данных проведённых исследований осуществляли согласно методам, изложенным в «Методике полевого опыта» (Доспехов, 2014) и методических рекомендациях В.А. Дзюба (2007) при помощи компьютерных программ Ms. Excel и Statistica 10.

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

На успех селекционной работы в значительной мере оказывает влияние наличие вариаций, имеющих в генетическом коде культуры. Культивируемое сорго обладает большим генетическим разнообразием и фенотипической изменчивостью, которое селекционеры могут использовать в селекции по увеличению урожайности и улучшению качества зерна. Использование этой изменчивости в первую очередь требует эффективного анализа и характеристики генотипов в почвенно-климатических условиях зоны проведения исследований (Mofokeng et al., 2017).

По мнению Н.А. Беседа и О.А. Луспиной (2008), изучение исходного материала позволяет выделить эколого-географическое и генетическое разнообразие рода *Sorghum*, а также их видовые и сортовые особенности.

Оценка хозяйственно-морфологических признаков и физиологических свойств коллекционных образцов, а также нового исходного материала собственной селекции, необходима для сокращения сроков создания новых сортов и получения высокоурожайных гибридов. В зависимости от требований к качеству создаваемых гибридов или сортов для скрещивания подбираются коллекционные образцы с нужными параметрами (Алдошина, 1990).

Основной задачей селекционной работы является создание сортов и гибридов сельскохозяйственных культур, обладающих комплексом хозяйственно-ценных признаков, главные из которых – высокая урожайность и качество зерна. Достижение данной цели невозможно без наличия разнообразного, хорошо изученного материала, приспособленного к почвенно-климатическим условиям зоны проведения исследований и селекционной работы. Выделение источников хозяйственно-ценных признаков и свойств увеличит вероятность создания ценных сортов и гибридов, значительно сократит объём скрещиваний и повысит результативность селекции.

3.1 Изучение морфологических признаков и биологических свойств сорго зернового

3.1.1 Продолжительность периода вегетации «всходы – полная спелость»

Среди основных направлений в программе по селекции сорго зернового для климатических условий Северного Кавказа является создание раннеспелых сортов и гибридов, возделывание которых позволяет получать урожай зерна до наступления раннеосенних заморозков (Костылев, Беседа, 2010; Жукова и др., 2016). Согласно Б.Н. Малиновскому (1990), поздние сроки уборки сорго (осенние месяцы) и связанные с этим определённые сложности в семеноводстве (необходимость в досушке зерна, снижение всхожести), является одним из основных сдерживающих факторов широкого его распространения. В связи с этим, Н.А. Шепель (1985 а) отмечал, что изучение вегетационного периода у сортов и гибридов сорго является важной и одной из первоочередных задач.

Согласно Методике государственной комиссии по сортоиспытанию сельскохозяйственных культур (1989), образцы сорго зернового по продолжительности вегетационного периода разделяются на пять групп: раннеспелые (до 101 дня), среднеранние (101-110 дней), среднеспелые (111-120 дней), среднепоздние (121-130 дней) и позднеспелые (более 130 дней).

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, отбора наиболее приспособленных образцов к зоне проведения исследований, а также 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.) формировали метёлку с полной спелостью зерновки за период не более 100 дней и отнесены к раннеспелой группе созревания (рисунок 17, приложение 3, 4).



Рисунок 17 – Распределение образцов коллекции сорго зернового по продолжительности периода вегетации «всходы – полная спелость»

Среди раннеспелых образцов коллекции 2016-2020 гг. исследований наиболее короткий период вегетации «всходы – полная спелость» (<90 дней) отмечен у образцов селекции ФГБНУ РосНИИСК «Россорго» (Перспективный 1, Огонёк, Старт, Азарт, Зенит, Кремовое, Восторг и другие), Поволжский НИИСС – филиал СамНЦ РАН (Славянка, Премьера, Рось), ФГБНУ «ФАНЦ Юго-Востока» (Белочка, Солнышко), ФГБНУ «ФНЦ Агрэкологии РАН» (Камышинское 75), а также некоторых образцов мировой коллекции ВИР (Сандал – суданка зерновая, Пионер 88/Фетерита ранняя 141) (таблица 2).

Выделенные сорта созревают на 6-15 дней раньше стандарта раннеспелой группы, сорта Зерноградское 88, который характеризуется вегетационным периодом 95 дней. Из допущенных к использованию сортов селекции ФГБНУ «АНЦ «Донской» по данному признаку выделяется сорт Орловское, достигающий полной спелости зерновки за 88 дней. Кроме того, такие сорта как Старт, Зенит, Солнышко, Азарт обладают большой массой 1 000 зёрен (31,1-32,7 г). Эти сорта рекомендуется использовать в селекционной работе в качестве источников ранне-

спелости. Однако, все наиболее раннеспелые образцы значительно (на 171-362 г/м²) уступают стандарту зерноградское 88 по урожайности зерна.

Таблица 2 – Источники раннеспелости коллекционных образцов сорго зернового, 2016-2020 гг.

Образец (сорт)	Происхождение	Период вегетации «всходы – полная спелость», дни	Высота растения, см	Масса 1000 зёрен, г	Количество зёрен в метёлке, шт.	Урожайность зерна, г/м ²
Зерноградское 88, ст.	Россия	95	97	29,3	1427	544
Перспективный 1	Россия	80	96	30,2	383	182
Огонёк	Россия	83	87	28,9	548	216
Старт	Россия	83	101	31,1	575	253
Азарт	Россия	83	108	32,7	611	308
Зенит	Россия	84	99	31,7	581	249
Кремовое	Россия	84	110	28,2	662	297
Восторг	Россия	87	113	29,5	849	368
Славянка	Россия	80	92	27,8	437	208
Премьера	Россия	82	91	22,4	556	220
Рось	Россия	82	109	24,6	701	301
Белочка	Россия	84	122	25,3	636	237
Солнышко	Россия	89	102	31,9	698	310
Камышинское 75	Россия	88	102	25,8	779	373
Сандал – суданка зерновая	Украина	85	127	25,8	841	365
Пионер 88/Фетерита ранняя 141	Украина	86	132	24,6	589	224
Орловское	Россия	88	113	19,4	1183	307
\bar{X}		94	112	26,8	1204	434
S		5	14	3,6	381	106

Характеристика образцов по продолжительности вегетационного периода применительно к погоднo-климатическим условиям зоны возделывания позволит проводить более целенаправленный подбор исходного материала для создания раннеспелых сортов и гибридов сорго зернового.

В зависимости от года исследования, средняя продолжительность вегетационного периода образцов в коллекции 2008-2010 гг. варьировала от 95 до 110 дней, а в коллекции 2016-2020 гг. от 94 до 104 дней (рисунок 18).

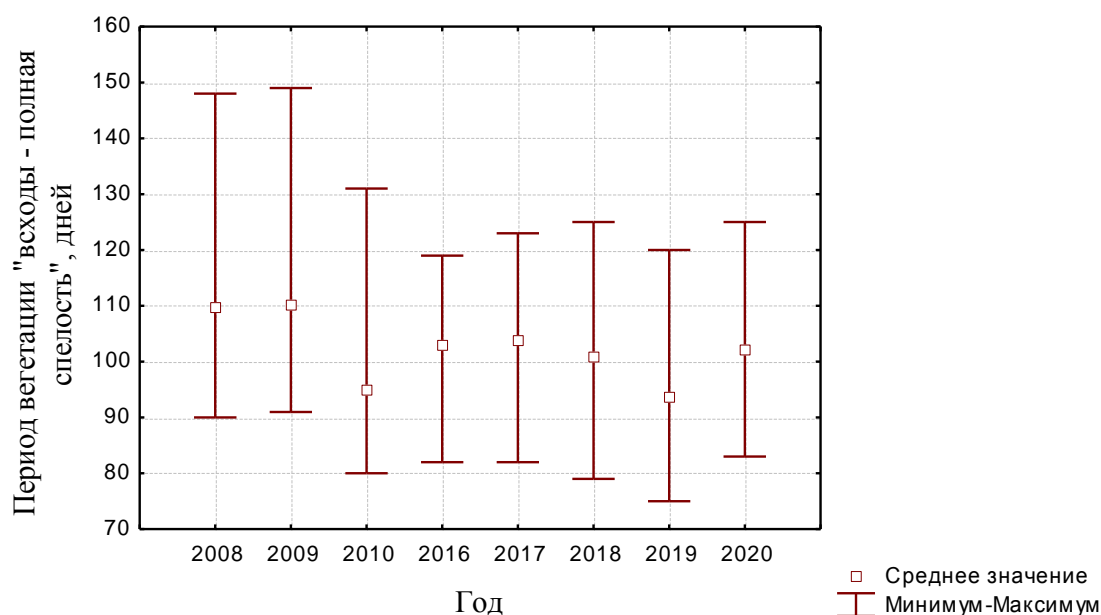
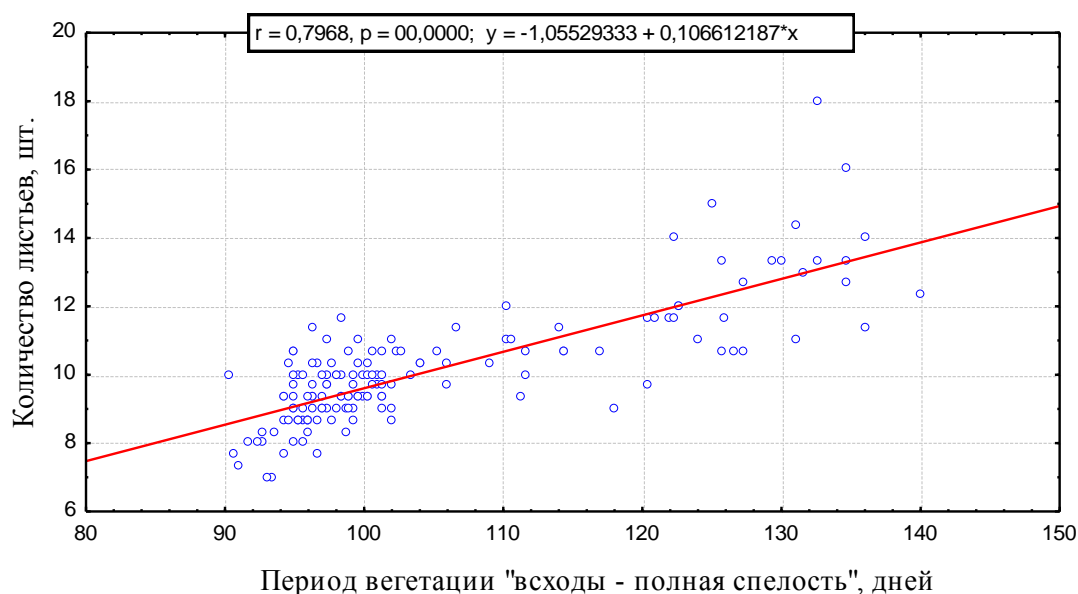


Рисунок 18 – Продолжительность периода вегетации «всходы – полная спелость» коллекционных образцов сорго в зависимости от года исследования

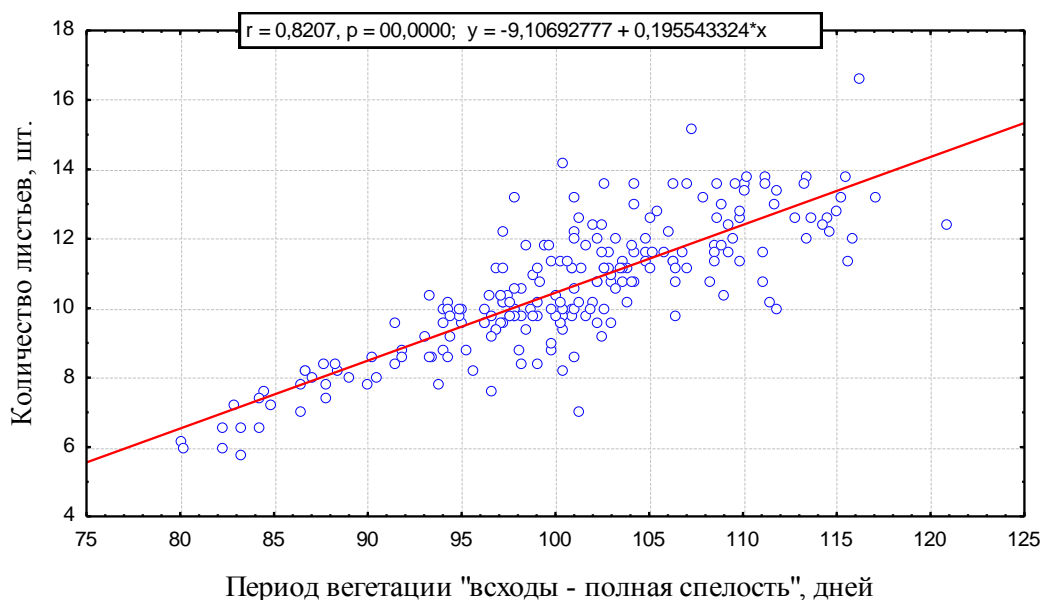
Сокращение продолжительности периода вегетации «всходы – полная спелость» на 15 дней в 2010 г. в сравнение с 2008 и 2009 гг. обусловлено поздним посевом сорго (III декада мая) из-за продолжительных ливневых осадков в мае и последующим более высоким температурным режимом на протяжении всего периода вегетации по отношению к среднемноголетним данным и другим годам изучения коллекции 2008-2010 гг. Отклонение вегетационного периода изучаемых образцов на 6-10 дней в 2019 г. коллекции 2016-2020 гг. определено более высокой среднесуточной температурой воздуха (+4,7°C к норме) в июне, что способствова-

ло сокращению периода вегетации «всходы – вымётывание», а повышенный температурный режим (+1,5°C к норме) в августе на фоне недостаточного количества осадков (-31,6°C к норме) ускорил созревание зерновки и повлиял на вегетационный период в целом. Подобные условия складывались в 2018 г., но осадки в июле (+14 мм к норме) у основной части образцов спровоцировали образование продуктивных подгонов, которые удлинили период вегетации до средних значений других годов испытания.

В результате проведённых исследований выявлена тесная положительная корреляция (2008-2010 гг. – $r = 0,80 \pm 0,05$; 2016-2020 гг. – $r = 0,82 \pm 0,04$) между вегетационным периодом и количеством листьев на растении (приложение 5, 6). Коэффициент детерминации составляет 0,64 и 0,67, соответственно. Анализ уравнения регрессия позволяет сделать вывод, что увеличение периода вегетации «всходы – полная спелость» на 10 дней приводит к дополнительному формированию 1-2 листьев на растении (рисунок 19).



А.



Б.

Рисунок 19 – Количество листьев на растении в зависимости от продолжительности периода вегетации «всходы – полная спелость»

(А. – коллекция 2008-2010 гг.; Б. – коллекция 2016-2020 гг.)

Сильная положительная связь ($r = 0,78 \pm 0,04$) и выводы о большей облиственности позднеспелых образцов приведены в исследованиях А.В. Алабушева и соавторов (2017). В работе Н.А. Шепель (1994), отмечены закономерности согласно которым раннеспелые образцы формируют 7-10, среднеспелые – 11-15, а позднеспелые 16-25 листьев и более.

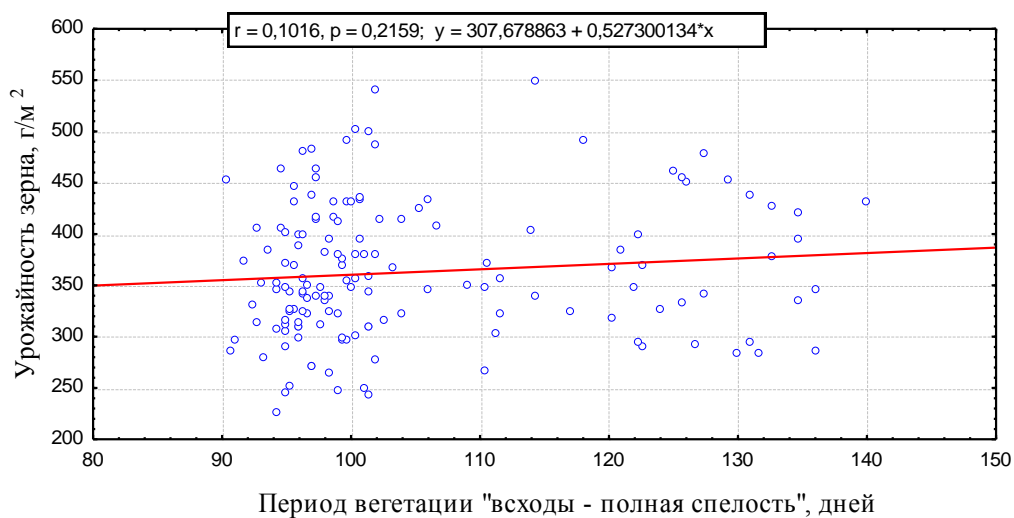
Кроме того, в наших исследованиях установлена средняя положительная корреляция длины ($r = 0,35-0,51$) и ширины ($r = 0,61-0,63$) среднего листа с периодом вегетации «всходы – полная спелость».

Селекционная программа, нацеленная на скороспелость культуры, связана с некоторыми трудностями. Одной из основных проблем в селекции по данному направлению считается необходимость преодоления отрицательной корреляции между скороспелостью и урожайностью зерна.

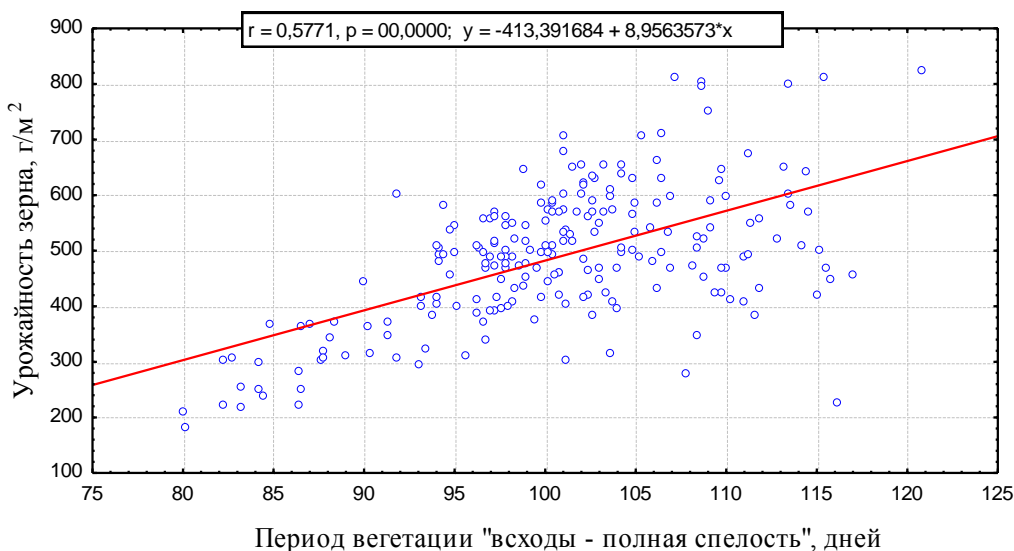
Оценка коэффициента корреляции между продолжительностью периода «всходы – полная спелость» и урожайностью зерна в коллекции 2008-2010 гг. выявила слабую ($r = 0,10 \pm 0,08$), а в 2016-2020 гг. среднюю положительную связь ($r =$

$0,58 \pm 0,06$), при этом коэффициент детерминации равнялся 0,01 и 0,34, соответственно. По мнению Г.К. Дремлюк и И.А. Драненко (1976), на тесноту и направление корреляционной связи оказывает влияние характер исходного материала и условий выращивания.

Установлено, что при увеличении периода «всходы – полная спелость» на 1 день, в зависимости от сортового состава и условий проведения исследования, урожайность зерна повышается на $0,53-8,96 \text{ г/м}^2$ (рисунок 20).



А.



Б.

Рисунок 20 – Влияние продолжительности периода вегетации «всходы – полная спелость» на урожайность зерна (А. – коллекция 2008-2010 гг.; Б. – коллекция 2016-2020 гг.)

Аналогичные выводы о положительной корреляции между периодом вегетации «всходы – полная спелость» и урожайностью зерна сделаны в исследованиях Н.А. Беседа и её соавторов (2010), согласно которым значительная доля изученных сортов и гибридов сорго, превышая стандарт по урожайности зерна, характеризовались более длинным вегетационным периодом.

3.1.2 Признаки, определяющие технологичность сорго зернового

По мнению Н.А. Шепель (1985 а) в селекции зернового сорго, высота растений относится к числу наиболее важных признаков, который необходимо учитывать наряду с продуктивностью. Такой же позиции придерживается Жукова М.П. и др. (2016), которая считает, что при рассмотрении направлений и основных задач в селекции сорго особое внимание требуется уделять его технологическим параметрам, необходимым при возделывании.

По высоте растений образцы сорго зернового делятся на очень низкие (до 70 см), низкие (71-120 см), среднерослые (121-150 см) и высокорослые (более 150 см) (Малиновский, 1992).

Высота растений у коллекционных образцов сорго варьировала в широких пределах. 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 (на 31 шт.) и средней (на 43 шт.) высотой растений. В итоге, в коллекционном питомнике 2016-2020 гг. наибольшую долю (71,5% или 158 шт.) занимали образцы с низкой высотой растения (71-120 см). Очень низкая высота растений (64 см) отмечена у одного образца (0,5%) – Светлое 13. Среднерослые (121-150 см) образцы составили 26,2% (58 шт.), а высокорослые (более 150 см) – 1,8% (4 шт.) коллекции (рисунок 21).

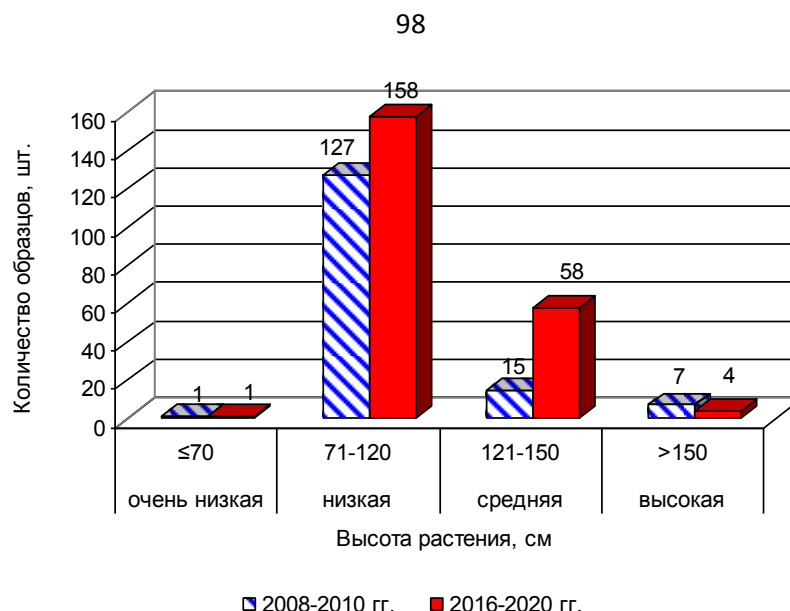


Рисунок 21 – Распределение образцов коллекции сорго зернового по признаку «высота растения»

В исследованиях Костиной Г.И. (1984) отмечено, что для зернового сорго оптимальная высота является 100-140 см. Подобного мнения придерживался Б.Н. Малиновский (1992), согласно которого 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. Такие формы оптимально сочетают важные хозяйственные признаки: низкий стебель, на формирование которого расходуется меньше влаги и элементов питания, устойчивость к полеганию, более оптимальное соотношение зерна и вегетативной массы.

В коллекции 2008-2010 гг. доля образцов с высотой растений 100-120 см составляла 34 % (51 шт.). Научная работа, направленная на обогащение исходного материала наиболее ценными образцами, привела к увеличению в 2016-2020 гг. доли образцов с наиболее оптимальной высотой растений до 49,4% (109 шт.). К таким образцам относится ряд сортов российских научно-исследовательских учреждений: Камышинское 31, Камышинское 64, Камышинское 75 (ФГБНУ «ФНЦ Агрэкологии 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 ФГБНУ ФИЦ ВИГРР им. Н.И. Вавилова (Китайское 3, Китайское 6, Китайское 7, Геническое 9, Геническое 130, Геническое 11 улучшенное, Одесское 20ф, Майло карликовое 351, ТАМ 2694 В-В и др.).

Среднее значение высоты растений в коллекции 2008-2010 гг. составляло 98-111 см. Коллекция 2016-2020 гг. характеризовалась подобными значениями, которые варьировали от 99 см в 2019 г. до 118 см в 2017 г. (рисунок 22).

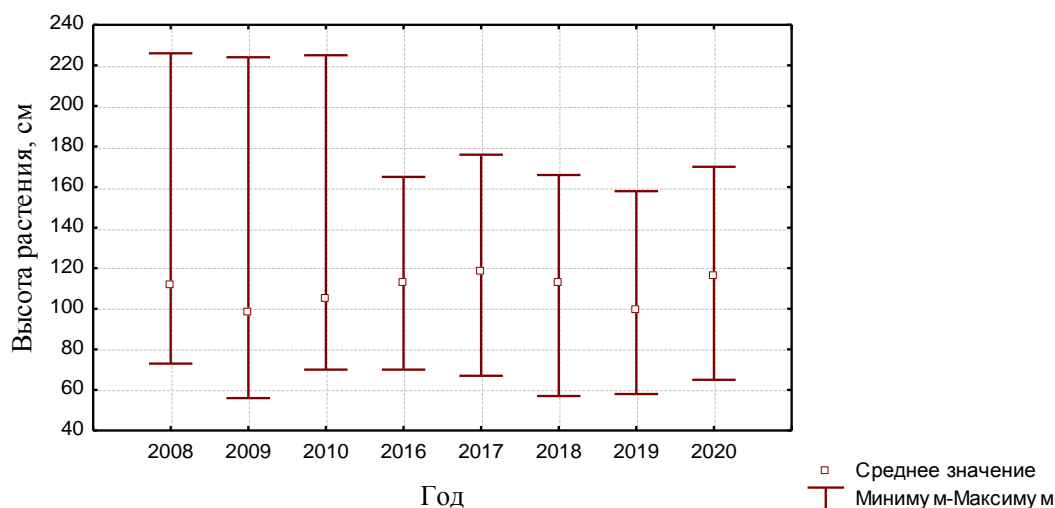


Рисунок 22 – Высота растений в зависимости от года исследования

Высокорослые образцы коллекции 2008-2010 гг. имели более длинный период вегетации «всходы – полная спелость» ($r = 0,41 \pm 0,07$) и формировали большее количество листьев на растении ($r = 0,49 \pm 0,07$). Изменение сортового состава коллекции в 2016-2020 гг. исследования, а именно уменьшение количества высокорослых образцов хлебного вида сорго, привело к снижению тесноты корреляционной связи до $r = 0,03 \pm 0,07$ и $r = 0,15 \pm 0,07$, соответственно.

Влияния высоты растений на урожайность зерна в исследованиях не наблюдалось. Отмечено проявление слабой положительной корреляционной связи (2008-2010 гг. – $r = 0,11 \pm 0,08$; 2016-2020 гг. – $r = 0,20 \pm 0,07$) между данными

признаками. 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. При достаточной выдвинутости метёлки и выравненности стеблестоя облегчается комбайновая уборка растений, сводится к минимуму попадание листьев в молотильный аппарат (Дремлюк, 1985). При этом зерно при обмолоте в меньшей степени загрязняется примесями и имеет пониженную влажность, что снижает затраты на его дальнейшую доработку (Алабушев и др., 2003).

Находящиеся в изучении образцы по признаку «выдвинутость ножки метёлки» разделены на классы: со слабо выдвинутой (<10 см), средне выдвинутой (10-20 см) и сильно выдвинутой (21-23 см) ножкой метёлки. Сравнительный анализ исходного материала изученного в 2008-2010 гг. и 2016-2020 гг., показал увеличение количества образцов обладающих средней выдвинутостью ножки метёлки с 39 шт. до 56 шт. (рисунок 23).

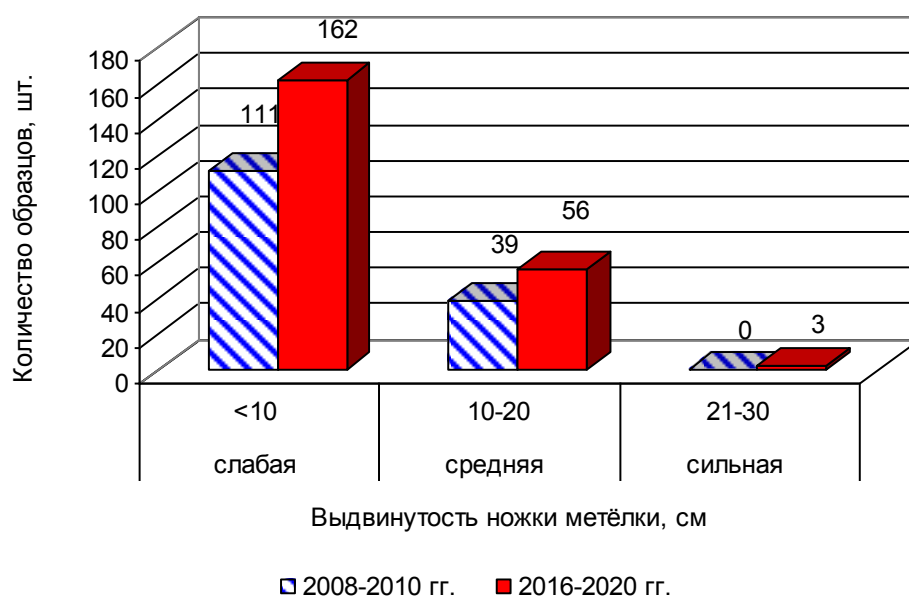


Рисунок 23 – Распределение образцов коллекции сорго зернового по признаку «выдвинутость ножки метёлки»

Кроме того, коллекционный питомник пополнился из мировой коллекции ВИР образцами с сильной выдвинутостью ножки метёлки: Зерновое 1-14 (22 см), Пионер 88/Фетерита ранняя 141 (23 см), Сандал – суданка зерновая (24 см). Выделенные образцы значительно (на 11-13 см) превысили по данному признаку стандарт Зерноградское 88 (11 см) ($S = 4$ см) (таблица 3).

Таблица 3 – Результаты оценки выдвинутости ножки метёлки у наиболее ценных коллекционных образцов, 2016-2020 гг.

Образец (сорт)	Происхождение	Выдвинутость ножки метёлки, см	Период вегетации «всходы – полная спелость», дни	Высота растения, см	Количество зёрен в метёлке, шт.	Урожайность зерна, г/м ²
Зерноградское 88, ст.	Россия	11	95	97	1427	544
Зерновое 1-14	Украина	22	98	136	1164	446
Пионер 88/Фетерита ранняя 141	Украина	23	86	132	589	224
Сандал – суданка зерновая	Украина	24	85	127	841	365
\bar{X}		10	94	112	1204	434
S		4	5	14	381	106

Образцы с сильной выдвинутостью ножки метёлки относятся к раннеспелой группе созревания (период вегетации «всходы – полная спелость» 85-98 дней), а также характеризуются высотой растений от 127 до 136 см, количеством зёрен в метёлке – 589-1164 шт., урожайностью зерна – 224-446 г/м². Их рекомендуется использовать в селекционных программах в качестве источников сильной выдвинутости ножки метёлки.

По данным Г.К. Дремлюк (1985) у сорго длина ножки метёлки отрицательно коррелирует с продуктивностью. Анализ корреляционных связей у образцов в разные годы подтвердил отрицательную зависимость между этими признаками. В условиях 2008-2010 гг. корреляция составила $-0,14 \pm 0,08$, а в 2016-2020 гг. – $r = -$

$0,32 \pm 0,06$. Выявленные невысокие отрицательные значения корреляционных связей позволяют создавать сорта и гибриды сорго зернового с хорошо выдвинутой метёлкой и высокой продуктивностью.

3.1.3 Урожайность зерна и её основные элементы

Основной целью в селекции сельскохозяйственных культур, в том числе и сорго, является создание сортов и гибридов, обладающих высокой урожайностью.

Оценка исходного материала по уровню урожайности зерна разных годов исследований показала увеличение количества более продуктивных образцов в коллекции 2016-2020 гг. по сравнению с 2008-2010 гг. Среднее значение урожайности зерна у образцов 2008-2010 гг. варьировала от 225 до 548 г/м². Причём, наибольшее количество образцов (81 шт.) формировало урожайность зерна в диапазоне от 301 до 400 г/м². Изучение и целенаправленный отбор наиболее продуктивных образцов в период с 2008 по 2020 гг. привело к формированию коллекции (2016-2020 гг.), в которой основная доля образцов (63,3% или 140 шт.) характеризуется урожайностью зерна от 401 до 600 г/м². Кроме того, в данной коллекции выделено 34 образца с урожайностью от 601 до 825 г/м² (рисунок 24).

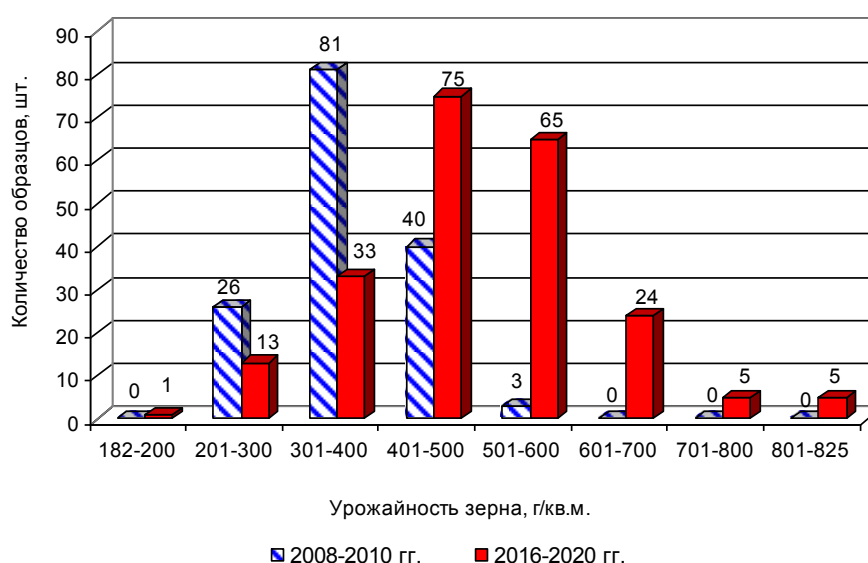


Рисунок 24 – Распределение образцов коллекции сорго зернового по урожайности зерна

Проведённый анализ урожайности зерна по отдельным годам исследований показал, что коллекция 2008-2010 гг. исследований характеризовалась средним уровнем урожайности от 289 г/м² в 2010 г. до 434 г/м² в 2008 г. Низкая урожайность образцов в 2010 г. по сравнению с 2008-2009 гг. определена поздним посевом (III декада мая) из-за ливневых осадков в мае и более высокими температурами в последующие периоды роста и развития сорго на фоне снижения количества осадков. Исходный материал находящиеся в изучении в период с 2016 по 2020 гг. отличался более широким размахом варьирования. Минимальное значение урожайности отмечено в 2018 г. (53 г/м²), а максимальное – 897 г/м² в 2017 г. Среднее значение урожайности зерна у образцов коллекции 2016-2020 гг. в зависимости от года исследования варьировал от 401 до 534 г/м². Наиболее низкая средняя урожайность зерна (401 г/м²) по коллекции сформирована в 2019 г., что обусловлено слабой озернёностью метёлок (рисунок 25).

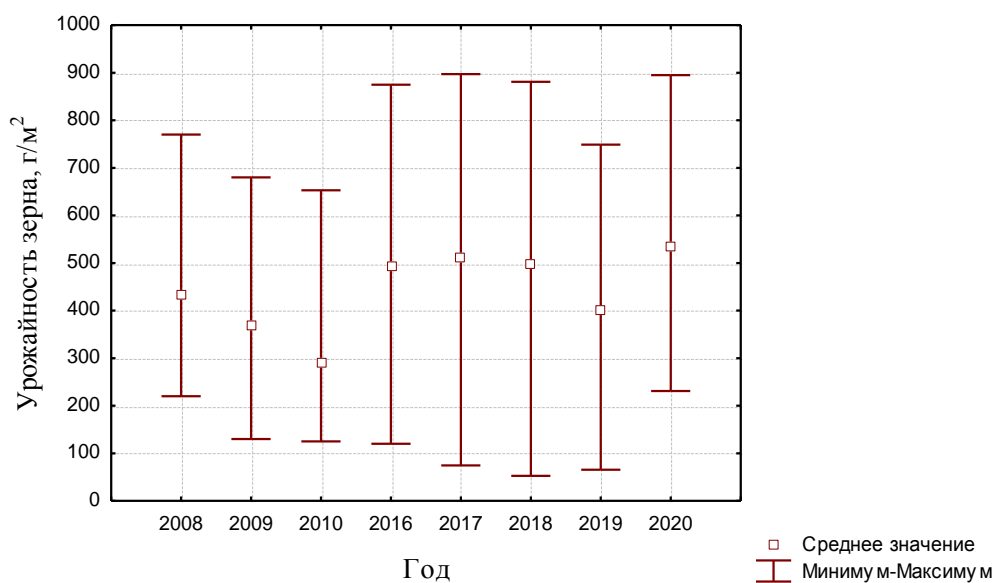


Рисунок 25 – Урожайность зерна в зависимости от года исследования

Превышение по урожайности зерна над стандартом Зерноградское 53 (549 г/м²) на величину стандартного отклонения (116 г/м²) отмечено у китайского образца 05-0051R (679 г/м²), а также образцов поступивших на изучение из ВИГРР им. Н.И. Вавилова: Китайское 6 (674 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 ×

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) (таблица 4).

Таблица 4 – Результаты оценки лучших коллекционных образцов по урожайности зерна, 2016-2020 гг.

Образец (сорт)	Происхождение	Урожайность зерна, г/м ²	Масса 1000 зёрен, г	Количество зёрен в метёлке, шт.	Период вегетации «всходы – полная спелость», дни	Высота растения, см
Зерноградское 53, ст.	Россия	549	27,1	1530	103	118
Китайское 6	Китай	674	26,1	2055	111	102
05-0051R	Китай	679	32,5	1588	101	116
Китайское 1	Китай	706	23,8	2421	101	95
Китайское 9	Китай	706	26,2	2122	105	107
Китайское 4	Китай	710	27,4	1958	106	99
Китайское 5	Китай	750	35,1	1667	109	98
F ₁₆ BC1 Хегари 2259 × К-924	Россия	795	27,5	2459	109	105
Китайское 7	Китай	801	22,5	2655	113	117
2477с В-В	Франция	802	35,4	1737	109	99
к-255	США	811	37,2	1725	107	147
Pink Kaffir	США	813	33,1	2030	115	129
В-10434	Индия	825	25,3	2692	121	105
\bar{X}		540	26,4	1593	107	111
S		116	5,0	409	5	17

Несмотря на то, что сорго способно расти и развиваться в условиях, где другие зерновые культуры угнетаются, для селекционеров представляют интерес генотипы, которые способны формировать не только высокую, но и относительно стабильную урожайность в различных погодно-климатических условиях произрастания (Saeed and Francis, 1983).

Оценка коэффициента вариации у выделившихся образцов показала слабую (6,66-9,14%) и среднюю (10,59-18,04%) изменчивость признака. Слабая изменчивость урожайности зерна отмечена у образцов Китайское 7 (6,66%), В-10434 (7,60%), к-255 (7,70%), 2477с В-В (8,32%), Китайское 4 (8,35%), 05-0051R (8,57%), Китайское 1 (9,14%), а также у стандарта Зерноградское 53 (8,62%). Наибольшая изменчивость признака (18,04%) и размах варьирования (485-801 г/м²) проявились у образца Китайское 9 (таблица 5).

Таблица 5 – Параметры экологической пластичности лучших коллекционных образцов по урожайности зерна, 2016-2020 гг.

Образец (сорт)	Происхождение	Размах варьирования (min – max), г/м ²	Коэффициент вариации (V), %	Коэффициент пластичности (b _i)	Варianza стабильности (σ _d ²)
Зерноградское 53, ст.	Россия	477 – 597	8,62	0,72	223
Китайское 6	Китай	521 – 721	13,29	1,49	372
05-0051R	Китай	588 – 741	8,57	0,87	393
Китайское 1	Китай	637 – 798	9,14	0,78	887
Китайское 9	Китай	485 – 801	18,04	2,21	259
Китайское 4	Китай	624 – 767	8,35	0,37	1235
Китайское 5	Китай	614 – 833	12,81	0,58	3261
Китайское 7	Китай	707 – 837	6,66	0,94	7
F ₁₆ BC1 Хегари 2259 × К-924	Россия	646 – 895	11,79	1,50	623
2477с В-В	Франция	740 – 889	8,32	0,47	1499
к-255	США	729 – 875	7,70	0,77	807
Pink Kaffir	США	671 – 897	10,59	1,42	377
В-10434	Индия	738 – 897	7,60	0,88	575

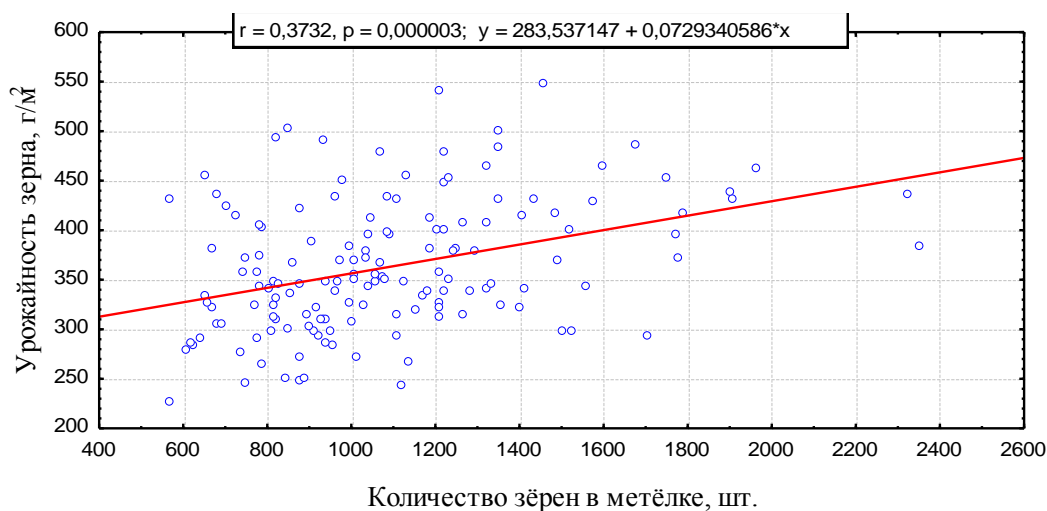
При одинаковых средних значениях урожайности зерна внимание необходимо обращать на образцы с максимальной экологической пластичностью

(Eberhart and Russel, 1966). На основе проведённых расчётов коэффициента линейной регрессии (b_i) наиболее урожайных образцов удалось выявить их реакцию на изменение условий возделывания. Высокой отзывчивостью обладали образцы с коэффициентом регрессий более 1,00: Pink Kaffir (1,42), Китайское 6 (1,49), F₁₆ BC1 Хегари 2259 × К-924 (1,50) и Китайское 9 (2,21). Их рекомендуется использовать в селекции сортов и гибридов для возделывания в интенсивных условиях. Коллекционные образцы: Китайское 4, 2477с В-В, Китайское 5, к-255, Китайское 1, 05-0051R, В-10434, Китайское 7 с коэффициентом регрессии от 0,37 до 0,94 целесообразно вводить в селекционные программы при создании генотипов сорго зернового, приспособленных к выращиванию на экстенсивном фоне. Необходимо отметить, что образец Китайское 7 характеризуется также наибольшей стабильностью урожайности зерна по годам.

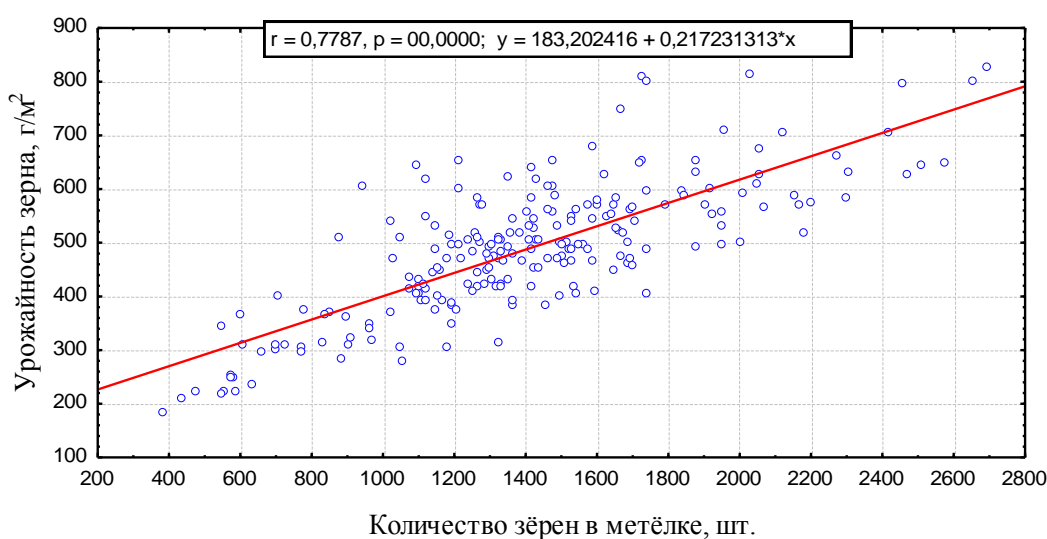
Урожайность является комплексным слагаемым. Из элементов, определяющих биологическую структуру урожая, учитывали количество зёрен в метёлке и массу 1 000 зёрен.

По мнению Я.И. Исакова (1982) урожайность зерна сорго в значительной степени определяется количеством зёрен в метёлке, которое в свою очередь зависит от сорта и условий выращивания. В наших исследованиях в период 2008-2010 гг. изучения коллекционных образцов коэффициент корреляции между количеством зёрен в метёлке и урожайностью зерна составил $0,37 \pm 0,07$, а в условиях 2016-2020 гг. и обновлённом сортовом составе установлена тесная положительная связь ($r = 0,78 \pm 0,04$). Коэффициент детерминации находился на уровне 0,14 и 0,61, соответственно. В работе Н.А. Беседа (2010 д) также отмечено проявление положительной корреляционной связи ($r = 0,51$) урожайности зерна и числа зёрен с метёлки сорго.

На основании статистического анализа и полученных уравнений регрессии можно сделать вывод о возможности увеличения урожайности зерна в среднем на $7-22 \text{ г/м}^2$ при дополнительном формировании 100 зёрен в метёлке (рисунок 26).



А.



Б.

Рисунок 26 – Зависимость урожайности зерна от количества зёрен в метёлке
(А. – коллекция 2008-2010 гг.; Б. – коллекция 2016-2020 гг.)

Сравнительная оценка коллекционных образцов 2008-2010 гг. исследования с образцами, изученными в 2016-2020 гг. указывает на увеличение озернённости метёлки исходного материала. 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 характеризовалось количеством 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 призна-

ку. Однако, отмечено увеличение числа образцов (с 65 до 106 шт.) с озернённо-стью метёлки 1 001-1 500 шт. Значительное количество образцов (78 шт. или 35,3%) имело 1 501-2 500 зёрен в метёлке. Кроме того, выделено 4 образца способных в среднем формировать 2 501-2 692 зёрен в метёлке (рисунок 27).

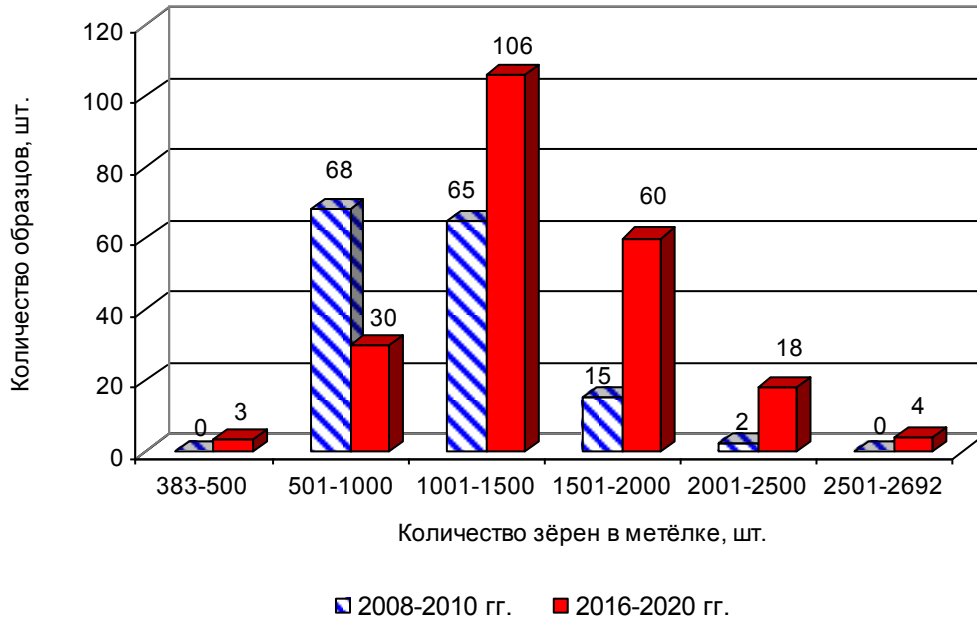


Рисунок 27 – Распределение образцов коллекции сорго зернового по признаку «количество зёрен в метёлке»

В период 2008-2010 гг. исследований среднее количество формируемых зёрен коллекционными образцами было близким и варьировало от 1 056 шт. в 2010 г. до 1 134 шт. в 2008 г. В коллекции 2016-2020 гг. наблюдался более широкий размах варьирования среднего значения по годам – от 1 008 до 1 626 шт. Наиболее высокая озернённость метёлки отмечена в 2017 г. (1 626 шт.) и 2020 г. (1 576 шт.) (рисунок 28). В эти же годы сформирована наибольшая урожайность зерна (2017 г. – 513 г/м²; 2020 г. – 537 г/м²).

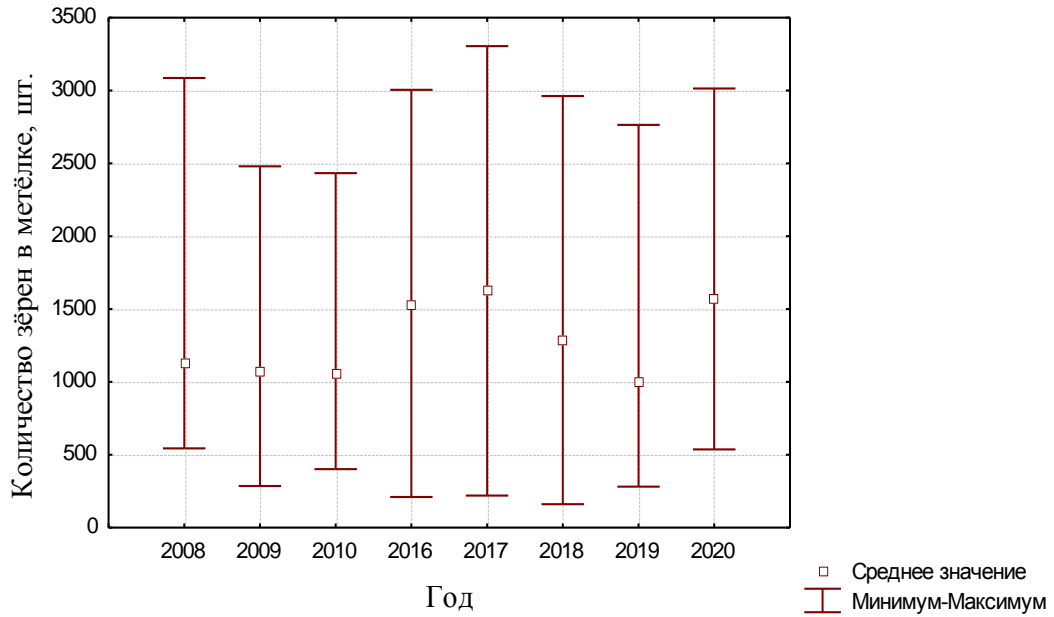


Рисунок 28 – Озернённость метёлки в зависимости от года исследования

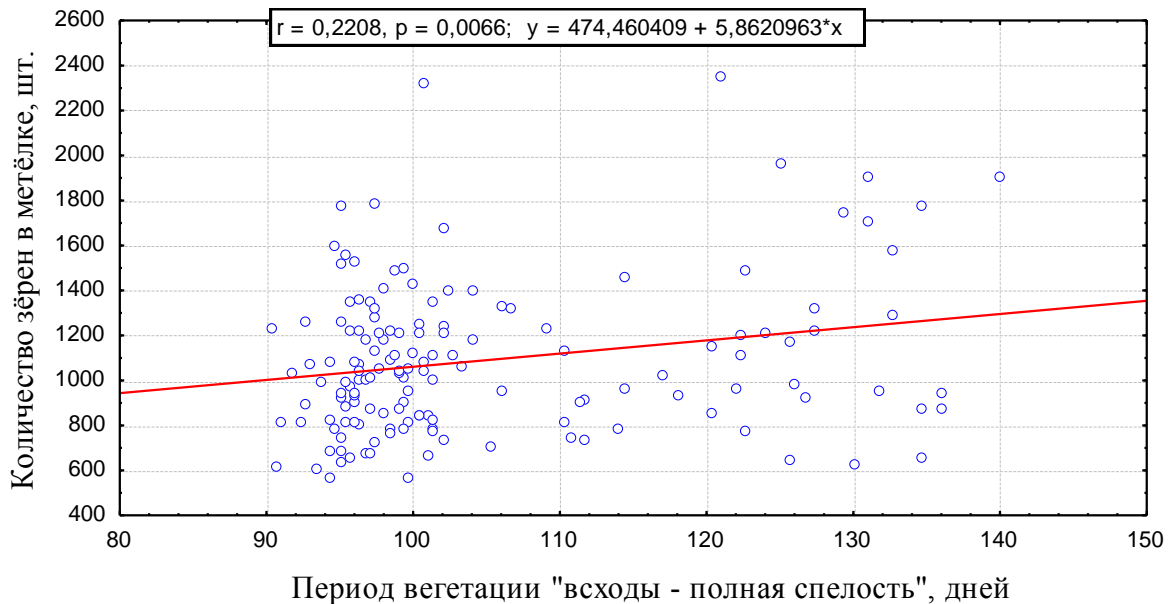
Озернённость метёлки более 2500 зёрен отмечена у образцов: КХ №8 (2 511 шт.), Китайское 8 (2 575 шт.), Китайское 7 (2 655 шт.), и В-10434 (2 692 шт.). Выделенные образцы по количеству зёрен в метёлке превышают стандарт Черноградское 53 на 981-1 162 шт. (таблица 6).

Таблица 6 – Характеристика источников высокой озернённости метёлки сорго зернового, 2016-2020 гг.

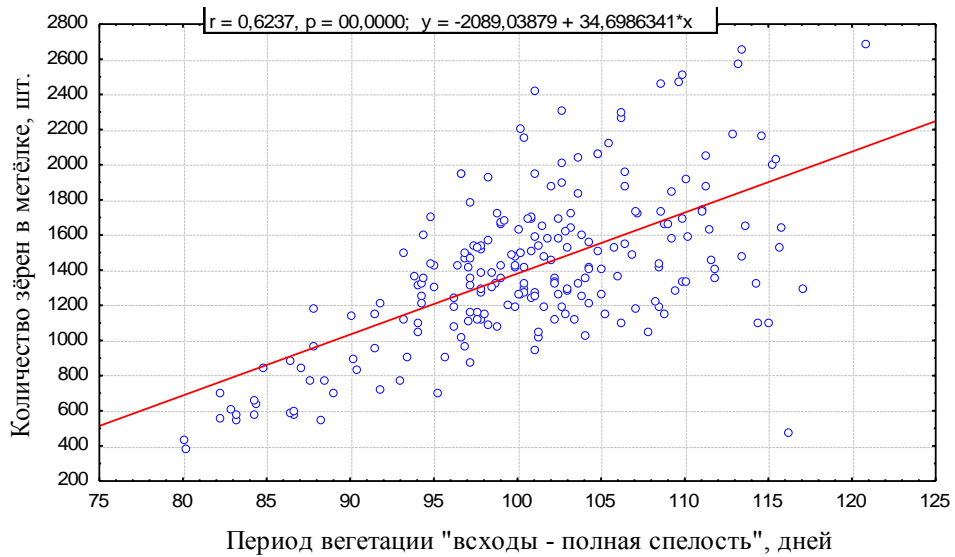
Образец (сорт)	Происхождение	Количество зёрен в метёлке, шт.	Масса 1000 зёрен, г	Период вегетации «всходы – полная спелость», дни	Высота растения, см	Урожайность зерна, г/м ²
Черноградское 53, ст.	Россия	1530	27,1	103	118	549
КХ №8	Китай	2511	21,7	110	134	646
Китайское 8	Китай	2575	18,9	113	126	649
Китайское 7	Китай	2655	22,5	113	117	801
В-10434	Индия	2692	25,3	121	105	825
\bar{X}		1593	26,4	107	111	540
S		409	5,0	5	17	116

Образцы с высокой озернёностью характеризуются малой (18,9 г) и средней (21,7-25,3 г) массой 1000 зёрен, относятся к среднеранней и среднеспелой группам созревания, а также формируют высоту растения от 105 см (В-10434) до 134 см (КХ №8). По урожайности зерна стандарт Зерноградское 53 на величину стандартного отклонения (более 116 г/м^2) превысили образцы Китайское 7 (801 г/м^2) и В-10434 (825 г/м^2).

Условия проведения исследований и сортовой состав исходного материала оказали влияние на характер корреляционных связей количества зёрен в метёлке с другими хозяйственно-ценными признаками. Между озернёностью метёлки и продолжительностью периода вегетации «всходы – полная спелость» в коллекции 2008-2010 гг. изучения отмечена слабая положительная корреляция ($r = 0,22 \pm 0,08$). Различия в исходном материале и условий исследования (2016-2020 гг.) определило проявление средней положительной корреляционной связи ($r = 0,62 \pm 0,05$) между данными признаками. Уравнения регрессии показывают на возможность увеличения количества зёрен в метёлке от 6 до 35 шт. при удлинении периода вегетации «всходы – полная спелость» на 1 день (рисунок 29).



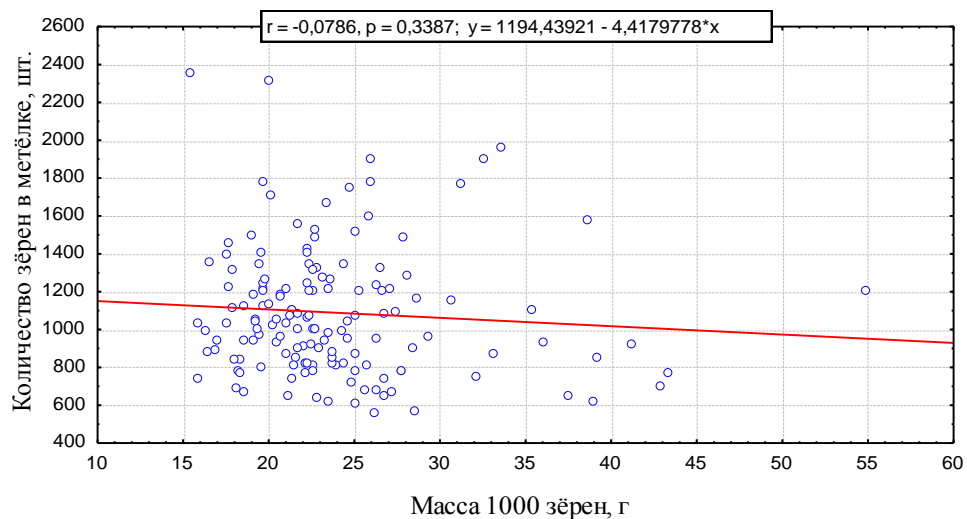
А.



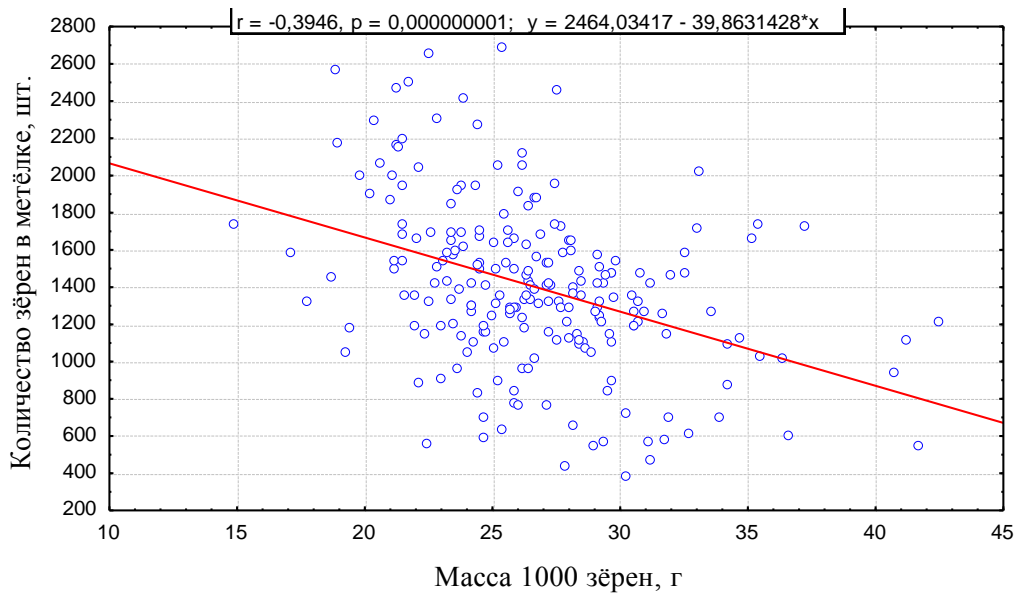
Б.

Рисунок 29 – Взаимосвязь продолжительности периода вегетации «всходы – полная спелость» и количества зёрен в метёлке (А. – коллекция 2008-2010 гг.; Б. – коллекция 2016-2020 гг.)

Анализ корреляционной связи между наиболее значимыми (количество зёрен в метёлке и масса 1 000 зёрен) элементами продуктивности сорго зернового показал наличие средней отрицательной зависимости ($r = -0,39 \pm 0,06$) в 2016-2020 гг. и её отсутствие ($r = -0,08 \pm 0,07$) в выборке 2008-2010 гг., что обусловлено слабой озернёностью мелкозёрных образцов изученных в данные годы (рисунок 30).



А.



Б.

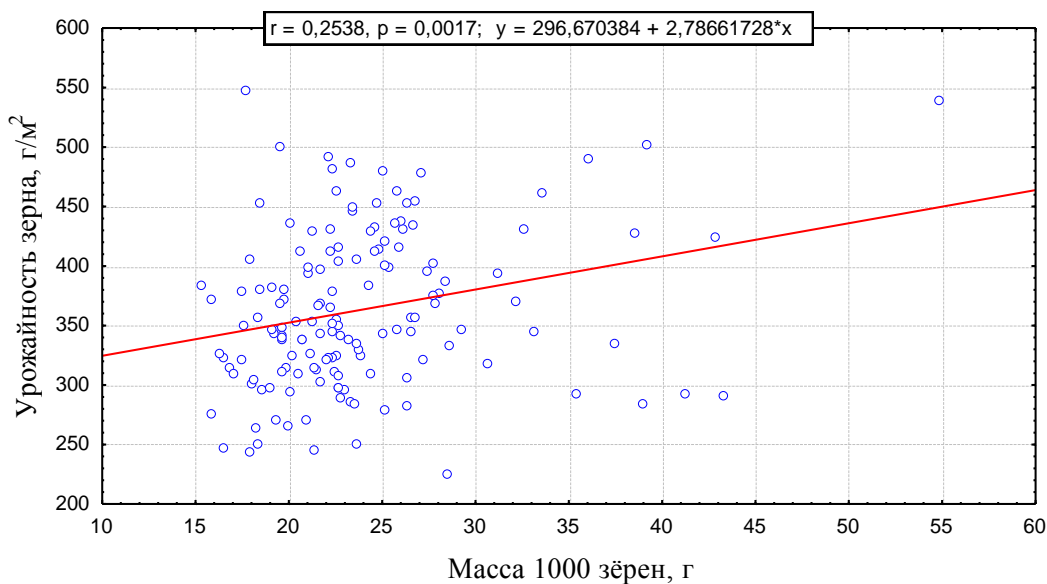
Рисунок 30 – Взаимосвязь количества зёрен в метёлке и массы 1000 зёрен

(А. – коллекция 2008-2010 гг.; Б. – коллекция 2016-2020 гг.)

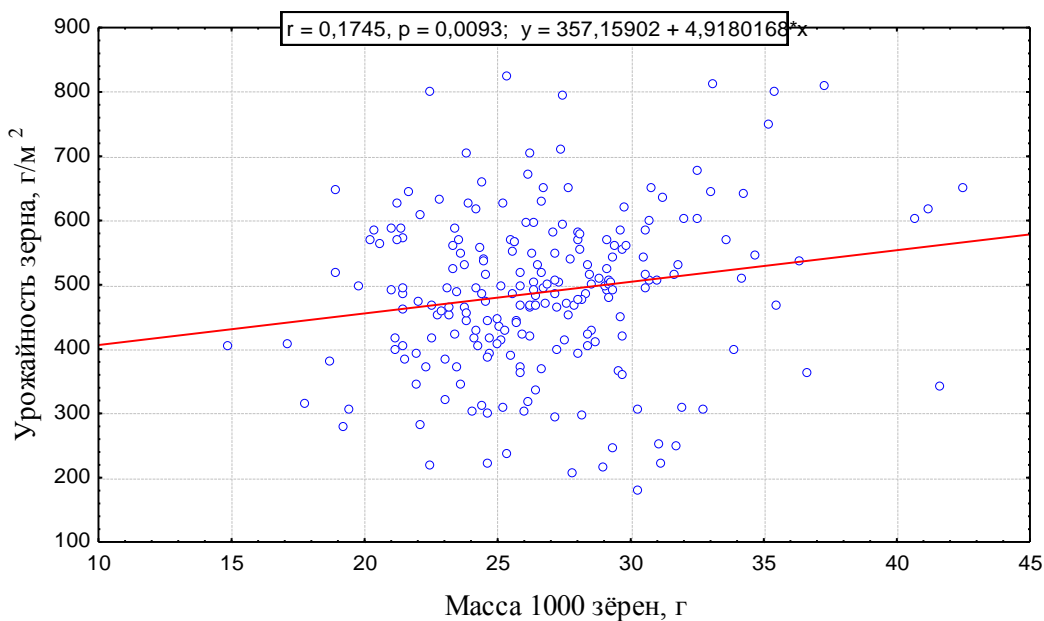
Средняя отрицательная корреляционная связь ($r = -0,53 \pm 0,05$) между количеством зёрен в метёлке и массой 1 000 зёрен подтверждается исследованиями Алабушева А.В. и его соавторов (2017). В работе Н.А. Беседа (2010 д) также наблюдалось проявление отрицательной связи ($r = -0,44$) между данными признаками. Однако, удалось выделить крупнозёрные образцы с высокой озёрнёностью и была отмечена возможность сочетания высоких значений этих признаков в одном генотипе.

Одним из основных элементов продуктивности сорго зернового является масса 1 000 зёрен. Этот признак характеризует крупность и выполненность зерна.

В результате анализа взаимосвязи урожайности зерна и массы 1000 зёрен наблюдается тенденция к повышению продуктивности крупнозёрных образцов по сравнению с мелкозёрными. Во все годы исследований между этими признаками отмечено проявление слабой положительной корреляционной связи (2008-2010 гг.: $r = 0,25 \pm 0,08$; 2016-2020 гг.: $r = 0,17 \pm 0,07$) (рисунок 31).



А.



Б.

Рисунок 31 – Зависимость урожайности зерна от массы 1000 зёрен
(А. – коллекция 2008-2010 гг.; Б. – коллекция 2016-2020 гг.)

Оценка коллекционных образцов по массе 1 000 зёрен проводилась с учётом Широкого унифицированного классификатора СЭВ и международного классификатора СЭВ возделываемых видов рода *Sorghum* Moench (Якушевский, 1982). Согласно классификатора, образцы сорго имеют очень малую (<15 г), малую (15-20 г), среднюю (21-30 г), большую (31-40 г) и очень большую (>40 г) массу 1000 зёрен.

Распределение образцов коллекции по этому признаку показало широкий размах варьирования. В коллекции 2008-2010 гг. исследования масса 1 000 зёрен варьировала от 15,3 до 54,8 г. Коэффициент вариации ($V = 25,2\%$) указывает на значительную изменчивость признака в эти годы исследования. Очень большая масса 1 000 зёрен отмечена у образцов: Сорго Абу-Себейн (41,2 г), Д. 1034/07 (42,8 г), Feterita (43,3 г), Джугара 185 (54,8 г). Отбор наиболее ценных форм привел к увеличению образцов в коллекции 2016-2020 гг. обладающих средней (21-30 г) и большой (31-40 г) массой 1 000 зёрен (рисунок 32).

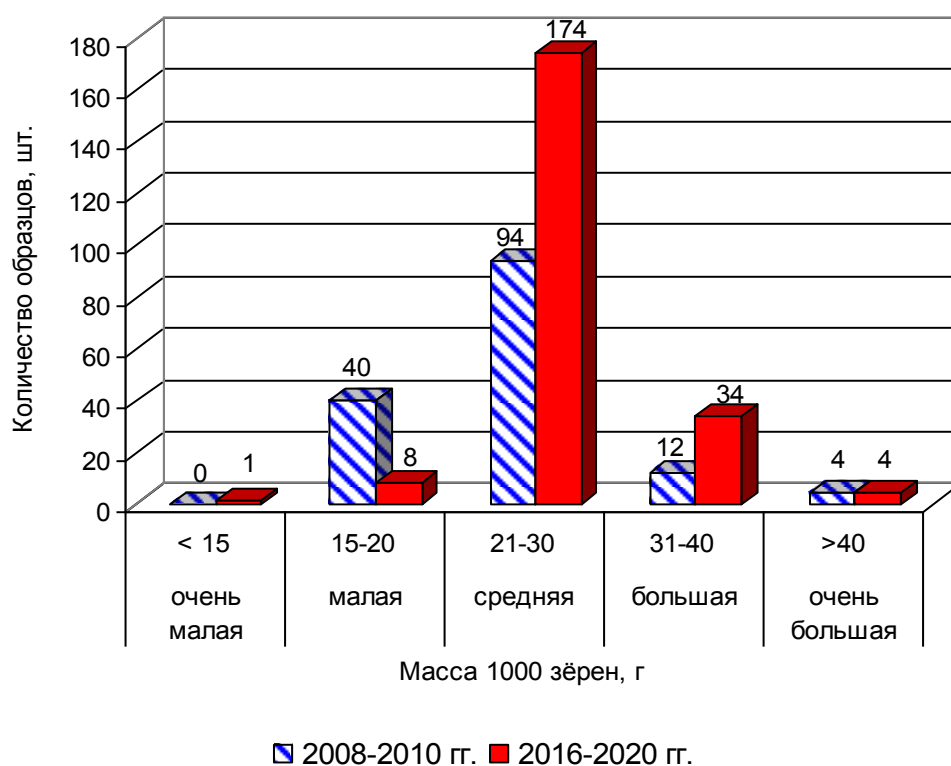


Рисунок 32 – Распределение образцов коллекции сорго зернового по признаку «масса 1 000 зёрен»

Коллекционные образцы 2016-2020 гг. исследования формировали зерновку с массой 1 000 зёрен от 14,9 до 42,4 г. Изменчивость признака была средней ($V=16,4\%$). К наиболее крупнозёрным относились образцы №61-13 (40,7 г), Spig Feterita (41,2 г), Redhull Feterita (42,4 г), а также сорт Аванс (41,6 г) (таблица 7).

Таблица 7 – Характеристика источников крупнозёрности сорго зернового, 2016-2020 гг.

Образец (сорт)	Происхождение	Масса 1000 зёрен, г	Количество зёрен в метёлке, шт.	Период вегетации «всходы – полная спелость», дни	Высота растения, см	Урожайность зерна, г/м ²
раннеспелые						
Зерноградское 88, ст.	Россия	29,3	1427	95	97	544
Аванс	Россия	41,6	548	88	109	344
\bar{X}		26,8	1204	94	112	434
S		3,6	381	5	14	106
среднеранние						
Зерноградское 53, ст.	Россия	27,1	1530	103	118	549
№61-13	Украина	40,7	944	101	111	603
Spur Feterita	США	41,2	1121	102	142	618
Redhull Feterita	США	42,4	1216	104	130	652
\bar{X}		26,4	1593	107	111	540
S		5,0	409	5	17	116

Среди крупнозёрных образцов выделяется сорт Аванс, который характеризуется периодом вегетации «всходы – полная спелость» 88 дней, что на 7 дней раньше стандарта раннеспелой группы созревания Зерноградское 88. Кроме того, этот сорт по высоте растений (109 см) соответствует оптимальным значениям. Таким образом, он обладает комплексом ценных признаков (крупнозёрность, раннеспелость, оптимальная высота растения) и может быть использован в селекционной работе в качестве источника. В среднеранней группе созревания образцы с очень большой массой 1 000 зёрен и количеством зёрен в метёлке от 944 до 1 216 шт. превысили стандарт Зерноградское 53 по урожайности зерна на 54-103 г/м².

В результате проведённой статистической обработки установлено, что в период 2008-2010 гг. исследования наименьшая масса 1 000 зёрен формировалась в засушливый 2010 год (ГТК май-сентябрь = 0,65), а максимальная – в 2008 году

при выпадении наибольшего количества осадков (+24 мм к среднегодовому значению) в фазу «выметывания» и «цветения» коллекционных образцов (июль). В коллекции 2016-2020 гг. формирование большей массы 1 000 зёрен также наблюдалось в годы (2018 г. – 30,8 г; 2019 г. – 26,9 г; 2020 г. – 27,0 г.) с большим количеством осадков (+14,0, +13,7 и +3,0 мм к норме, соответственно) в июле (рисунок 33).

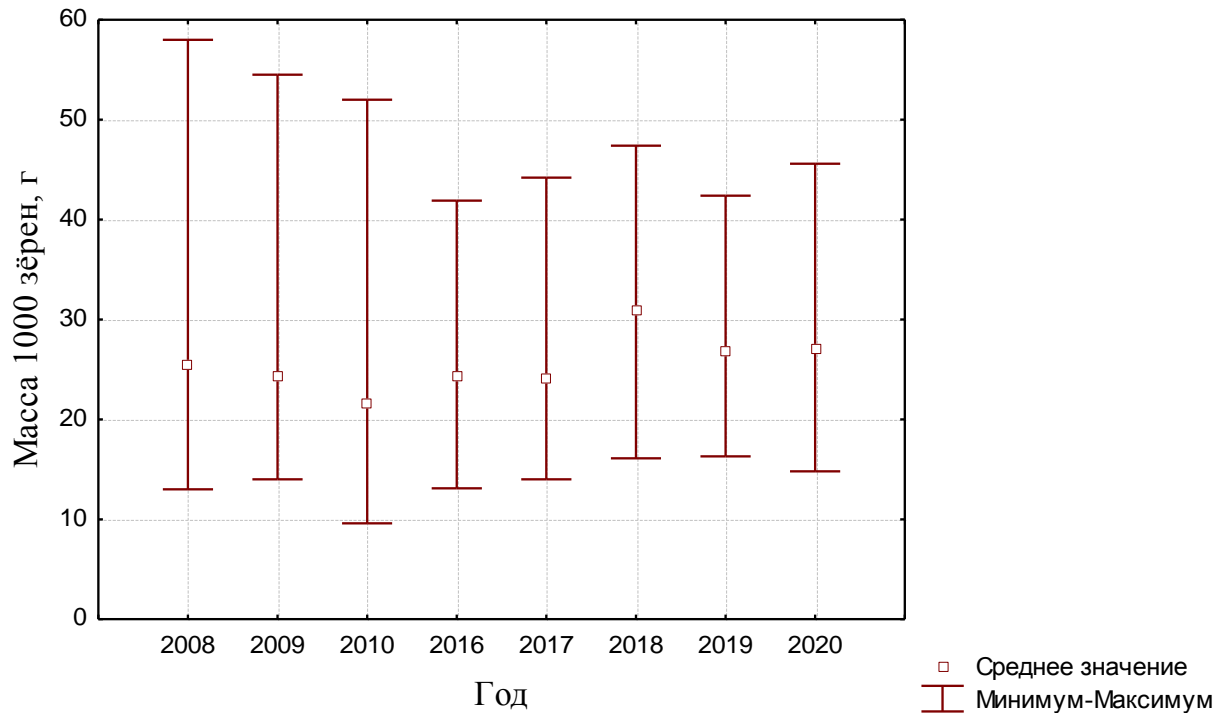


Рисунок 33 – Масса 1 000 зёрен в зависимости от года исследования

3.2 Изучение показателей качества зерна сорго

В основном исследования направлены на изучение урожайности, а также устойчивости культуры к биотическим и абиотическим факторам. Пищевым аспектам, уделялось сравнительно мало внимания, однако усилия по их улучшению в различных культурах, включая сорго, постоянно предпринимаются (Morris and Sands, 2006; Mofokeng et al., 2017). Анализ качества зерна в селекционной работе приобретает всё большее значение. Там, где раньше в селекционных программах интересовались только урожайностью, теперь при отборе лучшего исходного материала, сортов и линий используют данные биохимического анализа.

По мнению, как отечественных (Малиновский, 1990), так и зарубежных учёных (Kimani et al., 2020), контроль содержания питательных веществ в процессе селекции сортов и гибридов сорго должен быть обязательным, что является первым шагом к улучшению их питательных свойств с помощью традиционной селекции. Ещё Н.Н. Иванов отмечал, что селекционер, не опирающийся на биохимический анализ, не способен полноценно изучить исходный материал (Ермаков, 1987).

Следует учитывать, что признаки, определяющие качество зерна (содержание белков, жиров и др.), чаще всего, имеют отрицательную корреляцию с урожайностью (Савченко, 2010).

3.2.1 Сырой белок и лизин

Количество белка в зерне имеет одно из определяющих значений при характеристике его кормовых и пищевых достоинств. Поэтому одним из основных направлений селекции сорго зернового является создание сортов и гибридов с повышенным содержанием белка.

Распределение образцов сорго зернового по содержанию сырого белка в зерне показало, преимущество коллекции 2008-2010 гг. перед коллекцией 2016-2020 гг. Основное количество (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, Огана и другие (приложение 13). 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 (рисунок 34).

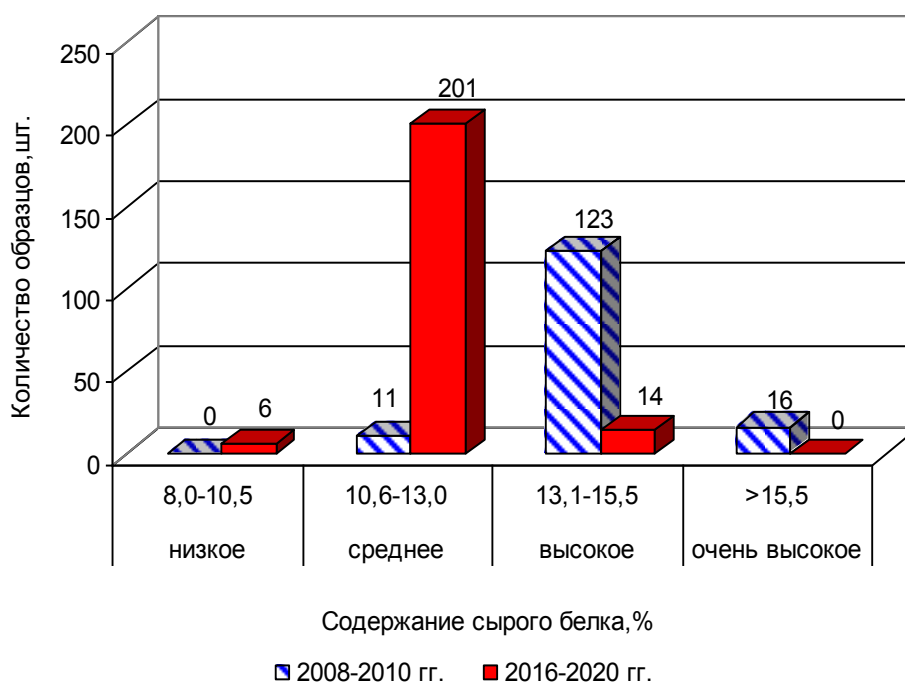


Рисунок 34 – Распределение образцов коллекции сорго зернового по содержанию сырого белка

Детальный анализ исходного материала по отдельным годам исследования показал близкие средние значения (от 14,2% в 2009 г. при ГТК май-сентябрь = 0,97 до 14,7% в 2010 г. при ГТК май-сентябрь = 0,65) данного показателя 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. отличались в большей степени между годами. Наименьшее накопление сырого белка (11,0%) у образцов данной коллекции наблюдалось в

2017 г. при гидротермическом коэффициенте в период май-сентябрь 0,86, а наибольшее содержание (12,9%) – отмечено в 2018 г. с уровнем ГТК май-сентябрь равном 0,30 (рисунок 35). Таким образом, можно сделать вывод о накоплении большего количества белка в более засушливые годы.

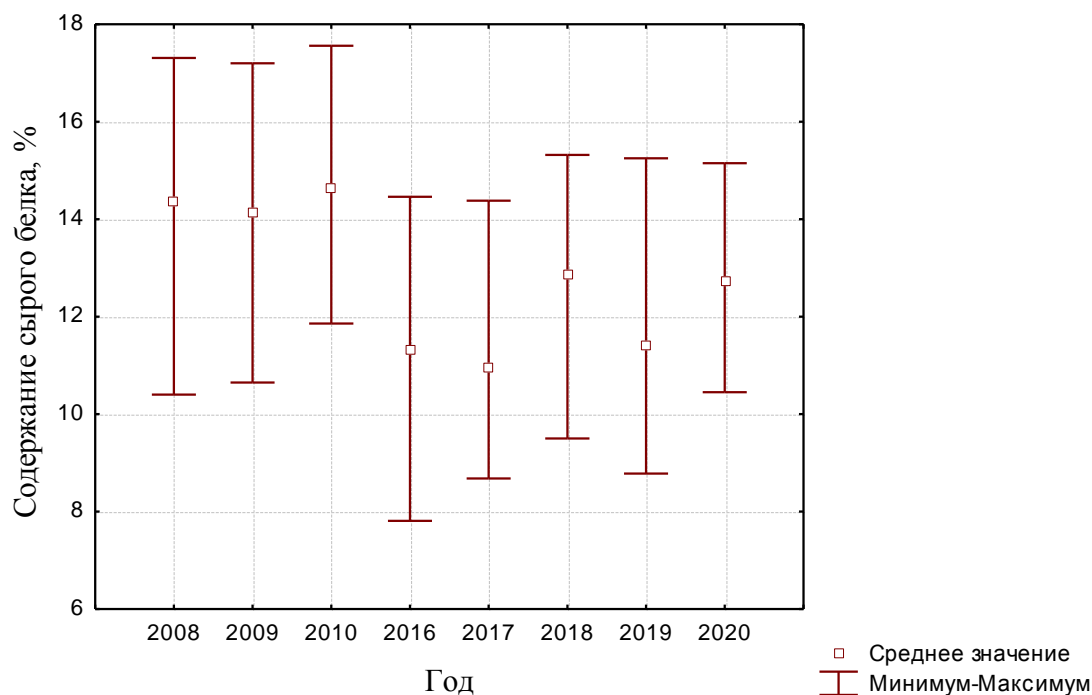


Рисунок 35 – Содержание сырого белка в зерне в зависимости от года исследования

Зависимость содержания сырого белка в зерне от погодных условий отмечено в работе В.И. Лихопой и А.С. Казаковой (1992). Согласно их выводов, варьирование содержания этого показателя по годам зависит от температуры и осадков за период вегетации. В годы с жаркими и сухими погодными условиями в зерне сорго наблюдается повышение содержания сырого протеина на 1,5-2%. Лучший синтез белка и увеличение его содержания в более сухие по сравнению с благоприятными по влагообеспеченности годами также отмечалось в исследованиях Н.А. Шепель (1985 а).

В коллекции 2016-2020 гг. максимальное содержание сырого белка (более 14,0%) отмечено у образцов Пионер 88/Фетерита ранняя 141 (14,2%), ЗСК 1912/16

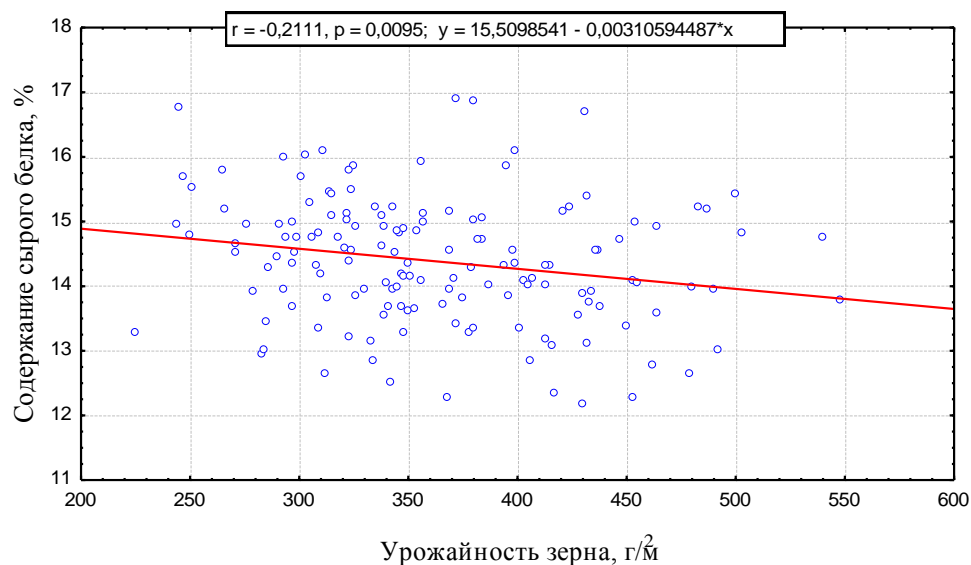
(14,3%), Д. 644/16 (14,5%) и ЗСК 1910/16 (14,6%), которые можно использовать в гибридизации в качестве источников (таблица 8).

Таблица 8 – Характеристика лучших образцов сорго зернового по содержанию сырого белка, 2016-2020 гг.

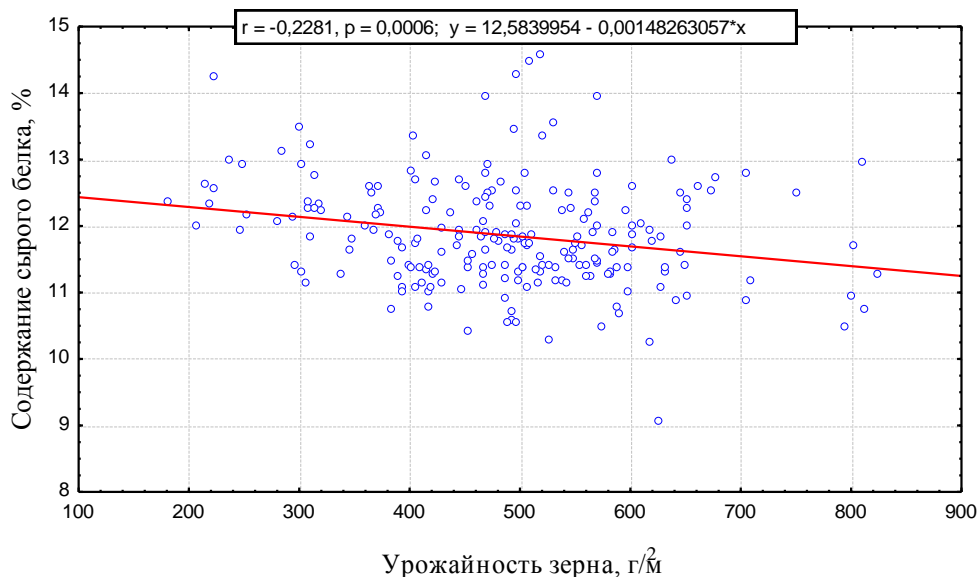
Образец (сорт)	Происхождение	Содержание сырого белка, %	Масса 1000 зёрен, г	Количество зёрен в метёлке, шт.	Высота растения, см	Урожайность зерна, г/м ²
раннеспелые						
Зерноградское 88, ст.	Россия	12,5	29,3	1427	97	544
Д. 644/16	Россия	14,5	30,9	1268	127	508
ЗСК 1912/16	Россия	14,3	25,1	1501	100	498
Пионер 88/Фетерита ранняя 141	Украина	14,2	24,6	589	132	224
\bar{X}		11,9	26,8	1204	112	434
S		0,8	3,6	381	14	106
среднеранние						
Зерноградское 53, ст.	Россия	11,7	27,1	1530	118	549
ЗСК 1910/16	Россия	14,6	31,6	1257	106	518
\bar{X}		11,8	26,4	1593	111	540
S		0,8	5,0	409	17	116

Выделенные образцы раннеспелой группы созревания превышают по содержанию сырого белка стандарт Зерноградское 88 на 1,7-2,0%. Среднеранний образец ЗСК 1910/16 имеет значения на 2,9% выше, чем у стандарта Зерноградское 53. По урожайности зерна выделенный образец (518 г/м²) при стандартном отклонении 116 г/м² не уступает стандарту Зерноградское 53 (549 г/м²) и среднему значению по группе созревания (540 г/м²). В раннеспелой группе созревания урожайность зерна на уровне стандарта Зерноградское 88 (544 г/м²) сформировали образцы Д. 644/16 (508 г/м²) и ЗСК 1912/16 (498 г/м²).

Наличие образцов, сочетающих высокое содержание сырого белка и существенно не уступающих по урожайности зерна стандарту, позволяет предположить о возможности сочетания этих признаков в новых сортах и гибридах. Данное предположение подтверждается проявлением слабой корреляционной связи (2008-2010 гг. – $r = -0,21 \pm 0,08$; 2016-2020 гг. – $r = -0,23 \pm 0,07$) между изученными признаками (рисунок 36).



А.



Б.

Рисунок 36 – Зависимость содержания сырого белка от урожайности зерна коллекционных образцов сорго зернового (А. – коллекция 2008-2010 гг.; Б. – коллекция 2016-2020 гг.)

Наши результаты согласуются с исследованиями Н.А. Шепель (1994), в которых между урожайностью и содержанием белка в зерне отмечалась корреляция от -0,19 до -0,57. Подобные результаты наблюдались в опытах Б.Н. Малиновского и Г.Г. Аббасова (1995), где выявлена слабая ($r = -0,256$) и средняя ($r = -0,492$) корреляция. В более ранних исследованиях (Pava, 1980; Костина, Шебанова, 1983) говорится о проявлении тесной отрицательной корреляции изучаемых признаков.

При анализе корреляции содержания сырого белка с продолжительностью периода вегетации «всходы-полная спелость» отмечено проявление слабой отрицательной связи во все годы изучения (2008-2010 гг. – $r = -0,14 \pm 0,08$; 2016-2020 гг. – $r = -0,25 \pm 0,07$). В проведённых опытах В.И. Лихопой и соавторов (1995) также была установлена слабая корреляция между повышением содержания белка и раннеспелостью.

В работе Г.К. Дремлюк (2008), к увеличению содержания белка в зерне сорго зернового приводило уменьшение высоты растений. В наших исследованиях между этими признаками такой зависимости не наблюдалось (2008-2010 гг. – $r = -0,05 \pm 0,08$; 2016-2020 гг. – $r = 0,00$).

Растительный белок в зависимости от его качества в разной степени усваивается КРС и другими сельскохозяйственными животными. Установлено, что увеличение содержания аминокислоты лизина приводит к повышению усвояемости белка (Шепель и др., 1988). Однако, сорго характеризуется низким уровнем некоторых аминокислот, и прежде всего лизина (Ковтунов и др., 2011). Следовательно, в селекционной работе, направленной на повышение качества зерна сорго, наряду с увеличением содержания белка, необходимо стремиться к улучшению его аминокислотного состава, и, прежде всего, к увеличению концентрации лизина в белке. Для этого важно знать её уровень и степень варьирования у имеющегося исходного материала.

В исследованиях, проведённых 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%) обладали содержанием лизина менее 3,00%. В связи со снижением уровня сырого

белка в коллекции 2016-2020 гг. и, отмеченной тесной отрицательной корреляционной связи ($r = -0,79 \pm 0,04$) между данными показателями, основная доля (83,7% или 185 шт.) образцов в этот период характеризовалась содержанием лизина в белке более 3,01% (рисунок 37).

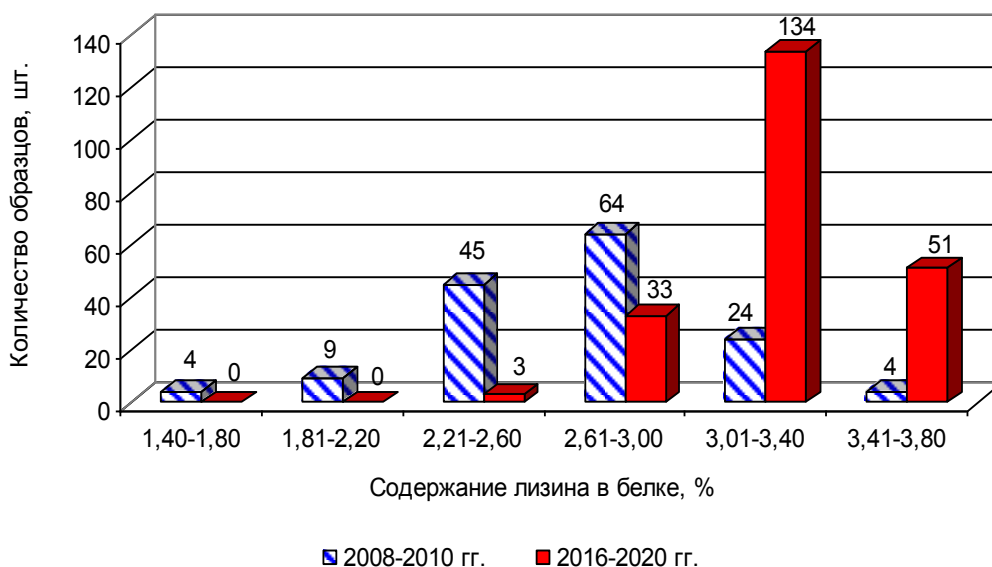


Рисунок 37 – Распределение образцов коллекции сорго зернового по содержанию лизина в белке

В коллекции 2016-2020 гг. наибольшее содержание лизина в белке (3,69%) отмечено у среднераннего (период вегетации «всходы-полная спелость» 105 дней) образца из Украины ДН-35Ф. Превышение данного показателя на величину стандартного отклонения (0,24%) по отношению к среднему значению по коллекции (3,22%), стандартам зерноградское 88 (3,22%) и зерноградское 53 (3,10%) наблюдалось у образцов: Китайское 7 (3,68%), ЗСК 1908/16 (3,68%), зерноградское 215 (3,68%), 06-2031 (3,68%), 31063 (3,67%), 06.VI.25 R (3,65%), Геническое 130 (3,62%), Н.С. 21 (3,62%) и др. (приложение 4).

Согласно мнению Б.Н. Малиновского и его соавторов (1992) необходимо создание сортов и гибридов сорго зернового с содержанием белка 13-14% и лизина на уровне 2,8-3,0%. Образцы, обладающие содержанием сырого белка более 13,0% и лизина в белке более 2,8% в коллекции 2008-2010 гг. составляли 34% (51

шт.) (приложение 13). Среди коллекционных образцов 2016-2020 гг. соответствующие параметры отмечены у 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 (таблица 9).

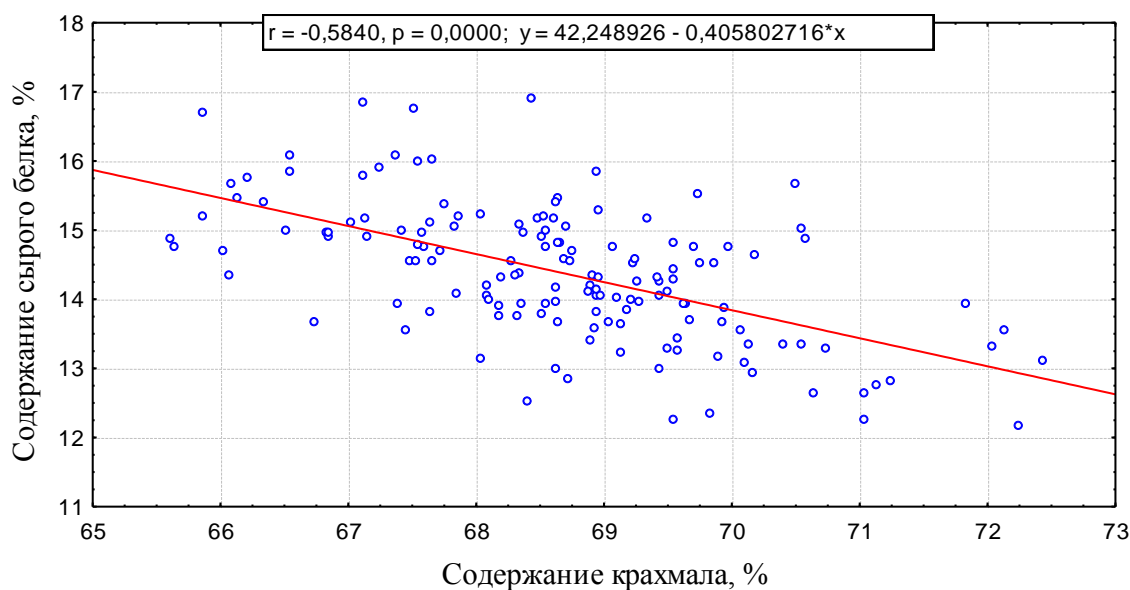
Таблица 9 – Характеристика образцов сорго зернового с оптимальным содержанием сырого белка и лизина в белке, 2016-2020 гг.

Образец (сорт)	Происхождение	Содержание сырого белка, %	Содержание лизина в белке, %	Период вегетации «всходы – полная спелость», дни	Высота растения, см	Урожайность зерна, г/м ²
раннеспелые						
Зерноградское 88, ст.	Россия	12,5	3,22	95	97	544
Рось	Россия	13,5	2,79	82	109	301
ЗСК 931/15	Россия	13,4	2,98	97	96	495
МСЛ-23-ф	Молдавия	13,4	3,10	94	122	405
Пионер 412/Миловское 6	Украина	13,2	2,89	96	92	310
Л-59	Россия	13,1	2,83	93	114	415
Белочка	Россия	13,0	3,14	84	122	237
\bar{X}		11,9	3,21	94	112	434
S		0,8	0,24	5	14	106
среднеранние						
Зерноградское 53, ст.	Россия	11,7	3,10	103	118	549
Редлайн 66	США	13,9	2,87	104	108	469
Пионер 878 /Геническое бурое 129	Украина	13,4	2,87	109	110	520
О.О. Yellow Sooner Milo-2501	США	13,0	2,86	104	101	638
\bar{X}		11,8	3,24	107	111	540
S		0,8	0,24	5	17	116

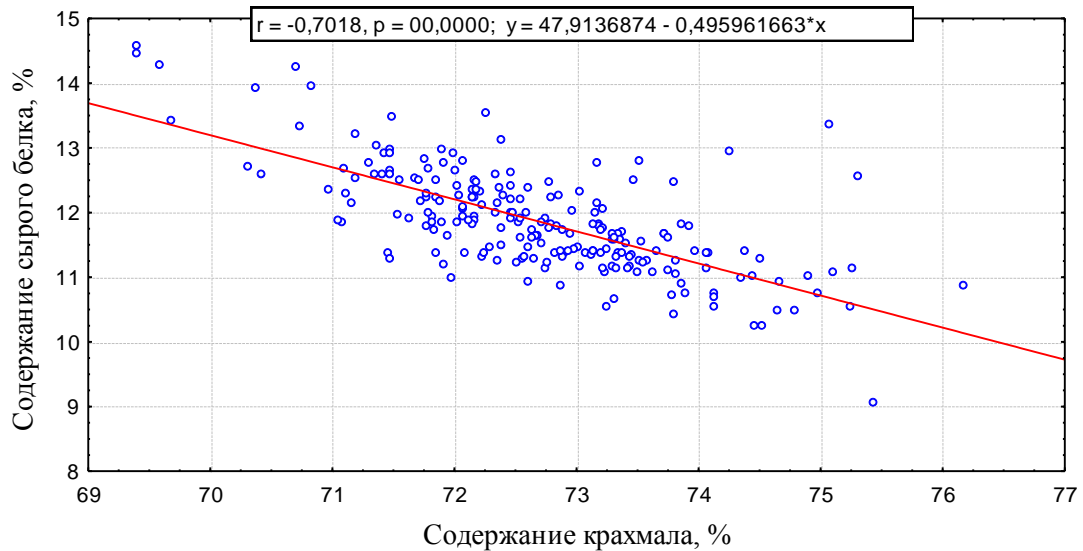
В раннеспелой группе созревания выделенные образцы с оптимальным содержанием сырого белка и лизина в белке уступали по урожайности зерна стандарту зерноградское 88 на 49-307 г/м². Среднеранние образцы формировали урожайность зерна от 469 до 638 г/м².

Существенная нехватка растительного белка, отодвигает на второстепенный план проблему обеспеченности кормов углеводами. Однако, её актуальность также очевидна, так как дефицит углеводов оказывает не меньшее отрицательное воздействие на состояние животноводства (Левахин и др., 2006).

В связи с этим, для выбора стратегии селекционной работы на качество зерна особое значение приобретает знание корреляционной связи между основными биохимическими компонентами зерновки (содержание белка и крахмала). Анализ выявленных корреляций показал наличие средней (2008-2010 гг. – $r = -0,58 \pm 0,07$; 2016-2020 гг. – $r = -0,70 \pm 0,05$) отрицательной взаимосвязи изучаемых признаков (рисунок 38).



А.



Б.

Рисунок 38 – Взаимосвязь содержания сырого белка и крахмала в зерне
(А. – коллекция 2008-2010 гг.; Б. – коллекция 2016-2020 гг.)

Обратная корреляционная зависимость между крахмалом и сырым белком была отмечена в исследованиях А.С. Казаковой и др. (1994). Такие же результаты выявлены в работе Б.Н. Малиновского и др. (1995), где сорта с высоким содержанием крахмала характеризовались пониженной концентрацией белка в зерне. Причём, эта закономерность, по его мнению, является общей для зерновых культур.

3.2.2 Крахмал

Основную долю энергии домашние животные при кормлении получают за счёт углеводов (Калашников и др., 1985). Также, как и у других зерновых и зернофуражных культур, большую часть эндосперма зерна сорго составляет крахмал. Поэтому, его содержание в значительной степени определяет качество зерна.

Изученные образцы сорго зернового были распределены на классы с низким (65,6-65,9%), средним (66,0-70,9%), высоким (71,0-75,0%) и очень высоким (более 75,0%) содержанием крахмала в зерне. Варьирование этого показателя бы-

ло 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%). Образцы коллекции 2016-2020 гг. характеризовались более высоким содержанием крахмала в зерне. К классу с высоким содержанием крахмала отнесено 203 образца (91,9%). Кроме того, были выделены формы с очень высоким содержанием крахмала (рисунок 39).

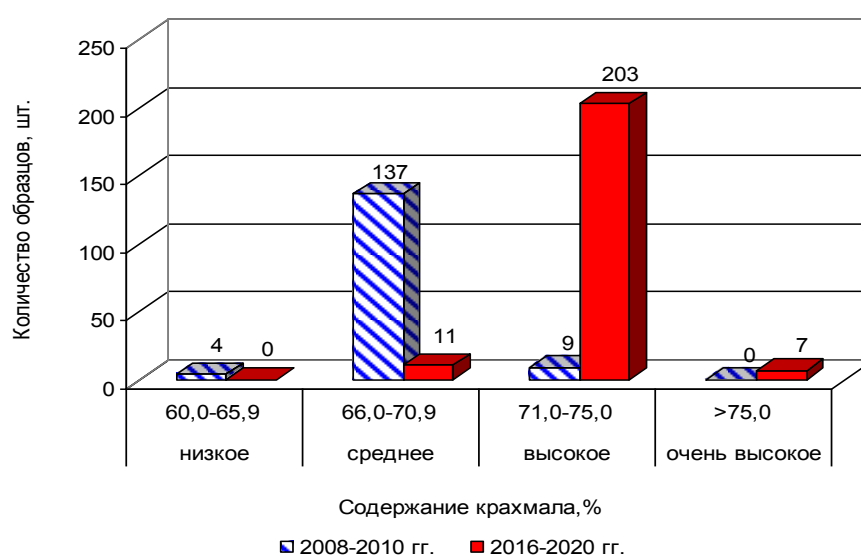


Рисунок 39 – Распределение образцов коллекции сорго зернового по содержанию крахмала

В коллекции 2008-2010 гг. среднее значение содержания крахмала в зерне варьировало от 68,3% в 2009 г. до 69,2% в 2008 г. В коллекции 2016-2020 гг. наиболее высокий синтез крахмала наблюдался в 2017 г. В этот период среднее значение по коллекции составило 75,0%, а максимальное значение (78,0%) отмечено у белозёрного образца к-3025 из Бразилии. Минимальное значение (71,3%) по коллекции и наименьший размах варьирования (минимум – 68,5%, максимум – 75,4%) отмечены в 2018 г. (рисунок 40).

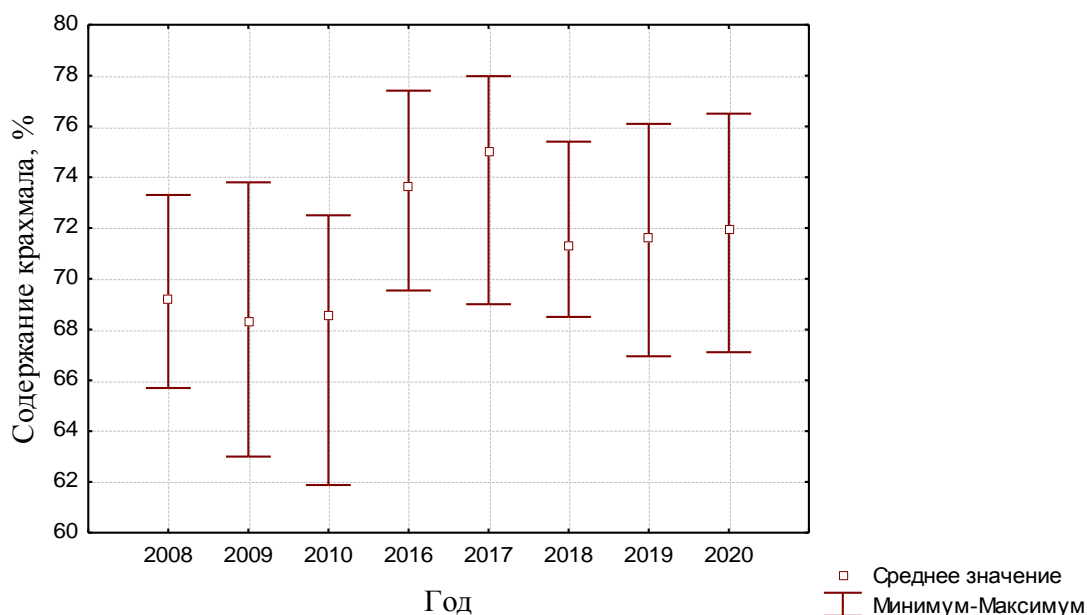


Рисунок 40 – Содержание крахмала в зерне в зависимости от года исследования

К выделенным в коллекции 2016-2020 гг. образцам сорго зернового с очень высоким содержанием (более 75,0%) крахмала в зерне относятся: 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%) (таблица 10).

Таблица 10 – Характеристика лучших образцов сорго зернового по содержанию крахмала, 2016-2020 гг.

Образец (сорт)	Происхождение	Содержание крахмала, %	Масса 1000 зёрен, г	Количество зёрен в метёлке, шт.	Высота растения, см	Урожайность зерна, г/м ²
1	2	3	4	5	6	7
раннеспелые						
Зерноградское 88, ст.	Россия	72,8	29,3	1427	97	544
Геническое 9	Украина	75,2	29,1	1296	114	494
МСЛ-23-ф	Молдавия	75,1	24,3	1104	122	405
\bar{X}		72,6	26,8	1204	112	434
S		1,1	3,6	381	14	106

Продолжение таблицы 10

1	2	3	4	5	6	7
среднеранние и среднеспелые						
Зерноградское 53, ст.	Россия	72,7	27,1	1530	118	549
к-3025	Бразилия	76,2	34,2	1096	130	643
06-2031	Китай	75,4	21,2	2471	123	627
line CPI 62230 IS84	Австралия	75,3	31,1	475	106	224
R-116	Китай	75,3	25,2	1354	117	430
KY-1	Россия	75,1	29,7	1104	92	420
\bar{X}		72,8	26,4	1593	111	540
S		1,2	5,0	409	17	116

Большая масса 1 000 зёрен (34,2 г) среди выделенных образцов отмечена у к-3025, который превысил стандарт Зерноградское 53 (549 г/м²) по урожайности зерна на 94 г/м². К этой же группе по массе 1 000 зёрен относился образец из Австралии line CPI 62230 IS84 (31,1 г). Однако, за счёт малого числа зёрен метёлки (475 шт.) у него формируется урожайность зерна (224 г/м²) в два раза ниже, чем у стандарта. Высокая озернённость метёлки (2 471 шт.) у образца 06-2031 обеспечила превышение урожайности зерна над сортом Зерноградское 53 на 78 г/м².

3.2.3 Сырая клетчатка

В состав углеводов входит сырая клетчатка. Её избыточное содержание в кормах уменьшает переваримость и эффективность использования животными питательных веществ (Калашников и др., 2003). В связи с этим, по мнению Косолапова В.М. (2009) селекция сортов и гибридов зернофуражных культур должна быть направлена на снижение содержания клетчатки, а её количественное определение имеет большое значение для оценки кормовых достоинств зерна.

Анализ распределения изучаемых образцов показал более значительный размах варьирования содержания сырой клетчатки в коллекции 2008-2010 гг. (от 1,06 до 2,29%) по сравнению с периодом 2016-2020 гг. (1,93-2,20%).

По данным В.М. Косолапова (2009), за эталон качества, к которому необходимо стремиться в селекции зернофуражных культур, считается содержание сырой клетчатки не более 2,20%.

В коллекции 2008-2010 гг. образцы сорго зернового с содержанием сырой клетчатки 2,20% и менее составили 97,3% (146 шт.), а в коллекции 2016-2020 гг. – 100% (221 шт.) (рисунок 41).

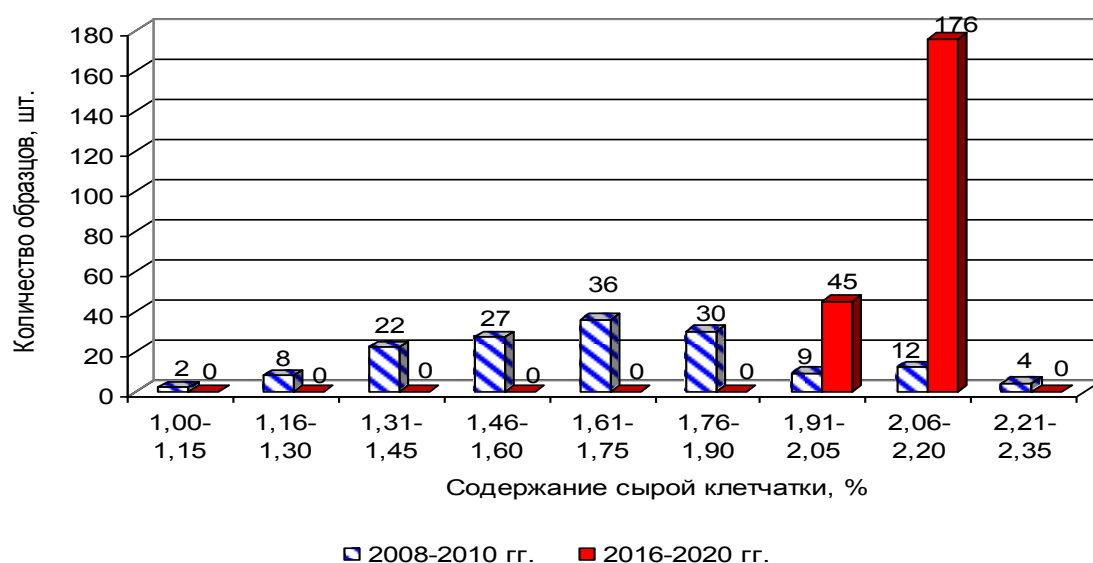


Рисунок 41 – Распределение образцов коллекции сорго зернового по содержанию сырой клетчатки

В условиях 2008-2010 гг. наименьшее содержание сырой клетчатки формировалось у образцов: Джугара 185 (1,06%), Sorghum Feterita (1,16%), к-6844 (1,18%), Популяция 32 (1,19%). В коллекции 2016-2020 гг. у 32 образцов отмечено содержание сырой клетчатки ниже среднего значения по коллекции (2,08%) на величину стандартного отклонения (0,05%). Содержание сырой клетчатки менее 2,00% зафиксировано у образцов из мировой коллекции ВИР (МСЛ-23-ф (1,95%), к-255 (1,96%)), сорта Премьера (1,95%) селекции Поволжский НИИСС – филиал СамНЦ РАН, а также допущенных к использованию сортов местной селекции (ФГБНУ «АНЦ «Донской») Лучистое (1,93%) и Великан (1,99%) (таблица 11).

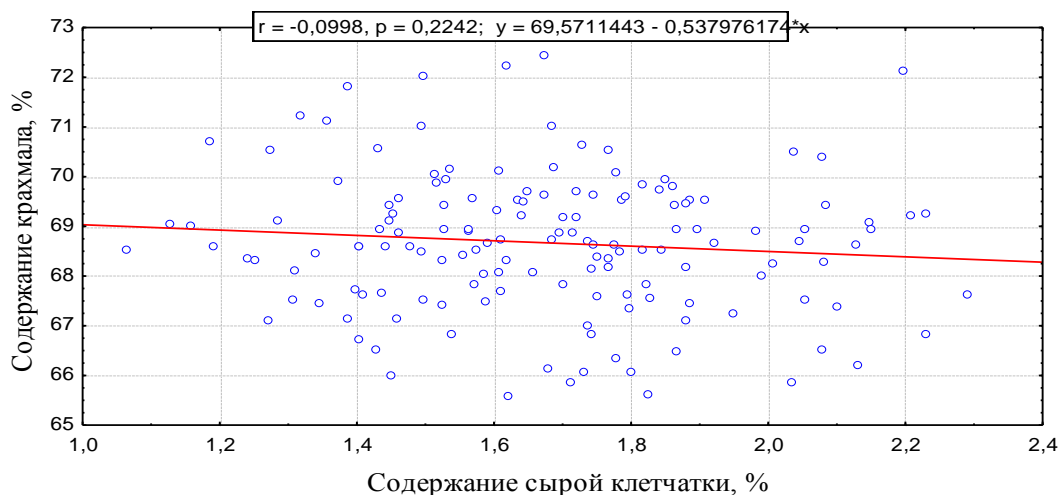
Таблица 11 – Характеристика лучших образцов сорго зернового по содержанию сырой клетчатки, 2016-2020 гг.

Образец (сорт)	Происхождение	Содержание сырой клетчатки, %	Масса 1000 зёрен, г	Количество зёрен в метёлке, шт.	Высота растения, см	Урожайность зерна, г/м ²
раннеспелые						
Зерноградское 88, ст.	Россия	2,07	29,3	1427	97	544
Лучистое	Россия	1,93	26,3	1354	119	494
Премьера	Россия	1,95	22,4	556	91	220
МСЛ-23-ф	Молдавия	1,95	24,3	1104	122	405
Великан	Россия	1,99	24,5	1709	144	538
\bar{X}		2,08	26,8	1204	112	434
S		0,05	3,6	381	14	106
среднеранние						
Зерноградское 53, ст.	Россия	2,05	27,1	1530	118	549
к-255	США	1,96	37,2	1725	147	811
\bar{X}		2,09	26,4	1593	111	540
S		0,05	5,0	409	17	116

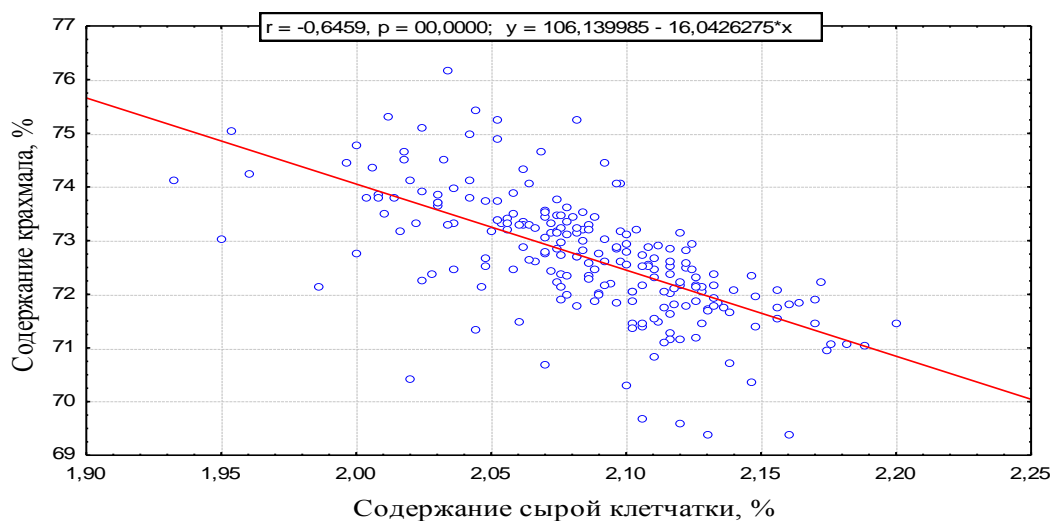
Выделенные раннеспелые образцы характеризуются содержанием сырой клетчатки в зерне на 0,08-0,14% ниже, чем у стандарта Зерноградское 88 (2,07%), а также средней массой 1 000 зёрен (22,4-26,3 г). Сорта Лучистое (494 г/м²) и Великан (538 г/м²) формировали урожайность зерна в пределах среднего значения и стандарта. В среднеранней группе выделился образец к-255, который характеризовался содержанием сырой клетчатки 1,96%, что на 0,09% ниже по сравнению со стандартом Зерноградское 53 (2,05%). Данный образец за счёт более высокой массы 1 000 зёрен (37,2 г) и озернённости метёлки (1 725 шт.) существенно превысил стандарт по урожайности зерна (811 г/м²).

В условиях 2016-2020 гг. проявилась достоверная средняя отрицательная корреляция ($r = -0,65 \pm 0,05$) между содержанием сырой клетчатки и крахмала в зерне. Однако, в коллекции 2008-2010 гг. закономерность по снижению содержа-

ния одного показателя при увеличении другого не подтвердилась, но тенденция сохранилась, так как была отмечена слабая корреляция ($r = -0,10 \pm 0,08$) между ними (рисунок 42).



А.



Б.

Рисунок 42 – Взаимосвязь содержания крахмала и сырой клетчатки в зерне (А. – коллекция 2008-2010 гг.; Б. – коллекция 2016-2020 гг.)

3.2.4 Сырой жир

Растительные жиры являются источниками не только высококачественных питательных веществ, но и жизненно важных биологически активных соединений (Patil and Gislerod, 2006).

Содержание сырого жира у коллекционных образцов 2008-2010 гг. варьировало от 2,77 до 5,32% ($V = 2,0\%$). В коллекции 2016-2020 гг. коэффициент вариации по данному показателю находился на уровне 8,7%, а содержание сырого жира у образцов составило 2,94-4,93%. Во все годы исследований большая часть коллекции (2008-2010 гг. – 101 шт.; 2016-2020 гг. – 187 шт.) имела значения данного показателя 3,51-4,50% (рисунок 43).

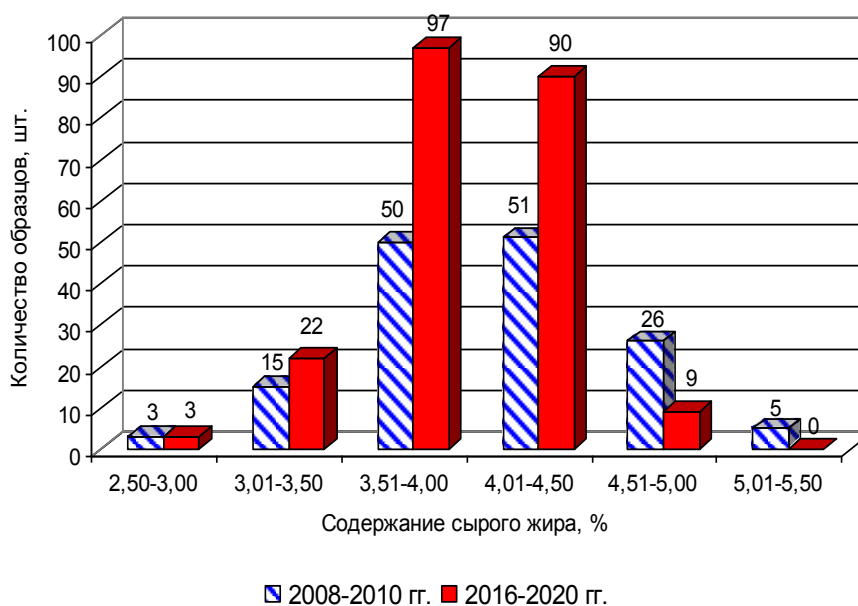


Рисунок 43 – Распределение образцов коллекции сорго зернового по содержанию сырого жира

По мнению В.М. Косолапова (2009), за эталон качества при оценке биохимического состава зерна основных зернофуражных культур необходимо принимать сорт с содержанием сырого жира не ниже 4,0%. Такие значения показателя в коллекции 2008-2010 гг. выявлены у 82 образцов (54,7%). Максимальное содержание сырого жира отмечено у образцов 03-3003 Б (5,06%), 1281-28 (5,10%), j-108 (5,14%), Хазине 28 (5,19%), СПЗС-11 (5,32%). В условиях 2016-2020 гг. количество образцов с содержанием сырого жира более 4,0% составило 99 шт. (39,6%). При этом, наибольшим содержанием сырого жира характеризовались образцы: 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%) (таблица 12).

Таблица 12 – Характеристика лучших образцов сорго зернового по содержанию сырого жира, 2016-2020 гг.

Образец (сорт)	Происхождение	Содержание сырого жира, %	Масса 1000 зёрен, г	Количество зёрен в метёлке, шт.	Высота растения, см	Урожайность зерна, г/м ²
раннеспелые						
Зерноградское 88, ст.	Россия	4,41	29,3	1427	97	544
Sb-121/5	Китай	4,84	25,4	1791	106	571
Факел	Россия	4,63	30,2	726	106	308
Перспективный 1	Россия	4,58	30,2	383	96	182
Д.1216/16	Россия	4,57	36,6	604	117	363
Зерновое 1-14	Украина	4,51	24,6	1164	136	446
\bar{X}		4,00	26,8	1204	112	434
S		0,31	3,6	381	14	106
среднеранние и среднеспелые						
Зерноградское 53, ст.	Россия	3,50	27,1	1530	118	549
ЗСК 1904/16	Россия	4,93	20,2	1903	154	570
ЗСК 1910/16	Россия	4,73	31,6	1257	106	518
Л-73	Россия	4,69	24,0	1050	104	303
КХ №11	Китай	4,63	21,0	1876	79	493
\bar{X}		3,88	26,4	1593	111	540
S		0,36	5,0	409	17	116

В раннеспелой группе созревания урожайность зерна выше, чем у стандарта Зерноградское 88 (544 г/м²), сформировал образец Sb-121/5 (571 г/м²). В среднеранней и среднеспелой группах созревания с урожайностью зерна на уровне среднего значения по группе (540 г/м²) и стандарта Зерноградское 53 (549 г/м²) выделены образцы КХ №11 (493 г/м²), ЗСК 1910/16 (518 г/м²) и ЗСК 1904/16 (570 г/м²).

На основе изучения корреляционных связей отмечена тенденция к снижению содержания сырого жира при увеличении вегетационного периода (2008-2010 гг. – $r = -0,45 \pm 0,07$; 2016-2020 гг. – $r = -0,28 \pm 0,06$).

Проведенный анализ корреляции содержания сырого жира с основными биохимическими показателями зерновки сорго выявил наличие слабой (2008-2010 гг. – $r = 0,28 \pm 0,08$) и средней положительной взаимосвязи (2016-2020 гг. – $r = 0,30 \pm 0,06$) с содержанием сырого белка в зерне, а также отрицательной связи с содержанием крахмала: от $-0,11$ (2016-2020 гг.) до $-0,37$ (2008-2010 гг.). Подобные результаты были отмечены в исследованиях Н.А. Шепель (1985 а), Г.Е. Шмараева и Е.В. Малиновской (2007). Это объясняется содержанием основной доли жира в зародыше, а крахмала – в эндосперме. При увеличении относительного веса зародыша повышается процент жира и снижается содержание крахмала.

3.2.5 Сырая зола

Несмотря на отсутствие энергетической ценности минеральных веществ, в питании сельскохозяйственных животных они выполняют важную роль и участвуют во всех процессах обмена веществ, происходящих в организме (Калашников и др., 2003).

В результате изучения исходного материала сорго зернового в период 2008-2010 гг. установлено варьирование содержания сырой золы в зерне от 1,10 до 2,27% и средняя вариационная изменчивость показателя ($V = 11,7\%$). Содержание сырой золы более 1,90% отмечено у образцов: Краснозёрное 99 (1,91%), ЛБК 100 (1,95%), Сорго Абу-Себейн (2,06%), Feterita (2,27%). Распределение коллекционных образцов в 2016-2020 гг. показало увеличение их количества с содержанием сырой золы 1,51-1,70% до 169 шт., а с содержанием 1,71-1,90% до 36 шт. Содержание сырой золы в пределах от 1,91% до 2,10% проявилось у образцов МСЛ-23-ф (1,95%) и Пионер 88/Фетерита ранняя 141 (2,01%). Образцы, характеризующиеся содержанием сырой золы более 2,10% в данной коллекции не выявлены (рисунок 44).

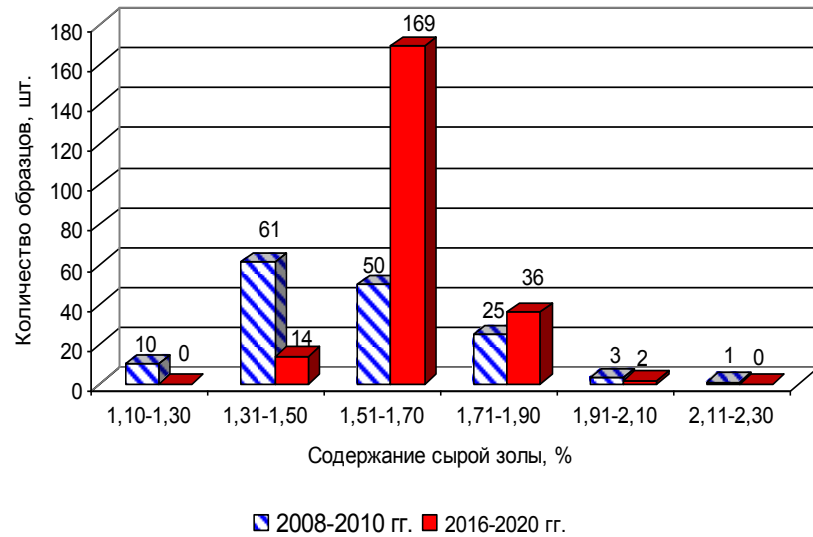
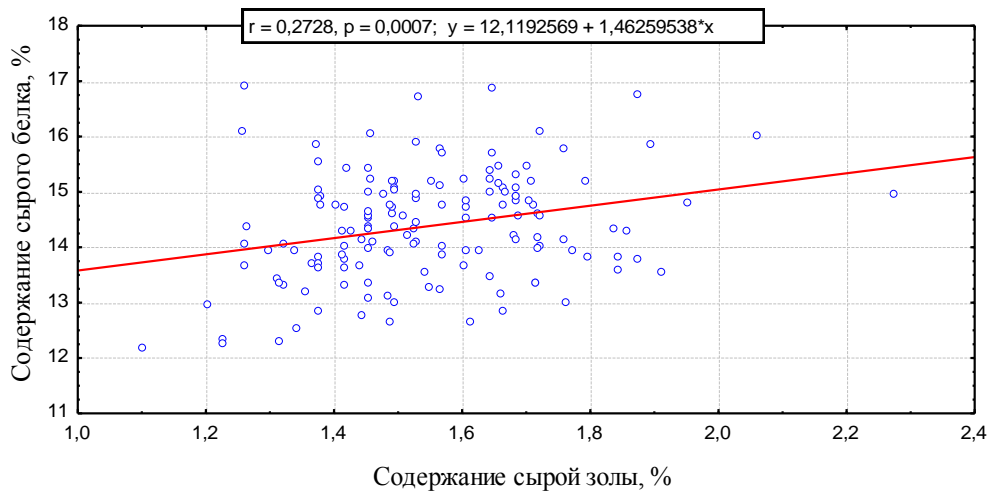
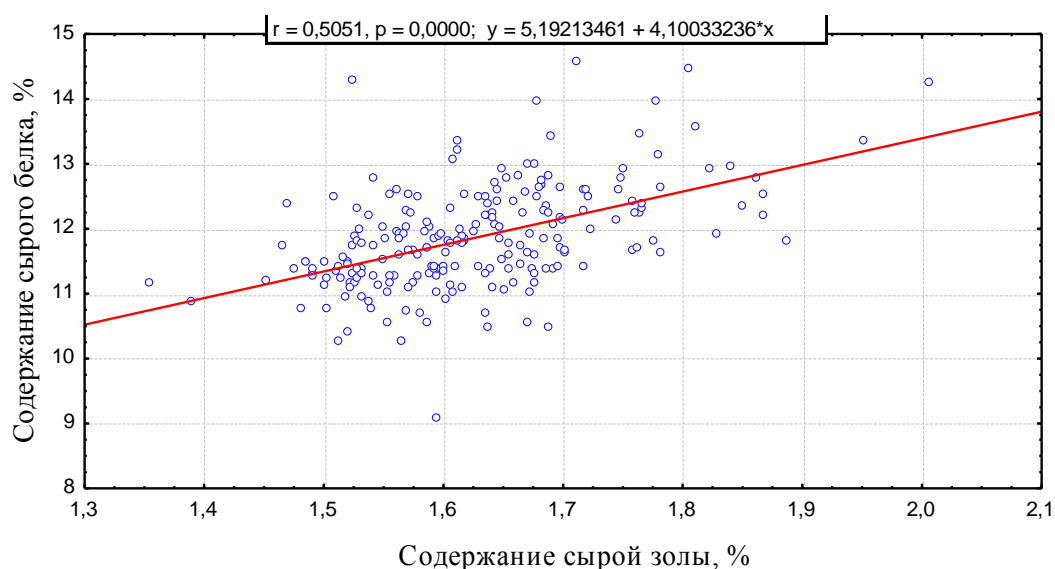


Рисунок 44 – Распределение образцов коллекции сорго зернового по содержанию сырой золы

На основе многолетних исследований установлено, что содержание сырой золы в зерне сорго зернового отрицательно коррелирует с урожайностью (2008-2010 гг. – $r = -0,14 \pm 0,08$; 2016-2020 гг. – $r = -0,36 \pm 0,06$) и озернённостью метёлки (2008-2010 гг. – $r = -0,16 \pm 0,08$; 2016-2020 гг. – $r = -0,35 \pm 0,06$). Кроме того, проявилась положительная взаимосвязь с содержанием сырого белка в зерне (2008-2010 гг. – $r = 0,27 \pm 0,08$; 2016-2020 гг. – $r = 0,51 \pm 0,06$). Увеличение содержания сырой золы в зерне на 0,1% приводит к повышению уровня сырого белка на 0,15-0,41% (рисунок 45).





Б.

Рисунок 45 – Взаимосвязь содержания сырой золы и сырого белка в зерне
(А. – коллекция 2008-2010 гг.; Б. – коллекция 2016-2020 гг.)

3.2.6 Танин

Оценка содержания танинов в зерне сорго зернового и выделение образцов с низкими или высокими значениями, в зависимости от целевого назначения сорта или гибрида, имеет большое селекционное значение. Содержание танина в зерне, изученного в 2008-2010 гг., исходного материала варьировало от 0,04 до 4,53%, а в период 2016-2020 гг. – от 0,12 до 6,07%. Подобное содержание танина в зерне сорго отмечено в исследованиях Abah C.R. et al. (2020), где среди анализируемых образцов сорго зернового его содержание находилось на уровне 0,10-7,22%.

В результате распределения коллекционных образцов сорго зернового по данному показателю выявлено от 37% (81 шт.) в 2016-2020 гг. до 50% (75 шт.) в 2008-2010 гг. генотипов с низким (<1,00%) содержанием танина в зерне (рисунок 46).

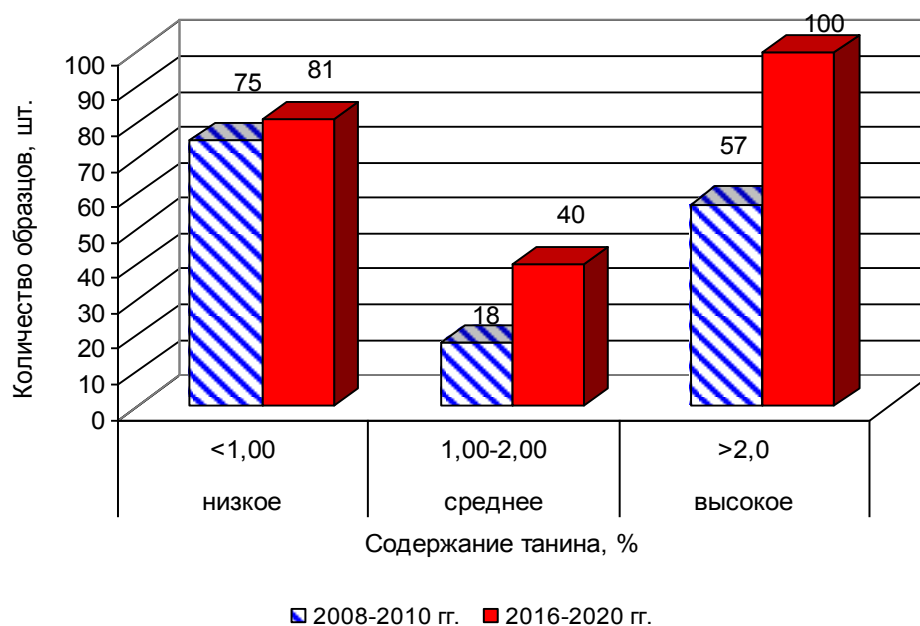
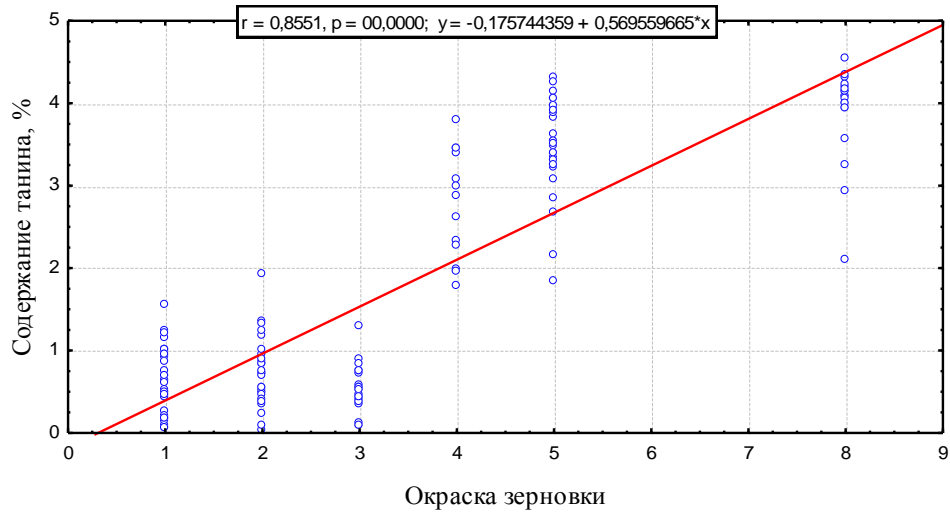


Рисунок 46 – Распределение образцов коллекции сорго зернового по содержанию танина

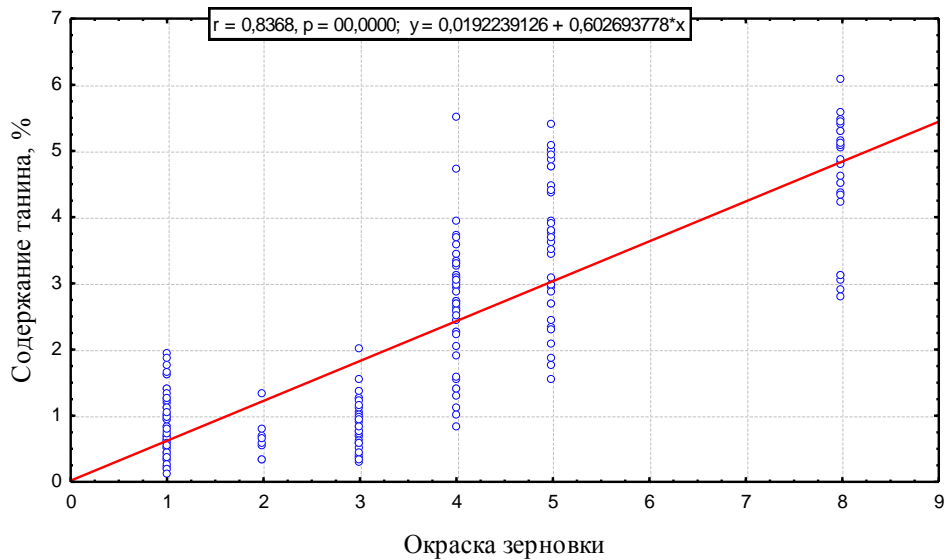
Наиболее низкое содержание танина в зерне образцов коллекции 2008-2010 гг. отмечено у генотипов со светлой окраской зерновки: М-60366 (0,04%), к-6844 (0,06%), к-2736 (0,07%), Аист (0,07%), к-5521 (0,08%), Сорго Абу-Себейн (0,09%), Sorghum Feterita (0,10%). Минимальные значения данного показателя в коллекции 2016-2020 гг. наблюдались у сортообразцов: Атаман (0,12%), Зерноградское 204/4 (0,17%), Крымбел (0,22%), Пионер 878 /Геническое бурое 129 (0,23%). К образцам с низким содержанием танина относится стандарт раннеспелой группы созревания Зерноградское 88 (0,17%).

Цель проведённых исследований заключалась не только в изучении содержания танина в зерне сорго зернового, но и выявление маркерных признаков для последующего использования их в селекционной работе.

Отмечено проявление сильной положительной зависимости содержания танинов в зерне сорго от окраски зерновки ($r = 0,86 \pm 0,05$, $r = 0,84 \pm 0,04$) (рисунок 47). Это указывает на преимущество использования для кормовых целей образцов со светлой окраской зерновки по сравнению с тёмноокрашенными.



А.



Б.

1 – белая; 2 – слоновая кость; 3 – жёлтая; 4 – розовая; 5 – красная;
6 – серая; 7 – оливковая; 8 – бурая; 9 – черноватая.

Рисунок 47 – Зависимость содержания танина от окраски зерновки
(А. – коллекция 2008-2010 гг.; Б. – коллекция 2016-2020 гг.)

Однако, по данным ряда исследователей, окраску околоплодника нельзя считать надежным показателем уровня содержания танинов в сорго (Boren and Waniska, 1992; Rooney, 2005; Dykes and Rooney, 2006).

На основе проведённых исследований установлено, что, несмотря на проявление тесной положительной корреляционной зависимости содержанием танина

от окраски зерновки, генотипы с белой, слоновой костью 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 этого показателя ($V = 56-62\%$). 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 показателя соответствовала средним значениям ($V = 15-20\%$) (таблица 13).

Таблица 13 – 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.

При анализе корреляционной связи между содержанием танина и сырого белка (2008-2010 гг. – $r = 0,11 \pm 0,08$; 2016-2020 гг. – $r = -0,06 \pm 0,07$), отмечена возможность эффективной селекционной работы на высокобелковость без увеличения или снижения уровня танинов в зерне. Подобная закономерность ($r = 0,09$) проявлялась в работе В.И. Лихопой и др. (1995).

Тенденция к снижению содержания танина отмечена при увеличении урожайности (2008-2010 гг. – $r = -0,07 \pm 0,08$; 2016-2020 гг. – $r = -0,15 \pm 0,07$), озернённости метёлки (2008-2010 гг. – $r = -0,09 \pm 0,08$; 2016-2020 гг. – $r = -0,10 \pm 0,07$), массы 1000 зёрен (2008-2010 гг. – $r = -0,24 \pm 0,08$; 2016-2020 гг. – $r = -0,15 \pm 0,07$), а также количества крахмала в зерне (2008-2010 гг. – $r = -0,37 \pm 0,08$; 2016-2020 гг. – $r = -0,02 \pm 0,07$).

Выявленные закономерности позволят более эффективно проводить селекционную работу по созданию сортов и гибридов сорго зернового различного целевого назначения.

3.2.7 Овсяные кормовые единицы и обменная энергия

Для определения питательной ценности зерна сорго зернового использовали расчёт овсяных кормовых единиц и обменной энергии.

Овсяная кормовая единица считается одним из основных показателей характеризующих кормовую ценность сельскохозяйственных культур. Она приравнивается к питательности 1 кг овса среднего качества, при скармливании которого сверх поддерживающего корма в организме взрослого вола синтезируется 150 г жира, что соответствует 5 920 кДж обменной энергии (Химический состав кормов сельскохозяйственных животных. Режим доступа: <http://biofile.ru/bio/17881.html>).

В связи с различной переваримостью питательных веществ один и тот же корм для разных видов сельскохозяйственных животных и птицы при одинаковом химическом составе отличается своей питательностью (Ковтунова и др., 2016).

Оценка коллекционных образцов показала, что наиболее питательным зерно сорго является для сельскохозяйственной птицы – 191,0-191,6 к.е. В 100 кг зерна

сорго при откорме свиней содержится 180,5-180,6 к.е., а использование его в качестве концентрированного корма для кормления КРС – 126,0-126,1 к.е. Наименьшая питательность корма из зерна сорго отмечено при скармливании его овцам – 122,3-122,4 к.е. (рисунок 48).

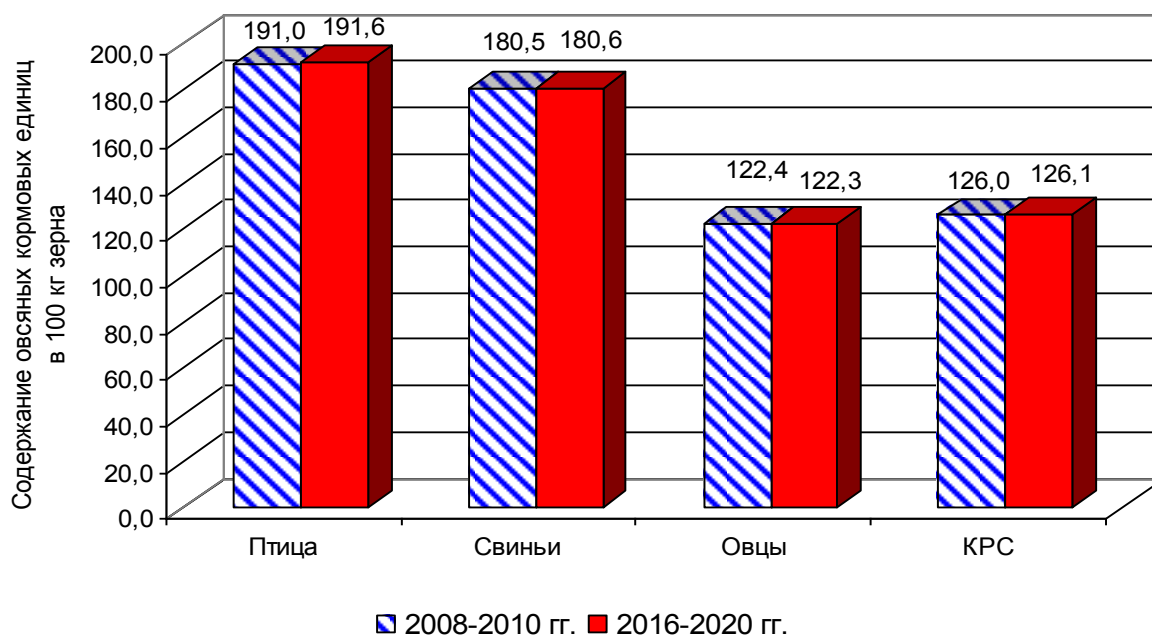


Рисунок 48 – Среднее содержание овсяных кормовых единиц в 100 кг зерна коллекционных образцов сорго зернового

Основное количество энергии сельскохозяйственными животными поступившее с кормом затрачивается на обеспечение многих физиологических процессов и функций в организме (Лазаревич, 2016). В связи с этим, при проведении оценки норм кормления птицы и домашних животных основное внимание уделяется обменной энергии, которая составляет часть валовой энергии корма, потребляемая ими на поддержание своей жизнедеятельности и образование единицы продукции.

На основе биохимического анализа исходного материала установлено, что в 100 кг зерна сорго, используемого в рационе птицы, содержится 1 520-1 523 мДж обменной энергии, кормления свиней – 1 483-1 493 мДж, овец – 1 307-1 315 мДж, а крупного рогатого скота – 1 286-1 292 мДж (рисунок 49).

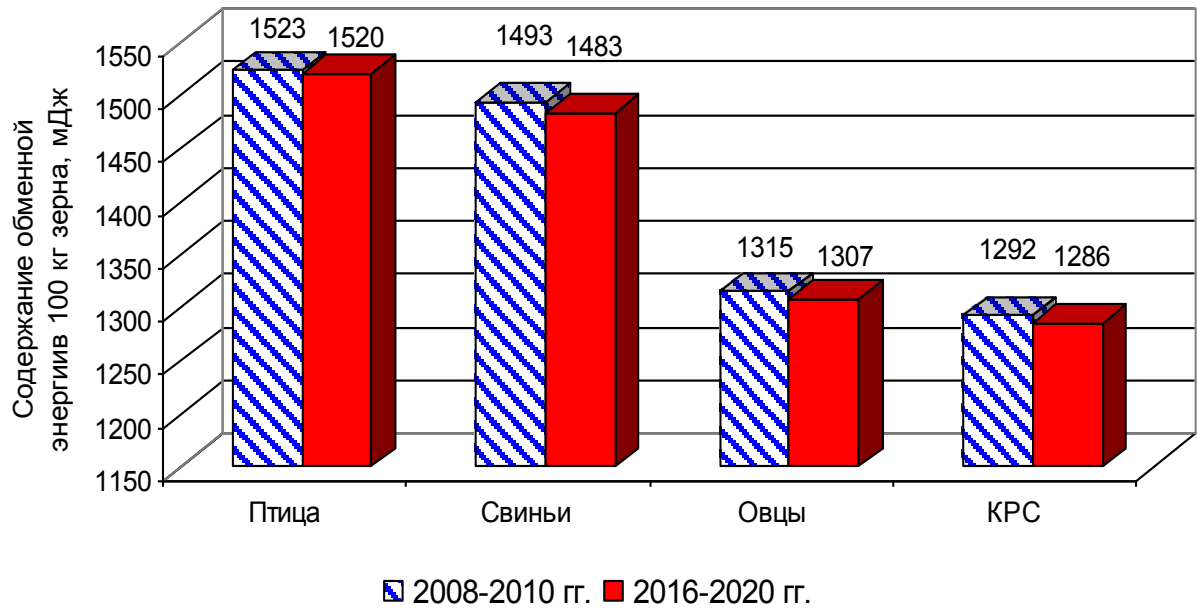


Рисунок 49 – Среднее содержание обменной энергии в 100 кг зерна коллекционных образцов сорго зернового

Проведённые исследования по изучению исходного материала позволили выделить образцы, обладающие различными ценными признаками, 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 считается одним из наиболее результативных методов для увеличения урожайности сельскохозяйственных культур, в том числе и сорго. При этом, по мнению Костылевой Л.М. и Костылева П.И. (2002 в), для сорго зернового предпочтение следует отдавать гибридам с более высоким проявление гетерозиса по признакам продуктивности и минимальными значениями по высоте растений и продолжительности вегетационного периода.

В связи с этим, основной целью проведённой работы являлось создание новых гибридов на стерильной основе с привлечением ЦМС-линий Деметра и Джетта селекции ФГБНУ «АНЦ «Донской», а также определение уровня гетерозиса и типа наследования по основным хозяйственно-ценным признакам и свойствам.

В условиях Северного Кавказа более высокую урожайность зерна формируют ранне- и среднеспелые гибриды сорго зернового. Позднеспелые в большей степени испытывают недостаток влаги и не реализуют в полной степени свои потенциальные возможности (Шепель, 1985 а). В селекционной работе для сокращения периода создания сорта (гибрида) большое значение имеет знание о характере наследования количественных и качественных признаков (Яланский, 1990). Поэтому, выделение наиболее раннеспелых гибридов и изучение закономерности наследования данного признака отнесено к одной из первоочередных задач. Для выявления различий между гибридами и родительскими формами оценка проводилась по продолжительности периода вегетации «всходы – вымётывание». Такого же принципа придерживались в проведении исследований другие учёные (Шепель, 1985 а; Болдырева, Бритвин, 2017 а; Капустин и др., 2019), так как наступление фазы «вымётывания» у сорго фиксируется с наибольшей точностью.

За период 2018-2021 гг. создано более 200 гибридов на стерильной основе. Для анализа и выявления закономерностей наследования основных хозяйственно-ценных признаков были использованы гибридные комбинации, созданные в 2018 г. и проходившие изучение в 2019-2021 гг. (приложение 7).

В результате проведённой гибридизации раннеспелой ЦМС-линий Деметра и 19 опылителей получены гибриды, характеризующиеся как полным доминированием родительской формы (фертильный аналог стерильной линии Деметра) с меньшим значением продолжительности периода вегетации «всходы – вымётывание» (21% или 4 шт.), так и полным доминированием более позднеспелых отцовских форм (5% или 1 шт.). У основного количества гибридов (74% или 14 шт.) отмечено проявление промежуточного наследования данного признака. Привлечение в гибридизацию образцов ЗСК 449/17, Зерноградское 204/4, ЗСК 411/16 и ЗСК 2010 привело к получению гибридов, имеющих период вегетации «всходы – вымётывание» на уровне материнской формы ЦМС-линии Деметра (51 день). Данные гибриды вымётываются на 3 дня раньше стандарта Дюйм ($\Gamma_{\text{конк.}} = - 5,6\%$). Наименьшие значения истинного ($\Gamma_{\text{ист.}} = - 16,4\%$) и гипотетического ($\Gamma_{\text{гип.}} = - 8,9\%$) гетерозиса проявились в комбинации Деметра \times ЗСК 2010 (таблица 14).

Таблица 14 – Наследование продолжительности периода вегетации «всходы – вымётывание» у гибридов F_1 , полученных с использованием ЦМС-линии Деметра, 2019-2021 гг.

Комбинация скрещивания	Период вегетации «всходы – вымётывание», дни				hp	$\Gamma_{\text{ист.}}$, %	$\Gamma_{\text{гип.}}$, %	$\Gamma_{\text{конк.}}$, %
	♀	♂	st.	F_1				
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Деметра \times СПЗС-16	51	54	54	52	-0,3	-3,7	-1,0	-3,7
Деметра \times ЗСК 163/17	51	57	54	54	0,0	-5,3	0,0	0,0
Деметра \times ЗСК 176/16	51	57	54	53	-0,3	-7,0	-1,9	-1,9
Деметра \times ЗСК 196/17	51	53	54	53	1,0	0,0	1,9	-1,9
Деметра \times Крупнозёрное 2230	51	54	54	52	-0,3	-3,7	-1,0	-3,7

Продолжение таблицы 14

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Деметра × Лазурит 486/17	51	57	54	54	0,0	-5,3	0,0	0,0
Деметра × ЗСК 2262/17	51	59	54	55	0,0	-6,8	0,0	1,9
Деметра × ЗСК 1568/14	51	56	54	52	-0,6	-7,1	-2,8	-3,7
Деметра × ЗСК 231/16	51	54	54	52	-0,3	-3,7	-1,0	-3,7
Деметра × ЗСК 449/17	51	56	54	51	-1,0	-8,9	-4,7	-5,6
Деметра × ЗСК 1530/15	51	57	54	53	-0,3	-7,0	-1,9	-1,9
Деметра × зерноградское 204/4	51	53	54	51	-1,0	-3,8	-1,9	-5,6
Деметра × Норд 2	51	58	54	54	-0,1	-6,9	-0,9	0,0
Деметра × ЗСК 34	51	61	54	54	-0,4	-11,5	-3,6	0,0
Деметра × ЗСК 411/16	51	56	54	51	-1,0	-8,9	-4,7	-5,6
Деметра × ЗСК 500/16	51	55	54	53	0,0	-3,6	0,0	-1,9
Деметра × Дружба	51	56	54	52	-0,6	-7,1	-2,8	-3,7
Деметра × ЗСК 2010	51	61	54	51	-1,0	-16,4	-8,9	-5,6
Деметра × ЗСК 282/14	51	56	54	54	0,2	-3,6	0,9	0,0

Использование в гибридизации ЦМС-линии (Джетта) с более длинным периодом вегетации «всходы – вымётывание» (60 дней) и того же набора опылителей привело к проявлению полного доминирования меньших значений признака в 5 комбинациях скрещивания (26%), больших значений – в 2 комбинациях, а промежуточное наследование отмечено в 4 гибридных комбинациях (21%). Особую ценность представляют гибриды с более коротким периодом вегетации по сравнению с родительскими формами и стандартом. Выделены гибриды (Джетта × ЗСК 196/17, Джетта × ЗСК 1568/14, Джетта × ЗСК 411/16, Джетта × ЗСК 163/17, Джетта × ЗСК 1530/15, Джетта × ЗСК 2262/17, Джетта × ЗСК 34, Джетта × ЗСК 2010), у которых по данному признаку наблюдалась гибридная депрессия (h_p от -1,3 до -9,0). Наиболее раннее вымётывание (52 дня) отмечено в комбинации с привлечением в качестве отцовской формы образца ЗСК 196/17. Полученный гибрид характеризовался минимальными величинами истинного ($\Gamma_{ист.} = -13,3\%$), гипотетического ($\Gamma_{гип.} = -8,0\%$) и конкурсного ($\Gamma_{конк.} = -3,7\%$) гетерозиса (таблица 15).

Таблица 15 – Наследование продолжительности периода вегетации «всходы – вымётывание» у гибридов F₁, полученных с использованием ЦМС-линии Джетта, 2019-2021 гг.

Комбинация скрещивания	Период вегетации «всходы – вымётывание», дни				hp	Г _{ист.} , %	Г _{гип.} , %	Г _{конк.} , %
	♀	♂	st.	F ₁				
Джетта × СПЗС-16	60	54	54	55	-0,7	-8,3	-3,5	1,9
Джетта × ЗСК 163/17	60	57	54	56	-1,7	-6,7	-4,3	3,7
Джетта × ЗСК 176/16	60	57	54	57	-1,0	-5,0	-2,6	5,6
Джетта × ЗСК 196/17	60	53	54	52	-1,3	-13,3	-8,0	-3,7
Джетта × Крупнозёрное 2230	60	54	54	57	0,0	-5,0	0,0	5,6
Джетта × Лазурит 486/17	60	57	54	58	-0,3	-3,3	-0,9	7,4
Джетта × ЗСК 2262/17	60	59	54	57	-5,0	-5,0	-4,2	5,6
Джетта × ЗСК 1568/14	60	56	54	55	-1,5	-8,3	-5,2	1,9
Джетта × ЗСК 231/16	60	54	54	60	1,0	0,0	5,3	11,1
Джетта × ЗСК 449/17	60	56	54	56	-1,0	-6,7	-3,4	3,7
Джетта × ЗСК 1530/15	60	57	54	55	-2,3	-8,3	-6,0	1,9
Джетта × Зерноградское 204/4	60	53	54	60	1,0	0,0	6,2	11,1
Джетта × Норд 2	60	58	54	58	-1,0	-3,3	-1,7	7,4
Джетта × ЗСК 34	60	61	54	56	-9,0	-8,2	-7,4	3,7
Джетта × ЗСК 411/16	60	56	54	55	-1,5	-8,3	-5,2	1,9
Джетта × ЗСК 500/16	60	55	54	56	-0,6	-6,7	-2,6	3,7
Джетта × Дружба	60	56	54	56	-1,0	-6,7	-3,4	3,7
Джетта × ЗСК 2010	60	61	54	56	-9,0	-8,2	-7,4	3,7
Джетта × ЗСК 282/14	60	56	54	56	-1,0	-6,7	-3,4	3,7

Полученные результаты соответствуют выводам, сделанными в работе Н.А. Беседа и П.И. Костылева (2009), согласно которым гибриды первого поколения сорго зернового могут иметь более короткий вегетационный период по сравне-

нию с родительскими формами, занимать промежуточное положение, а также равняться как раннеспелой, так и позднеспелой форме.

В целом, по продолжительности периода вегетации «всходы – вымётывание» в 76% (29 шт.) гибридных комбинациях отмечено 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 используемой в гибридизации ЦМС-линии. У гибридов, полученных с использованием ЦМС-линии Деметра, в 68% (13 шт.) случаях проявился отрицательный конкурсный гетерозис. Применение ЦМС-линии Джетта приводило к получению более позднеспелых гибридов по сравнению со стандартом.

Большой процент гибридов с отрицательными значениями истинного (81%), гипотетического (80%) и конкурсного (84%) гетерозиса по продолжительности вегетационного периода был отмечен в исследованиях Н.И. Андрющенко (1992). В работе Н.А. Шепель (1985 а) при сравнении продолжительности вегетации по межфазным периодам у гибридов и их отцовских форм, различных по созреванию, также установлено, что у основной доли гибридов он проходил быстрее, особенно в начале онтогенеза – от всходов до вымётывания. Причём, чем позднеспелее гибрид, тем длиннее как период «всходы – вымётывание», так и второй период – «вымётывание – созревание».

Оценка гибридов по высоте растений и изучение закономерности наследования этого признака входило в число приоритетных направлений проведённых исследований. 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 ($h_p = 0,1-0,9$) (таблица 16).

Таблица 16 – Наследование высоты растений у гибридов F₁, полученных с использованием ЦМС-линии Деметра, 2019-2021 гг.

Комбинация скрещивания	Высота растения, см				hp	Г _{ист.} , %	Г _{гип.} , %	Г _{конк.} , %
	♀	♂	st.	F ₁				
Деметра × СПЗС-16	85	100	110	108	2,1	8,0	16,8	-1,8
Деметра × ЗСК 163/17	85	115	110	122	1,5	6,1	22,0	10,9
Деметра × ЗСК 176/16	85	98	110	111	3,0	13,3	21,3	0,9
Деметра × ЗСК 196/17	85	119	110	108	0,4	-9,2	5,9	-1,8
Деметра × Крупнозёрное 2230	85	90	110	113	10,2	25,6	29,1	2,7
Деметра × Лазурит 486/17	85	100	110	100	1,0	0,0	8,1	-9,1
Деметра × ЗСК 2262/17	85	114	110	101	0,1	-11,4	1,5	-8,2
Деметра × ЗСК 1568/14	85	105	110	104	0,9	-1,0	9,5	-5,5
Деметра × ЗСК 231/16	85	104	110	107	1,3	2,9	13,2	-2,7
Деметра × ЗСК 449/17	85	102	110	96	0,3	-5,9	2,7	-12,7
Деметра × ЗСК 1530/15	85	96	110	100	1,7	4,2	10,5	-9,1
Деметра × Черноградское 204/4	85	106	110	106	1,0	0,0	11,0	-3,6
Деметра × Норд 2	85	110	110	110	1,0	0,0	12,8	0,0
Деметра × ЗСК 34	85	112	110	110	0,9	-1,8	11,7	0,0
Деметра × ЗСК 411/16	85	120	110	123	1,2	2,5	20,0	11,8
Деметра × ЗСК 500/16	85	110	110	111	1,1	0,9	13,8	0,9
Деметра × Дружба	85	115	110	115	1,0	0,0	15,0	4,5
Деметра × ЗСК 2010	85	110	110	110	1,0	0,0	12,8	0,0
Деметра × ЗСК 282/14	85	106	110	104	0,8	-1,9	8,9	-5,5

Гибриды на основе ЦМС-линии Джетта характеризовались высотой растений от 103 до 125 см. Сверхдоминирование ($hp > 1,0$) и истинный гетерозис ($G_{ист.} = 1,8-35,6\%$) отмечены у 68% (13 шт.) комбинаций скрещиваний. Гибриды Джетта × ЗСК 1568/14, Джетта × ЗСК 500/16, Джетта × Дружба по высоте растения совпадали с более высокорослыми (отцовскими) формами ($hp = 1,0$). Частичное доминирование ($hp = 0,1$) высокорослости проявилось в комбинации Джетта × ЗСК 196/17, а неполное ($hp = 0,7$) – у гибрида Джетта × ЗСК 2262/17 и Джетта × ЗСК 34 (таблица 17).

Таблица 17 – Наследование высоты растений у гибридов F₁, полученных с использованием ЦМС-линии Джетта, 2019-2021 гг.

Комбинация скрещивания	Высота растения, см				hp	Г _{ист.} , %	Г _{гип.} , %	Г _{конк.} , %
	♀	♂	st.	F ₁				
Джетта × СПЗС-16	89	100	110	112	3,2	12,0	18,5	1,8
Джетта × ЗСК 163/17	89	115	110	118	1,2	2,6	15,7	7,3
Джетта × ЗСК 176/16	89	98	110	112	4,1	14,3	19,8	1,8
Джетта × ЗСК 196/17	89	119	110	105	0,1	-11,8	1,0	-4,5
Джетта × Крупнозёрное 2230	89	90	110	122	65	35,6	36,3	10,9
Джетта × Лазурит 486/17	89	100	110	105	1,9	5,0	11,1	-4,5
Джетта × ЗСК 2262/17	89	114	110	110	0,7	-3,5	8,4	0,0
Джетта × ЗСК 1568/14	89	105	110	105	1,0	0,0	8,2	-4,5
Джетта × ЗСК 231/16	89	104	110	109	1,7	4,8	13,0	-0,9
Джетта × ЗСК 449/17	89	102	110	105	1,5	2,9	9,9	-4,5
Джетта × ЗСК 1530/15	89	96	110	103	3,0	7,3	11,4	-6,4
Джетта × Зерноградское 204/4	89	106	110	108	1,2	1,9	10,8	-1,8
Джетта × Норд 2	89	110	110	112	1,2	1,8	12,6	1,8
Джетта × ЗСК 34	89	112	110	108	0,7	-3,6	7,5	-1,8
Джетта × ЗСК 411/16	89	120	110	125	1,3	4,2	19,6	13,6
Джетта × ЗСК 500/16	89	110	110	110	1,0	0,0	10,6	0,0
Джетта × Дружба	89	115	110	115	1,0	0,0	12,7	4,5
Джетта × ЗСК 2010	89	110	110	112	1,2	1,8	12,6	1,8
Джетта × ЗСК 282/14	89	106	110	110	1,5	3,8	12,8	0,0

Не менее важной является оценка новых гибридов сорго зернового по расстоянию между флаговым листом и метёлкой, а также изучение закономерностей наследования данного признака. По мнению А.В. Алабушева и соавторов (2003) этот признак в генетическом плане изучен слабо.

Привлечение ЦМС-линии Деметра позволило получить гибриды, обладающие высокими значениями конкурсного гетерозиса ($G_{\text{конк.}} = 10-90\%$). Они имели выдвинутость ножки метёлки от 11 до 19 см. Сравнение гибридов с лучшей родительской формой показало наличие истинного гетерозиса ($G_{\text{ист.}} = 11,1-33,3\%$) и

проявление сверхдоминирование признака ($hp > 1,0$) у 6 комбинаций. Полное доминирование ($hp = 1,0$) родительской формы с более выдвинутой метёлкой отмечено у 4 гибридов. Частичное доминирование больших значений признака установлено в одной комбинации, а полудоминирование ($hp = 0,5$) – в двух. У 32% (6 шт.) комбинаций наблюдалось доминирование ($hp = -0,7 - -1,7$) исходных образцов с более короткой ножкой метёлки (таблица 18).

Таблица 18 – Наследование выдвинутости ножки метёлки у гибридов F_1 , полученных с использованием ЦМС-линии Деметра, 2019-2021 гг.

Комбинация скрещивания	Выдвинутость ножки метёлки, см				hp	$\Gamma_{ист.}$, %	$\Gamma_{гип.}$, %	$\Gamma_{конк.}$, %
	♀	♂	st.	F_1				
Деметра × СПЗС-16	8	6	10	6	-1,0	-25,0	-14,3	-40,0
Деметра × ЗСК 163/17	8	15	10	15	1,0	0,0	30,4	50,0
Деметра × ЗСК 176/16	8	12	10	8	-1,0	-33,3	-20,0	-20,0
Деметра × ЗСК 196/17	8	12	10	12	1,0	0,0	20,0	20,0
Деметра × Крупнозёрное 2230	8	9	10	11	5,0	22,2	29,4	10,0
Деметра × Лазурит 486/17	8	12	10	12	1,0	0,0	20,0	20,0
Деметра × ЗСК 2262/17	8	15	10	9	-0,7	-40,0	-21,7	-10,0
Деметра × ЗСК 1568/14	8	11	10	7	-1,7	-36,4	-26,3	-30,0
Деметра × ЗСК 231/16	8	4	10	7	0,5	-12,5	16,7	-30,0
Деметра × ЗСК 449/17	8	14	10	6	-1,7	-57,1	-45,5	-40,0
Деметра × ЗСК 1530/15	8	6	10	9	2,0	12,5	28,6	-10,0
Деметра × Черноградское 204/4	8	9	10	12	7,0	33,3	41,2	20,0
Деметра × Норд 2	8	9	10	10	3,0	11,1	17,6	0,0
Деметра × ЗСК 34	8	14	10	12	0,3	-14,3	9,1	20,0
Деметра × ЗСК 411/16	8	16	10	19	1,8	18,8	58,3	90,0
Деметра × ЗСК 500/16	8	14	10	14	1,0	0,0	27,3	40,0
Деметра × Дружба	8	7	10	10	5,0	25,0	33,3	0,0
Деметра × ЗСК 2010	8	7	10	7	-1,0	-12,5	-6,7	-30,0
Деметра × ЗСК 282/14	8	4	10	7	0,5	-12,5	16,7	-30,0

Близкие результаты по наследованию выдвинутости ножки метёлки отмечены при анализе гибридов, полученных с ЦМС-линией Джетта. Истинный гетерозис от 10 до 90% и сверхдоминирование признака ($hp = 1,3-19,0$) установлены в комбинациях Джетта × ЗСК 282/14, Джетта × Дружба, Джетта × Лазурит 486/17, Джетта × Норд 2, Джетта × Черноградское 204/4 и Джетта × Крупнозёрное 2230. Проявление гетерозиса по отношению к среднеродительскому значению ($\Gamma_{гип.} = 8,3-100\%$) зафиксировано у большей части гибридов (58% или 11 шт.). В 12 (63%) комбинациях наблюдалось превышение на 1-9 см выдвинутости ножки метёлки по сравнению со стандартом (таблица 19).

Таблица 19 – Наследование выдвинутости ножки метёлки у гибридов F_1 , полученных с использованием ЦМС-линии Джетта, 2019-2021 гг.

Комбинация скрещивания	Выдвинутость ножки метёлки, см				hp	$\Gamma_{ист.},$ %	$\Gamma_{гип.},$ %	$\Gamma_{конк.},$ %
	♀	♂	st.	F_1				
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Джетта × СПЗС-16	10	6	10	5	-1,5	-50,0	-37,5	-50,0
Джетта × ЗСК 163/17	10	15	10	8	-1,8	-46,7	-36,0	-20,0
Джетта × ЗСК 176/16	10	12	10	12	1,0	0,0	9,1	20,0
Джетта × ЗСК 196/17	10	12	10	12	1,0	0,0	9,1	20,0
Джетта × Крупнозёрное 2230	10	9	10	19	19,0	90,0	100,0	90,0
Джетта × Лазурит 486/17	10	12	10	14	3,0	16,7	27,3	40,0
Джетта × ЗСК 2262/17	10	15	10	12	-0,2	-20,0	-4,0	20,0
Джетта × ЗСК 1568/14	10	11	10	7	-7,0	-36,4	-33,3	-30,0
Джетта × ЗСК 231/16	10	4	10	8	0,3	-20,0	14,3	-20,0
Джетта × ЗСК 449/17	10	14	10	11	-0,5	-21,4	-8,3	10,0
Джетта × ЗСК 1530/15	10	6	10	8	0,0	-20,0	0,0	-20,0
Джетта × Черноградское 204/4	10	9	10	12	5,0	20,0	26,3	20,0
Джетта × Норд 2	10	9	10	12	5,0	20,0	26,3	20,0
Джетта × ЗСК 34	10	14	10	10	-1,0	-28,6	-16,7	0,0
Джетта × ЗСК 411/16	10	16	10	16	1,0	0,0	23,1	60,0
Джетта × ЗСК 500/16	10	14	10	13	0,5	-7,1	8,3	30,0

Продолжение таблицы 19

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Джетта × Дружба	10	7	10	11	1,7	10,0	29,4	10,0
Джетта × ЗСК 2010	10	7	10	8	-0,3	-20,0	-5,9	-20,0
Джетта × ЗСК 282/14	10	4	10	11	1,3	10,0	57,1	10,0

Таким образом, частота проявления полного доминирования большего значения признака «выдвинутость ножки метёлки» и сверхдоминирования у изученных гибридов составила 50%, а истинный гетерозис – 31,6%.

По массе 1 000 зёрен, у гибридов, полученных в результате гибридизации с ЦМС-линией Деметра, сверхдоминирование признака ($h_p = 1,3-23,7$), истинный ($\Gamma_{ист.} = 2,3-21,8\%$) и гипотетический ($\Gamma_{гип.} = 7,7-25,1\%$) гетерозис проявились в 42% (8 шт.) комбинаций, а положительный конкурсный гетерозис ($\Gamma_{конк.} = 2,8-18,5\%$) – в 6 комбинациях скрещиваний. Наибольшее превышение по сравнению со стандартом установлено в комбинации Деметра × ЗСК 34. Полудоминирование признака ($h_p = 0,5$) и неполное доминирование ($h_p = 0,7$) крупнозёрности отмечено у гибридов Деметра × ЗСК 411/16 и Деметра × ЗСК 449/17 соответственно. В остальных комбинациях (47% или 9 шт.) наблюдалось промежуточное наследование с уклоном в сторону родительской формы, имеющей меньшую массу 1 000 зёрен ($h_p = -0,4 - -0,8$) и гибридная депрессия ($h_p = -1,5 - -81,0$) (таблица 20).

Таблица 20 – Наследование массы 1 000 зёрен у гибридов F_1 , полученных с использованием ЦМС-линии Деметра, 2019-2021 гг.

Комбинация скрещивания	Масса 1000 зёрен, г				h_p	$\Gamma_{ист.}$, %	$\Gamma_{гип.}$, %	$\Gamma_{конк.}$, %
	♀	♂	st.	F_1				
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Деметра × СПЗС-16	23,5	23,8	28,1	27,2	23,7	14,3	15,0	-3,2
Деметра × ЗСК 163/17	23,5	27,9	28,1	24,9	-0,4	-10,8	-3,1	-11,4
Деметра × ЗСК 176/16	23,5	24,0	28,1	28,9	20,6	20,4	21,7	2,8

Продолжение таблицы 20

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Деметра × ЗСК 196/17	23,5	24,8	28,1	30,2	9,3	21,8	25,1	7,5
Деметра × Крупнозёрное 2230	23,5	34,0	28,1	26,5	-0,4	-22,1	-7,8	-5,7
Деметра × Лазурит 486/17	23,5	24,1	28,1	22,1	-5,7	-8,3	-7,1	-21,4
Деметра × ЗСК 2262/17	23,5	22,5	28,1	21,5	-3,0	-8,5	-6,5	-23,5
Деметра × ЗСК 1568/14	23,5	23,4	28,1	19,4	-81	-17,4	-17,3	-31,0
Деметра × ЗСК 231/16	23,5	29,5	28,1	24,9	-0,5	-15,6	-6,0	-11,4
Деметра × ЗСК 449/17	23,5	21,4	28,1	23,2	0,7	-1,3	3,3	-17,4
Деметра × ЗСК 1530/15	23,5	26,8	28,1	28,9	2,3	7,8	14,9	2,8
Деметра × Зерноградское 204/4	23,5	26,1	28,1	26,7	1,5	2,3	7,7	-5,0
Деметра × Норд 2	23,5	26,3	28,1	29,8	3,5	13,3	19,7	6,0
Деметра × ЗСК 34	23,5	31,9	28,1	33,3	1,3	4,4	20,2	18,5
Деметра × ЗСК 411/16	23,5	31,4	28,1	29,4	0,5	-6,4	7,1	4,6
Деметра × ЗСК 500/16	23,5	26,1	28,1	23,7	-0,8	-9,2	-4,4	-15,7
Деметра × Дружба	23,5	24,5	28,1	28,0	8,0	14,3	16,7	-0,4
Деметра × ЗСК 2010	23,5	26,4	28,1	22,8	-1,5	-13,6	-8,6	-18,9
Деметра × ЗСК 282/14	23,5	26,7	28,1	21,8	-2,1	-18,4	-13,1	-22,4

Масса 1 000 зёрен у гибридов, где в качестве материнской формы использовалась стерильная линия Джетта, по типу сверхдоминирования наследовалась у 37% (7 шт.) комбинаций. К ним относятся: Джетта × ЗСК 1530/15, Джетта × Зерноградское 204/4, Джетта × ЗСК 231/16, Джетта × ЗСК 34, Джетта × Крупнозёрное 2230, Джетта × ЗСК 196/17, Джетта × ЗСК 163/17. У этих гибридов отмечены высокие эффекты истинного ($\Gamma_{ист.} = 1,0-9,9\%$) и гипотетического ($\Gamma_{гип.} = 3,7-19,1\%$) гетерозиса. Частичное доминирование большего значения признака ($h_p = 0,3$) установлено в комбинации Джетта × ЗСК 500/16, а неполное – у гибридов Джетта × ЗСК 176/16 ($h_p = 0,7$) и Джетта × ЗСК 449/17 ($h_p = 0,9$). Выделенные гибриды формировали массу 1 000 зёрен от 28,8 до 35,6 г и превысили стандарт по данному признаку от 0,7 до 7,5 г ($\Gamma_{конк.} = 2,5-26,7\%$) (таблица 21).

Таблица 21 – Наследование массы 1 000 зёрен у гибридов F₁, полученных с использованием ЦМС-линии Джетта, 2019-2021 гг.

Комбинация скрещивания	Масса 1000 зёрен, г				hp	Г _{ист.} , %	Г _{гип.} , %	Г _{конк.} , %
	♀	♂	st.	F ₁				
Джетта × СПЗС-16	30,3	23,8	28,1	24,1	-0,9	-20,5	-10,9	-14,2
Джетта × ЗСК 163/17	30,3	27,9	28,1	33,3	3,5	9,9	14,4	18,5
Джетта × ЗСК 176/16	30,3	24,0	28,1	29,4	0,7	-3,0	8,3	4,6
Джетта × ЗСК 196/17	30,3	24,8	28,1	32,8	1,9	8,3	19,1	16,7
Джетта × Крупнозёрное 2230	30,3	34,0	28,1	35,6	1,9	4,7	10,7	26,7
Джетта × Лазурит 486/17	30,3	24,1	28,1	25,7	-0,5	-15,2	-5,5	-8,5
Джетта × ЗСК 2262/17	30,3	22,5	28,1	22,1	-1,1	-27,1	-16,3	-21,4
Джетта × ЗСК 1568/14	30,3	23,4	28,1	21,9	-1,4	-27,7	-18,4	-22,1
Джетта × ЗСК 231/16	30,3	29,5	28,1	31,0	2,7	2,3	3,7	10,3
Джетта × ЗСК 449/17	30,3	21,4	28,1	29,8	0,9	-1,7	15,3	6,0
Джетта × ЗСК 1530/15	30,3	26,8	28,1	30,6	1,2	1,0	7,2	8,9
Джетта × Черноградское 204/4	30,3	26,1	28,1	31,2	1,4	3,0	10,6	11,0
Джетта × Норд 2	30,3	26,3	28,1	27,1	-0,6	-10,6	-4,2	-3,6
Джетта × ЗСК 34	30,3	31,9	28,1	32,8	2,1	2,8	5,5	16,7
Джетта × ЗСК 411/16	30,3	31,4	28,1	29,7	-2,1	-5,4	-3,7	5,7
Джетта × ЗСК 500/16	30,3	26,1	28,1	28,8	0,3	-5,0	2,1	2,5
Джетта × Дружба	30,3	24,5	28,1	26,8	-0,2	-11,6	-2,2	-4,6
Джетта × ЗСК 2010	30,3	26,4	28,1	24,8	-1,8	-18,2	-12,5	-11,7
Джетта × ЗСК 282/14	30,3	26,7	28,1	24,5	-2,2	-19,1	-14,0	-12,8

Привлечение в качестве опылителя образца ЗСК 34, у полученных гибридов, приводило к проявлению сверхдоминирования признака «масса 1 000 зёрен» с обеими ЦМС-линиями. По данному признаку из 38 изученных гибридов истинный гетерозис проявился только у 39% (15 шт.), гипотетический – у 51% (20 шт.), а конкурсный – у 45% (17 шт.) комбинаций. В работе А.В. Алабушева и соавторов (2003) доля гетерозисных комбинаций по данному признаку составляла 37%. Низкий процент проявления гетерозиса по массе 1 000 зёрен также наблюдался в исследованиях Н.И. Андрущенко (1992).

Одним из признаков, по которым гибриды зернового сорго наиболее часто проявляют гетерозис, является количество зерен в метелке (Беседа, Костылев, 2009). Исследования Беседа Н.А. и Костылева П.И. (2011) на гибридах F_1 полученных на фертильной основе показали, что наследование числа зерен в метелке проходит, в основном, по типу доминирования и сверхдоминирования большего значения признака.

Анализ наследования озернённости метелки у гибридов, полученных в наших исследованиях с участием двух ЦМС-линий, подтвердили сделанные ранее выводы другими учёными. Из 19 гибридных комбинаций, в основе которых использована линия с цитоплазматической мужской стерильностью Деметра, у 89% (17 шт.) наблюдалось сверхдоминирование ($hp = 1,5-28,0$), а в двух комбинациях отмечено частичное ($hp = 0,1$) и неполное доминирование ($hp = 0,8$) родительских форм с большим количеством зёрен в метёлке. Наибольшей озернёностью метёлки (2218 зёрен) обладала комбинация Деметра \times Норд 2, которая превысила стандарт на 692 зерна, а уровень конкурсного гетерозиса составил 45,3% (таблица 22).

Таблица 22 – Наследование количества зёрен в метёлке у гибридов F_1 , полученных с использованием ЦМС-линии Деметра, 2019-2021 гг.

Комбинация скрещивания	Количество зёрен в метёлке, шт.				hp	$\Gamma_{ист.},$ %	$\Gamma_{гип.},$ %	$\Gamma_{конк.},$ %
	♀	♂	st.	F_1				
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Деметра \times СПЗС-16	968	1448	1526	1959	3,1	35,3	62,2	28,4
Деметра \times ЗСК 163/17	968	1178	1526	1775	6,7	50,7	65,4	16,3
Деметра \times ЗСК 176/16	968	1392	1526	1699	2,4	22,1	44,0	11,3
Деметра \times ЗСК 196/17	968	1199	1526	1750	5,8	46,0	61,5	14,7
Деметра \times Крупнозёрное 2230	968	598	1526	1378	1,9	20,5	58,2	-9,7
Деметра \times Лазурит 486/17	968	1217	1526	2203	28,0	81,0	86,6	44,4

Продолжение таблицы 22

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Деметра × ЗСК 2262/17	968	1684	1526	1846	1,5	9,6	39,2	21,0
Деметра × ЗСК 1568/14	968	1400	1526	1995	3,8	42,5	68,5	30,7
Деметра × ЗСК 231/16	968	1038	1526	1404	11,5	35,3	40,0	-8,0
Деметра × ЗСК 449/17	968	1870	1526	1482	0,1	-20,7	4,4	-2,9
Деметра × ЗСК 1530/15	968	1106	1526	1809	11,2	63,6	74,4	18,5
Деметра × Черноградское 204/4	968	1160	1526	1278	2,2	10,2	20,1	-16,3
Деметра × Норд 2	968	1519	1526	2218	3,5	46,0	78,4	45,3
Деметра × ЗСК 34	968	1272	1526	1743	4,1	37,0	55,6	14,2
Деметра × ЗСК 411/16	968	940	1526	1217	18,8	25,7	27,6	-20,2
Деметра × ЗСК 500/16	968	1194	1526	1174	0,8	-1,7	8,6	-23,1
Деметра × Дружба	968	1153	1526	1329	2,9	15,3	25,3	-12,9
Деметра × ЗСК 2010	968	1547	1526	1750	1,7	13,1	39,2	14,7
Деметра × ЗСК 282/14	968	878	1526	2068	25,4	113,6	124,1	35,5

Основная доля (95% или 18 шт.) гибридов со стерильной линией Джетта характеризовалась положительными значениями истинного ($\Gamma_{\text{ист.}} = 3,4-74,6\%$) и гипотетического ($\Gamma_{\text{гип.}} = 19,1-83,0\%$) гетерозиса, а также наследованием признака по типу сверхдоминирования ($hp = 1,2-149,4$). Максимальное количество зёрен в метёлке (2263 шт.) формировалось в комбинации Джетта × СПЗС-16. Превышение по сравнению со стандартом составило 678 зёрен, а конкурсный гетерозис соответствовал 48,3% (таблица 23).

Таблица 23 – Наследование количества зёрен в метёлке у гибридов F_1 , полученных с использованием ЦМС-линии Джетта, 2019-2021 гг.

Комбинация скрещивания	Количество зёрен в метёлке, шт.				hp	$\Gamma_{\text{ист.}}$, %	$\Gamma_{\text{гип.}}$, %	$\Gamma_{\text{конк.}}$, %
	♀	♂	st.	F_1				
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Джетта × СПЗС-16	1144	1448	1526	2263	6,4	56,3	74,6	48,3
Джетта × ЗСК 163/17	1144	1178	1526	1386	13,2	17,7	19,4	-9,2
Джетта × ЗСК 176/16	1144	1392	1526	2085	6,6	49,8	64,4	36,6

Продолжение таблицы 23

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Джетта × ЗСК 196/17	1144	1199	1526	1452	10,2	21,1	23,9	-4,8
Джетта × Крупнозёрное 2230	1144	598	1526	1561	2,5	36,5	79,2	2,3
Джетта × Лазурит 486/17	1144	1217	1526	1616	11,9	32,8	36,9	5,9
Джетта × ЗСК 2262/17	1144	1684	1526	1742	1,2	3,4	23,2	14,2
Джетта × ЗСК 1568/14	1144	1400	1526	2130	6,7	52,1	67,5	39,6
Джетта × ЗСК 231/16	1144	1038	1526	1997	17,1	74,6	83,0	30,9
Джетта × ЗСК 449/17	1144	1870	1526	1493	0,0	-20,2	-0,9	-2,2
Джетта × ЗСК 1530/15	1144	1106	1526	1378	13,3	20,5	22,5	-9,7
Джетта × Черноградское 204/4	1144	1160	1526	1372	27,5	18,3	19,1	-10,1
Джетта × Норд 2	1144	1519	1526	1893	3,0	24,6	42,2	24,0
Джетта × ЗСК 34	1144	1272	1526	1707	7,8	34,2	41,3	11,9
Джетта × ЗСК 411/16	1144	940	1526	1514	4,6	32,3	45,3	-0,8
Джетта × ЗСК 500/16	1144	1194	1526	1728	22,4	44,7	47,8	13,2
Джетта × Дружба	1144	1153	1526	1821	149,4	57,9	58,6	19,3
Джетта × ЗСК 2010	1144	1547	1526	2179	4,1	40,9	61,9	42,8
Джетта × ЗСК 282/14	1144	878	1526	1748	5,5	52,8	72,9	14,5

Увеличенное число зёрен в одной метёлке у гибридов в сравнении с их родительскими формами, по мнению Н.А. Шепель (1994) в значительной степени определяет повышение урожайности зерна.

Изученные гибриды формировали урожайность зерна от 3,94 до 7,28 т/га. Гибридные комбинации с привлечением в качестве материнской формы ЦМС-линии Деметра в 89% (17 шт.) проявили положительный истинный гетерозис, гипотетический – в 95% (18 шт.), а конкурсный – в 47% (9 шт.). По урожайности зерна существенно превысили ($НСР_{05} = 0,38$ т/га) стандарт Дюйм (5,97 т/га) гибриды Деметра × Лазурит 486/17 (6,44 т/га), Деметра × ЗСК 176/16 (6,48 т/га), Деметра × ЗСК 34 (6,74 т/га), Деметра × ЗСК 1530/15 (6,82 т/га), Деметра × ЗСК 196/17 (6,88 т/га), Деметра × СПЗС-16 (6,91 т/га) и Деметра × Норд 2 (7,28 т/га) (таблица 24).

Таблица 24 – Наследование урожайности зерна у гибридов F₁, полученных с использованием ЦМС-линии Деметра, 2019-2021 гг.

Комбинация скрещивания	Урожайность зерна, т/га				hp	Г _{ист.} , %	Г _{гип.} , %	Г _{конк.} , %
	♀	♂	st.	F ₁				
Деметра × СПЗС-16	3,56	5,06	5,97	6,91	3,5	36,6	60,3	15,7
Деметра × ЗСК 163/17	3,56	4,86	5,97	5,87	2,6	20,8	39,4	-1,7
Деметра × ЗСК 176/16	3,56	4,99	5,97	6,48	3,1	29,9	51,6	8,5
Деметра × ЗСК 196/17	3,56	4,57	5,97	6,88	5,6	50,5	69,2	15,2
Деметра × Крупнозёрное 2230	3,56	2,98	5,97	4,98	5,9	39,9	52,3	-16,6
Деметра × Лазурит 486/17	3,56	4,50	5,97	6,44	5,1	43,1	59,8	7,9
Деметра × ЗСК 2262/17	3,56	5,33	5,97	5,82	1,6	9,2	30,9	-2,5
Деметра × ЗСК 1568/14	3,56	4,97	5,97	6,03	2,5	21,3	41,4	1,0
Деметра × ЗСК 231/16	3,56	4,47	5,97	5,12	2,4	14,5	27,5	-14,2
Деметра × ЗСК 449/17	3,56	5,79	5,97	5,20	0,5	-10,2	11,2	-12,9
Деметра × ЗСК 1530/15	3,56	4,39	5,97	6,82	6,9	55,4	71,6	14,2
Деметра × Черноградское 204/4	3,56	4,67	5,97	4,82	3,2	17,1	-17,9	-19,3
Деметра × Норд 2	3,56	5,48	5,97	7,28	2,9	32,8	61,1	21,9
Деметра × ЗСК 34	3,56	5,32	5,97	6,74	2,6	26,7	51,8	12,9
Деметра × ЗСК 411/16	3,56	3,97	5,97	5,17	6,9	30,2	37,3	-13,4
Деметра × ЗСК 500/16	3,56	4,19	5,97	3,94	0,2	-6,0	1,7	-34,0
Деметра × Дружба	3,56	4,15	5,97	5,17	4,5	24,6	34,1	-13,4
Деметра × ЗСК 2010	3,56	5,24	5,97	5,86	1,7	11,8	33,2	-1,8
Деметра × ЗСК 282/14	3,56	3,47	5,97	6,21	59,9	74,4	76,7	4,0

Урожайность зерна у гибридов, полученных на основе стерильной линии Джетта, варьировала от 5,38 до 7,22 т/га. Во всех комбинациях отмечено превышение урожайности по сравнению с исходными формами. Истинный гетерозис составил 1,9-45,0%, а гипотетический – 5,3-52,8%. Конкурсный гетерозис у полученных нами гибридов проявился в 58% (11 шт.) случаев. Существенное превышение урожайности по сравнению со стандартом ($НСР_{05} = 0,38$ т/га) формировали гибриды Джетта × ЗСК 500/16 (6,44 т/га), Джетта × Дружба (6,52 т/га), Джетта × Норд 2 (6,56 т/га), Джетта × ЗСК 34 (6,67 т/га), Джетта × ЗСК 2010 (6,67 т/га),

Джетта × СПЗС-16 (6,98 т/га), Джетта × ЗСК 176/16 (7,15 т/га) и Джетта × ЗСК 231/16 (7,22 т/га) (таблица 25).

Таблица 25 – Наследование урожайности зерна у гибридов F₁, полученных с использованием ЦМС-линии Джетта, 2019-2021 гг.

Комбинация скрещивания	Урожайность зерна, т/га				hp	Г _{ист.} , %	Г _{гип.} , %	Г _{конк.} , %
	♀	♂	st.	F ₁				
Джетта × СПЗС-16	4,98	5,06	5,97	6,98	49,0	37,9	39,0	16,9
Джетта × ЗСК 163/17	4,98	4,86	5,97	5,47	9,2	9,8	11,2	-8,4
Джетта × ЗСК 176/16	4,98	4,99	5,97	7,15	433,0	43,3	43,4	19,8
Джетта × ЗСК 196/17	4,98	4,57	5,97	5,94	5,7	19,3	24,4	-0,5
Джетта × Крупнозёрное 2230	4,98	2,98	5,97	6,24	2,3	25,3	56,8	4,5
Джетта × Лазурит 486/17	4,98	4,50	5,97	5,82	4,5	16,9	22,8	-2,5
Джетта × ЗСК 2262/17	4,98	5,33	5,97	5,43	1,6	1,9	5,3	-9,0
Джетта × ЗСК 1568/14	4,98	4,97	5,97	6,23	251,0	25,1	25,2	4,4
Джетта × ЗСК 231/16	4,98	4,47	5,97	7,22	9,8	45,0	52,8	20,9
Джетта × ЗСК 449/17	4,98	5,79	5,97	5,98	1,5	3,3	11,0	0,2
Джетта × ЗСК 1530/15	4,98	4,39	5,97	5,47	2,7	9,8	16,8	-8,4
Джетта × зерноградское 204/4	4,98	4,67	5,97	5,38	3,6	8,0	11,5	-9,9
Джетта × Норд 2	4,98	5,48	5,97	6,56	5,3	19,7	25,4	9,9
Джетта × ЗСК 34	4,98	5,32	5,97	6,67	8,9	25,4	29,5	11,7
Джетта × ЗСК 411/16	4,98	3,97	5,97	5,93	2,9	19,1	32,5	-0,7
Джетта × ЗСК 500/16	4,98	4,19	5,97	6,44	4,7	29,3	40,5	7,9
Джетта × Дружба	4,98	4,15	5,97	6,52	4,7	30,9	42,8	9,2
Джетта × ЗСК 2010	4,98	5,24	5,97	6,67	12,0	27,3	30,5	11,7
Джетта × ЗСК 282/14	4,98	3,47	5,97	5,75	2,0	15,5	36,1	-3,7

Высокая потенциальная урожайность гибридов на стерильной основе и проявление гетерозиса отмечены в исследованиях Н.И. Андрющенко (1992), О.П. Кибальник и др. (2015), С.И. Капустина (2019), П.И. Костылева и Л.М. Костылевой (2020).

Центральным звеном в селекционной работе на гетерозис является оценка исходных форм по комбинационной способности (КС). Наибольший интерес представляет оценка ОКС и СКС по урожайности зерна, которая является основным хозяйственно-ценным признаком в селекционных программах большинства сельскохозяйственных культур. Для оценки применялся метод полных топкроссов, где в качестве тестеров использовались ЦМС-линии Деметра и Джетта.

В результате проведённого дисперсионного анализа установлено превышение $F_{\text{факт.}}$ над $F_{0,05}$ (2019 г. – $F_{\text{факт.}} = 55,1$; 2020 г. – $69,9$; 2021 г. – $40,5$; при $F_{0,05} = 1,9$), что указывает на существенные различия по урожайности зерна среди изученных гибридов.

Стабильно высокими оценками эффектов ОКС во все годы исследований 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). В 2019 г. и 2021 г. высокие значения эффектов общей специфической комбинационной способности (0,29) отмечены у образца ЗСК 2010, а в 2020 г. у данной родительской формы проявились средние значения (-0,02) (таблица 26). Стабильность проявления высокой КС в условиях различных лет проведённых исследований является ценным свойством исходного материала (Игнатъев, 2011).

Таблица 26 – 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.
1	2	3	4	5	6	7
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

Продолжение таблицы 26

1	2	3	4	5	6	7
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

Достоверно высокие варианты СКС в период 2019-2021 гг. 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). В 2019 и 2021 гг. высокие значения СКС отмечены у образца Дружба (0,020 и 0,014, соответственно).

Необходимо отметить, что с участием выделенных по ОКС и СКС линий созданы гибриды, сформировавшие наибольшую урожайность зерна. Таким образом, на основе полученной информации о комбинационной способности изученных линий, можно сделать вывод о возможности получения высокоурожайных гибридов при включении их в скрещивания.

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) при НСР = 0,03-0,04, 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 создание высокоурожайных, раннеспелых и приспособленных к механизированному возделыванию гибридов, важной задачей современной селекции является улучшение качества зерна сорго.

По данным О.П. Кибальник и др. (2020) в литературе имеются немногочисленные сведения о проявлении гетерозиса по показателям качества зерна. Большой частью гибриды F_1 характеризуются промежуточным количеством основных биохимических компонентов по сравнению с исходными образцами. Поэтому, создание и выделение гибридов сорго зернового, проявляющих истинный, гипотетический и конкурсный гетерозис по признакам, определяющим качество зерна, является актуальным.

В результате оценки содержания сырого белка в гибридных комбинациях, где в качестве материнской формы использовалась ЦМС-линия Деметра установлено варьирование от 9,8 до 13,4%. У значительной части (11 шт. или 58%) гибридов отмечено частичное и неполное доминирование больших или меньших значений признака. В четырёх комбинациях наблюдалась гибридная депрессия ($h_p = -1,8 - -4,0$), в двух – отсутствие доминирования ($h_p = 0,0$). В комбинации Деметра × ЗСК 196/17 проявилось доминирование больших значений признака ($h_p = 1,0$), а в комбинации Деметра × ЗСК 1530/15 – сверхдоминирование ($h_p = 7,0$). Однако, наиболее высокое содержание сырого белка установлено у гибридов Деметра × СПЗС 16 (13,3%) и Деметра × ЗСК 163/17 (13,4%), где в качестве отцовских форм выступили высокобелковые образцы (СПЗС 16 – 13,5%, ЗСК 163/17 – 14,9%). Данные гибриды характеризовались максимальным уровнем конкурсного гетерозиса (7,3% и 8,1%, соответственно) (таблица 27).

Таблица 27 – Наследование содержания сырого белка в зерне гибридов F₁, полученных с использованием ЦМС-линии Деметра, 2019-2021 гг.

Комбинация скрещивания	Содержание сырого белка, %				hp	Г _{ист.} , %	Г _{гип.} , %	Г _{конк.} , %
	♀	♂	st.	F ₁				
Деметра × СПЗС-16	12,3	13,5	12,4	13,3	0,7	-1,6	3,1	7,3
Деметра × ЗСК 163/17	12,3	14,9	12,4	13,4	-0,2	-10,1	-1,5	8,1
Деметра × ЗСК 176/16	12,3	11,0	12,4	12,1	0,7	-1,6	3,9	-2,4
Деметра × ЗСК 196/17	12,3	12,6	12,4	12,6	1,0	0,0	1,2	1,6
Деметра × Крупнозёрное 2230	12,3	13,1	12,4	12,6	-0,2	-3,8	-0,8	1,6
Деметра × Лазурит 486/17	12,3	14,4	12,4	12,9	-0,4	-10,4	-3,4	4,0
Деметра × ЗСК 2262/17	12,3	11,0	12,4	11,5	-0,2	-6,5	-1,3	-7,3
Деметра × ЗСК 1568/14	12,3	13,3	12,4	12,9	0,2	-3,0	0,8	4,0
Деметра × ЗСК 231/16	12,3	12,7	12,4	11,8	-3,5	-7,1	-5,6	-4,8
Деметра × ЗСК 449/17	12,3	12,0	12,4	12,1	-0,3	-1,6	-0,4	-2,4
Деметра × ЗСК 1530/15	12,3	12,4	12,4	12,7	7,0	2,4	2,8	2,4
Деметра × Зерноградское 204/4	12,3	11,5	12,4	11,2	-1,8	-8,9	-5,9	-9,7
Деметра × Норд 2	12,3	11,8	12,4	12,2	0,6	-0,8	1,2	-1,6
Деметра × ЗСК 34	12,3	11,2	12,4	12,0	0,5	-2,4	2,1	-3,2
Деметра × ЗСК 411/16	12,3	11,4	12,4	12,2	0,8	-0,8	3,0	-1,6
Деметра × ЗСК 500/16	12,3	11,1	12,4	11,7	0,0	-4,9	0,0	-5,6
Деметра × Дружба	12,3	11,3	12,4	11,8	0,0	-4,1	0,0	-4,8
Деметра × ЗСК 2010	12,3	11,4	12,4	10,4	-3,2	-15,4	-12,2	-16,1
Деметра × ЗСК 282/14	12,3	11,3	12,4	9,8	-4,0	-20,3	-16,9	-21,0

Созданные гибриды на основе стерильной линии Джетта формировали зерновку с содержанием сырого белка от 10,3 до 13,6%. У основной доли (47% или 9 шт.) гибридных комбинаций наследование признака также имело промежуточный характер. В данном случае более высокий процент (37% или 7 шт.) гибридов проявили гибридную депрессию ($hp = -2,5 - -7,7$), а привлечение в гибридизацию в качестве опылителя высокобелкового образца ЗСК 163/17 (14,9%) привело к созданию гибрида (Джетта × ЗСК 163/17) с наибольшим уровнем сырого белка в зерне (13,6%) (таблица 28).

Таблица 28 – Наследование содержания сырого белка в зерне гибридов F₁, полученных с использованием ЦМС-линии Джетта, 2019-2021 гг.

Комбинация скрещивания	Содержание сырого белка, %				hp	Г _{ист.} , %	Г _{гип.} , %	Г _{конк.} , %
	♀	♂	st.	F ₁				
Джетта × СПЗС-16	11,7	13,5	12,4	12,9	0,3	-4,4	2,4	4,0
Джетта × ЗСК 163/17	11,7	14,9	12,4	13,6	0,2	-8,7	2,3	9,7
Джетта × ЗСК 176/16	11,7	11,0	12,4	11,6	0,7	-0,9	2,2	-6,5
Джетта × ЗСК 196/17	11,7	12,6	12,4	12,5	0,8	-0,8	2,9	0,8
Джетта × Крупнозёрное 2230	11,7	13,1	12,4	12,3	-0,1	-6,1	-0,8	-0,8
Джетта × Лазурит 486/17	11,7	14,4	12,4	12,8	-0,2	-11,1	-1,9	3,2
Джетта × ЗСК 2262/17	11,7	11,0	12,4	10,3	-3,0	-12,0	-9,3	-16,9
Джетта × ЗСК 1568/14	11,7	13,3	12,4	11,9	-0,7	-10,5	-4,8	-4,0
Джетта × ЗСК 231/16	11,7	12,7	12,4	12,6	0,8	-0,8	3,3	1,6
Джетта × ЗСК 449/17	11,7	12,0	12,4	12,3	3,0	2,5	3,8	-0,8
Джетта × ЗСК 1530/15	11,7	12,4	12,4	11,8	-0,7	-4,8	-2,1	-4,8
Джетта × Зерноградское 204/4	11,7	11,5	12,4	11,7	1,0	0,0	0,9	-5,6
Джетта × Норд 2	11,7	11,8	12,4	11,4	-7,0	-3,4	-3,0	-8,1
Джетта × ЗСК 34	11,7	11,2	12,4	10,5	-3,8	-10,3	-8,3	-15,3
Джетта × ЗСК 411/16	11,7	11,4	12,4	11,0	-3,7	-6,0	-4,8	-11,3
Джетта × ЗСК 500/16	11,7	11,1	12,4	11,1	-1,0	-5,1	-2,6	-10,5
Джетта × Дружба	11,7	11,3	12,4	10,9	-3,0	-6,8	-5,2	-12,1
Джетта × ЗСК 2010	11,7	11,4	12,4	10,4	-7,7	-11,1	-10,0	-16,1
Джетта × ЗСК 282/14	11,7	11,3	12,4	11,0	-2,5	-6,0	-4,3	-11,3

Общий анализ гибридов показал проявление промежуточного наследования признака (hp = -0,7-0,8) у 58% (22 шт.), а гибридной депрессии – у 29% (11 шт.) изученных комбинаций. В остальных комбинациях отмечалось 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 сред-

небелковых ЦМС-линий с низко- и среднебелковыми опылителями не приводило к получению высокобелковых гибридов.

В работе Н.А. Шепель (1985 а) основная доля гибридов характеризовалась более низким содержанием белка, чем их исходные форма. Однако, некоторые гибридные комбинации по этому признаку занимали промежуточное положение. Подобные выводы сделаны в научной работе В.И. Лихопой и соавторов (1995). В тоже время, в исследованиях О.П. Кибальник и др. (2020) проявление эффектов истинного гетерозиса по данному признаку наблюдалось у 31,5-62,9% гибридов, а гипотетического – у 44,4-79,6%.

При создании новых гибридов большое значение имеет не только количество белка в зерне, но и его качество (аминокислотный состав). У 47% (9 шт.) комбинаций, полученных с привлечением ЦМС-линии Деметра отмечено снижение содержания лизина в белке по сравнению с обеими родительскими формами ($h_p = -2,4 - -66,0$). Сверхдоминирование ($h_p = 1,1-2,1$) по данному признаку установлено в комбинациях Деметра × Крупнозёрное 2230, Деметра × ЗСК 2262/17, Деметра × ЗСК 1568/14, Деметра × ЗСК 231/16, Деметра × ЗСК 282/14. Эти гибриды имели наибольшее содержание лизина в белке (3,45-3,62%) и максимальное проявление конкурсного гетерозиса ($\Gamma_{\text{конк.}} = 9,5-14,9\%$) (таблица 29).

Таблица 29 – Наследование содержания лизина в белке гибридов F_1 , полученных с использованием ЦМС-линии Деметра, 2019-2021 гг.

Комбинация скрещивания	Содержание лизина в белке, %				h_p	$\Gamma_{\text{ист.}}$, %	$\Gamma_{\text{гип.}}$, %	$\Gamma_{\text{конк.}}$, %
	♀	♂	st.	F_1				
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Деметра × СПЗС-16	3,44	3,26	3,15	2,95	-4,4	-14,2	-11,9	-6,3
Деметра × ЗСК 163/17	3,44	2,55	3,15	3,20	0,5	-7,0	6,8	1,6
Деметра × ЗСК 176/16	3,44	3,51	3,15	3,10	-10,7	-11,7	-10,8	-1,6
Деметра × ЗСК 196/17	3,44	3,15	3,15	3,18	-0,8	-7,6	-3,5	1,0
Деметра × Крупнозёрное 2230	3,44	2,96	3,15	3,45	1,1	0,3	7,8	9,5
Деметра × Лазурит 486/17	3,44	2,50	3,15	3,34	0,8	-2,9	12,5	6,0
Деметра × ЗСК 2262/17	3,44	3,40	3,15	3,46	2,0	0,6	1,2	9,8

Продолжение таблицы 29

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Деметра × ЗСК 1568/14	3,44	2,83	3,15	3,47	1,1	0,9	10,7	10,2
Деметра × ЗСК 231/16	3,44	3,01	3,15	3,62	1,8	5,2	12,2	14,9
Деметра × ЗСК 449/17	3,44	3,38	3,15	3,09	-10,7	-10,2	-9,4	-1,9
Деметра × ЗСК 1530/15	3,44	3,19	3,15	2,87	-3,6	-16,6	-13,4	-8,9
Деметра × Зерноградское 204/4	3,44	3,41	3,15	3,21	-14,3	-6,7	-6,3	1,9
Деметра × Норд 2	3,44	3,46	3,15	2,79	-66,0	-19,4	-19,1	-11,4
Деметра × ЗСК 34	3,44	3,36	3,15	3,12	-7,0	-9,3	-8,2	-1,0
Деметра × ЗСК 411/16	3,44	3,05	3,15	2,77	-2,4	-19,5	-14,6	-12,1
Деметра × ЗСК 500/16	3,44	3,32	3,15	3,37	-0,2	-2,0	-0,3	7,0
Деметра × Дружба	3,44	3,16	3,15	2,91	-2,8	-15,4	-11,8	-7,6
Деметра × ЗСК 2010	3,44	3,24	3,15	3,30	-0,4	-4,1	-1,2	4,8
Деметра × ЗСК 282/14	3,44	3,24	3,15	3,55	2,1	3,2	6,3	12,7

Гибриды на основе ЦМС-линии Джетта характеризовались меньшей долей (11% или 2 шт.) комбинаций, имеющих гибридную депрессию ($h_p = -6,2 - -10,1$) и более высокую частоту (53% или 10 шт.) проявления сверхдоминирования ($h_p = 1,4-63,0$). Превышение содержания лизина в белке по сравнению со стандартом ($\Gamma_{\text{конк.}} = 4,4-13,0\%$) отмечено у 63% (12 шт.) гибридных комбинаций (таблица 30).

Таблица 30 – Наследование содержания лизина в белке гибридов F_1 , полученных с использованием ЦМС-линии Джетта, 2019-2021 гг.

Комбинация скрещивания	Содержание лизина в белке, %				h_p	$\Gamma_{\text{ист.}}$, %	$\Gamma_{\text{гип.}}$, %	$\Gamma_{\text{конк.}}$, %
	♀	♂	st.	F_1				
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Джетта × СПЗС-16	3,06	3,26	3,15	3,21	0,5	-1,5	1,6	1,9
Джетта × ЗСК 163/17	3,06	2,55	3,15	2,85	0,2	-6,9	1,6	-9,5
Джетта × ЗСК 176/16	3,06	3,51	3,15	3,44	0,7	-2,0	4,7	9,2
Джетта × ЗСК 196/17	3,06	3,15	3,15	2,65	-10,1	-15,9	-14,7	-15,9
Джетта × Крупнозёрное 2230	3,06	2,96	3,15	3,40	7,8	11,1	13,0	7,9
Джетта × Лазурит 486/17	3,06	2,50	3,15	3,29	1,8	7,5	18,3	4,4

Продолжение таблицы 30

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Джетта × ЗСК 2262/17	3,06	3,40	3,15	3,47	1,4	2,1	7,4	10,2
Джетта × ЗСК 1568/14	3,06	2,83	3,15	3,47	4,6	13,4	17,8	10,2
Джетта × ЗСК 231/16	3,06	3,01	3,15	2,88	-6,2	-5,9	-5,1	-8,6
Джетта × ЗСК 449/17	3,06	3,38	3,15	3,06	-1,0	-9,5	-5,0	-2,9
Джетта × ЗСК 1530/15	3,06	3,19	3,15	3,29	2,5	3,1	5,3	4,4
Джетта × зерноградское 204/4	3,06	3,41	3,15	3,10	-0,8	-9,1	-4,2	-1,6
Джетта × Норд 2	3,06	3,46	3,15	3,39	0,7	-2,0	4,0	7,6
Джетта × ЗСК 34	3,06	3,36	3,15	3,56	2,3	6,0	10,9	13,0
Джетта × ЗСК 411/16	3,06	3,05	3,15	3,37	63,0	10,1	10,3	7,0
Джетта × ЗСК 500/16	3,06	3,32	3,15	3,15	-0,3	-5,1	-1,3	0,0
Джетта × Дружба	3,06	3,16	3,15	3,29	3,6	4,1	5,8	4,4
Джетта × ЗСК 2010	3,06	3,24	3,15	3,52	4,1	8,6	11,7	11,7
Джетта × ЗСК 282/14	3,06	3,24	3,15	3,33	2,0	2,8	5,7	5,7

Отрицательная корреляционная взаимосвязь 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 (рисунок 50).

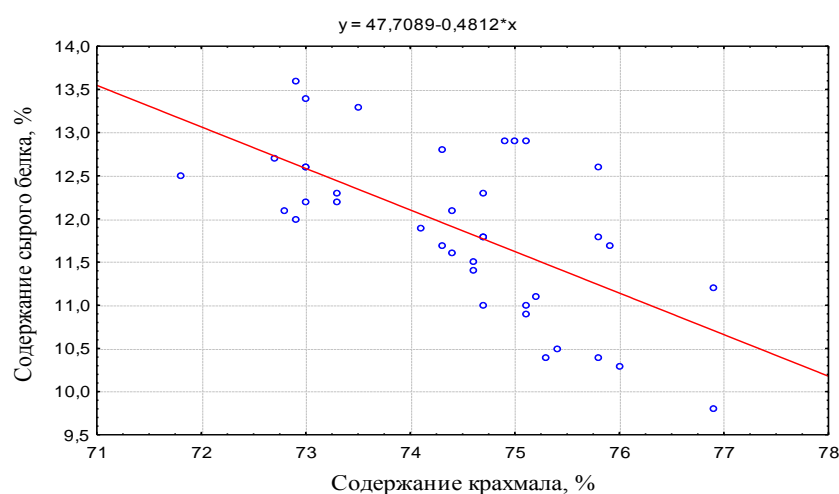


Рисунок 50 – Взаимосвязь содержания сырого белка и крахмала в зерне гибридов F_1 , 2019-2021 гг.

Привлечение в гибридизацию ЦМС-линии Деметра позволило создать гибриды с содержанием крахмала в зерне от 72,7 до 76,9%. Изучение полученных комбинаций показало, что у 58% (11 шт.) наследование признака проходило по типу сверхдоминирования ($h_p = 1,2-8,7$), в двух – доминировали родительские (отцовские) формы с более высоким содержанием крахмала ($h_p = 0,4-0,7$), а у шести гибридов отмечено влияние материнской формы ($h_p = -0,1- -0,7$), имеющей более низкий уровень крахмала в зерне по сравнению с привлечёнными в гибридизации опылителями. Очень высоким ($>75,0\%$) содержанием крахмала характеризовались гибриды F_1 Деметра \times ЗСК 1568/14 (75,1%), Деметра \times Крупнозёрное 2230 (75,8%), Деметра \times ЗСК 231/16 (75,8%), Деметра \times ЗСК 2010 (75,8%), Деметра \times ЗСК 500/16 (75,9%), Деметра \times Зерноградское 204/4 (76,9%) и Деметра \times ЗСК 282/14 (76,9%) (таблица 31).

Таблица 31 – Наследование содержания крахмала в зерне гибридов F_1 , полученных с использованием ЦМС-линии Деметра, 2019-2021 гг.

Комбинация скрещивания	Содержание крахмала, %				h_p	$\Gamma_{ист.},$ %	$\Gamma_{гип.},$ %	$\Gamma_{конк.},$ %
	♀	♂	st.	F_1				
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Деметра \times СПЗС-16	72,4	73,7	72,9	73,5	0,7	-0,3	0,6	0,8
Деметра \times ЗСК 163/17	72,4	71,9	72,9	73,0	3,4	0,8	1,2	0,1
Деметра \times ЗСК 176/16	72,4	75,5	72,9	72,8	-0,7	-3,6	-1,6	-0,1
Деметра \times ЗСК 196/17	72,4	73,8	72,9	73,0	-0,1	-1,1	-0,1	0,1
Деметра \times Крупнозёрное 2230	72,4	73,1	72,9	75,8	8,7	3,7	4,2	4,0
Деметра \times Лазурит 486/17	72,4	73,3	72,9	75,0	4,8	2,3	3,0	2,9
Деметра \times ЗСК 2262/17	72,4	75,5	72,9	74,6	0,4	-1,2	0,9	2,3
Деметра \times ЗСК 1568/14	72,4	73,3	72,9	75,1	5,0	2,5	3,1	3,0
Деметра \times ЗСК 231/16	72,4	73,7	72,9	75,8	4,2	2,8	3,8	4,0
Деметра \times ЗСК 449/17	72,4	73,6	72,9	74,4	2,3	1,1	1,9	2,1
Деметра \times ЗСК 1530/15	72,4	73,7	72,9	72,7	-0,5	-1,4	-0,5	-0,3
Деметра \times Зерноградское 204/4	72,4	75,2	72,9	76,9	2,2	2,3	4,2	5,5
Деметра \times Норд 2	72,4	74,6	72,9	73,0	-0,5	-2,1	-0,7	0,1

Продолжение таблицы 31

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Деметра × ЗСК 34	72,4	74,5	72,9	72,9	-0,5	-2,1	-0,7	0,0
Деметра × ЗСК 411/16	72,4	74,7	72,9	73,3	-0,2	-1,9	-0,3	0,5
Деметра × ЗСК 500/16	72,4	75,0	72,9	75,9	1,7	1,2	3,0	4,1
Деметра × Дружба	72,4	74,3	72,9	74,7	1,4	0,5	1,8	2,5
Деметра × ЗСК 2010	72,4	75,5	72,9	75,8	1,2	0,4	2,5	4,0
Деметра × ЗСК 282/14	72,4	74,8	72,9	76,9	2,8	2,8	4,5	5,5

Гибриды, полученные с ЦМС-линией Джетта, формировали зерно с содержанием крахмала от 71,8 до 76,0%. Сверхдоминирование признака наблюдалось у 58% (11 шт.) комбинаций, доминирование отцовских образцов с более высоким содержанием крахмала отмечено у 37% (7 шт.) гибридов, а доминирование меньших значений признака (материнской формы) проявилось в комбинации Джетта × ЗСК 196/17. Гибриды Джетта × Дружба, Джетта × ЗСК 282/14, Джетта × ЗСК 500/16, Джетта × ЗСК 2010, Джетта × ЗСК 34, Джетта × ЗСК 2262/17 имели очень высокое (75,1-76,0%) содержание крахмала в зерне (таблица 32).

Таблица 32 – Наследование содержания крахмала в зерне гибридов F₁, полученных с использованием ЦМС-линии Джетта, 2019-2021 гг.

Комбинация скрещивания	Содержание крахмала, %				hp	Г _{ист.} , %	Г _{гип.} , %	Г _{конк.} , %
	♀	♂	st.	F ₁				
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Джетта × СПЗС-16	71,4	73,7	72,9	74,9	2,0	1,6	3,2	2,7
Джетта × ЗСК 163/17	71,4	71,9	72,9	72,9	5,0	1,4	1,7	0,0
Джетта × ЗСК 176/16	71,4	75,5	72,9	74,4	0,5	-1,5	1,3	2,1
Джетта × ЗСК 196/17	71,4	73,8	72,9	71,8	-0,7	-2,7	-1,1	-1,5
Джетта × Крупнозёрное 2230	71,4	73,1	72,9	74,7	2,9	2,2	3,4	2,5
Джетта × Лазурит 486/17	71,4	73,3	72,9	74,3	2,1	1,4	2,7	1,9
Джетта × ЗСК 2262/17	71,4	75,5	72,9	76,0	1,2	0,7	3,5	4,3
Джетта × ЗСК 1568/14	71,4	73,3	72,9	74,1	1,8	1,1	2,4	1,6
Джетта × ЗСК 231/16	71,4	73,7	72,9	73,0	0,4	-0,9	0,6	0,1

Продолжение таблицы 32

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Джетта × ЗСК 449/17	71,4	73,6	72,9	73,3	0,7	-0,4	1,1	0,5
Джетта × ЗСК 1530/15	71,4	73,7	72,9	74,7	1,9	1,4	3,0	2,5
Джетта × зерноградское 204/4	71,4	75,2	72,9	74,3	0,5	-1,2	1,4	1,9
Джетта × Норд 2	71,4	74,6	72,9	74,6	1,0	0,0	2,2	2,3
Джетта × ЗСК 34	71,4	74,5	72,9	75,4	1,6	1,2	3,4	3,4
Джетта × ЗСК 411/16	71,4	74,7	72,9	74,7	1,0	0,0	2,3	2,5
Джетта × ЗСК 500/16	71,4	75,0	72,9	75,2	1,1	0,3	2,7	3,2
Джетта × Дружба	71,4	74,3	72,9	75,1	1,6	1,1	3,1	3,0
Джетта × ЗСК 2010	71,4	75,5	72,9	75,3	0,9	-0,3	2,5	3,3
Джетта × ЗСК 282/14	71,4	74,8	72,9	75,1	1,2	0,4	2,7	3,0

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 с обеими стерильными линиями. В целом, истинный гетерозис по содержанию крахмала проявился у 58% (22 шт.) гибридных комбинаций, гипотетический – у 74% (28 шт.), а конкурсный – у 87% (33 шт.).

Подобные результаты получены в более ранних работах Н.А. Шепель (1985а), согласно которым содержание крахмала у гибридов было больше по сравнению с исходными формами или занимали промежуточное положение. В научной работе О.П. Кибальник и соавторов (2020), частота проявления гетерозиса по содержанию крахмала была невысокой (истинный гетерозис – у 16,6-33,3%, гипотетический – у 16,6-44,4% гибридов), так как гетерозис в большей степени проявлялся по содержанию сырого белка и жира. Однако, в исследованиях Н.А. Шепель (1985 а) по содержанию жира гибриды, в основном, занимали промежуточное положение между родительскими формами или уступали им. Только у некоторых отмечалось более высокое содержание жира.

Полученные гибриды в результате гибридизации ЦМС-линии Деметра и 19 опылителей характеризовались содержанием сырого жира в зерне от 3,98 до 5,14%. У 7 гибридов отмечен истинный гетерозис ($\Gamma_{\text{ист.}} = 2,6-19,6\%$), а также

наблюдалось проявление сверхдоминирования ($h_p = 1,3-4,4$). Доминирование больших значений признака ($h_p = 0,2-1,0$) установлено у 58% (11 шт.) гибридных комбинаций, а доминирование меньших значений – в одной. Содержание сырого жира более 5,00% имели гибриды Деметра × ЗСК 2010 (5,13%) и Деметра × ЗСК 282/14 (5,14%) (таблица 33).

Таблица 33 – Наследование содержания сырого жира в зерне гибридов F_1 , полученных с использованием ЦМС-линии Деметра, 2019-2021 гг.

Комбинация скрещивания	Содержание сырого жира, %				h_p	$\Gamma_{ист.}$, %	$\Gamma_{гип.}$, %	$\Gamma_{конк.}$, %
	♀	♂	st.	F_1				
Деметра × СПЗС-16	3,80	4,26	4,05	4,23	0,9	-0,7	5,0	4,4
Деметра × ЗСК 163/17	3,80	4,54	4,05	4,43	0,7	-2,4	6,2	9,4
Деметра × ЗСК 176/16	3,80	3,99	4,05	3,98	0,9	-0,3	2,2	-1,7
Деметра × ЗСК 196/17	3,80	4,29	4,05	4,19	0,6	-2,3	3,6	3,5
Деметра × Крупнозёрное 2230	3,80	4,41	4,05	4,22	0,4	-4,3	2,8	4,2
Деметра × Лазурит 486/17	3,80	5,26	4,05	4,48	-0,1	-14,8	-1,1	10,6
Деметра × ЗСК 2262/17	3,80	4,87	4,05	4,54	0,4	-6,8	4,7	12,1
Деметра × ЗСК 1568/14	3,80	4,68	4,05	4,80	1,3	2,6	13,2	18,5
Деметра × ЗСК 231/16	3,80	4,58	4,05	4,99	2,1	9,0	19,1	23,2
Деметра × ЗСК 449/17	3,80	4,34	4,05	4,89	3,0	12,7	20,1	20,7
Деметра × ЗСК 1530/15	3,80	4,52	4,05	4,37	0,6	-3,3	5,0	7,9
Деметра × Черноградское 204/4	3,80	4,92	4,05	4,54	0,3	-7,7	4,1	12,1
Деметра × Норд 2	3,80	4,48	4,05	4,48	1,0	0,0	8,2	10,6
Деметра × ЗСК 34	3,80	4,58	4,05	4,27	0,2	-6,8	1,9	5,4
Деметра × ЗСК 411/16	3,80	4,59	4,05	4,31	0,3	-6,1	2,7	6,4
Деметра × ЗСК 500/16	3,80	4,58	4,05	4,79	1,5	4,6	14,3	18,3
Деметра × Дружба	3,80	4,40	4,05	4,89	2,6	11,1	19,3	20,7
Деметра × ЗСК 2010	3,80	4,29	4,05	5,13	4,4	19,6	26,8	26,7
Деметра × ЗСК 282/14	3,80	4,75	4,05	5,14	1,8	8,2	20,2	26,9

Гибриды, где в качестве материнской формы использована стерильная линия Джетта, формировали зерновку с содержанием сырого жира от 3,94 до 4,86%.

При этом, доминирование меньших значений признака ($h_p = -0,4 - -0,5$) проявилось в трёх комбинациях скрещивания, больших значений ($h_p = 0,1-1,0$) – у 11 гибридов, а сверхдоминирование ($h_p = 1,2-2,6$) – у пяти (таблица 34).

Таблица 34 – Наследование содержания сырого жира в зерне гибридов F_1 , полученных с использованием ЦМС-линии Джетта, 2019-2021 гг.

Комбинация скрещивания	Содержание сырого жира, %				h_p	$\Gamma_{ист.}$ %	$\Gamma_{гип.}$ %	$\Gamma_{конк.}$ %
	♀	♂	st.	F_1				
Джетта × СПЗС-16	3,73	4,26	4,05	4,03	0,1	-5,4	0,9	-0,5
Джетта × ЗСК 163/17	3,73	4,54	4,05	4,54	1,0	0,0	9,8	12,1
Джетта × ЗСК 176/16	3,73	3,99	4,05	4,20	2,6	5,3	8,8	3,7
Джетта × ЗСК 196/17	3,73	4,29	4,05	4,13	0,4	-3,7	3,0	2,0
Джетта × Крупнозёрное 2230	3,73	4,41	4,05	4,48	1,2	1,6	10,1	10,6
Джетта × Лазурит 486/17	3,73	5,26	4,05	4,20	-0,4	-20,2	-6,6	3,7
Джетта × ЗСК 2262/17	3,73	4,87	4,05	4,44	0,2	-8,8	3,3	9,6
Джетта × ЗСК 1568/14	3,73	4,68	4,05	4,03	-0,4	-13,9	-4,2	-0,5
Джетта × ЗСК 231/16	3,73	4,58	4,05	4,23	0,2	-7,6	1,8	4,4
Джетта × ЗСК 449/17	3,73	4,34	4,05	4,34	1,0	0,0	7,6	7,2
Джетта × ЗСК 1530/15	3,73	4,52	4,05	4,86	1,9	7,5	17,8	20,0
Джетта × Зерноградское 204/4	3,73	4,92	4,05	4,59	0,4	-6,7	6,1	13,3
Джетта × Норд 2	3,73	4,48	4,05	4,23	0,3	-5,6	3,0	4,4
Джетта × ЗСК 34	3,73	4,58	4,05	4,75	1,4	3,7	14,3	17,3
Джетта × ЗСК 411/16	3,73	4,59	4,05	3,94	-0,5	-14,2	-5,3	-2,7
Джетта × ЗСК 500/16	3,73	4,58	4,05	4,58	1,0	0,0	10,2	13,1
Джетта × Дружба	3,73	4,40	4,05	4,65	1,7	5,7	14,4	14,8
Джетта × ЗСК 2010	3,73	4,29	4,05	4,24	0,8	-1,2	5,7	4,7
Джетта × ЗСК 282/14	3,73	4,75	4,05	4,52	0,5	-4,8	6,6	11,6

Таким образом, независимо от материнской формы, наследование сырого жира у значительной части гибридов проходило по типу доминирования большего значения признака или сверхдоминирования.

Наследование содержания танина в зерне гибридов, полученных на основе ЦМС-линии Деметра, имело промежуточный характер. Причём, у 68% (13 шт.) комбинаций наблюдалось доминирование больших значений ($hp = 0,1-0,7$) признака (материнской формы), в трёх комбинациях отмечено отсутствие доминирования ($hp = 0,0$), 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 ($hp = -0,2 - -0,3$). Так как, танин относится к отрицательным признакам, необходимо выделять комбинации с наименьшими значениями гетерозиса. 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. Более низкое содержание танина по сравнению со стандартом установлено в комбинации Деметра × Крупнозёрное 2230 ($\Gamma_{конк.} = -16,0\%$) (таблица 35).

Таблица 35 – Наследование содержания танина в зерне гибридов F_1 , полученных с использованием ЦМС-линии Деметра, 2019-2021 гг.

Комбинация скрещивания	Содержание танина, %				hp	$\Gamma_{ист.}$, %	$\Gamma_{гип.}$, %	$\Gamma_{конк.}$, %
	♀	♂	st.	F_1				
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Деметра × СПЗС-16	5,29	0,55	2,68	3,06	0,1	-42,2	4,8	14,2
Деметра × ЗСК 163/17	5,29	0,61	2,68	4,54	0,7	-14,2	53,9	69,4
Деметра × ЗСК 176/16	5,29	2,98	2,68	4,75	0,5	-10,2	14,9	77,2
Деметра × ЗСК 196/17	5,29	0,46	2,68	4,80	0,8	-9,3	67,0	79,1
Деметра × Крупнозёрное 2230	5,29	0,70	2,68	2,25	-0,3	-57,5	-24,9	-16,0
Деметра × Лазурит 486/17	5,29	0,87	2,68	2,72	-0,2	-48,6	-11,7	1,5
Деметра × ЗСК 2262/17	5,29	0,62	2,68	3,71	0,3	-29,9	25,5	38,4
Деметра × ЗСК 1568/14	5,29	0,63	2,68	3,53	0,2	-33,3	19,3	31,7
Деметра × ЗСК 231/16	5,29	0,95	2,68	3,38	0,1	-36,1	8,3	26,1
Деметра × ЗСК 449/17	5,29	0,68	2,68	3,27	0,1	-38,2	9,5	22,0

Продолжение таблицы 35

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Деметра × ЗСК 1530/15	5,29	0,74	2,68	3,51	0,2	-33,6	16,4	31,0
Деметра × Зерноградское 204/4	5,29	0,51	2,68	2,83	0,0	-46,5	-2,4	5,6
Деметра × Норд 2	5,29	0,68	2,68	3,77	0,3	-28,7	26,3	40,7
Деметра × ЗСК 34	5,29	1,01	2,68	3,06	0,0	-42,2	-2,9	14,2
Деметра × ЗСК 411/16	5,29	0,66	2,68	2,87	0,0	-45,7	-3,5	7,1
Деметра × ЗСК 500/16	5,29	0,92	2,68	3,28	0,1	-38,0	5,6	22,4
Деметра × Дружба	5,29	0,65	2,68	4,06	0,5	-23,3	36,7	51,5
Деметра × ЗСК 2010	5,29	0,49	2,68	3,06	0,1	-42,2	5,9	14,2
Деметра × ЗСК 282/14	5,29	1,99	2,68	3,10	-0,3	-41,4	-14,8	15,7

Подобный характер наследования содержания танина в зерне сорго отмечен у гибридов, где в качестве материнской формы использовалась стерильная линия Джетта. Однако, в данном случае отрицательный конкурсный гетерозис ($\Gamma_{\text{конк.}} = -0,7 - -25,7 \%$) проявился у 26% (5 шт.) комбинаций, что обусловлено более низким содержанием танина в зерне ЦМС-линии Джетта (4,79%) по сравнению со стерильной линией Деметра (5,29%). Наименьше содержание танина (1,99%) формировалось у гибрида Джетта × ЗСК 231/16, что на 0,69% меньше чем у стандарта (таблица 36).

Таблица 36 – Наследование содержания танина в зерне гибридов F_1 , полученных с использованием ЦМС-линии Джетта, 2019-2021 гг.

Комбинация скрещивания	Содержание танина, %				hp	$\Gamma_{\text{ист.}}$, %	$\Gamma_{\text{гип.}}$, %	$\Gamma_{\text{конк.}}$, %
	♀	♂	st.	F_1				
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Джетта × СПЗС-16	4,79	0,55	2,68	2,79	0,1	-41,8	4,5	4,1
Джетта × ЗСК 163/17	4,79	0,61	2,68	4,28	0,8	-10,6	58,5	59,7
Джетта × ЗСК 176/16	4,79	2,98	2,68	3,91	0,0	-18,4	0,6	45,9
Джетта × ЗСК 196/17	4,79	0,46	2,68	3,60	0,5	-24,8	37,1	34,3
Джетта × Крупнозёрное 2230	4,79	0,70	2,68	2,55	-0,1	-46,8	-7,1	-4,9

Продолжение таблицы 36

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Джетта × Лазурит 486/17	4,79	0,87	2,68	2,82	0,0	-40,5	0,7	6,3
Джетта × ЗСК 2262/17	4,79	0,62	2,68	3,01	0,1	-37,2	11,3	12,3
Джетта × ЗСК 1568/14	4,79	0,63	2,68	3,75	0,5	-21,7	38,4	39,9
Джетта × ЗСК 231/16	4,79	0,95	2,68	1,99	-0,5	-58,5	-30,7	-25,7
Джетта × ЗСК 449/17	4,79	0,68	2,68	3,23	0,2	-32,6	18,1	20,5
Джетта × ЗСК 1530/15	4,79	0,74	2,68	3,34	0,3	-30,3	20,8	24,6
Джетта × зерноградское 204/4	4,79	0,51	2,68	2,59	0,0	-45,9	-2,3	-3,4
Джетта × Норд 2	4,79	0,68	2,68	3,77	0,5	-21,3	37,8	40,7
Джетта × ЗСК 34	4,79	1,01	2,68	2,52	-0,2	-47,4	-13,1	-6,0
Джетта × ЗСК 411/16	4,79	0,66	2,68	3,13	0,2	-34,7	14,9	16,8
Джетта × ЗСК 500/16	4,79	0,92	2,68	3,68	0,4	-23,2	28,9	37,3
Джетта × Дружба	4,79	0,65	2,68	2,88	0,1	-39,9	5,9	7,5
Джетта × ЗСК 2010	4,79	0,49	2,68	3,23	0,3	-32,6	22,3	20,5
Джетта × ЗСК 282/14	4,79	1,99	2,68	2,66	-0,5	-44,5	-21,5	-0,7

В целом анализируемые гибриды обладали средним и высоким содержанием танина в зерне (1,99-4,80%). Для создания гибридов с пониженным содержанием танина необходимо привлекать в гибридизацию низкотаниновые ЦМС-линии. Получены новые гибриды со светлой окраской зерновки на основе перспективной желтозёрной ЦМС-линии АЗСК 21, отличающиеся низким и средним процентным содержанием танина. Среди изученных в 2021-2022 гг. гибридов со светлой окраской зерновки по комплексу хозяйственно-ценных признаков выделились F₁ АЗСК 21 × ЗСК 34, АЗСК 21 × уч. 27/20, АЗСК 21 × Ву 112, АЗСК 21 × зерноградский жемчуг 56, АЗСК 21 × ЗСК 217. Они сформировали урожайность зерна от 6,34 до 6,97 т/га, существенно (НСР₀₅ = 0,36 т/га) превысив стандарт F₁ Дюйм (5,72 т/га) по данному признаку. По продолжительности вегетационного периода выделившиеся гибриды находятся на уровне F₁ Дюйм (рисунок 51).

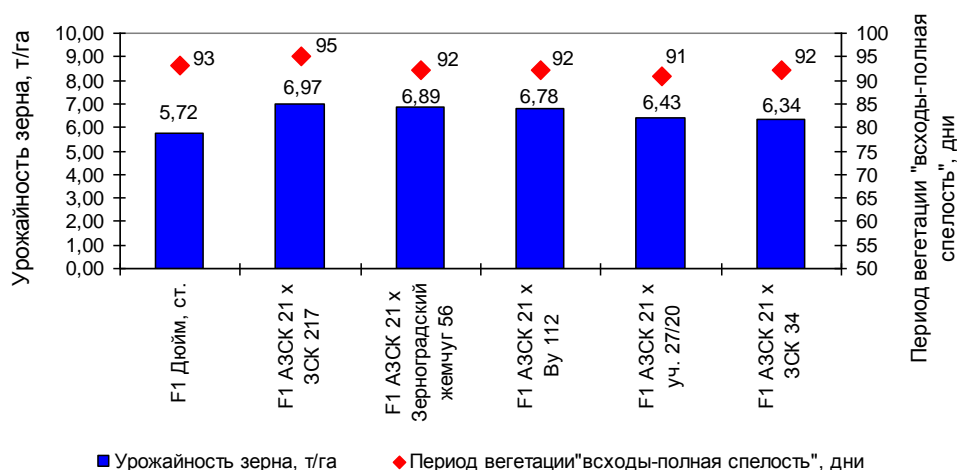


Рисунок 51 – Урожайность зерна и вегетационный период перспективных гибридов сорго зернового, 2021-2022 гг.

Гибрид F₁ АЗСК 21 × ЗСК 217 по высоте растений относится к низкорослой группе (102-110 см). Выдвинутость ножки метёлки варьирует от 3 до 8 см, длина метёлки 31-34 см, ширина – 8-9 см. Масса 1 000 зёрен составляет 28,4-32,3 г. Окраска зерновки – слоновая кость (рисунок 52). Содержание сырого белка находится на уровне 11,7%, крахмала – 72,0%, сырого жира – 4,25%, танина – 1,03%.

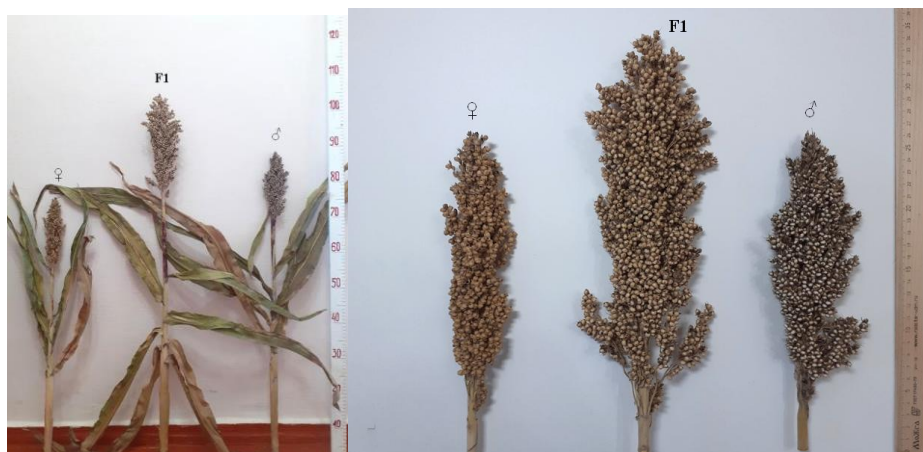


Рисунок 52 – F₁ АЗСК 21 × ЗСК 217 и родительские формы

У гибрида, созданного на основе ЦМС-линии АЗСК 21 (материнская форма) и образца Ву 112 (отцовская форма) высота растений составляет 103-115 см, выдвинутость ножки метёлки – 3-10 см, длина метёлки – 35-37 см, а её ширина – 6-7 см. Характеризуется большой массой 1 000 зёрен (31,4-35,7 г) и окраской зернов-

ки цвета слоновой кости (рисунок 53). Гибрид формирует зерновку со средним содержанием сырого белка (12,9%) и крахмала (69,4%), а также низким содержанием танина (0,73%).



Рисунок 53 – F₁ АЗСК 21 × Ву 112 и родительские формы

Гибрид F₁ АЗСК 21 x зерноградский жемчуг 56 формирует высоту растений на уровне 105-121 см, выдвинутость ножки метёлки – 6-11 см. Длина метёлки составляет 35-37 см, ширина – 7-8 см. Окраска зерновки соответствует цвету слоновой кости (рисунок 54). Масса 1 000 зёрен – 28,6-32,4 г. Характеризуется содержанием сырого белка в зерне на уровне 12,5%, содержанием крахмала – 70,9%, танина – 0,84%.



Рисунок 54 – F₁ АЗСК 21 × зерноградский жемчуг 56 и родительские формы

Высота растений у перспективного гибрида F_1 АЗСК 21 \times уч. 27/20 варьирует от 108 до 113 см, расстояние от флагового листа до первой веточки метёлки – от 2 до 8 см. Размеры метёлки: длина – 33-35 см, ширина – 6-7 см. Гибрид крупнозёрный, масса 1 000 зёрен достигает 29,6-31,0 г. Окраска зерновки – слоновой кости (рисунок 55). Отличается высоким содержанием сырого белка в зерне (13,1%), средним содержанием крахмала (69,5%) и танина (1,40%).



Рисунок 55 – F_1 АЗСК 21 \times уч. 27/20 и родительские формы

Гибрид F_1 АЗСК 21 \times ЗСК 34 имеет низкую высоту растений (99-105 см) и выдвинутость ножки метёлки – 1-3 см. Длина метёлки составляет 35-36 см, ширина – 6-7 см. Зерновка имеет окраску слоновой кости и отличается очень большой массой 1 000 зёрен (40,5 г) (рисунок 56). Отмечено накопление сырого белка на уровне 12,2%, крахмала – 72,7%, жира – 4,61%, танина – 1,30%.



Рисунок 56 – F_1 АЗСК 21 \times ЗСК 34 и родительские формы

Проведённая оценка 23 гибридов, полученных на основе новой желтозёрной ЦМС-линии АЗСК 21, показала, что гибриды с низким (9 шт. или 39,1%) и средним (9 шт. или 39,1%) содержанием танина составляют основную долю, а высоким содержанием характеризовались 5 гибридов (21,8%).

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 или закреплять стерильность пыльцы у полученных гибридов (Жукова, 2000; Жукова и др., 2021; Эльконин и др., 2022).

Доля образцов, способных восстанавливать фертильность у гибридов F_1 сорго зернового в исследованиях целого ряда учёных (Жукова, 2000; Кибальник и др., 2015; Болдырева, Бритвин, 2017 б), как правило, преобладает. Так, в работе М.П. Жуковой (2000) при создании стерильных аналогов установлено, что 45% использованных образцов зернового сорго относятся к восстановителям фертильности, 29% – к частичным восстановителям, а 26% – к закрепителям стерильности. Подобные опыты, проведённые Л.Л. Болдыревой и В.В. Бритвиным (2017 б), показали, что из 83 анализируемых образцов сорго зернового восстановители фертильности составляли 47%, закрепители стерильности – 36%, а полувосстановители – 17%. В исследованиях Кибальник О.П. и др. (2015) из 18 сортов и линий-опылителей, использованных в гибридизации, основная доля (56%) образцов являлась восстановителями фертильности, а 11% закрепителями стерильности.

По мнению Н.В. Маркина и др. (2010) одним из перспективных вспомогательных инструментов поиска растений, восстанавливающих фертильность пыльцы у гибридов F_1 , является применение ДНК-маркеров, тесно сцепленных с генами restoration of fertility (Rf). Krishnananda I. et al. (2019) также считают, что основанные на ПЦР ДНК-маркеры, связанные с генами Rf, могут использоваться в качестве инструментов-кандидатов для ускорения оценки генетической чистоты используемых для гибридизации линий.

У сорго идентифицированы гены Rf1 (Klein et al., 2001), Rf2 (Jordan et al., 2010), Rf5 (Jordan et al., 2011), Rf6 (Praveen et al., 2015 a) доминантные аллели которых, контролируют восстановление фертильности ЦМС типа А1. Исследования, направленные на выделение образцов обладающие данными генами позволят ускорить селекционную работу по созданию гибридов на стерильной основе. Для решения данной задачи проведена оценка 300 образцов сорго зернового по выявлению гена Rf1, 305 – Rf2, 313 – Rf5 и Rf6.

В исследованиях Klein R.R. et al. (2001) было установлено, что с геном восстановления фертильности Rf1 связаны маркеры Xtxa 335, Xtxp 18, Xtxp 250, Xtxp 294 и Xtxs 560. Подобные исследования Praveen M. et al. (2015 b) отмечают использования для идентификации гена Rf1 маркеров Xtxp 18, Xtxp 400 и Xtxp 406. В тоже время, в работе Gao J. et al. (2013) маркер Xtxp 18 показал высокую точность (95,098 %) и для отбора рецессивных гомозигот по гену rfl. На основе результатов ПЦР для пяти SSR-маркеров, тесно сцепленных с локусом rfl, он установил, что ни Xtxp 407, ни Xtxp 250 не могут продуцировать ожидаемые ампликоны. При этом, Xtxp 406, Xtxp 408 и Xtxp 18 были способны продуцировать целевой фрагмент. Однако, Xtxp 406 и Xtxp 408 давали слабые полосы и низкую надежность для образцов ДНК и наборов экспериментов, а Xtxp 18 эффективно амплифицировал и формировал легко распознаваемые полосы. Анализ продуктов ПЦР Xtxp 18 в 43 зародышевых плазмах сорго выявил 10 аллелей с размером продукта ПЦР 266, 262, 258, 248, 238, 236, 232, 230, 228 и 220 п.н. (обозначены от а до j). Отмечено, что аллель е (238 п.н.) ассоциирована с проявлением стерильности (rfl), а аллель j (220 п.н.) – с восстановлением фертильности (Rf1).

Для идентификации гена Rf1 нами использован диагностический маркер Xtxp18, который разработан на основе простых повторов последовательности (SSR), является полиморфным, и состоит из праймеров: F – 5' – АСТГТСТАГААСААГСТГСГ – 3', и R – 5' – ТТГСТСТАГСТАГГСАТТТС – 3' (Klein et al., 2005). Он фланкирует Rf1 на расстоянии 1,18 сМ (Klein et al., 2005; Gao et al., 2013).

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.

Пример электрофореграммы продуктов амплификации с маркером Xtxp 18 на агарозном геле представлен на рисунке 57.

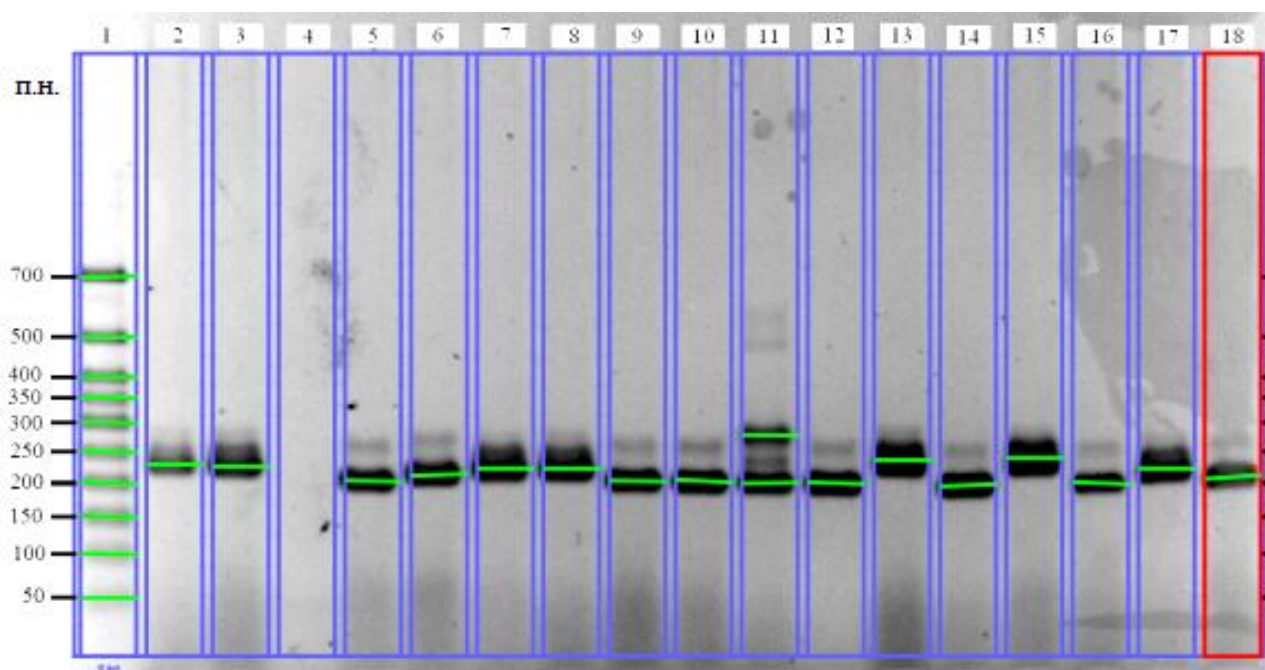


Рисунок 57 – Электрофореграмма скрининга образцов сорго зернового на наличие гена Rf1 на агарозном геле молекулярным маркером Xtxp 18

(1 - Маркер молекулярного веса Thermo Scientific Gene Ruler 50+ bp, 2 – 2018-1214, 3 – 06-2199К, 4 – H₂O деионизированная (отрицательный контроль опыта), 5 – *S bicolor* IS 2341 SPV, 6 – Pop Sorghum, 7 – Кубанское 126/01, 8 – Геническое 209, 9 – Кубанское 198/М-1, 10 – Кубанское красное 1677, 11 – Джугара карликовая, 12 – М-61134, 13 – 06-2063, 14 – КС-2 ранний, 15 – 06-2177, 16 – V4В, 17 – 06.VI. 18. RG, 18 – Лазурит)

У всех представленных образцов выявлено широкое аллельное разнообразие генотипов с ампликоном от 200 до 266 п.н.

У образцов *S. bicolor* IS 2341 SPV, Pop Sorghum, Кубанское 198/М-1, Кубанское красное 1677, М-61134, КС-2 ранний, V4В и Лазурит идентифицирован ам-

пликон размером 220 пары нуклеотидов, соответствующий аллелю j, ассоциированному с доминантным аллелем гена восстановителя фертильности Rf1. У образцов 2018-1214, 06-2199К, Кубанское 126/01, Геническое 209, 06-2063, 06-2177 выявлен ампликон размером 238 пар нуклеотидов (e), ассоциированный с рецессивным аллелем гена rf1.

Выделенные образцы могут быть использованы в селекционных программах по сорго зерновому образцы с выявленными аллелями в качестве закрепителей стерильности и восстановителей фертильности.

Ген Rf2, контролирующий фертильность у сорго, находится на хромосоме 2. Одним из маркеров, тесно сцепленным с локусом Rf2, является Xtxp 297 (Jordan et al., 2010; Krishnananda et al., 2019). Маркер Xtxp 297 состоит из двух праймеров, прямого (GACCCATATGTGGTTTAGTCGCAAAG) и обратного (GCACAATCTTCGCCTAAATCAACAAT) (Krishnananda I. et al., 2019). В исследованиях Krishnananda I. et al. (2019) при использовании данного маркера у стерильной линии выявлены ампликоны размером 185 п.н. и 190 п.н, а у восстановителей фертильности размеры ампликонов составляли 220 п.н.

Применение маркера Xtxp 297 по идентификации гена Rf2 у 305 образцов позволило выделить только 11 образцов с функциональным аллелем гена Rf2 соответствующий размеру 220 пар нуклеотидов. К образцам с ампликоном (220 п.н.) характерным для восстановителей фертильности относятся K18-1216, Славянка и Круста. Близкая по размеру аллель (200 п.н.) выявлена у сорта Премьера (рисунок 58). У остальных образцов, представленных на данном рисунке, аллелей маркера Xtxp 297 гена фертильности Rf2 не было идентифицировано.

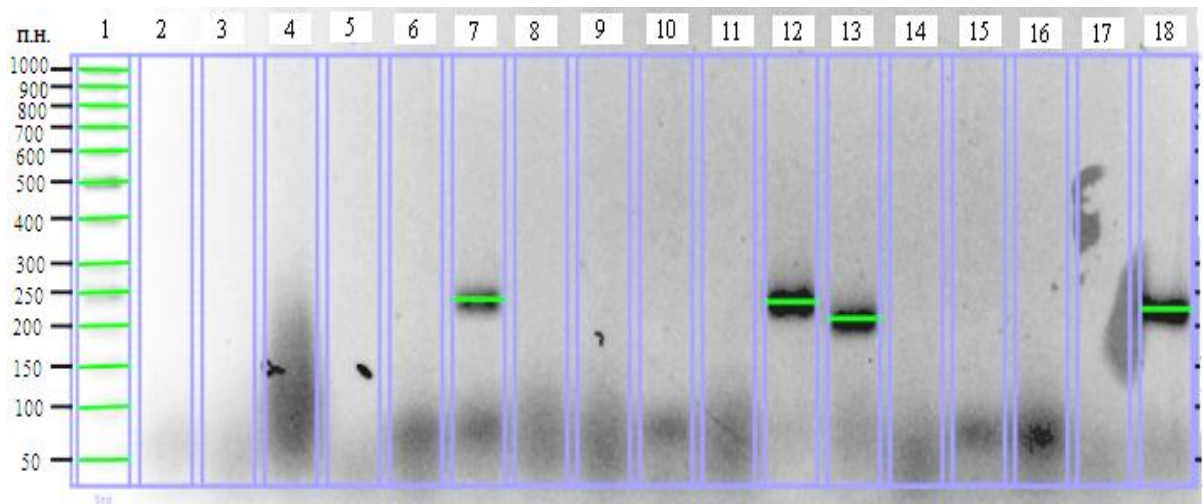


Рисунок 58 – Электрофореграмма скрининга образцов сорго зернового по определению гена Rf2 на агарозном геле молекулярным маркером Xtxp 297 (1 – Маркер молекулярного веса (M) Thermo Scientific Gene Ruler 50 bp (50-1000 п.н.), 2 – Лучистое, 3 – Зерноградское 88, 4 – K18-1213, 5 – K18-1214, 6 – K18-1215, 7 – K18-1216, 8 – Крупинка 10, 9 – Камышинское 31, 10 – Камышинское 64, 11 – Камышинское 75, 12 – Славянка, 13 – Премьера, 14 – Рось, 15 – Кинельское 63, 16 – Аюшка, 17 – Зерста 97, 18 – Круста)

К главным генам, контролирующим фертильность сорго на цитоплазме A1, также относится ген Rf5, который локализован на хромосоме SBI-05 (Jordan et al., 2011), и ген Rf6 расположенный на 4 хромосоме (Praveen et al., 2015 a).

В исследованиях Krishnananda I. et. al. (2019) из ряда проверенных SSR выделены Xnhsbm 1084 (Rf5) и SB 2386 (Rf6). Эти SSR были полиморфными и связаны с генами восстановления фертильности Rf5 и Rf6. То есть родительские формы с этими генами восстанавливали фертильность в ЦМС-линиях на основе цитоплазмы A1. По их данным у стерильной линии для SSR Xnhsbm 1084 выявлены ампликоны размером 260 п.н., а линии восстановители фертильности продуцировали 280 п.н.

В наших исследованиях для выявления гена Rf5 также был использован 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. 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 и Seso 1 (рисунок 59).

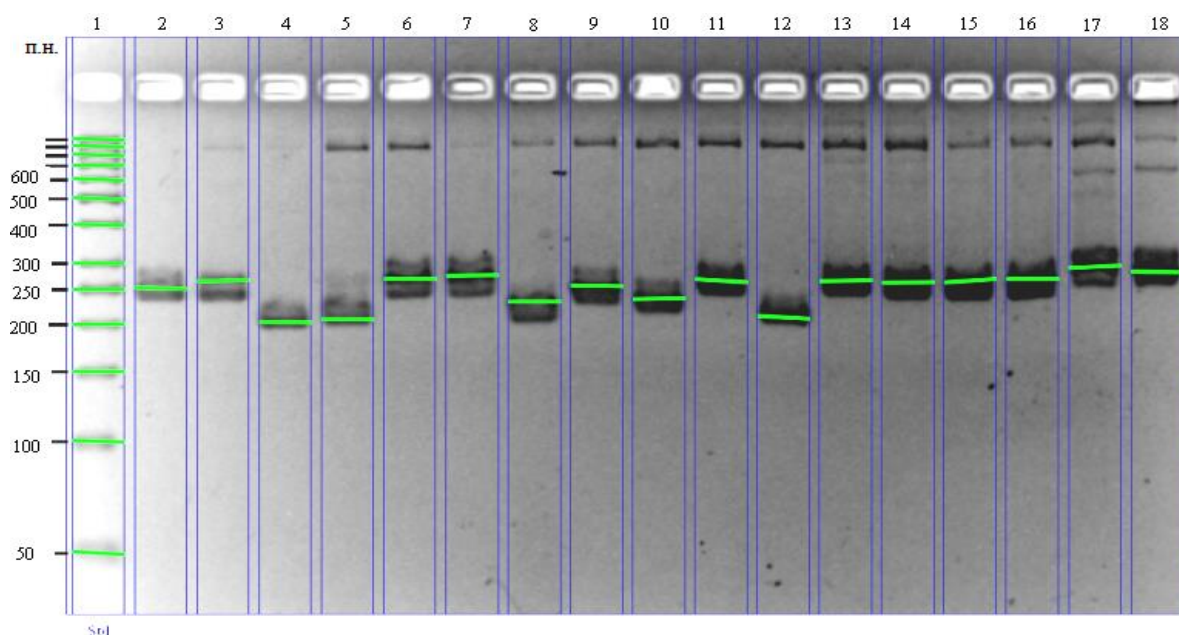


Рисунок 59 – Электрофореграмма скрининга образцов сорго зернового по идентификации гена Rf5 на агарозном геле молекулярным маркером Xnhsbm 1084

(1 – Маркер молекулярного веса Thermo Scientific Gene Ruler 50-1000 bp, 2 – ЗСК 296/17, 3 – ЗСК 298/17, 4 – ЗСК 299/17, 5 – ЗСК 300/17, 6 – ЗСК 408/17, 7 – ЗСК 425/17, 8 – К-927/07, 9 – ЗСК 814/17, 10 – ЗСК 828/17, 11 – ЗСК 838/17, 12 – ЗСК 842/17, 13 – ЗСК 404/17, 14 – Лазурит 486/17, 15 – ЗСК 231/16, 16 – Зерноградское 204/4, 17 – ЗСК 34, 18 – Seso 1)

Среди выделенных на рисунке образцов с геном Rf5 Лазурит 486/17, Зерноградское 204/4 и ЗСК 34 были использованы в гибридизации. Причём, оценка гибридов по озернённости метёлки с участием данных образцов в качестве опылителей подтвердила их восстановительную способность.

Для идентификации гена Rf6 использовался диагностический SSR-маркер SB2386.

Исследования Krishnananda I. et al. (2019), направленные на выявление гена Rf6 показали, что для SSR маркера SB 2386 использованная ими стерильная линия

амплифицирует фрагменты размером 120 п.н., 126 п.н. и 135 п.н., а восстановители фертильности – 169 п.н.

В проведённой нами работе по выявлению с помощью ПЦР-анализа гена *Rf6* выделено 186 (59,4% от 313 шт.) образцов с размером ампликона 169 пар нуклеотидов. В том числе 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 1530/15, Норд 2, 144 ф/8, ЗСК 411/16, ЗСК 500/16 (рисунок 60).

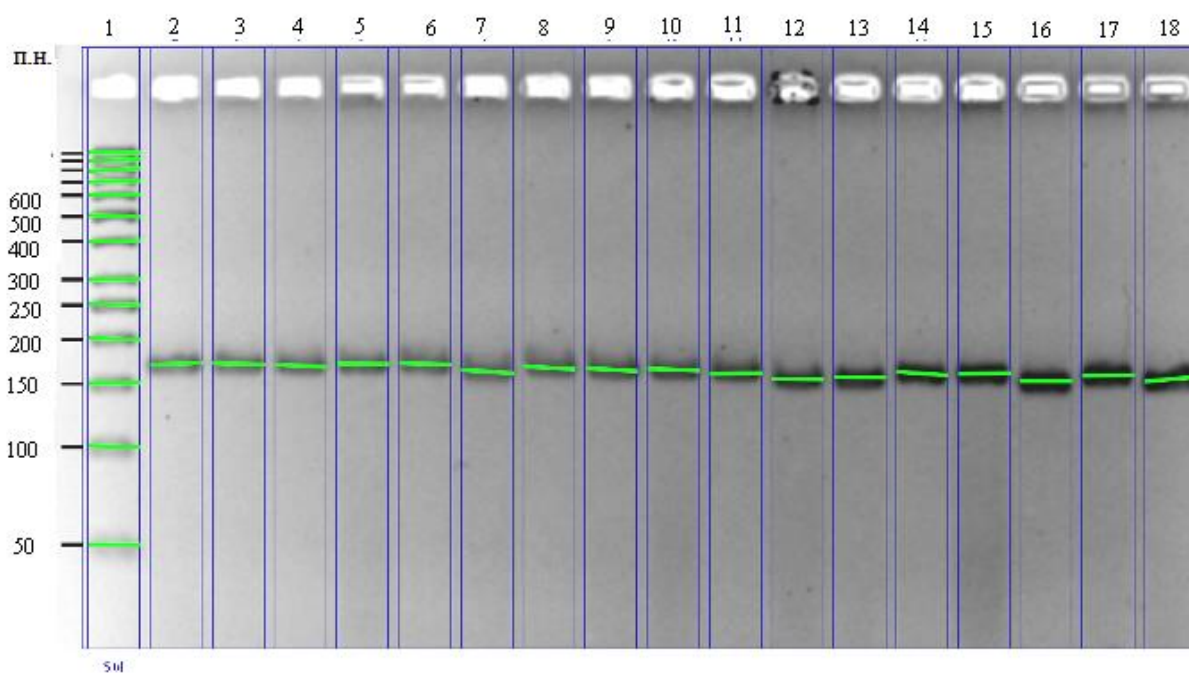


Рисунок 60 – Электрофореграмма скрининга образцов сорго зернового по идентификации гена *Rf6* на агарозном геле молекулярным маркером SB 2386 (1 – Маркер молекулярного веса Thermo Scientific Gene Ruler 50-1000 bp, 2 – ЗСК 163/17, 3 – ЗСК 176/16, 4 – ЗСК 196/17, 5 – Ринг 28, 6 – ЗСК-4, 7 – Скороспелое 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)

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 (Rf1Rf1Rf2Rf2Rf6Rf6), ЗСК 176/17 и СПЗС-6 (Rf1Rf1Rf5Rf5Rf6Rf6).

Использование ДНК-маркеров в подборе отцовских форм для создания гетерозисных гибридов позволит ускорить селекционную работу в данном направлении.

ГЛАВА 5 СЕЛЕКЦИЯ СОРГО ЗЕРНОВОГО НА ФЕРТИЛЬНОЙ ОСНОВЕ

Ведущая роль в повышении урожайности и улучшении качества продукции отводится селекции. При этом, основное место в селекционной работе принадлежит гибридизации и отбору, с помощью которых проводится целенаправленная работа по созданию новых форм, обладающих комплексом хозяйственно-ценных признаков и свойств (Костылев и др., 2004).

5.1 Подбор родительских пар для гибридизации контрастных по морфологическим признакам и биологическим свойствам, выявление закономерностей их наследования

С целью создания новых сортов сорго зернового ежегодно проводилась гибридизация в объёме от 70 до 90 комбинаций. Для повышения эффективности проводимых скрещиваний одной из основных задач наших исследований являлось выявление закономерностей наследования и количества главных генов, которые контролируют количественные признаки и свойства (длина метёлки, масса 1000 зерен, содержание сырого белка, крахмала, лизина в белке) прямо или косвенно влияющие на урожайность и качество зерна.

Для анализа были взяты гибриды первого и второго поколения, полученные между контрастными по фенотипу образцами.

5.1.1 Закономерности наследования длины метёлки

Изучение 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 «длина метелки», в 3 – частичное или неполное доминирование большего, а в 1 – неполное доминирование меньшего значения признака (приложение 8, 9).

Положительные значения истинного гетерозиса проявились в 15 гибридных комбинациях, гипотетического – в 18.

В результате сравнительного анализа гибридов второго поколения было установлено, что образцы Sb-126/4 и 144 ф/8 не различались между собой по аллельному состоянию генов, так как кривые распределения родительских форм и гибрида практически совпадали (рисунок 61).

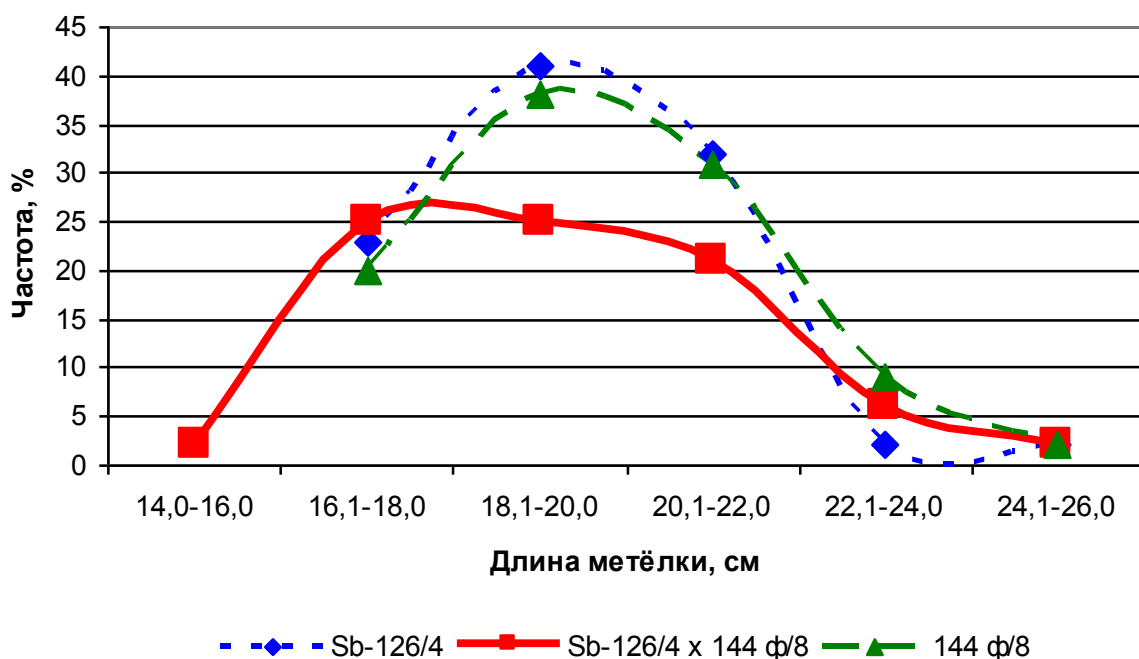


Рисунок 61 – Распределение частот значений признака «длина метёлки» у родительских форм и гибрида F_2 Sb-126/4 \times 144 ф/8, 2011 г.

Сопоставление исходных образцов Sb-126/4 и 144 ф/8 с другими родительскими формами позволило выявить более существенные различия. Анализ гибридной комбинации, полученной от скрещивания образца 144 ф/8, использованного в качестве материнской формы и сорта зерноградское 204 – в качестве опылителя – показал отличие по одной паре генов. Расщепление происходило в соотношении 1:2:1 (рисунок 62). 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 снос.

Подобный тип наследования отмечен у гибрида F_2 Sb-126/4 \times зерноградское 204, а также в её реципрочной комбинации (F_2 зерноградское 204 \times Sb-126/4). Сила гена в этом случае равнялась 4,04 см.

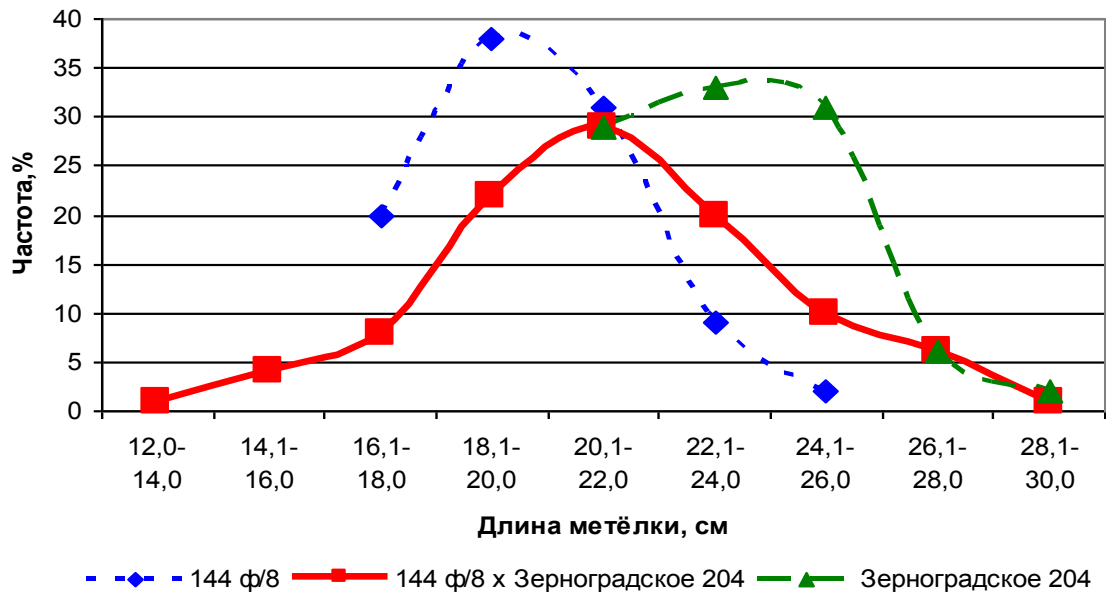


Рисунок 62 – Распределение частот значений признака «длина метёлки» у родительских форм и гибрида F_2 144 ф/8 \times зерноградское 204, 2011 г.

Привлечение в гибридизацию образцов СПЗС-11 и зерноградское 204, различающихся по длине метёлки в большей степени (средняя длина метёлки образца зерноградское 204 – 23,9 см, СПЗС-11 – 36,1 см), позволило выявить у гибрида F_2 СПЗС-11 \times зерноградское 204 расщепление в соотношении 1:2:2:2:4:2:2:1 (рисунок 63). Данное соотношение указывает на различие родительских форм по двум парам генов. Кривая распределения частот признака имела левостороннюю асимметрию ($As = -0,241$). Сила одного гена соответствовала 6,1 см. Такое же расщепление отмечено в обратной комбинации.

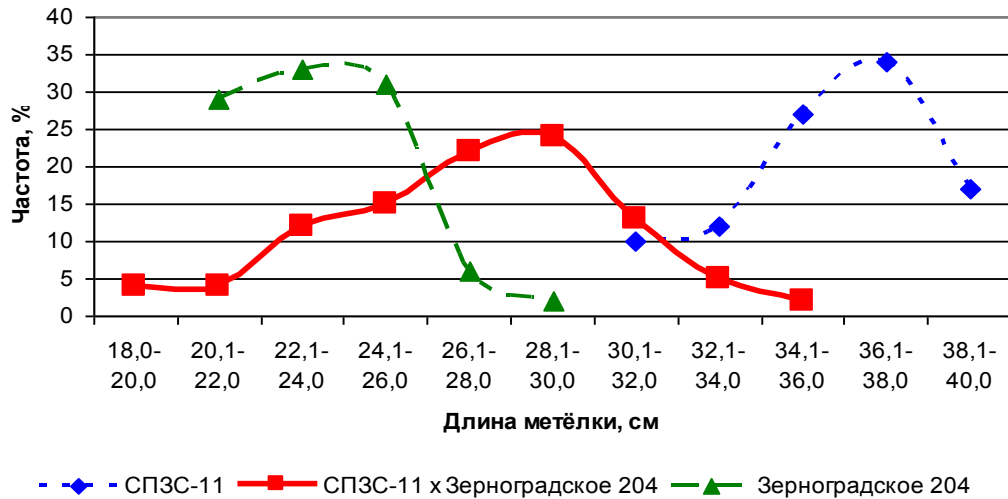


Рисунок 63 – Распределение частот значений признака «длина метёлки» у родительских форм и гибрида F_2 СПЗС-11 × Зерноградское 204, 2011 г.

Тригибридное расщепление установлено в комбинациях, полученных в результате скрещивания 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 64). Сила действия гена равна 5,4 см.

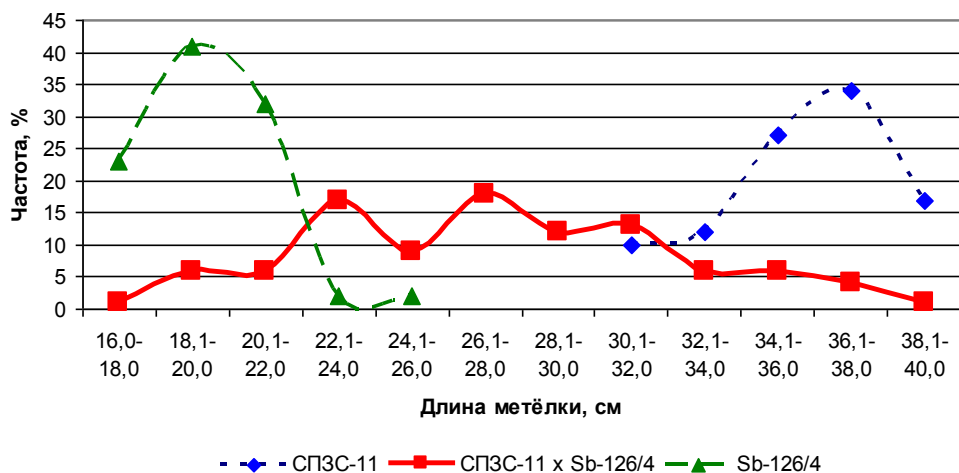


Рисунок 64 – Распределение частот значений признака «длина метёлки» у родительских форм и гибрида F_2 СПЗС-11 × Sb-126/4, 2011 г.

Такой же тип наследования отмечен в обратной комбинации – F_2 Sb-126/4 × СПЗС-11. Однако, в данном случае проявилось частичное доминирование меньших значений признака ($h_p = -0,35$).

Генетический анализ гибридов, полученных в результате проведённых по диаллельной схеме скрещиваний между образцами Sb-126/4, 144 ф/8, Зерноградское 204 и СПЗС-11, выявил как отсутствие различий по длине метёлки, так и различия в 1-3 гена (рисунок 65).

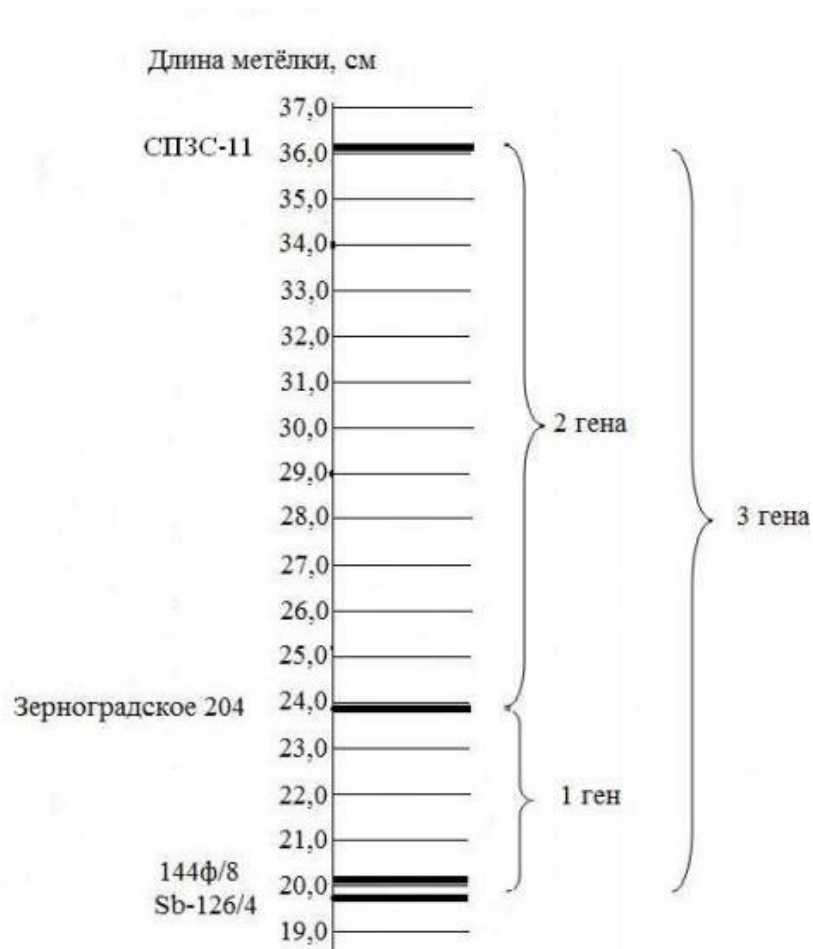


Рисунок 65 – Генотипические различия родительских форм СПЗС-11, Зерноградское 204, 144 ф/8 и Sb-126/4 по признаку «длина метёлки», 2011 г.

С целью выявления закономерностей наследования данного признака для второй диаллельной схемы 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).

Проведённый генетический анализ с помощью программы Полиген А выявил моногенное наследование в реципрокных комбинациях F_2 Белозёрное 100 × Отбор 100, F_2 ЗСК-4 × Отбор 100 и F_2 34045 × ЗСК-4.

Кривая распределения частот значений признака гибрида F_2 Белозёрное 100 × Отбор 100 характеризовалась небольшой правосторонней асимметрией ($A_s = 0,16$), вершина находилась между вершинами родительских форм (рисунок 66). Степень доминирования ($h_p = 0,55$) указывает на неполное доминирование большего значения признака. На долю гибрида приходится по 1/4 частот родительских форм, что свидетельствует о расщеплении в соотношении 1:2:1. Сила гена равняется 5 см.

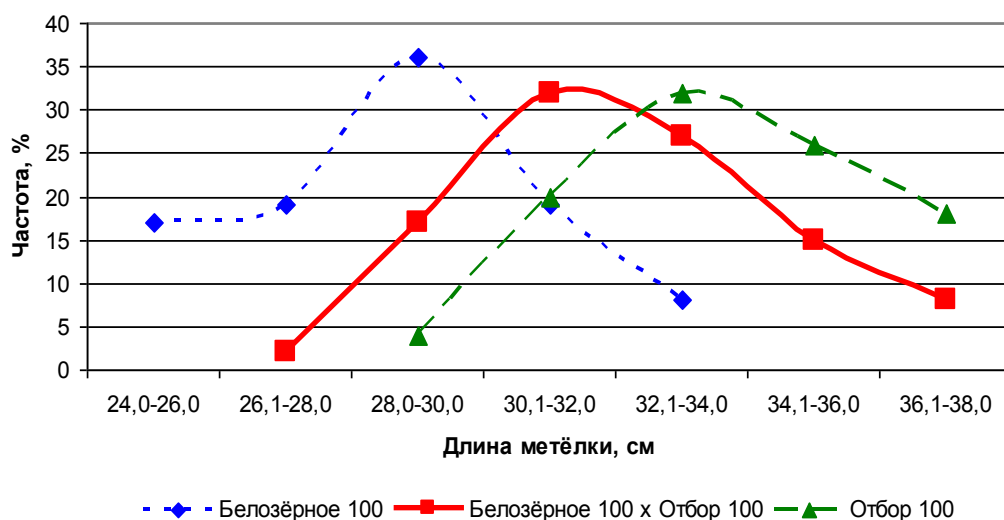


Рисунок 66 – Распределение частот значений признака «длина метёлки» у родительских форм и гибрида F_2 Белозёрное 100 × Отбор 100, 2011 г.

Подобный характер наследования отмечен также в прямой и обратной комбинации F_2 ЗСК-4 × Отбор 100.

Различия родительских форм по одной паре генов также наблюдались в комбинации F_2 34045 × ЗСК-4 (рисунок 67). Однако, у данного гибрида кривая распределения частот имела правостороннюю асимметрию ($A_s = 0,61$), а вершина близка к вершине кривой родительской формы 34045, что указывает на доминирование меньших значений признака ($h_p = -0,68$). На долю опылителя ЗСК-4 при-

ходится около 25% частот значений гибрида, соответствующее распределению в соотношении 3:1. Сила гена составила 2,0 см. Такое же расщепление выявлено в реципрокной комбинации (F_2 ЗСК-4 \times 34045).

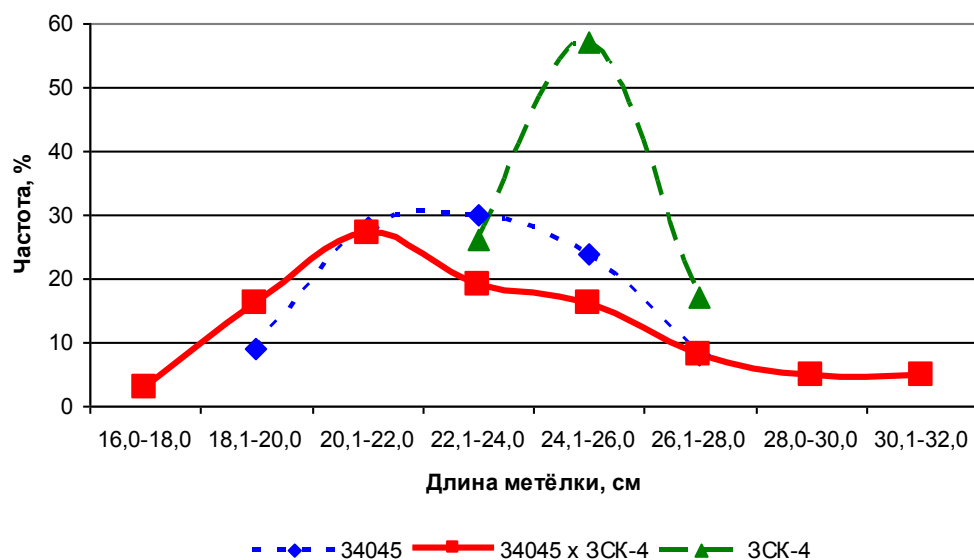


Рисунок 67 – Распределение частот значений признака «длина метёлки» у родительских форм и гибрида F_2 34045 \times ЗСК-4, 2011 г.

Дигенное наследование проявилось в прямых и обратных комбинациях, полученных в результате скрещивания образцов Отбор 100 и ЗСК-4, а также в комбинации 34045 \times Белозёрное 100.

Типичным примером расщепления по двум парам генов является гибридная комбинация F_2 Отбор 100 \times ЗСК-4. Кривая распределения частот гибрида располагалась в пределах распределения частот признака родительских образцов с незначительным количеством выщепившихся форм с более короткой метёлкой, чем у образца ЗСК-4. Кроме того, она характеризуется правосторонней асимметрией ($A_s = 0,35$), а степень доминирования ($h_p = -0,28$) указывает на частичное доминирование меньших значений признака. Расщепление происходило в соотношении 1:4:6:4:1 (рисунок 68). Сила одного гена соответствовала 4,4 см.

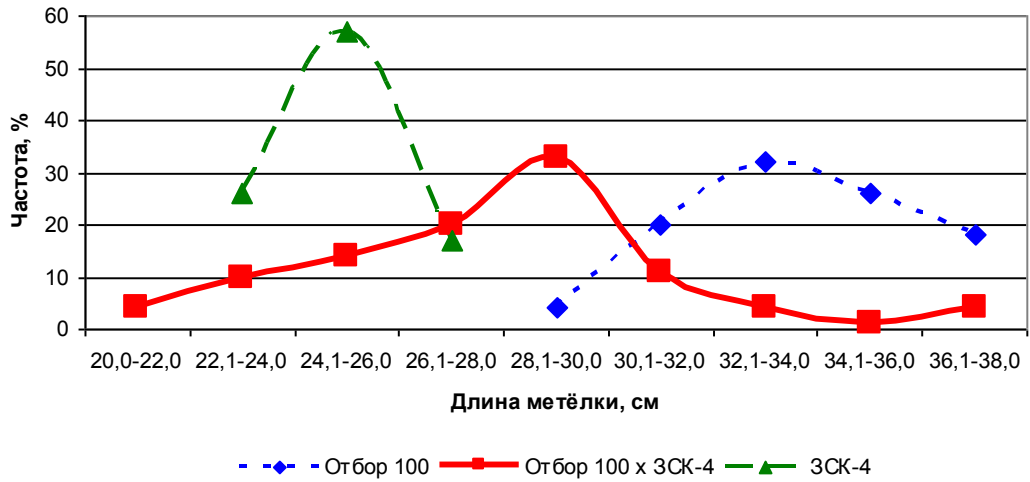


Рисунок 68 – Распределение частот значений признака «длина метёлки» у родительских форм и гибрида F_2 Отбор 100 × ЗСК-4, 2011 г.

Тригибридное расщепление в соотношении 1:6:15:20:15:6:1 выявлено в прямой и обратной комбинации F_2 34045 × Отбор 100. Вершина кривой распределения частот значений гибрида F_2 34045 × Отбор 100 смещена в сторону родительской формы с наибольшим значением признака (Отбор 100) (рисунок 69).

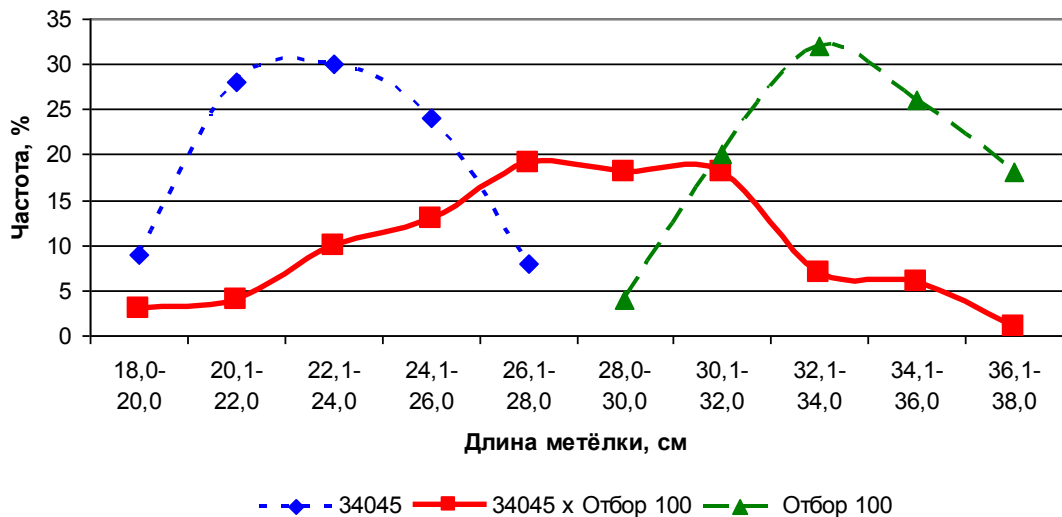


Рисунок 69 – Распределение частот значений признака «длина метёлки» у родительских форм и гибрида F_2 34045 × Отбор 100, 2011 г.

На доминирование образца Отбор 100, обладающего более длинной метёлкой, указывает степень доминирования, равная 0,4. Замена рецессивной аллели на доминантную способствует увеличению среднего значения признака на 3,6 см.

Привлечение в гибридизацию образцов Отбор 100, Белозёрное 100, ЗСК-4, 34045 и последующий генетический анализ гибридов с помощью компьютерной программы Полиген А позволило выявить различия между родительскими формами по 1-3 генам (рисунок 70).

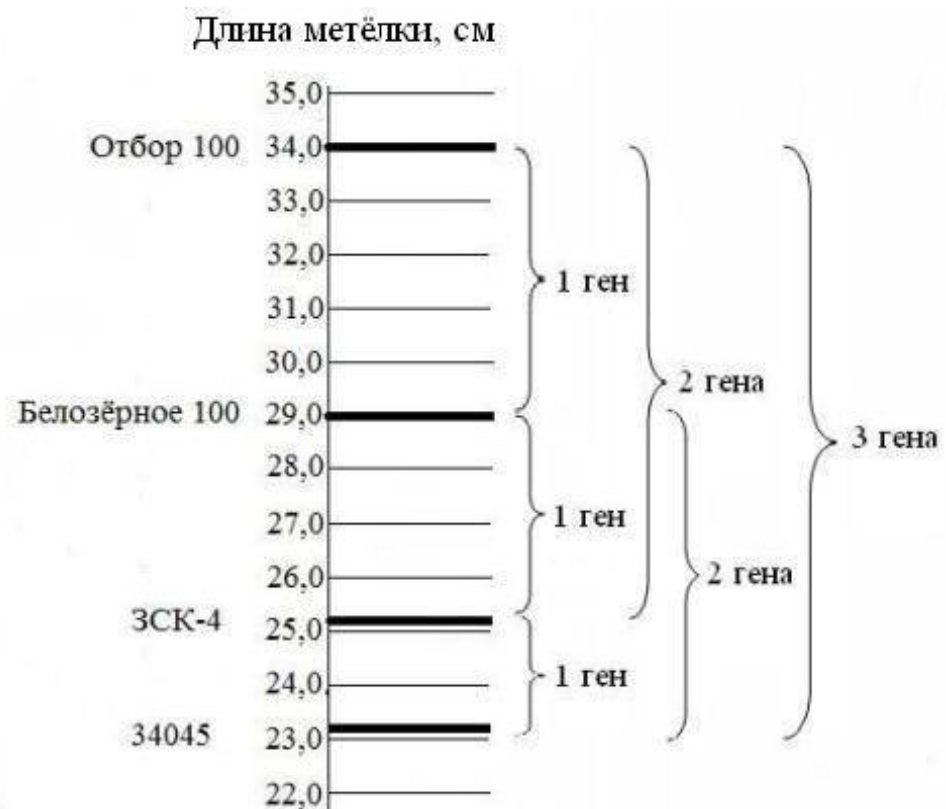


Рисунок 70 – Генотипические различия родительских форм Отбор 100, Белозёрное 100, ЗСК-4 и 34045 по признаку «длина метёлки», 2011 г.

Таким образом, на основе проведённых исследований установлено отсутствие различий у изученных образцов по признаку «длина метёлки» или различия по одной – трём парам генов, что позволяет в большинстве случаев проводить комбинирование с генами других количественных признаков.

5.1.2 Закономерности наследования массы 1 000 зёрен

Исследования, направленные на изучение наследования массы 1 000 зерен 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 ($h_p = -1,4- -2,8$) (приложение 10).

Анализ массы 1000 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 различия между ними не более чем в 2 гена (рисунок 71).

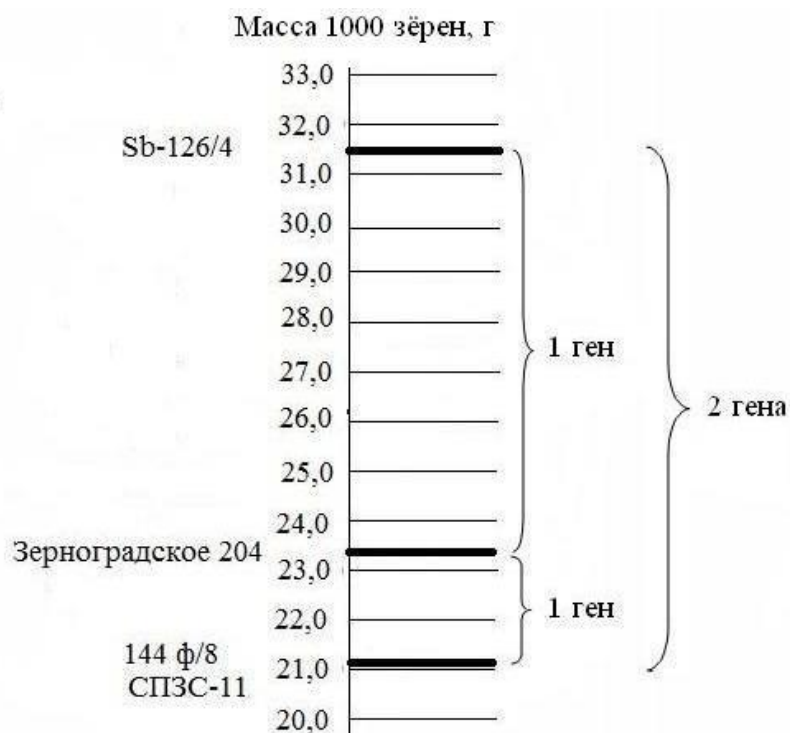


Рисунок 71 – Генотипические различия родительских форм СПЗС-11, Зерноградское 204, 144 ф/8 и Sb-126/4 по признаку «масса 1 000 зёрен», 2011 г.

В результате привлечения в гибридизацию образцов СПЗС-11 и 144 ф/8 с одинаковой массой 1 000 зёрен (21,0 г) и последующего изучения данного признака у гибрида F_2 СПЗС-11 \times 144 ф/8 установлено отсутствие различий между родителями по генотипу. Отмечено близкое расположение частот распределения значений признака исходных форм и гибрида (рисунок 72).

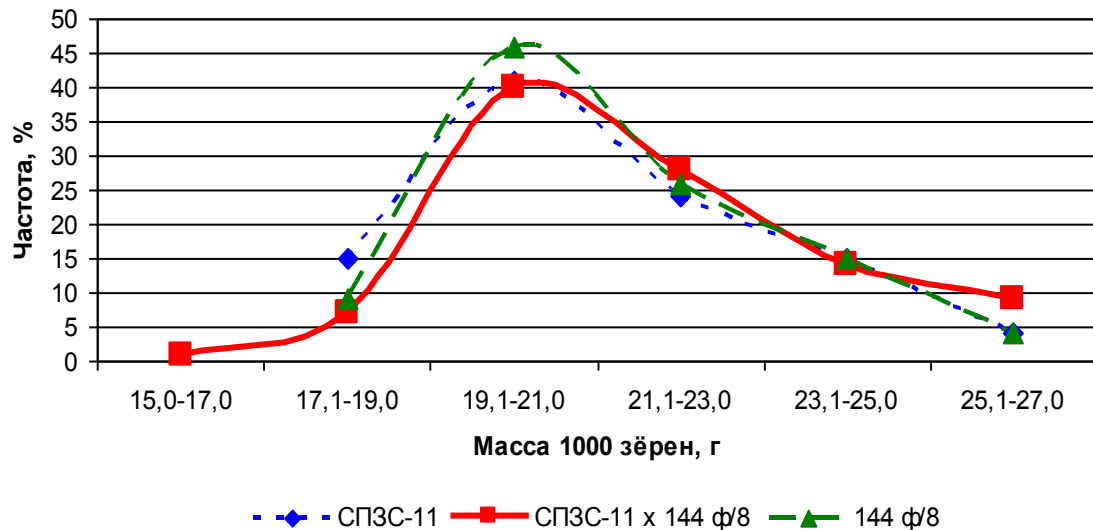


Рисунок 72 – Распределение частот значений признака «масса 1000 зёрен» у родительских форм и гибрида F_2 СПЗС-11 \times 144 ф/8, 2011 г.

Моногенное наследование проявилось в реципрокных комбинациях, полученных в результате скрещивания родительской формы Зерноградское 204 с образцами СПЗС-11 и 144 ф/8, а также с крупнозёрной формой Sb-126/4.

В комбинации F_2 СПЗС-11 \times Зерноградское 204 кривая распределения частот имела правостороннюю асимметрию ($A_s = 0,25$). Степень доминирования ($h_p = -0,12$) указывает на частичное доминирование меньших значений признака, а сопоставление краевых частот гибрида и исходных форм показало отличие между родительскими образцами по одной паре генов с расщеплением в соотношении 1:3 (рисунок 73). Сила гена составила 2,2 г.

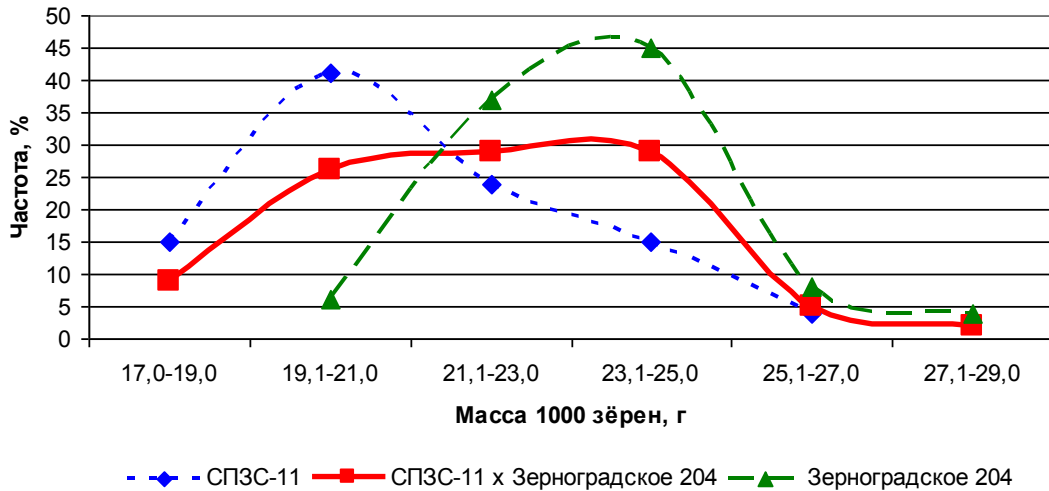


Рисунок 73 – Распределение частот значений признака «масса 1000 зёрен» у родительских форм и гибрида F_2 СПЗС-11 × Зерноградское 204, 2011 г.

Генетический анализ гибридов от скрещивания образцов СПЗС-11 и 144 ф/8, имеющих массу 1 000 зёрен 21 г, с образцом Sb-126/4, формирующим зерновку со средней массой 1 000 зёрен 31,5 г, показал различия между исходными формами по 2 парам генов. Так, у гибрида F_2 СПЗС-11 × Sb-126/4 степень доминирования составила -0,28, что говорит о неполном доминировании значений меньшей родительской формы СПЗС-11. Расщепление происходило в соотношении 1:4:6:4:1 (рисунок 74). Сила одного гена соответствует 5,2 г.

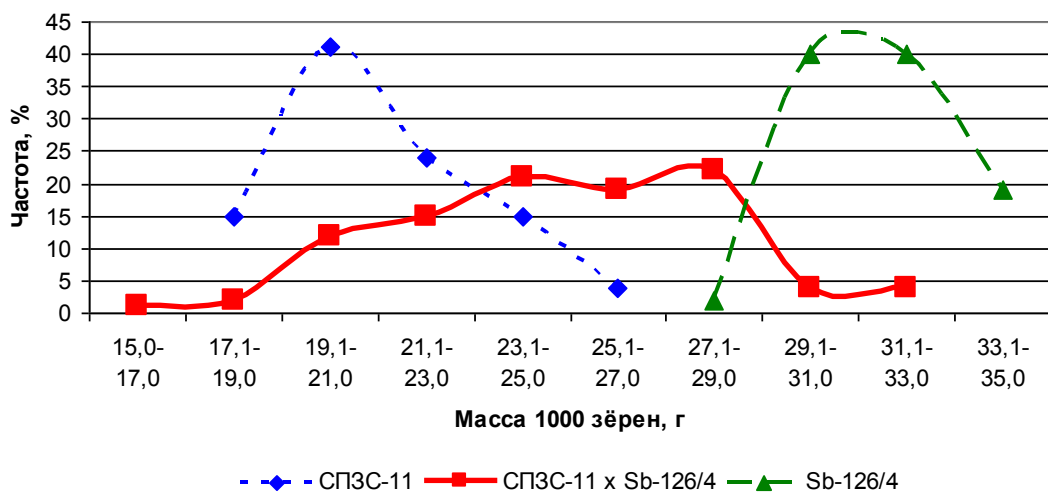


Рисунок 74 – Распределение частот значений признака «масса 1000 зёрен» у родительских форм и гибрида F_2 СПЗС-11 × Sb-126/4, 2011 г.

Изучение гибридов F_2 во второй диаллельной схеме с участием образцов 34045, ЗСК-4, Белозёрное 100, Отбор 100 показало, что моногибридное расщепление по признаку «масса 1 000 зёрен» проявилось в реципрокных комбинациях F_2 34045 \times ЗСК-4, F_2 ЗСК-4 \times Белозёрное 100, а также F_2 Белозёрное 100 \times Отбор 100.

Так, в комбинации F_2 34045 \times ЗСК-4, полученной в результате скрещивания материнской формы 34045 с малой массой 1 000 зёрен (18,1 г) и отцовского образца ЗСК-4 со средней массой 1 000 зёрен (21,1 г) отмечено неполное доминирование ($h_p = 0,52$) больших значений признака. На долю меньшей родительской формы 34045 приходится около 25% частот гибрида. Расщепление происходит в соотношении 1:3 (рисунок 75). Сила гена равна 3,0 г.

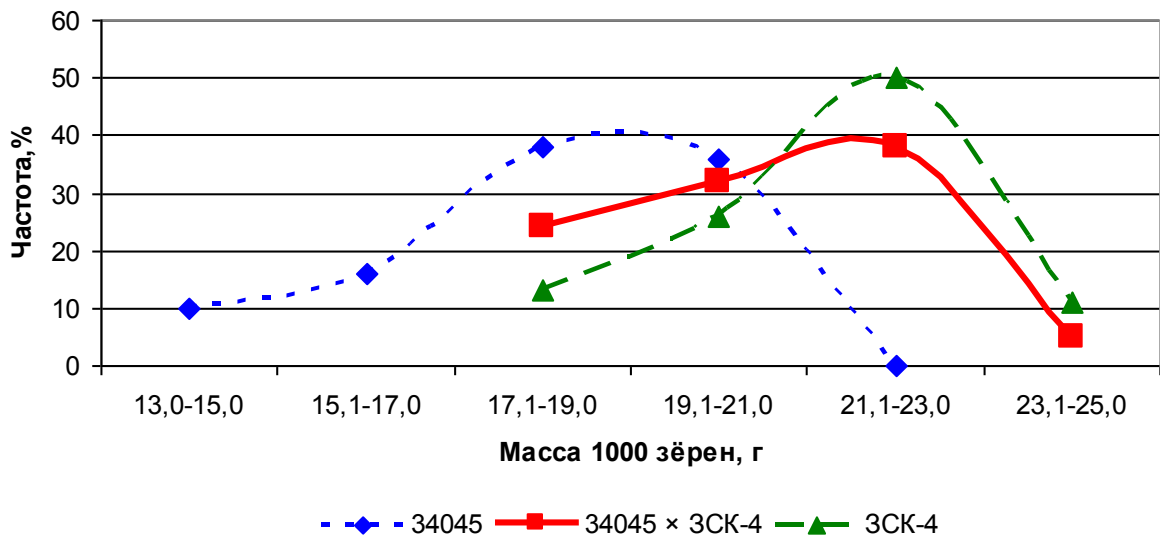


Рисунок 75 – Распределение частот значений признака «масса 1000 зёрен» у родительских форм и гибрида F_2 34045 \times ЗСК-4, 2011 г.

Дигенное наследование отмечено в гибридной комбинации F_2 34045 \times Белозёрное 100. Кривая распределения частот гибрида характеризуется правосторонней асимметрией ($A_s = 0,72$), а степень доминирования ($h_p = 0,13$) указывает на частичное доминирование родительской формы (Белозёрное 100) с большими

значениями массы 1 000 зёрен. Расщепление соответствует 1:4:6:4:1 (рисунок 76).

Сила одного гена составляет 3,3 г.

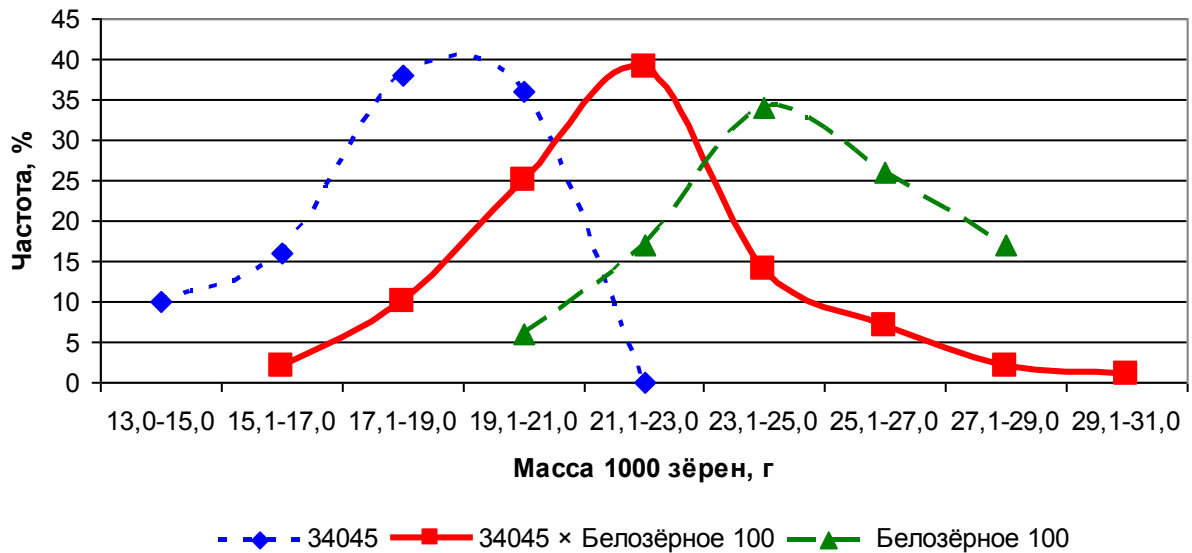


Рисунок 76 – Распределение частот значений признака «масса 1 000 зёрен» у родительских форм и гибрида F_2 34045 × Белозёрное 100, 2011 г.

Подобный тип наследования с расщеплением по 2 парам генов проявился в реципрокных комбинациях F_2 ЗСК-4 × Отбор 100. Однако, у гибрида F_2 ЗСК-4 × Отбор 100 отмечено неполное доминирование большего значения признака ($h_p = 0,9$), а в обратной комбинации (F_2 Отбор 100 × ЗСК-4) – неполное доминирование меньшего значения признака ($h_p = -0,6$).

Тригибридное расщепление установлено у гибридов F_2 Отбор 100 × 34045 и F_2 34045 × Отбор 100. При этом, в первом случае наблюдалось доминирование больших значений признака ($h_p = 0,7$), во-втором – отсутствие доминирования ($h_p = 0$). Анализ гибрида F_2 Отбор 100 × 34045 с помощью компьютерной программы Полиген А позволило выявить расщепление в соотношении 1:9:27:27, а также проявление в кривой распределения частот гибрида левосторонней асимметрии (рисунок 77). Сила одного гена равна 2,4 г.

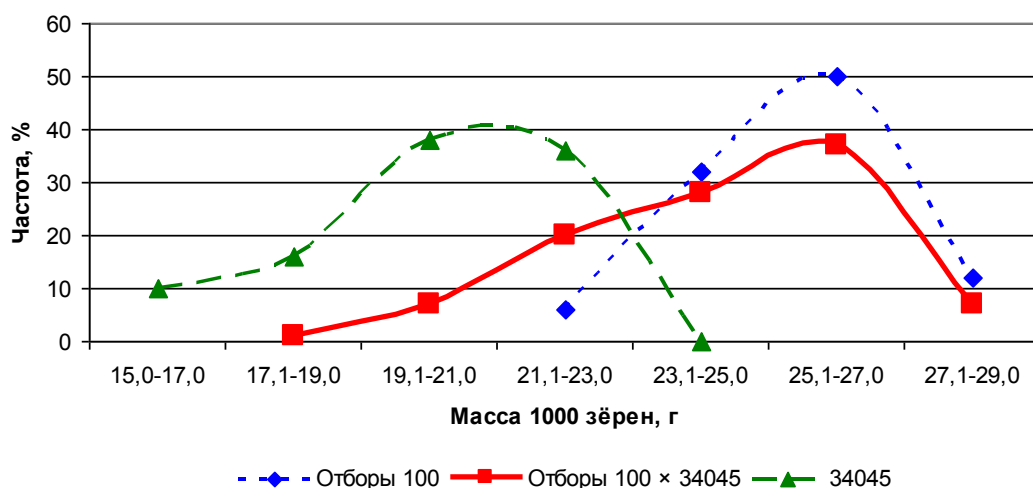


Рисунок 77 – Распределение частот значений признака «масса 1000 зёрен» у родительских форм и гибрида F₂ Отбор 100 × 34045, 2011 г.

Анализ гибридов, полученных во второй диаллельной схеме, позволил выявить различия по признаку «масса 1 000 зёрен» между родительскими формами в 1-3 гена (рисунок 78). При этом, сила одного гена варьировала от 0,8 до 3,5 г.

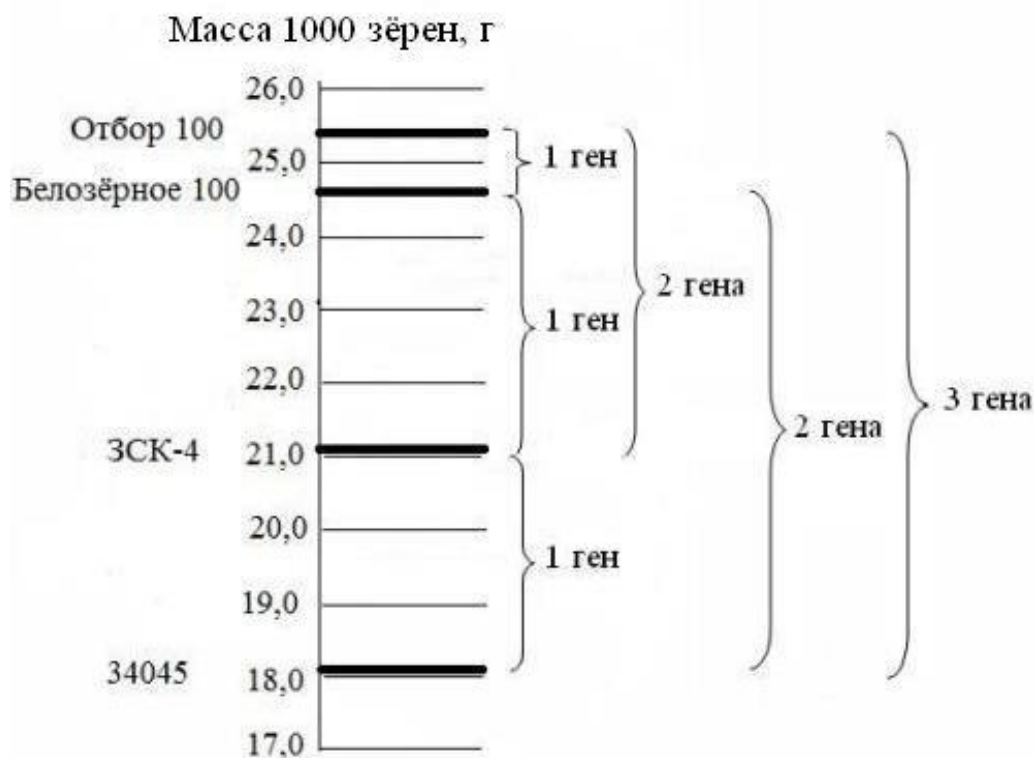


Рисунок 78 – Генотипические различия родительских форм Отбор 100, Белозёрное 100, ЗСК-4 и 34045 по признаку «масса 1 000 зёрен», 2011 г.

Селекционная работа по созданию новых более крупнозёрных сортов сорго зернового будет в большей степени эффективной, если опирается на информацию о закономерностях наследования этого признака.

5.1.3 Закономерности наследования содержания сырого белка

В результате гибридологического анализа полученных данных гибридов второго поколения по содержанию сырого белка в зерне были построены и сопоставлены между собой графики распределения частот данного признака. В первой диаллельной схеме в гибридизацию привлечены образцы со средним содержанием сырого белка в зерне 13,9% (144 ф/8), 14,3% (Зерноградское 204), 16,8% (СПЗС-11), 17,1% (Sb-126/4). Установлено, что между этими образцами проявляется взаимодействие 3 генов, условно обозначенных А, В и С.

Сравнительный анализ частот распределения признака у гибрида F₂ 144 ф/8 × Зерноградское 204, а также родительских форм 144 ф/8 и Зерноградское 204 показал отсутствие различий между исходными формами по аллельному состоянию генов, отвечающих за содержание сырого белка в зерне, так как кривые родителей и гибрида, а также их вершины были близки (рисунок 79).

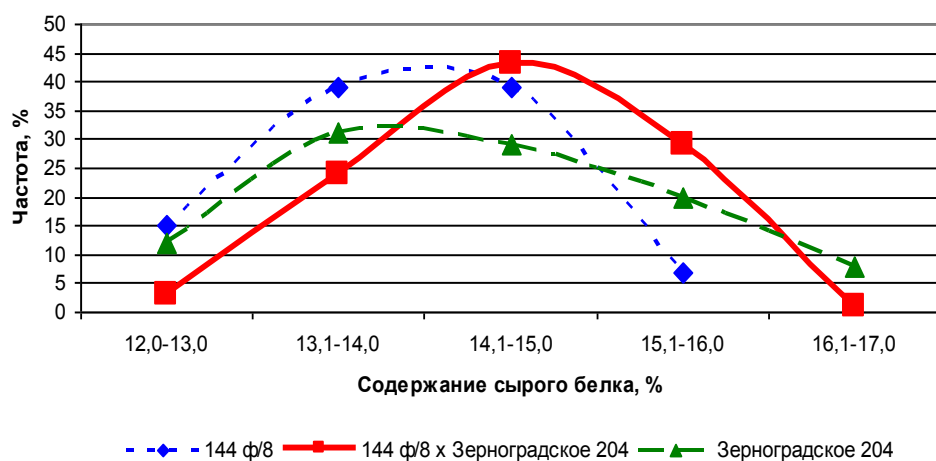


Рисунок 79 – Распределение частот по содержанию сырого белка в зерне сорго у родительских форм и гибридов F₂ 144 ф/8 × Зерноградское 204, 2011 г.

Таким образом, оба образца с наименьшим содержанием сырого белка 144 ф/8 и Зерноградское 204 имеют в своём генотипе три доминантных аллеля ААВ-ВСС.

Детальное рассмотрение частот распределения реципрокных гибридов F_2 СПЗС-11 \times Sb-126/4 и F_2 Sb-126/4 \times СПЗС-11 с помощью компьютерной программы Полиген А позволило установить различия между исходными родительскими формами по 2 генам. Каждый из родительских образцов имеет в своём генотипе по одному доминантному гену. Предполагается, что образец Sb-126/4 имеет гены ААbbсс, а другой родитель (СПЗС-11) – aaВВсс. Скрещивание образцов Sb-126/4 и СПЗС-11 привело к проявлению эффекта, в результате которого произошло выщепление трансгрессивных форм, несущих гены А и В в доминантном состоянии. Наличие двух доминантных генов приводит к снижению содержания сырого белка у большинства форм полученных гибридов по сравнению с родительскими образцами. Расщепление происходит в соотношении 15:1 (рисунок 80). Сила действия одного гена составляет 0,15%.

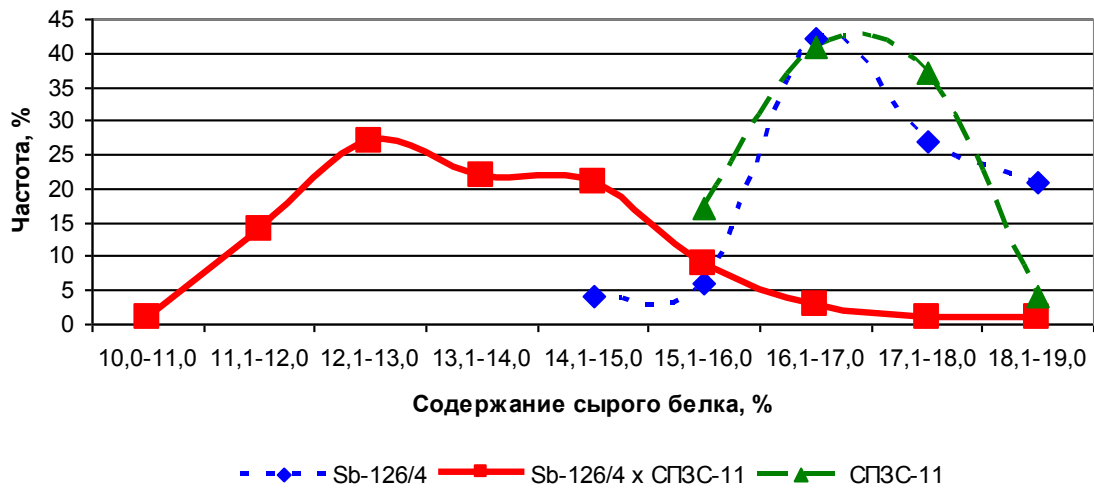


Рисунок 80 – Распределение частот по содержанию сырого белка в зерне сорго у родительских форм и гибридов F_2 Sb-126/4 \times СПЗС-11, 2011 г.

Дигенные различия исходных форм отмечены также в комбинациях, полученных в результате гибридизации очень высокобелковых образцов (содержание

сырого белка $>15,5\%$) Sb-126/4 (AAbbcc) и СПЗС-11 (aaBBcc) с образцами 144 ф/8 (AABBCC) и Зерноградское 204 (AABBCC), имеющих меньшее содержание сырого белка (13,9-14,3%). Например, в комбинации F_2 СПЗС-11 \times Зерноградское 204 среднее значение гибрида приближается к среднему значению меньшей родительского образца и составляет 14,5%. Кривая характеризуется правосторонней асимметрией ($As = 0,49$), и находится в пределах частот значений обоих родителей. Наблюдается доминирование меньшего значения ($hp = 0,6$) признака. Расщепление соответствует соотношению 15:1 (рисунок 81).

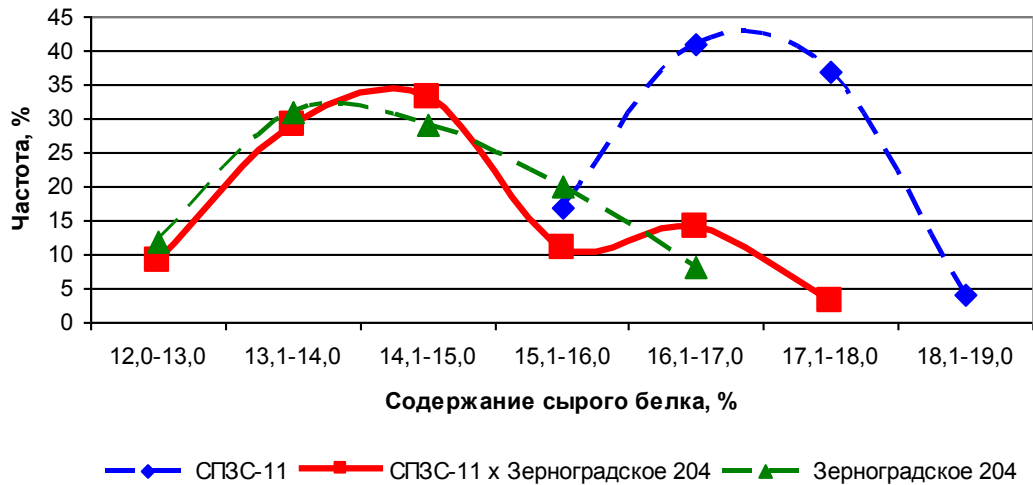


Рисунок 81 – Распределение частот по содержанию сырого белка в зерне сорго у родительских форм и гибридов F_2 СПЗС-11 \times Зерноградское 204, 2011 г.

Суммирование полученных данных позволило составить схематическое изображение генотипических различий родительских форм 144 ф/8, Зерноградское 204, СПЗС-11 и Sb-126/4 по содержанию сырого белка. В данной диаллельной схеме выявлено взаимодействие трёх генов с различным аллельным состоянием (рисунок 82).

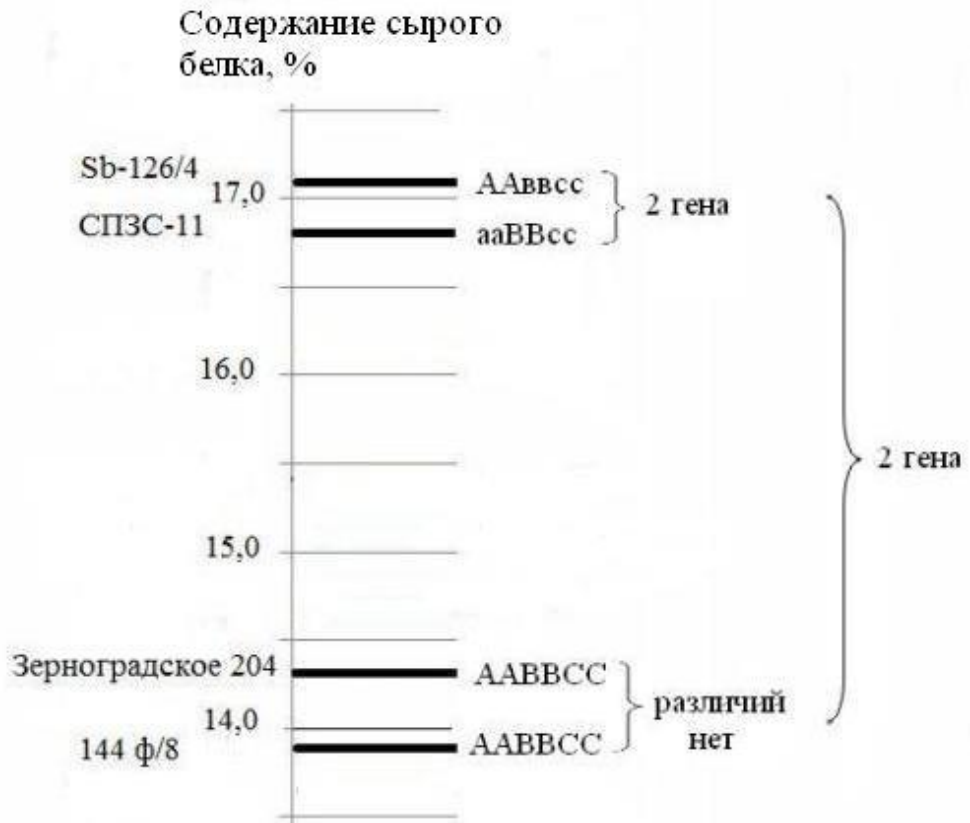


Рисунок 82 – Генотипические различия родительских форм СПЗС-11, Зерноградское 204, 144 ф/8 и Sb-126/4 по содержанию сырого белка в зерне, 2011 г.

Во второй диаллельной схеме в реципрокных комбинациях F_2 от скрещивания родительских образцов Белозёрное 100 и ЗСК-4 отмечено моногенное наследование сырого белка с полным доминированием большего значения признака и проявлением трансгрессивных форм. В комбинации Белозёрное 100 \times ЗСК-4 вершина распределения частот признака находилась в одном классе с родительской формой Белозёрное 100, то есть наблюдалось доминирование большего значения признака с проявлением трансгрессивных форм ($h_r = 1,21$). На долю рецессивного родителя (ЗСК-4) приходилось примерно 25% частот кривой распределения частот гибрида, что свидетельствует о распределении фенотипов в соотношении 1:3 (рисунок 83). Подобный тип наследования (1:3) отмечен и в обратной комбинации ЗСК-4 \times Белозёрное 100. Здесь также отмечено сверхдоминирование ($h_r = 1,23$). Сила гена (d) составила 0,53%.

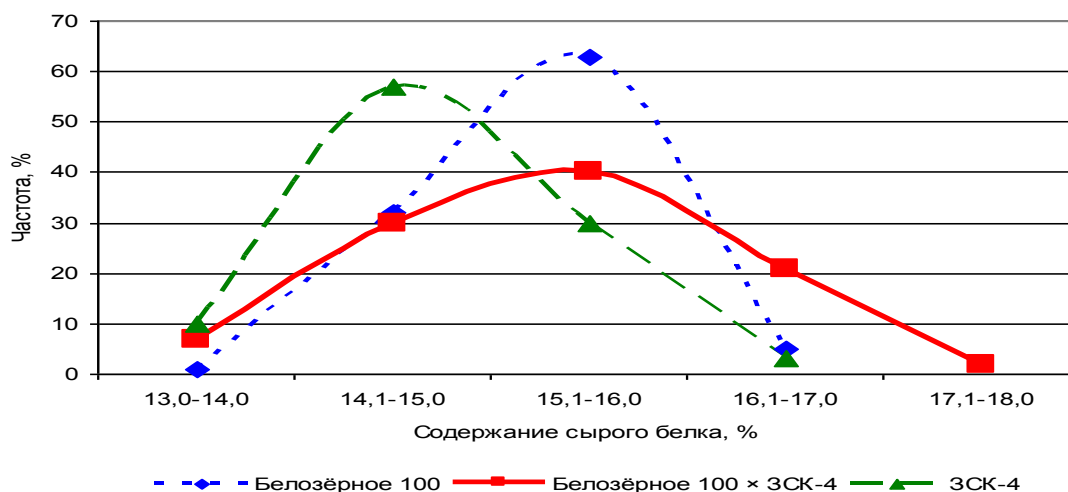
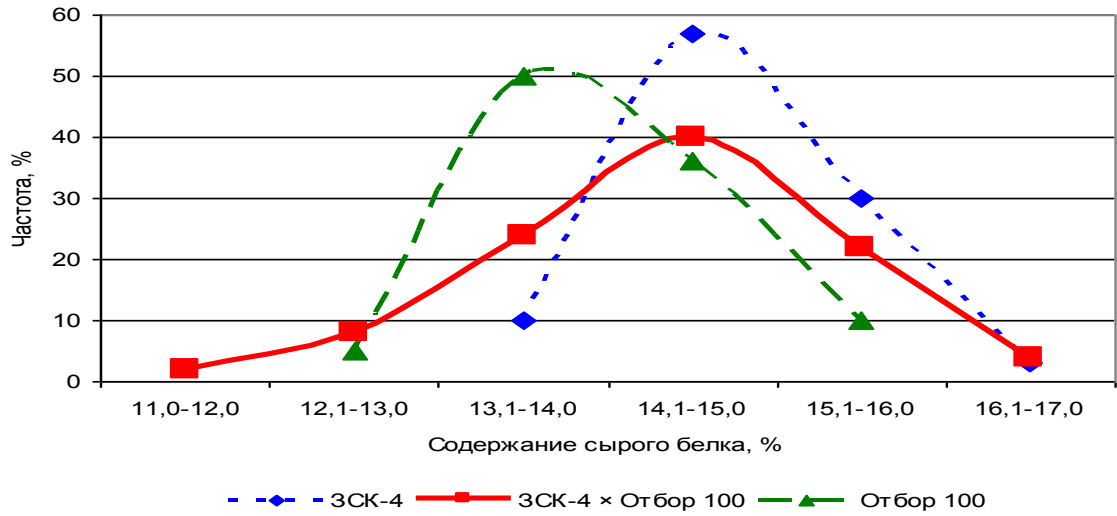
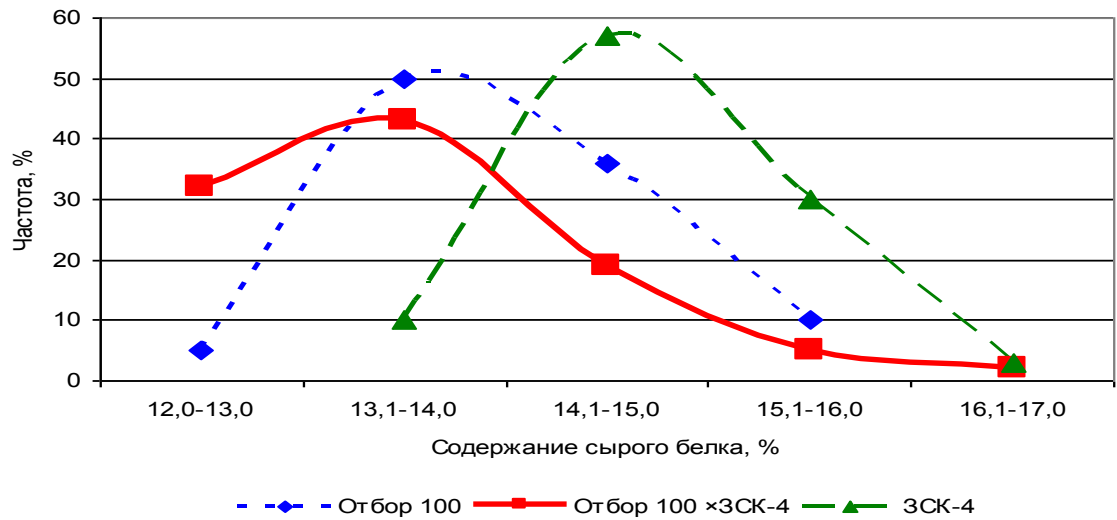


Рисунок 83 – Распределение частот по содержанию сырого белка в зерне сорго у родительских форм и гибридов F_2 Белозёрное 100 × ЗСК-4, 2011 г.

По признаку «содержание сырого белка» в F_1 ЗСК-4 × Отбор 100 среднее значение признака составило 14,0%, у родительских форм 14,4 и 12,8% соответственно. У гибрида наблюдалось полудоминирование большего значения признака ($h_p = 0,5$). В F_2 кривая распределения частот признака имела левостороннюю асимметрию ($A_s = -0,179$), а ее вершина находилась в одном классе с вершиной родительской формы с большим значением признака (ЗСК-4), что указывает на доминирование большей родительской формы. На долю исходного родительского образца Отбор 100 приходится 1/4 часть гибрида, что указывает на расщепление в соотношении 3:1 и различиях родительских форм по одной паре генов. Сила гена составила 0,79%. При реципрокных скрещиваниях, в обеих гибридных комбинациях ядерный материал от родителей передается гибридам поровну. Однако цитоплазма передается только по материнской линии, и если какие-либо признаки контролируются генетически активной цитоплазмой, то она может существенно повлиять на их развитие. В таких случаях между реципрокными гибридами проявляются существенные различия. Подобные различия проявились в обратной комбинации Отбор 100 × ЗСК-4. В F_1 наблюдалось полное доминирование родительской формы (Отбор 100) с меньшим содержанием сырого белка ($h_p = -1,0$). В F_2 проявилась правосторонняя асимметрия ($A_s = 0,481$) со сверхдоминированием меньших значений признака (рисунок 84).



А



Б

Рисунок 84 – Распределение частот по содержанию сырого белка в зерне сорго у родительских форм и гибридов F_2 ЗСК-4 × Отбор 100 (А) и Отбор 100 × ЗСК-4 (Б), 2011 г.

В комбинации F_1 от скрещивания родительских форм 34045 и Белозёрное 100 установлено частичное доминирование меньшего содержания сырого белка ($h_p = -0,1$). В F_2 34045 × Белозёрное 100 также отмечено доминирование меньшего значения признака с выщеплением низкобелковых форм (12,0-13,0%). На долю

большого родителя приходится 1/16 часть гибрида, что соответствует дигибридному расщеплению в соотношении 15:1 (рисунок 85). Сила гена равнялась 1%.

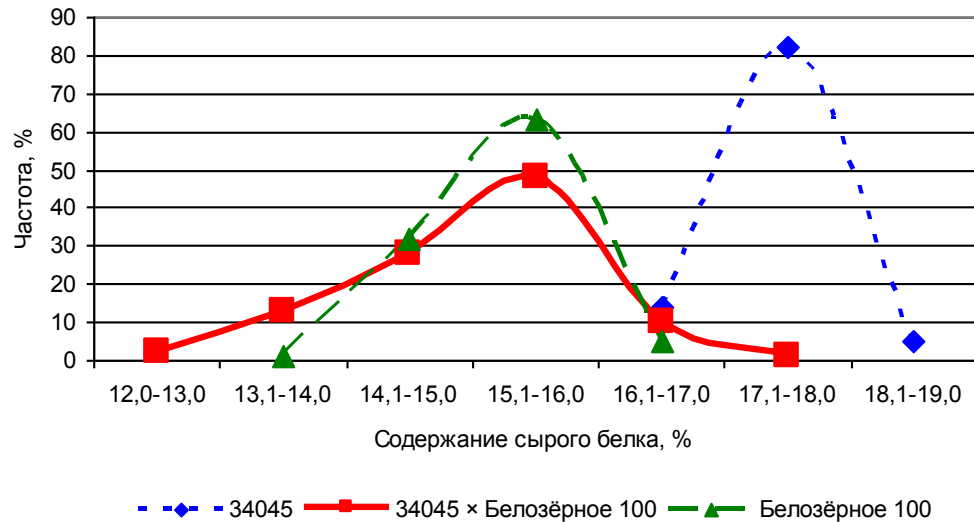


Рисунок 85 – Распределение частот по содержанию сырого белка в зерне сорго у родительских форм и гибрида F_2 34045 × Белозёрное 100, 2011 г.

В гибридной комбинации первого поколения Отбор 100 × Белозёрное 100 степень доминирования составила -0,1, что соответствует частичному доминированию меньшего содержания сырого белка. В F_2 проявилась левосторонняя асимметрия ($A_s = -0,27$), а её вершина находилась между родительскими формами. Отсутствие доминирования ($h_p = -0,05$) и расщепление в соотношении 1:4:6:4:1 указывают на дигенные различия с промежуточным наследованием (рисунок 86). В F_1 Белозёрное 100 × Отбор 100 проявилось частичное доминирование меньшего значения признака ($h_p = -0,3$) и отсутствие гетерозиса ($\Gamma_{\text{гет.}} = -5,7\%$). В F_2 кривая распределения частот была симметричной ($A_s = 0,01$), а степень доминирования ($h_p = -0,68$) указывает на неполное доминирование меньшей родительской формы. Сила гена составила 0,7%.

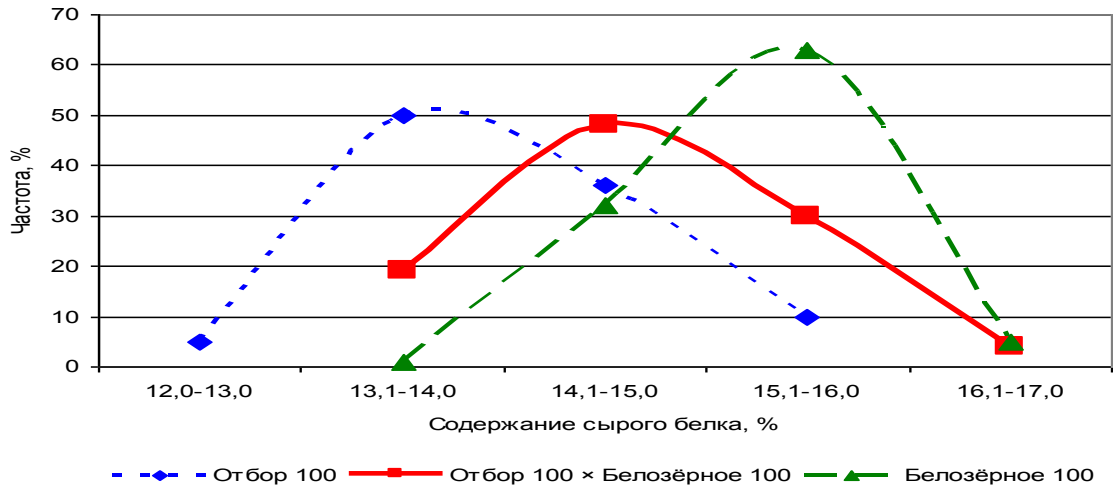


Рисунок 86 – Распределение частот по содержанию сырого белка в зерне сорго у родительских форм и гибрида F_2 Отбор 100 × Белозёрное 100, 2011 г.

В F_1 в комбинациях $34045 \times 3СК-4$ и $3СК-4 \times 34045$ наблюдалось сверхдоминирование и истинный гетерозис. Так, в комбинации $34045 \times 3СК-4$ степень доминирования составила 2,1, а истинный гетерозис 3,6%, в обратной комбинации $h_p = 1,1$, $\Gamma_{ист.} = 0,3\%$.

В F_2 кривая распределения частот гибрида $3СК-4 \times 34045$ имела незначительную левостороннюю асимметрию ($A_s = -0,286$) и находилась в пределах изменчивости родительских форм, а её вершина – между вершинами родительских форм ($h_p = 0$), что указывает на аддитивное действие генов, а сопоставление частот родительских форм и краевых частот гибрида подтверждает различие родительских форм по трём парам генов и расщеплению в соотношении 1:6:15:20:15:6:1. В комбинации $34045 \times 3СК-4$ вершина кривой распределения частот смещена в сторону родительской формы с меньшими значениями признака ($h_p = -0,24$), а расщепление составило 3:12:19:16:9:4:1, что соответствует тригеным различиям (рисунок 87). Сила гена равнялась 0,8%.

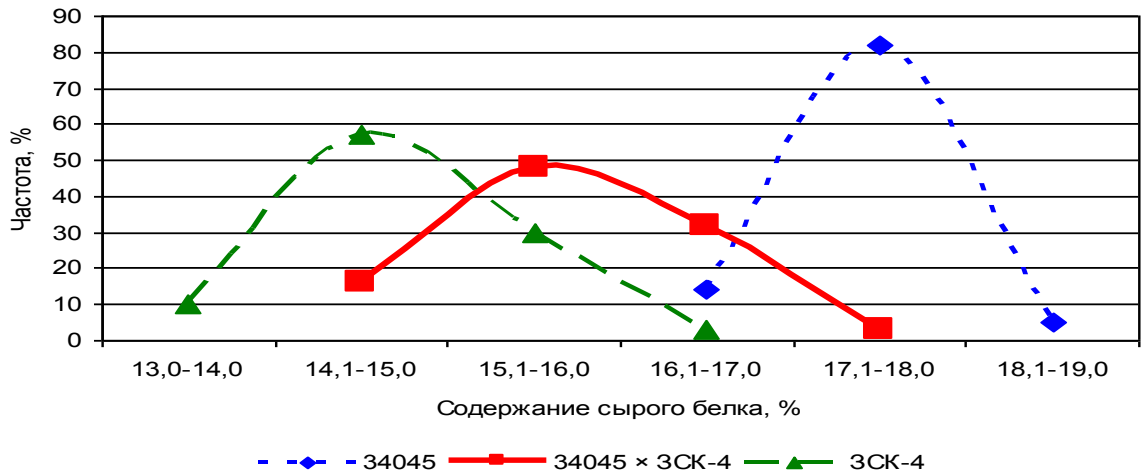


Рисунок 87 – Распределение частот по содержанию сырого белка в зерне сорго у родительских форм и гибрида F_2 34045 × 3СК-4, 2011 г.

У гибрида F_1 Отбор 100 × 34045 степень доминирования составила 0,4, что указывает на частичное доминирование родительской формы с большим значением признака. В F_1 34045 × Отбор 100 проявилось полное доминирование ($h_p = 1,0$) родительской формы 34045.

Кривая распределения частот гибрида F_2 Отбор 100 × 34045 была симметричной ($A_s = 0,09$) и находилась в пределах изменчивости родительских форм. Степень доминирования -0,33 указывает на частичное доминирование меньших значений признака. Распределение частот гибрида, происходило в соотношении 1:8:28:56:70:56:28:8:1, что соответствует тетрагибридному расщеплению (рисунок 88). Различия по четырём парам генов наблюдались в комбинации F_2 34045 × Отбор 100. Кривая гибрида имела левостороннюю асимметрию ($A_s = -2,14$), а степень доминирования ($h_p = 0,6$) указывает на неполное доминирование. Сила гена равнялась 0,8%.

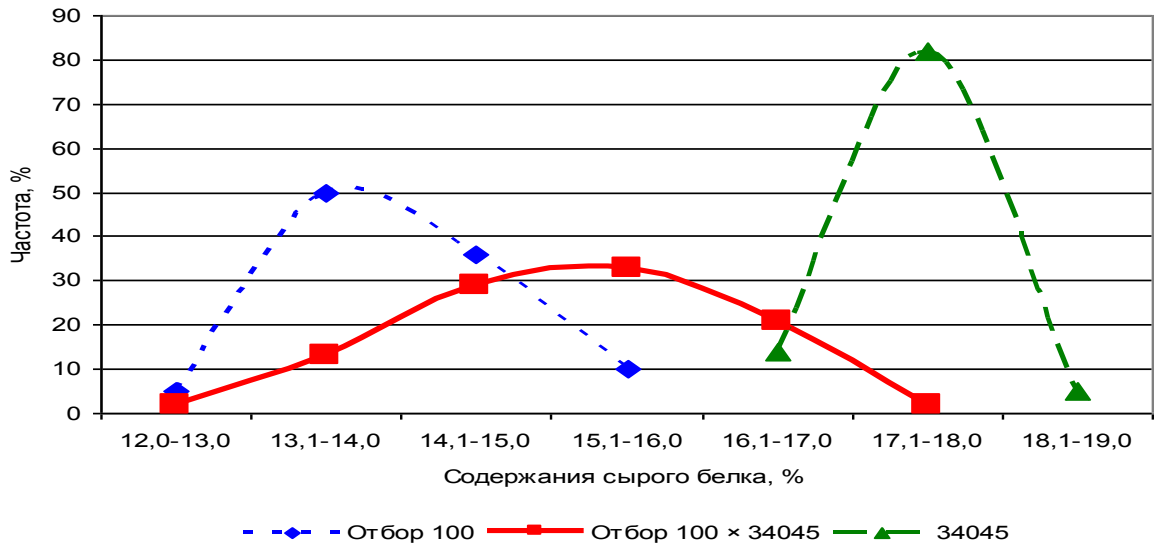


Рисунок 88 – Распределение частот по содержанию сырого белка в зерне сорго у родительских форм и гибрида F_2 Отбор 100 \times 34045, 2011 г.

Во второй диаллельной схеме по признаку «содержание сырого белка» родительские формы анализируемых гибридов генетически различались между собой от 1 до 4 генов. Наибольшие генотипические различия (4 гена) отмечены между родительскими формами 34045 и Отбор 100. Различия по 1 паре генов наблюдались между образцами Отбор 100 и ЗСК-4, а также ЗСК-4 и Белозёрное 100. По 2 парам генов различались Белозёрное 100 с родительскими формами Отбор 100 и 34045. Между родительской парой ЗСК-4 и 34045 различия составили 3 гена. Сила одного гена варьировала от 0,53 до 1% (рисунок 89).

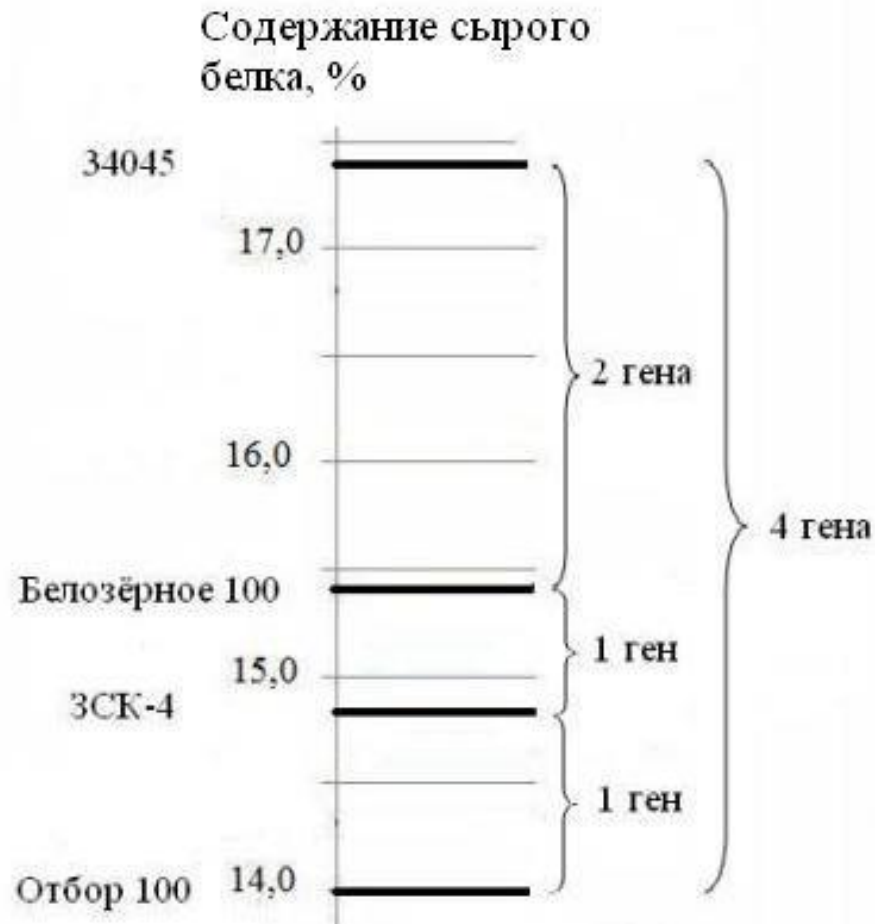


Рисунок 89 – Генотипические различия родительских форм Отбор 100, Белозёрное 100, ЗСК-4 и 34045 по содержанию сырого белка в зерне, 2011 г.

Таким образом, в F_1 по содержанию сырого белка наблюдаются различные типы наследования: гибридная депрессия, доминирование меньшего значения признака, промежуточное наследование, а также доминирование родительских форм с большим проявлением признака и сверхдоминирование.

У гибридов F_2 в целом содержание сырого белка в большинстве случаев варьировало в пределах изменчивости родительских форм, однако в отдельных комбинациях проявились положительные и отрицательные трансгрессии. В результате анализа F_2 установлено, что наследование признака «содержание сырого белка» в зерне сорго контролируется 1-4 генами. Сила одного гена варьирует от 0,15 до 1,6%.

5.1.4 Закономерности наследования содержания лизина в белке

На основе проведённого гибридологического анализа гибридов второго поколения установлено, что по признаку «содержание лизина в белке» сорго между включёнными в гибридизацию родительскими образцами проявились генетические различия, обусловленные неаллельным взаимодействием 1-3 генов различной силы действия. Эти гены условно обозначены А, В и С.

Исходные формы 144 ф/8 и Зерноградское 204 характеризовались наибольшим содержанием лизина в белке (3,46 и 3,37%) и не различались по аллельному составу генов. Это подтверждается тем, что кривые распределения частот признака у гибрида и родительских образцов обладали аналогичной конфигурацией, а их вершины практически совпадали (рисунок 90). Генотипы этих образцов имеют генную формулу ААВВСС.

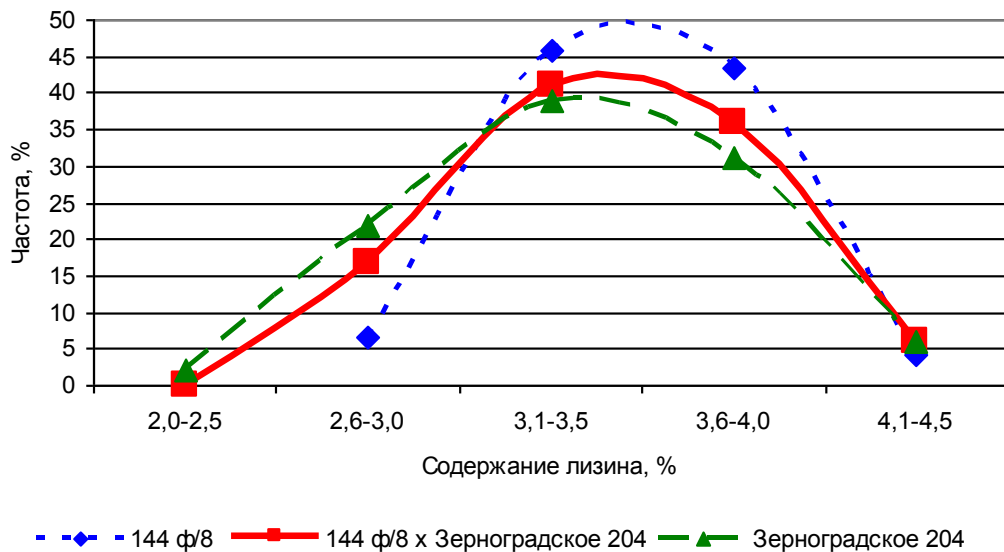


Рисунок 90 – Распределение частот по содержанию лизина в зерне сорго у родительских форм и гибрида F₂ 144 ф/8 × Зерноградское 204, 2011 г.

Анализ блока гибридов, полученных по диаллельной схеме с участием образцов 144 ф/8, Зерноградское 204, Sb-126/4 (2,74%) и СПЗС-11 показал, что

наибольшие различия по содержанию лизина отмечены между образцами 144 ф/8 (3,46%) и Зерноградское 204 (3,37%) с одной стороны, и образцами Sb-126/4 (2,74%) и СПЗС-11 (2,53%) – с другой, при этом последние также различались между собой на 0,21%.

Максимальные отличия (0,93%) по данному признаку установлены между образцами 144 ф/8 и СПЗС-11. Генетический анализ показал, что отмеченные образцы отличаются друг от друга по аллельному состоянию двух пар генов. Вершина кривой распределения частот гибрида, полученного в результате скрещивания образца СПЗС-11, использованного в качестве материнской формы, и 144 ф/8 в качестве опылителя, находилась посередине между родительскими формами. Анализ распределения частот признака «содержание лизина» в полученной комбинации показал, что кривая распределения частот гибридной комбинации СПЗС-11 × 144 ф/8 была симметричной ($A_s = 0,02$), а степень доминирования ($h_p = 0,05$) указывает на отсутствие доминирования. На долю гибрида приходилось около 6,25% частот родительской формы с большим содержанием лизина, что соответствует дигибридному расщеплению (рисунок 91). Суммарная сила этих двух генов составляет 0,93%, а средняя сила – 0,47%.

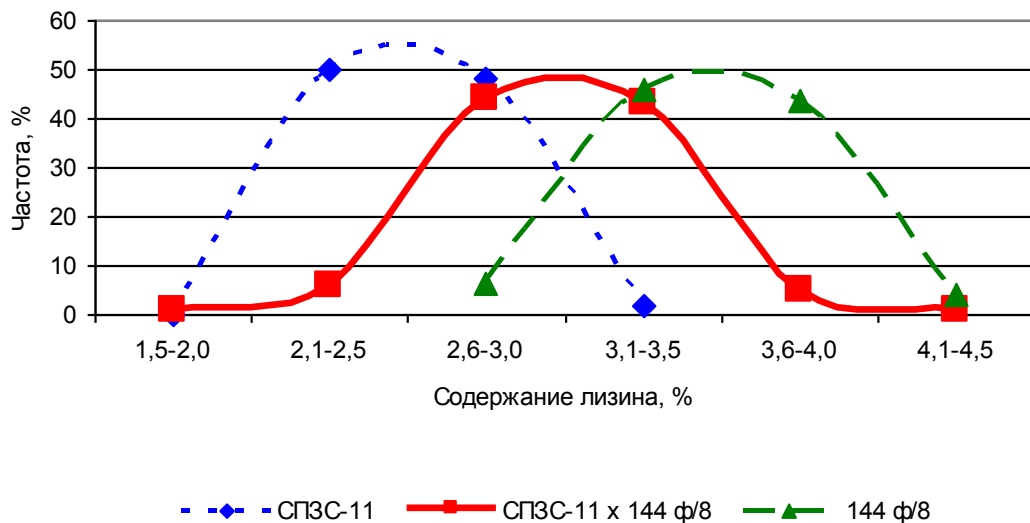


Рисунок 91 – Распределение частот по содержанию лизина в зерне сорго у родительских форм и гибрида F_2 СПЗС-11 × 144 ф/8, 2011 г.

Подобные закономерности проявились у гибрида СПЗС-11 × Зерноградское 204. Проведённый генетический анализ также показал отличия по аллельному состоянию двух пар генов. Однако, сила двух генов в данном случае составила 0,84%, а по отдельности – 0,42%. Кривая распределения частот содержания лизина в зерне анализируемой гибридной комбинации была симметричной ($A_s = 0,03$). Доминирование отсутствовало ($h_p = -0,02$). Гибриду соответствовало примерно по 1/16 крайних частот каждой родительской формы. Это указывает на различия между исходными образцами СПЗС-11 и Зерноградское 204 в два гена. Расщепление происходило в соотношении 1:4:6:4:1 (рисунок 92).

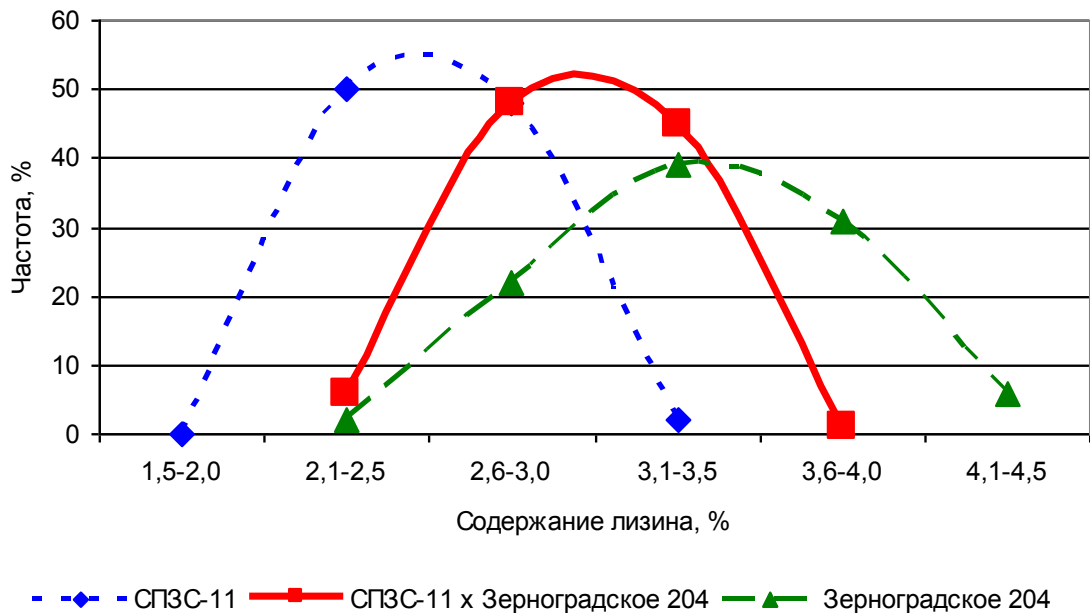


Рисунок 92 – Распределение частот по содержанию лизина в зерне сорго у родительских форм и гибрида F_2 СПЗС-11 × Зерноградское 204, 2011 г.

У гибрида СПЗС-11 × Sb-126/4 отмечено проявление трансгрессии по содержанию лизина (рисунок 93). Причём, трансгрессивное расщепление также наблюдалось и в обратной комбинации.

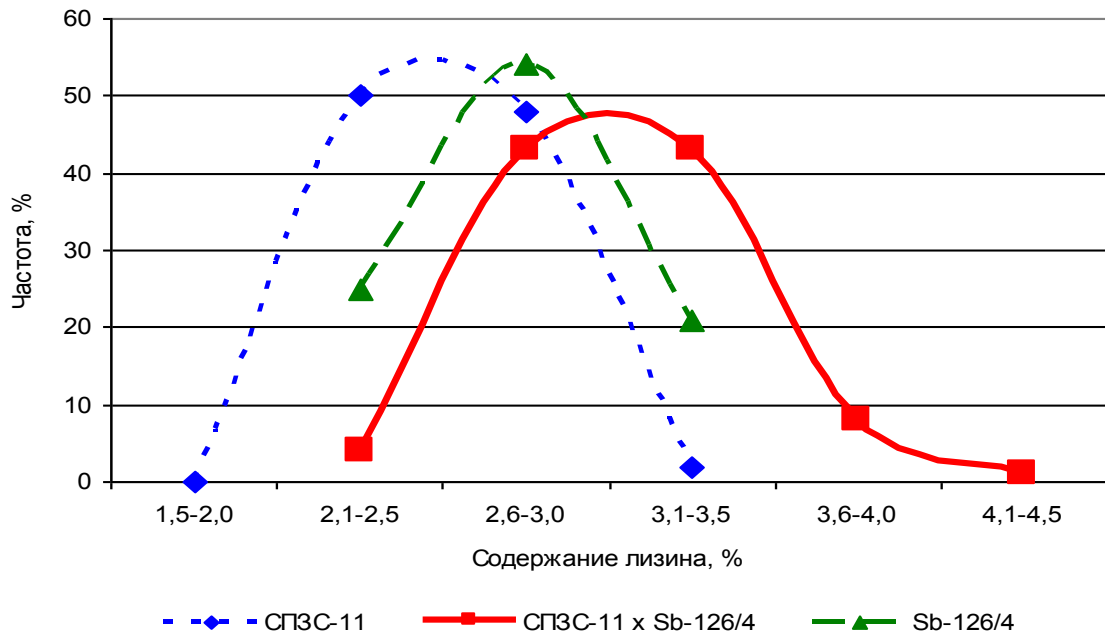


Рисунок 93 – Распределение частот по содержанию лизина в зерне сорго у родительских форм и гибрида F_2 СПЗС-11 \times Sb-126/4, 2011 г.

Полученная информация указывает на наличие у этих образцов в разных локусах одновременно рецессивных и доминантных аллелей генов. У гибрида выщепилось 9/16 растений с двумя доминантными генами А и В, которые привели к проявлению положительной трансгрессии. В этом случае генотип образца Sb-126/4 можно обозначить формулой $AAbbcc$, а у образца СПЗС-11 – $aaBBcc$. Таким образом, Sb-126/4 и СПЗС-11 отличаются от родительской формы 144 ф/8 ($AABBCC$), а также между собой по двум парам генов. Однако сила этих генов различна. Гибрид, имеющий в своём генотипе оба доминантных аллеля А и В, превысил исходную форму (Sb-126/4) с наибольшим содержанием лизина на 0,29%. Это величина силы гена В.

В комбинации Sb-126/4 \times Зерноградское 204 также установлены дигенные различия и соответствует схеме $AAbbcc \times AABBCC$ (рисунок 94).

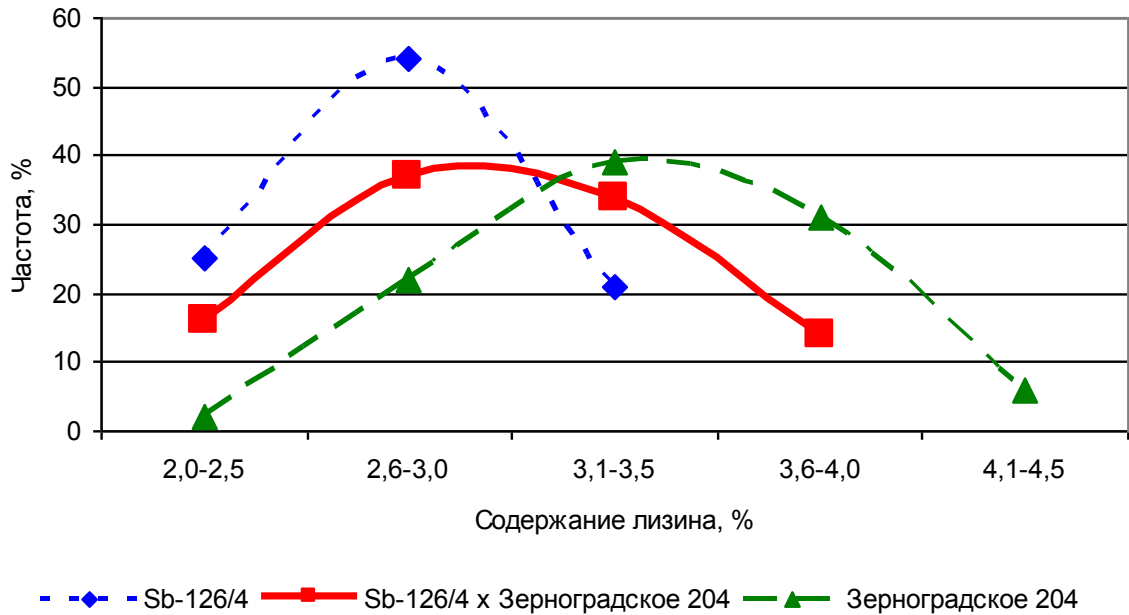


Рисунок 94 – Распределение частот по содержанию лизина в зерне сорго у родительских форм и гибрида F_2 Sb-126/4 × Зерноградское 204, 2011 г.

Согласно расчётам, зерновка образцов с генотипом AABVсс должна обладать содержанием лизина на уровне 3,03% (2,74+0,29). Подобный образец имеется во втором блоке диаллельного скрещивания – Отбор 100 (3,03%). Минимальным значением (2,41%) характеризовался образец 34045. Образцы ЗСК-4 (2,88%) и Белозерное 100 (2,81%) по содержанию лизина в зерне занимали промежуточное положение между родительскими формами Отбор 100 и 34045.

Гибридологический анализ и сопоставление частот исходных образцов и краевых частот гибрида популяции F_2 34045 × Отбор 100 показал отличия по двум парам генов и расщепление в соотношении 15:1 (рисунок 95).

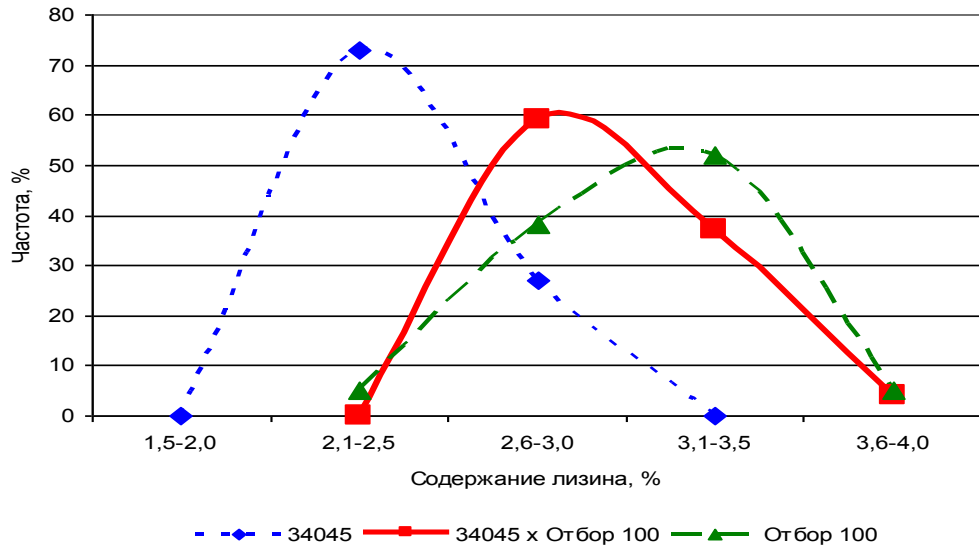


Рисунок 95 – Распределение частот по содержанию лизина в зерне сорго у родительских форм и гибрида F_2 34045 × Отбор 100, 2011 г.

Кривая распределения частот гибрида смещена вправо, а степень доминирования ($h_p = 0,45$) указывает на частичное доминирование больших значений признака. Сила генов составила 0,58%. Родительская форма 34045 по содержанию лизина в белке (2,41%) уступала образцу СПЗС-11 (2,53%) из первого блока, генотип которого соответствует формуле $aaBBcc$. Следовательно, генотип 34045 был рецессивным по всем аллелям, а скрещивание было типа $aabbcc \times AABVcc$, то есть родительские формы различались по аллелям гена А и В.

Анализ гибрида F_2 Белозерное 100 × ЗСК-4 с помощью программы Полиген А показал, что они не различаются по аллельному составу генов, так как конфигурации кривой распределения частот исходных форм и гибрида совпадали. В связи с тем, что содержание лизина у них было на уровне образца Sb-126/4, имеющего генотип $AABbcc$, то можно предположить, что они идентичны. Это подтверждается и графиками других гибридов.

У гибрида 34045 × ЗСК-4 кривая распределения частот имеет левостороннюю асимметрию ($A_s = -0,32$). При этом, степень доминирования ($h_p = 0,31$) указывает на частичное доминирование признака родительской формы (ЗСК-4) с более высоким содержанием лизина (рисунок 96).

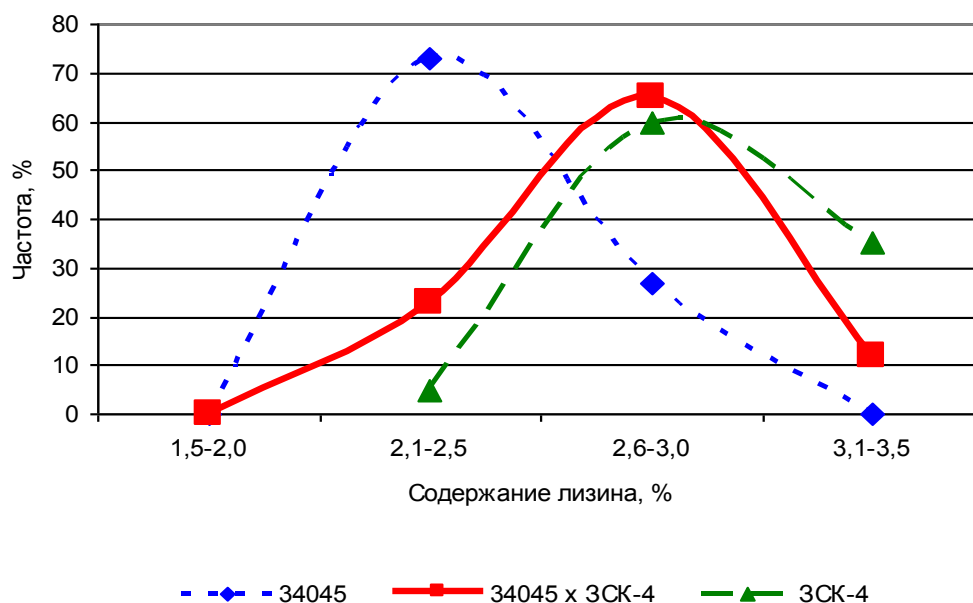


Рисунок 96 – Распределение частот по содержанию лизина в зерне сорго у родительских форм и гибрида F_2 34045 \times 3СК-4, 2011 г.

Сравнение краевых частот исходных образцов и полученного гибрида позволило выявить отличие между 34045 и 3СК-4 по одной паре генов, так как расщепление соответствовало соотношению 1:3. Родительские формы различались по аллелям гена А, поэтому скрещивание было типа $aabbcc \times AAbbcc$. Сила действия гена А во втором блоке скрещивания равна 0,47%.

Подобные закономерности отмечены в результате анализа распределения частот этого признака в гибридной комбинации, полученной от скрещивания 34045 (материнская форма) и Белозерное 100 (отцовская форма). Кривая распределения частот этого гибрида указывала на неполное доминирование большего значения признака ($h_p = 0,45$) и характеризовалась левосторонней асимметрией ($A_s = -0,19$). Сопоставление краевых частот гибрида и исходных форм показало отличие между родительскими образцами по одной паре генов (расщепление в соотношении 1:3). В данной комбинации выделились трансгрессивные формы с содержанием лизина в белке 3,69-3,93% (рисунок 97).

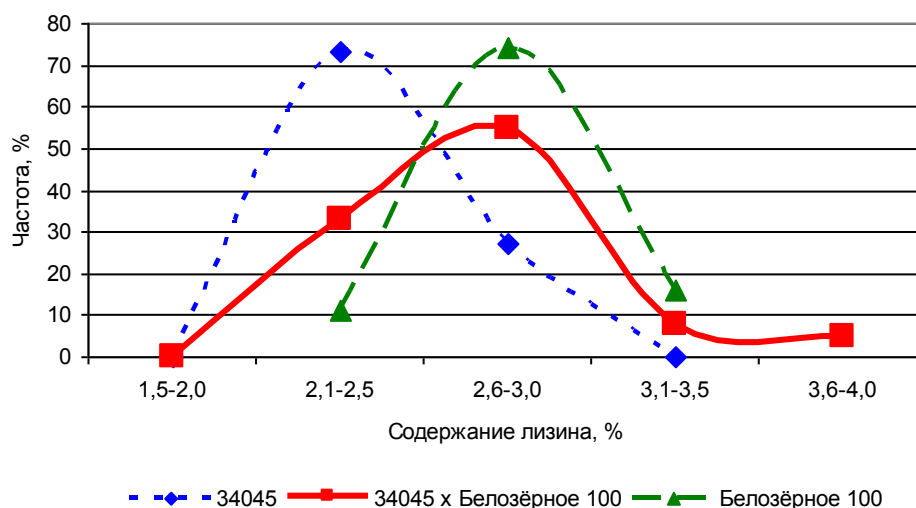


Рисунок 97 – Распределение частот по содержанию лизина в зерне сорго у родительских форм и гибрида F_2 34045 × Белозёрное 100, 2011 г.

Кривая распределения частот в гибридной комбинации Белозёрное 100 × Отбор 100 обладала правосторонней асимметрией ($A_s = 0,25$), а степень доминирования ($h_p = -0,38$) указывает на частичное доминирование меньшего значения признака. На долю родительской формы Отбор 100 приходилось 25% частот гибрида, что соответствует расщеплению в соотношении 3:1 (рисунок 98).

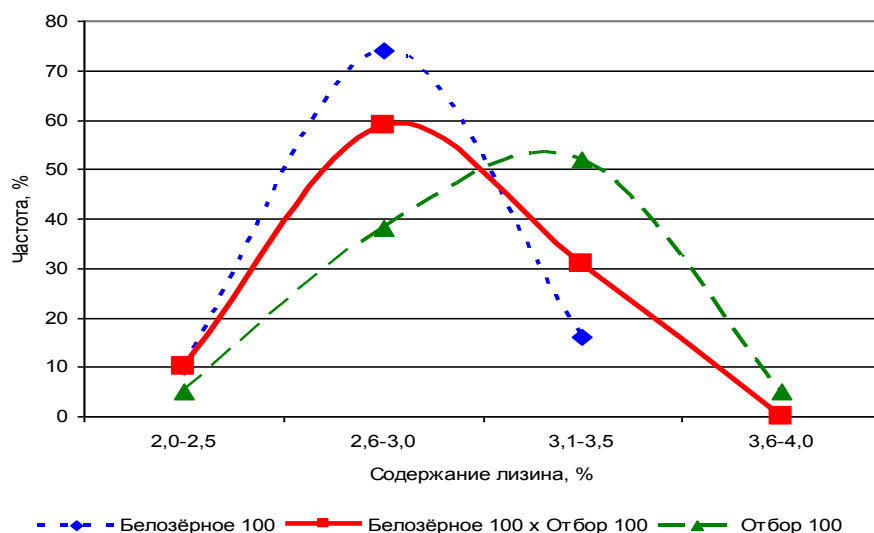


Рисунок 98 – Распределение частот по содержанию лизина в зерне сорго у родительских форм и гибрида F_2 Белозёрное 100 × Отбор 100, 2011 г.

Различия по одной паре генов проявились и в комбинации ЗСК-4 × Отбор 100.

Сопоставления данных двух блоков диаллельных скрещиваний позволяют утверждать о наличии тригенных различий между образцами 144 ф/8 и 34045, а также Зерноградское 204 и 34045.

Комплексное обобщение полученных данных позволило составить схему наследования различных уровней содержания лизина в белке (рисунок 99).

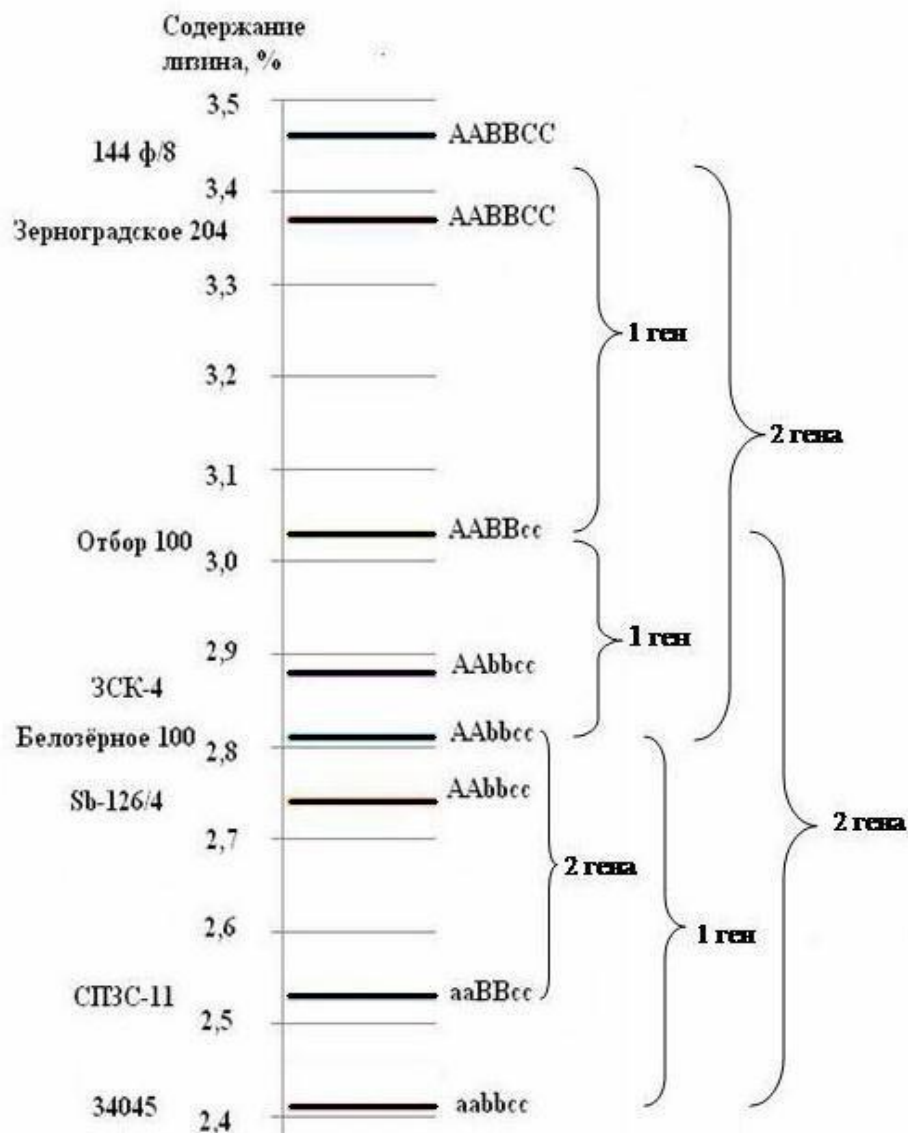


Рисунок 99 – Генотипические различия родительских форм по содержанию лизина в белке, 2011 г.

Анализ гибридных комбинаций, полученных по двум диаллельным схемам позволил выявить положительные трансгрессии по признаку «содержание лизина в белке» в прямых и обратных скрещиваниях между образцами Sb-126/4 и СПЗС-11, ЗСК-4 и Отбор 100, а также у гибридов F_2 34045 × Белозёрное 100 и ЗСК-4 × Белозёрное 100, где в качестве опылителя использовался образец Белозёрное 100.

Таким образом, 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 – ААbbсс, у СПЗС-11 – aaВВсс, а у 34045 – aabbсс.

Полученная информация о наследовании признака «содержание лизина в белке» позволит более целенаправленно вести селекционную работу с зерновым сорго на повышение его уровня в новых сортах.

5.1.5 Закономерности наследования содержания крахмала

Анализ наследования содержания крахмала в зерне сорго позволил установить, что у основной доли изученных гибридов между исходными образцами наблюдаются моногенные различия. Подобные закономерности проявились в гибридной комбинации 144 ф/8 × Зерноградское 204. Вершина кривой распределения частот этого гибрида была сдвинута в сторону исходного образца, обладающего меньшими значениями признака (144 ф/8). При этом, около 25% частот гибрида приходилось на долю рецессивной родительской формы, имеющей более высокий уровень крахмала в зерне, что соответствует расщеплению в соотношении 3:1 (рисунок 100). Сила гена равняется 1,91%.

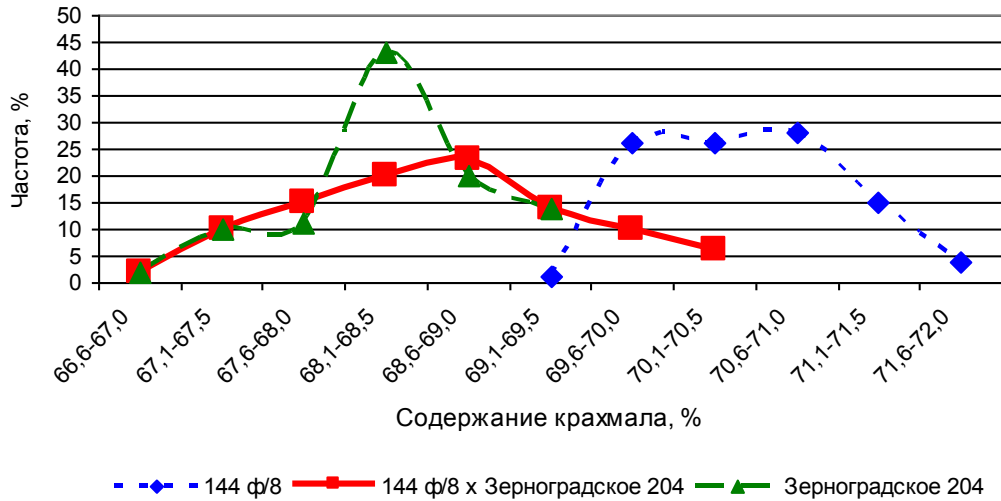


Рисунок 100 – Распределение частот по содержанию крахмала в зерне сорго у родительских форм и гибрида F_2 144 ф/8 × Зерноградское 204, 2011 г.

Кривая распределения частот гибрида Sb-126/4 × Зерноградское 204 характеризовалась незначительной левосторонней асимметрией ($A_s = -0,09$), а степень доминирования ($h_p = -0,16$) указывает на частичное доминирование родительской формы с меньшими значениями признака (рисунок 101).

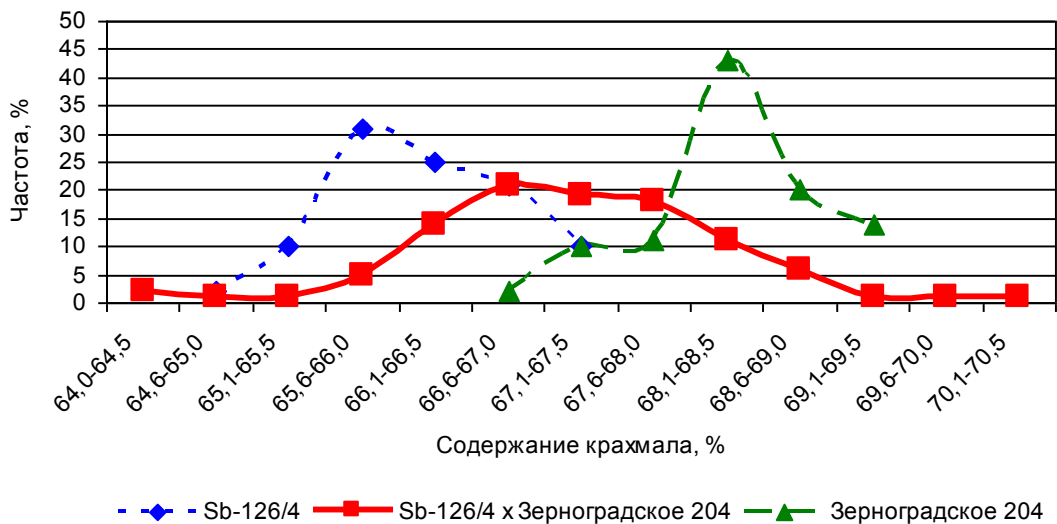


Рисунок 101 – Распределение частот по содержанию крахмала в зерне сорго у родительских форм и гибрида F_2 Sb-126/4 × Зерноградское 204, 2011 г.

Сравнение крайних частот гибридной комбинации и частот исходных форм выявило различие между образцами зерноградское 204 и Sb-126/4 по одной паре генов. Расщепление соответствовало соотношению 1:2:1.

Родительские формы в комбинации зерноградское 204 × Sb-126/4 также отличались по одной паре генов. Кривая распределения частот имела смещённую вправо вершину и левостороннюю асимметрию ($A_s = -0,2$), а степень доминирования ($h_p = 0,49$) указывает на частичное доминирование больших значений признака. Сила гена составила 2,45%.

Привлечение в гибридизацию образца СПЗС-11 в качестве материнской формы и Sb-126/4 в качестве отцовской, позволило выявить моногенные различия между ними и частичное доминирование большего значения признака ($h_p = 0,2$). Отмечено расщепление в соотношении 1:2:1. Кривая распределения частот полученного гибрида была практически симметричной ($A_s = -0,03$), а её вершина незначительно смещена в сторону кривой распределения частот образца Sb-126/4. На долю исходных форм СПЗС-11 и Sb-126/4 приходилось примерно по 1/4 крайних частот гибридной комбинации СПЗС-11 × Sb-126/4 (рисунок 102).

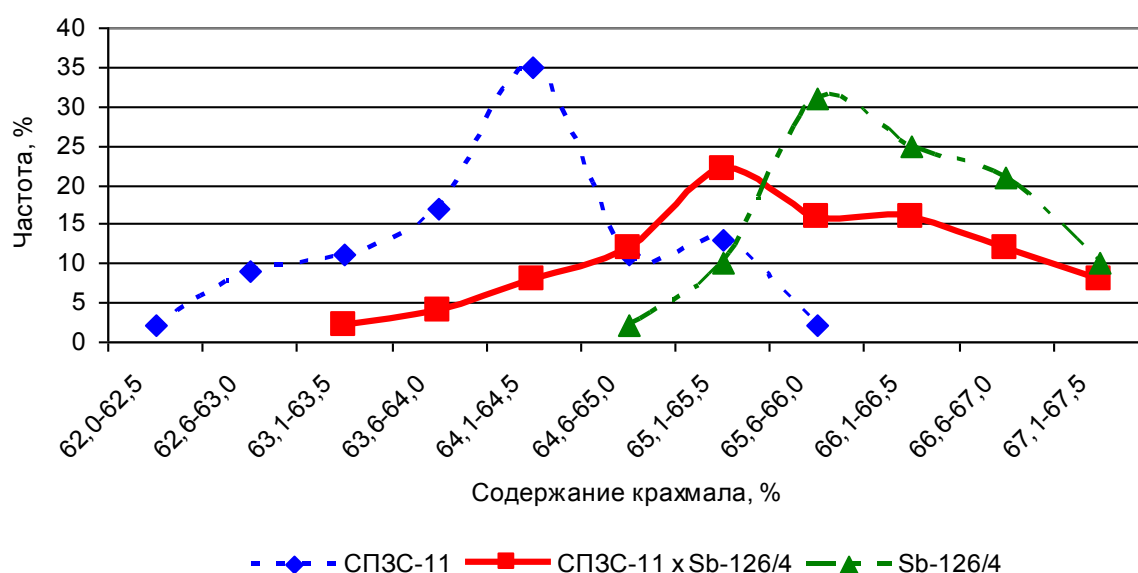


Рисунок 102 – Распределение частот по содержанию крахмала в зерне сорго у родительских форм и гибрида F_2 СПЗС-11 × Sb-126/4, 2011 г.

В реципрочной комбинации (Sb-126/4 × СПЗС-11) отмечен подобный характер наследования. Сила гена равнялась 2,06%. В этой комбинации проявились формы с содержанием крахмала в зерне до 72,0%.

У гибрида Отбор 100 × 34045 кривая распределения частот обладала правосторонней асимметрией ($A_s = 0,25$), а также отмечено частичное доминирование меньшего значения признака ($h_r = -0,18$). Доле каждого родительского образца (Отбор 100 и 34045) соответствовало 25% частот гибрида, что характерно для расщепления в соотношении 1:2:1. Этот гибрид отличался высоким содержанием крахмала в зерне (70,5 до 74,5%) (рисунок 103).

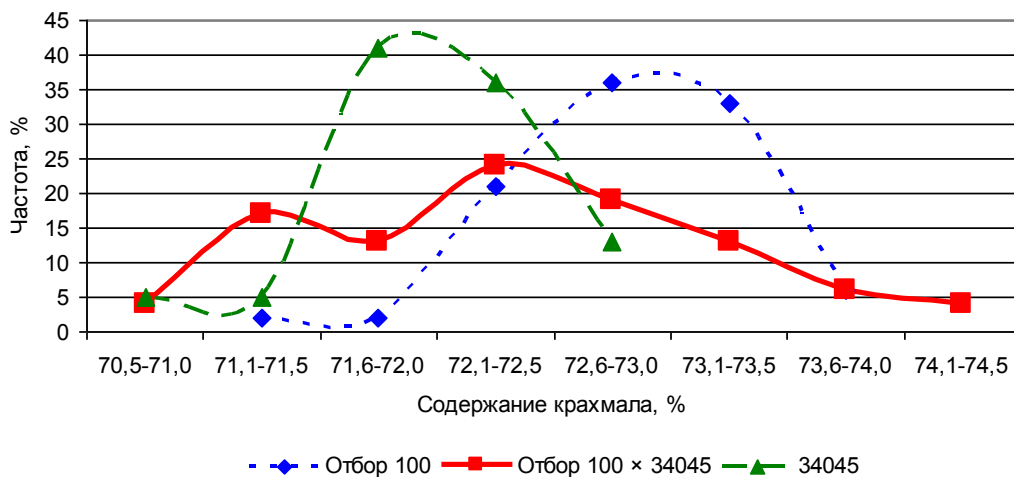


Рисунок 103 – Распределение частот по содержанию крахмала в зерне сорго у родительских форм и гибрида F_2 Отбор 100 × 34045, 2011 г.

В обратной гибридной комбинации (34045 × Отбор 100) также проявился моногенный тип наследования. Однако, в отличие от комбинации Отбор 100 × 34045, анализируемый гибрид характеризовался неполным доминированием больших значений признака ($h_r = 0,59$), а кривая распределения частот – правосторонней асимметрией ($A_s = 0,18$). Сила гена в данном случае соответствовала 0,84%.

Различия в один ген были отмечены между привлечёнными в гибридизацию образцами прямых и обратных скрещиваний Отбор 100 × ЗСК-4 и Отбор 100 × Белозёрное 100.

Дигенные различия выявлены в комбинации Sb-126/4 × 144 ф/8. У этого гибрида степень доминирования равнялась -0,36, что указывает на частичное доминирование меньших значений признака. Кривая распределения частот имела правостороннюю асимметрию ($A_s = 0,29$). Сравнительный анализ частот исходных форм и краевых частот полученного гибрида подтверждало различие Sb-126/4 и 144 ф/8 по двум парам генов с расщеплением в соотношении 15:1 (рисунок 104). Сила гена равнялась 1,4%.

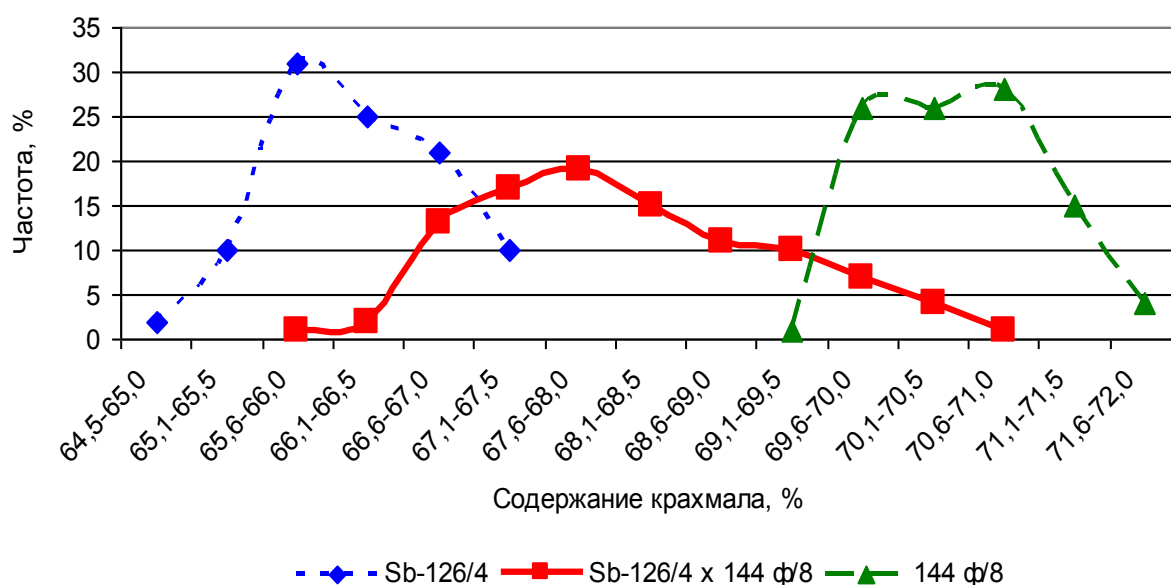


Рисунок 104 – Распределение частот по содержанию крахмала в зерне сорго у родительских форм и гибрида F_2 Sb-126/4 × 144 ф/8, 2011 г.

У гибрида, полученного в результате скрещивания СПЗС-11 и Зерноградское 204, кривая распределения частот находится в пределах распределения частот признака родительских форм и обладает левосторонней асимметрией ($A_s = -0,11$). При этом, её вершина располагалась между вершинами исходных образцов ($h_p = 0,07$), что указывает на аддитивное действие генов. На долю гибрида приходилось по 1/16 частот родительских форм по краям распределения, что подтверждает дигенные различия между СПЗС-11 и Зерноградское 204 с расщеплением в соотношении 1:4:6:4:1 (рисунок 105).

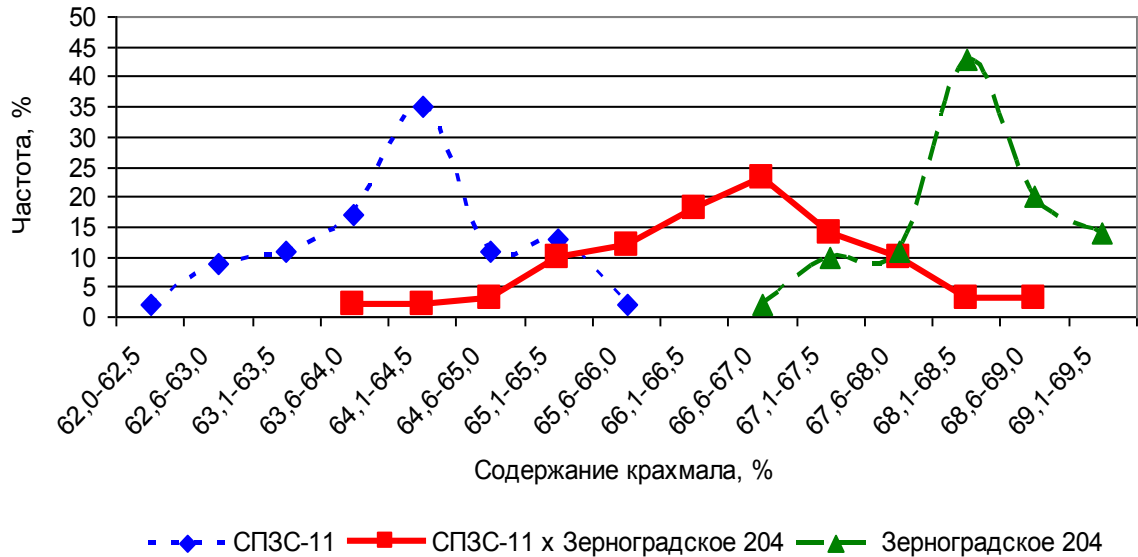


Рисунок 105 – Распределение частот по содержанию крахмала в зерне сорго у родительских форм и гибрида F_2 СПЗС-11 × Зерноградское 204, 2011 г.

Аналогичный тип наследования отмечен в комбинации Зерноградское 204 × СПЗС-11. Сила гена составила 2,3%.

В результате анализа кривой распределения частот гибрида 34045 × Белозёрное 100 отмечено смещение её вершины в сторону родительской формы 34045, обладающей более низким процентным содержанием крахмала в зерне по сравнению с образцом Белозёрное 100, что указывает на доминирование меньших значений признака. Данное предположение подтверждает проведённый расчёт степени доминирования ($h_p = -0,34$). На основе гибридологического анализа, сопоставления частот исходных форм и краевых частот гибрида второго поколения установлены различия между образцом Белозёрное 100 и 34045 по двум парам генов и расщепление в соотношении 15:1 (рисунок 106). Содержание крахмала в зерне изученных форм данной комбинации находилось в пределах от 71,5 до 74,0%, что согласно широкого унифицированного классификатора СЭВ для рода *Sorghum Moench* соответствует высоким значениям. Сила одного гена была на уровне 1%.

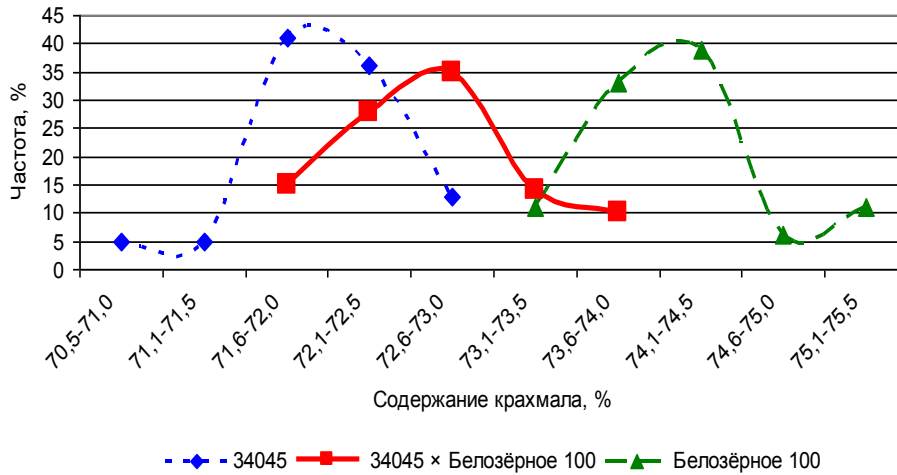


Рисунок 106 – Распределение частот по содержанию крахмала в зерне сорго у родительских форм и гибрида F_2 34045 × Белозёрное 100, 2011 г.

Различия по трём парам генов отмечены у гибрида СПЗС-11 × 144 ф/8. Кривая распределения частот имела правостороннюю асимметрию ($A_s = 0,41$), находилась в пределах изменчивости родительских форм, а ее вершина располагалась между вершинами исходных родительских форм, что указывает на отсутствие доминирования ($h_p = 0,07$) и аддитивное действие генов. Поскольку на долю родительских форм СПЗС-11 и 144 ф/8 приходилось по 1/64 частот гибрида, то различия между этими образцами составляют три пары генов, а расщепление по фенотипу происходило в соотношении 1:6:15:20:15:6:1 (рисунок 107). Сила гена соответствовала 2,1%.

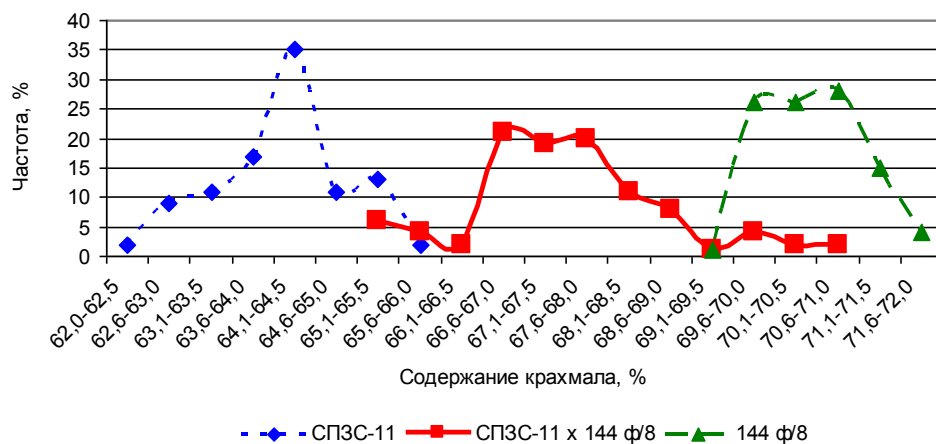


Рисунок 107 – Распределение частот по содержанию крахмала в зерне сорго у родительских форм и гибридов F_2 СПЗС-11 × 144 ф/8, 2011 г.

В результате гибридологического анализа гибридов F_2 по содержанию крахмала в зерне сорго установлено, что между привлечёнными в гибридизацию родительскими образцами наблюдались генетические различия в 1-3 гена. Наибольшие различия (3 гена) выявлены между образцом СПЗС-11 и 144 ф/8 (рисунок 108).

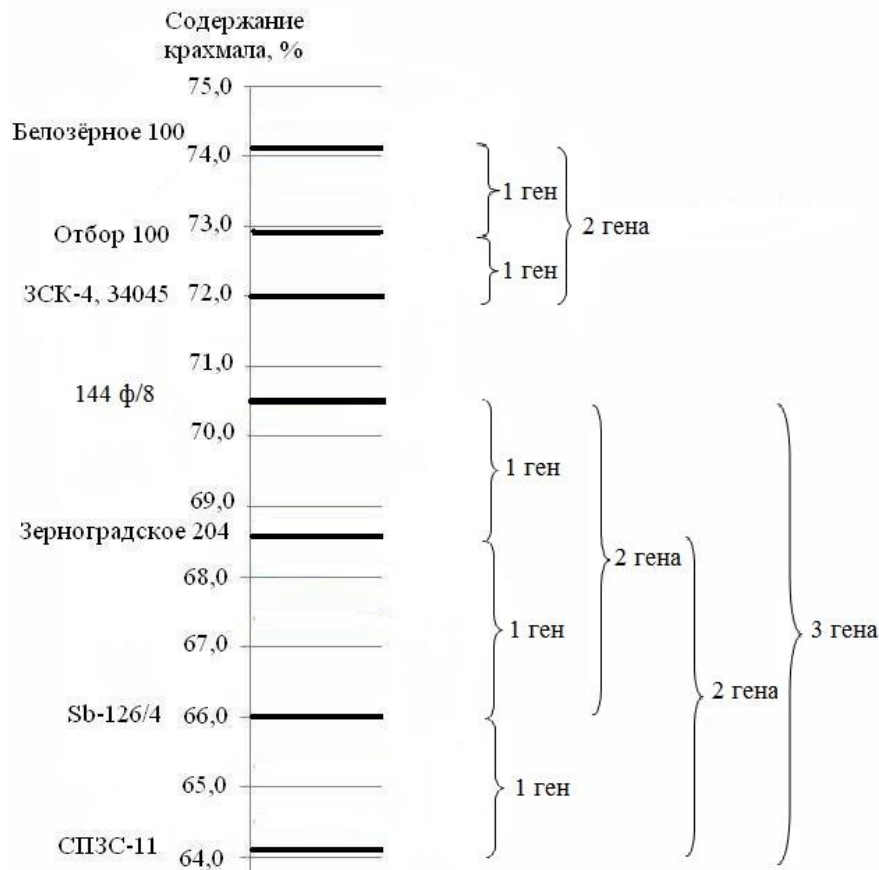


Рисунок 108 – Генотипические различия родительских образцов по содержанию крахмала, 2011 г.

В последующие годы проводился отбор раннеспелых, низкорослых, с крупной по размерам и хорошо озернённой метёлкой, устойчивых к поражению болезнями форм.

В результате проведённой селекционной работы (2009-2020 гг.) 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 (рисунок 109).

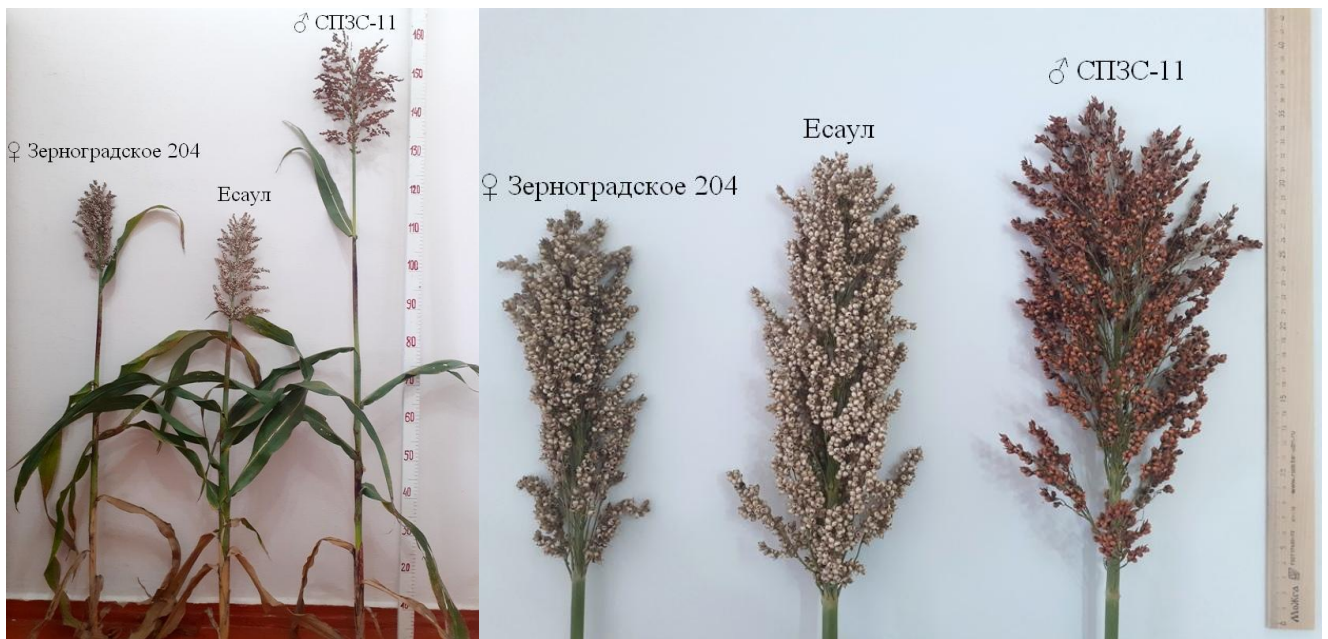


Рисунок 109 – Сорт сорго зернового Esaул и родительские формы

Кроме того, из второй диаллельной схемы в период с 2019-2022 гг. в конкурсном сортоиспытании выделилась перспективная линия ЗСК 1818/18, полученная в результате гибридизации сортообразцов ЗСК-4 использованной в качестве материнской формы и отцовской формы Отбор 100 (рисунок 110).

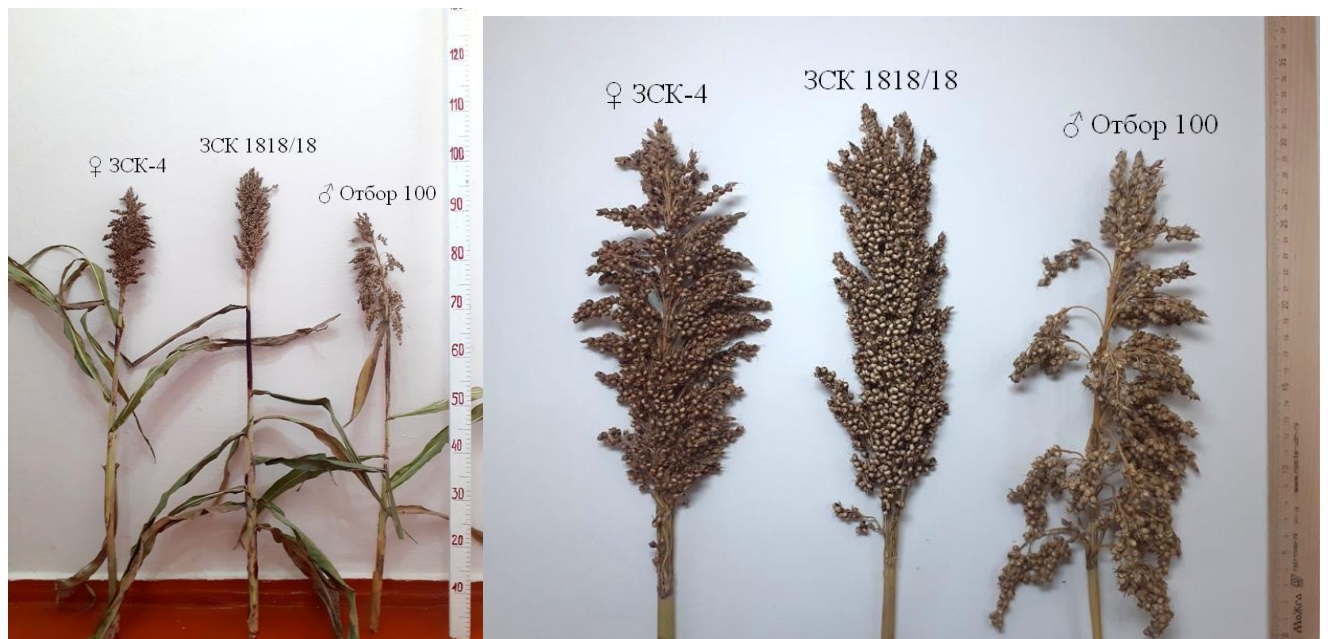


Рисунок 110 – Перспективная линия ЗСК 1818/18 и родительские формы

По результатам конкурсного испытания данная линия (ЗСК 1818/18) под названием Сотник передана в 2022 г. на Государственное сортоиспытание.

5.2 Подбор пар и гибридизация на основе принципа эколого-географического происхождения

В селекционной работе при подборе родительских форм для гибридизации, в том числе используется принцип эколого-географического происхождения, результаты которого представлены на примере привлечения в скрещивания образцов из Республики Уганда (Восточная Африка).

В рамках договора о научном сотрудничестве между ФГБНУ «АНЦ «Донской» и Национальной Аграрной Научной Организацией «НАРО» Республики Уганда в 2019-2021 гг. в питомнике экологического испытания проводилась оценка сортов сорго зернового селекции Национального научно-исследовательского института полужасушливых ресурсов (NaSARRI): Seso 1, Seso 3, Narosorg 1, Narosorg 2, Narosorg 3, Narosorg 4, Epuripur. Продолжительность вегетационного периода у изученных образцов в среднем за 3 года (2019-2021 гг.) варьировала от 111 до 139 дней. К среднеспелой группе созревания (период вегетации «всходы – полная спелость зерна» составила 111 и 112 соответственно) относятся сорта Seso 1 и Narosorg 1. Остальные являются позднеспелыми и созревают за 132-139 дней. Угандийские сорта имеют высоту растений 130-234 см, озернённость метёлки – 1740-2680 шт., что на 48-988 зёрен больше чем у стандарта Зерноградское 53 (1 692 шт.). Масса 1 000 зёрен у изученных сортов составляет 20,4-34,1 г. Сорта Narosorg 1, Narosorg 3, Narosorg 4, Epuripur и Seso 1 отличаются высоким содержанием (13,4-14,6%) сырого белка в зерне (таблица 37).

Таблица 37 – Характеристика образцов сорго зернового из Республики Уганда, 2019-2021 гг.

Сорт	Период вегетации «всходы-полная спелость, дни	Высота растений, см	Выдвигнутость ножки метёлки, см	Количество зёрен в метёлке, шт.	Масса 1000 зёрен, г	Содержание сырого белка, %	Содержание крахмала, %
Зерноградское 53, ст.	102	114	8	1692	25,9	11,6	72,6
Seso 1	111	138	5	2191	26,1	14,6	69,5
Seso 3	132	203	0	2680	22,9	12,4	71,4
Narosorg 1	112	130	3	1740	26,0	13,4	71,5
Narosorg 2	135	197	1	2496	21,2	11,4	71,7
Narosorg 3	134	234	2	2214	34,1	13,5	70,5
Narosorg 4	134	198	1	1946	20,4	13,6	69,7
Epuripur	139	215	6	2158	24,2	14,2	70,8
среднее значение	128	187	3	2204	25,0	13,3	70,7
стандартное отклонение	11,6	39	2	315	4,6	1,1	0,9

Сорта Seso 1 и Narosorg 1, сочетающие высокое качество зерна (содержание белка 14,6 и 13,4% соответственно), озёрность метёлки (2 191 и 1 740 зёрен соответственно), отличающиеся от других сортов наиболее коротким вегетационным периодом (111 и 112 дней соответственно) и наименьшей высотой растений (138 и 130 см соответственно), привлечены в гибридизацию с сортом селекции ФГБНУ «АНЦ «Донской» Зерноградское 88.

Сорт сорго зернового Зерноградское 88 использовался в гибридизации в качестве материнской формы, в качестве отцовских форм – выделенные сорта селекции NaSARRI (рисунок 111).



А

Б

Рисунок 111 – Родительские формы и гибрид первого поколения:

А) Зерноградское 88 × Seso 1; Б) Зерноградское 88 × Narosorg 1

В проведённых исследованиях выводы о характере наследования основывались на анализе значений истинного и гипотетического гетерозиса, а также степени доминирования у гибридов первого поколения по основным хозяйственно-ценным признакам.

В гибридной комбинации Зерноградское 88 × Seso 1 наблюдалось проявление сверхдоминирования главных компонентов структуры урожая: массы 1 000 зёрен (2020 г. – $hr = 3,9$; 2021 г. – $hr = 38,3$) и количества зёрен в метёлке (2020 г. – $hr = 4,7$; 2021 г. – $hr = 3,0$) (таблица 38).

Таблица 38 – Степень доминирования, истинный и гипотетический гетерозис в комбинации Зерноградское 88 × Seso 1, 2020-2021 гг.

Признак (свойство)	Год	♀	♂	F ₁	hp	Г _{ист.} , %	Г _{гип.} , %
период вегетации «всходы – вымётывание», дни	2020	56	70	60	-0,4	-14,3	-4,8
	2021	54	71	57	-0,6	-19,7	-8,8
высота растений, см	2020	99	149	155	1,2	4,0	25,0
	2021	98	121	156	4,0	28,9	42,5
выдвинутость ножки метёлки, см	2020	11	3	22	3,8	100,0	214,3
	2021	10	4	16	3,0	60,0	128,6
количество зёрен в метёлке, шт.	2020	1825	2283	3132	4,7	37,2	52,5
	2021	1664	2090	2525	3,0	20,8	34,5
масса 1000 зёрен, г	2020	28,1	24,4	33,4	3,9	18,9	27,2
	2021	24,6	24,9	30,5	38,3	22,5	23,2
содержание сырого белка, %	2020	13,6	15,1	12,7	-2,2	-15,9	-11,5
	2021	12,4	13,9	11,8	-1,8	-15,1	-10,3
содержание крахмала, %	2020	72,5	68,8	71,6	0,5	-1,2	1,3
	2021	72,6	70,6	71,7	0,1	-1,2	0,1
содержание танина, %	2020	0,14	0,39	0,39	1,0	0,0	47,2
	2021	0,29	0,75	0,41	-0,5	-45,3	-21,2

По признакам «масса 1 000 зёрен» и «количество зёрен в метёлке» отмечен истинный и гипотетический гетерозис. Истинный гетерозис по признаку «масса 1 000 зёрен» в 2020 г. составил 18,9%, в 2021 г. – 22,5%, а гипотетический 27,2% и 23,2%, соответственно. По признаку «количество зёрен в метёлке» наблюдалось проявление более высокого гетерозиса (2020 г. – $\Gamma_{ист.} = 37,2\%$, 2021 г. – $\Gamma_{ист.} = 20,8\%$; 2020 г. – $\Gamma_{гип.} = 52,5\%$, 2021 г. – $\Gamma_{гип.} = 34,5\%$). Таким образом, несмотря на наличие отрицательной корреляционной связи между массой 1 000 зёрен и количеством зёрен в метёлке, возможно увеличение одного признака без снижения другого.

Гибрид характеризовался увеличением выдвинутости ножки метёлки (сверхдоминирование, 2020 г. – $hp = 3,8$, 2021 г. – $hp = 3,0$) по сравнению с роди-

тельскими формами. Период вегетации «всходы – вымётывание» у гибрида Зерноградское 88 × Seso 1 составил 57-60 дней, а признак наследовался по типу частичного и неполного доминирования раннеспелости.

Из признаков, определяющих качество зерна сорго, полудоминирование большего значения (2020 г. – $h_p = 0,5$; 2021 г. – $h_p = 0,1$) отмечено по содержанию крахмала. При этом содержание белка в зерне гибрида было более низким по сравнению с родительскими формами. Значение истинного гетерозиса в 2020 г. равнялось -15,9%, в 2021 г. – -15,1%. Кроме того, в 2020 г. установлено полное доминирование ($h_p = 1,0$) родительской формы с более высоким содержанием танина, а в 2021 г. – полудоминирование меньшего значения признака ($h_p = -0,5$). Проявления различий закономерности наследования танина обусловлены варьированием его содержания у родительских образцов по годам. В тоже время, содержание танина у гибрида в годы исследований существенно не отличалось (2020 г. – 0,39%; 2021 г. – 0,41%).

Гибрид F_1 Зерноградское 88 × Narosorg 1, также как и Зерноградское 88 × Seso 1, отличался увеличением массы 1 000 зёрен (2020 г. – 31,7 г, 2021 г. – 30,3 г), озернённости метёлки (2020 г. – 3 091 шт., 2021 г. – 2 562 шт.) и выдвинутости ножки метёлки (2020 г. – 19 см, 2021 г. – 12 см) по сравнению с родительскими формами. Истинный гетерозис по признаку «масса 1 000 зёрен» в 2020 г. составил 12,8%, в 2021 г. – 19,3%, по количеству зёрен в метёлке – 62,3% и 54,0%, а по выдвинутости ножки метёлки – 72,7% и 20,0%, соответственно (таблица 39).

Таблица 39 – Степень доминирования, истинный и гипотетический гетерозис в комбинации Зерноградское 88 × Narosorg 1, 2020-2021 гг.

Признак (свойство)	Годы	♀	♂	F_1	h_p	$\Gamma_{ист.}$, %	$\Gamma_{гип.}$, %
1	2	3	4	5	6	7	8
период вегетации «всходы – вымётывание», дни	2020	56	72	62	-0,3	-13,9	-3,1
	2021	54	71	58	-0,5	-18,3	-7,2
высота растений, см	2020	99	141	162	2,0	14,9	35,0
	2021	98	112	155	7,1	38,4	47,6

Продолжение таблицы 39

1	2	3	4	5	6	7	8
выдвинутость ножки метёлки, см	2020	11	4	19	3,3	72,7	153,3
	2021	10	1	12	1,4	20,0	118,2
количество зёрен в метёлке, шт.	2020	1825	1905	3091	30,7	62,3	65,7
	2021	1664	1484	2562	11,0	54,0	62,8
масса 1000 зёрен, г	2020	28,1	25,8	31,7	4,1	12,8	17,6
	2021	24,6	25,4	30,3	13,3	19,3	21,2
содержание сырого белка, %	2020	13,6	13,5	12,2	-27,0	-10,3	-10,0
	2021	12,4	13,0	11,6	-3,7	-10,8	-8,7
содержание крахмала, %	2020	72,5	71,1	71,6	-0,3	-1,2	-0,3
	2021	72,6	71,4	71,9	-0,2	-1,0	-0,1
содержание танина, %	2020	0,14	0,54	0,47	0,7	-13,0	38,2
	2021	0,29	0,76	0,33	-0,8	-56,6	-37,1

В комбинации Зерноградское 88 × Narosorg 1 следует отметить проявление отрицательного гетерозиса по содержанию белка и крахмала в зерне. По признаку «содержание танина» наблюдалось неполное доминирование исходных родительских форм (в 2020 г. – с большими значениями признака; в 2021 г. – с меньшими). Однако, содержание танина у данного гибрида, также как и в комбинации Зерноградское 88 × Seso 1, в разные годы исследований отличалось не значительно (2020 г. – 0,47%; 2021 г. – 0,33%).

Высота растений в обеих гибридных комбинациях превышала родительские образцы, то есть проявилось сверхдоминирование признака ($h_p = 1,2-7,1$). Необходимо отметить, что материнская форма (Зерноградское 88) являлась низкорослой (98-99 см), а отцовские образцы из Уганды были высокорослыми (112-149 см).

На основе полученной информации можно сделать вывод о сохранении закономерностей наследования основных хозяйственно-ценных признаков у сорго зернового независимо от года исследования, а также изменения морфологии растений и биохимических показателей (исключение наблюдалось по содержанию танина) качества зерна исходных образцов.

Основываясь на сложности в гибридизации сорта Зерноградское 88 и образцов из Уганды, связанной с разным периодом наступления фазы вымётывания и цветения, для проведения скрещиваний с более широким набором местных сортов, их посев в 2020 г. осуществлялся в два срока (оптимальный и через 14 дней). Получены гибридные комбинации от скрещивания сортов селекции ФГБНУ «АНЦ «Донской» Зерноградское 53, Хазине 28, Лучистое, Великан, Атаман в качестве материнских форм с сортами Seso 1 и Narosorg 1 из Уганды в качестве отцовских.

У гибрида, полученного в результате гибридизации краснозёрного сорта Зерноградское 53 и сорта Narosorg 1 с кремовой (слоновая кость) окраской зерновки, формировалась метёлка с зерновкой красного цвета (рисунок 112).



Рисунок 112 – Растение и метёлка F₁ Зерноградское 53 × Narosorg 1 в сравнении с родительскими формами

В этой комбинации сверхдоминирование признака ($h_p = 8,1-73,0$), истинный ($\Gamma_{ист.} = 12,6-151,8\%$) и гипотетический ($\Gamma_{гип.} = 14,6-177,8\%$) гетерозис проявился по массе 1000 зёрен, озернённости метёлки и высоте растений. По продолжительности периода вегетации от всходов до вымётывания наблюдалось частичное доминирование родительской формы (Зерноградское 53) с меньшим значением признака ($h_p = -0,2$). Выдвинутость ножки метёлки наследовалась по типу полудомини-

нирования ($h_p = 0,5$), а содержание сырого белка в зерне по типу неполного доминирования ($h_p = 0,6$) большего значения признака. Однако, истинный гетерозис в обоих случаях носил отрицательный характер. Кроме того, отмечено снижение ($h_p = -3,7$; $\Gamma_{\text{ист.}} = -2,9\%$; $\Gamma_{\text{гип.}} = -2,3\%$) процентного содержания крахмала в зерне гибрида по сравнению с обеими родительскими формами. Содержание танина у гибрида (4,56%) приближалось к высокотаниновой материнской форме Зерноградское 53 (5,34%), что указывает на неполное доминирование больших значений признака ($h_p = 0,7$) (таблица 40).

Таблица 40 – Степень доминирования, истинный и гипотетический гетерозис в комбинации Зерноградское 53 × Narosorg 1, 2021 г.

Признак (свойство)	♀	♂	F ₁	h_p	$\Gamma_{\text{ист.}}$ %	$\Gamma_{\text{гип.}}$ %
период вегетации «всходы – вымётывание», дни	61	71	65	-0,2	-8,5	-1,5
высота растений, см	111	112	148	73,0	32,1	32,7
выдвинутость ножки метёлки, см	9	1	7	0,5	-22,2	40,0
количество зёрен в метёлке, шт.	1826	1484	4597	17,2	151,8	177,8
масса 1000 зёрен, г	24,5	25,4	28,6	8,1	12,6	14,6
содержание сырого белка, %	11,5	13,0	12,7	0,6	-2,3	3,7
содержание крахмала, %	72,3	71,4	70,2	-3,7	-2,9	-2,3
содержание танина, %	5,34	0,76	4,56	0,7	-14,6	49,5

Привлечение в скрещивание сорта Зерноградское 53 с другим африканским сортом (Seso 1), как и в комбинации Зерноградское 53 × Narosorg 1, привело к доминированию красной окраски зерновки (рисунок 113).



Рисунок 113 – Растение и метёлка F₁ Зерноградское 53 × Seso 1 в сравнении с родительскими формами

Данная комбинация характеризуется наследованием по типу сверхдоминирования, наличием истинного и гипотетического гетерозиса по признакам «выдвинутость ножки метёлки» ($h_p = 2,6$; $\Gamma_{\text{ист.}} = 44,4\%$; $\Gamma_{\text{гип.}} = 100\%$), «количество зёрен в метёлке» ($h_p = 14,2$; $\Gamma_{\text{ист.}} = 83,2\%$; $\Gamma_{\text{гип.}} = 95,5\%$), а также «масса 1 000 зёрен» ($h_p = 21,0$; $\Gamma_{\text{ист.}} = 16,1\%$; $\Gamma_{\text{гип.}} = 17,0\%$). Проявление истинного ($\Gamma_{\text{ист.}} = 28,9\%$) и гипотетического ($\Gamma_{\text{гип.}} = 34,5\%$) гетерозиса по признаку «высота растений» имеет отрицательное значение в селекции сорго зернового. Такое же влияние оказывает частичное доминирование меньших значений признака ($h_p = -0,2 - -0,3$) по основным показателям качества зерна (содержание сырого белка и крахмала) и неполное доминирование больших значений признака ($h_p = 0,9$) по содержанию танина. В тоже время, наследование по типу частичного доминирования меньших значений признака ($h_p = -0,4$), а также наличие отрицательного гетерозиса ($\Gamma_{\text{ист.}} = -9,9\%$; $\Gamma_{\text{гип.}} = -3,0\%$) по продолжительности периода вегетации «всходы – вымётывание» имеет важное значение в селекции на скороспелость (таблица 41).

Таблица 41 – Степень доминирования, истинный и гипотетический гетерозис в комбинации Зерноградское 53 × Seso 1, 2021 г.

Признак (свойство)	♀	♂	F ₁	hp	Г _{ист.} , %	Г _{гип.} , %
период вегетации «всходы – вымётывание», дни	61	71	64	-0,4	-9,9	-3,0
высота растений, см	111	121	156	8	28,9	34,5
выдвинутость ножки метёлки, см	9	4	13	2,6	44,4	100
количество зёрен в метёлке, шт.	1826	2090	3828	14,2	83,2	95,5
масса 1000 зёрен, г	24,5	24,9	28,9	21,0	16,1	17,0
содержание сырого белка, %	11,5	13,9	12,5	-0,2	-10,1	-1,6
содержание крахмала, %	72,3	70,6	71,2	-0,3	-1,5	-0,3
содержание танина, %	5,34	0,75	5,16	0,9	-3,4	69,5

В результате гибридизации белозёрного, полуплётчатого сорта сорго зернового Хазине 28 и голозёрного сорта Narosorg 1 у гибрида F₁, отмечено доминирование окраски зерновки цвета «слоновая кость», как у отцовского образца, а также формирование чёрной колосковой чешуи, соответствующее материнской формы. Исходные образцы отличались по плотности метёлки. Сорт Хазине 28 имеет развесистую метёлку, а Narosorg 1 – сильно сжатую. У гибрида проявилось доминирование материнской формы (рисунок 114).



Рисунок 114 – Растение и метёлка F₁ Хазине 28 × Narosorg 1 в сравнении с родительскими формами

В комбинации F₁ Хазине 28 × Narosorg 1 период вегетации «всходы – вымётывание» составил 56 дней, при значении данного признака у материнской формы 54 дней, а отцовской – 71 дней. Степень доминирования (hp = -0,8) указывает на неполное доминирование меньших значений признака. У гибрида отмечено увеличение высоты растений (141 см), выдвинутости ножки метёлки (17 см), озернённости метёлки (4 029 шт.), массы 1 000 зёрен (27,1 г), и содержания крахмала в зерне (72,5%) по сравнению с родительскими формами. По содержанию сырого белка в зерне наблюдалось частичное доминирование (hp = 0,4) больших значений признака. Полученный гибрид характеризовался снижением содержания танина (0,56%) в зерне по отношению к обеим родительским формам (Хазине 28 – 1,29%, Narosorg 1 – 0,76%) (таблица 42).

Таблица 42 – Степень доминирования, истинный и гипотетический гетерозис в комбинации Хазине 28 × Narosorg 1, 2021 г.

Признак (свойство)	♀	♂	F ₁	hp	Г _{ист.} , %	Г _{гип.} , %
период вегетации «всходы – вымётывание», дни	54	71	56	-0,8	-21,1	-10,4
высота растений, см	119	112	141	7,3	18,5	22,1
выдвинутость ножки метёлки, см	7	1	17	4,3	142,9	325,0
количество зёрен в метёлке, шт.	1492	1484	4029	635,3	170,0	170,8
масса 1000 зёрен, г	25,1	25,4	27,1	12,3	6,7	7,3
содержание сырого белка, %	12,3	13,0	12,8	0,4	-1,5	1,2
содержание крахмала, %	71,5	71,4	72,5	21,0	1,4	1,5
содержание танина, %	1,29	0,76	0,56	-1,8	-56,6	-45,4

В комбинации F₁ Хазине 28 × Seso 1 наследование окраски зерновки, наличия колосковой чешуи, а также плотности метёлки соответствовало проявлению наследования данных признаков гибриду, полученному от скрещивания сорта Хазине 28 и Narosorg 1. Наблюдалось доминирование развесистой метёлки, окраски зерновки цвета «слоновая кость» и наличие чёрной колосковой чешуи (рисунок 115).



Рисунок 115 – Растение и метёлка F₁ Хазине 28 × Seso 1 в сравнении с родительскими формами

Оценка степени доминирования в данной комбинации показала проявление сверхдоминирования по признакам, определяющим технологичность сорта (высота растений и выдвинутость ножки метёлки), а также основных компонентов структуры урожая сорго (количество зёрен в метёлке и масса 1 000 зёрен). При этом, наибольшие значения истинного ($\Gamma_{\text{ист.}} = 214,3\%$) и гипотетического ($\Gamma_{\text{гип.}} = 300,0\%$) гетерозиса отмечены по признаку «выдвинутость ножки метёлки», а среди основных элементов продуктивности – по признаку «количество зёрен в метёлке» ($\Gamma_{\text{ист.}} = 44,4\%$; $\Gamma_{\text{гип.}} = 68,6\%$). Период вегетации «всходы – вымётывание» и содержание сырого белка наследовались по типу неполного доминирования меньших значений признака ($h_p = -0,8$), а содержание крахмала по типу частичного доминирования ($h_p = 0,1$) родительской формы с более высоким уровнем крахмала в зерне. Содержание танина, как и в комбинации Хазине 28 × Narosorg 1, было ниже чем у привлечённых в гибридизацию сортов ($h_p = -1,4$; $\Gamma_{\text{ист.}} = -49,6\%$; $\Gamma_{\text{гип.}} = -36,3\%$) (таблица 43).

Таблица 43 – Степень доминирования, истинный и гипотетический гетерозис в комбинации Хазине 28 × Seso 1, 2021 г.

Признак (свойство)	♀	♂	F ₁	hp	Г _{ист.} , %	Г _{гип.} , %
период вегетации «всходы – вымётывание», дни	54	71	56	-0,8	-21,1	-10,4
высота растений, см	119	121	174	54,0	43,8	45,0
выдвинутость ножки метёлки, см	7	4	22	11,0	214,3	300,0
количество зёрен в метёлке, шт.	1492	2090	3019	4,1	44,4	68,6
масса 1000 зёрен, г	25,1	24,9	27,0	20,0	7,6	8,0
содержание сырого белка, %	12,3	13,9	12,5	-0,8	-10,1	-4,6
содержание крахмала, %	71,5	70,6	71,1	0,1	-0,6	0,1
содержание танина, %	1,29	0,75	0,65	-1,4	-49,6	-36,3

Использование в гибридизации в качестве материнской формы сорта Лучистое с развесистой метёлкой и розовой зерновкой, а в качестве отцовской – сорта Narosorg 1 обладающий окраской зерновки цвета «слоновая кость» и сильно сжатой метёлкой, позволило получить гибрид с красной окраской зерновки, а по плотности метёлки занимающий промежуточное положение между исходными образцами (рисунок 116).

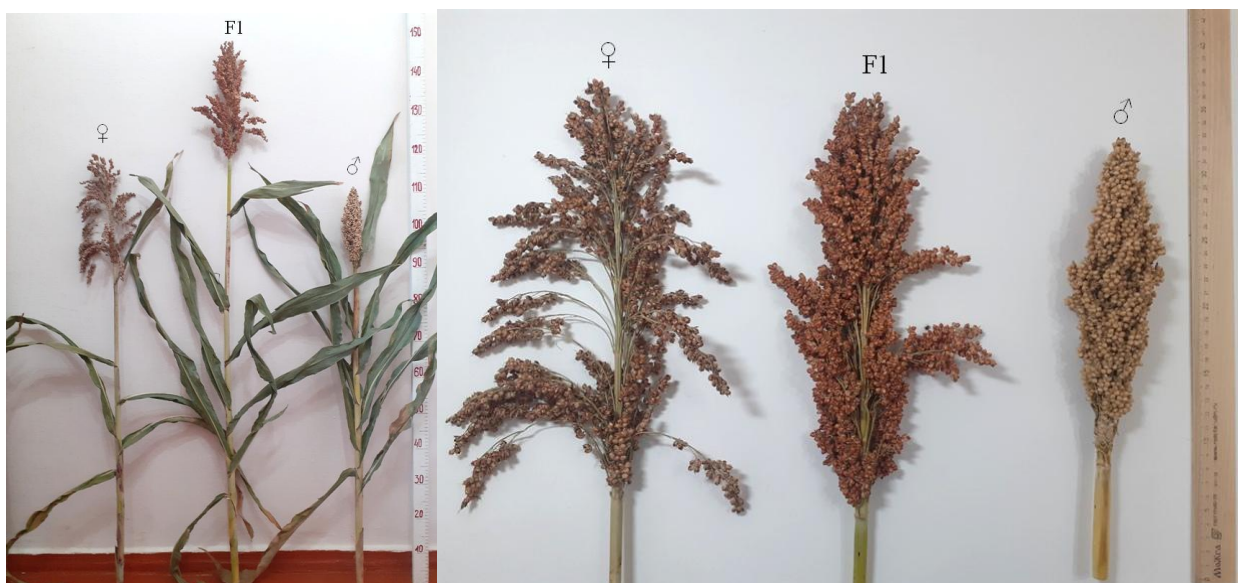


Рисунок 116 – Растение и метёлка F₁ Лучистое × Narosorg 1 в сравнении с родительскими формами

Сверхдоминирование признака отмечено по высоте растений ($h_p = 8,3$), выдвинутости ножки метёлки ($h_p = 5,0$), количеству зёрен в метёлке ($h_p = 6,5$) и массе 1 000 зёрен ($h_p = 2,6$). По этим же признакам выявлен положительный истинный и гипотетический гетерозис. Период вегетации «всходы – вымётывание» наследовался по типу неполного доминирования ($h_p = -0,7$) более скороспелой родительской формы. Содержание крахмала в зерне у данного гибрида совпало с отцовской родительской формой, что указывает на полное доминирование большего значения признака ($h_p = 1,0$). При этом процентное содержание сырого белка в зерне гибрида было ниже обеих родительских форм, что свидетельствует о гибридной депрессии ($h_p = -3,4$), а содержание танина наследовалось по типу неполного доминирования больших значений признака ($h_p = 0,9$) (таблица 44).

Таблица 44 – Степень доминирования, истинный и гипотетический гетерозис в комбинации Лучистое × Narosorg 1, 2021 г.

Признак (свойство)	♀	♂	F ₁	h_p	Г _{ист.} , %	Г _{гип.} , %
период вегетации «всходы – вымётывание», дни	51	71	54	-0,7	-23,9	-11,5
высота растений, см	120	112	149	8,3	24,2	28,4
выдвинутость ножки метёлки, см	5	1	13	5,0	160,0	333,3
количество зёрен в метёлке, шт.	1772	1484	2568	6,5	44,9	57,7
масса 1000 зёрен, г	29,0	25,4	31,9	2,6	10,0	17,3
содержание сырого белка, %	12,5	13,0	11,9	-3,4	-8,5	-6,7
содержание крахмала, %	71,1	71,4	71,4	1,0	0,0	0,2
содержание танина, %	3,12	0,76	2,06	0,9	-2,8	43,1

Гибрид, полученный в результате скрещивания сорта Лучистое и сорта Seso 1, по окраске зерновки соответствовал гибриду F₁ Лучистое × Narosorg 1. Однако этот гибрид отличался более плотной метёлкой и приближался по данному признаку к отцовской родительской форме Seso 1 (рисунок 117).



Рисунок 117 – Растение и метёлка F₁ Лучистое × Seso 1 в сравнении с родительскими формами

Закономерности наследования основных хозяйственно-ценных признаков в комбинации F₁ Лучистое × Seso 1 были подобны закономерностям, отмеченным у гибрида F₁ Лучистое × Narosorg 1 (таблица 45).

Таблица 45 – Степень доминирования, истинный и гипотетический гетерозис в комбинации Лучистое × Seso 1, 2021 г.

Признак (свойство)	♀	♂	F ₁	hp	Г _{ист.} , %	Г _{гип.} , %
период вегетации «всходы – вымётывание», дни	51	71	53	-0,8	-25,4	-13,1
высота растений, см	120	121	151	61,0	24,8	25,3
выдвинутость ножки метёлки, см	5	4	11	13,0	120,0	144,4
количество зёрен в метёлке, шт.	1772	2090	2803	5,5	34,1	45,2
масса 1000 зёрен, г	29,0	24,9	30,6	1,8	5,5	13,5
содержание сырого белка, %	12,5	13,9	11,8	-2,0	-15,1	-10,6
содержание крахмала, %	71,1	70,6	71,1	1,0	0,0	0,4
содержание танина, %	2,12	0,75	3,49	3,0	64,6	143,2

Привлечение в гибридизацию белозёрного сорта Великан, обладающего рыхлой метёлкой и сорта Narosorg 1, позволило получить гибрид первого поколения по цвету зерновки и плотности метёлки близкий к отцовской форме из Уганды. Гибрид F₁ Великан × Narosorg 1 формировал зерновку цвета слоновой кости и сжатую по плотности метёлку (рисунок 118).



Рисунок 118 – Растение и метёлка F₁ Великан × Narosorg 1 в сравнении с родительскими формами

Гибрид характеризуется высотой растений на уровне 214 см, что обусловлено сверхдоминированием признака ($h_p = 4,8$), а также проявлением истинного и гипотетического гетерозиса ($\Gamma_{\text{ист.}} = 45,6\%$; $\Gamma_{\text{гип.}} = 65,3\%$). Положительным в селекционной работе по сорго является наличие сверхдоминирования признаков «выдвинутости ножки метёлки» ($h_p = 6,5$), «количества зёрен в метёлке» ($h_p = 4,7$), «массы 1 000 зёрен» ($h_p = 2,1$), а также неполное доминирование меньших значений признака ($h_p = -0,6$) по продолжительности периода вегетации «всходы – вымётывание». По содержанию сырого белка в зерне доминирование отсутствовало, так как гибрид занимал промежуточное положение между исходными образцами, а по признакам «содержание крахмала» и «содержание танина» отмечена гибридная депрессия ($h_p = -1,5$ и $h_p = -5,0$) (таблица 46).

Таблица 46 – Степень доминирования, истинный и гипотетический гетерозис в комбинации Великан × Narosorg 1, 2021 г.

Признак (свойство)	♀	♂	F ₁	hp	Г _{ист.} , %	Г _{гип.} , %
период вегетации «всходы – вымётывание», дни	55	71	58	-0,6	-18,3	-7,9
высота растений, см	147	112	214	4,8	45,6	65,3
выдвинутость ножки метёлки, см	5	1	16	6,5	220,0	433,3
количество зёрен в метёлке, шт.	1929	1484	2749	4,7	42,5	61,1
масса 1000 зёрен, г	21,6	25,4	27,5	2,1	8,3	17,0
содержание сырого белка, %	12,8	13,0	12,9	0,0	-0,8	0,0
содержание крахмала, %	72,2	71,4	71,2	-1,5	-1,4	-0,8
содержание танина, %	0,63	0,76	0,37	-5,0	-51,3	-46,8

Гибрид, полученный от скрещивания сорта Великан с сортом Seso 1, отличался от комбинации Великан × Narosorg 1 рыхлой метёлкой. В данном случае проявилось доминирование признака материнской формы, а по признаку «окраска зерновки» доминирование отцовской формы сохранилось (рисунок 119).



Рисунок 119 – Растение и метёлка F₁ Великан × Seso 1 в сравнении с родительскими формами

Высота растений гибрида F₁ Великан × Seso 1 составила 180 см, что ниже гибрида F₁ Великан × Narosorg 1 на 34 см. Однако, закономерность по увеличению высоты растений в сравнении с родительскими образцами (сверхдоминирование) сохранилась. У гибрида также отмечено увеличение выдвинутости ножки метёлки (Г_{ист.} = 120,0%; Г_{гип.} = 144,4%), массы 1 000 зёрен (Г_{ист.} = 3,6%; Г_{гип.} = 11,0%) и озернённости метёлки (Г_{ист.} = 88,7%; Г_{гип.} = 96,2%) по отношению к исходным формам. Период вегетации «всходы – вымётывание» гибрида был близок к более раннеспелой (материнской) форме (hp = -0,8). Основные признаки, определяющие качество зерна (содержание сырого белка и содержание крахмала) у данного гибрида совпали с сортом Великан (материнская форма). Однако, в первом случае наблюдалось полное доминирование меньших значений признака (hp = -1,0), а во втором – полное доминирование больших значений признака (hp = 1,0). Содержание танина у гибрида (0,58%) было ниже, чем у привлечённых в гибридизацию сортов Великан (0,63%) и Seso 1 (0,75%), а степень доминирования (hp = -1,8) указывает на гибридную депрессию (таблица 47).

Таблица 47 – Степень доминирования, истинный и гипотетический гетерозис в комбинации Великан × Seso 1, 2021 г.

Признак (свойство)	♀	♂	F ₁	hp	Г _{ист.} , %	Г _{гип.} , %
период вегетации «всходы – вымётывание», дни	55	71	57	-0,8	-19,7	-9,5
высота растений, см	147	121	180	3,5	22,4	34,3
выдвинутость ножки метёлки, см	5	4	11	13,0	120,0	144,4
количество зёрен в метёлке, шт.	1929	2090	3943	24,0	88,7	96,2
масса 1000 зёрен, г	21,6	24,9	25,8	1,5	3,6	11,0
содержание сырого белка, %	12,8	13,9	12,8	-1,0	-7,9	-4,1
содержание крахмала, %	72,2	70,6	72,2	1,0	0,0	1,1
содержание танина, %	0,63	0,75	0,58	-1,8	-22,7	-15,9

При скрещивании сорта Атаман, характеризующийся белой окраской зерновки и рыхлой метёлкой, с сортом Narosorg 1 имеющий цвет зерна «слоновой

кости» и сильно сжатую метёлку, в F₁ отмечено формирование сжатой метёлки и доминирование окраски зерновки цвета «слоновая кость» (рисунок 120).



Рисунок 120 – Растение и метёлка F₁ Атаман × Narosorg 1 в сравнении с родительскими формами

Оценка основных хозяйственно-ценных признаков гибрида показала проявление неполного доминирования меньшего значения признака ($h_p = -0,9$) продолжительности периода вегетации «всходы – вымётывание», а также сверхдоминирование по высоте растений ($h_p = 7,8$), выдвинутости ножки метёлки ($h_p = 3,7$), количеству зёрен в метёлке ($h_p = 12,6$) и массе 1 000 зёрен ($h_p = 23,0$). По содержанию сырого белка ($h_p = -0,1$) и крахмала ($h_p = -0,7$) в зерне наблюдалось доминирование меньших значений признака, а по содержанию танина – гибридная депрессия ($h_p = -1,6$) (таблица 48).

Таблица 48 – Степень доминирования, истинный и гипотетический гетерозис в комбинации Атаман × Narosorg 1, 2021 г.

Признак (свойство)	♀	♂	F ₁	hp	Г _{ист.} , %	Г _{гип.} , %
период вегетации «всходы – вымётывание», дни	52	71	53	-0,9	-25,4	-13,8
высота растений, см	124	112	165	7,8	33,1	39,8
выдвинутость ножки метёлки, см	7	1	15	3,7	114,3	275,0
количество зёрен в метёлке, шт.	1693	1484	2903	12,6	71,5	82,8
масса 1000 зёрен, г	25,7	25,4	29,0	23,0	12,8	13,5
содержание сырого белка, %	10,0	13,0	11,3	-0,1	-13,0	-1,7
содержание крахмала, %	75,3	71,4	72,0	-0,7	-4,4	-1,8
содержание танина, %	0,52	0,76	0,45	-1,6	-40,8	-29,7

В комбинации F₁ Атаман × Seso 1 установлено доминирование окраски зерновки цвета «слоновой кости» (отцовской формы) и рыхлой плотности метёлки (материнской формы) (рисунок 121).



Рисунок 121 – Растение и метёлка F₁ Атаман × Seso 1 в сравнении с родительскими формами

Типы наследования изученных признаков у гибрида F₁ Атаман × Seso 1 были близки с закономерностям, выявленным в комбинации F₁ Атаман × Narosorg 1 (таблица 49).

Таблица 49 – Степень доминирования, истинный и гипотетический гетерозис в комбинации Атаман × Seso 1, 2021 г.

Признак (свойство)	♀	♂	F ₁	hp	Г _{ист.} , %	Г _{гип.} , %
период вегетации «всходы – вымётывание», дни	52	71	56	-0,6	-21,1	-8,9
высота растений, см	124	121	170	31,7	37,1	38,8
выдвинутость ножки метёлки, см	7	4	16	7,0	128,6	190,9
количество зёрен в метёлке, шт.	1693	2090	2786	4,5	33,3	47,3
масса 1000 зёрен, г	25,7	24,9	29,3	10,0	14,0	15,8
содержание сырого белка, %	10,0	13,9	11,4	-0,3	-18,0	-4,6
содержание крахмала, %	75,3	70,6	71,6	-0,6	-4,9	-1,9
содержание танина, %	0,52	0,75	0,37	-2,3	-50,7	-41,7

Проведённые исследования показали, что в результате гибридизации местных сортов сорго зернового с сортами из Африки, существенно различающиеся по вегетационному периоду, наследование продолжительности периода вегетации «всходы – вымётывание» проходило по типу частичного или неполного доминирования меньших значений признака (hp = -0,2 – -0,9). По признакам «высота растений», «количество зёрен в метёлке» и «масса 1 000 зёрен» во всех комбинациях отмечено сверхдоминирование. Положительный гетерозис по признаку «выдвинутость ножки метёлки» проявился у 92% проанализированных гибридов. По содержанию сырого белка в зерне 58% гибридов характеризовались промежуточным наследованием с доминированием меньших или больших значений признака, а у остальных наблюдалась гибридная депрессия или полное доминирование меньших значений признака. Наследование содержания крахмала в зерне по типу частичного или неполного доминирования признака исходных родительских форм отмечено у 50% комбинаций, гибридная депрессия – у 17%. Необходимо

отметить, что 33% гибридов сформировали зерновку с содержанием крахмала на уровне родительской формы с большим значением признака или превысили её. По содержанию танина значительная доля (50%) гибридов характеризовалась меньшими значениями по сравнению с исходными родительскими формами.

ГЛАВА 6 СЕЛЕКЦИЯ СОРГО ЗЕРНОВОГО НА ХОЛОДОСТОЙКОСТЬ

6.1 Оценка перспективных сортов сорго зернового на холодостойкость

Оценка и выделение исходного материала, а также создание новых холодостойких сортов и гибридов сорго зернового, способных переносить существенное снижение температуры воздуха и почвы в весенний период, является одной из важнейших задач в селекции сорго зернового. Для этого требуется изучение исходного материала по холодостойкости в период прорастания семян (Дремлюк, 2008).

Tiryaki I. и David J. (2001) отметили, что реакция прорастания генотипа в контролируемых холодных условиях достоверно ($P < 0,01$) коррелировала ($R=0,66$) с полевыми испытаниями. Об аналогичной корреляции для разных видов сорго также сообщается в работе Brar G.S. и Stewart B.A. (1994).

Применяемый нами метод оценки холодостойкости образцов сорго зернового к прорастанию при пониженных температурах ($5-8^{\circ}\text{C}$), по мнению Е.В. Ионовой и А.В. Алабушева (2009), обладает высокой эффективностью.

Изученные сорта и линии сорго зернового селекции ФГБНУ «АНЦ «Донской» по уровню холодостойкости разделились 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 (всхожести при оптимальных условиях). 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 включённые в Госреестр РФ тёмноокрашенные сорта Орловское, Лучистое, белозёрные сорта Атаман, 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 50).

Таблица 50 – 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

По мнению Н.А. Шепель (1994) сорта и гибриды, которые характеризуются повышенным содержанием танина в семенах, а следовательно, имеют более интенсивный цвет окраски, обладают повышенной холодостойкостью и в неблагоприятных условиях при прорастании семян плесневеют в меньшей степени.

Отсутствие чёткой зависимости между этими признаками отмечено в работе Е.В. Ионовой и А.В. Алабушева (2009), где к группе высокохолодостойких относились образцы с разной окраской зерновок. Причём, по их мнению, сорта и гибриды сорго зернового с высокой холодостойкостью после прекращения охлаждения характеризуются ускоренной способностью восстановления уровня физиолого-биохимических процессов в сравнении с неустойчивыми. После воздей-

ствия пониженных температур у них в меньшей степени проявляется подавление роста и развития, а также активности фотосинтеза.

В связи с этим создание гибридов на стерильной основе и их внедрение имеет большое практическое значение для повышения холодостойкости сорго.

6.2 Анализ наследования холодостойкости у гибридов F₁

Многолетними исследованиями ряда авторов (Ишин и др, 1987; Ионова, Алабушев, 2009) установлено, что проявление гетерозиса необходимо рассматривать как результат комплексного действия в гибридном растении генетических, цитоплазматических, физиологических и биохимических процессов. Наблюдается увеличение размеров зерновки, количества зёрен в соцветии, повышение жизнеспособности. Часто эффектом гетерозиса объясняется скороспелость гибридов, повышение их устойчивости к абиотическим факторам среды, в том числе устойчивости к пониженным температурам (Ионова, Алабушев, 2009). Однако, по мнению Yu J. и Tuinstra M. R. (2001) информации о наследовании холодостойкости у сорго недостаточно. Поэтому, для пополнения этих знаний проведено изучение уровня холодостойкости гибридов F₁ на стерильной основе в сравнении с привлечёнными в гибридизацию родительскими формами. Следует отметить, что материнские формы (ЦМС-линии) характеризовались существенными различиями по устойчивости к пониженным температурам. Стерильная линия Деметра обладает высокой холодостойкостью, а ЦМС-линия Джетта устойчивостью ниже средней.

Значительная доля (42% или 8 шт.) гибридов сорго зернового, полученные с привлечением в качестве материнской формы ЦМС-линии Деметра по уровню холодостойкости проявили 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. Промежуточное наследование с доминированием отцовских (менее холодостойких) форм установлено в двух комбинациях, а также два гибрида характеризовались гибридной депрессией (таблица 51).

Таблица 51 – Наследование холодостойкости гибридами F₁ с использованием ЦМС-линии Деметра

Комбинация скрещивания	Лабораторная всхожесть при пониженной температуре (8°C) к контролю (25°C), %			Группа холодостойкости	hp	Г _{ист.} , %	Г _{гип.} , %
	♀	♂	F ₁				
Деметра × СПЗС-16	88,3	58,3	68,7	II	-0,3	-22,2	-6,3
Деметра × ЗСК 163/17	88,3	52,6	54,5	III	-0,9	-38,3	-22,6
Деметра × ЗСК 176/16	88,3	94,6	96,9	I	1,7	2,4	6,0
Деметра × ЗСК 196/17	88,3	92,5	86,4	I	-1,9	-6,6	-4,4
Деметра × Крупнозёрное 2230	88,3	50,0	70,7	II	0,1	-19,9	2,2
Деметра × Лазурит 486/17	88,3	76,3	95,5	I	2,2	8,2	16,0
Деметра × ЗСК 2262/17	88,3	57,7	78,3	II	0,3	-11,3	7,3
Деметра × ЗСК 1568/14	88,3	91,4	88,1	I	-1,1	-3,6	-1,9
Деметра × ЗСК 231/16	88,3	50,4	83,4	I	0,7	-5,5	20,3
Деметра × ЗСК 449/17	88,3	71,2	91,4	I	1,4	3,5	14,6
Деметра × ЗСК 1530/15	88,3	78,9	89,7	I	1,3	1,6	7,3
Деметра × Зерноградское 204/4	88,3	58,1	81,2	I	0,5	-8,0	10,9
Деметра × Норд 2	88,3	62,5	96,5	I	1,6	9,3	28,0
Деметра × ЗСК 34	88,3	5,6	72,6	II	0,6	-17,8	54,6
Деметра × ЗСК 411/16	88,3	68,3	83,8	I	0,6	-5,1	7,0
Деметра × ЗСК 500/16	88,3	67,2	95,3	I	1,7	7,9	22,6
Деметра × Дружба	88,3	85,6	93,7	I	5,0	6,1	7,8
Деметра × ЗСК 2010	88,3	68,9	97,7	I	2,0	10,6	24,3
Деметра × ЗСК 282/14	88,3	50,2	76,4	II	0,4	-13,5	10,3

Следует отметить, что привлечение в гибридизацию ЦМС-линии Деметра с высокой устойчивостью к пониженным температурам привело к созданию гибридов с лабораторной всхожестью от 54,5% до 96,9% к контролю (лабораторная всхожесть при $t = 25^{\circ}\text{C}$). При этом, большая часть (68% или 13 шт.) гибридов относились к I группе холодостойкости.

В исследованиях Е.В. Ионовой и А.В. Алабушева (2009) также были выделены гибриды, у которых эффект гетерозиса проявлялся по признаку холодостойкость. Однако, основная доля анализируемых гибридов характеризовалась средними значениями уровня холодостойкости по отношению к обеим родительским формам.

При включении в гибридизацию ЦМС-линии Джетта снизилось количество комбинаций, 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 F₁ Джетта × 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 невысоким уровнем холодостойкости. Комбинаций, относящихся к I группе устойчивости, не выявлено (таблица 52).

Таблица 52 – Наследование холодостойкости гибридами F₁ с использованием ЦМС-линии Джетта

Комбинация скрещивания	Лабораторная всхожесть при пониженной температуре (8 °С) к контролю (25°С), %			Группа холодостойкости	hp	Г _{ист.} , %	Г _{гип.} , %
	♀	♂	F ₁				
1	2	3	4	5	6	7	8
Джетта × СПЗС-16	26,7	58,3	41,0	III	-0,1	-29,7	37,6
Джетта × ЗСК 163/17	26,7	52,6	30,9	IV	-0,7	-41,3	-22,1
Джетта × ЗСК 176/16	26,7	94,6	35,8	IV	-0,7	-62,2	-41,0
Джетта × ЗСК 196/17	26,7	92,5	49,3	III	-0,3	-46,7	-17,3
Джетта × Крупнозёрное 2230	26,7	50,0	36,9	IV	-0,1	-26,2	-3,8
Джетта × Лазурит 486/17	26,7	76,3	52,8	III	0,1	-30,8	2,5
Джетта × ЗСК 2262/17	26,7	57,7	51,8	III	0,6	-10,2	22,7
Джетта × ЗСК 1568/14	26,7	91,4	66,7	II	0,2	-27,0	13,0
Джетта × ЗСК 231/16	26,7	50,4	51,6	III	1,1	2,4	33,9

Продолжение таблицы 52

1	2	3	4	5	6	7	8
Джетта × ЗСК 449/17	26,7	71,2	75,4	II	1,2	5,9	54,0
Джетта × ЗСК 1530/15	26,7	78,9	50,8	III	-0,1	-35,6	-3,8
Джетта × Зерноградское 204/4	26,7	58,1	55,3	III	0,8	-4,8	30,4
Джетта × Норд 2	26,7	62,5	68,2	II	1,3	9,1	52,9
Джетта × ЗСК 34	26,7	5,6	15,4	V	-0,1	-42,3	-4,6
Джетта × ЗСК 411/16	26,7	68,3	50,7	III	0,2	-25,8	6,7
Джетта × ЗСК 500/16	26,7	67,2	28,3	IV	-0,9	-57,9	-39,7
Джетта × Дружба	26,7	85,6	54,5	III	-0,1	-36,3	-2,9
Джетта × ЗСК 2010	26,7	68,9	79,0	II	1,5	14,7	65,3
Джетта × ЗСК 282/14	26,7	50,2	48,6	III	0,9	-3,2	26,4

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

Проведённые Yu J. и Tuinstra M.R. (2001) исследования также показали, что гибриды, в целом, были более жизнеспособными, чем инбредные родительские линии. Гетерозис оказывал благоприятное влияние на холодоустойчивость сорго, особенно на рост проростков. Полученные ими результаты указывали, что всхожесть гибридов определялась, в основном, женской родительской формой. Это объясняется тем, что материнские формы имеют большее влияние, чем опылители, так как генетический вклад материнской формы в семя составляет: в околоплоднике – 100%, в эндосперме – 67%, в зародыше – 50%. Кроме того, вклад материнской формы в формирование цитоплазмы семенных клеток гибрида также составляет 100%. О важности материнского воздействия на прорастание и всходы при низкой температуре сообщалось в более ранних исследованиях Soujeole A.A. и Miller F.R. (1984). Генетический вклад отцовских форм в характеристики всхожести также был значительным. Однако, опылители в большей степени способствовали энергии прорастания, чем формированию устойчивости к стрессу.

Проведённая оценка гибридов, полученных на стерильной основе и изученных в период с 2019 по 2021 гг. показала, что наибольшая часть во все годы изучения относились к группе с высокой устойчивостью к пониженным температурам. Причём, включение в 2020 г. в схему гибридизации желтозёрной ЦМС-линии АЗСК 21 с высоким уровнем холодостойкости (лабораторная всхожесть 83,0% при $t = +8^{\circ}\text{C}$) позволило увеличить долю высокохолодостойких комбинаций с 38,0 (19 шт.) в 2019 г. до 50,5% (50 шт.) в 2021 г. (рисунок 122).

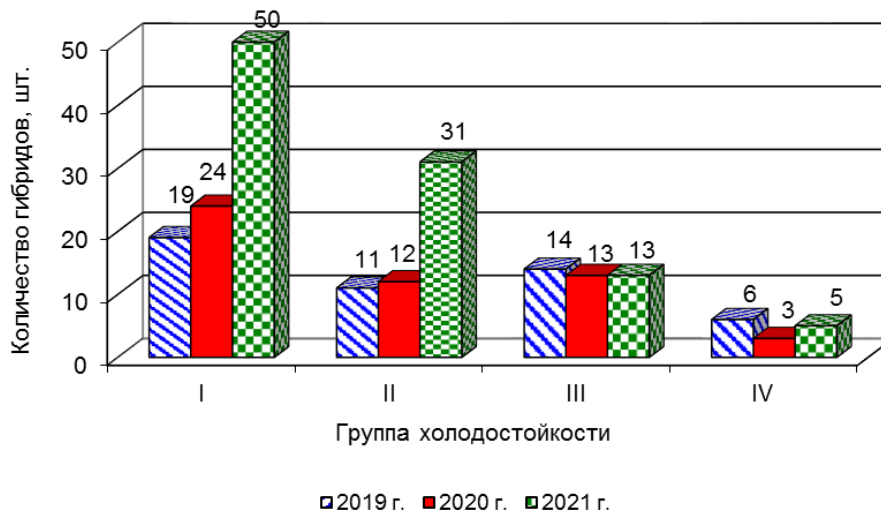


Рисунок 122 – Холодостойкость гибридов первого поколения на стерильной основе, 2019-2021 гг.

ГЛАВА 7 РЕЗУЛЬТАТЫ СЕЛЕКЦИОННОЙ РАБОТЫ ПО СОРГО ЗЕРНОВОМУ

Создание и включение в Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию в РФ новых сортов и гибридов сельскохозяйственных культур, по мнению А.В. Алабушева и др. (2012), являются наиболее эффективным и значимым средством повышения их урожайности и улучшения качества продукции.

В результате целенаправленной селекционной работы созданы и внесены в Госреестр РФ раннеспелые, высокопродуктивные, технологичные, обладающие высоким качеством зерна сорта сорго зернового Зерноградское 88, Атаман, Есаул, а также гибрид Дюйм. Передан на Государственное сортоиспытание сорт сорго зернового Сотник.

Сорт сорго зернового Зерноградское 88 получен в результате отбора из гибридной комбинации Хегари крупнозерное × К-89. Формирует метёлку длиной 28-29 см, массой 30-32 г. Соцветие симметричное, опушенное, рыхлое, прямостоячее (рисунок 123).



Рисунок 123 – Растение и метёлка сорта сорго зернового Зерноградское 88

Сорт характеризуется зелеными, ланцетовидными листьями, длиной 56-59 см и шириной 7-8 см. Расстояние от раструба верхнего листа до первой веточки метелки составляет 8-12 см. Зерновка имеет эллиптическую форму, белого цвета. Степень обнаженности зерновки от колосковой чешуи – заметно открытая, вымолачивается умеренно. Масса 1 000 семян в зависимости от погодноклиматических условий варьирует от 26 до 32 г. Сорт раннеспелый (период от всходов до полной спелости зерна 94-96 дней), низкорослый (высота растений 92-100 см). Характеризуется высокой устойчивостью к полеганию. Урожайность в годы конкурсного испытания (2009-2011 гг.) составила 4,82-5,68 т/га, что существенно выше стандарта Хазине 28 (таблица 53).

Таблица 53 – Урожайность сорта сорго зернового Зерноградское 88 в сравнении со стандартом в конкурсном сортоиспытании, 2009-2011 гг.

Сорт	Урожайность зерна, т/га				Высота растения, см	Период вегетации «всходы – полная спелость», дни
	2009 г.	2010 г.	2011 г.	среднее		
Зерноградское 88	4,82	4,97	5,68	5,16	94	95
Хазине 28, стандарт	4,05	4,02	4,32	4,13	110	99
НСР ₀₅	0,36	0,42	0,38			

По информации Государственной комиссии РФ по испытанию селекционных достижений высокая урожайность зерна сорта сорго зернового Зерноградское 88 отмечена на сортоучастках Северо-Кавказского региона. В среднем за два года сортоиспытания (2011-2012 гг.) отмечено существенное превышение сорта Зерноградское 88 по сравнению со стандартом на Северском сортоучастке Краснодарского края, Ставропольской ГСС, Целинском сортоучастке Ростовской области, Буйнакском и Кизлярском сортоучастках республики Дагестан, а также на Моздокском сортоучастке Северной Осетии. Наибольшая урожайность зерна (8,40 т/га) отмечена в 2012 г на Моздокском сортоучастке, а прибавка к стандарту Хазине 28 составила 4,13 т/га.

По результатам Государственного сортоиспытания сорт допущен к использованию с 2013 года по Северо-Кавказскому (6) региону РФ. Получено авторское свидетельство № 61153 от 2.12.2013 г. (приложение 11).

Проведённые испытания сорта в Луганском национальном аграрном университете (г. Луганск) в период 2017-2019 гг. показали существенное превышение его урожайности (5,40 т/га) по сравнению со стандартом Крымбел (4,39 т/га) (приложение 12). В условиях Краснодарского края (РПЗ «Красноармейский») сорт сорго зернового Зерноградское 88 в среднем за 2018-2019 гг. обеспечил урожайность зерна на уровне 6,87 т/га (приложение 13). На заложенном демонстрационном посеве в 2020 году пропашных культур Россельхозцентром по Ростовской области в условиях Зерноградского района Ростовской области сорт сформировал урожайность зерна 5,30 т/га.

Сорт отличается высоким качеством зерна. В зависимости от погодноклиматических 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%).

В 2014 году сорт сорго зернового Зерноградское 88 за комплекс хозяйственно-ценных признаков отмечен серебряной медалью на XVI Российской агропромышленной выставке «Золотая осень» (приложение 14).

Гибрид сорго зернового Дюйм получен на основе гибридизации ЦМС-линии Деметра и сорта Зерноградское 88. Период вымётывания и цветения материнской формы ЦМС-линии Деметра и отцовской формы сорта Зерноградское 88 совпадают, что значительно облегчает ведение семеноводства гибрида и получение семян. Гибрид характеризуется интенсивным ростом в начальный период развития растений. Относится к раннеспелой группе созревания (период от всходов до полной спелости зерна 90-94 дня). Высота растений при созревании составляет 106-112 см. Метёлка длиной 29-30 см, рыхлая, симметричная, массой 40-45 г (рисунки 124).

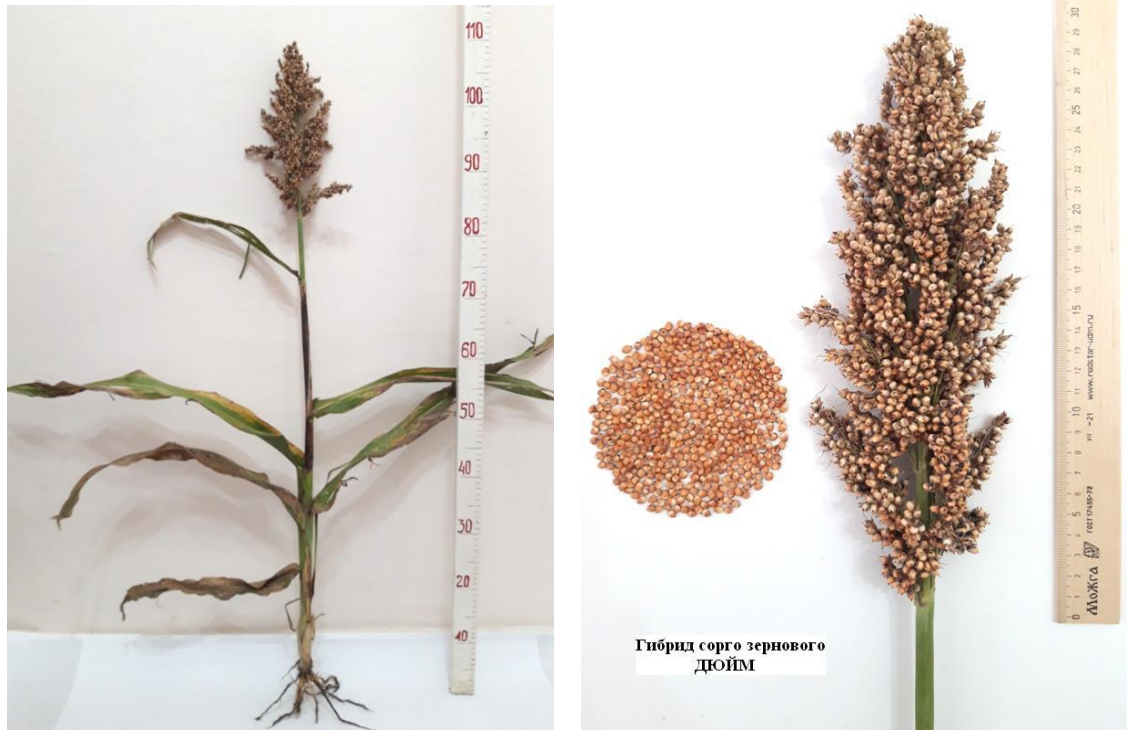


Рисунок 124 – Растение и метёлка гибрида сорго зернового Дюйм

Длина листьев достигает 55-60 см, ширина – 6-8 см. Зерно красного цвета, заметно открытое, хорошо вымолачивается, имеет округлую форму. Содержание крахмала в зерне находится на уровне 72,5-73,5%, сырого белка – 12,0-13,2%, жира – 3,9-4,1%. Масса 1 000 семян – 27-30 г. Урожайность зерна в годы конкурсного испытания (2009-2011 гг.) составила 6,18-6,78 т/га, что существенно выше по сравнению со стандартом F₁ Бархан (таблица 54).

Таблица 54 – Урожайность гибрида сорго зернового Дюйм в сравнении со стандартом в конкурсном сортоиспытании, 2009-2011 гг.

Гибрид	Урожайность зерна, т/га				Высота растений, см	Период вегетации «всходы – полная спелость», дни
	2009 г.	2010 г.	2011 г.	среднее		
F ₁ Дюйм	6,49	6,18	6,78	6,48	109	92
F ₁ Бархан, стандарт	5,81	5,63	5,92	5,79	112	96
НСР ₀₅	0,31	0,34	0,37			

На Государственном сортоиспытании гибрид Дюйм в 2011 показал достоверное превышение урожайности зерна по отношению к стандарту на Ставропольской ГСС (Ставропольский край), Тарасовском (Ростовская область) и Моздокском сортоучастках (Республика Северная Осетия). В 2012 существенная прибавка к стандарту отмечена на Кизлярском сортоучастке Республики Дагестан, Кореновском сортоучастке Краснодарского края, Тарасовском сортоучастке Ростовской области и Ставропольской ГСС (Ставропольский край).

По результатам Государственного сортоиспытания гибрид сорго зернового Дюйм включен в Государственный реестр селекционных достижений с 2013 года по Северо-Кавказскому (6) региону РФ. Получено авторское свидетельство № 61181 от 2.12.2013 г. (приложение 15).

Сорт сорго зернового Атаман создан в результате гибридизации и отбора образцов из гибридной комбинации А-006 × Зерноградское 204. Сорт раннеспелый (период вегетации «всходы – полная спелость» составляет 94-97 дней) с высотой растений при созревании 115-130 см. Метелка длиной 27-32 см, симметричная, белая, прямостоячая, рыхлая, массой 46-59 г (рисунок 125).



Рисунок 125 – Растение и метёлка сорта сорго зернового Атаман

Зерно – округло-эллиптической формы, желтовато-белое, голозерное, легко вымолачивается. Масса 1 000 семян – 26-30 г. 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%. Урожайность зерна в конкурсном испытании (2013-2015 гг.) в среднем составила 5,60 т/га, что выше по сравнению со стандартом Лучистое на 0,83 т/га (таблица 55).

Таблица 55 – Урожайность сорта сорго зернового Атаман в сравнении со стандартом в конкурсном сортоиспытании, 2013-2015 гг.

Сорт	Урожайность зерна, т/га				Высота растений, см	Период вегетации «всходы-полная спелость», дни
	2013 г.	2014 г.	2015 г.	среднее		
Атаман	5,01	5,82	5,96	5,60	125	95
Хазине 28, стандарт	4,45	4,94	5,11	4,77	109	97
НСР ₀₅	0,38	0,41	0,39			

Хорошие результаты сорт Атаман показал при изучении на Государственном сортоиспытании. В 2016 году на Тарасовском сортоучастке Ростовской области новый сорт сформировал урожайность зерна 4,54 т/га и показал достоверное превышение (НСР₀₅ = 0,27 т/га) по отношению к стандарту Хазине 28 (4,00 т/га) на 0,54 т/га, а в 2017 году прибавка составила 0,44 т/га при НСР₀₅ = 0,26 т/га. Высокую урожайность (6,21 т/га) сорт Атаман сформировал в 2017 г. на Зимовниковском сортоучастке Ростовской области и существенно (НСР₀₅ = 0,24 т/га) превысил стандарт Хазине 28 (5,86 т/га) на 0,35 т/га. Высокие показатели сорт продемонстрировал на сортоучастках Нижневолжского региона РФ. В результате этого включён в Государственный реестр селекционных достижений РФ и допущен к использованию с 2018 года по Нижневолжскому (8) региону РФ. Получено авторское свидетельство № 67903 от 18.10.2018 г. (приложение 16).

В 2017-2019 гг. сорт Атаман в Луганском национальном аграрном университете среди изученных сортов показал наибольшую урожайность зерна (5,68 т/га), что существенно выше по сравнению со стандартом Крымбел на 1,29 т/га

(приложение 12). В РПЗ «Красноармейский» (Краснодарский край) сорт сорго зернового Атаман в среднем за 2018-2019 гг. сформировал урожайность зерна на уровне 4,83 т/га (приложение 13). В 2020 г. в условиях Зерноградского района Ростовской области на демонстрационном посеве заложенный Россельхозцентром по Ростовской области сорт Атаман обеспечил урожайность зерна 5,49 т/га и превысил все представленные сорта сорго.

В 2019 году на XXI Российской агропромышленной выставке «Золотая осень» белозёрный, раннеспелый сорт сорго зернового Атаман отмечен дипломом и золотой медалью (приложение 17).

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. Расстояние от раструба верхнего листа до первой веточки метелки 7-10 см. Метелка длиной 25-28 см, по форме шире в нижней части, белая, прямостоячая, рыхлая, массой 42-45 г (рисунок 126).



Рисунок 126 – Растение и метёлка сорта сорго зернового Есаул

Зерновка округло-эллиптической формы, белая, голозерная, легко вымолачивается. Масса 1 000 семян варьирует от 25,6 до 29,4 г. Содержание белка в зерне 12,3-13,1%, крахмала – 72,1-75,6%, танина – 0,04-0,19%. Средняя урожайность зерна за годы испытаний (2018-2020 гг.) составила 6,22 т/га (таблица 56).

Таблица 56 – Урожайность зерна сорта сорго зернового Есаул в сравнении со стандартом в конкурсном испытании, 2018-2020 гг.

Сорт	Урожайность зерна, т/га				Высота растений, см	Период вегетации «всходы-полная спелость», дни
	2018 г.	2019 г.	2020 г.	среднее		
Есаул	6,34	6,12	6,21	6,22	112	99
Зерноградское 88, стандарт	5,29	5,17	5,54	5,33	95	94
НСР ₀₅	0,41	0,34	0,39			

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 (номер заявки – 86898 / 7754679, дата регистрации – 19.09.2022). Получен в результате отбора низкорослых, продуктивных форм из гибридной комбинации ЗСК-4 × Отбор 100.

Сорт раннеспелый (период вегетации «всходы – полная спелость» составляет 97-99 дней), низкорослый (высота растений при созревании 92-104 см), устойчив к поражению пыльной головни и повреждению злаковой тлём. Метелка длиной 25-27 см, по форме симметричная, желтовато-белая, прямостоячая, слабо сжатая, массой 45-57 г, расстояние от раструба верхнего листа до первой веточки метелки 8-12 см. Зерно – округло-эллиптической формы, желтовато-белое, голозерное, легко вымолачивается (рисунок 127). Масса 1 000 семян находится на уровне 24,0-29,9 г.



Рисунок 127 – Растение и метёлка сорта сорго зернового Сотник

Средняя урожайность зерна у сорта Сотник в конкурсном сортоиспытании (2019-2021 гг.) составила 5,96 т/га. Существенное превышение по сравнению со стандартным сортом Зерноградское 88 отмечено во все годы исследований (2019 г, 2020 г. и 2021 г.) на 0,43, 0,95 и 0,81 т/га, соответственно (таблица 57).

Таблица 57 – Урожайность зерна сорта сорго зернового Сотник в сравнении со стандартом в конкурсном сортоиспытании, 2019-2021 гг.

Сорт	Урожайность зерна, т/га				Высота растений, см	Период вегетации «всходы – полная спелость», дни
	2019 г.	2020 г.	2021 г.	среднее		
Сотник	5,60	6,49	5,79	5,96	99	98
Зерноградское 88, стандарт	5,17	5,54	4,98	5,23	92	93
НСР ₀₅	0,34	0,39	0,31			

Сорт характеризуется средним содержанием сырого белка в зерне (11,0-12,2%), высоким и очень высоким содержанием крахмала (74,8-76,7%), а также

низким уровнем танина (0,66-0,85%). Предназначен для возделывания на кормовые и пищевые (крахмал, спирт) цели.

Передан для изучения в Северо-Кавказском (6) и Нижневолжском (8) регионах РФ.

Таким образом, для повышения урожайности и валового сбора зерна сорго необходимо проводить ускоренное внедрение новых допущенных к использованию сортов и гибридов, имеющие существенные преимущество перед возделываемыми в настоящее время сельхозтоваропроизводителями сортами.

ГЛАВА 8 ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОРГО ЗЕРНОВОГО В ПЕРЕРАБОТКЕ

В связи с широким использованием по всему миру зерна сорго на пищевые цели, для создания продуктов целевого назначения, а также в качестве сырья для переработки, в представленной работе приведены результаты изучения включённых в Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию в РФ сортов сорго зернового селекции ФГБНУ «АНЦ «Донской» на возможность использования в хлебопечении и производстве крахмала.

8.1 Хлебопекарная оценка сортов сорго зернового

Одной из задач проведённых исследований являлось изучение возможности включения сорговой муки сортов сорго зернового Зерноградское 88, Атаман, Великан, Зерноградское 53, Лучистое, Орловское и Хазине 28 взамен части пшеничной муки при выпечке хлеба.

С целью проведения сравнительной оценки качества хлеба проведена частичная замена мукой сорго зернового пшеничной муки в следующих соотношениях:

- контроль – 100% мягкой озимой пшеницы сорта Аксинья;
- вариант 1 – 5% (сорго зерновое):95%(озимая пшеница);
- вариант 2 – 10% (сорго зерновое):90%(озимая пшеница);
- вариант 3 – 15% (сорго зерновое):85% (озимая пшеница);
- вариант 4 – 20% (сорго зерновое):80% (озимая пшеница);
- вариант 5 – 25% (сорго зерновое):75% (озимая пшеница);
- вариант 6 – 30% (сорго зерновое):70% (озимая пшеница);
- вариант 7 – 100% сорго зерновое.

Пробная выпечка является единственной прямой оценкой хлебопекарного качества муки изучаемых сортов. При этом, хлебопекарные свойства смесей из сорговой и пшеничной муки оценивали по качеству хлеба, полученного при

пробных выпечках в лабораторных условиях, ремикс-методом с повторным замесом теста.

Проведённый лабораторный размол зерна сорго и последующая оценка образцов сорговой муки выявила различия их по цвету. Согласно ГОСТ 26361-2013 белизна муки у белозёрных сортов Хазине 28, Великан, Атаман, Зерноградское 88, а также сорта сорго зернового Лучистое с розовой окраской зерновки соответствовала II сорту (13,6-31,3 у.ед.). Мука красnozёрных сортов Зерноградское 53 (11,0 у.ед.) и Орловское (5,4 у.ед.) по белизне не соответствует сортовым требованиям. У сорта озимой мягкой пшеницы Аксинья (контроль) данный показатель составляет 57,0 у.ед., что характерно высшему сорту (рисунок 128).

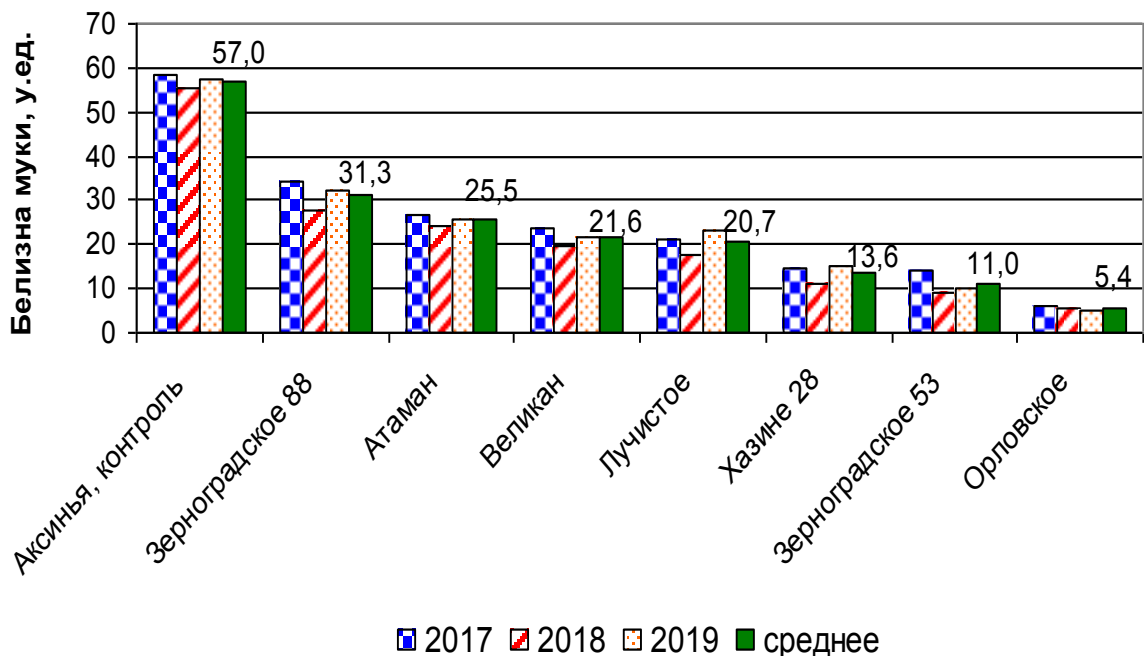


Рисунок 128 – Оценка белизны муки сортов сорго зернового, 2017-2019 гг.

Причём, необходимо отметить, что белизна муки в засушливый год (2018 г.) была ниже по сравнению с более увлажнёнными годами (2017 и 2019 гг.). Влияние условий выращивания на качество муки также отмечалось в исследованиях Б.Н. Малиновского и др. (1992).

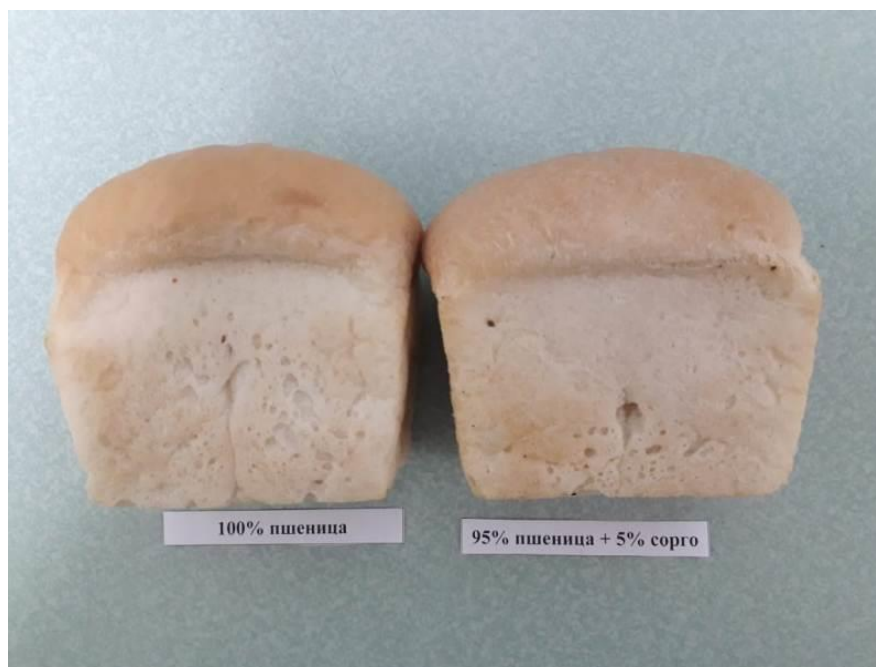
Качество хлеба оценивается по таким показателям как: пористость и эластичность мякиша, объёмный выход хлеба и его форма. К основным показателям качества полученного хлеба относятся объёмный выход и общая хлебопекарная

оценка, которая в значительной степени определяется эластичностью мякиша, формой и пористостью хлеба (Кравченко и др., 2016).

В результате проведённой хлебопекарной оценки установлено, что объёмный выход хлеба со 100 г муки на контроле составил 660 см^3 , что соответствует ценной по качеству пшеницы. При включении в рецептуру 5% муки сорго объёмный выход хлеба в зависимости от сорта составил $613\text{-}657 \text{ см}^3$. Наиболее высокий показатель отмечен у сортов Атаман и Зерноградское 88. Увеличение содержания муки сорго до 10% привело к снижению объёмного выхода хлеба на 5,4-12,9%. Наиболее сильное снижение (с 643 см^3 до 560 см^3) проявилось у сорта Зерноградское 53, а наименьшее (с 657 см^3 до 620 см^3) – у сорта Зерноградское 88. В последующих вариантах наблюдалось дальнейшее снижение объёмного выхода хлеба. При этом, отмечено влияние сортовых особенностей. Так, при добавлении 15% у большинства сортов (Зерноградское 88, Атаман, Великан, Хазине 28, Лучистое) по показателю «объёмный выход хлеба» (более 550 см^3) мука соответствовала пшенице наиболее ценной по качеству. В варианте 20% сорго к 80% озимой мягкой пшеницы этому уровню соответствовали смеси с сортами Зерноградское 88 (597 см^3), Великан (553 см^3), Хазине 28 (553 см^3) и Лучистое (553 см^3). В опыте с содержанием сорго 25% объёмный выход хлеба более 550 см^3 сохранился только у сорта Зерноградское 88, а при увеличении концентрации муки сорго до 30% данный показатель был характерен для слабой пшеницы (менее 550 см^3) (приложение 18).

Для оценки внешнего вид хлеба используется три показателя: поверхность и цвет корки, а также формы хлеба. Хлеб во всех вариантах опыта соответствовал правильной форме, имел слегка выпуклую верхнюю корку характерную формовому хлебу. Поверхность корки на контроле гладкая, блестящая, золотисто-коричневого цвета. В опыте с 5% сорговой муки поверхность была близкой к контролю. Однако, увеличение доли муки сорго, как правило, приводило к ухудшению поверхности и отклонению от контроля цвета корки. В вариантах опыта с включением 10% и 15% поверхность корки ровная с светло-коричневым или желтоватым цветом. При повышении содержания муки сорго хлеб приобретал более

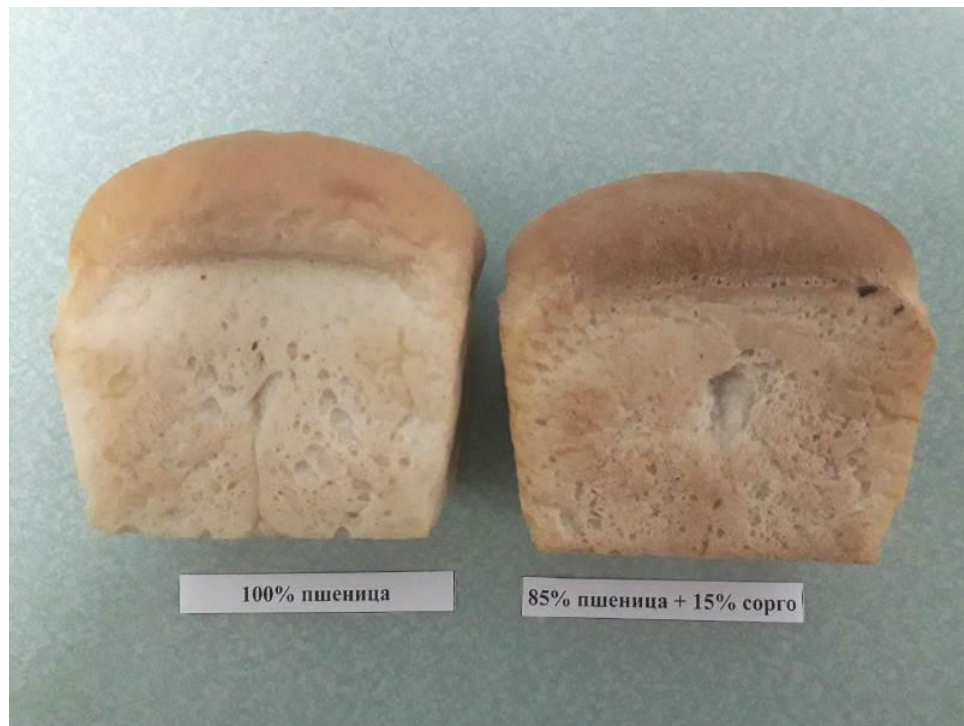
шероховатую поверхность. Хлеб, испечённый из 100% муки сорго по форме не соответствовал формовому хлебу. Это связано с отсутствием глютена в зерне сорго. Наилучшие показатели во всех вариантах отмечены у сорта Зерноградское 88 (рисунок 129).



А. Сравнение контроля и варианта 1



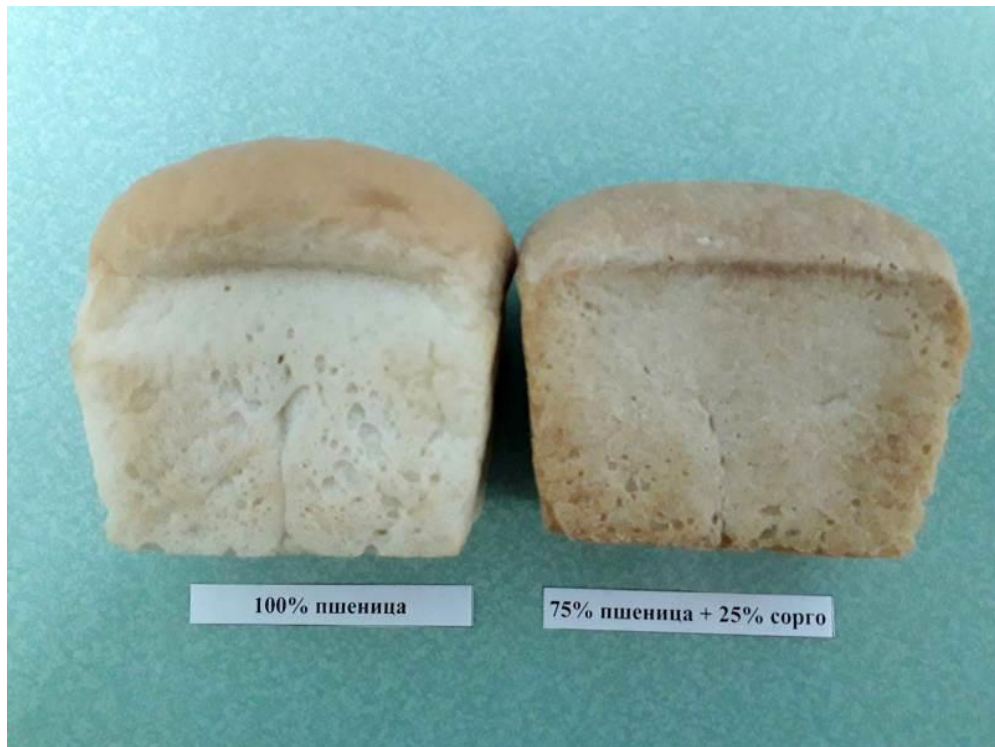
Б. Сравнение контроля и варианта 2



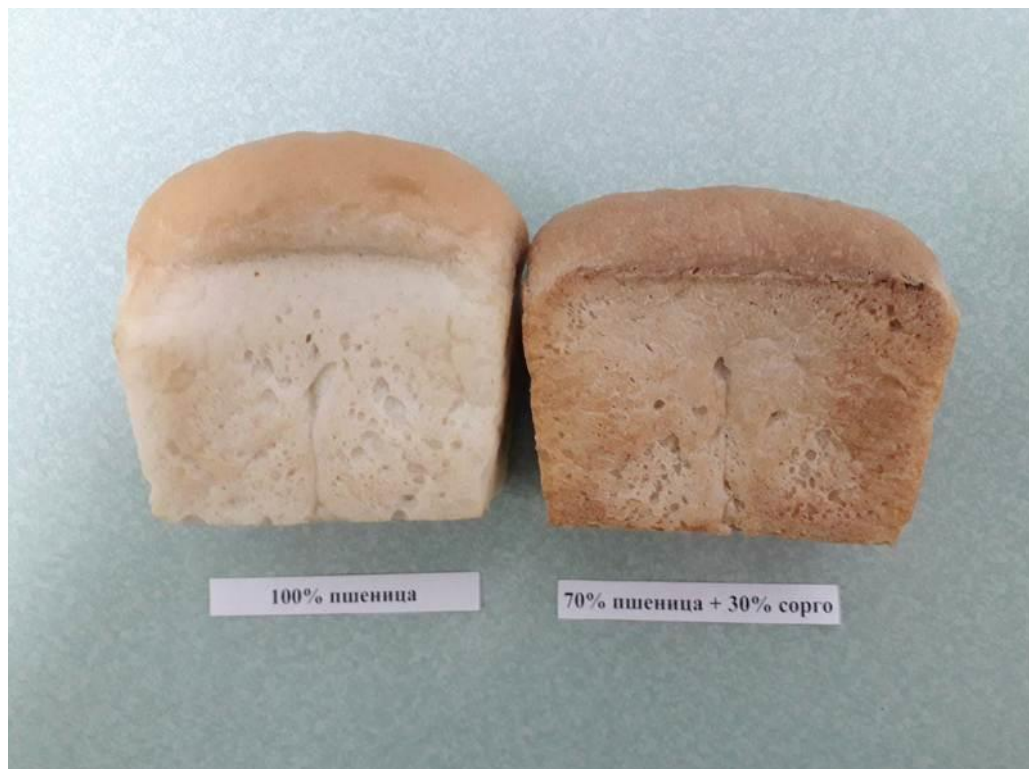
В. Сравнение контроля и варианта 3



Г. Сравнение контроля и варианта 4



Д. Сравнение контроля и варианта 5



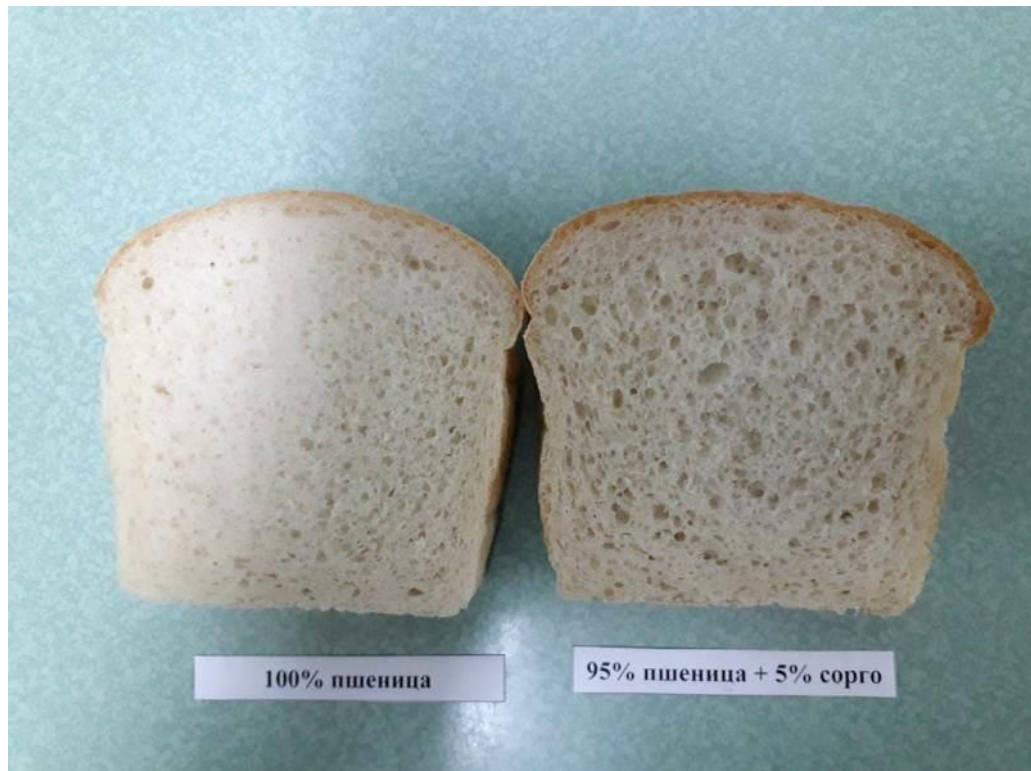
Е. Сравнение контроля и варианта 6



Ж. Сравнение контроля и варианта 7

Рисунок 129 – Внешний вид хлеба на контроле и с добавлением сорговой муки сорта Зерноградское 88

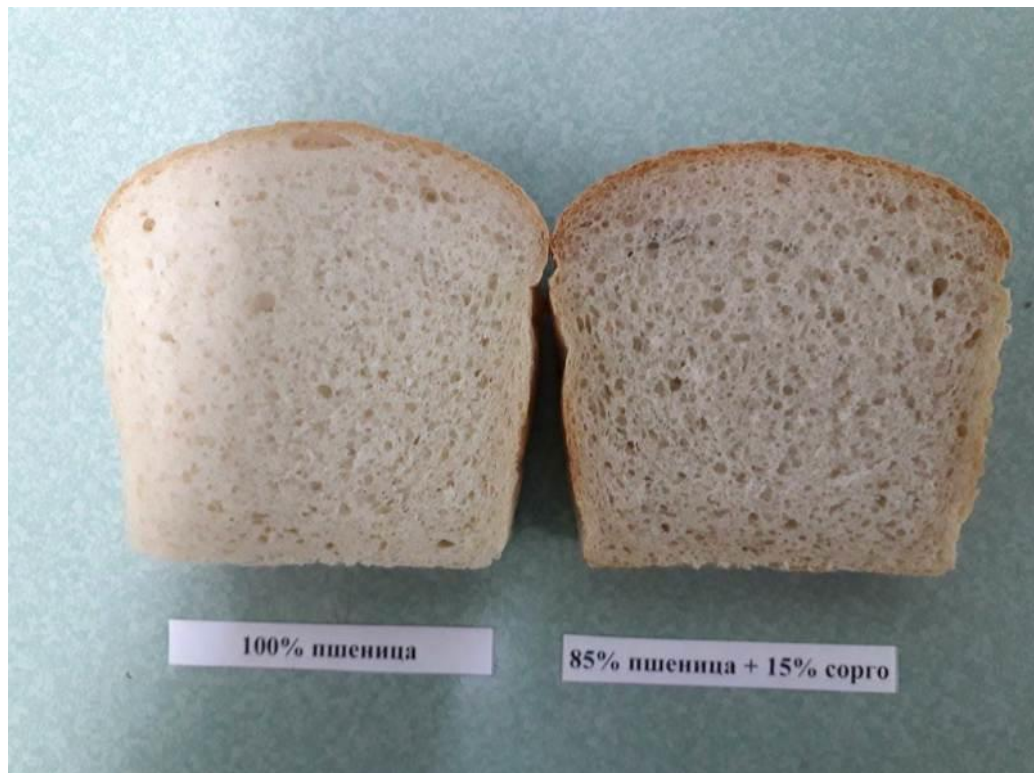
Пористость влияет на усвояемость хлеба. Изучение этого показателя осуществлялось по пятибалльной шкале. На контроле хлеб характеризовался тонкостенной и равномерной пористостью, что соответствовало 2,5 баллам. Пробная выпечка с добавлением 5% сорговой муки в зависимости от сорта варьировала от 2,0 до 2,3 баллов. Лучшие показатели отмечены у хлеба с добавлением муки сорта Атаман. Увеличение процента сорговой муки приводило к появлению более крупных, толстостенных пор по сравнению с контролем и образованию пустот. При включении в хлебопекарную смесь муки сорго от 20 до 30% наилучшие показатели проявились у сортов Атаман и Зерноградское 88 (рисунок 130).



А. Сравнение контроля и варианта 1



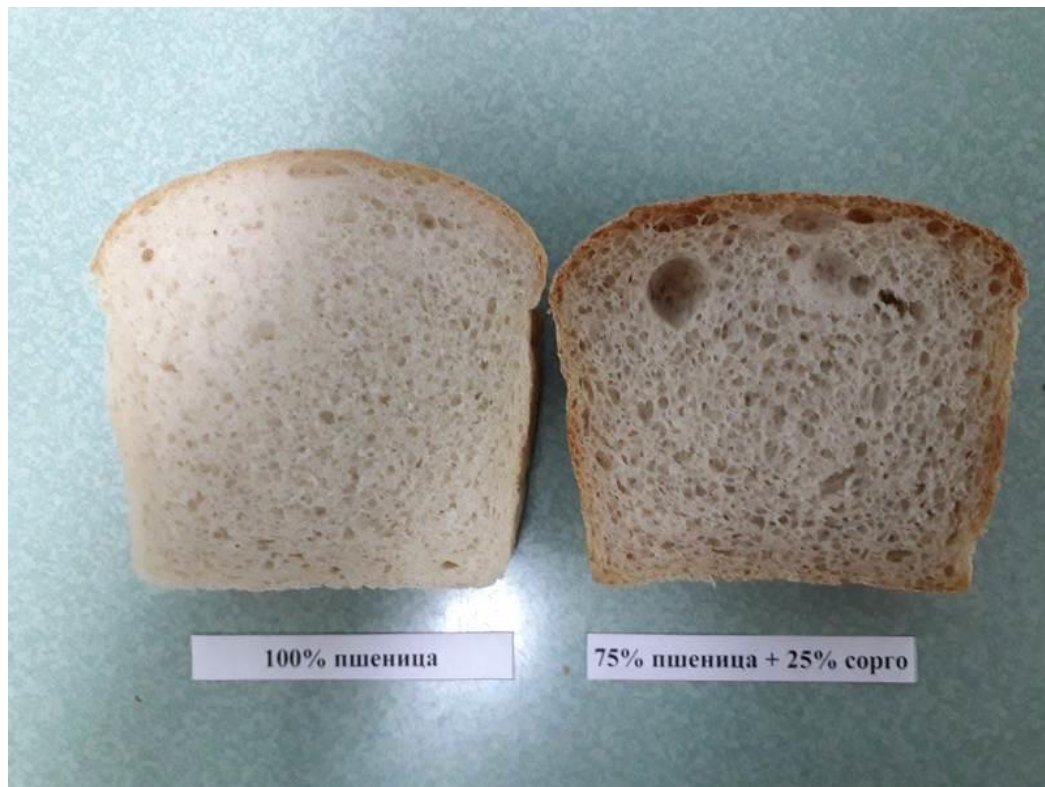
Б. Сравнение контроля и варианта 2



В. Сравнение контроля и варианта 3



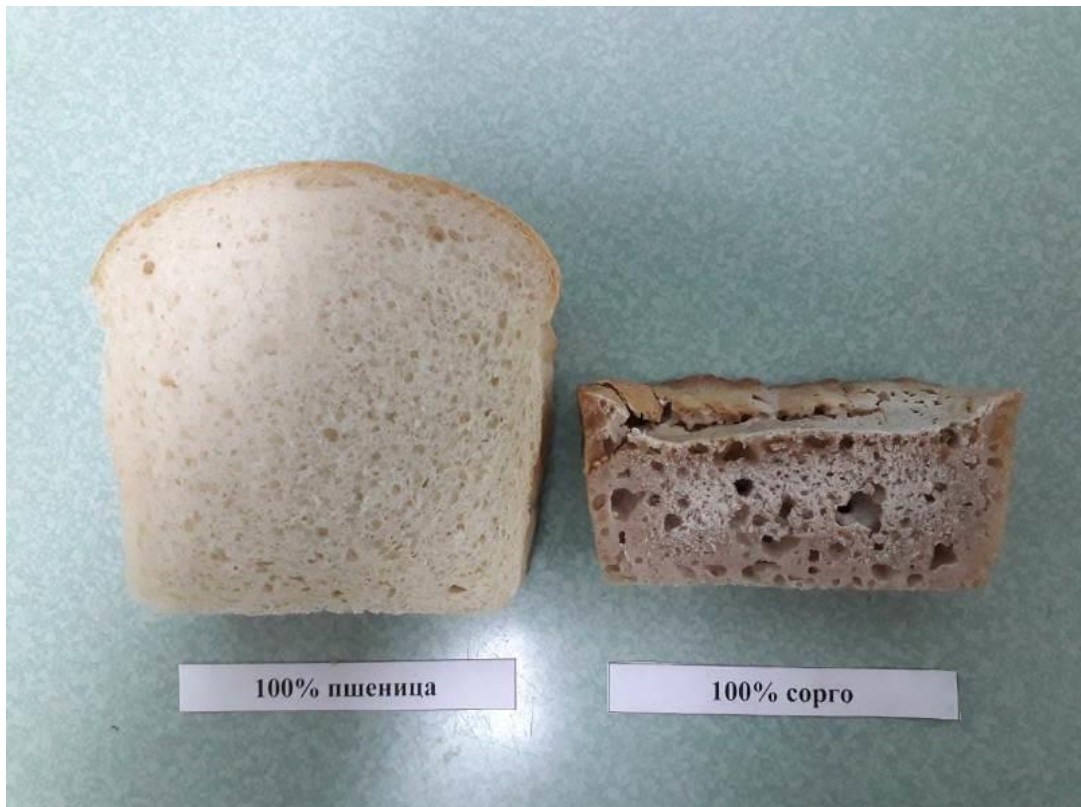
Г. Сравнение контроля и варианта 4



Д. Сравнение контроля и варианта 5



Е. Сравнение контроля и варианта 6



Ж. Сравнение контроля и варианта 7

Рисунок 130 – Состояние пористости мякиша на контроле и с добавлением сорговой муки сорта Зерноградское 88

На способность восстанавливать первоначальную форму после прекращения местного нажима оказывает влияние эластичность мякиша хлеба. В среднем за годы исследований на контроле данный показатель соответствовал 2,8 баллам. Включение 5% сорговой муки приводило к снижению эластичности мякиша до 2,2-2,7 баллов. По мере увеличения процентного содержания сорговой муки эластичность ухудшалась. Однако, у сорта Зерноградское 88 данный показатель при 5% и 10% не изменялся, а у сорта Атаман снижения эластичности не наблюдалось в пределах 5-15%.

Вкус и запах мякиша на контроле были приятными, специфическими пшеничному хлебу. В варианте опыта с 5% муки сорго хлеб также соответствовал пшеничному без отклонений. С добавлением в замес 10% муки сорго и выше, отмечено отклонение от контроля с проявлением мало заметного приятного привкуса.

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. Однако, наиболее высокий балл (4,1) отмечен 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%.

В тоже время, в отдельных публикациях отмечается возможность включения в рецептуру до 50% муки из зерна сорго. Так, в исследования Carson L. et al. (2000) органолептическая оценка хлеба, изготовленного из 50% муки на основе сорго, была проведена шестью экспертами. Оценивался аромат, вкус мякиша, вкус верхней корки и текстуры хлеба по сравнению с коммерческим ржаным хлебом. При анализе аромата был отмечен специфический запах, который участники дегустации связывали с сорго. Ощущалась легкая кислинка и терпкость во вкусах мякиша и корочки. Суммарная оценка полученного хлеба из сорго в среднем составила 6,9 баллов по девятибалльной шкале.

8.2 Изучение сортов сорго зернового как сырья для получения крахмала

В нашей стране в качестве основного сырья для получения крахмала используется картофель и зерно кукурузы. Площади данных культур занимают сравнительно низкую долю в структуре посевных площадей. В связи с этим, возможен недостаток сырья для производства крахмала, особенно в засушливые годы, которые в последнее время наблюдаются всё чаще (Шепель, 1994; Лихопой, Казакова, 1999; Клепко, Лушпина, 2005).

Одной из сельскохозяйственных культур, за счёт которых можно компенсировать дефицит сырья является засухоустойчивая культура сорго зерновое. В связи с этим, 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. Стандартом использовалось зерно кукурузы гибрида Зерноградский 282 МВ.

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%. Необходимо отметить, что сорта сорго зернового Хазине 28, Атаман и Лучистое имеют максимальный выход крахмала (65,9-67,7%) при наибольшей массовой доле крахмала к сухому веществу (77,9-80,5%) (таблица 58).

Таблица 58 – Выход крахмала из зерна сорго зернового сортов селекции ФГБНУ «АНЦ «Донской» (по данным ФГБНУ ВНИИ крахмалопродуктов), 2016 г.

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

В результате проведённых исследований в лабораторных условиях выявлено, что переработка сорго зернового по трудоёмкости сравнима с переработкой зерна кукурузы. 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% (таблица 59).

Таблица 59 – Потери крахмала с побочными продуктами переработки зерна (по данным ФГБНУ ВНИИ крахмалопродуктов), 2016 г.

Сорт (гибрид)	Массовая доля крахмала в сухом веществе мезги, %	Отклонение от стандарта, %
1	2	3
Зерноградский 282 МВ (кукуруза), стандарт	28,9	-
Зерноградское 88	39,8	+10,9
Атаман	40,9	+12,0
Великан	40,2	+11,3
Хазине 28	38,5	+9,6

Продолжение таблицы 59

1	2	3
Лучистое	40,9	+12,0
Зерноградское 53	40,1	+11,2
Орловское	40,8	+11,9

По мнению Гольдштейна В.Г. и соавторов (2017) более высокое содержание крахмала в мезге, полученной при переработке сорго в сравнении с кукурузной мезгой указывает на сложности разрушения крахмало-белковой матрицы в зерне сорго. Высокое содержание крахмала в мезге из сорго зернового, и пониженная диффузия растворимых веществ в жидкий экстракт приводит к уменьшению массовой доли белка в кормах. Кроме того, пониженный спрос на сухие корма, полученные при переработке сорго, и связанные с этим сложности в их реализации определены наличием жестких зерновых оболочек сорго в мезге.

В результате проведенных исследований сделаны выводы о возможности использования сорго зернового в качестве страховой культуры, как сырья для крахмалопаточных предприятий. При этом, лучшие результаты показали сорта сорго зернового Хазине 28, Атаман и Лучистое.

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

Одним из заключительных этапов проведённых научно-исследовательских работ является определение экономической и биоэнергетической эффективности, которая будет получена от внедрения новых сортов и гибридов сельскохозяйственных культур.

Внедрение в сельскохозяйственное производство новых, высокоурожайных сортов и гибридов считается менее затратным и наиболее экономически эффективным способом повышения производства растениеводческой продукции. Это особенно актуально в условиях мирового экономического кризиса, когда другие факторы интенсификации используются ограниченно из-за своей относительно высокой стоимости (Анипенко, Кириченко, 2006).

Для проведения расчётов экономической и биоэнергетической эффективности возделывания сорго зернового использовалась урожайность новых сортов и гибрида, полученная в условиях 2019-2021 гг. Средняя урожайность зерна в данный период варьировала от 5,23 до 6,02 т/га (таблица 60).

Таблица 60 – Урожайность сортов и гибридов сорго зернового, 2019-2021 гг.

Сорт, гибрид	Урожайность зерна, т/га			
	2019 г.	2020 г.	2021 г.	среднее
Зерноградское 88	5,17	5,54	4,98	5,23
Атаман	5,33	5,91	5,42	5,55
F ₁ Дюйм	6,00	6,22	5,70	5,97
Есаул	6,12	6,21	5,73	6,02
Сотник	5,60	6,49	5,79	5,96

Отмечено, что при затратах на один гектар 24960-25413 рублей и реализации рядового зерна по 9000 рублей за одну тонну, возделывание новых сортов и

гибрида экономически выгодно. Условный чистый доход составляет 22110-28767 руб./га., а рентабельность – 89-113% (таблица 61).

Таблица 61 – Экономическая эффективность возделывания новых сортов и гибрида сорго зернового, 2019-2021 гг.

Сорт, гибрид	Производственные затраты, руб./га	Себестоимость продукции, руб./т	Условный чистый доход, руб./га	Рентабельность, %
Зерноградское 88	24960	4772	22110	89
Атаман	25143	4530	24807	99
F ₁ Дюйм	25384	4252	28346	112
Есаул	25413	4221	28767	113
Сотник	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 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 62).

Таблица 62 – Биоэнергетическая оценка возделывания сортов и гибрида сорго зернового, 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
1	2	3	4	5	6
Зерноградское 88	82,0	13,4	68,7	2,55	6,1

Продолжение таблицы 62

1	2	3	4	5	6
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 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.

Гибрид Дюйм и сорт Есаул на единицу затрат технологии возделывания сформировали наибольшее количество энергии в урожае, что позволяет с точки зрения энергетической эффективности считать их наиболее рациональными.

Близкие по значению показатели энергетической эффективности получены по сортам Зерноградское 88, Атаман, Сотник у которых коэффициент энергетической эффективности составил 6,1; 6,5; 6,8 соответственно. Эти сорта также являются энергетически эффективными. Причём, отмечено, что в 2019 г. наибольший коэффициент энергетической эффективности отмечен у сорта Есаул (7,0), а в 2020 и 2021 гг. у сорта Сотник (7,3 и 6,7 соответственно) (приложение 19, 20, 21).

Таким образом, в условиях постоянного роста цен на горюче-смазочные материалы, средства защиты растений необходимо использовать в технологии возделывания сорго зернового новые, наиболее адаптивные сорта и гибриды.

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» ($>2\ 500$ 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 1000 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 F_1 , 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 оценка-

ми 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 Xtxp 297 по идентификации гена Rf2 у 305 образцов позволило выделить только 11 образцов с функциональным аллелем гена Rf2. К образцам с ампликаном 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 (Rf1Rf1Rf2 Rf2Rf6Rf6), 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 F_1 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 ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абдуллаев, Ф.Х. Комбинационная способность образцов кукурузы по элементам продуктивности / Ф.Х. Абдуллаев // Кукуруза и сорго. – 2003. – №6. – С. 14-16.
2. Алабушев, А.В. Адаптивная технология выращивания сорго зернового в засушливой зоне Северного Кавказа / А.В. Алабушев. – Ростов н/Д.: ЗАО «Книга», 2000. – 192 с.
3. Алабушев, А.В. Происхождение сорго и развитие его селекции / А.В. Алабушев, Е.А. Шишова, А.Е. Романюкин, Г.М. Ермолина, С.И. Горпиниченко // Научный журнал КубГАУ. – 2017. – № 127 (03). – С. 287-294.
4. Алабушев, А.В. Качество коллекционных образцов сорго зернового / А.В. Алабушев, В.В. Ковтунов, Н.А. Ковтунова. – Ростов-на-Дону: ЗАО «Книга», 2013. – 144 с.
5. Алабушев, А.В. Рекомендации по приготовлению кормов из сорго и использованию в рационах сельскохозяйственных животных и птицы / А.В. Алабушев, О.И. Алабушева, Л.Н. Анипенко. – зерноград, 2004. – 32 с.
6. Алабушев, А.В. Достижения в селекционной работе по созданию сортов и гибридов сорго «АНЦ «Донской» / А.В. Алабушев // Зерновое хозяйство России. – 2020. – № 2 (68). – С.44-48.
7. Алабушев, А.В. Семеноводство зерновых культур в Ростовской области / А.В. Алабушев, Т.И. Фирсова, Г.А. Филенко – Ростов н/Д: ЗАО «Книга», 2012. – 240 с.
8. Алабушев, А.В. Сорго (селекция, семеноводство, технология, экономика) / А.В. Алабушев, Л.Н. Анипенко, Н.Г. Гурский, Н.Я. Коломиец, П.И. Костылев, П.А. Мангуш, О.И. Алабушева – Ростов-на-Дону: ЗАО «Книга», 2003. – 368 с.
9. Алабушев, А.В. Состояние и пути эффективности отрасли растениеводства / А.В. Алабушев. – Ростов н/Д: ЗАО «Книга», 2012. – 384 с.

10. Алабушев, А.В. Технологические приёмы возделывания и использования сорго / А.В. Алабушев. – Ростов-на-Дону, 2007. – 224 с.
11. Алабушев, А.В. Эффективность производства сорго зернового / А.В. Алабушев, Л.Н. Анипенко. – Ростов-на-Дону: ЗАО «Книга», 2002. – 192 с.
12. Алабушев, А.В. Южно-Российские технологии ячменя / А.В. Алабушев, Н.Н. Коломийцев, И.Н. Лысенко, А.И. Пахайло, Е.Г. Филиппов, В.И. Щербаков, Н.Г. Янковский. – Ростов-на-Дону: ООО «Терра Принт», 2008. – 272 с.
13. Алдошина, В.И. Оценка коллекционных образцов и селекционных номеров сорго по результатам морфо-физиологического изучения / В.И. Алдошина // Проблемы и задачи по селекции, семеноводству и технологии производства и переработки сорго в СССР: тез. докл. – зерноград: ВНИПТИМЭСХ, 1990. – С. 23-24.
14. Анашенков, С.С. Анализ комбинационной способности новых самоопыленных линий и тестеров кукурузы / С.С. Анашенков // Научный журнал КубГАУ. – 2012. – № 80 (06). – С. 264-273.
15. Андрющенко, Н.И. Использование некоторых признаков при подборе родительских пар в селекции гибридов зернового сорго / Н.И. Андрющенко // Селекция, семеноводство, технология возделывания и переработка сорго: тез. докл. – зерноград: ВНИИ сорго и других зерновых культур, 1999. – С. 13.
16. Андрющенко, Н.И. Проявление гетерозиса у гибридов первого поколения зернового сорго / Н.И. Андрющенко // Проблемы биологии, селекции и технологии возделывания и переработки сорго: тезисы докладов. – зерноград, 1992. – С. 56-57.
17. Анипенко, Л.Н. Экономическая эффективность использования селекционных достижений в растениеводстве / Л.Н. Анипенко, В.Е. Кириченко. – Ростов-на-Дону: ЗАО «Книга», 2006. – 80 с.
18. Анисимова, И.Н. Структурно-функциональное разнообразие генов, супрессирующих фенотип цитоплазматической мужской стерильности у растений / И.Н. Анисимова, В.А. Гаврилова // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. – Т. 170. – СПб.: ВИР, 2012. – С. 255.

19. Анисимова, И.Н. Полиморфизм по признакам, ассоциированным с генетической системой ЦМС-Rf, у зернового сорго из коллекции ВИР / И.Н. Анисимова, Д.Н. Рябова, Е.В. Малиновская, Н.В. Алпатьева, Ю.И. Карабицина, Ю.И. Радченко // Сельскохозяйственная биология. – 2017. – № 5 (52). – С. 952-963.
20. Антимонов, А.К. Влияние метеорологических условий на продуктивность и качество зерна сорго зернового / А.К. Антимонов, Л.А. Косых, Л.Ф. Сыркина, О.Н. Антимонова // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2019. – № 6 (80). – С. 93-96.
21. Антимонов, А.К. Оценка сортов зернового сорго на холодостойкость при пониженной температуре в разных средах / А.К. Антимонов, Л.Ф. Сыркина, О.Н. Антимонова, Ю.Ю. Никонорова // Достижения науки и техники АПК. – 2022. – Т. 36. – № 10. – С. 38-42.
22. Антимонов, А.К. Селекция зернового сорго пищевого направления / А.К. Антимонов, Л.Ф. Сыркина, О.Н. Антимонова // Земледелие. – 2021. – № 8. – С. 28-32.
23. Асташов, А.Н. Сорго как компонент комбикорма для цыплят-бройлеров / А.Н. Асташов, С.И. Кононенко, И.С. Кононенко // Кукуруза и сорго. – 2009. – № 5. – С.13-14.
24. Багринцева, Н.А. Исходный материал для селекции зернового сорго / Н.А. Багринцева, Э.К. Вахопский // Современные методы адаптивной селекции зерновых и кормовых культур: матер. междунар. конф. – Самара, 2003. – С. 199-202.
25. Безуглова, О.С. Почвы Ростовской области: учебное пособие / О.С. Безуглова, М.М. Хырхырова. – Ростов н/Д: Изд-во ЮФУ, 2008. – 352 с.
26. Бельтюков, Л.П. Сорт, технология, урожай / Л.П. Бельтюков. – Ростов-на-Дону: ООО «Терра Принт», 2007. – 160 с.
27. Беседа, Н.А. Видовое разнообразие коллекции сорго зернового / Н.А. Беседа, О.А. Лушпина // Научное обеспечение стабильности производства зерновых и комовых культур. – Ростов-на-Дону, 2008. – С. 179-183.

28. Беседа, Н.А. Наследование основных хозяйственно-ценных признаков сорго зернового / Н.А. Беседа, П.И. Костылев // Вестник аграрной науки Дона. – 2009. – № 2. – С. 66-69.
29. Беседа, Н.А. Комбинационная способность сорго зернового в системе диаллельных скрещиваний / Н.А. Беседа, П.И. Костылев, С.И. Горпиниченко // Зерновое хозяйство России. – 2009. – № 1. – С. 14-17.
30. Беседа, Н.А. Изучение исходного материала сорго зернового на основе генетического анализа количественных признаков для создания новых сортов и гибридов: дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.05. / Беседа Наталья Александровна – п. Рассвет, 2010 г. – 135 с.
31. Беседа, Н.А. Наследование высоты растений у сорго зернового / Н.А. Беседа // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2010 а. – № 3 (24). – С. 80-82.
32. Беседа, Н.А. Создание признаковой и генетической коллекции крупнозёрных форм сорго зернового / Н.А. Беседа // Научный журнал КубГАУ. – 2010 б. – № 62 (08). – С. 366-378.
33. Беседа Н.А. Наследование массы 1000 зёрен в системе диаллельных скрещивании зернового сорго / Н.А. Беседа // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 4: Естественно-математические и технические науки. – 2010 в. – № 3. – С. 81-84.
34. Беседа, Н.А. Проблемы и результаты по селекции сорго зернового / Н.А. Беседа, О.А. Лушпина, В.В. Ковтунов, С.И. Горпиниченко // Зерновое хозяйство России. – 2010. – № 6 (12). – С. 49-51.
35. Беседа, Н.А. Подбор исходного материала сорго зернового в селекции на продуктивность / Н.А. Беседа // Аграрный вестник Урала. – 2010 д. – № 12 (79) – С. 5-6.
36. Беседа, Н.А. Озернённость метёлки у реципрокных гибридов зернового сорго / Н.А. Беседа, П.И. Костылев // Зерновое хозяйство России. – 2011. – № 1 (13). – С. 17-20.

37. Болдырева, Л.Л. Оценка гетерозиса по основным морфо-биологическим признакам и свойствам у гибридов F1 сорго зернового / Л.Л. Болдырева, В.В. Бритвин // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2017 а. – № 3 (65). – С. 225-229.

38. Болдырева, Л.Л. Оценка исходного материала (новых самоопыленных линий) сорго по реакции на цитоплазматическую мужскую стерильность / Л.Л. Болдырева, В.В. Бритвин // Известия сельскохозяйственной науки Тавриды. – 2017 б. – № 10 (173). – С. 24-30.

39. Болдырева, Л.Л. Оценка комбинационной способности сорго сахарного по урожайности зелёной массы методом неполного топкросса / Л.Л. Болдырева, В.В. Бритвин, В.Н. Юдина // Известия сельскохозяйственной науки Тавриды. – 2020. – № 22 (185). – С. 5-11.

40. Борасулов, А.М. Комбинационная способность новых линий огурца по основным хозяйственно полезным признакам / А.М. Борасулов, М.Х. Арамов, Ф.Х. Абдуллаев, Р.Ф. Мавлянов // Овощи России. – 2020. – №6. – С. 58-61.

41. Бритвин, В.В. Оценка новых линий сорго сахарного на комбинационную способность / В.В. Бритвин, Л.Л. Болдырева // Научные труды южного филиала Национального университета биоресурсов и природопользования "Крымский агротехнологический университет". Серия: сельскохозяйственные науки. – 2013.– № 157. – С. 75-80.

42. Бритвин, В.В. Сравнительная оценка перспективных сортов сорго зернового крупяного направления / В.В. Бритвин, Л.Л. Болдырева, О.А. Клиценко // Известия сельскохозяйственной науки Тавриды. – 2021. – № 27 (190). – С. 28-34.

43. Вахопский, Э.К. Ставропольское зерновое сорго / Э.К. Вахопский // Кормопроизводство. – 2002. – № 4. – С. 15-16.

44. Володин, А.Б. Использование гетерозиса в повышении урожайности и качества зелёной массы сахарного сорго / А.Б. Володин, С.И. Капустин, А.С. Капустин // Актуальные и новые направления в селекции и семеноводстве сельскохозяйственных культур: матер. междунар. науч.-практ. конф. – Владикавказ: Горский государственный аграрный университет, 2017 б. – С. 63-65.

45. Володин, А.Б. Сорговые культуры – источник кормов для овцеводства / А.Б. Володин, С.И. Капустин, А.С. Капустин // Сборник научных трудов Всероссийского научно-исследовательского института овцеводства и козоводства. – 2017 а. – № 1 (10). – С. 54-59.
46. Володин, А.Б. Схема селекции и уровень гетерозиса гибридов сорго сахарного / А.Б. Володин, С.И. Капустин, А.С. Капустин // Таврический вестник аграрной науки. – 2021. – № 1(25). – С. 64-72.
47. Вольф, В.Г. Методические рекомендации по применению математических методов для анализа экспериментальных данных по изучению комбинационной способности / В.Г. Вольф, П.П. Лукин, А.В. Хавелова, Р.И. Кузьменко. – Харьков, 1980. – 76 с.
48. Гайко, Н.Т. Использование зерна сорго в рационах свиней / Н.Т. Гайко, Н.Ф. Шимель // Технологии создания сортов, возделывания и использования сорго: сб. науч. тр. – зерноград, 1990. – С. 85-86.
49. Гольдштейн, В.Г. Изучение сортов и гибридов зернового сорго селекции ВНИИЗК имени И.Г. Калиненко как сырья для производства крахмала / В.Г. Гольдштейн, Л.П. Носовская, Л.В. Адикаева, О.А. Некрасова, В.В. Ковтунов // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2017. – № 9. – С. 29-31.
50. Гончарова, Ю.К. Генетические основы повышения продуктивности риса / Ю.К. Гончарова, Е.М. Харитонов. – Краснодар: ФГБНУ ВНИИ риса, Просвещение-Юг, 2015. – 314 с.
51. Горпиниченко, С.И. Продуктивность и энергетическая эффективность возделывания новых сортов суданской травы и сорго-суданковых гибридов / С.И. Горпиниченко, Г.В. Метлина, С.А. Васильченко, Н.А. Ковтунова // Зерновое хозяйство России. – 2016. – № 2. – С. 37-41.
52. ГОСТ 10842-89. Зерно. Методы анализа. Метод определения массы 1000 зерен или 1000 семян // Зерно. Методы анализа. – М.: Изд-во стандартов, 2004. – С. 5-6.

53. ГОСТ 10845-98. Зерно и продукты его переработки. Метод определения крахмала // Зерно. Методы анализа. – М.: Изд-во стандартов, 2004. – С. 12-17.
54. ГОСТ 10846-91. Зерно и продукты его переработки. Метод определения белка // Зерно. Методы анализа. – М.: Изд-во стандартов, 2004. – С. 18-23.
55. ГОСТ 10847-74. Зерно. Метод определения зольности // Зерно. Методы анализа. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 2004. – С. 24-27.
56. ГОСТ 26361-2013. Метод определения белизны. – М.: Стандартиформ, 2014 – 12 с.
57. Гриценко, А.А. Агрометеорологические условия в Зерноградском районе Ростовской области (1930-2002гг.) / А.А. Гриценко. – Ростов-на-Дону: ЗАО «Книга», 2005. – 80 с.
58. Гуляев, Г.В. Эколого-генетические принципы селекции растений / Г.В. Гуляев // Практические задачи генетики в сельском хозяйстве. – М.: Наука, 1971. – С. 46-68.
59. Давыдова, Н.В. Особенности подбора исходного материала для селекции яровой мягкой пшеницы в условиях центрального Нечерноземья / Н.В. Давыдова, А.О. Казаченко // Вестник АГАУ. – 2013. – № 5 (103). – С. 5-9.
60. Даниленко, Ю.П. Урожай и качество сорго в орошаемых агроландшафтах Нижнего Поволжья / Ю.П. Даниленко, А.Г. Болотин, А.Б. Володин // Кормопроизводство. – 2010. – № 6. – С. 19-22.
61. Дзюба, В.А. Многофакторные опыты и методы биометрического анализа экспериментальных данных / В.А. Дзюба // Методические рекомендации. – Краснодар, 2007. – 76 с.
62. Дзюба, В.А. К методике проведения гибридологического анализа гибридов зерновых культур / В.А. Дзюба, Л.В. Есаулова, И.Н. Чихирь // Зерновое хозяйство России. – 2012. – № 3 (21). – С. 8-13.

63. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б.А. Доспехов. – изд. 5-е, доп. и перераб. – М.: Альянс, 2014. – 351 с.
64. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта / Б.А. Доспехов. – М.: Колос, 1985. – 308 с.
65. Дремлюк, Г.К. Корреляции признаков у сортов и гибридов сахарного сорго / Г.К. Дремлюк, И.А. Драненко // Генетика, селекция и семеноводство полевых культур: сб. науч. тр. – Одесса, 1976. – С. 79-84.
66. Дремлюк, Г.К. Сорго на изломе эпох: приёмы и методы селекции / Г.К. Дремлюк – Одесса, 2008. – 244 с.
67. Дремлюк, Г.К. Характер наследования основных признаков у гибридов зернового сорго / Г.К. Дремлюк // Селекция и семеноводство сорго: сб. науч. тр. – Черноград, 1985. – С. 15-27.
68. Дремлюк, Г.К. Генетические методы в селекции сорго / Г.К. Дремлюк // Основные направления селекции, семеноводства и технологии возделывания сорговых культур: сб. науч. тр. ВНИИ сорго. – Черноград, 1988. – С. 24-29.
69. Дроздов, С.Н. Диагностика устойчивости растений к стрессовым воздействиям. Методическое руководство / С.Н. Дроздов, Г.В. Ерёмин, Э.Л. Климашевский и др. – Л., 1988. – 228 с.
70. Единая межведомственная информационно-статистическая система [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://www.fedstat.ru>.
71. Ермаков, А.И. Методы биохимического исследования растений / А.И. Ермаков, В.В. Арасимович, Н.П. Ярош, Ю.В. Перуанский, Г.А. Луковникова, Н.И. Иконникова; Под ред. А.И. Ермакова. – 3-е изд. – Л.: Агропромиздат, 1987. – 430 с.
72. Жужукин, В.И. Оценка комбинационной способности сахарного сорго по хозяйственно ценным признакам в тестерных скрещиваниях / В.И. Жужукин, Д.С. Сёмин, А.Ю. Гаршин // Кукуруза и сорго. – 2016. – № 1. – С. 11-13.

73. Жукова, М.П. Основные принципы гетерозисной селекции сорго зернового / М.П. Жукова, Н.А. Багринцева, А.Б. Володин, И.А. Донец // Вестник АПК Ставрополя. – 2018. – № 2 (30). – С. 143-146.

74. Жукова, М.П. Результаты селекции сорго на гетерозис / М.П. Жукова, А.Б. Володин, И.А. Донец, А.С. Голубь, Н.С. Чухлебова // Вестник АПК Ставрополя. – 2016. – № 4 (24). – С. 163-168.

75. Жукова, М.П. Селекция сорговых культур для условий неустойчивого увлажнения Северного Кавказа: автореф. дис. ... доктора с.-х. наук: 06.01.05 / Жукова М.П. – Краснодар, 2000. – 52 с.

76. Жукова, М.П. Создание гетерозисных гибридов сельскохозяйственных культур с использованием цитоплазматической мужской стерильности (ЦМС) / М.П. Жукова, И.А. Донец, А.Б. Володин, Н.С. Чухлебова, А.С. Голубь / Вестник АПК Ставрополя. – 2021. – №2 (42). – С. 18-22.

77. Жученко, А.А. Адаптивная селекция растений / А.А. Жученко. – М.: Изд-во РУДН, 2001. – Т. 2. – 708 с.

78. Зайцев, С.А. Применение диаллельного анализа при изучении комбинационной способности кукурузы / С.А. Зайцев // Аграрный научный журнал. – 2020. – №8. – С. 16-19.

79. Захаренко, Т.С. Химический состав и разработка способов использования сорго в производстве пищевых концентратов / Т.С. Захаренко, Д.И. Кузнецова, И.В. Белаковская, Т.Ю. Шалинова, И.А. Давыдова // Проблемы и задачи по селекции, семеноводству и технологии производства и переработки сорго в СССР: тезисы докладов Всесоюзного совещания. – зерноград, 1990. – С. 25-27.

80. Зональные системы земледелия Ростовской области на 2013-2020 годы. – Ростов-на-Дону: Донской издательский дом, 2013 – Ч. I. – 248 с.

81. Зыкин, В.А. Гибридизация – основа рекомбинационной селекции растений / В.А. Зыкин, А.Х. Шакирзянов. – Уфа: БНИИСХ, 2001. – 68 с.

82. Иванюкович, Л.К. Эволюция рода *Sorghum Moench* (*Poacea Barnh*) / Л.К. Иванюкович // Проблемы и задачи по селекции, семеноводству и технологии

производства и переработки сорго в СССР: тез. докл. – зерноград, 1990. – С. 12-16.

83. Игнатъев, А.С. Оценка нового исходного материала при создании среднеранних и среднеспелых гибридов кукурузы с интенсивным высушиванием зерна: дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.05. / Игнатъев Алексей Станиславович – п. Рассвет, 2011. – 141 с.

84. Ионова, Е.В. Механизмы адаптации растений сорго зернового и биологическое обоснование использования электромагнитного поля сверхвысокой частоты (ЭМП СВЧ) / Е.В. Ионова, А.В. Алабушев. – Ростов н/Д: ЗАО «Ростиздат», 2009. – 192 с.

85. Ионова, Е.В. Перспективы использования адаптивного районирования и адаптивной селекции сельскохозяйственных культур (обзор) / Е.В. Ионова, В.Л. Газе, Е.И. Некрасов // Зерновое хозяйство России. – 2013. – № 3. – С. 19-22.

86. Исаков, Я.И. Исследования по селекции, семеноводству и агротехнике сорговых культур на Дону / Я.И. Исаков // Селекция и семеноводство зерновых и кормовых культур: сб. науч. тр. – зерноград, 1980. – С. 44-64.

87. Исаков, Я.И. О направлении селекции зернового, сахарного сорго, сорго-суданковых гибридов и суданской травы / Я.И. Исаков // Комплексные исследования по селекции сорго: сб. науч. тр. – зерноград, 1987. – С. 4-26.

88. Исаков, Я.И. Сорго / Я.И. Исаков. – М.: Россельхозиздат, 1982. – 134 с.

89. Исаков, Я.И. Результаты работы по селекции и семеноводству сорговых культур в Донском селекционном центре / Я.И. Исаков // Генетика и селекция растений на Дону. – Ростов-на-Дону: Изд-во Ростовского ун-та, 1983. – С. 41-58.

90. Ишин, А.Г. Селекция сортов зернового сорго на продовольственные цели в условиях Юго-Востока России. Сорго крупяное (*Sorghum Oryzoidum* M) / А.Г. Ишин, Т.Г. Хуснетдинова, Г.И. Костина, Е.В. Морозов // Научное обеспечение расширения посевов сорговых культур и кукурузы на зерно в

засушливых районах Юго-Востока и стран СНГ: матер. междунар. науч.-практ. конфер., 19-20 сентября 2003 г. – Саратов, 2004. – С. 112-122.

91. Ишин, А.Г. Сорго: проблемы генетики и селекции / А.Г. Ишин, Л.А. Эльконин, В.С. Тырнов. – Саратов: Изд-во Саратовского ун-та, 1987. 120 с.

92. Кадыров, С.В. Сорго в ЦЧР / С.В. Кадыров, В.А. Федотов, А.З. Большаков и др. – Ростов н/Д: ЗАО «Ростиздат», 2008. – 80 с.

93. Казакова, А.С. Биохимические характеристики коллекции зернового сорго пищевого направления / А.С. Казакова, В.И. Лихопой, Ю.Н. Клепко // Биотехнология и производство экологически чистой продукции сельского хозяйства: тез. докл. рег. науч.-практ. конфер. – Персиановка, 1994. – С. 87-88.

94. Калашников, А.П. Нормы и рационы кормления сельскохозяйственных животных: справочное пособие / А.П. Калашников, Н.И. Клейменов, В.Н. Баканов и др. – М.: Агропромиздат, 1985. – 352 с.

95. Калашников, А.П. Нормы и рационы кормления сельскохозяйственных животных / А.П. Калашников, В.И. Фисинин, В.В. Щеглов и др. – М., 2003. – 456 с.

96. Капустин, С.И. Морфобиологические особенности и селекционная ценность стерильных линий сорго / С.И. Капустин, А.Б. Володин, А.С. Капустин. – Вестник БГАУ. – 2018. – № 4 (48). – С. 29-33.

97. Капустин, С.И. Оценка исходного материала и наследование хозяйственно ценных признаков зернового сорго / С.И. Капустин, А.Б. Володин, А.С. Капустин // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2019. – № 3 (77). – С. 83-86.

98. Кибальник, О.П. Использование ЦМС типа А2 в селекции зернового сорго в Поволжье / О.П. Кибальник, Д.С. Семин, С.В. Лящёва, Т.В. Ларина // Агро XXI. – 2015. – № 7-9. – С. 11-13.

99. Кибальник, О.П. Комбинационная способность ЦМС-линий зернового сорго на основе А1, А2, А3, А4, 9Е и М-35-1А типов цитоплазматической мужской стерильности / О.П. Кибальник // Вавиловский журнал генетики и селекции. – 2017. – № 6 (21). – С. 651-656.

100. Кибальник, О.П. Перспективы использования ЦМС-линий с разными источниками стерильности в селекции сорго / О.П. Кибальник // Вестник НГАУ. – 2020. – № 1 (54). – С. 16-23.

101. Кибальник, О.П. Эффекты гетерозиса у гибридов F_1 сорго на основе цитоплазматической мужской стерильности / О.П. Кибальник, О.Б. Каменева, Е.А. Жук, Т.В. Ларина, Л.А. Орехова, Ю.А. Калинин // Зерновое хозяйство России. – 2020. – № 2 (68). – С. 49-53.

102. Кибальник, О.П. Комбинационная способность ЦМС-линий сорго по урожайности зелёной массы / О.П. Кибальник, Л.А. Эльконин, В.В. Бычкова // Зерновое хозяйство России. – 2014. – № 6. – С. 1-8.

103. Клепко, Ю.Н. Проявление гетерозиса у гибридов первого поколения с участием образцов негритянского сорго / Ю.Н. Клепко // Селекция и семеноводство сорго: сб. науч. тр. – Зерноград, 1985. – С. 10-15.

104. Клепко, Ю.Н. Селекция зернового сорго на крупу и высокое содержание крахмала в зерне / Ю.Н. Клепко, О.А. Лушпина // Достижения, направления развития сельскохозяйственной науки России (селекция, семеноводство, технология, экономика). – Ростов-на-Дону, 2005. – С. 240-241.

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

106. Ковтунов, В.В. Содержание лизина в зерне сорго и наследование этого признака у гибридов F_1 / В.В. Ковтунов, Н.А. Ковтунова, Н.И. Сарычева // Зерновое хозяйство России. – 2011. – № 6 (18). – С. 9-13.

107. Ковтунов, В.В. Наследование сырого жира и сырой клетчатки в зерне гибридов F_1 сорго зернового / В.В. Ковтунов, О.А. Лушпина // Зерновое хозяйство России. – 2015. – № 2. – С. 14-17.

108. Ковтунова, Н.А. Современная оценка питательности кормов из сорговых культур / Н.А. Ковтунова, В.В. Ковтунов, С.И. Горпиниченко, Н.И. Сарычева // Научный журнал КубГАУ. – 2016. – № 123 (09). – С. 783-792.

109. Козловская, Е.А. Подбор родительских компонентов при создании гибридов перца сладкого для степной и сухостепной зон / Е.А. Козловская, О.Н.

Пышная, М.И. Мамедов, Е.А. Джос, А.А. Матюкина // Овощи России. – 2019. – № 1 (45). – С. 8-11.

110. Колов, О.В. Некоторые особенности адаптации сорговых культур к засухе и высоким температурам в условиях Поволжья / О.В. Колов, А.Г. Ишин, А.Ю. Буенков // Кукуруза и сорго. – 2009. – № 5. – С. 11-12.

111. Коломиец, Н.Я. Способ кастрации растений сорго / Н.Я. Коломиец // Основные направления развития селекции, семеноводства и технологии возделывания сорговых культур. – зерноград, 1988. – С. 33-37.

112. Косолапов, В.М. Проблемы и перспективы производства и использования зернофуража в России / В.М. Косолапов, И.А. Трофимов // Аграрный вестник Юго-Востока. – 2009. – № 3. – С. 50-54.

113. Костина, Г.И. Использование химических мутагенов в селекции сорго на качество зерна / Г.И. Костина, И.Ф. Шебанова // Селекция и семеноводство полевых культур: сб. науч. тр. – Саратов, 1983. – С. 61-67.

114. Костина, Г.И. Некоторые результаты мутационной селекции зернового сорго // Селекция, биотехнология и агротехника: сб. науч. тр. – зерноград, 1984. – С. 20-24.

115. Костина, Г.И. Проблемы селекции сорго в Северной зоне соргосеяния / Г.И. Костина // Проблемы биологии, селекции и технологии возделывания и переработки сорго: тез. докл. – зерноград: ВНИПТИМЭСХ, 1992. – С. 47-49.

116. Костина, Г.И. Вопросы происхождения и систематики *Sorghum Moench* / Г.И. Костина, А.Г. Ишин // Бюллетень Ботанического сада Саратовского университета. – 2005. – № 4. – С. 228-232.

117. Костылев, П.И. Изучение зернового сорго пищевого направления по основным хозяйственно-биологическим признакам / П.И. Костылев, Л.М. Костылева, А.С. Ерешко // Технология, селекция и семеноводство с.-х. культур: межвуз. сб. науч. тр., Ч.2. – зерноград, 2004. – С. 85-86.

118. Костылев, П.И. Комбинационная способность стерильных линий (типа А1) в селекции сорго силосного направления / П.И. Костылев, В.В. Метлин, Е.Г. Руденко // Проблемы селекции, семеноводства, технологии возделывания и

переработки сорго: тез. докл. науч.-практ. конфер.; Поволжский НИПТИ сорго и кукурузы. – Саратов, 1995. – С. 34-37.

119. Костылев, П.И. Наследование качественных признаков у межвидовых гибридов сорго / П.И. Костылев // Селекция, семеноводство, технология возделывания и переработка сорго: тез. докл. междунар. науч.-практ. конфер. – 1999 б. – С. 56-57.

120. Костылев, П.И. Наследование количественных признаков у гибридов сорго / П.И. Костылев // Селекция, семеноводство, технология возделывания и переработка сорго: тез. докл. междунар. науч.-практ. конфер. – 1999 а. – С. 55-56.

121. Костылев, П.И. Наследование признака крупносемянности у сорго / П.И. Костылев, В.В. Метлин // Селекция, экология, технология возделывания и переработки нетрадиционных растений: тез. докл. V-й междунар. науч.-произв. конфер. – Алушта, 1996. – С. 115-117.

122. Костылев, П.И. Изучение продуктивности гибридов на стерильной основе зернового белозёрного сорго / П.И. Костылев, Л.М. Костылева // Международный научно-исследовательский журнал. – 2020. – № 4 (94). – С. 49-52.

123. Костылев, П.И. Селекция риса и сорго с использованием отдалённой гибридизации в условиях Северного Кавказа: автореф. дис. ... док. с.-х. наук: 06.01.05 / Костылев П.И. – Краснодар, 1998. – 51 с.

124. Костылев, П.И. Генетические основы наследования продолжительности вегетационного периода у сорго зернового / П.И. Костылев, Н.А. Беседа // Зерновое хозяйство России. – 2010. – № 1 (7). – С. 22-26.

125. Костылева, Л.М. Изучение сортообразцов зернового сорго пищевого направления по урожайности зерна и другим хозяйственно-биологическим характеристикам / Л.М. Костылева, П.И. Костылев // Зерновые и кормовые культуры России: сб. науч. тр. ВНИИСЗК. – Зерноград, 2002 а. – С. 120-122.

126. Костылева, Л.М. Оценка на продуктивность гибридов F1 на стерильной основе зернового белозерного сорго / Л.М. Костылева, П.И. Костылев

// Зерновые и кормовые культуры России: сб. науч. тр. ВНИИСЗК. – зерноград, 2002 в. – С. 130-132.

127. Костылева, Л.М. Селекция зернового, сахарного сорго и суданской травы на крупнозёрность / Л.М. Костылева, П.И. Костылев // Зерновые и кормовые культуры России: сб. науч. тр. ВНИИСЗК. – зерноград, 2002 б. – С. 123-128.

128. Кравченко, Н.С. Технологические и хлебопекарные свойства районированных и перспективных сортов озимой мягкой пшеницы / Н.С. Кравченко, Н.Г. Игнатъева, Е.В. Ионова // Зерновое хозяйство России. – 2016. – № 4 (46). – С. 37-41.

129. Лазаревич, А.Н. Методика расчёта потребности в обменной энергии для свиней мясного направления / А.Н. Лазаревич // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова. – 2016. – № 3 (44). – С. 58-64.

130. Левахин, Г.И. Оптимизация использования биоресурсов сорговых культур при производстве говядины / Г.И. Левахин, В.А. Айрих, Ю.Н. Сидоров. – Оренбург: Издат. центр ОГАУ, 2006. – 236 с.

131. Лепехов, С.Б. Методы подбора пар для скрещивания в селекции на урожайность у самоопыляющихся культур / С.Б. Лепехов // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. – 2017. – № 4 (178). – С. 76-89.

132. Лихопой, В.И. Оценка коллекции зернового сорго на содержание сырого протеина, танинов и крахмала в зерне / В.И. Лихопой, А.С. Казакова / Проблемы биологии, селекции и технологии возделывания и переработки сорго: тез. докл. – зерноград, 1992. – С. 65-66.

133. Лихопой, В.И. Содержание и наследование сырого протеина в зерне сорго / В.И. Лихопой, Г.В. Жадько, А.С. Казакова // Комплексные исследования по селекции, семеноводству, технологии возделывания сорго: сб. науч. тр. ВНИИ сорго. – зерноград, 1995. – С. 35-39.

134. Лихопой, В.И. Использование зернового сорго в производстве крахмала / В.И. Лихопой, А.С. Казакова // Селекция, семеноводство, технология

возделывания и переработка сорго: тез. докл. – Зерноград: ВНИИ сорго и других зерновых культур, 1999. – С. 60.

135. Мазер, К. Биометрическая генетика / К. Мазер, Дж. Джинкс. – М. Мир, 1985. – 463 с.

136. Малиновский, Б.Н. Качество зерна индийских образцов зернового сорго в условиях Краснодарского края / Б.Н. Малиновский, Г.Г. Аббасов // Комплексные исследования по селекции, семеноводству, технологии возделывания сорго: сб. науч. тр. ВНИИ сорго. – Зерноград, 1995. – С. 108-114.

137. Малиновский, Б.Н. Основные направления в селекции сорго и пути использования мирового генофонда в создании новых сортов и гибридов на современном этапе / Б.Н. Малиновский // Технологии создания сортов, возделывания и использования сорго: сб. науч. тр. ВНИИ сорго. – Зерноград, 1990. – С. 3-15.

138. Малиновский, Б.Н. Содержание крахмала в сортах зернового сорго, выращенных в орошаемых условиях Зеравшанской долины Узбекистана / Б.Н. Малиновский, О.М. Хусанов, В.И. Хорева // Комплексные исследования по селекции, семеноводству, технологии возделывания сорго: сб. науч. тр. ВНИИ сорго. – Зерноград, 1995. – С. 114-117.

139. Малиновский, Б.Н. Сорго на Северном Кавказе / Б.Н. Малиновский. – Ростов-на-Дону: Изд-во Ростовского ун-та, 1992. – 208 с.

140. Малиновский, Б.Н. Использование сорговой муки в хлебопечении / Б.Н. Малиновский, Л.Н. Казанская, Н.Ф. Никифорова, Г.Г. Аббасов // Проблемы биологии, селекции и технологии возделывания и переработки сорго: тез. докл. – Зерноград, 1992. – С. 31-33.

141. Мальцева, В.Ф. Технология производства продукции растениеводства: учебник для студентов вузов / В.Ф. Мальцева, М.К. Каюмова. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2008. – 601 с.

142. Мальчиков, П.Н. Подбор родительских генотипов для гибридизации в селекции яровой твёрдой пшеницы / П.Н. Мальчиков // Достижения науки и техники АПК. – 2009. – № 10. – С. 62-64.

143. Мангуш, П.А. Перспективы развития исследований по культуре сорго / П.А. Мангуш, О.Д. Шарова // Проблемы и задачи по селекции, семеноводству и технологии производства и переработки сорго в СССР: тез. докл. – зерноград, 1990. – С. 3-5.

144. Мастерова, В.П. Основы кормопроизводства / В.П. Мастерова, Н.Н. Ананьина. – Изд. 2-е, испр. и доп. – М.: Высшая школа, 1974. – 208 с.

145. Маркин, Н.В. Кодоминантные маркеры гена *Rf1* культурного подсолнечника / Н.В. Маркин, О.Ф. Горбаченко, М.А. Тихонова, А.В. Усатов // Масличные культуры. Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур. – 2010. – Вып. 1 (142-143). – С. 3-8.

146. Мережко, А.Ф. Использование менделевских принципов в компьютерном анализе наследования варьирующих признаков / А.Ф. Мережко // Экологическая генетика культурных растений: материалы школы молодых ученых. – Краснодар, 2005. – С. 107-117.

147. Метлин, В.В. Влияние фоточувствительности исходных родительских форм сорго на выметывание гибридных растений второго поколения / В.В. Метлин, П.И. Костылев, Л.М. Костылева // Селекция, семеноводство и агротехника зерновых и кормовых культур на Дону. – зерноград, 1994. – С. 180-183.

148. Метлин, В.В. Изучение наследования количественных признаков у сорго / В.В. Метлин, П.И. Костылев, Л.М. Костылева, Е.Г. Руденко // Проблемы селекции, семеноводства, технологии возделывания и переработки сорго: тез. докл. науч.-практ. конфер.; Поволжский НИПТИ сорго и кукурузы. – Саратов, 1995 б. – С. 25-26.

149. Метлин, В.В. Использование гена *Ma1* в создании коммерческих гибридов сахарного сорго / В.В. Метлин, П.И. Костылев, Л.М. Костылева, Е.Г. Руденко // Проблемы селекции, семеноводства, технологии возделывания и переработки сорго: тез. докл. науч.-практ. конфер.; Поволжский НИПТИ сорго и кукурузы. – Саратов, 1995 в. – С. 27-28.

150. Метлин, В.В. Селекционная работа по увеличению размеров семян у зернового, сахарного сорго и суданской травы / В.В. Метлин, П.И. Костылев // Селекция, семеноводство, технология возделывания и переработка сорго: тез. докл. междунар. науч.-практ. конфер. – 1999. – С. 68.

151. Метлин, В.В. Крупнозёрные сортообразцы зернового сорго коллекции ICRISAT / В.В. Метлин, П.И. Костылев, Л.М. Костылева // Комплексные исследования по селекции, семеноводству, технологии возделывания сорго: сб. науч. тр. – зерноград, 1995 а. – С. 19-22.

152. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Зерновые, крупяные, зернобобовые, кукуруза и кормовые культуры. – М., 1989. – Вып. 2. – 195 с.

153. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Технологическая оценка зерновых, крупяных и зернобобовых культур / Под общ. ред. М.А. Федина; Государственная комиссия по сортоиспытанию сельскохозяйственных культур. – М., 1988. – 122 с.

154. Методические указания по изучению коллекционных образцов кукурузы, сорго и крупяных культур. – Л.: ВИР, 1968. – 51 с.

155. Мони́на, Н.А. Сорго – источник сырья для получения новых продуктов питания / Н.А. Мони́на, Г.И. Костина // Селекция, семеноводство, технология возделывания и переработка сорго: тез. докл. – зерноград: ВНИИ сорго и других зерновых культур, 1999. – С. 70-71.

156. Некрасова, О.А. Модель сорта в селекции озимой пшеницы (обзор) / О.А. Некрасова, П.И. Костылев, Е.И. Некрасов // Зерновое хозяйство России. – 2017. – № 5 (53). – С. 29-32.

157. Новичихин, А.П. Изучение комбинационной способности новых раннеспелых линий кукурузы / А.П. Новичихин, Н.А. Лемешев, А.В. Гульняшкин // Рисоводство. – 2019. – № 1 (42). – С. 54-57.

158. Новосёлов, Ю.К. Методические указания по проведению полевых опытов с кормовыми культурами / Ю.К. Новосёлов, Г.Д. Харьков, Н.С. Шеховцова. – М.: ВИК, 1983. – 198 с.

159. Обухова, А.В. Комбинационная способность гороха посевного в системе диаллельных скрещиваний по элементам семенной продуктивности / А.В. Обухова, Л.В. Омелянюк, Н.А. Поползухина // Вестник АГАУ. – 2012. – № 12 (98). – С.14-17.
160. Омаров, Д.С. К методике учета и оценки гетерозиса у растений / Д.С. Омаров // С.-х. биология. – 1975. – Т.10. – № 1. – С. 123-127.
161. Павлов, А.Н. Повышение содержания белка в зерне / А.Н. Павлов. – М.: Наука, 1984. – 119 с.
162. Посыпанов, Г.С. Практикум по растениеводству / Г.С. Посыпанов. – М.: Мир, 2004. – 256 с.
163. Посыпанов, Г.С. Растениеводство / Г.С. Посыпанов, В.Е. Долгодворов, Г.В. Коренев. – М.: Колос, 1997. – 447 с.
164. Савченко, В.И. Качество и урожайность сельскохозяйственных культур / И.В. Савченко // Достижения науки и техники АПК. – 2010. – № 11. – С. 3-4.
165. Серебrenикова, Е.С. Качество муки из зерна сорго и реологические свойства теста из смеси пшеничной и сорговой муки / Е.С. Серебrenикова, Л.В. Анисимова // Ползуновский вестник. – 2022. – №3. – С. 71-80.
166. Смиловенко, Л.А. Семеноводство с основами селекции полевых культур: учебное пособие / Л.А. Смиловенко – Ростов-на-Дону, 2004. – 240 с.
167. Смирнов, В.Г. Значение генетических коллекций для фундаментальных исследований и селекционных программ / В.Г. Смирнов // Идентифицированный генофонд растений и селекция. – Санкт-Петербург: ВИР, 2005. – С. 783-806.
168. Смирнова, В.С. Биологический потенциал сорго и его холодостойкость / В.С. Смирнова // XX юбилейные царскосельские чтения: матер. междунар. науч. конфер. – 2016. – С. 266-269.
169. Старчак, В.И. Оценка комбинационной способности зернового сорго в тестерных скрещиваниях / В.И. Старчак // Аграрные конференции. – 2017. – № 2. – С. 1-6.

170. Стафийчук, А.А. Кормовые достоинства сорго / А.А. Стафийчук, Н.Я. Телятникова. – В кн.: Сорго. – М.: Колос, 1967. – С. 197-205.
171. Струнников, В.А. Природа гетерозиса, методы его повышения и закрепления в последующих поколениях без гибридизации / В.А. Струнников, Л.В. Струнникова // Известия АН. Сер. биол. – 2000. – № 6. – С. 679-687.
172. Сулова, Т.А. Содержание белка и лизина в зерне сортов и гибридов сорго в условиях Поволжья / Т.А. Сулова // Селекция и семеноводство полевых культур: сб. науч. тр. – Саратов, 1983. – С. 88-97.
173. Сыркина, Л.Ф. Новый сорт зернового сорго Вера универсального использования / Л.Ф. Сыркина, А.К. Антимонов, О.Н. Антимонова // Вестник КрасГАУ. – 2021. – № 7. – С. 59-65.
174. Сыркина, Л.Ф. Сорго зерновое как возможный источник сырья для переработки на крахмал и спирт / Л.Ф. Сыркина, Ю.Ю. Никонорова // Вестник КрассГАУ. – 2020. – № 10. – С. 95-100.
175. Сыркина, Л.Ф. Сравнительный анализ лабораторного прорастания семян сортов зернового сорго / Л.Ф. Сыркина, Ю.Ю. Никонорова // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. Сельскохозяйственные науки. – 2022. – Т. 1. – № 1. – С. 55-58.
176. Троценко, А.Г. Селекция зернового сорго с учётом элементов структуры урожая / А.Г. Троценко // Материалы IX заседания ЭУКАРПИИ. Секция кукурузы и сорго. – Краснодар, 1979. – Ч. 3. – С. 573-578.
177. Темирбеков, Б.К. Характеристика стерильных линий зернового сорго по массе 1000 зёрен / Б.К. Темирбеков // Проблемы и задачи по селекции, семеноводству и технологии производства и переработки сорго в СССР: тез. докл. Всесоюзного совещания. – Зерноград, 1990. – С. 46-48.
178. Учковский, В.Г. Географическая отдалённость происхождения родительских форм как признак подбора пар при гибридизации кукурузы / В.Г. Учковский // Труды Кишинёвского СХИ. – 1965. – Т.41. – Вып. 2. – С. 44-107.

179. Филатов, В.И. Использование гетерозиса позднеспелости в селекции сорго / В.И. Филатов, В.Ф. Унгенфухт, В.В. Ларина // Материалы IX заседания ЕУКАРПИИ. Секция кукурузы и сорго. – Краснодар, 1979. – Ч. 3. – С. 605-612.
180. Филиппов, Е.Г. Селекция озимого ячменя на Дону / Е.Г. Филиппов. – Ростов н/Д: ЗАО «Книга», 2010. – 176 с.
181. Филиппова, Н.И. Перспективное сырьё / Н.И. Филиппова // Кукуруза и сорго. – 1991. – № 6. – С. 29-33.
182. Химический состав кормов сельскохозяйственных животных [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://biofile.ru/bio/17881.html>
183. Хотылева, Л.В. Теоретические аспекты гетерозиса / Л.В. Хотылева, А.В. Кличевский, М.Н. Шаптуренко // Вавиловский журнал генетики и селекции. – 2016. – № 4 (20). – С. 482-492.
184. Хуснетдинова, Т.Г. Селекция сорго на устойчивость к пониженным температурам и чувствительность к длине светового дня / Т.Г. Хуснетдинова, Г.И. Костина, В.В. Кожемякин // Селекция, семеноводство, технология возделывания и переработка сорго: тез. докл. междунар. науч.-практ. конфер. – 1999. – С. 79-80.
185. Чарыев, А.Б. Использование зерна сорго при выращивании цыплят-бройлеров / А.Б. Чарыев, Р.Р. Гадиев // Ветеринария, зоотехния и биотехнология. – 2016. – № 2. – С. 31-35.
186. Чихирь, И.Н. Сложные скрещивания и подбор родительских пар важный этап при создании новых сортов риса / И.Н. Чихирь, Л.В. Есаулова // Научное обеспечение производства сельскохозяйственных культур в современных условиях: матер. междунар. науч.-практ. конфер. – 2016. – С. 252-254.
187. Шепель, Н.А. Комбинационная способность у сорго / Н.А. Шепель // Селекция и семеноводство сорго: сб. науч. тр. – зерноград, 1985 б. – С. 3-10.
188. Шепель, Н.А. Селекция и семеноводство гибридного сорго / Н.А. Шепель. – Издательство Ростовского университета, 1985 а. – 256 с.

189. Шепель, Н.А. Селекция сорго на качество / Н.А. Шепель // Проблемы и задачи по селекции, семеноводству и технологии производства и переработки сорго в СССР: тез. докл. Всесоюзного совещания. – зерноград, 1990. – С. 8-10.
190. Шепель, Н.А. Сорго – интенсивная культура / Н.А. Шепель. – Симферополь: Таврия, 1989. – 191 с.
191. Шепель, Н.А. Сорго / Н.А. Шепель. – Волгоград: Комитет по печати, 1994. – 448 с.
192. Шепель, Н.А. Агробиологическая оценка самоопыленных линий сорго для селекции на гетерозис / Н.А. Шепель, А.В. Бойко // Проблемы и задачи по селекции, семеноводству и технологии производства и переработки сорго в СССР: тез. докл. – зерноград: ВНИПТИМЭСХ, 1990. – С. 97-99.
193. Шепель, Н.А. Наследование содержания белка и лизина гибридами сорго / Н.А. Шепель, Н.Я. Коломиец, П.Н. Василенко // Селекция и семеноводство. – 1988. – № 1. – С. 34-35.
194. Шмараев, Г.Е. Изменчивость основных хозяйственно-ценных признаков и биологических свойств сорго гвинейского коллекции ВИР при формировании стержневой коллекции / Г.Е. Шмараев, Е.В. Малиновская // Кукуруза и сорго. – 2007. – № 3. – С. 11-13.
195. Шорин, П.М. Сорго – ценная кормовая культура / П.М. Шорин, Б.Н. Малиновский, В.Ф. Мирошниченко. – М.: Колос, 1973. – 106 с.
196. Шукис, Е.Р. Реализация продуктивного потенциала различными по скороспелости сортами и гибридами сорговых культур в Алтайском крае / Е.Р. Шукис, А.Б. Володин, Н.В. Дейнес // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2022. – № 12 (218). – С. 31-38.
197. Щербаков, В.Я. Зерновое сорго / В.Я. Щербаков – Киев: Вища школа. Головное издание, 1983. – 192 с.
198. Эльконин, Л.А. Цитоплазматическая мужская стерильность у сорго / Л.А. Эльконин // Научное обеспечение расширения посевов сорговых культур и кукурузы на зерно в засушливых районах Юго-Востока России и стран СНГ: матер. междунар. науч.-практ. конф. – Саратов, 2004. – С. 12-38.

199. Эльконин, Л.А. Методы современной генетики для улучшения питательной ценности зернового сорго / Л.А. Эльконин, В.М. Панин, О.А. Кенжегулов, Г.А. Геращенко // Генетика – фундаментальная основа инноваций в медицине и селекции: матер. VIII науч.-практ. конфер. с междунар. уч. – Ростов-на-Дону, 2019 а. – С. 104-105.

200. Эльконин, Л.А. Улучшение питательных свойств зернового сорго на основе методов современной генетики и биотехнологии / Л.А. Эльконин, В.М. Панин, О.А. Кенжегулов, Г.А. Геращенко // Биотехнология и селекция растений. – 2019 б. – № 2 (3). – С. 41-48.

201. Эльконин, Л.А. Создание линий-восстановителей фертильности ЦМС типа 9E сорго на основе фертильных ревертантов, индуцированных условиями внешней среды / Л.А. Эльконин, С.Х. Сарсенова // Российская сельскохозяйственная наука. – 2020. – № 5. – С. 20-24.

202. Эльконин, Л.А. Идентификация молекулярных маркеров, ассоциированных с геном-восстановителем ЦМС типа 9E сорго (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) / Л.А. Эльконин, А.В. Владимирова, С.Х. Сарсенова, В.М. Панин // Биомика. – 2022. – №3 (14). – С. 182-191.

203. Юдина, В.Н. Наследование хозяйственно-ценных признаков гибридами F₁ сорго сахарного / В.Н. Юдина, Л.Л. Болдырева, В.В. Бритвин / Известия сельскохозяйственной науки Тавриды. – 2021. – № 28 (191). – С. 22-31.

204. Якушевский, Е.С. Современное состояние и перспективы селекции и семеноводства сорго / Е.С. Якушевский // В кн. Вопросы селекции, семеноводства и агротехники сорго. – Киев, 1959. – С. 45-62.

205. Якушевский, Е.С. Широкий унифицированный классификатор СЭВ и международный классификатор СЭВ возделываемых видов рода *Sorghum* Moench / Е.С. Якушевский, С.Г. Варадинов, В.А. Корнейчук, Л. Баняи. – Л.: ВИР, 1982. – 34 с.

206. Яланский, А.В. Наследуемость и наследование количественных признаков у сорго-суданковых гибридов / А.В. Яланский // Проблемы и задачи по

селекции, семеноводству и технологии производства и переработки сорго в СССР: тез. докл. Всесоюзного совещания. – Зерноград, 1990. – С. 100-101.

207. Abah, C.R. Sorghum grains: nutritional composition, functional properties and its food applications / C.R. Abah, C.N. Ishiwu, J.E. Obiegbuna, A.A. Oladejo // EJNFS. – 2020. – V. 12 (5). – P. 101-111.

208. Adeyeye, A. Chemical composition and fatty acid profiles of cereals in Nigeria / A. Adeyeye, K. Ajewole // Food Chem. – 1992. – V. 44. – P. 41-44.

209. Aggarwal, N.K. Process optimization for the production of sugar for the bioethanol industry from sorghum, a non-conventional source of starch / N.K. Aggarwal, P. Nigam, D. Singh, B.S. Yadav // World J. Microbiol. Biotechnol. – 2001. – V. 17. – P. 411-415.

210. Al-Mamary, M. In vivo effects of dietary sorghum tannins on rabbit digestive enzymes and mineral absorption / M. Al-Mamary, M. Al-Habori, A. Al-Aghbari, A. Al-Obeidi // Nutrition Research. – 2001. – V. 21 (10). – P. 1393-1401.

211. Almodares, A. The effects of salt stress on growth parameters and carbohydrate contents in sweet sorghum / A. Almodares, M.R. Hadi, B. Dosti // Research Journal of Environmental Science. – 2008. – V. 2. – P. 298-304.

212. Ambula, M.K. Effects of high-tannin sorghum and bentonite on the performance of laying hens / M.K. Ambula, G.W. Oduho, J.K. Tuitoek // Tropical Animal Health and Production. – 2003. – V. 35 (3). – P. 285-292.

213. Anglani, C. Sorghum for human food: a review / C. Anglani // Plant Foods Hum. Nutr. – 1998. – V. 52. – P. 85-89.

214. Awika, J.M. Antioxidant properties of sorghum. Dissertation Doctor of philosophy / J.M. Awika. Texas A&M University. – 2003. – 118 p.

215. Awika, J.M. Sorghum phytochemicals and their potential impact on human health / J.M. Awika, L.W. Rooney // Phytochemistry. – 2004. – V. 65 (9). – P. 1199-1221.

216. Ayana, A. Genetic variation in wild sorghum (*Sorghum bicolor*) Ssp. *Verticilliflorum* (L.) Moench) germplasm from Ethiopia assessed by random amplified

polymorphic DNA (RAPD) / A. Ayana, E. Bekele, T. Bryngelsson // *Genet Resour Crop Evol.* – 2002. – V. 45. – P. 499-510.

217. Ayana, A. Geographical Patterns of Morphological Variation in Sorghum (*Sorghum Bicolor* (L.) Moench) Germplasm from Ethiopia and Eritrea: Qualitative Characters / A. Ayana, E. Bekele // *Hereditas.* – 1998. – V. 129 (3). – P. 195-205.

218. Baenziger, P.S. Breeding for end-use quality: reflections on the Nebraska experience / P.S. Baenziger, D.R. Shelton, M.J. Shipman, R.A. Graybosch // *Euphytica.* – 2001. – V. 119. – P. 95-100.

219. Bantilan, M.C.S. Sorghum genetic enhancement: Research process, dissemination and impacts / M.C.S Bantilan., U.K. Deb, C.L.L. Gowda, B.V.S. Reddy, A.B. Obilama, R.E. Evenson // *ICRISAT.* – 2004. – P. 201-221.

220. Barnaud, A. High outcrossing rates in fields with mixed sorghum landraces: how are landraces maintained? / A. Barnaud, G. Trigueros, D. McKey, H.I. Joly // *Heredity.* – 2008. – V. 101 (5). – P. 445-452.

221. Bello, D. Correlation and path coefficient analysis of grain yield and its components in sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] / D. Bello, A.M. Kadams, S.Y. Simon // *Niger J Trop Agric.* – 2001. – V. 3. – P. 4-9.

222. Ben-Israel, I. Heterotic trait locus (HTL) mapping identifies intra-locus interactions that underlie reproductive hybrid vigor in *Sorghum bicolor* / I. Ben-Israel, B. Kilian, H. Nida, E. Fridman // *PLoS One.* – 2012. – № 7 (6): 38993.

223. Bentolila, S. Identification of a BIBAC clone that co-segregates with the petunia estorer of fertility (Rf) gene / S. Bentolila, M.R. Hanson // *Mol. Genet. Genomics.* – 2001. – V. 266. – № 2. – P. 223-230.

224. Beta, T. Effect of chemical treatments on polyphenols and malt quality in sorghum / T. Beta, L.W. Rooney, L.T. Marovatsanga, J.R.N. Taylor // *Journal of Cereal Science.* – 2000. – V. 31 (3). – P. 295-302.

225. Blakeley, M.E. Microscopy of the pericarp and the testa of different genotypes of sorghum / M.E. Blakeley, L.W. Rooney, R.D. Sullins, F.R. Miller // *Crop Science.* – 1979. – V. 19. – P. 837-842.

226. Bommert, P. Genetics and evolution of inflorescence and flower development in grasses / P. Bommert, N. Satoh-Nagasawa, D. Jackson, H. Hirano // *Plant Cell Physiol.* – 2005. – V. 46. – P. 69-78.

227. Boren, B. Sorghum seed color as an indicator of tannin content / B. Boren, R.D. Waniska // *Journal of Applied Poultry Research.* – 1992. – V. 1. – P. 117-121.

228. Borrell, A. Stay-green trait associated with yield in recombinant inbred sorghum lines varying in rate of leaf senescence / A. Borrell, F. Bidinger, K. Sunitha // *Int. Sorg. Mill. News.* – 1999. – V. 40. – P. 31-34.

229. Borrell, A.K. Stay-green alleles individually enhance grain yield in sorghum under drought by modifying canopy development and water uptake patterns / A.K. Borrell, E.J. van Oosterom, J.E. Mullet, B. George-Jaeggli, D.R. Jordan, P.E. Klein, G.L. Hammer // *New Phytol.* – 2014. – V. 203 (3). – P. 817-830.

230. Bors, W. Electron paramagnetic resonance studies of radical species of proanthocyanidins and gallate esters / W. Bors, C. Michel, K. Stettmaier // *Arch. Biochem. Biophys.* – 2000. – V. 374 (2). – P. 347-355.

231. Boyles, R.E. Genetic dissection of sorghum grain quality traits using diverse and segregating populations / R.E. Boyles, B.K. Pfeiffer, E.A. Cooper, B.L. Rauh, K.J. Zielinski, M.T. Myers, Z. Brenton, W.L. Rooney, S. Kresovich // *Theor Appl Genet.* – 2017. – V. 130. – P. 697-716.

232. Boyles, R.E. Genetic and genomic resources of sorghum to connect genotype with phenotype in contrasting environments / R.E. Boyles, Z.W. Brenton, S. Kresovich // *The Plant Journal.* – 2019. – V. 97. – P. 19-39.

233. Boyles, R.E. Genome-wide association studies of grain yield components in diverse sorghum germplasm / R.E. Boyles, E.A. Cooper, M.T. Myers, Z. Brenton, B.L. Rauh, G.P. Morris, S. Kresovich // *Plant Genome.* – 2016. – V. 9. – № 2. – P. 1-17.

234. Brar, G.S. Germination under controlled temperature and field emergence of 13 sorghum cultivars / G.S. Brar, B.A. Stewart // *Crop quality and utilization. Crop Sci.* – 1994. – V. 34. – P. 1336-1340.

235. Bressani, R. The chemical and essential amino acid composition of twenty-five selections of grain sorghum / R. Bressani, B.J. Rios // *Cereal Chem.* – 1962. – V. 39. – P. 50-58.
236. Brown, P. J. Bridging classical and molecular genetics of Sorghum plant stature and maturity / P.J. Brown, A.H. Paterson // In *Genomics of the Saccharinae*, edited by Andrew H. Paterson, *Plant Genetics and Genomics: Crops and Models 11*. Springer New York. – 2013. – P. 333-345.
237. Brown, P.J. Inheritance of inflorescence architecture in sorghum / P.J. Brown, P.E. Klein, E. Bortiri, C.B. Acharya, W.L. Rooney, S. Kresovich // *Theor Appl Genet.* – 2006. – V. 113. – P. 931-942.
238. Brown, P.J. Genetic support for phenotype-based racial classification in Sorghum / P.J. Brown, S. Myles, S. Kresovich // *Crop Science.* – 2011. – V. 51 (1). – P. 224.
239. Brown, P.J. Efficient mapping of plant height quantitative trait loci in a Sorghum association population with introgressed dwarfing genes / P.J. Brown, W.L. Rooney, C. Franks, S. Kresovich // *Genetics.* – 2008. – V. 180 (1). – P. 629-637.
240. Burow, G. Characterization of a multiseeded (msd1) mutant of Sorghum for increasing grain yield / G. Burow, Z. Xin, C. Hayes, J. Burke // *Published in Crop Sci.* – 2014. – V. 54. – P. 2030-2037.
241. Bvochora, J.M. Variation of sorghum phenolic compounds during the preparation of opaque beer / J.M. Bvochora, H. Danner, H. Miyafuji, R. Braun, R. Zvauya // *Process Biochemistry.* – 2005. – V. 40. – P. 1207-1213.
242. Carr, T.P. Grain sorghum lipid extract reduces cholesterol absorption and plasma non-HDL cholesterol concentration in hamsters / T.P. Carr, C.L. Weller, V.L. Schlegel et al. // *Journal of Nutrition.* – 2005. – V. 135 (9). – P. 2236-2240.
243. Carson, L. Sensory characteristics of sorghum composite bread / L. Carson, C. Setser, X.S. Sun // *Int. J. Food Sci. Technol.* – 2000. – V. 35. – P. 465-471.
244. Chakravorty, S.C. Chemical study of sorghum as a staple food in India. Protein content in relation or color of jowar grain / S.C. Chakravorty // *Sci Tech., Part B.* – 1969. – P. 127-129.

245. Chapman, S.C., Genotype by environment interactions affecting grain sorghum. I. Characteristics that confound interpretation of hybrid yield / S.C. Chapman, M. Cooper, D.G. Butler, R.G. Henzell // *Aust J Agric Res.* – 2000. – V. 51. – P. 197-208.
246. Charlesworth, D. The genetics of inbreeding depression / D. Charlesworth, J.H. Willis // *Nat Rev Genet.* – 2009. – V. 10 (11). – P. 783-796.
247. Chase, C.D. Cytoplasmic male sterility: a window to the world of plant mitochondrial-nuclear interactions / C.D. Chase // *Trends in Genetics.* – 2006. – V. 23. – № 3. – P. 81-90.
248. Chauhan, P. Assessment of SSR specific genetic diversity for fertility restorer gene (rf1) among various Sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) genotypes / P. Chauhan, P.K. Pandey, G. Pandey // *IJAEB.* – 2016. – V. 9 (6). – P. 1097-1102.
249. Chauhan, P. Allele specific diversity using fertility restoration related SSR markers in Sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] / P. Chauhan, P.K. Pandey, P.K. Shrotria, N.K. Singh, G. Pandey, S. Sing // *Forage Res.* – 2015. – V. 40 (4). – P. 222-227.
250. Chen, L. Male sterility and fertility restoration in crops / L. Chen, Y.G. Liu // *Annu. Rev. Plant Biol.* – 2014. – V. 65. – P. 579-606.
251. Chen, Z.J. Genomic and epigenetic insights into the molecular bases of heterosis / Z.J. Chen // *Nat Rev Genet.* – 2013. – V. 14 (7). – P. 471-482.
252. Chittapur, R. Association studies between quantitative and qualitative traits in rabi sorghum / R. Chittapur, B.D. Biradar // *Indian J. Agric. Res.* – 2015. – V. 49 (5). – P. 468-471.
253. Cho, S.H. In vitro and in vivo effects of proso millet, buckwheat and sorghum on cholesterol metabolism / S.H. Cho, Y. Choi, T.Y. Ha // *FASEB Journal.* – 2000. – V. 14. – P. 249.
254. Choi, Y.M. Antioxidant activity of methanolic extracts from some grains consumed in Korea / Y.M. Choi, H.S. Jeong, J. Lee // *Food Chemistry.* – 2007. – V. 103 (1). – P. 130-138.

255. Chung, K.T. Tannins and human health: A review / K.T. Chung, T.Y. Wong, C.I. Wei, Y.W. Huang, Y. Lin // *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. – 1998. – V. 38. – P. 421-464.
256. Dahan, J. The Rf and Rf-like PPR in higher plants, a fast-evolving subclass of PPR genes / J. Dahan, H. Mireau // *RNA Biol.* – 2013. – V. 10. – P. 1469-1476.
257. Dampanaboina, L. Sorghum MSD3 encodes an ω -3 fatty acid desaturase that increases grain number by reducing jasmonic acid levels / L. Dampanaboina, Y. Jiao, J. Chen et al. // *Int. J. Mol. Sci.* – 2019. – V. 20: 5359.
258. De Wet, J.M.J. Origin of Sorghum bicolor. Distribution and domestication / J.M.J. De Wet, J.P. Hackabay // *Evolution*. – 1967. – V. 21. – N 40. – P. 787-802.
259. Delserone, L.M. Sorghum / L.M. Delserone // *Journal of Agricultural & Food Information*. – 2007. – V. 8 (1). – P. 9-14.
260. Deosthale, Y.G. Varietal differences in protein, lysine and leucine content of grain sorghum / Y.G. Deosthale, V.S. Mohan, V. Rao // *Agric. Food Chem.* – 1970. – V. 18. – P. 644-646.
261. Deosthale, Y.G. Some factors influencing the nutrient composition of sorghum grain / Y.G. Deosthale, V. Nagarajan, K. Visweswar Rao // *Ind. J. Agric, Sci.* – 1972. – V. 42. – P. 100-108.
262. Deyoe, C.W. Nutritive value of grains, amino acids and proteins in grain sorghum / C.W. Deyoe, J.A. Shellenberger // *Agric Food Chem.* – 1965. – V. 13. – P. 446-450.
263. Dicko, M.H. Evaluation of the effect of germination on phenolic compounds and antioxidant activities in sorghum varieties / M.H. Dicko, H. Gruppen, A.S. Traore, W.J.H. Van Berkel, A.G.J. Voragen // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. – 2005. – 53. – P. 2581-2588.
264. Dicko, M.H. Sorghum grain as human food in Africa: relevance of content of starch and amylase activities / M.H. Dicko, H. Gruppen, A.S. Traoré, A.G.J. Voragen, W.J.H. van Berkel // *African Journal of Biotechnology*. – 2006. – V. 5 (5). – P. 384-395.

265. Dobraszczyk, B.J. Single kernel wheat hardness and fracture properties in relation to density and the modeling of fracture in wheat endosperm / B.J. Dobraszczyk, M.B. Whitworth, J.F.V. Vincent, A.A. Khan // *J. Cereal Sci.* – 2002. – V. 35. – P. 245-263.
266. Downes, R.W. Low temperature induced male sterility in *Sorghum bicolor* / R.W. Downes, D.R. Marshall // *Animal Production Science.* – 1971. – V. 11 (50). – P. 352-356.
267. Dufour, J.P. Sorghum malts for the production of a lager beer / J.P. Dufour, L. Melotte, S. Srebrnik // *ASBC J.* – 1992. – V. 50. – P. 110-119.
268. Duodu, K.G. Factors affecting sorghum protein digestibility / K.G. Duodu, J.R.N. Taylor, P.S. Belton, B.R. Hamaker // *J Cer Sci.* – 2003. – V. 38. – P. 117-131.
269. Duodu, K.G. Effect of grain structure and cooking on sorghum and maize in vitro protein digestibility / K.G. Duodu, A. Nunes, I. Delgadillo, et al. // *J. Cereal Sci.* – 2002. – V. 35. – P. 161-174.
270. Duvick, D.N. Biotechnology in the 1930s: The development of hybrid maize / D.N. Duvick // *Nat Rev Genet.* – 2001. – V. 2(1). – P. 69-74.
271. Dykes, L. Phenolic compounds and antioxidant activity of sorghum grains of varying genotypes / L. Dykes, L.W. Rooney, R.D. Waniska, W.L. Rooney // *J. Agric. Food Chem.* – 2005. – V. 53 (17): 6813-8.
272. Dykes, L. Sorghum and millet phenols and antioxidants / L. Dykes, L.W. Rooney // *J. Cereal Sci.* – 2006. – V. 44(3). – P. 236-251.
273. Earp, C.F. Microscopy of pericarp development in the caryopsis of *Sorghum bicolor* (L) Moench / C.F. Earp, C.M. McDonough, L.W. Rooney // *Journal of Cereal Science.* – 2004. – 39. – P. 21-27.
274. Eberhart, S.A. Stability parameters for comparing varieties / S.A. Eberhart, W.A. Russel // *Crop. Sci.* – 1966. – V. 6. – № 1. – P 36-40.
275. Elkin, R.G. Condensed tannins are only partially responsible for variations in nutrient digestibilities of sorghum grain cultivars / R.G. Elkin, M.B. Freed, B.R. Hamaker, Y. Zhang, C.M. Parsons // *Journal of Agricultural and Food Chemistry.* – 1996. – V. 44. – P. 848-853.

276. Elkonin, L.A. Inheritance of reversions to male fertility in male-sterile sorghum hybrids with 9E male-sterile cyto-plasm induced by environmental conditions / L.A. Elkonin, I.V. Domanina, G.A. Gerashchenkov, N.A. Rozhnova // Russian Journal of Genetics. – 2015. – V. 51 (3). – P. 251-261.
277. Elkonin, L.A. Heritable effect of plant water availability conditions on restoration of male fertility in the 9E CMS-inducing cytoplasm of sorghum / L.A. Elkonin, M.I. Tsvetova // Front. Plant Sci. – 2012. – V. 3. – P. 91.
278. Fano, D. Breeding of sorghum for high lysine in the seed / D. Fano // International Journal of Agriculture Sciences. – 2017. – V. 9. – I. 43. – P. 4702-4707.
279. Fantaye, B.M. Genetic improvement of lysine content in sorghum: A Review / B.M. Fantaye // J. Advan. Plant Sci. – 2018. – V. 1. – P. 307.
280. FAOSTAT [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://faostat.fao.org>
281. Fasahat, P. Principles and utilization of combining ability in plant breeding / P. Fasahat, A. Rajabi, J.M. Rad, J. Derera // Biom. Biostat. Int. J. – 2016. – V. 4 (1). – P. 1-24.
282. Ferreira, R.R. Lysine and threonine biosynthesis in sorghum seeds: Characterization of aspartate kinase and homoserine dehydrogenase isoenzymes / R.R. Ferreira, L.W. Meinhardt, R.A. Azevedo // Ann Appl Biol. – 2006. – V. 149. – P. 77-86.
283. Figueiredo, L.F. Variability of grain quality in sorghum: association with polymorphism in Sh 2, Bt 2, SssI, Ae 1, Wx and O 2 / L.F. Figueiredo, B. Sine, J. Chantereau, C. Mestres, et al. // Theor Appl Genet. – 2010. – V. 121 (6). – P. 1171-1185.
284. Gaborieau, L. The Propensity of Pentatricopeptide Repeat Genes to Evolve into Restorers of Cytoplasmic Male Sterility / L. Gaborieau, G.G. Brown, H. Mireau // Front. Plant Sci. – 2016. – V. 7: 1816.
285. Gao, J. Marker-assisted breeding for rf1, a nuclear gene controlling A1 CMS in sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) / J. Gao, B. Xia, F. Luo, et al. // Euphytica. – 2013. – V. 193. – №. 3. – P. 380-383.

286. Galili, G. Genetic, molecular, and genomic approaches to improve the value of plant foods and feeds / G. Galili, S. Galili, E. Lewinsohn, Y. Tadmor // *Critical Reviews in Plant Science*. – 2002. – V. 21. – P. 167-204.

287. Gambín, B. Genotypic diversity in sorghum inbred lines for grain-filling patterns and other related agronomic traits / B. Gambín, L. Borrás // *Crop Pasture Sci*. – 2012. – V. 62. – P. 1026-1036.

288. Garcia, A.A. Quantitative trait loci mapping and the genetic basis of heterosis in maize and rice / A.A. Garcia, S. Wang, A.E. Melchinger, Z-B Zeng // *Genetics*. – 2008. – V. 180 (3). – P. 1707-1724.

289. Gitz, D.C. Short communication: analysis of grain size distribution through image analysis / D.C. Gitz, J.T. Baker, P. Payton, Z. Xin, R.J. Lascano // *American Journal of Plant Sciences*. – 2018. – V. 9. – P. 2339-2346.

290. Gitz, D.C. Systematic Errors Introduced into Sorghum Grain Yield Data: Does the Multi-seed (msd) Trait Increase Sorghum Seed Yield? / D.C. Gitz III, J.T. Baker, Z.G. Xin, J.E. Stout, R.J. Lascano // *American Journal of Plant Sciences*. – 2019. – V. 10. – P. 1503-1516.

291. Glew, R.H. Amino acid, fatty acid, and mineral composition of 24 indigenous plants of Burkina Faso / R.H. Glew, D.J. Vanderjagt, C. Lockett, L.E. Grivetti, G.C. Smith, A. Pastuszyn, M. Millson // *J. Food Comp. Anal.* – 1997. – V. 10. – P. 205-217.

292. Goff, S.A. A unifying theory for general multigenic heterosis: Energy efficiency, protein metabolism, and implications for molecular breeding / S.A. Goff // *New Phytol.* – 2011. – V. 189 (4). – P. 923-937.

293. Graham, G.I. Characterization of a yield quantitative trait locus on chromosome five of maize by fine mapping / G.I. Graham, D.W. Wolff, C.W. Stuber // *Crop Sci*. – 1997. – V. 37 (5). – P. 1601-1610.

294. Griffiths, S. Genetic dissection of grain size and grain number trade-offs in CIMMYT wheat germplasm / S. Griffiths, L. Wingen, J. Pietragalla, et al. // *PLoS One*. – 2015. – V. 10: e0118847.

295. Hagerman, A.E. High molecular weight plant polyphenolics (tannins) as biological antioxidants / A.E. Hagerman, K.M. Riedl, G.A. Jones, K.N. Sovik, N.T. Ritchard, P.W. Hartzfeld, T.K. Riechel // *J. Agric. Food Chem.* – 1998. – V. 46. – P. 1887-1892.
296. Hahn, D.H. Tannins and phenols of sorghum / D.H. Hahn, L.W. Rooney, C.F. Earp // *Cereal Foods World.* – 1984. – V. 29. – P. 776-779.
297. Hahn, D.H. Effect of genotype on tannins and phenols of sorghum / D.H. Hahn, L.W. Rooney // *Cereal Chem.* – 1986. – V. 63. – P. 4-8.
298. Hamaker, B.R. Efficient procedures for extracting maize and sorghum kernel proteins reveal high prolamin contents than the conventional method / B.R. Hamaker, A.A. Mohammed, J.E. Habben, C.P. Huang, B.A. Larkins // *Cereal Chem.* – 1995. – V. 72. – P. 583-588.
299. Han, L. Fine mapping of qGW1, a major QTL for grain weight in sorghum / L. Han, J. Chen, E.S. Mace, Y. Liu, M. Zhu, N. Yuyama, D.R. Jordan, H. Cai // *Theor Appl Genet.* – 2015. – V. 128. – P. 1813-1825.
300. Hancock, J.D. Use of sorghum grain for feeding livestock and poultry / J.D. Hancock, P.J. Bramel-Cox // *Nebraska Grain Sorg. Devp. And Util. and Mkt. Board.* – 1992. – P. 13.
301. Hanson, M.R. Interactions of mitochondrial and nuclear genes that affect male gametophyte development / M.R. Hanson, S. Bentolila // *Plant Cell.* – 2004. – V. 16. – P. 154-169.
302. Hart, G.E. Genetic mapping of *Sorghum bicolor* (L.) Moench QTLs that control variation in tillering and other morphological characters / G.E. Hart, K.F. Schertz, Y. Peng, N.H. Syed // *Theor Appl Genet.* – 2001. – V. 103. – P. 1232-1242.
303. Heinrich, G.M. Stability of grain sorghum yield components across diverse environments / G.M. Heinrich, C.A. Francis, J.D. Eastin // *Crop Sci.* – 1983. – V. 23. – P. 209-212.
304. Higgins, R.H. Multiparental mapping of plant height and flowering time QTL in partially isogenic sorghum families / R.H. Higgins, C.S. Thurber, I. Assaranurak, P.J. Brown // *G3 Genes, Genomes, Genet.* – 2014. – V. 4. – P. 1593-1602.

305. Hilley, J. Identification of Dw1, a regulator of sorghum stem internode length / J. Hilley, S. Truong, S. Olson, D. Morishige, J. Mullet // PLoS One. – 2016. – V.11: e0151271.

306. House, L.R. Developing countries breeding and potential of hybrid sorghum / L.R. House, B.N. Verma, G. Ejeta, B.S. Rana, I. Kapran, A.B. Obilana, B.V. Reddy // In proceedings of an international conference on the genetic improvement of sorghum and pearl millet held at Lubbock, Texas, 22 - 27. September 1996. International Sorghum and Millet Research (INSORMIL) - International Crop Research Institute for semi-arid Tropical (ICRISAT). – 1997. – P. 84-96.

307. Hua, J. Single-locus heterotic effects and dominance by dominance interactions can adequately explain the genetic basis of heterosis in an elite rice hybrid / J. Hua, Y. Xing, W. Wu, C. Xu, X. Sun, S. Yu, Q. Zhang // Proc Natl Acad Sci USA. – 2003. – V. 100 (5). – P. 2574-2579.

308. Hugo, L.F. Fermented sorghum as a functional ingredient in composite breads / L.F. Hugo, L.W. Rooney, J.R.N. Taylor // Cereal Chem. – 2003. – V. 80. – P. 495-499.

309. Hugo, L.F. Malted sorghum as a functional ingredient in composite bread / L.F. Hugo, L.W. Rooney, J.R.N. Taylor // Cereal Chem. – 2000. – V. 77. – P. 428-432.

310. Ivanov, M.K. Cytoplasmic male sterility and restoration of pollen fertility in higher plants / M.K. Ivanov, G.M. Dymshits // Russian Journal of Genetics. – 2007. – V. 43(4). – P. 354-368.

311. Jacob, J.P. The effects of substituting Kenyan Serena sorghum for maize in broiler starter diets with different dietary crude protein and methionine levels / J.P. Jacob, B.N. Mitaru, P.N. Mbugua, R. Blair // Animal Feed Science and Technology. – 1996. – V. 61. – P. 27-39.

312. Jakobsson, A. comparative study of seed number, seed size, seedling size and recruitment in grassland plants / A. Jakobsson, O.A. Eriksson // Oikos. – 2000. – V. 88. – P. 494–502.

313. Jeon, J.S. Starch biosynthesis in cereal endosperm / J.S. Jeon, N. Ryoo, T.R. Hahn, H. Walia, Y. Nakamura // *Plant Physiol Biochem.* – 2010. – V. 48 (6). – P. 383-392.
314. Jordan, D.R. Mapping and characterization of Rf5 a new gene conditioning pollen fertility restoration in A1 and A2 cytoplasm in sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) / D.R. Jordan, R.R. Klein, K.G. Sakrewski, E.S. Mace // *Theor. Appl. Genet.* – 2011. – V. 123 (3). – P. 383-396.
315. Jordan, D.R. Molecular mapping and candidate gene identification of the Rf2 gene for pollen fertility restoration in sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] / D.R. Jordan, E.S. Mace, R.G. Henzell, P.E. Klein, R.R. Klein // *Theor. Appl. Genet.* – 2010. – V. 120 (7). – P. 1279-1287.
316. Justin, R. Combining ability of some sorghum lines for dry lands and sub-humid environments of East Africa / R. Justin, B. Were, M. Mgonja, D. Santosh, R. Abhishek, M. Emmarold, O. Agustino, G. Samuel // *Afr. J. Ag-ric. Res.* – 2015. – V. 10 (19). – P. 2048-2060.
317. Kante, M. QTL mapping and validation of fertility restoration in West African sorghum A1 cytoplasm and identification of a potential causative mutation for Rf2 / M. Kante, H.F.W. Rattunde, B. Nébié, E. Weltzien, B.I.G. Haussmann, W.L. Leiser // *Theoretical and Applied Genetics.* – 2018. – V. 131. – P. 2397-2412.
318. Karper, R.E. Inheritance of waxy endosperm in sorghum / R.E. Karper // *J. Heredity.* – 1933. – V. 24. – P. 257-262.
319. King-Thorn, C. Tannins and human health: a review / C. King-Thorn, Y.W. Tit, I.W. Cheng, H. Yao-Wen, L. Yuan // *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* – 1998. – V. 38 (6). – P. 421-464.
320. Kimani, W. Genome-wide association study reveals that different pathways contribute to grain quality variation in sorghum (*Sorghum bicolor*) / W. Kimani, L.-M. Zhang, X.-Y. Wu, H.-Q. Hao, H.-C. Jing // *BMC Genomics.* – 2020. – V. 21. – P.112.
321. Klein, R.R. Molecular mapping of the rf1 gene for pollen fertility restoration in sorghum (*Sorghum bicolor* L.) / R.R. Klein, P.E. Klein, A.K. Chhabra, J.

Dong, S. Pammi, K.L. Childs, J.E. Mullet, W.L. Rooney, K.F. Schertz // *Theoret. Appl. Genet.* – 2001. – V. 102. – P. 1206–1212.

322. Klein, R.R. Fertility restorer locus Rf1 of sorghum (*Sorghum bicolor* L.) encodes a pentatricopeptide repeat protein not present in the collinear region of rice chromosome 12 / R.R. Klein, P.E. Klein, J.E. Mullet, P. Minx, W.L. Rooney, K.F. Schertz // *Theor. Appl. Genet.* – 2005. – V. 111 (6). – P. 994-1012.

323. Klein, R.R. Allelic variants in the PRR37 gene and the human-mediated dispersal and diversification of sorghum / R.R. Klein, F.R. Miller, D.V. Dugas, P.J. Brown, A.M. Burrell, P.E. Klein // *Theor. Appl. Genet.* – 2015. – V. 128. – P. 1669-1683.

324. Klein, R.R. The effect of tropical sorghum conversion and inbred development on genome diversity as revealed by high-resolution genotyping / R.R. Klein, J.E. Mullet, D.R. Jordan, F.R. Miller, W.L. Rooney, M.M. Menz, C.D. Franks, P.E. Klein // *Crop Sci.* – 2008. – V. 48. – P. 12-26.

325. Kozhemyakin, V.V. Effect of drought stress on male fertility restoration in A3 CMS-inducing cytoplasm of sorghum / V.V. Kozhemyakin, L.A. Elkonin, J.A. Dahlberg // *The Crop Journal.* – 2017. – V. 5 (4). – P. 282-289.

326. Krieger, U. The flowering gene SINGLE FLOWER TRUSS drives heterosis for yield in tomato / U. Krieger, Z.B. Lippman, D. Zamir // *Nat Genet.* – 2010. – V. 42 (5). – P. 459-463.

327. Kriegshauser, T.D. Variation in nutritional value of sorghum hybrids with contrasting seed weight characteristics and comparisons with maize in broiler chicks / T.D. Kriegshauser, M.R. Tuinstra, J.D. Hancock // *Crop Sci.* – 2006. – V. 46. – P. 695-699.

328. Kulamarva, A.G. Nutritional and Rheological Properties of Sorghum / A.G. Kulamarva, V.R. Sosle, G.S.V. Raghavan // *International Journal of Food Properties.* – 2009. – V. 12 (1). – P. 55-69.

329. Krishnananda, I. Validation of cytoplasmic genetic male sterility in rabi sorghum hybrids and their parents using diagnostic set of microsatellite markers / I.

Krishnananda, G. Santosh, M. Mangesh, J. Pravin, G. Rameshwar, N. Gopal, P. Suprasanna // *Research Journal of Biotechnology*. – 2019. – V. 17 (7). – P.67-73.

330. Kumar, S. Genetic parameters for hydrocyanic acid content in forage sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) / S. Kumar, V. Kumar, P. Chand, N. Kumar, P.K. Shrotria // *Int. J. Biotechnol. Bioeng. Res.* – 2013. – V. 4 (4). – P. 395-400.

331. Kusterer, B. Heterosis for biomass-related traits in *Arabidopsis* investigated by quantitative trait loci analysis of the triple testcross design with recombinant inbred lines / B. Kusterer, H. Piepho, H. Utz, et al. // *Genetics*. – 2007. – V. 177 (3). – P. 1839-1850.

332. Kwak, C.S. Antioxidative and antimutagenic effects of Korean buckwheat, sorghum, millet and Jo's tears / C.S. Kwak, S.J. Lim, S.A. Kim, S.C. Park, M.S. Lee // *Journal of Korean Society of Food Science Nutrition*. – 2004. – V. 33. – P. 921-929.

333. Lariepem, A. The genetic basis of heterosis: Multiparental quantitative trait loci mapping reveals contrasted levels of apparent overdominance among traits of agronomical interest in maize (*Zea mays* L.) / A. Lariepe, B. Mangin, S. Jasson, et al. // *Genetics*. – 2012. – V. 190 (2). – P. 795-811.

334. Lasky, J.R. Genome-environment associations in sorghum landraces predict adaptive traits / J.R. Lasky, H.D. Upadhyaya, P. Ramu, et al. // *Sci Adv*. – 2015. – 1:e1400218.

335. Li, X. Dissecting repulsion linkage in the dwarfing gene *Dw3* region for sorghum plant height provides insights into heterosis / X. Li, E. Fridman, T.T. Tesso, J. Yu // *Proc Natl Acad Sci*. – 2015. – V. 112. – P. 11823-11828.

336. Lichtenwalter, R.E. Effect of incremental dosage of the waxy gene of sorghum on digestibility / R.E. Lichtenwalter, E.B. Ellis, L.W. Rooney // *J. Anim.* – 1978. – V. 46. – №4. – P.113-119.

337. Lin, S.C. Hybrid rice breeding in China. Innovative approaches to rice breeding / S.C. Lin, L.P. Yuan // *Selected Papers from the 1979 International Rice Research Conference* (International Rice Research Institute, Manila, Philippines). – 1980. – P. 35-51.

338. Lin, Y.R. Comparative analysis of QTLs affecting plant height and maturity across the Poaceae, in reference to an interspecific sorghum population / Y.R. Lin, K.F. Schertz, A.H. Paterson // *Genetics*. – 1995. – V. 141. – P. 391-411.
339. Lippman, Z.B. Heterosis: Revisiting the magic / Z.B. Lippman, D. Zamir // *Trends Genet.* – 2007. – V. 23 (2). – P. 60-66.
340. Mace, E.S. Integrating sorghum whole genome sequence information with a compendium of sorghum QTL studies reveals uneven distribution of QTL and of gene-rich regions with significant implications for crop improvement / E.S. Mace, D.R. Jordan // *Theor Appl Genet.* – 2011. – V. 123. – P. 169–191.
341. Mace, E.S. Location of major effect genes in sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) / E.S. Mace, D.R. Jordan // *Tag Theor. Appl. Genet. Theor. Angew. Genet.* – 2010. – V. 121 (7). – P. 1339-1356.
342. Mace, E.S. Whole-genome sequencing reveals untapped genetic potential in Africa's indigenous cereal crop sorghum / E.S. Mace, S. Tai, E.K. Gilding, et al. // *Nat Commun.* – 2013. – V. 4: 2320.
343. Mackenzie, S. The elusive plant mitochondrion as a genetic system / S. Mackenzie, S. He, A. Lyznik // *Plant Physiol.* – 1994. – V. 105. – P. 775-780.
344. Mahdy, E.E. The effect of environment on combining ability and heterosis in grain sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) / E.E. Mahdy, M.A. Ali, A.M. Mahmoud // *Asian J. Crop Sci.* – 2011. – V. 3 (1). – P. 1-15.
345. Maman, N. Yield components of pearl millet and grain sorghum across environments in the central great plains / N. Maman, S.C. Mason, D.J. Lyon, P. Dhungana // *Crop Sci.* – 2004. – V. 44. – P. 2138-2148.
346. Manicacci, D. Maize *Sh2* gene is constrained by natural selection but escaped domestication / D. Manicacci, M. Falque, S. Le Guillou, et al. // *J Evol Biol.* – 2007. – V. 20. – P. 503-516.
347. Marla, S.R. Genetic architecture of chilling tolerance in sorghum dissected with a nested association mapping population / S.R. Marla, G. Burow, R. Chopra, et al. // *G3-Genes Genomes Genetics.* – 2019. – V. 9 (12): g3.400353.2019.

348. Maulana, F. Cold temperature episode at seedling and flowering stages reduces growth and yield components in sorghum / F. Maulana, T.T. Tesso // *Crop Science*. – 2013. – V. 53. – P. 564-574.
349. McIntyre, C.L. Molecular characterization of the waxy locus in sorghum / C.L. McIntyre, J. Drenth, N. Gonzalez, R.G. Henzell, D.R. Jordan // *Genome Natl Res Can.* – 2008. – V. 51. – P. 524-533.
350. Medugu, C.I. Strategies to improve the utilization of tannin-rich feed materials by poultry / C.I. Medugu, B. Saleh, J.U. Igwebuike, R.L. Ndirmbita // *International Journal of Poultry Science*. – 2012. – V. 11 (6). – P. 417-423.
351. Melchinger, A.E. Genetic basis of heterosis for growth-related traits in Arabidopsis investigated by testcross progenies of near-isogenic lines reveals a significant role of epistasis / A.E. Melchinger, H.-P. Piepho, H.F. Utz, et al. // *Genetics*. – 2007. – V. 177 (3). – P. 1827-1837.
352. Miller, F.R. Relationship of kernel size and yield in sorghum / F.R. Miller // *Grain sorghum research and utilization conference*. – 1975. – P. 120-127.
353. Miller, G.D. Variation in protein levels in Kansas sorghum grain / G.D. Miller, G.W. Deyoe, T.L. Walter, F.W. Smith // *Agron. J.* – 1964. – V. 56. – P. 302-304.
354. Mofokeng, A.M. Breeding strategies to improve sorghum quality / A.M. Mofokeng, H. Shimelis, M. Laing // *AJCS*. – 2017. – V. 11(02). – P. 142-148.
355. Mohan, D.P. Chemically induced high Lysine mutants in Sorghum bicolor (L) Moench / D.P. Mohan // *Ph.D. Thesis. Purdue University, W. Lafayette, Indiana, 1975*.
356. Mohan, D.P. Diethyl sulfate induced high lysine mutant in sorghum / D.P. Mohan, J.D. Axtell // *Paper presented at Ninth Biennial Grain Sorghum Research. And Utilization. Conference., Lubbock, TXex., USA, 4-6 Mar., 1975*.
357. More, A. Heterosis and line \times tester analysis of combining ability in kharif sorghum with special reference to grain mold (Sorghum bicolor (L.) Moench) / A. More, H.V. Kalpande, R.L. Aundhekar, S.K. Chavan, V.S. Patil, S.S. Jangampalli // *Agrotechnol.* – 2014. – 2:4.

358. Morris, C.E. The breeder's dilemma – yield or nutrition? / C.E. Morris, D.C. Sands // *Nat Biotech.* – 2006. – V. 24. – P. 1078-1080.
359. Morris, G.P. Dissecting genome-wide association signals for loss-of-function phenotypes in sorghum flavonoid pigmentation traits / G.P. Morris, D.H. Rhodes, Z. Brenton, et al. // *G3 Genes Genomes Genet.* – 2013 b. – V. 3. – P. 2085-2094.
360. Morris, G.P. Population genomic and genome-wide association studies of agroclimatic traits in sorghum / G.P. Morris, P. Ramu, S.P. Deshpande, et al. // *Proc Natl Acad Sci.* – 2013 a. – 110: 453–8.
361. Mullet, J.E. Discovery and utilization of sorghum genes (ma5/ma6) / J.E. Mullet, W.L. Rooney, P.E. Klein, D. Morishige, R. Murphy, J.A. Brady // International application published under the patent cooperation treaty. – 2010. – WO 2010/011380 A2
362. Multani, D.S Loss of an MDR transporter in compact stalks of maize br2 and sorghum dw3 mutants / D.S. Multani., S.P. Briggs, M.A. Chamberlin, J.J. Blakeslee, A.S. Murphy, G.S. Johal // *Science.* – 2003. – V. 302. – P. 81-84.
363. Murphy, R.L. Coincident light and clock regulation of pseudoresponse regulator protein 37 (PRR37) controls photoperiodic flowering in sorghum / R.L. Murphy, R.R. Klein, D.T. Morishige, et al. // *Proc. Natl. Acad. Sci.* – 2011. – V. 108. – P. 16469–16474.
364. Murray, M.G. Rapid isolation of high molecular weight plant DNA / M.G. Murray, W.F. Thompson // *Nucleic Acids Research.* – 1980. – V. 8. – P. 4321-4325.
365. Murray, S.C. Genetic improvement of sorghum as a biofuel feedstock: I. QTL for stem sugar and grain nonstructural carbohydrates / S.C. Murray, A. Sharma, W.L. Rooney, P.E. Klein, J.E. Mullet, S.E. Mitchell, S. Kresovich // *Crop Sci.* – 2008. – V. 48. – P. 2165-2179.
366. Ng'uni, D. Comparative genetic diversity and nutritional quality variation among some important southern African sorghum accessions [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] / D. Ng'uni, M. Geleta, P. Hofvander, M. Fatih, T. Bryngelsson // *Australian Journal of Crop Science.* – 2012. – V. 6 (1). – P. 56-64.

367. Ngwenya, N.R. Effect of sorghum type and processing on the antioxidant properties of sorghum [*Sorghum bicolor* (L. Moench)] Based Foods / N.R. Ngwenya // Dissertation Doctor of philosophy. Texas A&M University. – 2007. – 130 p.
368. Oria, M.P. A highly digestible sorghum mutant cultivar exhibits a unique folded structure of endosperm protein bodies / M.P. Oria, B.R. Hamaker, J.D. Axtel, C.P. Huang // Proceedings of the National Academy of Sciences. – 2000. – P. 5065-5070.
369. Osman, M.A., Changes in sorghum enzyme inhibitors, phytic acid, tannins and in vitro protein digestibility occurring during Khamir (local bread) fermentation / M.A. Osman // Food Chemistry. – 2004. – V. 88. – P. 129-134.
370. Osuna-Ortega, J. Sorghum cold tolerance, pollen production and seed yield in the Central High Valleys of Mexico / J. Osuna-Ortega, M. del C. Mendoza-Castillo, L.E. Mendoza-Onofre // Maydica. – 2003. – V. 48. – P. 125-132.
371. Packer, D.J. High-parent heterosis for biomass yield in photoperiod-sensitive sorghum hybrids / D.J. Packer, W.L. Rooney // Field Crops Res. – 2014. – V. 167. – P. 153-158.
372. Palan, B.V. Molecular analysis of cytoplasmic male sterile system of Sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) by RAPD and ISSR markers / B.V. Palan, A.A. Kale, B.D. Pawar, A.S. Jadhav, S.R. Gadakh, V.P. Chimote // International Journal of Plant Research. – 2014. – V. 27 (2). – P. 207-212.
373. Paterson, A.H. The Sorghum bicolor genome and the diversification of grasses / A.H. Paterson, J.E. Bowers, R. Bruggmann, et al. // Nature. – 2009. – V. 457. – P. 551-556.
374. Paterson, A.H. Structure evolution of cereal genomes / A.H. Paterson, J.E. Bowers, D.G. Peterson, J.C. Estill, B. Chapman // Curr. Opin. Gen. Dev. – 2003. – V. 13. – P. 644-650.
375. Patil, V. The importance of omega-3 fatty acids in diet / V. Patil, H.R. Gislerod // Current Science. – 2006. – V. 90. – P. 908-909.
376. Patil, V.R. Combining ability studies in grain sorghum / V.R. Patil, N.S. Kute // J.Global Biosci. – 2015. – V. 4 (1). – P. 1902-1909.

377. Pava, H. Relations among kernel weight percentage protein and grain yield in grain sorghum / H. Pava // *CMU J. Agr. Food Nutrit.* – 1980. – P. 152-159.
378. Peltonen-Sainio, P. Grain number dominates grain weight in temperate cereal yield determination: Evidence based on 30 years of multi-location trials / P. Peltonen-Sainio, A. Kangas, Y. Salo, L. Jauhiainen // *Field Crops Res.* – 2007. – V. 100. – P. 179-188.
379. Pereira, M.G. Identification of genomic regions affecting plant height in sorghum and maize / M.G. Pereira, M. Lee // *Theor Appl Genet.* – 1995. – V. 90. – P. 380-388.
380. Pfeiffer, T.W. Heterosis in sweet sorghum and selection of a new sweet sorghum hybrid for use in syrup production in Appalachia / T.W. Pfeiffer, M.J. Bitzer, J.J. Toy, J.F. Pedersen // *Crop Sci.* – 2010. – V. 50 (5). – P. 1788-1794.
381. Praveen, M. Inheritance and molecular mapping of Rf6 locus with pollen fertility restoration ability on A1 and A2 cytoplasm in sorghum / M. Praveen, G. Anurag Uttam, N. Suneetha, Av. Umakanth, J.V. Patil, R. Madhusudhana // *Plant Science.* – 2015 a. – V. 238. – P. 73-80.
382. Praveen, M. Selective genotyping for determining the linkage between SSR markers and a fertility restoration locus in *Sorghum bicolor* (L.) Moench / M. Praveen, G. Anurag Uttam, R. Madhusudhana // *Intern. Jour. of Curr. Res.* – 2015 b. – V. 7(9). – P. 20459-20461.
383. Premachandra, G.S. Epicuticular wax load and water use efficiency in bloomless and sparse-bloom mutants of *Sorghum bicolor* L. Moench / G.S. Premachandra, D.T. Hahn, J.D. Axtell, R.J. Joly // *Environmental and Experimental Botany.* – 1994. – V. 34. – P. 293-301.
384. Punitha, D. Metroglyph analysis of morphological variations in sorghum germplasm collections / D. Punitha, K. Ganesamurthy, S. Rajarathinam // *Electr J Plant Breed.* – 2010. – V. 1. – P. 536-541.
385. Quinbi, J.R. The genetic control of flowering and growth in sorghum / J.R. Quinbi // *Adv. Agron.* – 1973. – V. 25. – P. 125-162.

386. Quinbi, J.R. The genetics of sorghum improvement / J.R. Quinbi // *J. Heredity*. – 1975. – V. 66. – N 2. – P. 56-62.
387. Rami, J.F. Quantitative trait loci for grain quality, productivity, morphological and agronomical traits in sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) / J.F. Rami, P. Dufour, G. Trouche, et al. // *Theor Appl Genet*. – 1998. – V. 97. – P. 605-616.
388. Rayudu, G.V.N. Toxicity of tannic acid and its metabolites for chickens / G.V.N. Rayudu, R. Kadirvel, P. Vohra, F.H. Kratzer // *Poul Sci*. – 1970. – V. 49. – P. 957-960.
389. Reddy, B.V.S. Recent advances in sorghum improvement research at ICRISAT / B.V.S. Reddy, A.A. Kumar, P.S. Reddy // *Kasetsart Journal: Natural Science*. – 2010. – V. 44. – P. 499-506.
390. Reddy, B.V.S. Genetic and cytoplasmic-nuclear male sterility in Sorghum / B.V.S. Reddy, S. Ramesh, R. Ortiz // *Plant Breeding Reviews*. Ed. J. Janik. Hoboken, New Jersey: Willey & Sons, Inc. – 2005. – V. 25. – P. 139-169.
391. Reddy, P.S. Inheritance of male-fertility restoration in A1, A2, A3 and A4(M) cytoplasmic male-sterility systems of sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench.] / P.S. Reddy, D.M. Rao, V.S.B. Reddy, A.A. Kumar // *Indian Journal of Genetics*. – 2010. – V. 70 (3). – P. 240-246.
392. Reddy, R.N. Mapping QTL for grain yield and other agronomic traits in post-rainy sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] / R.N. Reddy, R. Madhusudhana, S.M. Mohan, D.V.N. Chakravarthi, S. Mehtre, N. Seetharama, J.V. Patil // *Theor Appl Genet*. – 2013. – V. 126. – P. 1921-1939.
393. Rhodes, D.H. Genetic architecture of kernel composition in global sorghum germplasm / D.H. Rhodes, Jr.L. Hoffmann, W.L. Rooney, et al. // *BMC Genomics*. – 2017. – V. 18: 15.
394. Rich, J.R. Striga resistance in the wild relatives of Sorghum / J.R. Rich, C. Grenier, C. Ejeta // *Crop Sci*. – 2004. – V. 44: 2221-9.
395. Richards, R.A. Selectable traits to increase crop photosynthesis and yield of grain crops / R.A. Richards // *J. Exp. Bot*. – 2000. – V. 51. – P. 447-458.

396. Riley, K.W. Inheritance of lysine content, and environmental responses of high and normal lysine lines of *Sorghum bicolor* (L) Moench in the semi-arid tropics of India. Doctor of Philosophy. Department of Plant Science / Riley K.W., 1980. – 171 p.

397. Ringo, J. Heterosis for yield and its components in sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) hybrids in dry lands and sub-humid environments of East Africa / J. Ringo, A. Onkware, M. Mgonja, S. Deshpande, A. Rathore, E. Mneney, S. Gudu // AJCS. – 2015. – V. 9 (1). – P. 9-13.

398. Ritter, K.B. Identification of QTL for sugar-related traits in a sweet × grain sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) recombinant inbred population / K.B. Ritter, D.R. Jordan, S.C. Chapman, I.D. Godwin, E. Mace, C.L. McIntyre // Mol Breed. – 2008. – V. 22. – P. 367-384.

399. Robertson, M.J. Water extraction by grain sorghum in a sub-humid environment. II. Extraction in relation to root growth / M.J. Robertson, S. Fukai, M.M. Ludlow, G.L. Hammer // Field Crops Research. – 1993. – V. 33. – P. 99-112.

400. Robutti, J. Endosperm properties and extrusion cooking behavior of maize cultivars / J. Robutti, E. Borrás, R. Gonzalez, R. Torres, D. De Greef // Lebensm. Wiss. Technol. – 2002. – V. 35 (8). – P. 663-669.

401. Rooney, L.W. Evaluation of sorghum food quality / L.W. Rooney, D.S. Murty // Sorghum in the Eighties. ICRISAT: Patancheru, India. – 1982. – P. 571-588.

402. Rooney, L.W. Ten myths about tannins in sorghums / L.W. Rooney // International Sorghum and Millets Newsletter. – 2005. – V. 46. – P. 3-5.

403. Rooney, L.W. Variation in the structure and kernel characteristics of sorghum / L.W. Rooney, F.R. Miller // International Symposium on Sorghum Grain Quality, ICRISAT: Patancheru, India. – 1981. – P. 143-162.

404. Rooney, L.W. Sorghum food and industrial utilization / L.W. Rooney, R.D. Waniska // In: Smith, C.W., Frederiksen, R.A. (Eds.), Sorghum: Origin, History, Technology, and Production. Wiley, New York. – 2000. – P. 689-729.

405. Rooney, W.L. Genetics and Cytogenetics / W.L. Rooney // In Smith, C.W., Frederiksen, R.A. (eds.), Sorghum: origin, history, technology, production. Wiley, New York. – 2000. – P. 261-308.

406. Rooney, W.L. Genetic control of a photoperiod sensitive response in *Sorghum bicolor* (L.) Moench / W.L. Rooney, S. Aydin // *Crop Sci.* – 1999. – V. 39. – P. 397-400.
407. Rostagno, H.S. Composição de alimentos e exigências nutricionais de aves e suínos / H.S. Rostagno, D.J. Silva, P.M. Costa // Ed. Imprensa Universitária. Viçosa, MG. – 2000. – 139 p.
408. Sadras, V.O. Evolutionary aspects of the trade-off between seed size and number in crops / V.O. Sadras // *Field Crops Res.* – 2007. – V. 100. P. 125-138.
409. Saeed, M. Yield stability in relation to maturity in grain sorghum / M. Saeed, C.A. Francis // *Crop Sci.* – 1983. – V. 23. – P. 683-687.
410. Saito, Y. Formation mechanism of the internal structure of type I protein bodies in rice endosperm: relationship between the localization of prolamin species and the expression of individual genes / Y. Saito, T. Shigemitsu, R. Yamasaki, et al. // *Plant J.* – 2012. – V. 70. – P. 1043-1055.
411. Salas-Fernandez, M.G. Novel germplasm and screening methods for early cold tolerance in sorghum / M.G. Salas-Fernandez, G.R. Schoenbaum, A.S. Goggi // *Crop Sci.* – 2014. – V. 54. – P. 2631-2638.
412. Sang, Y. Structure and functional properties of sorghum starches differing in amylose content / Y. Sang, S. Bean, P.A. Seib, J. Pedersen, Y.C. Shi // *J Agric Food Chem.* – 2008. – V. 56. – P. 6680-6685.
413. Sautier, D. Mil, Mais, Sorgho-Techniques et alimentation au Sahel / D. Sautier, M. O'Deye // Harmattan. Paris France. – 1989. – 171 p.
414. Scalbert, A. Proanthocyanidins and human health: Systemic effects and local effects in the gut / A. Scalbert, S. Deprez, I. Mila, A. Albrecht, J. Huneau S. Rabot // *BioFactor.* – 2000. – V. 13. – P. 115-120.
415. Schaffasz, A. Sorghum as a novel crop for central Europe: using a broad diversity set to dissect temperate-adaptation / A. Schaffasz, S. Windpassinger, W. Friedt, R. Snowdon, B. Wittkop // *Agronomy.* – 2019. – V. 9 (9), 535.
416. Schertz, K.F. Single height-gene effects in hybrids of doubled haploids *Sorghum bicolor* (L.) Moench / K.F. Schertz // *Crop Sci.* – 1973. – V. 28. – P. 7-14.

417. Schertz, K.F. Cytoplasmic-nuclear male sterility: opportunities in breeding and genetics / K.F. Schertz, A. Sotomayor-Rios, S. Torres-Cardona // Proc. Grain Sorghum Res. and Utility Conf. – 1989. – V. 16. – P. 175-186.
418. Schnable, P.S. Progress toward understanding heterosis in crop plants / P.S. Schnable, N.M. Springer // Annu Rev Plant Biol. – 2013. – V. 64. – P. 71-88.
419. Sedghi, M. Estimation and modeling true metabolizable energy of sorghum grain for poultry / M. Sedghi, M.R. Ebadi, A. Golian, H. Ahmadi // Poultry Sci. – 2011. – V. 90. – P. 1138-1143.
420. Sepulveda, R.T. Treatment of antioxidant deficiencies in AIDS patients / R.T. Sepulveda, R.R. Watson // Nutr. Res. – 2002. – V. 22. – P. 27-37.
421. Serna-Saldivar, S. Structure and chemistry of sorghum and millets / S. Serna-Saldivar, L.W. Rooney // Sorghum and Millets: Chemistry and Technology, 1st edition. D.A.V. Dendy, ed. American Association of Cereal Chemists, Inc.: St Paul, MN. – 1995. – P. 69-124.
422. Shih, C.H. Quantitative analysis of anticancer 3-deoxyanthocyanidins in infected sorghum seedlings / C.H. Shih, S.O. Siu, R. Ng, et al. // Journal of Agricultural and Food Chemistry. – 2007. – V. 55 (2). – P. 254-259.
423. Shin, S.I. Slowly digestible starch from debranched waxy sorghum starch: Preparation and properties / S.I. Shin, H.J. Choi, K.M. Chung, B.R. Hamaker, K.H. Park, T.W. Moon // Cereal Chem. – 2004. – V. 81. – P. 404-408.
424. Shiringani, A.L. Genetic mapping of QTLs for sugar-related traits in a RIL population of Sorghum bicolor L. Moench / A.L. Shiringani, M. Frisch, W. Friedt // Theor Appl Genet. – 2010. – V. 121. – P. 323-336.
425. Singh, R. High lysine mutant gene (hl) that improves protein quality and biological value of grain sorghum / R. Singh, J.D. Axtell // Crop Sci. – 1973. – V. 13. – P. 535-539.
426. Singh, V. Sorghum genotypes differ in high temperature responses for seed set / V. Singh, C.T. Nguyen, E.J. van Oosterom, S.C. Chapman, D.R. Jordan, G.L. Hammer // Field Crops Research. – 2015. – V. 171. – P. 32-40.

427. Singh, V. Morphological and architectural development of root systems in sorghum and maize / V. Singh, E.J. van Oosterom, D.R. Jordan, C.D. Messina, M. Cooper, G.L. Hammer // *Plant and Soil*. – 2010. – V. 333. – P. 287-299.
428. Soujeole, A.A. Cold tolerance of sorghum during early developmental stages / A.A. Soujeole, F.R. Miller // *Proc. Ann. Corn Sorghum Res. Conf.* – 1984. – V. 39. – P. 18-32.
429. Sreenivasulu, N. A genetic playground for enhancing grain number in cereals / N. Sreenivasulu, T. Schnurbusch // *Trends Plant Sci.* – 2012. – V. 17. – P. 91-101.
430. Srinivas, G. Identification of quantitative trait loci for agronomically important traits and their association with genic-microsatellite markers in sorghum / G. Srinivas, K. Satish, R. Madhusudhana, R.N. Reddy, S.M. Mohan, N. Seetharama // *Theor Appl Genet.* – 2009. – V. 118. – P. 1439-1454.
431. Stuber, C.W. Identification of genetic factors contributing to heterosis in a hybrid from two elite maize inbred lines using molecular markers / C.W. Stuber, S.E. Lincoln, D.W. Wolff, T. Helentjaris, E.S. Lander // *Genetics*. – 1992. – V. 132 (3). – P. 823-839.
432. Sukumaran, S. QTL mapping for grain yield, flowering time, and stay-green traits in sorghum with genotyping-by-sequencing markers / S. Sukumaran, X. Li, C. Zhu, et al. // *Crop Sci.* – 2016. – V. 56. – P. 1429-1442.
433. Suresh, K. Production of ethanol by raw starch hydrolysis and fermentation of damaged grains of wheat and sorghum / K. Suresh, N. Kiransree, Venkateswar, L. Rao // *Bioprocess Eng.* – 1999. – V. 21. – P. 165-168.
434. Swaminathan, M.S. Choice of strategy for the genetic upgrading of protein properties in cereals, millets and pulses / M.S. Swaminathan, M.S. Naik, A.K. Kaul, A. Austin // *In Improved plant protein nuclear techniques*, IAEA, Vienna. – 1970. – p. 165.
435. Swanston, J. S. Differences in malting performance between barleys grown in Spain and Scotland / J.S. Swanston, R.P. Ellis, A. Rubio, A. Perez-Vendrell, J. L. Molina Cano // *J. Inst. Brew.* – 1995. – V. 101. – P. 261-265.

436. Swigoňová, Z. Close split of sorghum and maize genome progenitors / Z. Swigoňová, J. Lai, J. Ma, W. Ramakrishna, V. Llaca, J.L. Bennetzen, J. Messing // *Genome Res.* – 2004. – V. 14. – P. 1916-1923.
437. Taleon, V. Effect of genotype and environment on flavonoid concentration and profile of black sorghum grains / V. Taleon, L. Dykes, W.L. Rooney, L.W. Rooney // *J. Cereal Sci.* – 2012. – V. 56 (2). – P. 470-475.
438. Tang, J. Dissection of the genetic basis of heterosis in an elite maize hybrid by QTL mapping in an immortalized F2 population / J. Tang, J. Yan, X. Ma, et al. // *Theor Appl Genet.* – 2010. – V. 120 (2). – P. 333-340.
439. Tao, Y. Novel grain weight loci rRevealed in a cross between cultivated and wild sorghum / Y. Tao, E. Mace, B. George-Jaeggli, et al. // *Plant Genome.* – 2018. – V. 11(2): 170089
440. Tari, I. Response of sorghum to abiotic stresses: A Review / I. Tari, G. Laskay, Z. Takacs, P. Poor // *Journal of Agronomy and Crop Science.* – 2013. – V. 199. – P. 264-274.
441. Taylor, J.R.N. Mashing with malted grain sorghum / J.R.N. Taylor // *ASBC J.* – 1992. – V. 50. – P. 13-18.
442. Taylor, J.R.N. REVIEW: Developments in our understanding of sorghum polysaccharides and their health benefits / J.R.N. Taylor, M.N. Emmambux // *Cereal Chemistry.* – 2010. – V. 87 (4). – P. 263-271.
443. Taylor, J.R.N. Novel food and non-food uses for sorghum and millets / J.R.N. Taylor, T.J. Schober, S.R. Bean // *J Cer Sci.* – 2006. – V. 44. – P. 252-271.
444. Taylor, J.R.N. The protein composition of the different anatomical parts of sorghum grain / J.R.N. Taylor, L. Schussler // *J Cer Sci.* – 1986. – V. 4. – P. 361-365.
445. Tesso, T. A Novel modified endosperm texture in a mutant high-protein digestibility/high-lysine grain sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) / T. Tesso, G. Ejeta, A. Chandrashekar, et al. // *Cereal Chem.* – 2005. – V. 83 (2). – P. 194-201.
446. Thurber, C.S. Retrospective genomic analysis of sorghum adaptation to temperate-zone grain production / C.S. Thurber, J.M. Ma, R.H. Higgins, P.J. Brown // *Genome Biol.* – 2013. – V. 14: R68.

447. Tiryaki, I. Andrews germination and seedling cold tolerance in sorghum / I. Tiryaki, J. David // Published in Agron. J. – 2001. – V. 93. – P. 1386-1391.
448. Tolck, J.A. Do More Seeds per Panicle Improve Grain Sorghum Yield? / J.A. Tolck, R.C. Schwartz // Crop Science. – 2017. – V. 57. – P. 490-496.
449. Truong, S.K. Harnessing genetic variation in leaf angle to increase productivity of Sorghum bicolor / S.K. Truong, R.F. McCormick, W.L. Rooney, J.E. Mullet // Genetics. – 2015. – V. 201. – P. 1229-1238.
450. Tuinstra, M.R. Genetic analysis of post-flowering drought tolerance and components of grain development in Sorghum bicolor (L.) Moench / M.R. Tuinstra, E.M. Gote, P.B. Goldsbrough, G. Ejeta // Mol. Breeding. – 1997. – V. 3. – P. 439-448.
451. Turnbull, K.M. Endosperm texture in wheat / K.M. Turnbull, S. Rahman // J. Cereal sci. – 2002. – V. 36. – P. 327-337.
452. Virupaksha, T.K. Studies on the protein content and amino acid composition of some varieties of grain sorghum / T.K. Virupaksha, L.V.S. Sastry // Agric Food Chem. – 1968. – V. 16. – P. 199-203.
453. Waniska, R.D. Structure and chemistry of the sorghum caryopsis / R.D. Waniska, L.W. Rooney // In: Smith, C.W., Frederiksen, R.A. (Eds.), Sorghum: Origin, History, Technology, and Production. Wiley, New York. – 2000. – P. 649-688.
454. Wendorf, F. Saharan exploitation of plants 8000 years BP / F. Wendorf, A.E. Close, R. Schild, K. Wasylkova, R. Housley, J.R. Harlan, Halina Królik // Nature. – 1992. – V. 359. P. 721-724.
455. Wilson, L.M. Dissection of maize kernel composition and starch production by candidate gene association / L.M. Wilson, S.R. Whitt, A.M. Ibanez, T.R. Rocheford, M.M. Goodman // Plant Cell. – 2004. – V. 16. – P. 2719-2733.
456. Windpassinger, S.M. Breeding strategies for the adaptation of sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) as a novel crop for temperate Europe. Inaugural Dissertation for a Doctorate Degree in Agricultural Sciences / Windpassinger S.M. – 2016. – 92 p.

457. Witt Hmon, K.P. QTLs underlying inflorescence architecture in sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) as detected by association analysis / K. P. Witt Hmon, T. Shehzad, K. Okuno // *Genet Resour Crop Evol.* – 2014. – V. 61. – P. 1545-1564.
458. Wong, J.H. Digestibility of protein and starch from sorghum (*Sorghum bicolor*) is linked to biochemical and structural features of grain endosperm / J.H. Wong, T. Lau, N. Cai, et al. // *J Cer Sci.* – 2009. – V. 49. – P. 73-82.
459. Wu, Y. Messing Mutation in the seed storage protein kafirin creates a high-value food trait in sorghum / Y. Wu, L. Yuan, X. Guo, D.R. Holding, J. Messing // *Nat Commun.* – 2013. – V. 4: 2217.
460. Wu, Y. Presence of tannins in sorghum grains is conditioned by different natural alleles of Tannin 1 / Y. Wu, X. Li, W. Xiang, et al. // *Proc. Natl. Acad. Sci.* – 2012. – V. 109. – P. 10281-10286.
461. Xiao, J. Dominance is the major genetic basis of heterosis in rice as revealed by QTL analysis using molecular markers / J. Xiao, J. Li, L. Yuan, S.D. Tanksley // *Genetics.* – 1995. – V. 140 (2). – P. 745-754.
462. Xie, P. Control of Bird Feeding Behavior by Tannin1 through Modulating the Biosynthesis of Polyphenols and Fatty Acid-Derived Volatiles in Sorghum / P. Xie, J. Shi, S. Tang, et al. // *Molecular Plant.* – 2019. – V. 12. – P. 1315-1324.
463. Yamaguchi, M. Sorghum Dw1, an agronomically important gene for lodging resistance, encodes a novel protein involved in cell proliferation / M. Yamaguchi, H. Fujimoto, K. Hirano, et al. // *Scientific Reports.* – 2016. – V. 6: 28366.
464. Yang, Z. Pre-anthesis ovary development determines genotypic differences in potential kernel weight in sorghum / Z. Yang, E.J. van Oosterom, D.R. Jordan, G.L. Hammer // *J. Exp. Bot.* – 2009. – V. 60 (4). – P. 1399-1408.
465. Yang, Z. Genetic variation in potential kernel size affects kernel growth and yield of sorghum / Z. Yang, E.J. van Oosterom, D.R. Jordan, A. Doherty, G.L. Hammer // *Crop Sci.* – 2010. – V. 50. – P. 685-695.
466. Yu, J. Genetic Analysis of Seedling Growth under Cold Temperature Stress in Grain Sorghum / J. Yu, M.R. Tuinstra // *Published in Crop Sci.* – 2001. – V. 41. – P. 1438-1443.

467. Zhang, D. Genetic analysis of inflorescence and plant height components in sorghum (Panicoidae) and comparative genetics with rice (Oryzoidae) / D. Zhang, W. Kong, J. Robertson, et al. // BMC Plant Biology. – 2015. – V. 15: 107.

468. Zhou, G. Genetic composition of yield heterosis in an elite rice hybrid / G. Zhou, Y. Chen, W. Yao, et al. // Proc Natl Acad Sci USA. – 2012. – V. 109 (39). – P. 15847-15852.

469. Zou, G. Genetic variability and correlation of stalk yield-related traits and sugar concentration of stalk juice in a sweet sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] population / G. Zou, S. Yan, G. Zhai, Z. Zhang, J. Zou, Y. Tao // Aust J Crop Sci. – 2011. – V. 5. – P. 1232-1238.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Сумма осадков в годы исследований по данным метеостанции «Зерноград», 2008-2022 гг.

Месяц	Годы исследований															Сред- немно- голет- нее*
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	
Май	42,4	51,6	105,4	28,8	96,2	28,5	59,2	69,7	156,8	54,3	12,7	63,9	79,9	65,0	21,7	51,3
Июнь	30,5	31,1	6,5	90,5	18,4	45,6	71,9	114,0	23,8	88,6	4,2	10,8	38,8	103,9	7,4	71,3
Июль	81,7	57,3	45,1	21,0	29,2	46,8	19,6	32,2	32,8	42,2	71,7	71,4	60,7	24,6	55,8	57,7
Август	20,4	34,9	32,1	35,2	47,3	59,5	7,7	14,8	28,8	45,5	4,8	13,6	44,7	51,1	47,2	45,2
Сентябрь	81,2	132,9	39,7	39,7	9,2	62,4	32,2	0,4	47,2	27,8	10,9	48,0	2,7	28,5	35,9	42,3
Сумма	256,2	308,1	228,8	215,2	200,3	242,8	190,6	231,1	289,4	258,4	104,3	207,7	226,8	273,1	168,0	267,8

* по данным А.А. Гриценко, 2005

Температура воздуха в годы исследований по данным метеостанции «Зерноград», 2008-2022 гг.

Месяц	Годы исследований															Средне- много- летнее*
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	
Май	15,7	15,3	18,0	17,0	20,0	21,0	19,4	16,4	15,9	15,9	19,2	19,0	15,4	18,1	14,8	16,5
Июнь	20,6	24,1	24,3	21,8	23,7	23,0	21,1	22,2	22,3	20,8	23,9	25,2	23,1	21,5	23,1	20,5
Июль	23,7	25,7	25,9	26,5	25,0	23,9	24,9	24,0	24,7	23,1	25,9	22,7	25,7	26,7	23,8	23,1
Август	25,2	20,7	27,3	22,9	24,4	23,7	25,8	24,2	26,0	21,9	24,6	23,4	23,4	25,8	26,6	21,9
Сентябрь	16,7	17,3	19,6	17,3	19,0	14,9	17,3	21,9	15,8	16,7	19,6	17,0	20,7	16,1	17,5	16,3
Сумма (май-сентябрь)	3122	3155	3524	3231	3432	3264	3325	3326	3208	3013	3466	3284	3314	3317	3239	3011
ГТК (май-сентябрь)	0,82	0,98	0,65	0,67	0,58	0,74	0,57	0,69	0,90	0,86	0,30	0,63	0,68	0,82	0,52	0,89

* по данным А.А. Гриценко, 2005

Характеристика коллекционных образцов сорго зернового, 2008-2010 гг.

№ п/п	Название образца	Период вегетации «всходы – полная спелость», дней	Высота растения, см	Выдвинутость ножки, см	Количество листьев, шт.	Количество зёрен в метёлке, шт.	Масса 1000 зёрен, г	Урожайность зерна, г/м ²	Содержание сырого белка, %	Содержание крахмала, %	Содержание сырого жира, %	Содержание сырой золы, %	Содержание сырой клетчатки, %	Содержание лизина в белке, %	Содержание танинов, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	Хазине 28, st	99	110	6	10	1010	21,7	369	14,6	67,5	5,19	1,51	1,34	2,70	0,91
2	Зерноградское 53, st	101	101	7	11	1040	21,0	394	14,3	68,2	3,42	1,84	1,88	2,66	4,15
3	ЗСК-4	96	105	11	9	1220	23,4	447	14,7	68,7	4,13	1,42	1,61	3,00	1,98
4	Белозёрное 100	94	86	5	9	684	26,3	306	14,8	67,6	4,33	1,57	1,75	2,64	0,62
5	Отбор 100	100	89	4	9	821	22,1	492	13,0	68,6	3,81	1,76	1,48	2,77	0,72
6	34045	98	89	6	9	787	18,2	265	15,8	67,1	4,42	1,76	1,27	2,91	1,95
7	Sb-126/4	100	98	2	11	567	26,1	431	16,7	65,9	4,15	1,53	1,71	3,11	3,24
8	144 ф/8	104	119	5	10	1188	20,6	413	13,2	69,9	3,56	1,36	1,52	3,00	1,14
9	СПЗС-11	101	140	11	11	1350	19,5	500	15,4	66,3	5,32	1,42	1,78	2,96	2,63

Продолжение приложения 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
10	Зерноградское 204	99	112	6	8	1488	22,7	417	12,3	69,8	4,57	1,23	1,86	3,20	0,71
11	Feterita	123	120	8	12	776	43,3	291	15,0	66,8	3,44	2,27	1,54	1,73	0,62
12	Сорго местное (к-2436)	125	225	10	15	1965	33,5	462	12,8	71,1	3,31	1,44	1,36	1,83	0,43
13	к-2736	122	187	14	14	1111	35,3	293	13,9	71,8	2,77	1,48	1,39	2,26	0,07
14	Feterita Kadugli (к-2841)	132	129	9	13	956	26,3	283	12,9	70,2	3,12	1,20	1,53	2,45	0,43
15	к-2962	120	106	11	12	1156	30,6	318	14,8	69,7	3,95	1,66	1,65	2,50	1,23
16	Double Dwarf Feterita (к-3010)	136	156	4	14	941	23,2	286	14,3	69,4	3,73	1,43	1,86	2,38	0,39
17	Bonita (к-3025)	130	108	8	13	625	39,0	284	13,0	69,4	3,74	1,49	1,45	3,28	0,26
18	Sorghum Feterita (к-3436)	122	114	9	12	970	29,2	347	13,7	69,0	3,57	1,37	1,16	3,48	0,10
19	к-4357	131	112	6	14	1708	20,1	294	14,8	65,6	3,64	1,71	1,82	2,15	3,99
20	Сорго Акгум-Оламское (к-4936)	133	206	9	18	1577	38,5	428	13,6	70,1	3,82	1,54	1,51	2,33	0,18
21	С кафрское (к-5444)	122	93	12	12	1204	25,3	399	14,4	68,9	3,66	1,26	1,56	2,51	2,33
22	к-5521	126	111	14	13	1169	28,6	333	13,2	68,0	3,27	1,66	1,58	2,08	0,08
23	к-5604	127	117	16	11	1324	22,7	341	13,7	66,7	3,22	1,26	1,40	2,74	3,57
24	к-6844	133	129	1	13	1292	28,0	378	13,3	70,7	3,57	1,32	1,18	2,35	0,06
25	к-7606	123	157	15	12	1492	27,8	369	15,2	67,1	3,22	1,71	1,39	3,25	3,64
26	Zine 84 (к-7681)	135	92	4	16	654	37,5	334	12,8	71,2	3,61	1,66	1,32	2,87	0,72
27	Сорго Абу-Себейн (к-8467)	127	151	5	11	922	41,2	293	16,0	67,5	4,54	2,06	1,31	2,70	0,09
28	М-60938 (к-6021)	136	111	8	11	875	33,1	346	14,8	69,5	3,96	1,71	1,88	2,38	0,50
29	М-60366 (к-9030)	135	106	1	13	1774	31,2	395	15,9	68,9	3,44	1,89	1,87	2,58	0,04
30	М-61134 (к-9050)	118	128	12	9	937	36,0	490	13,9	68,5	3,95	1,77	1,57	2,24	1,83

Продолжение приложения 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
31	Sorghum vulgare (к-9228)	140	172	3	12	1906	32,6	432	13,1	72,4	3,59	1,48	1,67	2,25	0,58
32	Хегари 2259 (к-9268)	126	87	3	12	981	23,4	450	13,4	70,5	2,95	1,72	1,77	3,15	1,93
33	Сорго Уньчисусу (к-9553)	117	148	8	11	1030	20,2	324	15,5	66,1	3,94	1,66	1,68	2,64	4,13
34	S variety P №4179 (к-9820)	135	79	1	13	877	25,1	421	15,2	69,3	3,86	1,55	1,60	2,57	1,19
35	Bj 112 (к-9886)	129	99	7	13	1750	24,6	453	14,1	68,9	3,66	1,32	1,53	2,18	0,94
36	СЛВ-2 (к-10107)	131	112	10	11	1904	26,0	438	13,7	68,6	3,46	1,60	2,13	2,45	0,55
37	С-678	127	99	5	13	1219	27,1	479	12,7	71,0	2,92	1,49	1,68	2,60	0,71
38	С-45 (к-10338)	126	88	12	11	652	26,7	455	14,1	69,0	3,66	1,26	1,43	3,33	1,35
39	Martin Milo B (к-10773)	124	88	10	11	1212	22,6	325	15,9	66,5	4,03	1,37	2,08	3,08	2,16
40	Д. 1198/09	97	89	2	9	726	24,8	415	14,3	69,5	4,92	1,86	1,63	3,65	0,73
41	Отборы 1/05	94	104	16	8	998	24,2	384	15,1	68,7	4,08	1,66	1,74	2,76	3,93
42	Сорго просовое 65	91	100	17	7	812	22,6	297	15,0	66,5	4,52	1,67	1,87	3,05	4,09
43	Круп 2	93	94	16	8	897	16,8	314	15,5	68,6	4,12	1,70	1,74	3,69	4,08
44	ЗСК- 70/08	95	114	11	8	1779	19,7	372	13,4	68,9	4,11	1,31	1,69	2,77	3,32
45	ЗСК-74/08	99	104	4	10	910	22,9	297	13,7	69,9	4,29	1,44	1,37	2,94	3,81
46	Отбор 28	98	97	0	9	1056	19,2	347	14,2	68,1	4,32	1,52	1,61	2,81	1,56
47	Сорго просовое 15/02	101	102	7	9	1119	17,9	244	15,0	68,4	3,81	1,48	1,24	2,11	3,23
48	ЗСК-77/08	96	105	8	8	975	19,5	369	13,9	68,4	3,80	1,63	1,77	3,10	3,39
49	ЗСК-79/08	101	86	5	10	846	18,3	250	14,8	70,0	3,87	1,40	1,53	2,41	0,74
50	ЗСК-80/08	114	89	0	11	788	27,7	403	14,1	68,1	4,71	1,46	1,66	2,28	0,98

Продолжение приложения 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
51	Отборы 5/07	94	97	16	8	571	28,5	225	13,3	69,6	4,30	1,55	1,57	2,45	3,24
52	340/46	98	98	10	9	1092	27,4	396	13,8	69,2	3,98	1,57	1,72	2,14	2,87
53	ЗСК-121/08	99	96	0	9	1209	22,3	323	13,2	69,1	4,39	1,57	1,28	2,47	1,22
54	ВЗСР-82	96	83	10	9	1008	22,5	356	14,1	67,8	4,43	1,53	1,82	2,49	3,54
55	ЗСК-145/08	96	84	8	8	908	28,4	387	14,0	69,2	4,58	1,72	1,70	2,50	1,30
56	ЗСК-146/08	96	86	5	9	935	20,5	310	14,2	68,9	4,25	1,68	1,71	2,79	0,53
57	Светлое	114	79	1	11	1460	17,7	548	13,8	68,3	4,68	1,42	1,25	2,65	0,68
58	ЗСК-153/08	96	92	0	9	1072	25,0	480	14,0	69,3	4,03	1,72	1,45	2,97	3,08
59	ЗСК-204	99	104	1	9	1111	21,3	430	13,9	69,9	4,61	1,41	1,85	2,53	0,44
60	ЗСК-163/08	97	95	3	9	1349	22,3	483	15,2	67,9	4,60	1,49	1,57	2,79	2,84
61	ЗСК-164/08	98	91	2	10	771	22,1	323	14,4	68,3	4,72	1,45	1,52	2,55	3,32
62	АИ 738	93	88	8	7	610	25,1	279	13,9	68,2	4,78	1,49	1,74	2,55	0,48
63	НК 4004	101	105	5	10	785	25,0	344	14,5	69,2	4,30	1,45	2,21	2,94	0,53
64	31067	97	74	3	8	673	27,1	321	14,6	68,7	4,41	1,72	1,92	2,45	4,19
65	ЗСК-183/08	100	80	6	9	1126	19,6	348	13,3	69,5	4,58	1,42	1,64	2,65	1,00
66	ЗСК-184/08	96	85	1	10	807	19,6	342	12,5	68,4	4,58	1,34	1,75	3,06	4,14
67	Зерноградское 215	98	99	1	12	1222	19,6	339	14,9	67,1	4,75	1,38	1,46	2,83	0,47
68	Д. 1228/09	93	106	4	8	1265	23,6	406	12,9	68,7	3,87	1,38	2,04	3,24	4,30
69	ЛБК 100	101	84	6	9	824	24,3	309	14,8	67,5	4,69	1,95	1,50	2,47	0,59
70	ЗСК-194/08	96	87	5	9	658	21,1	326	14,9	68,5	3,80	1,68	1,49	2,64	0,54
71	ЗСК-198/08	96	79	6	9	942	17,0	309	13,4	70,4	4,19	1,45	2,08	2,89	0,99

Продолжение приложения 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
72	ЗСК-201/08	95	98	15	9	815	23,9	324	14,6	68,7	4,25	1,45	1,68	2,22	3,49
73	ЗСК-209/08	95	109	9	9	785	22,6	405	14,0	69,1	4,80	1,57	2,15	2,44	0,49
74	ЗСК-213/08	99	94	9	9	782	27,7	375	13,8	68,9	3,51	1,38	2,05	2,97	3,96
75	Д. 1236/09	96	126	15	9	1357	16,5	323	15,8	66,2	4,13	1,57	2,13	3,27	0,48
76	ЗСК-229/08	97	92	5	9	682	25,6	437	14,6	67,5	4,52	1,45	2,05	2,83	1,00
77	ЗСК-236/08	100	102	3	9	1252	19,7	380	15,0	67,4	4,47	1,38	1,52	2,88	0,84
78	ЗСК-278/07	100	102	3	10	1433	22,2	432	15,4	67,7	4,57	1,64	1,40	2,85	0,53
79	Красноплодное 79	102	99	3	11	1245	22,3	380	16,9	67,1	3,99	1,65	1,88	2,92	3,97
80	ЗСК-246/08	97	98	1	10	1183	20,7	338	14,6	69,2	3,83	1,49	1,64	3,20	0,89
81	ЗСК-255/08	97	96	5	10	1281	23,1	338	15,1	67,8	4,20	1,49	1,70	2,48	3,80
82	ЗСК-265/08	109	108	4	10	1233	17,6	350	13,6	68,9	3,15	1,42	1,98	2,75	0,74
83	Д. 1244/09	100	96	6	10	849	18,0	301	15,7	70,5	3,65	1,57	2,04	2,96	0,55
84	Д. 1245/09	120	100	4	10	859	21,6	368	12,3	69,5	3,75	1,23	1,79	2,58	2,28
85	Aralba	99	114	3	11	1037	17,5	379	14,3	69,3	4,20	1,41	2,23	2,57	0,49
86	Скороспелое 65	92	90	16	8	821	23,7	330	13,9	67,4	3,57	1,34	2,10	2,61	2,94
87	Д. 1248/09	102	90	0	11	1406	22,2	413	14,3	68,9	4,07	1,53	2,15	2,77	0,94
88	Д. 1249/09	121	117	0	12	2355	15,3	384	14,7	66,0	4,13	1,49	1,45	3,12	0,74
89	Редлайн 66	97	90	11	9	1007	22,7	350	14,3	66,1	4,56	1,45	1,73	3,15	4,31
90	Краснозёрное 99	114	74	0	11	962	20,7	339	13,6	67,4	3,42	1,91	1,88	3,30	4,21
91	ЗСК-396/08	96	86	3	9	818	21,4	313	13,8	68,5	4,45	1,80	1,78	2,67	1,23
92	ЗСК-398/08	95	76	7	9	1560	21,7	343	13,9	69,6	4,61	1,61	1,67	3,05	0,54

Продолжение приложения 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
93	ЗСК-401/08	106	85	7	10	960	24,6	433	13,8	68,2	4,36	1,87	1,77	2,69	3,52
94	Santana	103	119	7	10	1069	22,2	366	13,7	69,7	4,22	1,38	1,74	2,77	0,69
95	CH-16	97	108	9	10	1788	25,9	416	13,1	70,1	3,56	1,45	1,78	2,76	0,68
96	ЗСК-456/08	107	99	3	11	1322	17,9	407	14,1	69,5	3,87	1,68	1,88	2,47	0,47
97	ЗСК-462/08	99	123	11	9	880	16,4	247	15,7	66,1	4,42	1,65	1,80	2,23	0,44
98	Sb-121/5	95	91	9	9	690	18,1	305	15,3	69,0	4,42	1,68	1,90	2,71	0,40
99	ЗСК-484/08	101	116	6	10	668	18,5	380	13,3	70,1	3,58	1,72	1,61	2,96	4,06
100	F-5096	98	85	3	9	856	23,6	335	15,2	65,9	4,16	1,64	2,03	2,39	3,30
101	СПЗС-2	103	101	5	11	1110	21,3	315	15,4	68,6	3,72	1,45	1,40	2,75	3,39
102	ЗСК-676/7	100	96	1	10	950	18,5	297	14,4	68,3	4,77	1,49	2,08	3,05	0,86
103	СПЗС-16	96	113	13	9	1526	22,7	298	14,5	69,9	4,09	1,65	1,82	2,58	0,94
104	ЗСК-581/08	98	105	8	10	1187	19,0	382	14,7	67,7	4,09	1,61	1,61	2,78	4,06
105	B-73	112	107	7	10	919	22,0	322	15,1	67,6	4,12	1,66	1,79	2,81	0,23
106	Orana	100	97	14	10	1209	26,6	356	15,9	67,2	4,11	1,53	1,95	2,76	3,26
107	03-3003 Б	110	118	8	11	815	25,7	348	14,9	65,6	5,06	1,38	1,62	2,51	3,94
108	Хазине 22	99	88	12	9	1502	19,0	299	14,8	69,1	3,39	1,38	1,13	2,85	4,53
109	БС-414	99	96	0	9	1048	24,6	413	14,0	68,1	3,93	1,42	1,31	3,00	4,26
110	ТАМ-281	101	128	11	9	779	18,3	357	15,1	67,0	4,83	1,57	1,74	2,64	0,87
111	ЗСК-160	94	106	7	9	825	22,3	345	14,0	68,6	4,06	1,45	1,44	2,80	4,04
112	B-ЗСР-68	100	98	14	9	1058	20,4	354	14,8	68,7	3,58	1,68	1,59	2,89	3,44
113	ЗСК-67	112	98	0	11	741	26,7	357	15,0	68,5	4,03	1,64	1,84	2,63	0,84

Продолжение приложения 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
114	j-108	102	133	15	10	1676	23,3	487	15,2	68,5	5,14	1,49	1,34	2,26	3,87
115	ЗСК-848/08	106	94	3	10	1334	26,5	345	14,9	70,6	3,77	1,53	1,43	3,08	0,47
116	ЗР 66	95	109	13	9	927	22,5	311	16,1	67,4	4,49	1,72	1,80	2,18	0,55
117	Д. 1034/07	105	88	4	11	704	42,8	424	15,2	68,0	3,97	1,60	1,99	2,60	0,34
118	Анна	95	98	0	9	643	22,7	290	14,5	69,5	3,65	1,53	1,91	2,61	0,45
119	Максим	91	86	11	8	621	23,5	285	13,5	69,6	4,04	1,64	1,46	2,84	2,98
120	Д. 1281-28	97	105	8	11	1322	22,5	464	14,9	66,8	5,10	1,68	1,74	2,91	0,37
121	ЗСК-217	101	93	7	10	1086	26,7	434	13,9	69,6	3,40	1,30	1,79	2,65	2,11
122	ЗСК-128	102	98	11	9	740	15,8	276	15,0	67,6	4,49	1,53	1,83	2,82	3,91
123	ЗСК-243	93	105	16	7	1077	21,2	353	13,6	69,1	3,50	1,38	1,45	2,83	4,33
124	Юпитер	111	93	11	9	901	21,7	303	16,0	67,7	4,22	1,46	1,41	2,28	3,38
125	ЗСК-138	95	66	3	10	887	23,6	251	15,5	69,7	3,83	1,38	1,72	2,79	0,84
126	ЗСК-162	96	99	6	11	1042	19,2	343	15,2	68,5	4,64	1,46	1,82	2,89	0,74
127	ЗСК-129	97	92	7	9	1011	19,3	271	14,6	70,2	4,25	1,45	1,69	2,48	0,82
128	ЗСК-164	101	127	5	10	2322	20,0	436	14,6	68,3	4,22	1,69	2,01	2,95	4,18
129	Скороспелое 89	97	97	7	10	1131	18,5	454	15,0	66,8	4,39	1,45	2,23	3,01	0,75
130	Отборы 22	101	103	7	10	1004	22,7	308	14,3	69,4	3,67	1,45	2,08	2,74	3,50
131	Отборы 61	97	115	8	10	878	20,9	271	14,5	69,8	4,83	1,61	1,84	2,51	1,32
132	ЗСК-1454/08	95	97	7	10	1264	19,8	315	15,1	68,3	4,12	1,68	1,62	2,94	1,00
133	Argence	95	143	11	11	747	21,3	245	16,8	67,5	3,65	1,87	1,59	2,76	4,00

Продолжение приложения 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
134	Д. 1297/09	96	108	12	9	1084	21,7	398	14,6	67,7	4,28	1,72	1,44	3,04	3,45
135	ЗСК-1494/08	95	97	5	11	941	19,0	348	14,2	68,6	4,02	1,72	1,40	2,53	3,95
136	Индийское 84	111	92	0	11	751	32,1	371	14,1	68,9	3,42	1,76	1,46	2,57	0,51
137	Популяция 32	110	96	0	12	1135	19,9	266	15,2	68,6	3,96	1,79	1,19	2,61	0,40
138	Лазурит	94	100	6	9	1081	22,3	351	14,1	68,9	3,74	1,44	1,56	1,99	0,91
139	Снежок 55	96	105	6	10	1351	24,3	430	12,2	72,2	3,83	1,10	1,62	2,41	0,06
140	Лучистое	90	103	7	10	1235	26,3	453	12,3	71,0	3,55	1,32	1,49	3,04	1,78
141	Геля	98	103	11	10	1209	19,6	312	12,7	70,6	4,22	1,61	1,73	2,58	0,20
142	Наст 76	95	102	12	10	1521	25,1	401	13,3	72,0	3,38	1,32	1,50	3,04	0,14
143	ЗР 88	95	95	7	10	1597	25,8	464	13,6	72,1	4,01	1,84	2,20	2,45	0,19
144	Великан	98	129	8	10	1414	19,6	340	14,1	69,4	3,96	1,53	1,53	2,96	0,16
145	Аист	104	123	8	10	1404	17,5	322	15,0	70,5	4,00	1,49	1,27	2,47	0,07
146	Утро	95	107	10	9	996	16,2	326	13,8	67,6	4,24	1,84	2,29	1,87	2,66
147	ЛБК 28	96	94	0	10	1222	21,0	399	16,1	66,5	3,51	1,26	1,43	1,43	3,07
148	Джугара 185	102	144	16	9	1210	54,8	540	14,8	68,5	4,86	1,49	1,06	1,56	0,43
149	Персис 55	100	103	0	9	850	39,2	503	14,8	68,6	4,19	1,61	1,77	3,43	0,35
150	ЗСК-116	92	90	0	8	1036	15,8	372	16,9	68,4	4,73	1,26	1,55	1,77	0,37
\bar{X}		105	105	7	10	1089	23,8	363	14,4	68,7	4,06	1,55	1,68	2,69	1,78
S		13	23	5	2	337	6,0	66	1,0	1,4	0,5	0,20	0,26	0,38	1,49

Характеристика коллекционных образцов сорго зернового, 2016-2020 гг.

№ п/п	Название образца	Период вегетации «всходы – полная спелость», дней	Высота растения, см	Выдвинутость ножки, см	Количество листьев, шт.	Количество зёрен в метёлке, шт.	Масса 1000 зёрен, г	Урожайность зерна, г/м ²	Содержание сырого белка, %	Содержание крахмала, %	Содержание сырого жира, %	Содержание сырой золы, %	Содержание сырой клетчатки, %	Содержание лизина в белке, %	Содержание танинов, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	Зерноградское 88, st.	95	97	11	10	1427	29,3	544	12,5	72,8	4,41	1,58	2,07	3,22	0,17
2	Зерноградское 53, st.	103	118	8	11	1530	27,1	549	11,7	72,7	3,50	1,58	2,05	3,10	4,46
3	Крымбел	99	134	14	10	1328	27,6	471	12,9	71,4	3,46	1,65	2,11	2,99	0,22
4	Крупинка 10	103	105	8	14	1193	23,0	384	11,5	73,0	3,62	1,49	2,08	3,23	0,68
5	Коричневое 11	104	120	9	11	1327	17,7	315	12,8	71,3	4,13	1,86	2,12	3,14	5,40
6	Камышинское 31	99	107	6	10	1426	22,8	453	10,4	73,8	3,69	1,52	2,00	3,46	1,38
7	Камышинское 64	90	104	10	8	1144	23,8	445	11,9	72,1	4,00	1,56	2,10	3,02	0,61
8	Камышинское 75	88	102	8	8	779	25,8	373	12,3	71,8	4,20	1,76	2,08	3,03	5,45
9	Славянка	80	92	19	6	437	27,8	208	12,0	72,5	4,28	1,72	2,04	3,17	5,30

Продолжение приложения 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
10	Премьера	82	91	8	6	556	22,4	220	12,3	73,0	3,97	1,85	1,95	3,07	4,83
11	Рось	82	109	15	7	701	24,6	301	13,5	71,5	3,96	1,76	2,06	2,79	1,39
12	ЗСК 521/17	86	105	14	7	888	22,1	284	13,1	72,4	3,81	1,78	2,03	2,68	4,74
13	Зерста 97	97	132	8	10	1478	29,7	556	11,7	73,4	3,67	1,59	2,05	2,96	0,44
14	Аюшка	101	130	11	10	1242	26,2	421	11,3	72,5	4,06	1,59	2,11	3,47	2,92
15	Круста	103	129	1	12	1648	28,0	569	12,5	71,8	3,57	1,68	2,13	3,12	0,34
16	Состав	96	123	8	10	1431	26,4	503	11,4	73,3	4,22	1,69	2,05	3,08	3,04
17	КиМ	110	107	4	11	1333	23,4	422	12,4	72,0	4,24	1,66	2,09	2,85	0,53
18	Наран	100	111	11	11	1483	29,6	587	11,6	72,7	4,05	1,67	2,11	3,33	2,71
19	Белочка	84	122	16	8	636	25,3	237	13,0	71,5	4,13	1,67	2,10	3,14	0,59
20	Солнышко	89	102	11	8	698	31,9	310	11,8	72,8	3,45	1,65	2,10	3,26	3,95
21	Аванс	88	109	5	8	548	41,6	344	12,1	72,2	4,11	1,74	2,07	3,08	0,39
22	Волжское 4	93	122	14	9	911	23,0	321	12,2	71,9	4,23	1,67	2,13	3,32	2,77
23	Волжское 44	96	124	12	10	1241	29,2	507	12,3	71,8	4,35	1,61	2,16	3,01	1,30
24	Волжское 615	88	93	11	8	967	26,1	318	12,3	72,2	4,13	1,77	2,09	3,02	3,12
25	Зенит	84	99	17	7	581	31,7	249	12,9	72,0	4,00	1,82	2,08	2,83	0,33
26	Огонёк	83	87	19	6	548	28,9	216	12,6	72,5	3,99	1,78	2,07	2,99	3,68
27	Пищевое 35	88	109	17	8	770	26,0	303	12,9	71,5	4,39	1,75	2,11	2,96	3,09
28	Перспективный 1	80	96	9	6	383	30,2	182	12,4	72,6	4,58	1,77	2,07	3,08	0,99
29	Старт	83	101	18	7	575	31,1	253	12,2	72,4	4,24	1,70	2,09	3,22	2,64
30	Факел	92	106	8	9	726	30,2	308	12,2	72,8	4,63	1,76	2,07	3,00	2,60

Продолжение приложения 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
31	Пищевое 614	87	113	12	8	574	29,3	248	11,9	72,5	4,05	1,67	2,09	3,15	2,26
32	Кремовое	84	110	14	7	662	28,2	297	11,4	73,1	4,15	1,59	2,08	3,42	1,03
33	Камелик	91	96	3	8	961	23,6	347	11,8	73,2	3,80	1,89	2,02	3,11	5,42
34	Восторг	87	113	13	8	849	29,5	368	11,9	71,8	3,95	1,63	2,12	3,15	0,61
35	Азарт	83	108	11	7	611	32,7	308	12,4	72,1	4,19	1,69	2,08	2,95	2,90
36	Топаз	90	105	12	8	834	24,4	314	12,3	72,4	4,04	1,72	2,08	3,03	0,56
37	к-10257	108	106	5	12	1192	21,9	346	11,6	72,5	3,63	1,70	2,05	3,18	1,25
38	Скороспелое 30 (к-9444)	99	142	11	8	1665	22,0	475	12,5	73,5	3,38	1,87	2,07	3,18	2,68
39	МСЛ-23-ф (к-10112)	94	122	4	10	1104	24,3	405	13,4	75,1	3,99	1,95	1,95	3,10	1,01
40	к-255	107	147	6	15	1725	37,2	811	12,9	74,2	3,96	1,84	1,96	2,99	0,94
41	Фетерита ранняя (к-141)	97	167	6	12	875	34,2	510	11,9	72,0	3,70	1,68	2,12	3,64	0,93
42	Maldande B (к-8215)	101	157	8	13	1025	36,3	538	11,2	74,1	3,93	1,35	2,06	3,64	3,10
43	Grain sorghum (к-1701)	115	148	0	13	2006	19,8	499	11,8	73,2	3,49	1,60	2,10	3,37	0,35
44	к-3025	114	130	4	13	1096	34,2	643	10,9	76,2	3,81	1,54	2,03	3,64	1,10
45	Smemponnong SAD (к-4281)	110	117	6	14	1337	26,2	467	11,4	74,1	4,12	1,60	2,10	3,32	2,26
46	B line Combine Sorgrain	110	108	6	14	1593	17,1	410	11,4	74,1	4,07	1,66	2,10	3,67	4,35
47	line CPI 62230 IS84 (к-7681)	116	106	0	17	475	31,1	224	12,6	75,3	4,13	1,67	2,01	2,92	1,27
48	Martin Milo B (к-10773)	109	96	7	12	1288	25,9	424	12,7	71,5	4,07	1,70	2,13	3,02	2,33
49	Пионер 878 /Геническое бурое 129 (к-10897)	109	110	10	13	1661	25,8	520	13,4	70,7	3,39	1,61	2,14	2,87	0,23

Продолжение приложения 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
50	О.О. Yellow Sooner Milo-2501 (к-10901)	104	101	6	13	1419	31,2	638	13,0	71,9	4,14	1,68	2,09	2,86	2,43
51	Kadeiba-3732 (к-10902)	103	113	3	11	1725	27,6	653	12,4	72,4	3,95	1,65	2,08	2,91	0,69
52	Пионер 412/Миловское 6 (к-10905)	96	92	9	8	903	25,2	310	13,2	71,2	4,27	1,61	2,12	2,89	0,50
53	Пионер 88/412№26 (к-10906)	100	94	3	9	1196	30,5	497	12,5	71,7	3,93	1,62	2,14	2,97	0,30
54	Майло 168/Combeine 7078 (к-10920)	98	107	9	10	1392	23,7	467	11,1	73,7	3,55	1,55	2,05	3,39	1,12
55	Пионер 88 41/ S51-63-09 (к-10923)	99	103	8	12	1208	23,5	373	12,2	72,5	3,93	1,64	2,12	3,00	3,45
56	Троистое (к-10957)	99	107	16	10	1076	25,0	437	12,2	71,7	4,25	1,64	2,13	3,19	3,72
57	Зерновое 1-14 (к-10961)	98	136	22	10	1164	24,6	446	11,8	73,1	4,51	1,78	2,07	3,07	3,78
58	№7-2/2 (к-10963)	95	102	7	10	1436	23,2	454	11,4	73,5	4,05	1,59	2,07	3,19	0,68
59	НК222/Одноплодное 8-31 (к-10964)	97	133	11	10	1316	26,8	473	12,3	72,0	4,36	1,57	2,13	3,21	0,52
60	Геническое 129-6 /ДН59-8-14 (к-10966)	102	156	14	11	1352	29,7	620	11,8	73,2	4,24	1,66	2,08	3,39	1,55
61	ДН -35ф (к-10974)	105	123	8	12	2066	20,5	564	11,2	72,5	3,91	1,51	2,12	3,69	2,97
62	Миловское 12-1 (к-10976)	106	83	1	11	1103	28,5	430	12,0	71,5	3,58	1,53	2,16	3,23	2,92
63	Миловское 84 (к-10984)	108	79	2	11	1220	27,9	470	12,5	73,8	4,18	1,51	2,01	3,09	4,84
64	№1-13 (к-10989)	102	92	3	9	1267	24,1	418	11,0	74,3	3,70	1,59	2,06	3,41	3,63
65	№2-13 (к-10990)	91	120	10	10	1149	22,3	372	12,6	70,4	4,25	1,65	2,02	3,10	5,05
66	№8-13 (к-10993)	103	131	12	11	1290	25,7	446	12,7	71,8	3,88	1,68	2,13	2,95	2,92
67	№13-13 (к-10996)	103	121	12	10	1297	25,8	470	12,8	73,5	4,28	1,54	2,01	3,07	2,96
68	№36-13 (к-11001)	100	117	11	11	1497	25,9	499	11,3	72,2	3,35	1,49	2,17	3,54	3,00
69	№50-13 (к-11006)	104	111	8	11	1564	26,7	496	12,0	72,3	3,68	1,59	2,11	3,11	1,10
70	№53-13 (к-11007)	98	127	5	13	1125	34,7	547	12,3	72,8	4,08	1,68	2,07	2,95	1,87

Продолжение приложения 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
71	№61-13 (к-11010)	101	111	6	12	944	40,7	603	12,6	71,3	3,75	1,72	2,04	2,76	0,32
72	№93-23-13 (к-11012)	102	95	3	12	1477	30,8	651	12,0	71,8	3,25	1,55	2,12	3,20	0,81
73	№26-14 (к-11044)	103	103	5	12	1148	31,8	531	13,6	72,2	3,98	1,81	2,02	2,69	2,71
74	Кафрское белое (к-127)	102	139	2	11	1333	26,4	483	12,6	72,0	4,39	1,68	2,09	3,06	0,56
75	Spur Feterita (к-288)	102	142	9	12	1121	41,2	618	11,9	72,7	3,78	1,56	2,08	3,00	0,41
76	Хегари (к-469)	106	132	4	11	1878	26,6	631	11,3	72,7	3,66	1,59	2,06	3,25	0,49
77	Dwarf Freed C.J. №971	104	130	10	14	1409	27,3	505	12,8	71,9	4,17	1,75	2,08	2,87	0,68
78	Blackhull Kaffir (к-1218)	113	146	11	13	2178	18,9	520	11,4	71,5	3,97	1,53	2,17	3,41	0,52
79	КУ-1 (к-9318)	115	92	1	13	1104	29,7	420	11,1	75,1	4,00	1,64	2,02	3,25	0,82
80	КС-2 раннее (к-8900)	97	103	9	11	1467	26,3	469	12,4	72,5	3,95	1,76	2,11	3,14	3,76
81	КС-3 карликовое раннее (к-8901)	101	104	11	10	1509	22,8	461	12,4	72,2	3,91	1,64	2,13	3,20	2,62
82	КУ-3 (к-9320)	93	94	19	9	771	27,1	295	12,1	73,2	4,13	1,70	2,08	3,31	0,90
83	КУ-29 Майло низкое (к-9377)	108	105	5	12	1423	29,1	526	11,4	74,4	3,75	1,70	2,01	3,38	2,59
84	Китайское 1	101	95	4	9	2421	23,8	706	12,8	73,2	4,23	1,65	2,07	3,18	0,42
85	Китайское 3	106	100	7	14	2272	24,4	661	12,6	71,4	3,73	1,56	2,15	3,23	0,34
86	Китайское 4	106	99	7	10	1958	27,4	710	11,2	73,3	3,81	1,52	2,09	3,62	0,68
87	Китайское 5	109	98	1	10	1667	35,1	750	12,5	72,2	3,82	1,63	2,13	3,20	1,34
88	Китайское 6	111	102	5	14	2055	26,1	674	12,5	71,5	4,10	1,56	2,11	3,16	0,33
89	Китайское 7	113	117	6	14	2655	22,5	801	10,9	74,7	3,34	1,53	2,07	3,68	0,82
90	Китайское 8	113	126	8	14	2575	18,9	649	11,4	73,6	4,12	1,60	2,03	3,62	0,73
91	Китайское 9	105	107	11	13	2122	26,2	706	10,9	72,9	3,57	1,39	2,10	3,35	3,09

Продолжение приложения 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
92	Китайское 10	104	105	9	11	1842	26,4	597	11,4	72,8	3,82	1,49	2,08	3,26	3,94
93	Китайское 11	108	77	1	13	1053	19,2	280	12,1	73,2	4,42	1,69	2,06	2,90	5,15
94	Геническое 9 (к-9266)	100	114	3	10	1296	29,1	494	10,6	75,2	4,27	1,67	2,05	3,56	5,30
95	Геническое 130 (к-10912)	98	108	7	11	1573	23,4	488	10,5	74,1	3,88	1,55	2,04	3,62	1,54
96	Геническое 130 №42 (к-10913)	101	147	6	11	1653	23,3	527	10,3	74,5	4,07	1,57	2,02	3,61	1,39
97	Геническое 144 (к-10914)	97	127	18	11	1166	24,7	393	11,7	73,3	4,41	1,76	2,04	3,10	4,71
98	Геническое 209 (к-10915)	103	122	4	11	2007	21,0	590	10,7	73,3	4,46	1,64	2,07	3,54	6,07
99	Геническое 11 улучшенное	98	106	4	12	1304	24,1	430	11,6	73,3	4,50	1,66	2,03	2,95	1,19
100	Одесское 20ф (к-10924)	102	120	7	12	1879	26,7	652	10,9	72,6	3,82	1,52	2,12	3,45	3,07
101	к-9268	100	100	7	10	2204	21,4	574	10,5	74,6	4,40	1,69	2,02	3,27	0,99
102	Майло карликовое 351 (к-9365)	100	103	16	9	1331	27,2	507	11,1	73,8	4,19	1,65	2,04	3,30	1,77
103	Майло карликовое 361 (к-9369)	101	87	4	13	1948	23,7	532	11,2	73,0	4,20	1,58	2,09	3,54	2,23
104	МСЛ-7-ф (к-9511)	109	95	1	12	1849	23,4	588	11,4	73,1	4,23	1,64	2,07	3,23	3,11
105	С кафрское (к-5444)	112	92	10	10	1405	28,1	555	11,4	73,2	3,84	1,63	2,09	3,39	2,70
106	CS-175 (к-7555)	94	93	14	9	1320	25,1	416	11,3	73,1	4,12	1,60	2,10	3,50	3,89
107	Line E x F3 IS12609 (к-7606)	107	92	6	12	1487	28,4	533	11,4	73,4	3,93	1,59	2,08	3,27	3,27
108	к-9021	101	104	1	11	1690	21,5	461	11,9	72,2	3,81	1,58	2,13	3,21	0,94
109	к-9050	92	112	13	9	1216	30,7	602	11,9	72,5	3,91	1,59	2,11	3,42	3,02
110	М-60887 (к-9001)	98	112	2	10	1927	23,6	550	11,7	72,6	3,64	1,52	2,12	3,39	0,99
111	к-9886	106	102	1	11	2299	20,3	585	11,6	73,4	3,71	1,58	2,06	3,31	0,61
112	С-168 (к-10158)	111	108	6	10	1630	26,3	549	11,5	72,4	3,64	1,52	2,13	3,51	0,56

Продолжение приложения 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
113	к-10338	109	98	2	12	1153	29,6	451	12,6	72,3	3,72	1,72	2,13	3,15	0,71
114	Pink Kaffir (к-267)	115	129	8	14	2030	33,1	813	10,8	74,1	3,57	1,50	2,02	3,42	2,02
115	Redhull Feterita (к-266)	104	130	3	12	1216	42,4	652	12,3	72,1	3,75	1,64	2,05	3,03	1,22
116	В-10434 (к-8280)	121	105	3	12	2692	25,3	825	11,3	73,5	3,65	1,56	2,06	3,50	2,07
117	Сорго 439 (к-8407)	104	92	4	11	1600	23,5	571	12,0	72,5	3,98	1,57	2,12	3,06	4,76
118	11-34-СВ-В (к-8477)	112	77	4	13	1456	18,7	382	11,9	72,2	4,02	1,60	2,12	3,35	1,99
119	ТАМ 2694 В-В (к-8646)	113	108	6	12	1480	32,5	603	11,7	73,3	3,34	1,57	2,06	3,21	0,63
120	2477с В-В (к-8803)	109	99	13	14	1737	35,4	802	11,7	73,7	4,07	1,70	2,03	3,14	2,85
121	ТАМ 2672 В-В (к-8622)	114	103	3	12	1324	30,7	508	11,7	73,7	3,49	1,76	2,03	3,22	1,35
122	ТАМ 2707 1-В (к-8654)	116	111	3	12	1645	25,0	446	11,0	74,4	3,64	1,67	2,00	3,43	0,58
123	В2 ТАМ 2753 (к-10063)	111	132	12	12	1742	14,9	406	11,7	73,2	3,46	1,66	2,05	3,11	1,12
124	F ₁₆ ВС1 Хегари 2259 × К-924	109	105	7	13	2459	27,5	795	10,5	74,8	3,37	1,64	2,00	3,47	0,94
125	Низкорослое 93 / Гранд	99	97	9	11	1722	33,0	646	11,6	72,6	3,21	1,56	2,09	3,22	1,56
126	№8 отбор	101	99	4	11	1271	33,6	571	11,4	73,0	3,29	1,66	2,08	3,24	3,07
127	D.D. Shallu 4E (к-6111)	116	103	1	11	1529	27,2	466	11,3	73,6	3,48	1,58	2,07	3,34	0,74
128	Сорго Уньчисусу (к-9553)	102	107	2	10	1330	22,5	416	12,2	72,5	4,21	1,87	2,06	3,20	5,09
129	S bicolor IS2341SPV (к-10044)	99	118	8	11	1672	24,5	518	11,1	72,7	3,70	1,61	2,11	3,31	5,00
130	к-10108	104	104	7	10	1254	24,9	408	11,8	71,8	2,94	1,62	2,14	3,25	1,13
131	Pop Sorghum (к-3045)	111	131	7	11	1737	21,5	488	11,9	71,1	3,43	1,53	2,18	3,29	0,79
132	Earli Hegari (к-6914)	106	122	6	11	1547	23,1	496	10,5	73,2	3,28	1,59	2,08	3,43	1,21
133	Хазине 20 (к-9261)	106	107	8	12	1530	24,5	541	11,6	73,3	3,84	1,68	2,06	3,20	1,53

Продолжение приложения 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
134	Кубанское 126/01 (к-9344)	93	114	13	10	1500	21,1	400	11,4	72,2	3,62	1,69	2,12	3,41	5,08
135	Кубанское 198/М-1 (к-9345)	107	105	7	11	1182	26,2	468	12,1	72,1	3,64	1,64	2,11	3,14	3,43
136	Кубанское красное 1677 (к-10812)	100	127	7	10	1638	25,6	553	11,8	71,8	3,74	1,55	2,16	3,40	3,32
137	Урожайное 8	103	130	8	11	1620	23,9	628	11,8	71,9	3,28	1,62	2,13	3,18	3,58
138	В-2219 (к-10769)	117	125	6	13	1297	27,6	454	11,5	73,2	2,96	1,52	2,08	3,13	0,59
139	RSG-3-2-2000 F13 BC2 Хегари 2259*к-1362	102	127	5	12	1587	23,2	465	11,8	73,9	3,83	1,70	2,01	3,23	0,62
140	Джугара (к-1795)	102	130	7	10	1465	32,0	603	12,0	73,1	3,75	1,65	2,07	3,07	0,35
141	Н.С. 21 (к-9591)	97	119	13	9	1502	24,5	475	11,4	73,1	3,82	1,61	2,12	3,62	0,66
142	Сандал - суданка зерновая	85	127	24	7	841	25,8	365	12,5	71,7	3,71	1,64	2,13	3,16	3,33
143	Пионер 88/Фетерита ранняя 141	86	132	23	8	589	24,6	224	14,2	70,7	4,49	2,01	2,07	2,66	0,65
144	Урус-Джугара (к-658)	100	120	11	10	1265	25,7	443	11,7	72,9	3,76	1,59	2,12	3,37	0,50
145	КХ №5 (к-10877)	108	97	7	11	1439	28,5	503	11,8	72,1	3,92	1,53	2,13	3,22	0,37
146	КХ №6 (к-10878)	115	98	5	12	2167	21,2	570	11,5	72,6	3,95	1,49	2,10	3,47	0,68
147	КХ №7 (к-10879)	107	109	5	14	1739	27,4	596	12,2	72,2	3,56	1,69	2,11	3,47	0,32
148	КХ №8 (к-10880)	110	134	14	13	2511	21,7	646	12,5	72,2	3,78	1,72	2,09	3,32	0,43
149	КХ №9 (к-10881)	105	106	13	13	1410	26,5	532	12,5	71,2	3,91	1,57	2,13	3,01	3,03
150	КХ №10 (к-10882)	102	101	6	12	1696	23,3	562	12,2	71,9	4,39	1,54	2,10	3,15	3,02
151	КХ №11 (к-10883)	111	79	0	14	1876	21,0	493	11,6	73,7	4,63	1,78	2,05	3,38	4,50
152	КХ №12 (к-10884)	101	98	9	11	1703	25,6	567	11,9	72,1	4,09	1,62	2,12	3,07	3,26

Продолжение приложения 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
153	03-3003	105	111	8	12	1148	28,3	488	11,7	71,9	4,43	1,70	2,13	2,99	4,77
154	03-3005	94	121	6	10	1253	29,1	481	11,8	72,4	3,59	1,53	2,12	3,34	0,56
155	R-583	98	120	9	11	1271	29,0	500	11,2	73,4	3,73	1,53	2,09	3,51	2,57
156	06-2063	97	125	11	10	1108	25,4	390	11,8	72,8	4,12	1,62	2,09	3,26	3,80
157	06-2177	98	124	7	10	1526	24,4	487	10,9	73,9	3,86	1,60	2,03	3,59	5,57
158	32177	99	136	10	10	1362	30,4	544	11,5	72,7	3,62	1,65	2,08	3,43	5,06
159	V4B	114	110	3	13	1657	28,0	582	11,3	71,5	2,97	1,49	2,20	3,19	3,69
160	06.VI.12.RK	106	123	1	12	1368	28,2	479	11,9	71,6	4,39	1,83	2,12	3,26	5,40
161	06.VI.12.RB	105	107	1	12	2058	25,2	628	11,1	73,2	4,12	1,62	2,07	3,15	1,76
162	06.VI.18 R	109	125	1	12	1587	27,7	542	11,2	73,4	4,01	1,66	2,06	3,05	1,24
163	06.VI.25 R	110	119	0	13	1919	26,0	599	11,0	72,0	3,72	1,61	2,15	3,65	4,33
164	06-2196	105	78	0	11	1514	29,2	502	11,4	72,9	3,84	1,67	2,06	3,04	4,86
165	06-2199	103	81	0	11	2306	22,8	633	11,4	71,9	4,00	1,48	2,16	3,53	1,59
166	06-2199K	105	101	2	11	1267	30,5	585	11,9	71,1	4,06	1,57	2,19	3,26	4,52
167	06-2029	97	121	8	10	1357	28,4	518	11,3	72,9	4,06	1,52	2,11	3,39	2,71
168	NK-4004	97	111	4	10	1539	21,1	417	11,4	74,0	4,08	1,72	2,04	3,27	1,01
169	Редлайн 66	104	108	6	12	1029	35,4	469	13,9	70,4	4,12	1,78	2,15	2,87	3,49
170	Sb-121/5	97	106	7	10	1791	25,4	571	12,8	72,1	4,84	1,69	2,10	3,04	1,27
171	F-5096	98	89	8	8	1094	28,3	406	12,7	71,1	3,86	1,64	2,18	3,35	4,36
172	Зерноградское 89	98	98	11	10	1296	28,0	478	11,8	73,9	4,49	1,61	2,02	3,36	0,97
173	Казачок	100	112	6	12	1493	26,4	470	11,6	73,3	4,03	1,60	2,06	3,32	0,75

Продолжение приложения 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
174	ЛБК 28	98	100	8	9	1386	26,7	519	11,5	73,4	4,34	1,55	2,05	3,47	0,68
175	V-169	97	120	9	10	1467	29,4	561	11,2	73,5	3,62	1,53	2,08	3,63	2,96
176	Орловское 2	98	113	8	9	1157	27,2	401	12,8	71,7	4,31	1,66	2,11	3,13	2,98
177	Белозёрное 53	100	110	8	10	1418	27,1	583	11,3	73,4	4,12	1,53	2,08	3,58	0,63
178	и.о. Жемчуг №56	102	108	4	10	1189	30,6	515	11,3	73,3	3,92	1,51	2,06	3,49	0,42
179	Л-59	93	114	5	9	1122	27,5	415	13,1	71,4	3,96	1,61	2,10	2,83	0,59
180	Зерноградское 54	95	118	9	10	1306	24,2	495	11,8	72,8	4,16	1,61	2,12	3,15	1,09
181	Круп 23	96	109	7	10	1078	28,6	412	11,1	73,2	4,02	1,50	2,10	3,44	2,28
182	Л-73	101	104	10	7	1050	24,0	303	11,3	72,6	4,69	1,68	2,10	3,14	2,56
183	ЗСК 1904/16	103	154	5	10	1903	20,2	570	14,0	70,8	4,93	1,68	2,11	2,57	2,87
184	ЗСК 889/16	94	120	9	10	1211	29,3	494	11,9	72,7	3,98	1,56	2,08	3,20	0,34
185	ЗСК 1910/16	101	106	7	12	1257	31,6	518	14,6	69,4	4,73	1,71	2,13	2,69	2,49
186	ЗСК 931/15	97	96	10	8	1949	21,4	495	13,4	69,7	4,36	1,69	2,11	2,98	2,69
187	ЗСК 1908/16	100	129	10	14	2155	21,3	588	10,8	75,0	3,68	1,54	2,04	3,68	1,93
188	ЗСК 1912/16	100	100	8	10	1501	25,1	498	14,3	69,6	4,39	1,52	2,12	2,54	0,81
189	ЗСК 1554/16	100	99	10	8	1279	25,6	569	11,5	72,3	3,92	1,50	2,09	3,25	0,45
190	ЗСК 15872/16	99	104	5	11	1686	26,9	500	12,3	71,1	4,20	1,53	2,11	3,01	0,26
191	31067	97	113	10	10	1950	24,3	558	12,1	72,1	4,00	1,59	2,16	3,28	0,71
192	Д. 1176/10	97	88	14	9	966	26,4	338	11,3	72,3	3,85	1,56	2,15	3,48	3,28
193	Снежок 55	98	129	7	10	1543	29,8	561	11,4	72,9	3,71	1,59	2,11	3,38	1,38
194	Н-16	94	117	9	9	1323	29,2	505	11,7	72,9	4,08	1,54	2,10	3,23	2,70

Продолжение приложения 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
195	Лазурит	98	118	9	10	1529	25,5	487	11,2	71,9	3,46	1,45	2,17	3,29	0,58
196	Персис 55	102	126	19	10	1577	29,1	569	12,4	71,0	3,57	1,47	2,17	3,07	4,39
197	ЗСК-233	98	114	3	10	1125	28,0	393	11,1	73,6	4,12	1,52	2,08	3,35	1,62
198	Крупнозёрное	95	86	2	9	704	33,8	401	11,4	72,1	3,45	1,53	2,14	3,21	0,96
199	Светлое 13	94	64	3	8	1363	21,5	384	10,7	73,8	4,15	1,57	2,07	3,38	0,53
200	05-0051R	101	116	8	10	1588	32,5	679	12,7	70,3	4,30	1,68	2,10	2,93	0,54
201	НК-90	90	117	7	9	901	29,7	361	12,0	72,6	3,83	1,61	2,09	3,15	0,79
202	Д. 1216/16	87	117	10	8	604	36,6	363	12,6	71,5	4,57	1,75	2,11	3,10	2,41
203	Д. 644/16	100	127	13	10	1268	30,9	508	14,5	69,4	4,16	1,81	2,16	2,59	3,69
204	у-208	97	114	16	10	1419	27,1	487	11,4	72,9	3,83	1,51	2,12	3,47	3,04
205	Аврора	100	117	10	9	1418	24,7	417	10,8	73,9	3,83	1,48	2,06	3,61	0,81
206	Зерноградское 215	101	103	2	10	1541	21,4	405	11,1	73,5	3,96	1,57	2,08	3,68	0,97
207	Краснозёрное 79	104	99	3	11	2047	22,1	610	12,0	73,0	4,11	1,63	2,10	3,25	5,49
208	Зерноградское 204/4	94	111	9	10	1048	28,8	509	11,7	71,8	4,02	1,47	2,10	3,15	0,17
209	Лазурит 601/16	97	121	11	9	1024	26,7	370	12,2	71,2	3,77	1,64	2,12	2,93	0,92
210	Великан	95	144	12	10	1709	24,5	538	12,2	72,1	4,12	1,57	1,99	2,79	0,37
211	Атаман	94	128	10	9	1604	28,1	580	11,3	73,8	3,49	1,54	2,01	3,26	0,12
212	Лучистое	94	119	6	10	1354	26,3	494	10,7	74,1	3,71	1,58	1,93	3,35	1,90
213	Хазине 28	96	118	12	10	1194	24,6	389	11,2	72,8	3,74	1,50	2,00	3,03	1,04
214	Орловское	88	113	12	7	1183	19,4	307	11,2	73,3	3,83	1,56	2,02	3,16	4,20
215	Aralba	103	107	4	11	1117	28,4	424	11,3	74,5	4,03	1,64	2,03	3,22	1,31

Продолжение приложения 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
216	Arena	101	118	6	11	1699	23,8	458	11,6	73,5	3,55	1,52	2,07	3,37	1,65
217	Argence	104	96	12	11	1362	22,0	394	11,0	74,9	4,23	1,55	2,05	3,43	1,24
218	31063	100	111	7	10	1429	24,1	619	10,3	74,5	3,92	1,51	2,09	3,67	1,85
219	R-116	112	117	0	13	1354	25,2	430	11,2	75,3	4,22	1,68	2,08	3,45	4,60
220	05-2002	110	98	3	13	1694	22,5	469	11,9	72,5	4,14	1,60	2,11	3,15	4,94
221	06-2031	110	123	3	14	2471	21,2	627	9,1	75,4	4,12	1,59	2,04	3,68	5,11
\bar{X}		101	112	8	11	1403	26,6	488	11,9	72,7	3,94	1,63	2,08	3,22	2,12
S		8	16	5	2	441	4,4	123	0,8	1,1	0,34	0,10	0,05	0,24	1,59

Корреляционная матрица основных хозяйственно-ценных признаков сорго зернового, 2008-2010 гг.

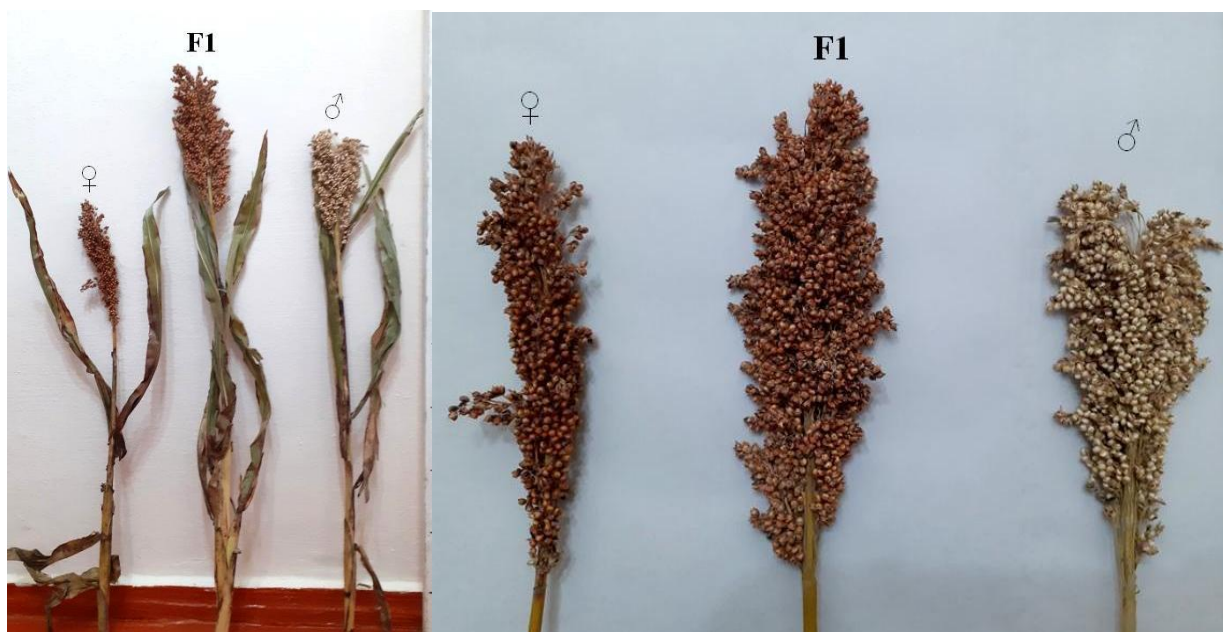
Признак	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	-0,15	-0,03	0,27	-0,19	-0,07	-0,15	-0,08	0,13	-0,36	-0,13	0,02	0,02	0,13	0,86
2		0,41	-0,05	0,80	0,22	0,44	0,10	-0,14	0,12	-0,45	0,03	-0,19	-0,17	-0,25
3			0,28	0,49	0,38	0,33	0,11	-0,05	0,12	-0,19	-0,01	-0,18	-0,24	-0,14
4				-0,16	0,02	0,10	-0,14	0,04	-0,08	-0,07	0,00	-0,02	-0,07	0,25
5					0,27	0,36	0,11	-0,10	0,18	-0,40	0,02	-0,19	-0,18	-0,31
6						-0,08	0,37	-0,11	0,12	-0,15	-0,16	-0,07	-0,07	-0,09
7							0,25	-0,13	0,19	-0,19	0,17	-0,21	-0,22	-0,24
8								-0,21	0,10	0,04	-0,14	0,00	0,04	-0,07
9									-0,58	0,27	0,27	0,04	-0,05	0,11
10										-0,37	-0,21	-0,10	-0,04	-0,37
11											0,05	0,09	0,03	-0,02
12												0,08	-0,02	0,02
13													0,10	0,00
14														0,15

1 – окраска зерновки; 2 – период вегетации «всходы – полная спелость»; 3 – высота растения; 4 – выдвинутость ножки; 5 – количество листьев; 6 – количество зёрен в метёлке; 7 – масса 1000 зёрен; 8 – урожайность зерна; 9 – содержание сырого белка; 10 – содержание крахмала; 11 – содержание сырого жира; 12 – содержание сырой золы; 13 – содержание сырой клетчатки; 14 – содержание лизина в белке; 15 – содержание танинов. *p < 0,05

Корреляционная матрица основных хозяйственно-ценных признаков сорго зернового, 2016-2020 гг.

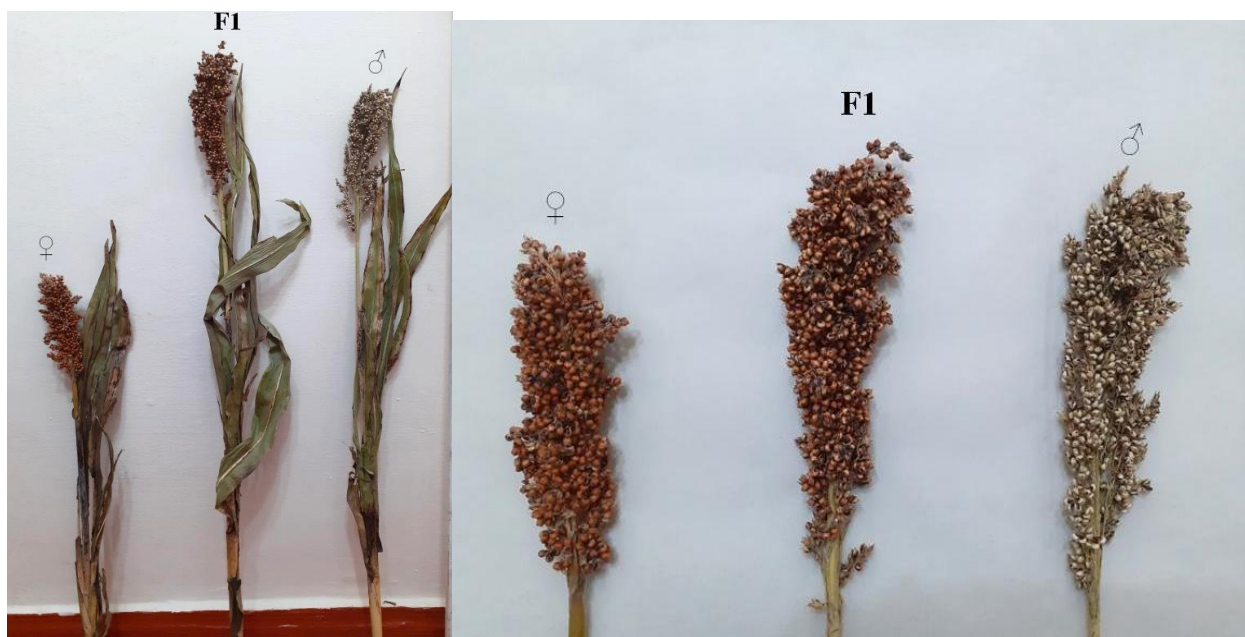
Признак	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	-0,03	-0,10	0,01	-0,02	-0,14	-0,08	-0,18	-0,06	0,00	0,15	0,24	0,00	0,04	0,84
2		0,03	-0,55	0,82	0,62	-0,12	0,58	-0,25	0,24	-0,28	-0,26	0,03	0,24	-0,08
3			0,21	0,15	0,10	0,09	0,20	0,00	0,01	-0,11	0,00	-0,04	0,05	-0,14
4				-0,49	-0,34	0,00	-0,32	0,22	-0,24	0,12	0,13	0,08	-0,15	0,05
5					0,55	-0,02	0,56	-0,20	0,24	-0,21	-0,20	-0,02	0,20	-0,04
6						-0,39	0,78	-0,32	0,17	-0,21	-0,35	0,04	0,37	-0,10
7							0,17	0,18	-0,09	-0,07	0,04	0,00	-0,21	-0,15
8								-0,23	0,13	-0,26	-0,36	0,03	0,26	-0,15
9									-0,70	0,30	0,51	0,23	-0,79	-0,06
10										-0,11	-0,13	-0,65	0,56	-0,02
11											0,34	-0,09	-0,28	0,18
12												-0,24	-0,47	0,22
13													-0,01	0,04
14														0,04

1 – окраска зерновки; 2 – период вегетации «всходы – полная спелость»; 3 – высота растения; 4 – выдвинутость ножки; 5 – количество листьев; 6 – количество зёрен в метёлке; 7 – масса 1000 зёрен; 8 – урожайность зерна; 9 – содержание сырого белка; 10 – содержание крахмала; 11 – содержание сырого жира; 12 – содержание сырой золы; 13 – содержание сырой клетчатки; 14 – содержание лизина в белке; 15 – содержание танинов. *p < 0,05

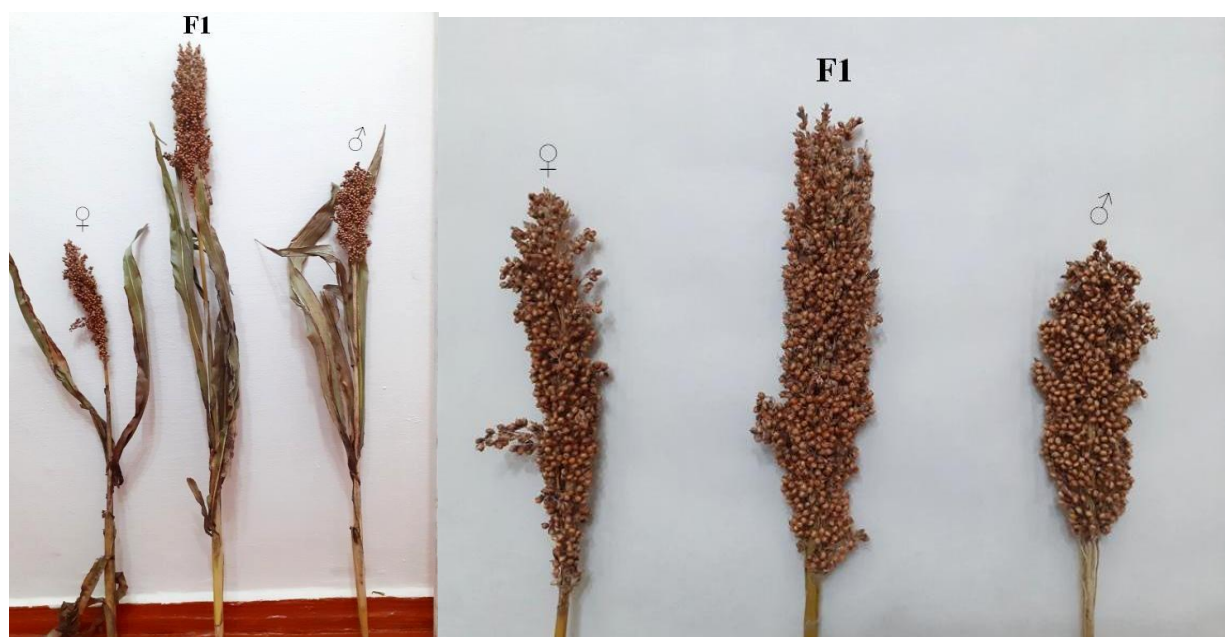
Родительские формы и гибриды F₁ на стерильной основеF₁ Деметра × СПЗС-16 и родительские формыF₁ Джетта × СПЗС-16 и родительские формы



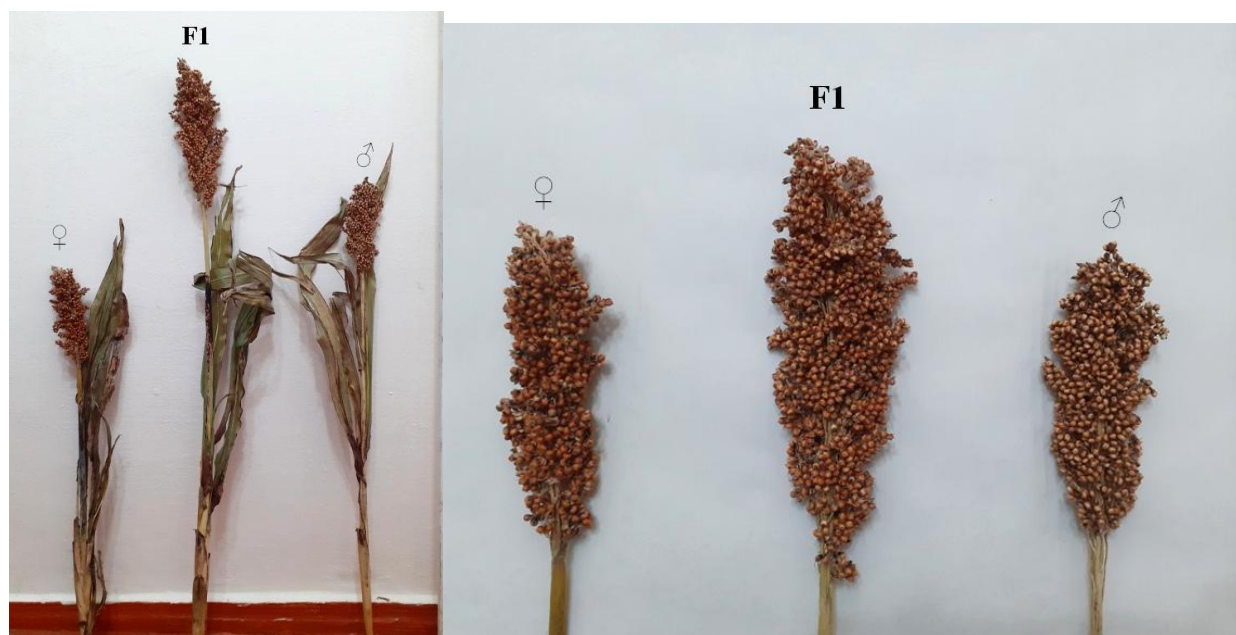
F₁ Деметра × ЗСК 163/17 и родительские формы



F₁ Джетта × ЗСК 163/17 и родительские формы



F₁ Деметра × ЗСК 176/16 и родительские формы



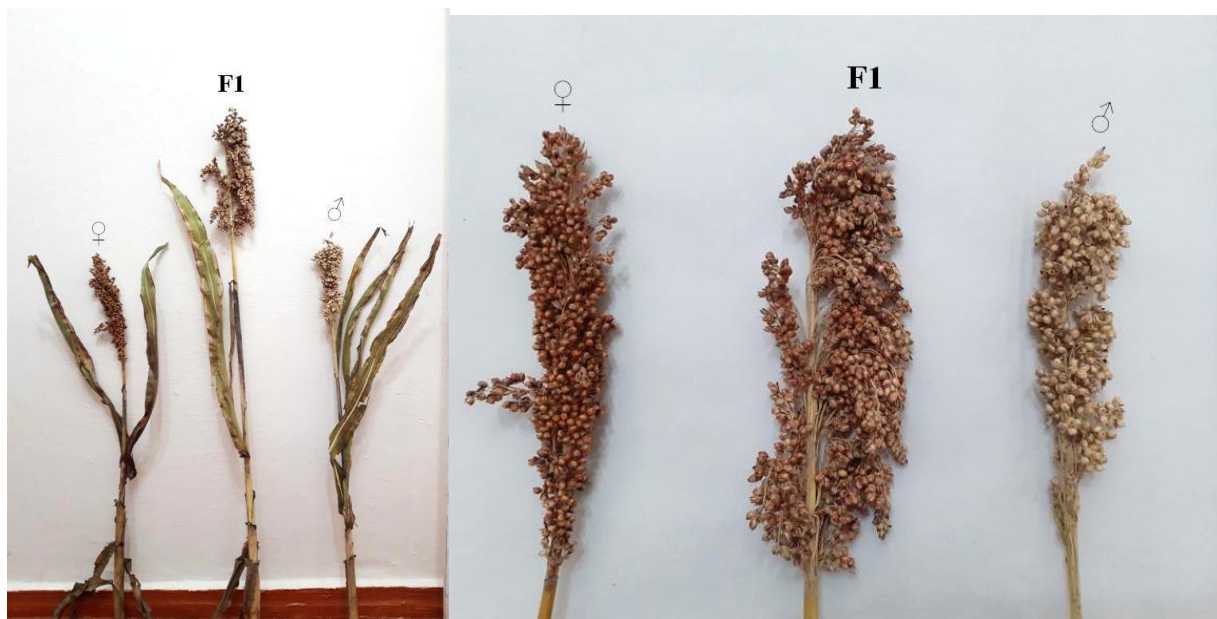
F₁ Джетта × ЗСК 176/16 и родительские формы



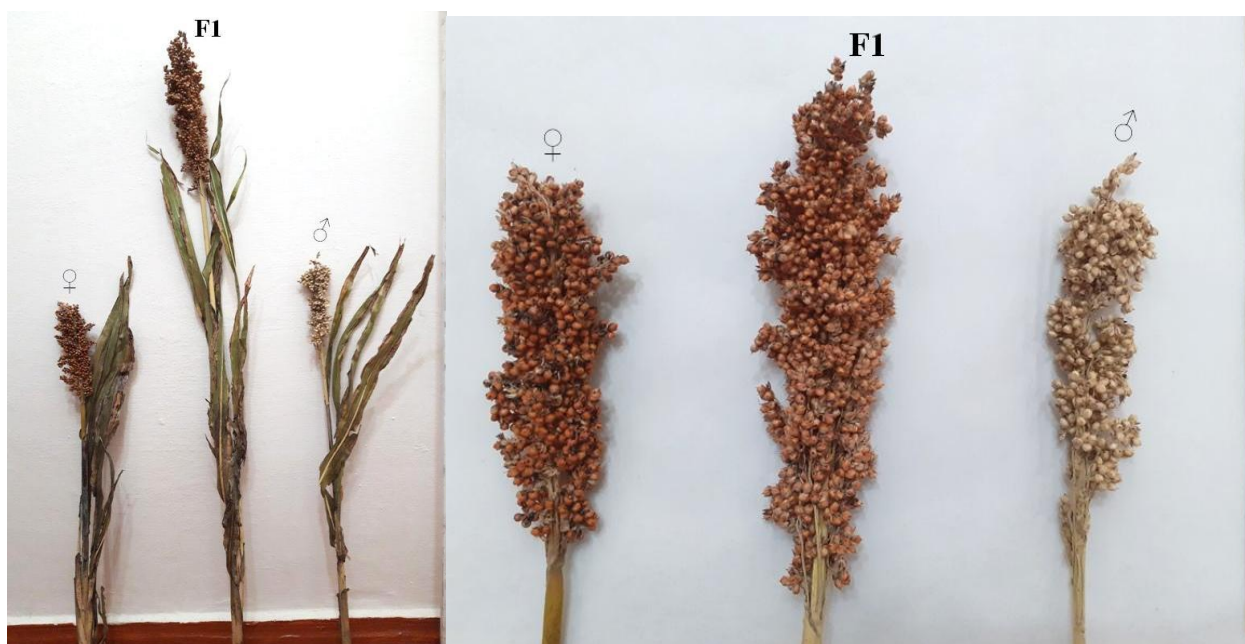
F₁ Деметра × ЗСК 196/17 и родительские формы



F₁ Джетта × ЗСК 196/17 и родительские формы



F₁ Деметра × Крупнозёрное 2230 и родительские формы



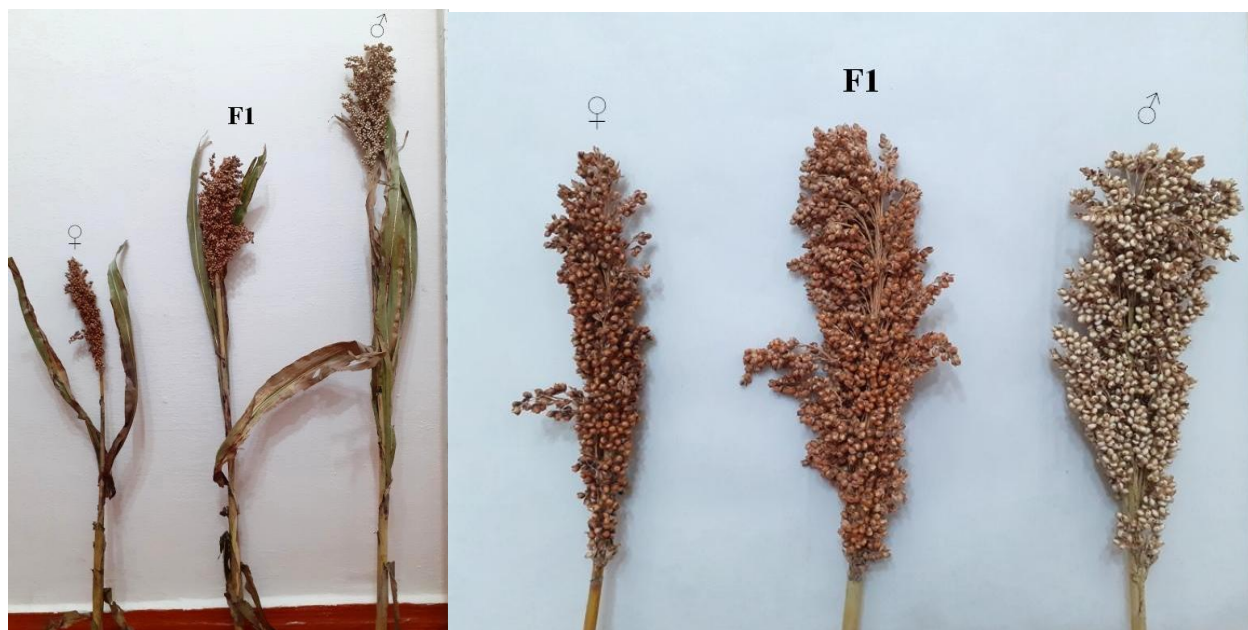
F₁ Джетта × Крупнозёрное 2230 и родительские формы



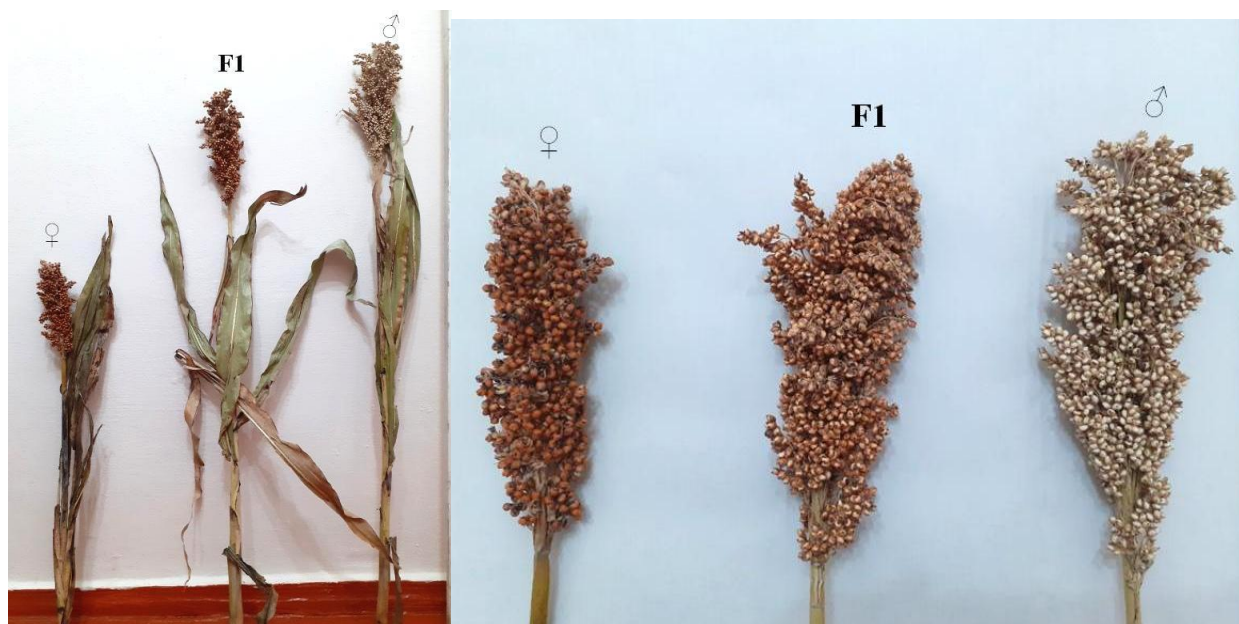
F₁ Деметра × Лазурит 486/17 и родительские формы



F₁ Джетта × Лазурит 486/17 и родительские формы



F₁ Деметра × ЗСК 2262/17 и родительские формы



F₁ Джетта × ЗСК 2262/17 и родительские формы



F₁ Деметра × ЗСК 1568/14 и родительские формы



F₁ Джетта × ЗСК 1568/14 и родительские формы



F₁ Деметра × ЗСК 231/16 и родительские формы



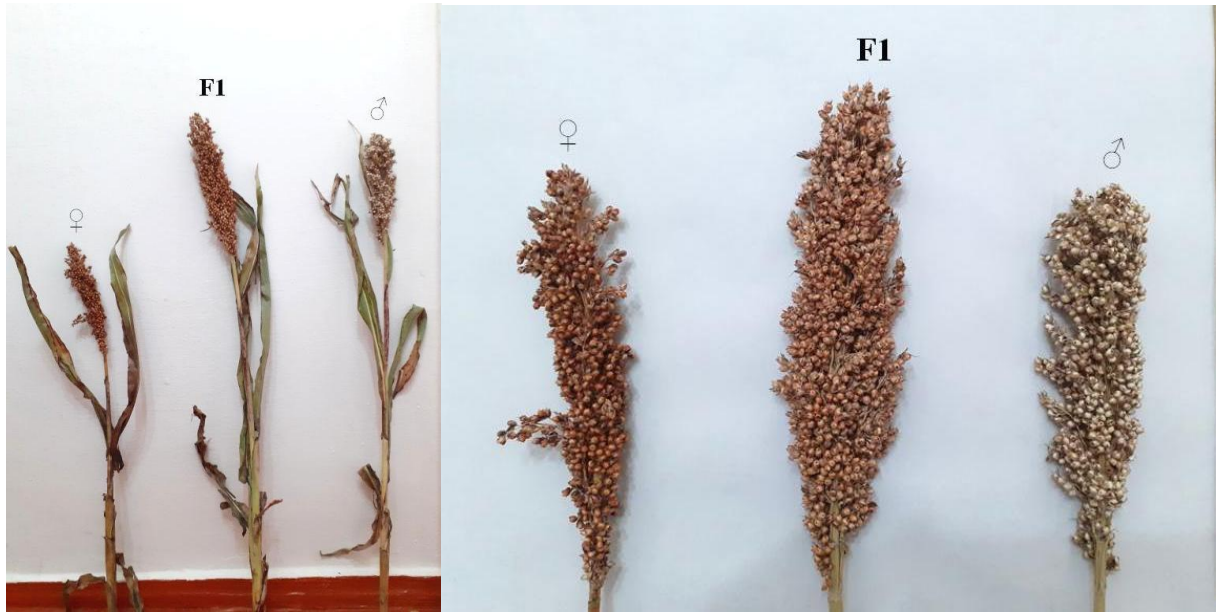
F₁ Джетта × ЗСК 231/16 и родительские формы



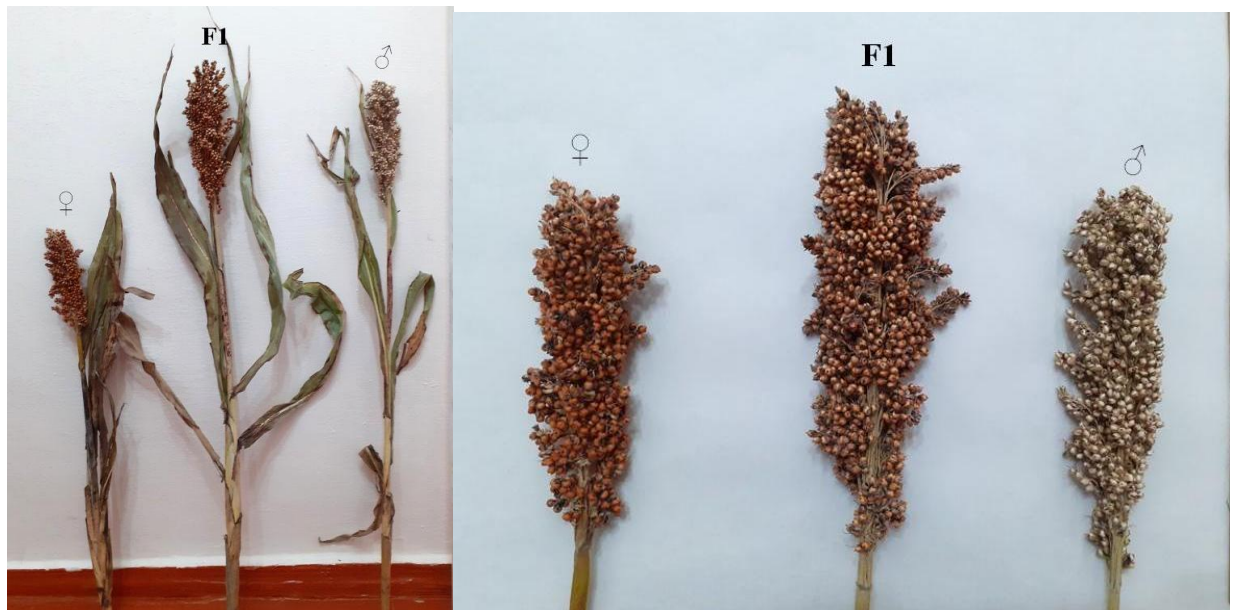
F₁ Деметра × ЗСК 449/17 и родительские формы



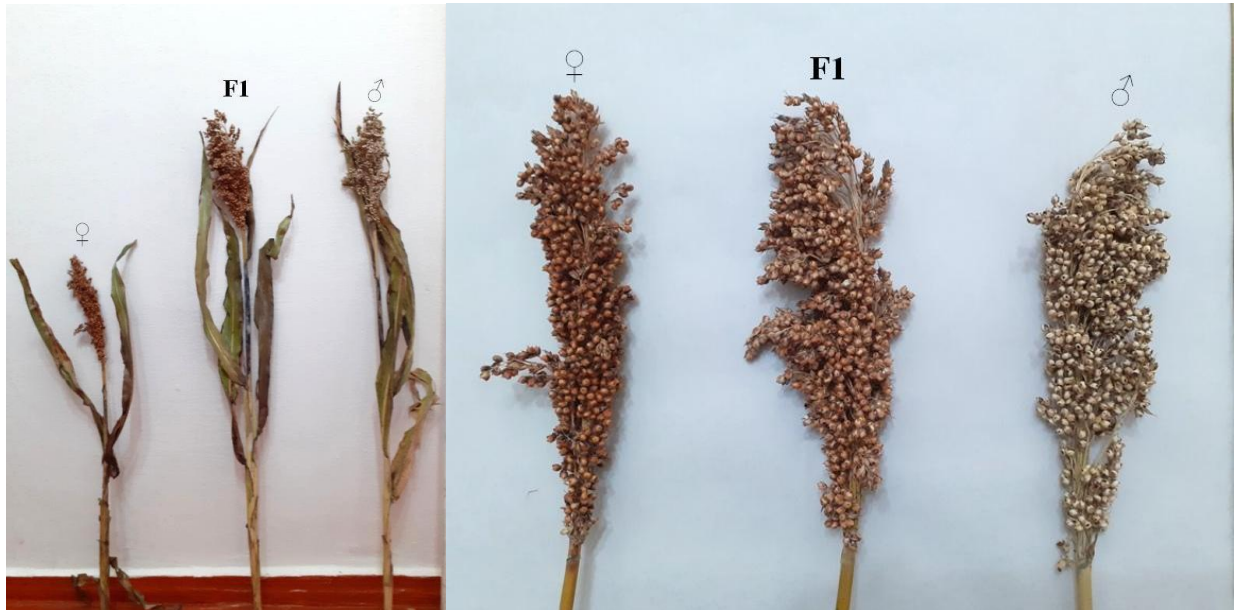
F₁ Джетта × ЗСК 449/17 и родительские формы



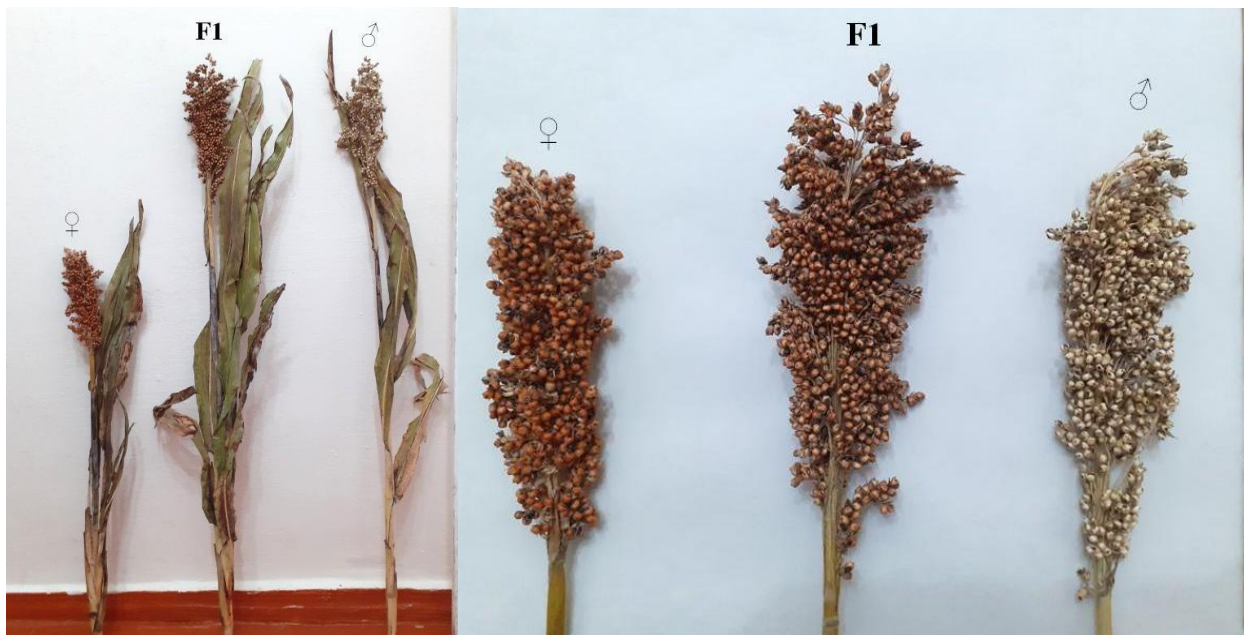
F₁ Деметра × ЗСК 1530/15 и родительские формы



F₁ Джетта × ЗСК 1530/15 и родительские формы



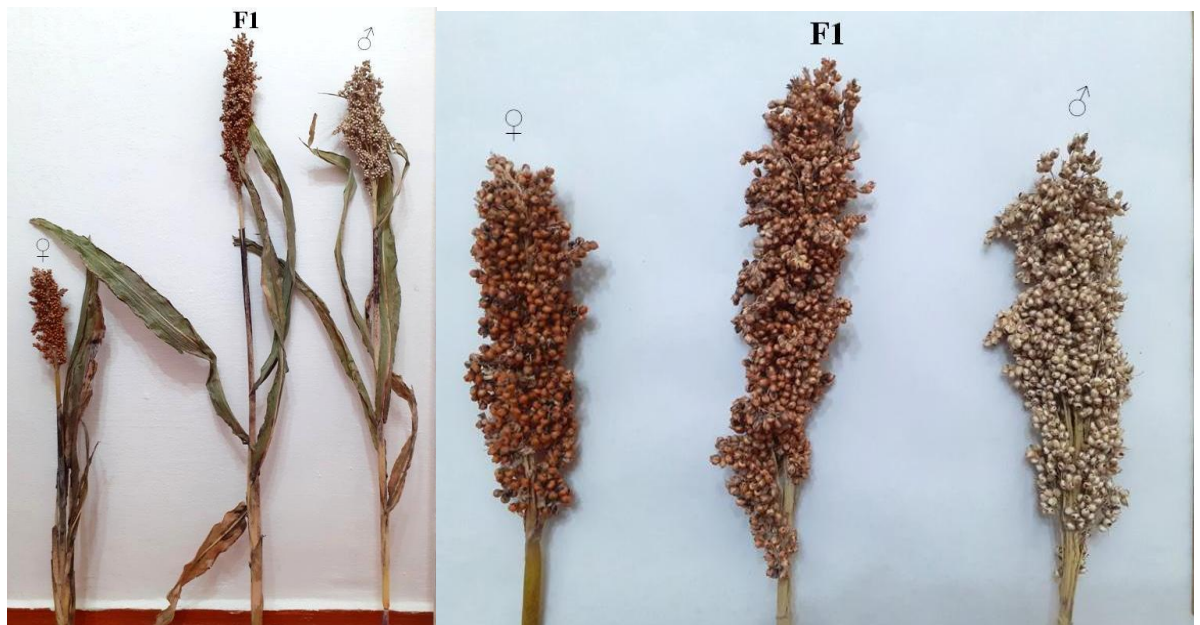
F₁ Деметра × Зерноградское 204/4 и родительские формы



F₁ Джетта × Зерноградское 204/4 и родительские формы



F₁ Деметра × Норд 2 и родительские формы



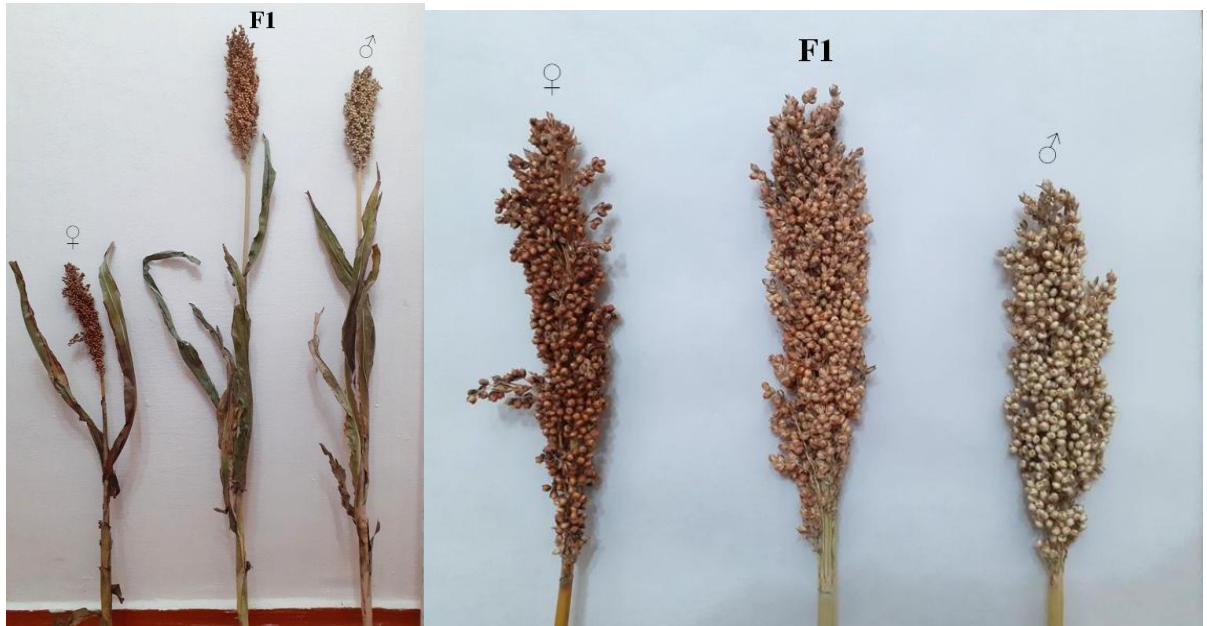
F₁ Джетта × Норд 2 и родительские формы



F₁ Деметра × ЗСК 34 и родительские формы



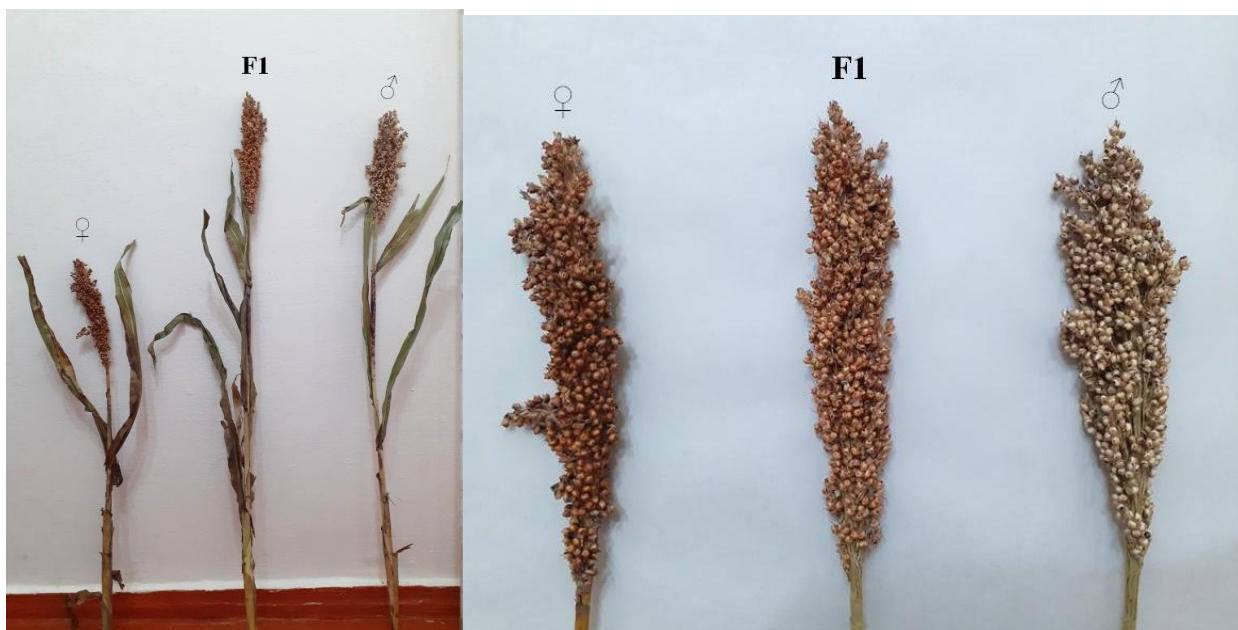
F₁ Джетта × ЗСК 34 и родительские формы



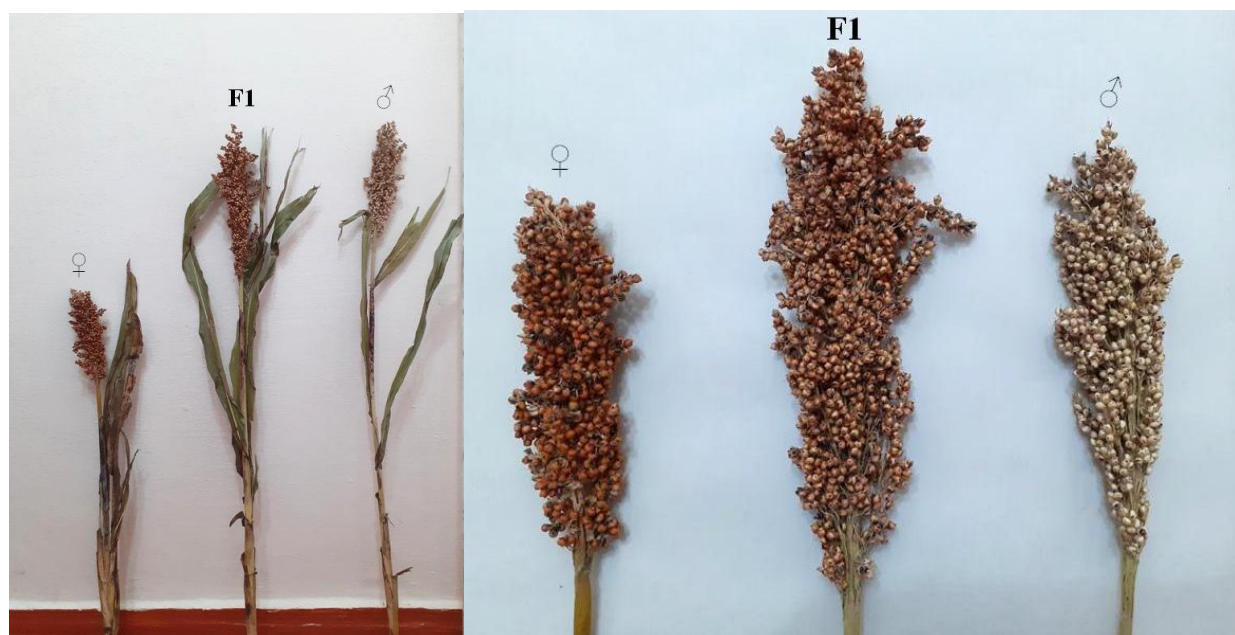
F₁ Деметра × ЗСК 411/16 и родительские формы



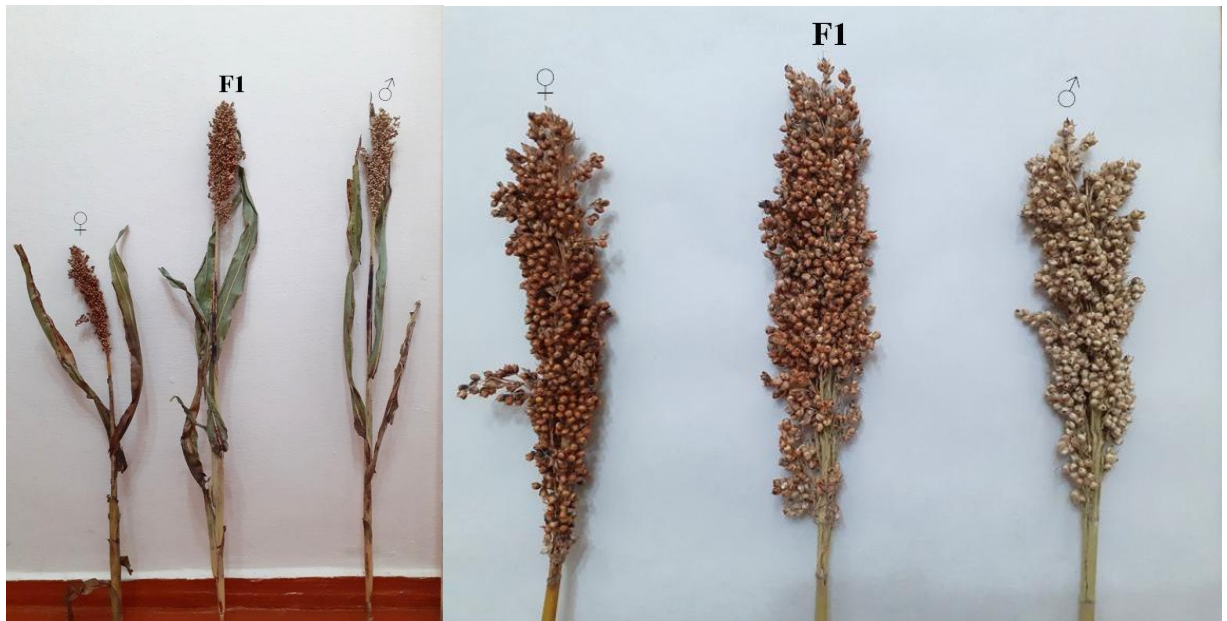
F₁ Джетта × ЗСК 411/16 и родительские формы



F₁ Деметра × ЗСК 500/16 и родительские формы



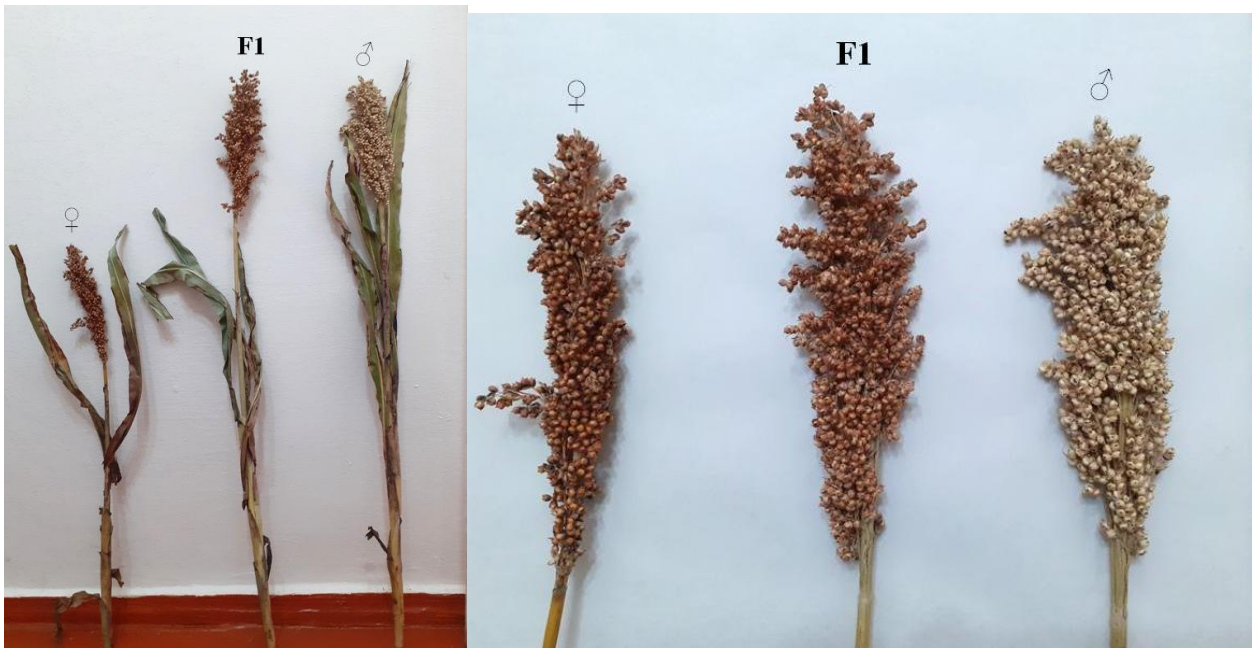
F₁ Джетта × ЗСК 500/16 и родительские формы



F₁ Деметра × Дружба и родительские формы



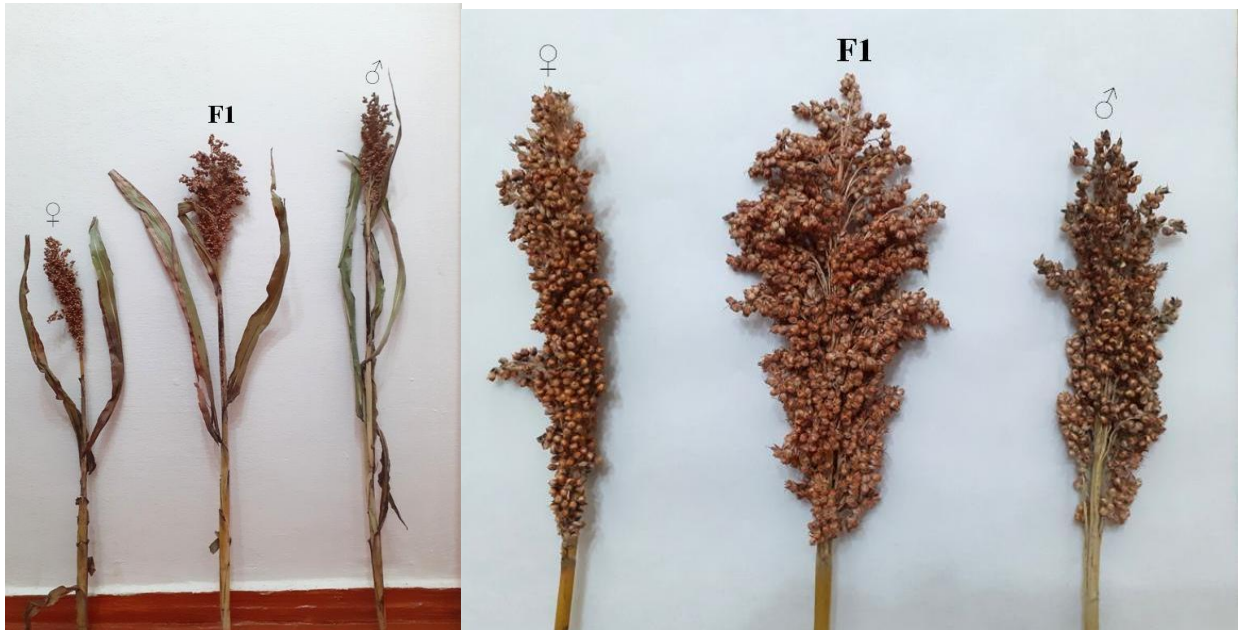
F₁ Джетта × Дружба и родительские формы



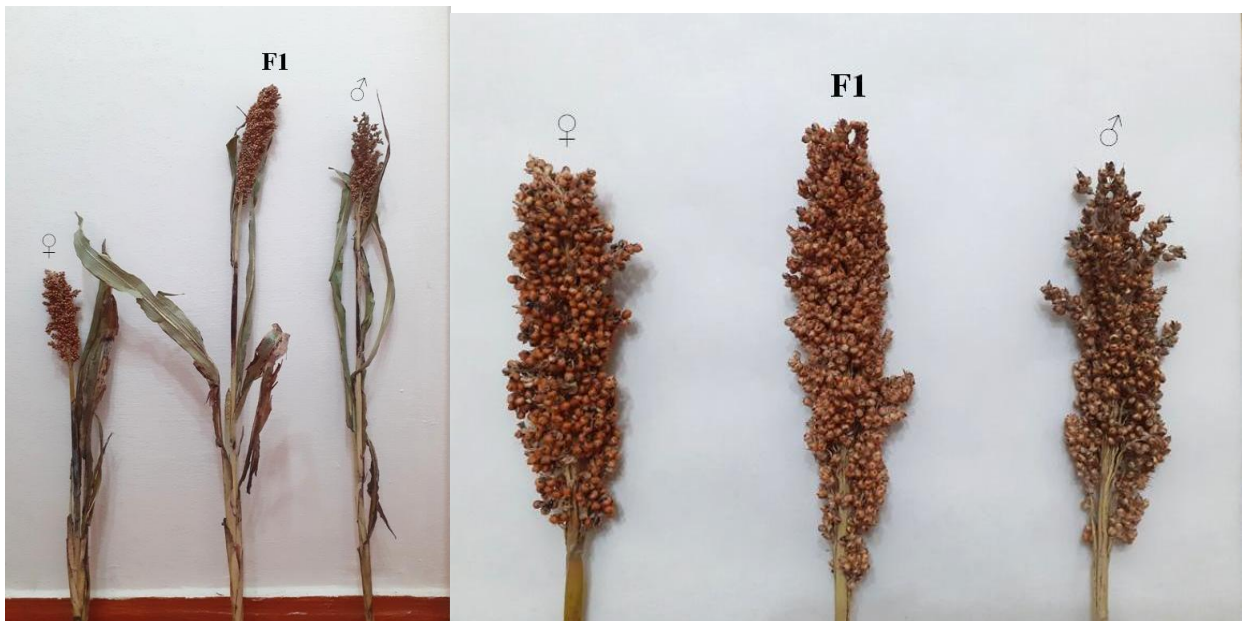
F₁ Деметра × ЗСК 2010 и родительские формы



F₁ Джетта × ЗСК 2010 и родительские формы

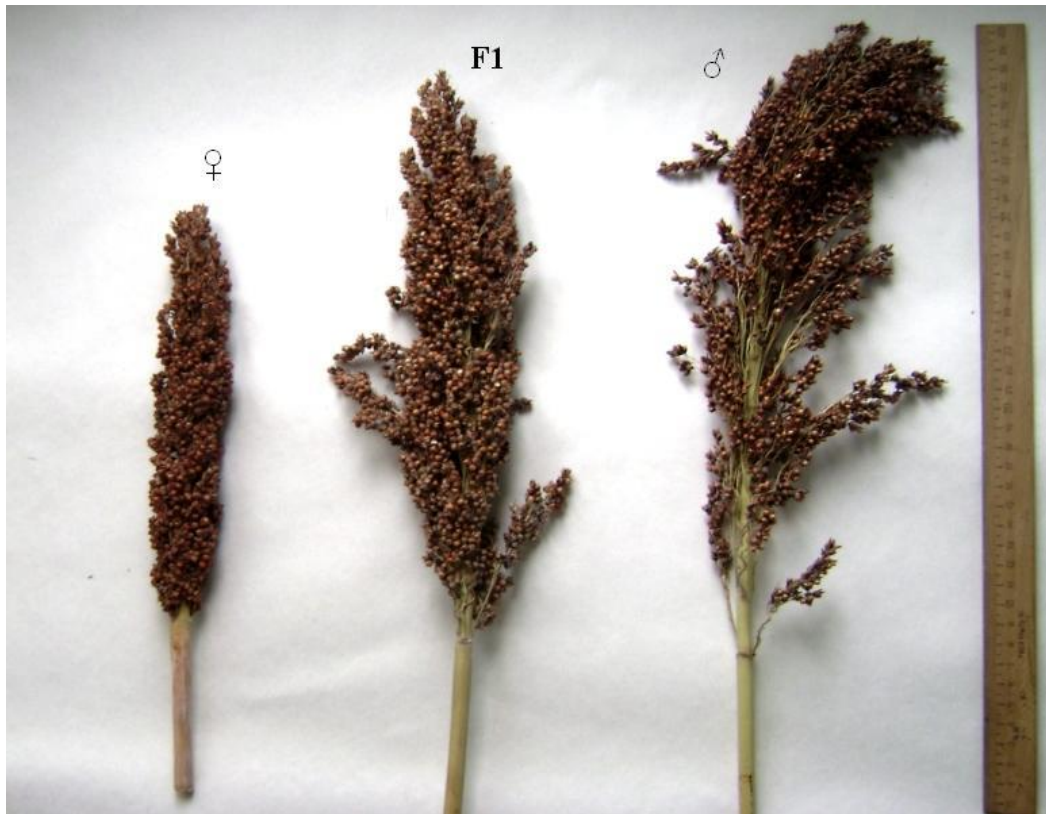


F₁ Деметра × ЗСК 282/14 и родительские формы



F₁ Джетта × ЗСК 282/14 и родительские формы

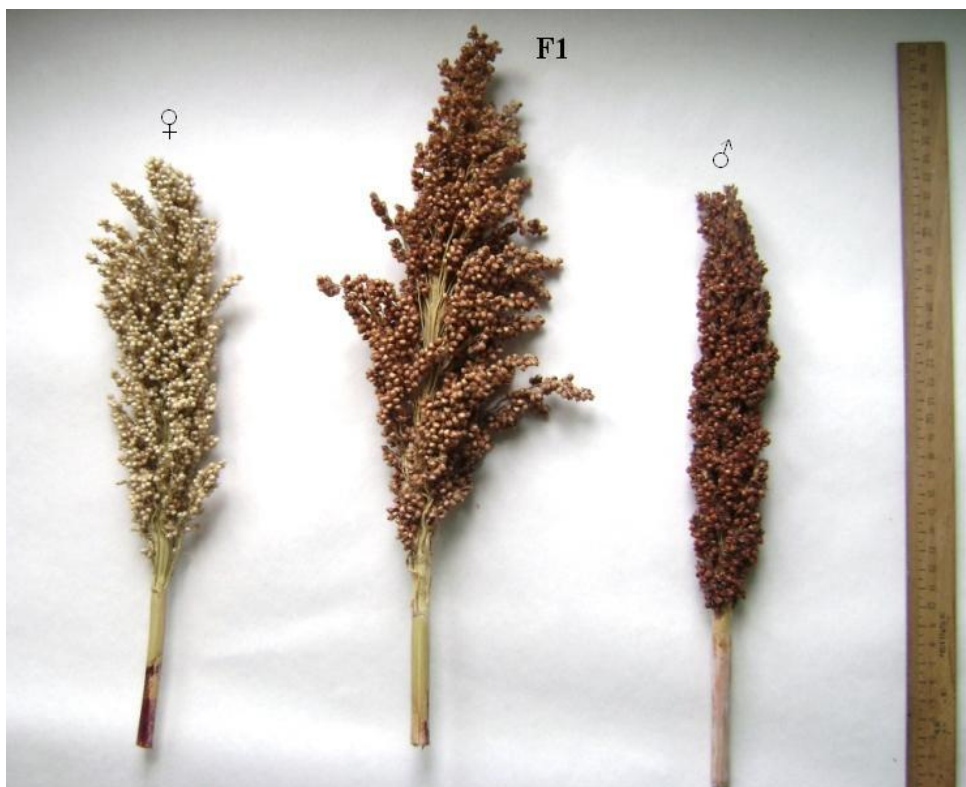
Метёлка родительских форм и гибридов F₁ полученных на фертильной основе



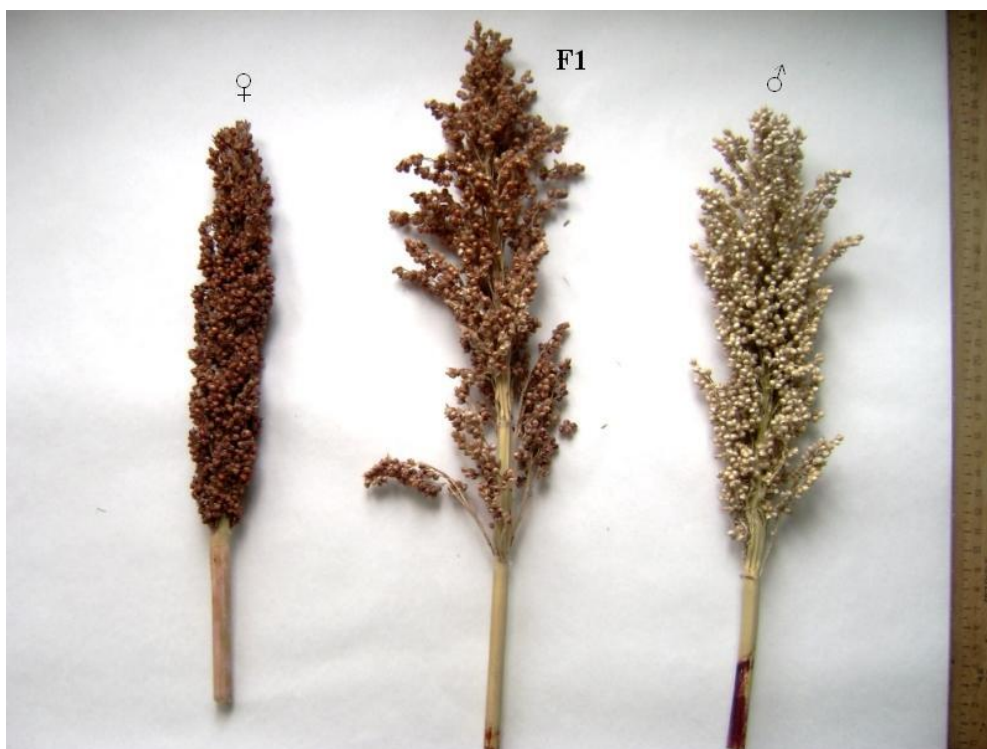
F₁ Sb-126/4 × СПЗС 11



F₁ СПЗС 11 × Sb-126/4



F₁ Зерноградское 204 × Sb-126/4



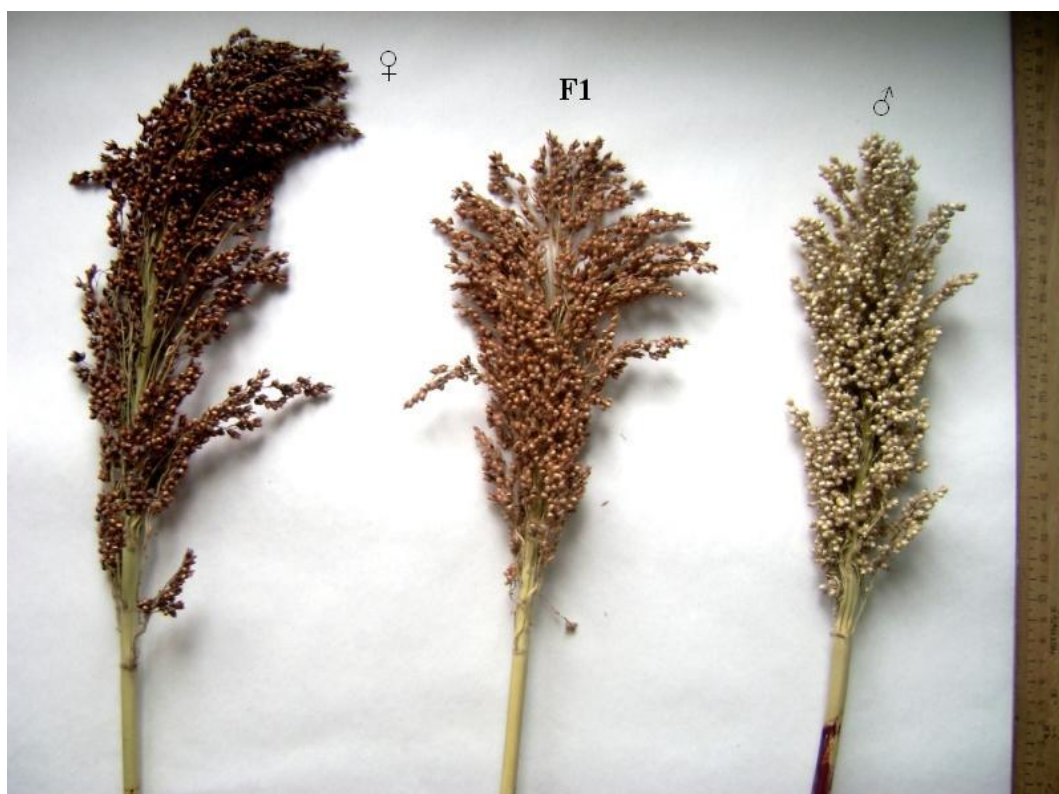
F₁ Sb-126/4 × Зерноградское 204



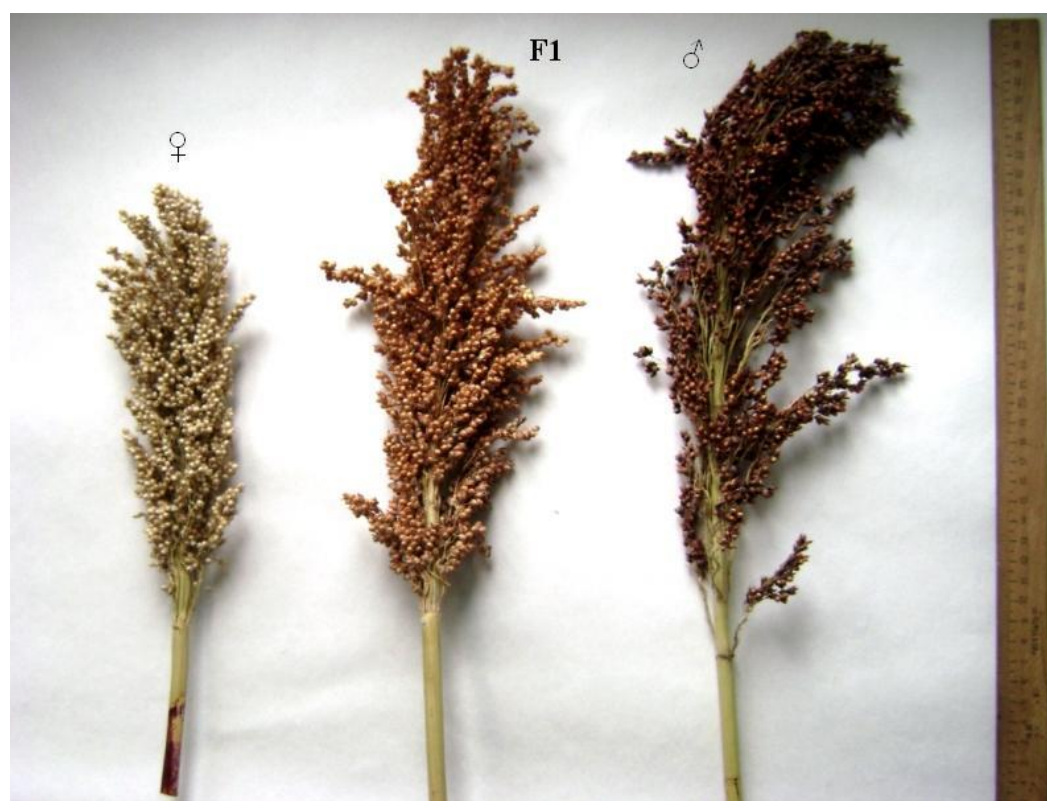
F₁ Sb-126/4 × 144 ф/8



F₁ 144 ф/8 × зерноградское 204



F₁ СПЗС 11 × зерноградское 204



F₁ зерноградское 204 × СПЗС 11



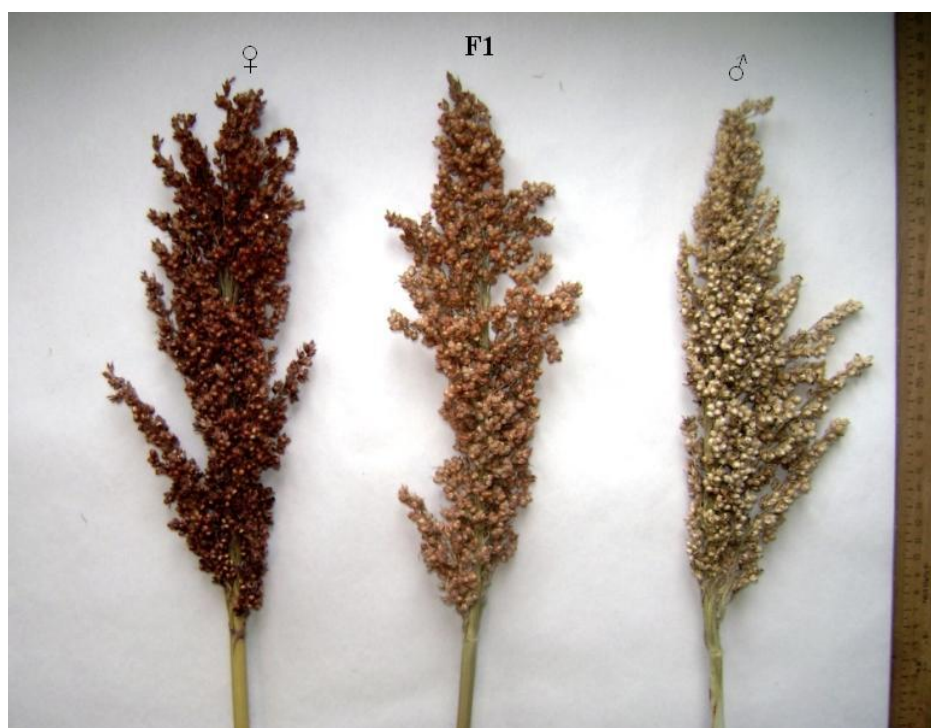
F₁ СПЗС 11 × 144 ф/8



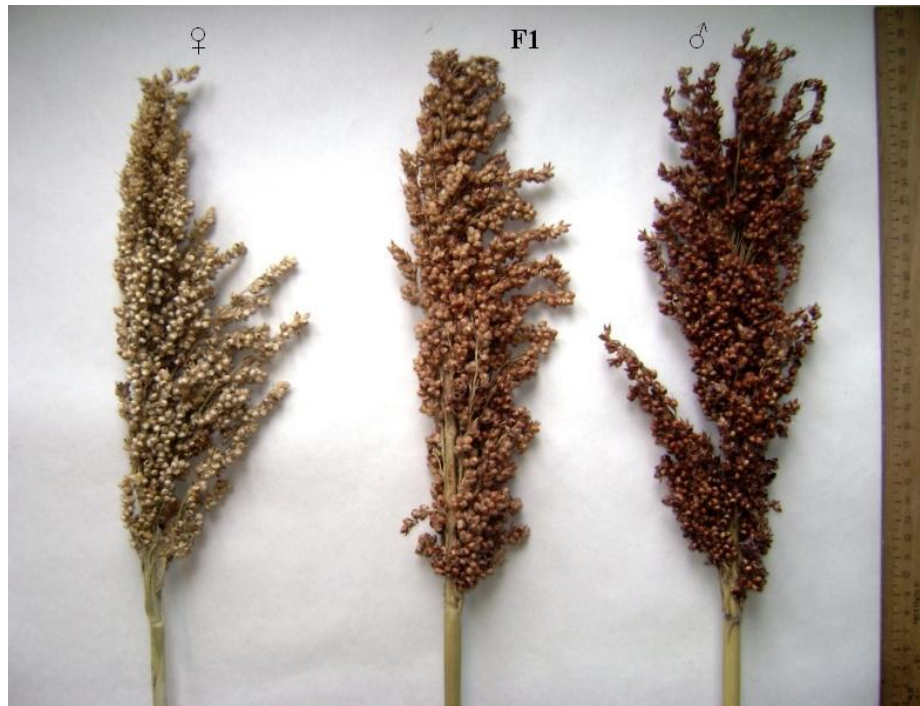
F₁ Белозёрное 100 × Отбор 100



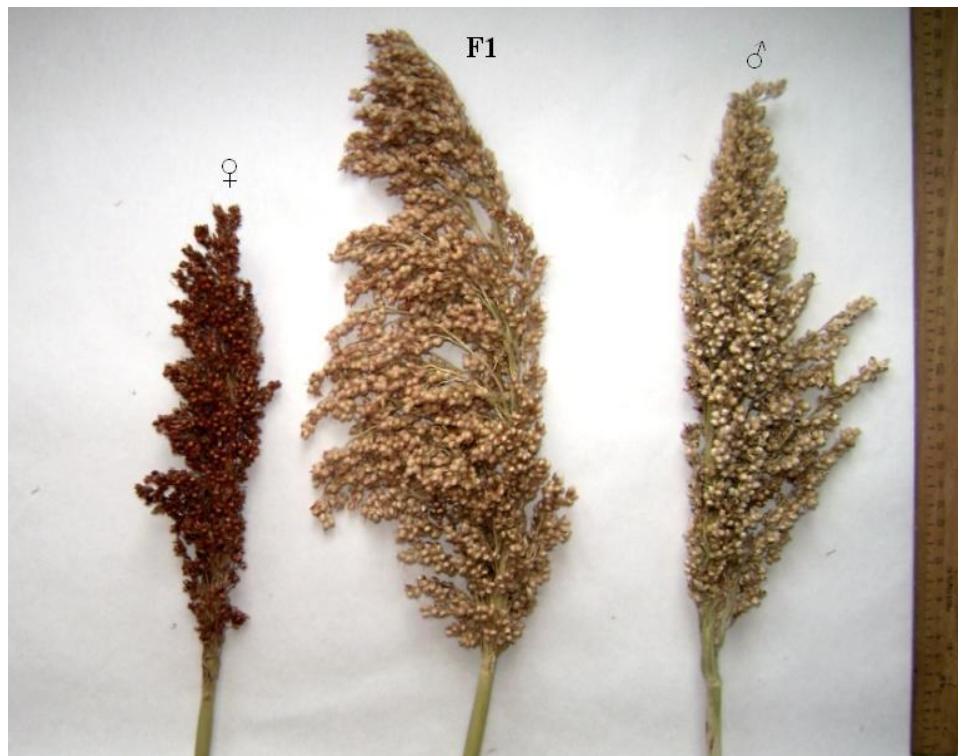
F₁ Отбор 100 × Белозёрное 100



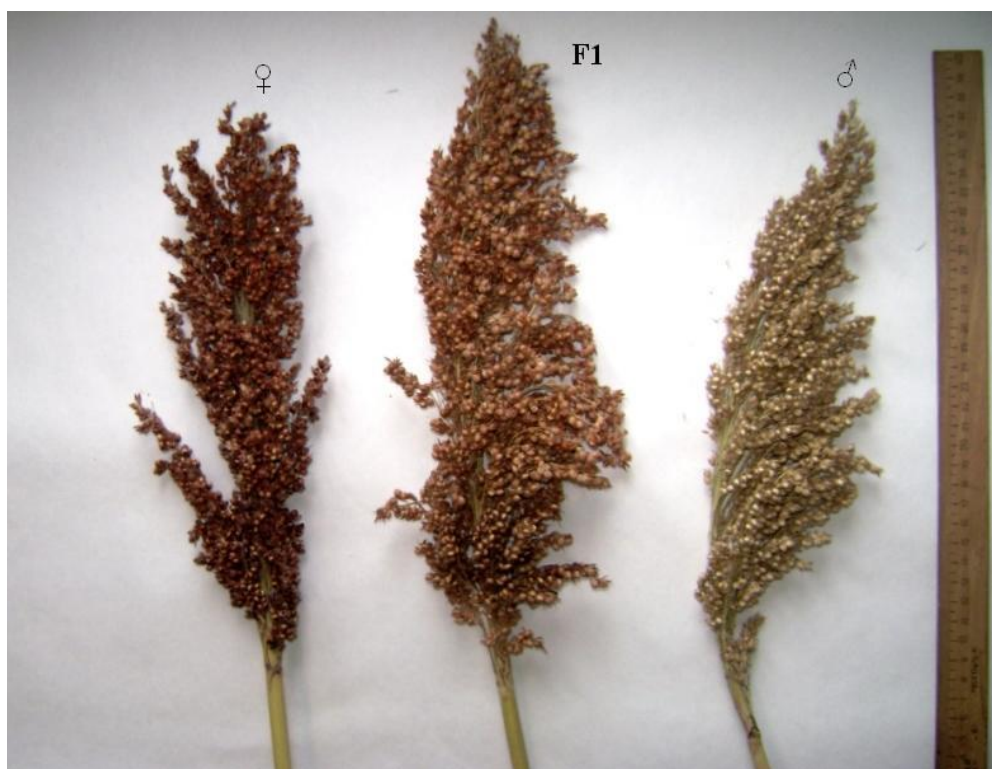
F₁ ЗСК-4 × Белозёрное 100



F₁ Белозёрное 100 × ЗСК-4



F₁ 34045 × Белозёрное 100



F₁ ЗСК-4 × Отбор 100



F₁ Отбор 100 × ЗСК-4



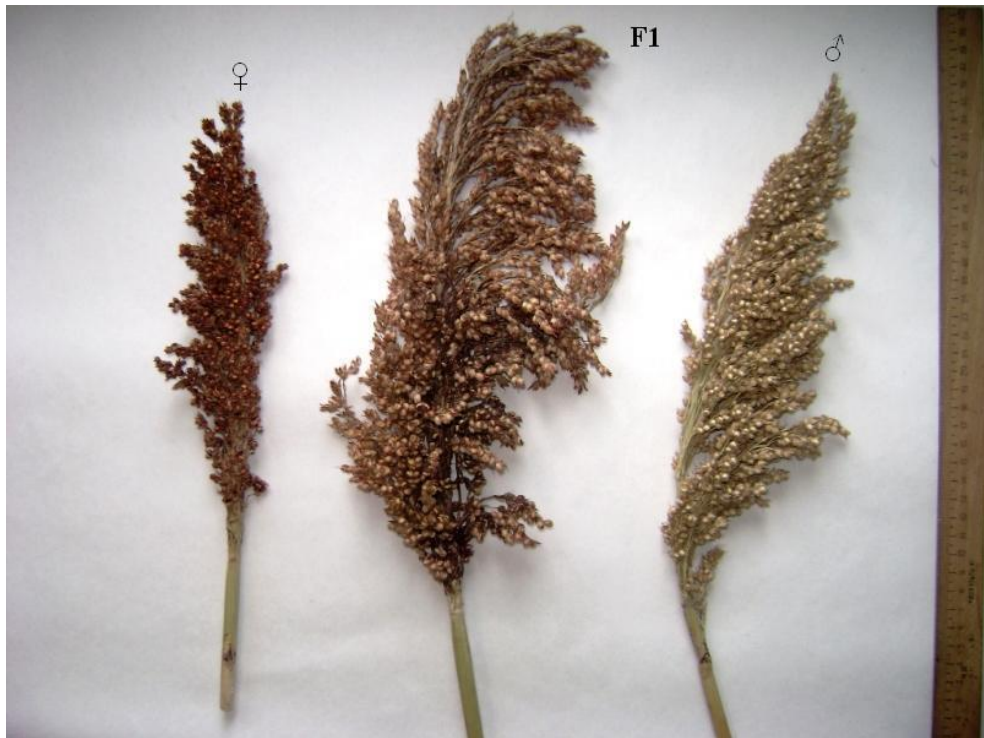
F₁ 3СК-4 × 34045



F₁ 34045 × 3СК-4



F₁ Отбор 100 × 34045



F₁ 34045 × Отбор 100

Уровень гетерозиса и степень доминирования по признаку «длина метёлки» у гибридов F₁ на фертильной основе, 2010 г.

Гибридная комбинация	♀	♂	F ₁	hp	Г _{ист.} , %	Г _{гип.} , %
Sb-126/4 × СПЗС-11	19,5	34,5	27,7	0,1	-19,7	2,6
СПЗС-11 × Sb-126/4	34,5	19,5	34,9	1,1	1,2	29,3
Зерноградское 204 × Sb-126/4	25,6	19,5	31,0	2,8	21,1	37,5
Sb-126/4 × Зерноградское 204	19,5	25,6	27,4	1,6	7,0	21,5
Sb-126/4 × 144 ф/8	19,5	20,2	21,0	3,3	4,0	5,8
СПЗС-11 × Зерноградское 204	34,5	25,6	26,2	-0,9	-24,1	-12,8
Зерноградское 204 × СПЗС-11	25,6	34,5	30,8	0,2	-10,7	2,5
144 ф/8 × Зерноградское 204	20,2	25,6	28,3	2,0	10,5	23,6
СПЗС-11 × 144 ф/8	34,5	20,2	33,5	0,9	-2,9	22,5
Белозёрное 100 × Отбор 100	28,4	28,5	30,8	47,0	8,1	8,3
Отбор 100 × Белозёрное 100	28,5	28,4	28,5	1,0	0,0	0,2
ЗСК-4 × Белозёрное 100	27,2	28,4	29,2	2,3	2,8	5,0
Белозёрное 100 × ЗСК-4	28,4	27,2	28,6	1,3	0,7	2,9
34045 × Белозёрное 100	25,0	28,4	34,5	4,6	21,5	29,2
ЗСК-4 × Отбор 100	27,2	28,5	31,1	5,0	9,1	11,7
Отбор 100 × ЗСК-4	28,5	27,2	32,9	7,8	15,4	18,1
ЗСК-4 × 34045	27,2	25	32	5,4	17,6	22,6
34045 × ЗСК-4	25,0	27,2	33,5	6,7	23,2	28,4
Отбор 100 × 34045	28,5	25,0	29,3	1,5	2,8	9,5
34045 × Отбор 100	25,0	28,5	31,3	2,6	9,8	17,0

Уровень гетерозиса и степень доминирования по признаку «масса 1000 зёрен» у гибридов F₁ на фертильной основе, 2010 г.

Гибридная комбинация	♀	♂	F ₁	hp	Г _{ист.} , %	Г _{гип.} , %
Sb-126/4 × СПЗС-11	27,3	18,4	19,9	-0,7	-27,1	-12,9
СПЗС-11 × Sb-126/4	18,4	27,3	21,2	-0,4	-22,3	-7,2
Зерноградское 204 × Sb-126/4	21,9	27,3	25,2	0,2	-7,7	2,4
Sb-126/4 × Зерноградское 204	27,3	21,9	22,6	-0,7	-17,2	-8,1
Sb-126/4 × 144 ф/8	27,3	19,8	18,0	-1,5	-34,1	-23,6
СПЗС-11 × Зерноградское 204	18,4	21,9	17,7	-1,4	-19,2	-12,2
Зерноградское 204 × СПЗС-11	21,9	18,4	19,7	-0,3	-10,0	-2,2
144 ф/8 × Зерноградское 204	19,8	21,9	20,3	-0,5	-7,3	-2,6
СПЗС-11 × 144 ф/8	18,4	19,8	17,9	-1,7	-9,6	-6,3
Белозёрное 100 × Отбор 100	23,6	24,4	22,9	-2,8	-6,1	-4,6
Отбор 100 × Белозёрное 100	24,4	23,6	23,2	-2,0	-4,9	-3,3
ЗСК-4 × Белозёрное 100	21,2	23,6	23,8	1,2	0,8	6,3
Белозёрное 100 × ЗСК-4	23,6	21,2	25,8	2,8	9,3	15,2
34045 × Белозёрное 100	14,7	23,6	21,9	0,6	-7,2	14,4
ЗСК-4 × Отбор 100	21,2	24,4	25,2	1,5	3,3	10,5
Отбор 100 × ЗСК-4	24,4	21,2	24,5	1,1	0,4	7,5
ЗСК-4 × 34045	21,2	14,7	22,0	1,2	3,8	22,6
34045 × ЗСК-4	14,7	21,2	19,2	0,4	-9,4	7,0
Отбор 100 × 34045	24,4	14,7	17,3	-0,5	-29,1	-11,5
34045 × Отбор 100	14,7	24,4	19,2	-0,1	-21,3	-1,8

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное учреждение
«Государственная комиссия Российской Федерации
по испытанию и охране селекционных достижений»

АВТОРСКОЕ СВИДЕТЕЛЬСТВО

№ 61153

Сорго зерновое

ЗЕРНОГРАДСКОЕ 88

выдано в соответствии с решением Государственной комиссии Российской Федерации по испытанию и охране селекционных достижений от 02.12.2013

ПО ЗАЯВКЕ № 8954325 С ДАТОЙ ПРИОРИТЕТА 06.12.2010

Патентообладатель(и)

ГНУ ВНИИ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР ИМ. И.Г. КАЛИНЕНКО РОССЕЛЬХОЗАКАДЕМИИ

Автор(ы) :

КОВТУНОВ ВЛАДИМИР ВИКТОРОВИЧ

БЕСЕДА И.А., ГОРПИННИЧЕНКО С.И., ИГНАТЬЕВА И.Г., ЛУШПИНА О.А., МЕЛНИК
Г.В., МУСЛИМОВ М.Г.

*Зарегистрировано в Государственном реестре
охраняемых селекционных достижений*

Председатель



В.С. Волощенко



МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ
ЛУГАНСКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ЛУГАНСКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ
«ЛУГАНСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ГОУ ЛНР ЛНАУ)

91008, Луганская Народная Республика, г. Луганск, Артемовский район, городок ЛНАУ, 1
Тел.: (0642) 96-60-40. Факс: (0642) 96-71-13, e-mail: rector@lnau.su <http://www.lnau.su>

14.11.2019 № 16/18
на № _____ от _____

Директору ФГБНУ
«Аграрный научный центр «Донской»
Алабушеву А.В.

Уважаемый Андрей Васильевич!

В соответствии с договором о научно-техническом сотрудничестве №1 от 27.04.2016 г., заключенным между ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт зерновых культур имени И.Г. Калиненко (ныне ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской») и ГОУ ЛНР «Луганский национальный аграрный университет», в течение 2017-2019 годов на опытном поле ЛНАУ на черноземе обыкновенном маломощном слабосмытом на лессовидном суглинке по предшественнику озимая пшеница проводилось полевое экологическое испытание сортов зернового сорго селекции ФГБНУ «АНЦ «Донской». Агротехника возделывания сорго в опыте – общепринятая для степной зоны страны. Средняя урожайность за 2017-2019 годы составила:

Сорт зернового сорго	Урожайность зерна, ц/га
Зерноградское 88	54,0
Орловское	44,2
Великан	49,0
Лучистое	48,8
Хазине 28	47,2
Зерноградское 53	47,3
Атаман	56,8
Крымбел (контроль)	43,9
НСР ₀₅ , ц/га	3,0-3,4

С уважением,
Проректор по научной работе

А.В. Барановский
(072)140-140-8
(095)860-05-05



А.В. Худолей

**Рисоводческий племенной завод
«Красноармейский» имени А. И. Майстренко –
филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения
«Всероссийский научно-исследовательский институт риса»
(РПЗ «Красноармейский» - филиал ФГБНУ «ВНИИ риса»)**

Почтовый адрес: 353814 поселок Октябрьский Красноармейского района, Краснодарского края,
8 (861) (65), факс 91-0-05, Телефоны: 91-2-19 – директор, 91-2-85 – главный бухгалтер, 91-2-60 – диспетчер

№ 124 от 16.10 2019 г.

ФГБНУ Аграрный научный центр «Донской»

Директору Алабушеву А.В.

В течение 2018 – 2019 гг. проводили испытания зерновых сорговых культур, полученных из аграрного научного центра «Донской». Испытания проводились на лугово-черноземных почвах мелиоративной зоны Кубани. Площадь посева в производственных условиях составляла 0,3-0,4 га под каждым сортом. Средняя урожайность за два года составила в перерасчете на гектар:

1. Лучистое – 37,5 ц/га
2. Атаман – 48,3 ц/га
3. Великан – 35,6 ц/га
4. Зерноградское 53 – 53,1 ц/га
5. Зерноградское 88 – 68,7 ц/га

Директор



С.В. Кизинёк



Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное учреждение
«Государственная комиссия Российской Федерации
по испытанию и охране селекционных достижений»

АВТОРСКОЕ СВИДЕТЕЛЬСТВО

№ 61181

Сорго зерновое

ДЮЙМ

выдано в соответствии с решением Государственной комиссии Российской Федерации по испытанию и охране селекционных достижений от 03.12.2013

ПО ЗАЯВКЕ № 8954331 С ДАТОЙ ПРИОРИТЕТА 06.12.2010

Патентообладатель(и)

ГНУ ВНИИ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР ИМ. И.Г. КАЛИНЕНКО РОССЕЛЬХОЗАКАДЕМИИ

Автор(ы) :

КОВТУНОВ ВЛАДИМИР ВИКТОРОВИЧ

БЕСЕДА Н.А., ВАХРУШЕВА Л.В., ГЕРАСИМЕНКО Г.П., ГОРПИНИЧЕНКО С.И.,
ЛУШПИНА О.А., САРЫЧЕВА Н.И.

*Зарегистрировано в Государственном реестре
охраняемых селекционных достижений*

Председатель



В.С. Волощенко

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное учреждение
«Государственная комиссия Российской Федерации
по испытанию и охране селекционных достижений»

АВТОРСКОЕ СВИДЕТЕЛЬСТВО

№ 67903

Сорго зерновое

АТАМАН

выдано в соответствии с решением Государственной комиссии Российской Федерации по испытанию и охране селекционных достижений от 18.10.2018

ПО ЗАЯВКЕ № 8456975 С ДАТОЙ ПРИОРИТЕТА 16.11.2015

Патентообладатель(и)

ФГБНУ 'АГРАРНЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР 'ДОНСКОЙ'

Автор(ы) :

КОВТУНОВ ВЛАДИМИР ВИКТОРОВИЧ

БАРАНЧУК Т.В., ГОРИШНИЧЕНКО С.И., ЕРМОЛОВА Г.М., ИГНАТЬЕВА И.Г.,
КОВТУНОВА В.А., ЛОЖИЦКАЯ О.А., МЕЛЕНКО Г.В., РОМАНЮКИНА А.Е., СУХИЧЕНКО И.И.,
ШИШОВА Е.А.

*Зарегистрировано в Государственном реестре
охраняемых селекционных достижений*

Врио председателя



Д.И. Паспеков



Характеристика показателей качества хлеба, 2017-2019 гг.

Сорт	Дозировка муки из зерна сорго	Объёмный выход хлеба, см ³	Эластичность мякиша, балл	Пористость, балл	Форма хлеба, балл	Общая хлебопекарная оценка, балл
1	2	3	4	5	6	7
Аксинья, контроль	-	660	2,8	2,5	4,3	4,2
Зерноградское 88	5%	657	2,7	2,2	4,3	4,1
	10%	620	2,3	2,0	3,7	3,7
	15%	590	2,3	2,0	3,7	3,6
	20%	597	1,7	1,7	3,3	3,4
	25%	577	1,3	1,3	3,3	3,3
	30%	547	1,0	1,2	3,0	3,0
Атаман	5%	657	2,3	2,3	4,3	4,1
	10%	603	2,3	2,2	3,7	3,7
	15%	590	2,3	2,0	3,7	3,6
	20%	547	1,3	1,7	3,3	3,2
	25%	497	1,2	1,2	3,0	2,8
	30%	480	1,2	1,2	3,0	2,7
Великан	5%	647	2,3	2,2	4,0	3,9
	10%	597	2,0	1,8	3,3	3,5
	15%	580	1,7	1,8	3,3	3,4
	20%	553	1,0	1,5	3,3	3,2
	25%	520	1,0	1,2	3,0	2,9
	30%	507	0,8	0,8	3,0	2,5
Хазине 28	5%	647	2,7	2,0	4,3	4,0
	10%	610	2,0	1,8	3,7	3,7
	15%	603	2,0	1,7	3,3	3,5
	20%	553	1,0	1,3	3,3	3,1
	25%	487	1,0	1,0	3,0	2,6
	30%	460	0,8	0,8	3,0	2,4

1	2	3	4	5	6	7
Лучистое	5%	653	2,2	2,2	4,3	4,0
	10%	607	1,8	2,0	3,3	3,5
	15%	593	1,8	1,5	3,3	3,4
	20%	553	1,3	1,5	3,3	3,2
	25%	520	1,3	1,0	3,3	3,0
	30%	480	0,8	0,8	3,0	2,6
Орловское	5%	613	2,3	2,0	4,0	3,8
	10%	580	1,7	1,8	3,3	3,4
	15%	543	1,7	1,7	3,0	3,2
	20%	523	1,2	1,5	3,0	3,0
	25%	487	0,8	1,5	3,0	2,8
	30%	462	0,8	0,8	3,0	2,5
Зерноградское 53	5%	643	2,3	2,2	4,3	4,0
	10%	560	1,7	1,8	3,3	3,3
	15%	540	1,3	1,3	3,3	3,2
	20%	513	1,2	1,2	3,0	2,8
	25%	473	0,7	1,0	3,0	2,7
	30%	420	0,6	0,7	3,0	2,2

Биоэнергетическая оценка возделывания сортов и гибрида сорго зернового,
2019 г.

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	81,54	13,33	68,21	2,58	6,1
Атаман	84,07	13,41	70,66	2,52	6,3
F ₁ Дюйм	94,63	13,75	80,88	2,29	6,9
Есаул	96,53	13,81	82,72	2,26	7,0
Сотник	88,33	13,55	74,78	2,42	6,5

Биоэнергетическая оценка возделывания сортов и гибрида сорго зернового,
2020 г.

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	87,38	13,52	73,86	2,44	6,5
Атаман	93,21	13,71	79,50	2,32	6,8
F ₁ Дюйм	98,10	13,86	84,24	2,23	7,1
Есаул	97,95	13,86	84,09	2,23	7,1
Сотник	102,36	14,00	88,36	2,16	7,3

Биоэнергетическая оценка возделывания сортов и гибрида сорго зернового,
2021 г.

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	78,55	13,24	65,31	2,66	5,9
Атаман	85,49	13,46	72,03	2,48	6,4
F ₁ Дюйм	89,90	13,60	76,30	2,39	6,1
Есаул	90,38	13,62	76,76	2,38	6,6
Сотник	91,32	13,65	77,67	2,36	6,7