

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского»
(ФГАОУ ВО «КФУ им. В. И. Вернадского»)
Институт «Агротехнологическая академия»

ЮДИНА ВИКТОРИЯ НИКОЛАЕВНА

**СОЗДАНИЕ И МОРФО-БИОЛОГИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ
ИСХОДНОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ СЕЛЕКЦИИ СОРГО САХАРНОГО В
УСЛОВИЯХ РЕСПУБЛИКИ КРЫМ**

4.1.2. Селекция, семеноводство и биотехнология растений
(сельскохозяйственные науки)

Симферополь – 2023

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
РАЗДЕЛ 1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ.....	10
1.1 История культивирования и селекции сорго	10
1.2 Классификация сорго.....	14
1.3 Ботаническая и биологическая характеристика сорго.....	16
1.4 Использование сорго в производстве	18
РАЗДЕЛ 2 УСЛОВИЯ, МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	21
2.1 Почвенно-климатические условия.....	21
2.2 Погодные условия в период вегетации сорго.....	24
2.3 Агротехника. Методика проведения исследований.....	27
2.4 Селекционный исходный материал.....	32
РАЗДЕЛ 3 КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА РОДИТЕЛЬСКИХ ФОРМ СОРГО САХАРНОГО.....	34
3.1 Изучение селекционных образцов сорго сахарного.....	34
3.2 Изучение стерильных аналогов линий сорго	42
3.3 Оценка сортов, линий и форм сорго по реакции на ЦМС.....	44
3.4 Оценка сортов, самоопыленных линий, форм и стерильных линий на комбинационную способность.....	46
3.5 Корреляционная зависимость между признаками сортов, самоопыленных линий и форм сорго сахарного.....	50
РАЗДЕЛ 4 СЕЛЕКЦИОННО-ГЕНЕТИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ НОВЫХ ГИБРИДОВ СОРГО САХАРНОГО.....	53
4.1 Изучение динамики начального роста новых гибридов сорго сахарного и их родительских форм.....	53
4.2 Изучение морфо-биологических особенностей и урожайности новых гибридов сорго сахарного.....	57

4.3 Гетерозис по морфологическим признакам и урожайности сорго сахарного.....	66
4.4 Результаты изучения наследования количественных признаков гибридов F ₁ сорго сахарного.....	74
РАЗДЕЛ 5 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ НОВЫХ ГИБРИДОВ И РОДИТЕЛЬСКИХ ФОРМ СОРГО САХАРНОГО.....	
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	80
ПРЕДЛОЖЕНИЯ ДЛЯ СЕЛЕКЦИОННОЙ ПРАКТИКИ	85
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	88
	89

ВВЕДЕНИЕ

Сорго сахарное – многоцелевая культура, потенциал которой раскрывается в трех основных областях: как корм для животных, в производстве сахарного сиропа и использовании всего растения в качестве источника биотоплива.

Благодаря происхождению и видовому разнообразию сорго даже в самых засушливых и жарких регионах мира, в отличие от других сельскохозяйственных культур, позволяет получать стабильные, высокие урожаи зерна и зеленой массы. В связи с этим, сорго является одной из ведущих кормовых и продовольственных культур.

Сорго сахарное – перспективная культура, у которой минимальные потребности в удобрениях и воде, а также относительно высокая продуктивность биомассы. Кроме того, сорго имеет короткий вегетационный период (3–5 месяцев), а его стебли богаты легко сбраживаемыми сахарами. Растение способно накапливать до 20-25 % сахаров в соке стеблей, при этом, коэффициент водопотребления составляет 260-300 частей воды на образование единицы сухого вещества [138; 145; 147; 157].

Актуальность исследований. Сорго сахарное культивируется примерно в 100 странах на более чем 44 миллионах гектаров [132].

Сорго, как кормовая культура, отличается дешевизной в производстве и способностью формировать высокие и стабильные урожаи в условиях недостатка влаги, является стрессоустойчивой и легко адаптирующейся по отношению к абиотическим факторам окружающей среды. При прогнозируемом повышении температуры и снижении суммарного выпадения осадков в результате сценария глобального изменения климата и его влияния на выращивание менее устойчивых культур к погодным условиям, более широкая адаптивность сорго может обеспечить снижение потерь урожая в районах, пострадавших от абиотических стрессов.

Таким образом, быстрое увеличение населения планеты в сочетании с глобальными климатическими тенденциями, подразумевают, что засухоустойчивые культуры, такие как сорго, будут приобретать все большее значение [105; 131; 141; 150; 159].

Интерес к сорго сахарному возрастает и в условиях Юга Российской Федерации, в том числе и Крыму, представляя собой важный источник по увеличению производства кормов в этом засушливом регионе. Культура может быть использована на силос, зеленый корм и сенаж. Благодаря содержанию сахаров в стеблях, зеленая масса сорго хорошо силосуется в смеси с другими культурами. Зеленую массу сортов сорго сахарного, убранную до фазы выметывания, можно использовать в качестве корма для сельскохозяйственных животных. По питательной ценности корм из сорго не уступает кукурузе.

Сорго сахарное практически не поражается болезнями и вредителями, хорошо произрастает на засоленных и малопродуктивных землях, имеет слабую реакцию на фотопериодизм. Его можно использовать в случае гибели озимых и ранних яровых, как страховую культуру.

Будучи растением теплолюбивым и требующим позднего срока сева, сорго сахарное успешно возделывается как поукосная, пожнивная культура и используется в совместных посевах с высокобелковыми культурами (соей, амарантом).

Важная хозяйственная особенность сорго – малая норма высева и высокий коэффициент размножения.

Широкое распространение сорго сахарного дает возможность улучшить кормопроизводство в хозяйствах различных форм собственности Южного федерального округа, повысить урожайность и стабильность кормовых культур и существенно снизить себестоимость кормов.

Однако, несмотря на большие преимущества сорго сахарного, площади посевов в Крыму остаются незначительными. Это объясняется следующими основными причинами: отсутствие технологии выращивания новых сортов и

гибридов; мелкосемянность; медленный рост в начале вегетации, что приводит к сильному засорению посевов сорняками и т.д.

Важно отметить проблемы в селекции сорго сахарного: 1) малое количество исходного материала с необходимыми признаками: высокой урожайностью надземной массы, повышенным содержанием сахаров в соке стеблей, быстрыми темпами роста на начальных этапах развития растений и др.; 2) недостаток стерильных аналогов линий, участвующих в селекционном процессе в качестве материнских форм; 3) получение ранне- и среднеспелых высокоурожайных сортов и гибридов; 4) медленное внедрение в производство.

В связи с вышеизложенным, актуальным является создание и изучение нового исходного материала сорго сахарного с применением современных методов генетики и селекции, а на его основе получение новых сортов и гибридов с необходимыми селекционно-ценными признаками.

Цель и задачи исследования

Цель исследования: создание нового исходного материала сорго сахарного с комплексом селекционно-ценных признаков для дальнейшего получения новых сортов и гибридов с повышенной урожайностью, высокими кормовыми качествами зеленой массы, а также повышенным содержанием сахаров в соке стеблей сорго сахарного.

Задачи исследования:

1. Изучить сорта, линии и формы сорго сахарного коллекции ФГБУ «Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова» (ВИР им. Н.И. Вавилова) и селекции Института «Агротехнологическая академия» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского» (ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского») по морфо-биологическим признакам и урожайности.

2. Определить комбинационную способность и реакцию на цитоплазматическую мужскую стерильность исходных образцов сорго сахарного.

3. Выявить корреляционную зависимость между отдельными хозяйственно-биологическими признаками у исследуемых форм сорго сахарного.

4. Создать новые гибриды сорго методом гибридизации и инцухта, на основе отобранных родительских форм.

5. Изучить новые гибриды F_1 сорго по морфо-биологическим и хозяйственным признакам.

6. Установить проявление эффекта гетерозиса у новых гибридов F_1 .

7. Выделить перспективные гибриды для дальнейшей селекционной работы и передачи лучших из них в Госсортокмиссию для испытания с последующим районированием.

Научная новизна полученных результатов

В результате селекционно-генетических исследований впервые в Крыму изучены образцы коллекции ВИР сорго сахарного. Проведена целенаправленная гибридизация и отбор для создания самоопыленных форм. Созданы новые гибриды F_1 с селекционно-ценными признаками.

Установлена комбинационная способность и реакция на ЦМС новых форм сорго сахарного. Выявлены формы с интенсивным начальным ростом и повышенным содержанием сахаров.

Теоретическая и научно-практическая значимость работы

Впервые в Крыму выделены лучшие фертильные сорта и формы коллекции ВИР им. Н. И. Вавилова. Так же в качестве родительских форм использованы образцы селекции АТА «КФУ им. В. И. Вернадского». Методом гибридизации создан 101 гибрид первого поколения сорго сахарного.

Полученные данные способствуют дальнейшему изучению и созданию самоопыленных линий сорго сахарного различного хозяйственного назначения путем многократного индивидуального отбора и инцухтирования полученных гибридов в условиях Крыма.

Методология и методы исследования

В процессе полевых и лабораторных исследований применяли ряд методов: визуальный, весовой, рефрактометрический, математическо-статистический. Гибридизация – согласно стандартным методам. Для оценки реакции на ЦМС у форм сорго использовали трехбалльную шкалу Роджерса и Эдвардсона. Оценку самоопыленных и стерильных линий на ОКС и СКС проводили, используя метод неполного топкросса. Определение эффектов истинного, гипотетического и конкурсного гетерозиса по А. Густафсону.

Степень достоверности и апробация результатов

Результаты исследований докладывались: на III научно-практической конференции «Дни науки КФУ им. В. И. Вернадского» (г. Симферополь, 2017 г.); на Российской теоретической и научно-практической, юбилейной конференции «Агробиологические основы адаптивно-ландшафтного ведения сельскохозяйственного производства», г. Симферополь, 12–16 октября 2018 г.; на научной конференции «Проблемы и перспективы научно-инновационного обеспечения агропромышленного комплекса регионов», г. Курск, 11–13 сентября 2019 г.; на V научно-практической конференции «Дни науки КФУ им. В. И. Вернадского» (г. Симферополь, 2019); на V Международной конференции «Генофонд и селекция растений» (Новосибирск, 11–13 ноября 2020 г.); на Всероссийской научной конференции с международным участием «Растениеводство и луговое хозяйство» (МСХА, 2020); на Международной научно-практической конференции «Обеспечение устойчивого развития в контексте сельского хозяйства, зеленой энергетики, экологии и науки о Земле» (ESDCA 2021), Смоленск, 2021 г.; на III Всероссийской конференции молодых ученых АПК «Актуальные вопросы развития отраслей сельского хозяйства: теория и практика», п. Рассвет: ФГБНУ ФРАНЦ, 14–15 мая 2021 г.; на VIII Всероссийской научно-практической конференции «Методологические и теоретические основы селекции, семеноводства, размножения и защиты сельскохозяйственных, садовых и лесных древесных растений» (ФГБУН «НБС-НИЦ»), г. Ялта, 5-10 сентября 2022 г.), на IX Всероссийской

научно-практической конференции «Инновационные аспекты общей биологии, генетики, биотехнологии, защиты растений и их использование в практической селекции, семеноводстве и размножении сельскохозяйственных, садовых и лесных древесных растений» (ФГБУН «НБС-ННЦ», г. Ялта, 04–08 сентября 2023 г.).

Публикации.

Автором опубликовано 15 печатных работ, в т.ч. 1 научная статья в журнале, индексируемом в Scopus, 7 научных статей в журналах, зарегистрированных в ВАК РФ, 7 тезисов докладов.

Личный вклад соискателя. Личный вклад соискателя состоит в непосредственном участии в проведении полевых и лабораторных исследований, самостоятельной проработке мировой и отечественной научной литературы по теме диссертационной работы, обобщении результатов, их систематизации и подготовки к печати. Материалы, которые приводятся в работе, получены соискателем лично в процессе исследований. В опубликованных научных статьях, выполненных в соавторстве, доля диссертанта составляет не менее 70 % и заключается в получении экспериментальных данных и математико-статистической оценке полученных результатов.

Работа финансируется за счет гранта Государственного Совета Республики Крым (Постановление Президиума Государственного Совета Республики Крым от 30.01.2023 г. № п653-2/23).

РАЗДЕЛ 1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1 История культивирования и селекции сорго

Название «sorghum» происходит от итальянского термина «sorgo», который в свою очередь, произошел от латинского слова «*Syricum*» (гранум) – «зерно Сирии». Родиной сорго является Африка, на данном материке растение широко распространено и отличается разнообразием дикорастущих форм. Современные сорта культивируемого сорго произошли от дикорастущего предка, принадлежащего к подвиду *verticilliflorum*.

В настоящее время существует несколько версий расположения центра происхождения сорго. По данным литературы, впервые возделыванием сорго занимались в экваториальной Африке около 2000 лет до нашей эры. Самое большое видовое разнообразие культивируемого и дикорастущего сорго находилось в Африке на территории Эфиопии и Судана.

По одной из версий ученых, из экваториальной части континента сорго распространилось по всей Африке при миграции племен. Культура достигла территории Ботсваны в 10-ом столетии н.э., Замбии к 14-ому столетию, юга Африки в 16-ом. Сорго было доставлено в Индию из Восточной Африки во время первого тысячелетия до н. э. Это растение распространилось по всей Южной Азии и достигло Китая в 13 веке [111; 151; 165; 167].

По другой версии, существуют несколько центров происхождения сорго – Африка, Китай, и Индия. Обнаружены археологические находки, подтверждающие индийское происхождение сорго. Предполагается, что возделыванием данной культуры занимались в Индии 3000 лет до н.э. А в Китае сорго было известно за 2000 лет до н.э. [97; 113; 116; 121; 146].

Во время исламской сельскохозяйственной революции (VIII - XIII в. н. э.) сорго активно выращивали в районах Ближнего Востока, Северной Африки, Европы и Египта. Семена сорго были перенесены из Африки в различные части Западного полушария пленными и рабами в течение 17-го и 18 века. Хотя сорго

прибыло в Латинскую Америку через работоторговцев и мореплавателей, курсирующих по континентам Европа-Африка-Латинская Америка еще в 16 в., но выращивать его стали позже. Случай аналогичен и для Австралии. Наконец, в середине 19 века William Prince и J.D. Brown в США начали использование сорго сахарного «Black amber», или «Chinese sugar cane» было доставлено из Китая для производства сиропа и фуража.

Сорго возделывается более 2,5-3,0 тысяч лет на территории Средней Азии и Казахстана, в Приморском крае и Хабаровске (Россия). Только в середине XVIII в. сорго появилось на территории европейской части России, на юге Украины и Северном Кавказе, после того как русские солдаты привезли семена зернового и сахарного сорго из Китая и Кореи. Веничное сорго было известно на территории Украины с 13 века под названием «турецкое просо» [97].

Селекция сорго проводилась на территории России с XIX века. Но, только после создания Всероссийского института растениеводства (СССР), Н.И. Вавиловым и его последователями, была собрана мировая коллекция семян сорго, включающая до 10 тысяч образцов. После этого в России началось широкое возделывание данной культуры и создание новых высокопродуктивных сортов. До недавнего времени селекция сорго в основном была направлена на создание кормовых культур для сельскохозяйственных животных [97; 146; 166].

Сорго сахарное культивируется примерно в 100 странах на более чем 44 миллионах гектаров. При наличии большого количества исследований, направленных на производство биотоплива, выращивается данная культура в основном для получения корма, сахарной патоки и биотоплива.

Основной поставщик сорго на мировом рынке – США (рисунок 1.1). Аргентина экспортирует около 30 % своей продукции. Также сорго экспортирует Индия (обеспечивая 2 % от мирового объема экспорта). Во Франции, Китае, Австралии, Кении, Эфиопии, Нидерландах, Украине небольшие территории возделывания сорго и соответственно, низкие продажи. На мировом рынке зерновых в основном экспортируется и импортируется зерно сорго. Основные рынки сбыта сорго: Мексика, Япония, Эфиопия, Чили, Испания.

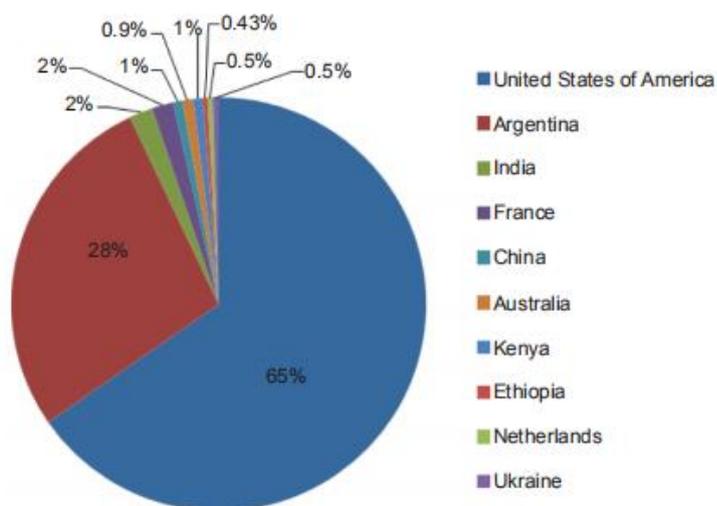


Рисунок 1.1 – Страны - экспортеры сорго (ФАО, 2010 г.), %.

По информации ФАО, в феврале 2021 г. в наибольшей степени выросли мировые цены на сорго (на 17,4 %), что на 82,1 % выше показателя 2020 г.; это обусловлено активным спросом на покупку зерна со стороны Китая [76; 167].

В последнее десятилетие в России вновь возрос интерес к сорго, как сахароносу. В Поволжье, на Северном Кавказе и юге России довольно широко возделывается сорго сахарное. Только в этих регионах оно может занимать до 1,5 млн. га.

В условиях Нижнего Поволжья в результате межвидовых скрещиваний белозерных форм зернового и сахарного сорго получен новый исходный материал для селекции сортов с высоким качеством зерна и зеленой массы. На Государственное сортоиспытание направлен новый сорт Капитал с высокосахаристым соком стеблей (20,4 %) и повышенной продуктивностью зеленой массы (27,9 т/га).

В Ростовской области на полях СПК «Целинский» в 2008 – 2010 гг. на основе источников из коллекции сорго сахарного ВИР с высоким содержанием сахаров, урожайностью и скороспелостью создали гетерозисные гибриды. Гибридные комбинации были получены трехкратным опылением в системе топкроссных скрещиваний на основе цитоплазматической мужской стерильности (ЦМС). По данным исследователя, высоким (свыше 19 %) содержанием сахаров

характеризовались 9 образцов сорго. В результате изучения характера накопления сахаров в течение периода вегетации установлено, что в фазу восковой спелости и к концу вегетации растений наибольшее количество сахаров сосредоточено в средней части стебля, меньше – в нижней и еще меньше – в верхней части. Автор работы рекомендует для создания высокосахаристых сортов использовать гибриды А 63 х к-1371 и А 278 х к-450 [44; 47; 69; 91].

Несмотря на то, что Крым с 1932 г. является базой по производству семян зернового и сахарного сорго, одним из основных направлений селекции сорго было создание сортов и гибридов с высокой урожайностью зеленой массы, с целью заготовки кормов для скота. Селекционеры не планировали получать высокосахаристые сорта, потому что повышенное содержание сахаров отрицательно влияет на качество массы при силосовании [62; 97].

Интерес к сорго сахарному возрастает в условиях Крыма в связи с тем, что сорго может возделываться в южных засушливых районах, где сахарную свеклу выращивать невозможно. В настоящее время на полуострове ведутся исследования по созданию новых высокопродуктивных линий, сортов и гибридов сорго сахарного.

В Институте «Агротехнологическая академия» ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского» большое внимание уделяется селекции и семеноводству сорго. Исследования направлены на создание на основе ЦМС новых линий и гибридов сорговых культур с комплексом ценных морфологических и хозяйственных признаков, кормовых достоинств, высокого урожая надземной массы.

В Государственный реестр селекционных достижений допущенных к использованию в Российской Федерации внесено 16 сортов и гибридов сорго сахарного, зернового, веничного, суданской травы и сорго-суданковых гибридов селекции АТА «КФУ им. В. И. Вернадского»: Крымское 15, Памяти Шепеля, Аграрный 5, Крымбел, Крупинка 10, Коричневая 11, Крымдар 10, Прогресс, НАШ, Украинское 20, Любимое 80, Фиолета, Юбилей 50, Сократор 87, Юбилейный 75 и Чародейка [14; 15; 17; 18; 28; 86].

1.2 Классификация сорго

В соответствии с классификацией покрытосеменных растений А.Л. Тахтаджяна (1987), род *Sorghum* Moench относится к трибе *Andropogoneae* Dum. (Бородачовниковые) семейства *Poaceae* Branh. (Злаки). В настоящее время описано 63 вида сорговых растений, включая 33 вида культурных и 30 видов диких многолетников и однолетников. На их основе выведено более 3000 сортов сорго [85; 97].

Несмотря на то, что сорго выращивается в качестве сельскохозяйственной культуры более четырех тысяч лет, классификация его представляет собой предмет споров не одного поколения ученых. Существует множество видов и сортов, а также промежуточных форм сорго, которые отличаются большим разнообразием эколого-географических условий произрастания и широким распространением, что и привело к затруднениям в видовой классификации.

В 1753 г. К. Линней в своей работе «Species Plantarum» впервые описал три вида сорго: *Holcus sorghum*, *Holcus saccharatus* и *Holcus tricolor*. Позже Moench (1794) разделил род *Holcus* на несколько родов и объединил все виды сорго в новый род *Sorghum*.

В 1917 г. Stapf на основе своих обширных исследований о сорго разделил род *Sorghum* на 2 секции *Eu-sorghum* и *Sorghastrum*. Секции *Sorghastrum* позже был присвоен статус рода.

Snowden (1935, 1955) разделил род *Sorghum* на 2 секции *Eu-sorghum* и *Para-sorghum*, выделив также ряд подсекций и серий на основе морфологических и цитологических признаков. Всего им было описано 28 культурных и 24 диких родственных видов сорго. Stapf и Snowden разделили секции на две подсекции однолетних и многолетних видов [136; 137; 143; 154; 155; 156; 162].

В дальнейшем Е. Garber (1950) разделил род *Sorghum* на 6 подродов. De Welt и Huckabay (1967) в своих работах описывают только один вид *Sorghum bicolor* (L.) Moench с двумя подвидами, несколькими разновидностями и многими расами. Индийскими учеными Chandraqenharina et al. в 1969 г. разработана

классификация из 9 видов сорго. Иванюкович и Доронина (1979) предложили новое секционное деление рода *Sorghum*, разработанное Snowden [97; 106; 112].

В 1969 году Е. С. Якушевским (СССР) была предложена классификация, согласно которой все сорговые культуры разделены по хозяйственно ценным признакам на 4 группы (зерновое, сахарное, веничное и травянистое) [97].

Принято считать, что систематика Е. С. Якушевского, которая, хотя и имеет недостатки, в эволюционно-филогенетическом отношении является более естественной, а в практическом – понятной для применения в сельском хозяйстве.

Согласно современной классификации род *Sorghum* имеет 25 видов, сгруппированных в пять таксономических подро́дов, или секций: *Eu-Sorghum*, *Chaetosorghum*, *Heterosorghum*, *Para-Sorghum* и *Stiposorghum*. Секция *Eu-Sorghum* содержит все одомашненные, культивируемые соргосодержащие расы и сорта, такие как *Sorghum bicolor* subsp. *Bicolor* и несколько диких и сорных видов, включая *S. halepense* (трава Джонсона) и *S. arundinaceum*, известный предшественник *S. bicolor*.

Sorghum bicolor subsp. *Bicolor* имеет $2n = 2x = 20$ хромосом. Культивируемое сорго имеет пять основных рас – *bicolor*, *guinea*, *caudatum*, *kafir*, *durra* и 10 промежуточных рас – *guinea-bicolor*, *caudatum-bicolor*, *kafir-bicolor*, *durra-bicolor*, *guinea-caudatum*, *guinea-kafir*, *guinea-durra*, *kafir-caudatum*, *durra-caudatum* и *kafir-durra*, все признаны путем наблюдения морфологии колоска или метелки [114; 127; 153].

Сорго, как и любая другая культура, имеет три генофонда: первичный (GP 1), вторичный (GP 2) и третичный (GP 3) [102; 167].

По данным электронного ресурса The Plant List, в международной видовой систематике сорго классификация Якушевского (1969) не используется. The Plant List создан в 2013 г. и содержит 1293685 научных названий растений, из которых 350699 являются общепринятыми названиями видов растений.

В настоящее время в зарубежной систематике сорго двуцветное (*Sorghum bicolor*) – сборный вид, включает в себя несколько форм, в том числе сорго сахарное (*Sorghum saccharatum* (L.) Pers.), сорго техническое (*Sorghum*

technicum (Koern.) Rozchev.) и зерновые сорго негритянское (*Sorghum bantuorum* Jakushev.), гвинейское (*Sorghum guineense* Stapf., Jakushev.), китайское (*Sorghum chinense* Jakushev.) и кафрское (*Sorghum caffrorum* Beauv. Jakushev.), считавшиеся видами в классификации Якушевского [162].

В наших селекционных исследованиях по морфо-биологическому изучению и созданию исходного материала для селекции сорго сахарного применяли классификацию Якушевского (1969), согласно которой сорго сахарное является самостоятельным видом (*Sorghum saccharatum*), относящимся к роду *Sorghum*.

1.3 Ботаническая и биологическая характеристика сорго

Сорго сахарное – наиболее адаптированный вид среди злаков, который благоприятно развивается в засушливых условиях. Растение известно за свою засухоустойчивость как «сахарный тростник пустыни», а также «верблюд среди сельскохозяйственных культур» [103; 130; 152].

Корневая система у сорго мочковатая, состоит из множества тонких, густо ветвящихся корней, расходящихся от узла кущения в стороны на 0,6-1,3 м и проникающих на глубину до 3,0 м. Благодаря мощно развитой корневой системе сорго использует запасы питания и влаги из слоев почвы, недоступных для многих других растений. В первые 30-35 суток после появления всходов происходит интенсивное развитие корневой системы, что отражается на замедленном росте надземной массы растения. К 40 суткам происходит увеличение роста стебля в 1,5-2 раза.

Стебли прямостоячие, гладкие, количество междоузлий до 25, высота стебля достигает 2,5-3 м (тропические формы). Из узла кущения формируется от двух до пяти стеблей. По сравнению с другими разновидностями сорго, сорго сахарное формирует меньше зерна, но содержит большое количество сахаров в соке стеблей до 20-25 %. Листья длинные, широкие, ланцетные. У одного растения формируется 25 и более листьев.

Соцветие представляет собой метелку, главная ось которой может быть длинной, стержневой, укороченной или бесстержневой. По форме стержневые метелки бывают цилиндрическими, овальными, округлыми, яйцевидными, пирамидальными; бесстержневые – раскидистыми и поникшими. По плотности расположения ветвей на метелке различают рыхлые, сжатые и комовые. Период формирования метелок зависит от продолжительности вегетационного периода у различных форм сорго, например, у раннеспелых форм метелки образуются на 45-50 сутки после всходов, а у позднеспелых - на 75-100 сутки.

Сорго – факультативный перекрестноопылитель. В среднем цветение продолжается 6-10 дней. Цветение начинается с верхней части метелки, постепенно распространяясь к нижней части. Переопыление у сорго часто происходит в пределах сорта, по принципу избирательности в оплодотворении. В жаркую или очень влажную погоду, а также при искусственной изоляции метелок возможно опыление в пределах одного растения сорго.

После опыления на метелках формируются зерновки. Зерно пленчатое или голое, круглое, либо овальной формы. Масса 1000 семян варьирует от 10 до 60 грамм [97; 101; 108; 140; 160].

Сорго более тесно связано с основными культурами тропического происхождения, такими как кукуруза (*Zea mays* L.), сахарный тростник (*Saccharum officinarum* L.) и жемчужное просо (*Pennisetum glaucum* (L.) R.Br.).

Чрезвычайно важным для продуктивности сахаров является путь фотосинтеза C₄, включающий биохимические и морфологические специализации, которые увеличивают чистую ассимиляцию углерода при высоких температурах. Высокий уровень инбридинга делает сорго привлекательной генетической системой [103; 119; 144].

Для получения максимальной урожайности сорго в течение вегетационного периода требуется средняя температура, составляющая не менее + 25 °С. Максимальная эффективность фотосинтеза достигается в дневное время при температуре не менее + 30 °С. Ночная температура ниже + 13 °С в течение более нескольких дней, может серьезно повлиять на формирование зерна.

Сорго медленно растет при температуре ниже +20 °С, но прорастание и рост будут происходить у некоторых форм и при более низкой температуре (+12 °С). Следовательно, сорго можно выращивать на 40° широты от экватора.

Растениям необходимо от 70 до 100 миллиметров осадков либо полива каждые 10 дней на ранних стадиях роста. По мере развития сорго, корни проникают глубже в почву к грунтовым водам и потребность в осадках или поливе снижается.

Сорго сахарное производит на 23 % больше углеводов, и при этом требует на 37 % меньше азотных удобрений и на 17 % меньше воды, чем кукуруза. Из него можно получить больше этанола, чем из кукурузы. В засушливые годы сорго необходимо 332 кг воды на 1 кг накопленного сухого вещества, тогда как кукурузе требуется 368 кг воды, а пшенице – 514 кг [128; 158; 168].

Адаптированность сорго к абиотическим стрессам, особенно устойчивость к засухе отмечена в литературе. В одной и той же стрессовой среде формирование урожайности сорго выше и стабильнее, чем у других культур.

Сорго возможно выращивать в районах с засоленными почвами, незначительным количеством осадков (400–600 мм) и высокими температурами (тропические и субтропические регионы) из-за его относительно короткого вегетационного периода.

Согласно прогнозируемого сценария изменения климата на планете, повышение температуры воздуха и снижение суммарного выпадения осадков отрицательно повлияет на выращивание большинства сельскохозяйственных культур. Широкая адаптивность сорго может обеспечить снижение потерь урожая в районах, пострадавших от абиотических стрессов [104; 110; 118].

1.4 Использование сорго в производстве

В хозяйственном отношении род *Sorghum* – один из наиболее важных родов, содержащий значительное число весьма полезных растений. К этому роду относится сорго сахарное (*Sorghum saccharatum*), дающее сахарный сироп; сорго

двухцветное (*Sorghum bicolor*) и близкие к нему виды, являющиеся ценными зерновыми растениями. Наконец, многие виды являются декоративными растениями южных садов и парков.

По сообщениям ФАО сорго является пятой по важности сельскохозяйственной культурой (*Sorghum bicolor*) с точки зрения производства после кукурузы, пшеницы, риса и ячменя. Растение широко распространено в районах тропиков и субтропиков с умеренными осадками. Это связано с его способностью выдерживать неблагоприятные условия. Некоторые сорта также выращиваются в умеренном климате.

Сорго – источник зеленого корма и силоса за счет быстрого роста, высокой урожайности и качества биомассы.

При использовании сорго на зеленый корм, необходимо проводить уборку растений за 10 дней до выбрасывания метелки, пока не увеличилась доля содержания клетчатки. При благоприятных погодных условиях во второй половине лета может формироваться второй укос [1; 2; 89; 98].

В свежем виде эту культуру можно употреблять в пищу коровам, козам, овцам и свиньям, так как по уровню питательной ценности данное растение не уступает кукурузе и прочим кормовым культурам. Необходимо отметить, что высокосахаристые формы сорго не подходят в качестве зеленого корма, так как большое количество сахаров отрицательно влияет на пищеварительные процессы у животных [139].

Зеленая масса сорго сахарного обладает высоким содержанием сахаров и хорошо силосуется практически до полной спелости зерна [58, 93].

Немаловажным является применение сорго сахарного в пищевой промышленности. Оно содержит глюкозу, фруктозу, сахарозу, макроэлементы (Ca, Mg, Na, K и др.), незаменимые аминокислоты, протеин, витамины B₁, B₂, C, E и PP. Сахарный сироп и спирт можно производить из сока сорго. Сорговый сироп может быть использован при производстве безалкогольных напитков в качестве источника сахара и натурального красителя.

В настоящее время активно налажено промышленное производство сиропа из сорго сахарного в США, где его выработка составляет около 10 млн. литров в год. Проводятся исследования по получению из сорго сахаросодержащих продуктов кристаллического сахара и спирта в Италии, Румынии и Венгрии.

Оставшаяся после отжима сока измельченная листостебельная масса (багасса) – ценное сырье не только для целлюлозной промышленности, но еще и обладает большим энергетическим потенциалом – в ней находится 2/3 общего запаса энергии. Багассу можно использовать для изготовления биоэтанола, биобутанола, топливных брикетов и пеллет, биогаза и др.

Из сока стеблей сорго сахарного можно получать биотопливо. Запасы крахмала в зерне также могут быть использованы для производства этанола. Важным экономическим фактором является цена производимого продукта, которая в два раза ниже, чем у сахара, получаемого из свеклы [107; 109; 120; 135; 160; 161].

В США и Европе сорго выращивается в промышленных масштабах для производства этанола, который смешивается с ископаемым топливом [15; 123; 132].

В настоящее время площади возделывания сорго в РФ стали увеличиваться (в 2015 г. 220,3 тыс. га). Это связано с усилением аридности климата и более частым использованием культуры как страховой. В Государственном реестре селекционных достижений допущенных к использованию на 2022 г. зарегистрировано 52 сорта и гибрида сорго сахарного.

Во всем мире сорго привлекает внимание селекционеров как богатый источник белков, витаминов и углеводов. Быстрое увеличение населения в сочетании с глобальными климатическими тенденциями, подразумевают, что засухоустойчивые культуры, такие как сорго, будут приобретать все большее значение. Кроме того, многолетние знания о генетическом контроле сорго и прогресс в исследованиях по геномике делают сорго многообещающей культурой для производства биотоплива [28; 76; 77; 115; 126; 144; 153].

РАЗДЕЛ 2 УСЛОВИЯ, МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1 Почвенно-климатические условия

Характеристика почв. Опытное поле Института «Агротехнологическая академия» ФГАОУ ВО «КФУ имени В.И. Вернадского» (пгт Аграрное, г. Симферополь), где проводились опыты, расположено в зоне предгорных степей полуострова Крым. Тип почвы – чернозем южный, мицелярно-карбонатный, малогумусный, среднеспособный, местами щебенчато-хрящеватый на красно-бурых плиоценовых глинах. Почвы этой зоны были подробно изучены отечественными учеными-почвоведом, как например, Н.Н. Клепининым, В.Н. Ивановым, П.Г. Гусевым и И.Я. Половицким [33; 42; 48; 74].

Гумусовый горизонт А темно-серый с буроватым или каштановым оттенком, а переходный горизонт В – с красноватым оттенком. Мицелярно-карбонатные черноземы обладают среднеспособным гумусовым профилем (мощность А+В составляет 55-70 см). В почвенном профиле выражен горизонт белоглазки на глубине 65-130 см, а гипса – на 150-200 см.

Анализируя водно-физические свойства, необходимо отметить, что объемная масса почвы до глубины 60 см изменяется в оптимальных пределах. Постепенное увеличение объемной и удельной массы по профилю почвы объясняется снижением содержания органического вещества с глубиной и постепенной заменой его минеральной частью почвы, обладающей более высокими показателями плотности и удельной массы. Высокая скважность таких почв является важнейшим фактором высокой их влагоемкости. Поэтому зимние осадки накапливаются в почве преимущественно в корнеобитаемом слое. Однако, количество доступной влаги в почве недостаточно, вследствие высокого порога влажности завядания.

Общая глубина гумусированной части почв составляет 55-70 см, из них 25-40 см приходится на верхний перегнойно-аккумулятивный горизонт. Чернозем слабогумусированный. Содержание гумуса в пахотном слое – 2,6-2,9 %. В метровом объёме запасы его составляют 200-230 т/га, из них в слое 0-20 – 25,7 %, полуметровом – около 68 %, в слое 50-100 см – до 32 %.

Содержание валового азота в верхнем гумусовом слое составляет 0,20-0,26 %, в нижнем 0,085-0,097 %. Запасы общего азота в слое 0-100 см – свыше 22 т/га. Гидролизуемого азота в пахотном слое – 11 мг/100 г сухой почвы. Фосфора в пахотном слое содержится 0,098 %, в подпахотном – снижается до 0,075 %. Обеспеченность карбонатных почв доступными фосфатами при таком содержании для зерновых культур считается низкой. Поэтому отмечается высокая эффективность фосфорных удобрений. В то же время, отсутствует эффективность калийных удобрений, так как обеспеченность данных почв калием (К) считается высокой. Содержание валового К – 1,18-1,22 % и подвижного 27,8-33,5 %. Почва вскипает с поверхности: с глубиной количество карбонатов резко возрастает, рН водной суспензии составляет 7,2-7,4 [32; 51; 75; 79].

Эти почвы по агрохимическим и водно-физическим свойствам пригодны для выращивания сельскохозяйственных культур, в том числе и сорго.

Климатические условия. Немаловажным является изучение климата данной зоны, его пригодность для роста и развития исследуемых сельскохозяйственных растений. Для предгорных степей Крыма характерен климат умеренно-континентальный с засушливым летом. Изменение температуры воздуха почти совпадает с изменением притока солнечной радиации в течение года. Средняя годовая температура + 9,2 – +10,3 °С. Лето жаркое (средняя температура выше + 20 °С, температура самого теплого месяца – июля + 20,9 °С). Зима непродолжительная. Температура самого холодного месяца (января) +0,7 °С.

Количество атмосферных осадков составляет около 500 – 600 мм/год. Характерной особенностью климата степей является выпадение основного объема осадков в теплый период – с апреля по октябрь месяц, ориентировочно

соответствующий вегетационному периоду – 294,5 мм, что составляет 63 % от годового их количества.

Июль отличается наибольшим количеством осадков. В этом месяце бывает до 70 мм атмосферных осадков. Минимум осадков наблюдается в феврале – апреле (28-31мм). Испаряется из почвы в среднем за год 780-855 мм влаги [75].

Облачность чаще наблюдается в холодное время года. Продолжительность солнечного сияния составляет 2250-2300 часов в год. Для зоны предгорных степей характерен длительный засушливый период (около 260 дней в году) [6;8].

Засушливые явления (засухи и суховеи) наносят большой вред сельскохозяйственному производству. Над территорией Крыма в июне-июле преобладает антициклон, сформировавшийся в массах полярного или арктического воздуха. Летние засухи в степной части - почти ежегодное явление, их повторяемость – 80-90 %. Осенние засухи наблюдаются реже, их повторяемость – 20 %.

По-разному переносят засуху сельскохозяйственные культуры. Для преодоления отрицательного воздействия засух осуществляется ряд мер: обеспечение рациональной структуры посевных площадей, агротехнически обоснованных севооборотов культур и др. Полностью устранить влияние засухи возможно лишь с помощью орошения.

Одним из наиболее опасных атмосферных явлений в Крыму считаются также суховеи. В степной части Крыма отмечается в среднем 10-20 дней с суховеями. Повторяемость и интенсивность суховеев в значительной мере зависит от преобладающей скорости ветра в том или ином районе.

Пыльные бури в Крыму – сравнительно редкое явление, повторяемость их увеличивается в засушливые и суховейные годы. Чаще всего пыльные бури возникают при скорости ветра 10 м/с и более. В весенне-летние месяцы среднее число дней с пыльной бурей 2-9, а в осенне-зимние – не более 5 дней за 10 лет. В среднем за год в степных районах бывает 5-6 дней с пыльной бурей [20; 49; 50].

Таким образом, учитывая особенности умеренно-континентального климата и почвенного покрова зоны предгорных степей полуострова Крым, можно сделать заключение, что данная территория пригодна для выращивания сорговых культур. При оптимальных погодных условиях сорго на таких почвах формирует сравнительно высокие и стабильные урожаи, что предопределяет его возделывание в данной зоне.

2.2 Погодные условия в период вегетации сорго

Длительность фенологических фаз и межфазных периодов, ростовые процессы и развитие растений, содержание сахаров в соке стеблей и урожайность обусловлены значительной зависимостью от климатических факторов, в особенности от температуры воздуха и количества осадков.

Информация о погоде получена с метеорологической станции Симферополь (Крым, Россия). Современное местоположение метеостанции: широта 45.03, долгота 33.97, высота над уровнем моря 181,0 м [82].

При изучении метеорологических условий в период проведения исследований установлено, что погодные условия неоднородны по годам, а показатели температуры воздуха и осадков значительно отличаются от средних многолетних значений:

2020 год. В мае 2020 г., как и в июне 2019 г., после сильных ливней наблюдалось вымывание растений из почвы. Период всходов был продолжительным, и у некоторых образцов составил до 19 дней. Особенностью летних месяцев было выпадение небольшого количества осадков, например, в июне суммарно выпало 31,0 мм осадков при норме 58,0 мм. Недостаток осадков отрицательно повлиял на динамику роста растений.

Средние месячные температуры воздуха летом не превышали среднемноголетние значения, но в отдельные дни дневные температуры достигали + 36,4 °С [82].

Погодные условия осеннего периода характеризовались повышенными среднемесячными температурами воздуха. В сентябре отклонение от нормы составило + 3,8 °С, а в октябре + 5,2 °С.

Обильные осадки в мае 2022 г. после всходов растений, отсутствие осадков в летний и осенний период, а также повышенные дневные температуры повлияли на сорговые культуры, вызвав повторные всходы, замедление в росте и развитии образцов, а также снижению урожайности зеленой массы.

2021 год. Ситуация с высоким уровнем осадков в начале вегетации сорго в 2023 г. не изменилась, как и в предыдущие годы, после сильных ливней наблюдалось вымывание растений из почвы. В мае выпало 79 мм осадков, что больше нормы на 44 мм. Температура воздуха в весенний период 2023 г. характерна для климата региона исследований.

В Крыму метеостанция аэропорта г. Симферополя зафиксировала 19 и 20 июля 2023 г. абсолютные дневные температурные рекорды: + 36,6 и + 36,8°С, превышая предыдущие максимальные показатели на + 1,4 (2002 г.) и + 0,8 °С (2007 г.) соответственно. В июле и августе средние температуры воздуха превысили среднемесячные показатели на + 2,6 и + 2,2 °С, а осадки выпали выше нормы на 24 и 34 мм соответственно.

Осенний период характеризовался понижением среднемесячных температур впервые за четырехлетний период исследований сорго сахарного. В сентябре выпало 89 мм осадков, превысив норму на 47 мм.

2022 год. Средняя температура воздуха в апреле-мае составила + 13,5 и + 18,6 °С, превысив среднее многолетнее значение на 3,6 и 3,5 °С. Суммарное количество осадков в апреле составило 4,0 мм, что на 30,0 мм меньше среднемноголетнего показателя, а в мае число осадков соответствовало норме. Согласно данным таблицы 2.1 показатели не повлияли на снижение всхожести у сорго.

Температуры летнего периода превышали среднемноголетние на 1,2-2,8 °С. Июнь и август были засушливыми, в эти месяцы отсутствовали осадки, либо выпало их намного меньше нормы. Необходимо отметить, что сильные

ливни в июле суммарно обеспечили 96,0 мм осадков, превысив среднемноголетний показатель на 51,0 мм. Это в значительной степени повлияло на активизацию роста надземной массы сорго сахарного, компенсировав замедленное развитие растений из-за недостатка осадков в июне.

Таблица 2.1 – Температура воздуха (°C) и количество осадков (мм) в годы проведения исследований (по данным метеостанции в г. Симферополе)

Показатель	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.	Среднее значение за 4 года	Среднее многолетнее значение
Средняя температура воздуха, °C						
апрель	9,3	9,0	13,5	10,1	10,5	9,9
май	14,8	16,2	18,6	17,3	16,7	15,1
июнь	21,3	19,6	22,2	23,3	21,6	19,5
июль	21,4	24,9	23,5	22,6	23,1	22,3
август	23,2	24,2	24,8	23,3	23,9	22,0
сентябрь	20,7	16,0	18,8	18,0	18,4	16,9
октябрь	16,5	10,0	13,8	13,4	13,4	11,3
Сумма осадков, мм						
апрель	17,0	34,0	4,0	34,0	22,3	34,0
май	53,0	79,0	35,0	13,0	45,0	35,0
июнь	31,0	65,0	11,0	71,0	44,5	58,0
июль	54,0	69,0	96,0	21,0	60,0	45,0
август	35,0	86,0	0	33,0	38,5	52,0
сентябрь	51,0	89,0	82,0	14,0	59,0	42,0
октябрь	22,0	7,0	39,0	18,0	21,5	42,0

В фазу «полной спелости» температуры воздуха превышал среднемноголетний показатель на 1,9-2,5 °C. Сумма осадков в сентябре превысила норму на 40,0 мм, вызвав у некоторых образцов сорго сахарного эффект «разбавления сахаров» в соке стеблей.

Данное заключение основано на сравнении процентного содержания сахаров в соке стеблей у исследуемых образцов в течение четырехлетнего периода проведения опытов.

2023 год. Средние температуры в весенние месяцы 2023 г. незначительно превысили среднемноголетние показания. В мае суммарное количество осадков составило 13,0 мм. В условиях недостатка влаги наблюдались слабые,

изреженные всходы сорго. А сильные осадки после всходов в июне 2021 г. вызвали смыв почвы, и в некоторых случаях, вымывание растений из почвы. Сложившаяся ситуация привела ко второй волне всходов и длительному периоду органогенеза у некоторых образцов. Если в благоприятный год всходы получали через 7-8 суток, то в этом году всходы растягивались до 23 суток [100].

В последующие месяцы до уборки урожая сорго суммарное количество осадков было ниже нормы на 19,0-28,0 мм, а средние температуры превышали норму не более чем на 2,1°C.

Таким образом, метеорологические условия в 2023 г. были благоприятны для формирования урожая и содержания сахаров в соке стеблей у сорго сахарного.

Сравнение средних значений температуры воздуха за четыре года со средними многолетними позволяет сделать вывод о повышении температуры воздуха в период исследований, например, в июне и октябре показатель превышает среднемноголетний на + 2,1 °С. Таким образом, в течение 2020-2023 гг. исследований выявлено, что в летний период 2021 года, несмотря на высокие температуры воздуха, осадки благоприятно повлияли на развитие зеленой массы сорго. Неблагоприятными для исследуемых образцов оказались метеорологические условия в 2020 году, отрицательно повлияв на урожайность и содержание сахаров в соке стеблей сорго сахарного. Погодные условия в 2022-2023 гг. были более благоприятны для данной культуры, это можно наблюдать на примере биометрических показателей, и урожайности надземной массы сорго.

2.3 Агротехника. Методика проведения исследований

Полевые исследования в 2020-2023 гг. проводились на кафедре земледелия и растениеводства в селекционном севообороте на опытном поле Института «Агротехнологическая академия» ФГАОУ ВО «КФУ имени В. И. Вернадского».

Агротехника проведения опытов заключалась в уборке предшественника (злаковые культуры), немедленном лущении стерни, осенней отвальной вспашке, ранневесенней культивации зяби на глубину 5-6 см, при необходимости (при большой засоренности) за две недели до посева обработки поля гербицидом сплошного действия, предпосевной культивации на глубину посева семян сорго.

Для прорастания семян сорговых культур необходимы погодные условия, при которых среднесуточная температура воздуха достигает +12,0 – +15,0 °С. В Крыму такому периоду соответствует первая половина мая.

Посев опытов сорго сахарного проводили пневматической селекционной сеялкой точного высева «Клен-2.8». Глубина заделки семян составляла 5-6 см. Способ посева – широкорядный. Проводили довсходовое боронование через 3-4 дня после сева.

На образцах сорго сахарного в фазе 3-5 листьев против сорняков осуществляли обработку гербицидами (Балерина), против тли работали инсектицидами (Кинфос). Через 8-10 дней проводили первую междурядную культивацию на пониженных скоростях, а через две недели после первой – вторую с окучиванием растений.

При выращивании сорговых культур придерживались общепринятой агротехники в данной зоне. Делянки питомника исходного материала однорядковые, площадью 7 м², закладывались в трехкратной повторности.

В питомниках гибридизации высевались стерильные аналоги линий и фертильные формы, где вручную проводилось опыление. В испытаниях гибридов, фертильных и их родительских форм делянки двухрядковые, площадью 14 м², повторность трехкратная. В качестве контроля использовали районированный сорт сорго сахарного Памяти Шепеля. На всех делянках изолировали типичные по морфологическим признакам метелки для получения самоопыленных семян.

Опыты закладывались систематическим методом. При закладке опытов руководствовались специальными методами полевого опыта (Б.А. Доспехов, 1979, 1985), методикой государственного сортоиспытания сельскохозяйственных

культур (1989, 2019), методикой по селекции и семеноводству гибридного сорго (Н.А. Шепель, 1985) [36; 37; 63; 81; 96].

Динамика показателей начального роста растений определялась по методике проведения экспертизы на отличие, однородность и стабильность сорго сахарного [65].

В течение вегетационного периода проводили фенологические наблюдения. Фиксация фаз и межфазных периодов развития растений осуществлялась в одно время, через один день, одним лицом. При фенологических наблюдениях регистрировали даты начала (у 10-15 % растений наступила данная фаза) и полного наступления каждой из фаз (75 % растений в данной фазе): всходов, появления метелок, цветения и спелости зерна.

Все изучаемые образцы по продолжительности вегетационного периода были разделены на 5 групп [64].

Перед уборкой – биометрические замеры, учитывая такие показатели, как количество продуктивных стеблей, количество надземных междоузлий у главного стебля и высота главного стебля, высота подгона, длина метелки, выход ножки метелки из раструба верхнего листа, длина ножки метелки, длина и ширина третьего от метелки листа.

Определение количественных признаков у сорго проводилось согласно методике проведения экспертизы на отличие, однородность и стабильность сорго сахарного, например:

- высота растений, см: очень низкая (75-100), низкая (101-150), средняя (151-200), высокая (201-250 см), очень высокая (>250);

- длина метелки, см: очень короткая (<6), короткая (10-20), средняя (21-30), длинная (31-40), очень длинная (>40);

- лист по длине, см: очень короткий (<45), короткий (45-60), средний (61-75), длинный (76-90), очень длинный (>90);

- лист по ширине, см: очень узкий (<5), узкий (5,0-7,5), средний (7,6-10), широкий (10,1-12,5), очень широкий (>12,5) [65].

В фазу восковой спелости зерна у растений сорго определяли содержание сахаров в соке стеблей. В этот период в растениях накапливается наибольшее количество сахаров. Сок извлекали из стебля на уровне третьего или четвертого междоузлия у пяти растений с изолированной метелкой. Содержание сахаров в соке стеблей сорго в поле определяли с помощью рефрактометра [163].

Учет урожая проводили в фазу восковой спелости зерна. Урожайность образцов определяли вручную, срезая (серпами) надземную массу растений со всей площади каждой делянки (7 м² или 14 м², повторность трехкратная) и взвешивания ее на весах. Одновременно определяли структуру урожая (массу стеблей, листьев и метелок).

При изучении оценки реакции на ЦМС у форм сорго использовали трехбалльную шкалу Роджерса и Эдвардсона, аналогичную трехбалльной шкале для кукурузы [13; 148; 149].

Оценку самоопыленных и стерильных линий на ОКС и СКС проводили согласно методическим рекомендациям по применению методов для анализа экспериментальных данных по изучению комбинационной способности [67].

Изучение эффекта гетерозиса проводили в трех направлениях: истинный гетерозис ($F_{ист.}$), характеризуемый как существенное превышение показателей гибрида по данному признаку от показателя лучшей родительской формы, гипотетический ($F_{гип.}$) – существенное превышение значения гибрида над средним значением обеих родителей и конкурсный гетерозис ($F_{конк}$) – превышение над контролем:

$$F_{ист} = \frac{F_1 - P_{max}}{P_{max}} \cdot 100 \% ; \quad (1)$$

$$F_{гип} = \frac{F_1 - P_{cp.}}{P_{cp.}} \cdot 100\% ; \quad (2)$$

$$F_{конк} = \frac{F_1 - P_{st}}{P_{st}} \cdot 100 \% ; \quad (3)$$

где F_1 – среднее значение признака у гибрида;

$P_{cp.}$ – среднее значение обеих родителей;

P_{\max} – среднее значение у лучшей родительской формы;

P_{st} – среднее значение признака у контроля [29].

Коэффициент доминирования определяли по формуле:

$$h_p = \frac{F_1 - MP}{P - MP}; \quad (4)$$

где: h_p – коэффициент доминирования;

F_1 – среднее значение признака в F_1 ;

MP – среднее значение обоих родителей;

P – среднее значение лучшего родителя или с большим значением признака.

Определение сухого вещества проведено согласно ГОСТ Р 56912-2016. Корма зеленые. Технические условия и ГОСТ 31640-2012. Корма. Методы определения содержания сухого вещества.

Определение содержания сырой золы, сырой клетчатки, сырого жира и сырого протеина выполнены согласно ГОСТ 32933-2014, ГОСТ 13496.4-2019, ГОСТ 13496.15-2016 и ГОСТ 31675-2012 [22; 23; 24; 25; 26; 27].

Расчет энергетической ценности зеленых кормов, выраженной в показателях обменной энергии (для крупного рогатого скота) проводили с учетом содержания сырой клетчатки, сырого протеина, сырого жира и безазотистых экстрактивных веществ согласно стандартным методикам [66].

На основе обменной энергии установили энергетическую питательность кормов, которая выражается в энергетических кормовых единицах (ЭКЕ) [66; 84].

Расчет кормо-протеиновых единиц (КПЕ) вычисляли по формуле:

$$\text{КПЕ} = \frac{(\text{К.е.} + 12 \times \text{ПП})}{2}; \quad (5)$$

где К е. – содержание кормовых единиц;

ПП – содержание переваримого протеина [68].

Оценка экономической эффективности выращивания сорговых культур проводилась согласно методическим рекомендациям [70; 99].

Полученные данные обрабатывали с помощью дисперсионного и корреляционного анализа [37; 38; 80].

2.4 Селекционный исходный материал

Нами были заказаны и получены семена 30 сортов, линий и форм сорго сахарного (*Sorghum saccharatum*) различного географического происхождения коллекции ФГБНУ «ФИЦ Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова» (ВИР).

В 2020 г. отобрано 12 сортов, линий и форм сорго сахарного селекции Института «Агротехнологическая академия» ФГАОУ ВО «КФУ имени В.И. Вернадского» (таблица 2.2).

Таблица 2.2 – Перечень исходного материала для селекции сорго сахарного, 2020 г.

Название сорта, линии, формы	Происхождение
Сорта, линии, формы коллекции ВИР им. Н.И.Вавилова	
White Afri	США, Техас
Leoti Red sorgo	США, Канзас
Сорго	Абхазия
Оранжевое сочстемельное	Краснодар. кр.
Lango, Olwa	Уганда
Early Amber	Мозамбик
Szegedi barna	Венгрия
«Fekete maguar»	Венгрия
S.sucre	Франция
Rox orange	Бразилия
Kansas orange	Бразилия
Janjare Ja	Нигерия
Early Fulgar	Судан
Сумэк ранний	Венгрия
Yrano vestido dl/59/943	ЮАР
S.Saccharatum 11 NS №9	Югославия
Одесское холодостойкое	Украина
Ранний янтарь Кинельский	Самарск.обл., ПНИИСС
Комплексное 138	Украина
Янтарь кубанский 64	Краснодар. кр.
Волжское 51	Краснодар. кр.
Янтарь красный 271	Краснодар. кр.
Оранжевое 160	Краснодар. кр.
Кинельское 4	Самарск.обл., ПНИИСС
Зерноградский янтарь	Ростовская обл.

Продолжение таблицы 2.2

Лиственит	Ростовская обл.
Флагман	Саратовская обл.
Крымское	Украина
Цукровское	Украина
Гиссарское 45	Таджикистан
Сорта, линии, формы селекции АТА «КФУ им. В.И.Вернадского»	
Памяти Шепеля (контроль)	Д733-17 г.
ГСК 13	Д723-17 г.
Крымский сладкий	Д726-17 г.
Крымский сладкий 30	Д727-17г.
Крысакор 12/1	Д729-17г.
Питательное	Д730-17г.
Крымское 15	Д732-17 г.
Гор 2-13	Д734-17 г.
ИСН 2-12	Д735-17 г.
Просвет 1/1	Д738-17 г.
ПНС 2-13	Д740-17г.
Новинка 2	Д743-17г.

В качестве материнского компонента в 2020-2023 гг. выбрано 8 стерильных аналогов линий сорго коллекции АТА: 4 стерильных аналога линий сорго зернового (Бурана 24С, Искра 2С, Перспектива 80С, Апича С), 2 стерильных гибрида ((Коричневая 11С x ГОС 11)С, (Искра 2С x ГОС 11)С) и 2 стерильных аналога линий сорго сахарного (ГОС 11С и Сарваши С).

Всего было отобрано 42 сорта, линии, формы и 8 стерильных аналогов линий сорго для селекционной работы. В результате начальной селекционной работы была выбракована часть образцов коллекции ВИР по ряду причин – плохая всхожесть семян, различные сроки цветения с материнскими формами, гибель растений. При проведении исследований в 2020-2023 гг. получен 101 гибрид сорго сахарного путем искусственного опыления образцов сорго сахарного коллекции ВИР и селекции АТА. Из них выделено по морфо-биологическим и хозяйственно -ценным признакам 27 лучших гибридов сорго сахарного.

РАЗДЕЛ 3 КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА РОДИТЕЛЬСКИХ ФОРМ СОРГО САХАРНОГО

3.1 Изучение селекционных образцов сорго сахарного

Первый этап нашей селекционной работы заключался в изучении 30 форм, сортов и линий сорго сахарного коллекции ВИР им. Н. И. Вавилова и 12 форм, сортов и линий сорго сахарного селекции Института «Агротехнологическая академия» ФГАОУ ВО «КФУ имени В.И. Вернадского» и в выделении лучших из них для гибридизации.

Выделение онтогенетических фаз М.Х. Чайлахяном (1958) дает обобщенные сведения о развитии растений [92].

Большого внимания заслуживает оценка образцов по длине вегетационного периода, на необходимость которой еще в 30-е гг. XX в. указывали Н.И. Вавилов и Н.Н. Кулешов. В засушливых условиях Крыма более высокие урожаи отмечаются у средне- и позднеспелых форм сорго сахарного. Благодаря длительному вегетационному периоду позднеспелые формы захватывают осадки сентября месяца.

В результате фенологических наблюдений 2020 - 2023 гг. установлено, что наиболее коротким период «всходы - выметывание» был у сортов, линий и форм Кинельское 4, Питательное (53-57 суток) и наиболее продолжительный у Rox orange, Крымское 15, Крымское (73-75 сут.) (таблица 3.1).

У большинства сортов, линий и форм (76 %) метелки сформировались на 61-71 сутки после всходов, например, Флагман (61 сут.), Early Amber (62 сут.), Early Fulgar (63 сут.), ПНС 2-13 (67 сут.), Fekete maguar (70 сут.), Лиственит (71 сут.).

Таблица 3.1 – Морфо-биологическая характеристика сортов, линий и форм сорго сахарного, 2020-2023 гг.

Название сорта, формы, линии	Вегетационный период, сутки		Высота растений, см	Длина метелки, см	Лист, см		Количество междоузлий, шт.	Диаметр стебля, см
	всходы-выметывание	всходы - полная спелость			длина	ширина		
Памяти Шепеля контроль	67	107	202,9	26,4	60,4	7,9	10	1,6
Сорго Абхазия	68	103	158,0	20,7	59,5	7,4	9	1,5
Просвет 1/1	66	108	156,6	16,7	67,7	7,0	10	1,9
Крымский сладкий	68	108	194,5	28,5	67,3	6,3	9	1,5
Крысакор 12/1	62	105	200,0	26,5	63,1	8,3	10	1,7
ПНС 2-13	67	108	196,8	29,9	60,6	6,1	9	1,4
Fekete maguar	70	108	217,8	24,7	64,8	7,4	11	1,6
Early Fulgar	63	109	174,8	27,0	62,1	7,8	10	1,8
Kansas orange	71	112	204,3	25,8	62,0	7,8	11	1,8
Зерноградский янтарь	67	108	170,7	23,6	64,0	7,1	10	1,6
Лиственит	71	111	189,7	26,2	53,5	7,1	11	1,6
Крымское 15	74	116	205,5	24,3	63,3	9,7	13	2,1
Питательное	57	108	166,0	23,0	49,6	6,6	9	1,3
Крымское	75	112	167,4	21,5	58,4	8,5	11	1,9
Szegedi barna	70	111	175,8	21,4	58,9	6,7	9	1,6
Lango, Olwa	71	110	152,6	22,4	55,1	8,3	11	2,0
Rox orange	73	111	189,3	23,1	61,5	7,2	10	1,7
Кинельское 4	53	97	156,0	25,8	44,9	5,2	7	1,5
Флагман	61	107	184,5	27,0	57,2	5,7	9	1,7
Цукровское	69	106	190,9	27,8	65,4	7,0	10	1,8
Early Amber	62	108	184,5	27,3	64,0	5,9	9	1,4
НСР 05	7,6	5,9	27,2	8,6	8,9	1,3	1,9	0,3

По длине вегетационного периода в 2020-2023 гг. сорта, линии и формы разделены на группы: раннеспелые (до 100 суток) – 1 (Кинельское 4), среднеранние (101-110 суток) – 14 (Крысакор 12/1, Сорго Абхазия, Цукровское, Памяти Шепеля, Флагман, Просвет 1/1, Крымский сладкий, ПНС 2-13, Fekete maguar, Зерноградский янтарь, Питательное, Early Amber, Early Fulgar и Lango, Olwa), среднеспелые (111-120 суток) – 6 (Лиственит, Крымское 15, Крымское, Szegedi barna, Rox orange, Kansas orange). Большинство растений (95 %) отнесено к среднеранним и среднеспелым образцам.

При изучении морфо-биологических особенностей сорго сахарного высота растений является весьма важным признаком. Она положительно коррелирует с таким признаком, как урожайность зеленой массы.

По результатам четырехлетних исследований самые высокие растения отмечены среди сортов, линий и форм Fekete maguar – 217,8 см, Крымское 15 – 205,5 см, Kansas orange – 204,3 см, Памяти Шепеля – 202,9 см. Большинство образцов можно отнести к среднерослым (200-151 см): Крысакор 12/1 – 200,0 см, ПНС 2-13 – 196,8 см, Цукровское – 190,9 см, Early Fulgar – 174,8 см, Просвет 1/1 – 156,6 см, Питательное – 166,0 см, Lango, Olwa – 152,6 см и др.

Метелки с зерном сорго сахарного не используются в качестве сырья для получения сахарной патоки, но их можно использовать в качестве корма для животных, биотоплива, в технической промышленности и др. Метелки средней длины (21-30 см) отмечены у большинства сортов, линий и форм, например, Флагман (25,7 см), Крымский сладкий (30,0 см).

Выход ножки метелки из раструба верхнего листа у исследуемых образцов составил до 19,4 см (Кинельское 4), а длина ножки метелки от 24,5 см (Крымское 15) до 49,0 см (Крысакор 12/1).

Размеры листа влияют на фотосинтетическую активность растений сорго. Большинство исследуемых образцов относились к растениям с коротким (45,0-60,0 см) и узким листом (5,0-7,5 см): Лиственит (53,5 х 7,1 см), Кинельское 4 (44,9 х 5,2 см), Питательное (49,6 х 6,6 см) Сорго Абхазия (59,5 х 7,4 см); со средним по длине (61,0-75,0 см), но узким по ширине листом (5,0-7,5 см): Early Fulgar (62,1 х 7,8 см), Kansas orange (62,0 х 7,8 см); со средней длиной и шириной (61,0 - 75,0 и 7,6 - 10,0 см) листа: ПНС 2-13 (60,6 х 6,1 см), Fekete maguar (64,8 х 7,4 см). Количество междоузлий на стебле было на уровне 7-11 шт. и только сорт Крымское 15 значительно превосходит по этому показателю другие формы – 13 междоузлий. С наибольшим диаметром стебля отмечены: Крымское 15 – 2,1 см и Lango, Olwa – 2,0 см.

Исследование вышеуказанных признаков способствует морфо - биологической оценке будущих гибридов, так как согласно исследованиям, гибрид приобретает признаки лучшей родительской формы [96].

Содержание сахаров в соке стеблей – один из важных признаков сорго сахарного.

В результате исследований 2020 г. было установлено, что наименьшее содержание сахаров у сортов и форм Зерноградский янтарь (8,0 %), Fekete maguar (7,0 %) и Цукровское (9,0 %). Большинство образцов содержало 15,0 - 16,0 % водорастворимых сахаров в соке, например, Szegedi barna (15,0 %), Lango, Olwa (16,0 %), Rox orange (16,0 %), Флагман (15,5 %) (таблица 3.2.).

Таблица 3.2 – Содержание сахаров в соке стеблей сортов, линий и форм сорго сахарного, 2020-2023 гг.

Название сорта, линии, формы (А)	Содержание сахаров в соке стеблей (В), %				
	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.	в среднем по фактору А
Памяти Шепеля контроль	20,0	17,5	16,0	16,7	17,5
Сорго Абхазия	17,7	18,0	14,0	13,0	15,7
Просвет 1/1	18,5	22,7	16,2	16,7	18,5
Крымский сладкий	19,2	18,0	19,0	16,3	18,1
Крысакор 12/1	15,3	17,5	17,0	19,3	17,3
ПНС 2-13	17,3	19,5	17,5	17,3	17,9
Early Fulgar	16,3	14,7	14,5	17,2	15,7
Лиственит	10,0	21,0	23,0	19,0	18,3
Крымское 15	15,8	15,0	15,5	16,3	15,7
Питательное	15,2	17,0	20,3	16,7	17,3
Крымское	17,0	17,3	17,7	17,0	17,3
Szegedi barna	15,0	15,8	16,7	19,0	16,6
Lango, Olwa	16,0	17,5	19,0	16,7	17,3
Rox orange	16,0	18,3	20,7	18,7	18,4
Кинельское 4	15,0	16,3	17,7	16,3	16,3
Флагман	15,5	16,9	18,3	17,3	17,0
Цукровское	9,0	15,0	19,3	17,3	15,2
Kansas orange	15,8	18,7	19,8	19,0	18,3
Зерноградский янтарь	8,0	17,7	20,8	13,7	15,0
Fekete maguar	7,0	17,0	19,7	19,0	15,7
Early Amber	17,8	16,0	17,3	16,4	16,9
в среднем по фактору В	15,1	17,5	18,1	17,1	17,0
НСР ₀₅ А, %	0,93				
НСР ₀₅ В, %	0,35				
НСР ₀₅ АВ, %	1,68				

Наибольшее содержание сахаров в соке стеблей у сортов и линий селекции АТА «КФУ им. В.И. Вернадского»: Памяти Шепеля (20,0 %), Просвет 1/1 (18,5 %), Крымский сладкий (19,2 %).

В 2021 г. содержание растворимых сахаров в стеблях сорго сахарного составило от 14,7 (Early Fulgar) до 22,7 % (Просвет 1/1), а в 2022 г. до 23 % (Лиственит). Выявлены высокосахаристые сорта, линии и формы в 2022 г.: Сорго Абхазия, Просвет 1/1, Крымский сладкий, ПНС 2-13, Лиственит, Питательное, Флагман, Lango, Olwa, Rox orange, Цукровское и др. содержанием сахаров 18,0-22,7 %.

Содержание сахаров в 2023 г. у сортов, линий и форм сорго до 18,7-19,3 % (Крысакор 12/1, Szegedi barna, Лиственит, Kansas orange, Fekete maguar).

Подводя итоги, следует отметить, что в результате исследований 2020-2023 гг. выявлены образцы с высоким содержанием сахаров: Питательное, Крысакор 12/1, Крымское, Lango, Olwa, Памяти Шепеля, ПНС 2-13, Крымский сладкий, Лиственит, Kansas orange, Rox orange, Просвет 1/1. В соке стеблей данных сортов, линий и форм содержится более 17 % сахаров. Образцы с повышенным содержанием сахаров рекомендовано использовать в гибридизации для создания высокосахаристых форм сорго сахарного.

Сорго – высокоурожайная культура, и даже в условиях недостатка влаги она дает стабильные сборы надземной массы и зерна. Анализируя четырехлетние исследования по урожайности надземной массы образцов сорго, наибольшая урожайность наблюдалась в 2020 г. у сортов, линий и форм: Крымское 15 (49,1 т/га), Kansas orange (43,7 т/га), Fekete maguar (42,1 т/га); в 2021 г. у форм: Крымское 15, Kansas orange (60,5 и 73,9 т/га); в 2022 г. у Крымское 15 (39,5 т/га), Сорго Абхазия (39,4 т/га), Kansas orange (37,0 т/га); в 2023 г. – Крымское 15 (46,3 т/га), Лиственит (39,7 т/га), Зерноградский янтарь (37,3 т/га).

Урожайность образцов коллекции ВИР им. Н.И. Вавилова составила в 2020 - 2023 гг. до 46,9 т/га (Kansas orange). У образцов сорго сахарного селекции АТА КФУ им. В. И. Вернадского лучшая урожайность надземной массы – 48,9 т/га (Крымское 15) (таблица 3.3).

Таблица 3.3 – Урожайность сортов, линий и форм сорго сахарного, 2020-2023 гг.

Название сорта, линии, формы (А)	Урожайность надземной массы (В), т/га				
	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.	в среднем по фактору А (НСР ₀₅ А = 2,1 т/га)
Памяти Шепеля контроль	33,6	53,3	33,5	33,1	38,4
Сорго Абхазия	31,9	46,8	39,4	35,4	38,4
Просвет 1/1	31,0	34,5	32,7	33,7	33,0
Крымский сладкий	26,5	32,4	29,5	28,4	29,2
Крысакор 12/1	28,7	39,6	34,1	31,5	33,5
ПНС 2-13	34,5	32,9	30,3	32,0	32,4
Early Fulgar	29,8	46,4	27,9	28,9	33,2
Лиственит	32,6	50,4	34,8	39,7	39,4
Крымское 15	49,1	60,5	39,5	46,3	48,9
Питательное	24,9	35,7	20,3	22,9	25,9
Lango, Olwa	16,3	22,0	27,6	35,3	25,3
Early Amber	32,9	42,5	20,8	22,2	29,6
Fekete maguar	42,1	55,6	19,8	35,2	38,2
Kansas orange	43,7	73,9	37,0	32,8	46,9
Зерноградский янтарь	25,7	56,3	19,3	37,3	34,6
Крымское	41,3	31,5	21,6	34,1	32,1
Szegedi barna	28,7	28,9	29,1	29,1	28,9
Rox orange	37,1	31,5	26,0	29,2	30,9
Кинельское 4	15,1	15,3	15,5	17,0	15,7
Флагман	21,5	20,7	19,9	32,9	23,8
Цукровское	24,7	24,4	24,0	28,6	25,4
в среднем по фактору В (НСР ₀₅ В = 0,9 т/га)	31,0	39,8	27,7	31,7	32,6
НСР ₀₅ АВ = 4,3 т/га					

В среднем за четыре года урожайность на уровне контроля наблюдалась у трех образцов (Сорго Абхазия, Fekete maguar, Зерноградский янтарь), а существенное превышение над сортом-контролем отмечено только у двух (Крымское 15, Kansas orange).

В структуре урожая сорго сахарного преобладают стебли. Содержание их свыше 60,0 % от всей надземной массы растений наблюдалось у большинства исследуемых образцов, например, Early Fulgar (64,1 %), Лиственит (64,9 %), ПНС 2-13 (65,2 %), Kansas orange (65,4 %), Fekete maguar (65,6 %), Крымское 15 (65,9 %), Просвет 1/1 (66,7 %), Szegedi barna (67,4 %), Крысакор 12/1 (68,9 %), что важно для получения сахара из сока стеблей (таблица 3.4).

Таблица 3.4 – Структура урожая сортов, линий, форм сорго сахарного, 2020-2023 гг.

Название сорта, линии, формы	Структура урожая, %		
	стебли	метелки	листья
Памяти Шепеля контроль	68,1	18,9	13,0
Сорго Абхазия	61,8	22,6	15,6
Просвет 1/1	66,7	16,6	16,8
Крымский сладкий	64,1	20,2	15,7
Крысакор 12/1	68,9	18,2	12,9
ПНС 2-13	65,2	21,0	13,8
Early Fulgar	64,1	20,9	15,0
Лиственит	64,9	15,7	19,4
Крымское 15	65,9	18,8	15,3
Питательное	60,3	17,6	22,1
Lango, Olwa	59,2	22,4	18,4
Early Amber	60,7	21,3	18,0
Fekete maguar	65,6	21,5	12,9
Kansas orange	65,4	25,0	9,6
Зерноградский янтарь	63,6	19,8	16,6
Крымское	68,1	16,4	15,5
Szegedi barna	67,4	16,1	16,5
Rox orange	67,0	17,6	15,3
Кинельское 4	60,2	22,9	16,9
Флагман	64,1	20,1	15,8
Цукровское	65,7	21,3	13,0

У сортов, линий, форм сорго сахарного масса метелок с зерном от общей надземной массы составляла до 25,0 %, например, Lango, Olwa (22,4 %), Сорго Абхазия (22,6 %), Kansas orange (25,0 %), а листьев – до 22,1 %, например, Лиственит (19,4 %), Питательное (22,1 %) (рисунок 3.1).



Рисунок 3.1 – Общий вид метелок сорго сахарного Крысакор 12/1

При теоретическом расчете выхода сахара с посевов сортов, линий, форм сорго сахарного необходимо учитывать такие показатели как урожайность надземной массы растений, выход стеблей, содержание сока, выход сока после отжима и процентное содержание сока в стеблях.

Метелки сорго сахарного не используют для получения сахара, но они являются источником кормов для сельскохозяйственных животных. Выход зерна в метелках наибольший у сортов, линий, форм Kansas orange (11,7 т/га), Крымское 15 (9,2 т/га), Сорго Абхазия (8,7 т/га), Fekete maguar (8,2 т/га) (таблица 3.5).

Таблица 3.5 – Урожайность и расчётный выход сахара с посевов сорго сахарного, 2020-2023 гг.

Показатель	Урожайность надземной массы, т/га	Выход стеблей, т/га	Выход зерна в метелках, т/га	Содержание сока, т/га	Выход сока после отжима, т/га	Содержание сахара в соке стеблей, %	Выход сахара, т/га
Памяти Шепеля контроль	38,4	26,2	7,3	19,6	15,7	17,5	2,7
Сорго Абхазия	38,4	23,7	8,7	17,8	14,2	15,7	2,2
Просвет 1/1	33,0	22,0	5,5	16,5	13,2	18,5	2,4
Крымский сладкий	29,2	18,7	5,9	14,0	11,2	18,1	2,0
Крысакор 12/1	33,5	23,1	6,1	17,3	13,8	17,3	2,4
ПНС 2-13	32,4	21,1	6,8	15,8	12,7	17,9	2,3
Early Fulgar	33,2	21,3	6,9	16,0	12,8	15,7	2,0
Лиственит	39,4	25,6	6,2	19,2	15,3	18,3	2,8
Крымское 15	48,9	32,2	9,2	24,2	19,3	15,7	3,0
Питательное	25,9	15,6	4,6	11,7	9,4	17,3	1,6
Lango, Olwa	25,3	15,0	5,7	11,2	9,0	17,3	1,6
Early Amber	29,6	18,0	6,3	13,5	10,8	16,9	1,8
Fekete maguar	38,2	25,1	8,2	18,8	15,0	15,7	2,4
Kansas orange	46,9	30,7	11,7	23,0	18,4	18,3	3,4
Зерноградский янтарь	34,6	22,0	6,9	16,5	13,2	15,0	2,0
Крымское	32,1	21,9	5,3	16,4	13,1	17,3	2,3
Szegedi barna	28,9	19,5	4,7	14,6	11,7	16,6	1,9
Rox orange	30,9	20,7	5,4	15,5	12,4	18,4	2,3
Кинельское 4	15,7	9,5	3,6	7,1	5,7	16,3	0,9
Флагман	23,8	15,3	4,8	11,4	9,2	17,0	1,6
Цукровское	25,4	16,7	5,4	12,5	10,0	15,2	1,5
НСР ₀₅	2,1	6,89	2,46	5,17	4,13	0,93	0,83

Стебли сорго сахарного являются основным источником сахарозы, поэтому масса стеблей является одним из важнейших показателей, влияющим на выход сахара. У исследуемых образцов выход стеблей составил до 32,2 т/га (Крымское 15). Содержание сока в стеблях составляет до 75 % от массы стеблей, максимальные показатели у исследуемых сортов, линий, форм – 24,2 т/га (Крымское 15) и 23,0 т/га (Kansas orange).

Полученный сахар из сока стеблей сорго не кристаллизуется и может быть использован в пищевой и технической промышленности. Наибольший выход сахара может быть получен при переработке стеблей Kansas orange (3,4 т/га).

Таким образом, по хозяйственно ценным признакам выделено 12 сортов, линий, форм: 5 – коллекции ВИР им. Н.И. Вавилова (Сорго Абхазия, Early Fulgar, Лиственит, Early Amber и Lango, Olwa) и 7 – селекции АТА «КФУ им. В.И. Вернадского» (Памяти Шепеля, Просвет 1/1, Крымский сладкий, Крысакор 12/1, ПНС 2-13, Крымское 15, Питательное) для гибридизации и дальнейшей селекционной работы. Они использованы как отцовские компоненты.

3.2 Изучение стерильных аналогов линий сорго

В результате исследований 2020-2023 гг. было изучено 8 материнских форм сорго: 4 стерильных аналога линий сорго зернового (Бурана 24С, Искра 2С, Перспектива 80С, Апица С), 2 стерильных гибрида (Коричневая 11С x ГОС 11)С, (Искра 2С x ГОС 11)С и 2 стерильных аналога линии сорго сахарного – ГОС 11С и Сарваши С.

Высота у 2-х линейных стерильных гибридов составила 160,4 и 144,3 см. Остальные стерильные аналоги сорго зернового низкорослые, высота растений составила от 96,1 до 125,8 см, они пригодны для уборки комбайном.

По вегетационному периоду стерильные аналоги линий сорго можно разделить следующим образом: 4 – среднеранние (101-105 сут.) и 1 – среднеспелая (106-110 сут.). Линии сформировали метелки средней длины

(21-30 см): (Коричневая 11С x ГОС 11)С – 23,5 см, Бурана 24С – 23,6 см, Искра 2С – 27,2 см, (Искра 2С x ГОС 11)С – 27,7 см и Перспектива 80С – 28,3 см (таблица 3.6).

Таблица 3.6 – Морфо-биологическая характеристика стерильных аналогов линий сорго селекции АТА, 2020-2023 гг.

Название стерильных аналогов линий, гибридов	Всходы–полная спелость, сут.	Высота растений, см	Длина метелки, см	Лист, см	
				длина	ширина
(Коричневая 11С x ГОС 11)С	102	160,4	23,5	55,1	6,2
(Искра 2С x ГОС 11)С	102	144,3	27,7	53,4	7,2
Искра 2С	105	99,1	27,2	48,3	7,1
Бурана 24С	106	125,8	23,6	48,5	6,1
Перспектива 80С	104	96,1	28,3	56,8	7,2
НСР ₀₅	15,8	12,2	4,4	8,7	0,8

В целом, при изучении урожайности надземной массы стерильных аналогов в течение 2020-2023 гг. установлено, что наиболее высокоурожайными были (Коричневая 11С x ГОС 11)С – 32,8 т/га и (Искра 2С x ГОС 11)С – 35,6 т/га (таблица 3.7).

Таблица 3.7 – Урожайность стерильных аналогов линий сорго, 2020-2023 гг.

Стерильная линия, гибрид (А)	Урожайность надземной массы (В), т/га				
	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.	в среднем по фактору А (НСР ₀₅ = 1,7)
(Коричневая 11С x ГОС 11)С	33,7	28,5	33,0	36,2	32,8
(Искра 2С x ГОС 11)С	33,4	33,9	33,8	41,3	35,6
Искра 2С	22,2	23,0	21,6	32,9	24,9
Бурана 24С	27,6	30,1	26,5	28,0	28,0
Перспектива 80С	27,3	26,6	28,2	28,2	27,6
в среднем по фактору В (НСР ₀₅ = 1,7 т/га)	28,8	28,4	28,6	33,3	29,8
НСР ₀₅ АВ = 3,8 т/га					

В структуре урожая преобладают стебли (54,7 - 65,2 %). В надземной массе стерильного гибрида (Коричневая 11С x ГОС 11)С наибольшее содержание стеблей – 65,2 %. У большинства стерильных аналогов линий 54,7-59,3 % стеблей.

Метелки с зерном являются источником крахмала в растениях и составляют 23,5-29,5 %, а листья до 18,3 % (Перспектива 80С) от всей надземной массы растений (таблица 3.8).

Таблица 3.8 – Структура урожая и содержание сахаров в стебле стерильных аналогов линий сорго, 2020-2023 гг.

Название стерильных аналогов линий, гибридов	Структура урожая, %			Содержание сахаров в соке стеблей, %
	стебли	метелки	листья	
(Коричневая 11С x ГОС 11)С	65,2	25,9	8,9	12,9
(Искра 2С x ГОС 11)С	54,7	29,5	15,9	12,5
Искра 2С	59,3	23,5	17,2	12,3
Бурана 24С	55,1	27,0	18,0	12,1
Перспектива 80С	54,7	27,0	18,3	11,4
НСР ₀₅	-	-	-	1,64

Содержание сахаров в соке стеблей ниже 15 %, например, у гибридов (Коричневая 11С x ГОС 11)С – 12,9 %, (Искра 2С x ГОС 11)С – 12,5 %.

Таким образом, на основе полученных морфо-биологических и хозяйственно ценных параметров, для дальнейших исследований отобрано 5 стерильных аналогов линий сорго: Бурана 24С, Искра 2С, Перспектива 80С, (Коричневая 11С x ГОС 11)С, (Искра 2С x ГОС 11)С.

3.3 Оценка сортов, линий и форм сорго по реакции на ЦМС

Цитоплазматическая мужская стерильность была открыта благодаря поискам селекционерами путей использования гетерозиса и увеличению продуктивности у сорго. Первое сообщение об открытии стерильности у сорго было сделано М. И. Хаджиновым [88]. Ученые D. Miller, R. Pickett обозначили пары аллелей двух генов, контролирующие проявление стерильности и восстановление фертильности у сорго как Rf1 rf2 Rf2 rf2 [142]. Фертильность пыльцы обеспечивают доминантные аллели генов, а рецессивные в сочетании со стерильной цитоплазмой – стерильность. В результате открытия ЦМС удалось развернуть масштабное создание гибридов сорго [53].

Цитоплазматическая мужская стерильность (ЦМС) - это полная или частичная стерильность пыльцы у высших растений. Этот признак наследуется только по материнской линии, через цитоплазму яйцеклетки. При опылении фертильной пыльцой стерильных линий растений признак стерильности передается гибридам. ЦМС является ценным инструментом для создания гибридного потомства самоопыленных культур, в том числе и сорго [117].

Изучение селекционного материала сорго по отношению к цитоплазматической мужской стерильности проводилось путем анализирующих скрещиваний изучаемого материала с источниками стерильности. В качестве источников ЦМС использовали стерильные аналоги: Перспектива 80С, Искра 2С, Бурана 24С, (Коричневая 11С x ГОС 11)С, (Искра 2С x ГОС 11)С.

Формы по реакции на мужскую стерильность определяли степенью цветения метелок и завязывания семян гибридного потомства, полученного от скрещивания источника стерильности с любым изучаемым образцом. На метелках такого гибридного потомства тщательно учитывался характер завязывания зерна. Перед началом цветения проводили изоляцию растений, а в период уборки окончательно оценивали реакцию отцовского компонента гибрида по отношению к ЦМС. Важно учитывать, что нередки случаи, когда главная метелка сорго имеет полную, а боковые – только частичную стерильность. Поэтому стерильность, гибридов первого поколения необходимо определять на главных метелках типичных растений каждого гибрида [96].

В результате изучения реакции на ЦМС в 2021 - 2023 гг. у 21 сорта, линии, формы сорго сахарного, из них выделено:

1) 15 (71 %) восстановителей фертильности (гибриды F_1 с жизнеспособной пыльцой): Просвет 1/1, Сорго Абхазия, Крымский сладкий, Крысакор 12/1, ПНС 2-13, Крымское 15, Early Amber, Fekete maguar, Early Fulgar, Kansas orange, Крымский сладкий 30, Зерноградский янтарь, Памяти Шепеля, Питательное, Janjare Ja;

6 (29 %) полувосстановителей фертильности (частичное проявление жизнеспособности пыльцы у гибридов F_1): Rox orange, Лиственит, Szegedi barna, Lango, Olwa, Оранжевое 160, Крымское.

Среди изученных образцов не обнаружено закрепителей стерильности (дегенерация андроцея у гибридов F_1 , проявляющаяся либо в дегенерации пыльников, либо в нераскрытии пыльников, либо в образовании нежизнеспособной пыльцы). Закрепители стерильности используют для создания стерильных аналогов.

Как известно из сообщений D. Duvick (1958), А.Н. Палиловой (1961), Г.С. Галеева (1962), образцы с частичным восстановлением фертильности могут служить исходным материалом для получения линий-закрепителей стерильности и восстановителей фертильности (путем насыщающих скрещиваний и целенаправленного отбора) [96].

Восстановители фертильности, особенно с высокой комбинационной способностью были использованы в гибридизации, как отцовские формы.

3.4 Оценка сортов, самоопыленных линий, форм и стерильных линий на комбинационную способность

Одним из методов по созданию гибридов является подбор родительских форм на основе изучения их комбинационной способности. Информация о комбинационной способности сорговых культур необходима для получения высокопродуктивного потомства. Формы для скрещивания подбирают с учетом их общей и специфической комбинационной способности (ОКС и СКС).

Под комбинационной способностью понимают способность образцов давать при скрещивании в различных сочетаниях определенный урожай, величину проявления высоты растений, числа стеблей, продолжительности вегетационного периода и др.

Формы с хорошей комбинационной способностью дают более урожайные гибриды, чем линии с плохой комбинационной способностью. Для получения

необходимых данных о комбинационной способности селективируемых форм пока существует один надежный путь – скрещивание с последующим испытанием гибридного потомства. При этом измерителем комбинационной способности, как правило, служит урожайность гибридов, так как практически наиболее важным является проявление гетерозиса в отношении этого признака.

Общая комбинационная способность (ОКС) – это средняя величина гетерозиса, наблюдавшаяся по всем гибридным комбинациям в опыте.

Специфическая комбинационная способность (СКС) выражается отклонением от этой средней величины гетерозиса. Она показывает способность линии проявлять гетерозис в конкретных комбинациях, существенно превышающий тот уровень урожайности, который следовало ожидать на основе общей комбинационной способности двух данных родительских пар. Следовательно, показатель СКС относится к паре линий, а не отдельно взятым линиям.

Оценка на ОКС необходима для выявления форм, скрещивание которых приводит к получению гибридов, превышающих по урожайности родительские формы и лучшие комбинации гибридов. Оценка на СКС проводится с целью выявления конкретных фертильных и стерильных линий для создания высокогетерозисных гибридов [57; 96; 124; 134].

Комбинационную способность родительских пар можно изучать методами диаллельного скрещивания, топкросса, поликросса и свободного опыления.

Метод поликросса, проверенный экспериментально Н.В. Турбиным и др. (1966), хотя и дает надежную информацию при оценке изучаемого материала на кукурузе, однако он не подходит для сорго, как и метод свободного опыления. Для культуры сорго наиболее приемлемым является метод топкросса [16; 96].

Выявление ОКС методом топкросса требует меньших, по сравнению с диаллельными скрещиваниями, затрат средств. Но, если проверке подлежит множество линий с участием нескольких тестеров, это приводит к испытанию большого числа гибридов [10; 67]. Значительно сократить объем работы можно благодаря методу неполного топкросса.

В исследованиях использовался метод неполного топкросса, согласно которому скрещивания проводили таким образом, что можно получить для каждой проверяемой формы гибриды не со всеми, а с некоторыми стерильными линиями, при этом число комбинаций с участием каждой фертильной формы одинаково, как и число комбинаций с участием каждой стерильной линии [9].

Для проведения исследований было отобрано 8 сортов, линий, форм сорго сахарного различного географического происхождения коллекции ВИР им. Н. И. Вавилова и селекции АТА КФУ им. В.И. Вернадского: Памяти Шепеля, Просвет 1/1, ПНС 2-13, Лиственит, Крымское 15, Lango, Olwa, Early Fulgar, Крымский сладкий, используемые, как отцовские компоненты, а также 4 стерильных линий сорго: (Коричневая 11С x ГОС 11)С, Бурана 24С, Искра 2С, (Искра 2С x ГОС 11)С и полученные на их основе гибриды F₁.

Следует отметить, что среди материнских форм использовались 2 двухлинейных стерильных гибрида – (Коричневая 11С x ГОС 11)С и (Искра 2С x ГОС 11)С, которые были получены путем скрещивания стерильных линий сорго зернового Коричневая 11С и Искра 2С с закрепителем стерильности сорго сахарного ГОС 11.

Результаты расчетов ОКС в 2021 г. показали, что сорта, линии, формы Крымское 15, Early Fulgar, ПНС 2-13 и Лиственит обладают высокой ОКС – +7,07, + 6,21, + 3,78 и + 2,80 соответственно. Самоопыленная линия Крымский сладкий обладает средней ОКС – +2,07. Низкая ОКС характерна для Просвет 1/1 и Lango, Olwa. Эффекты ОКС данных сортов, линий, форм достоверно превышают соответствующий показатель сорта-контроля Памяти Шепеля.

В 2022-2023 гг. высокий эффект ОКС (+8,10 и +9,76) по отношению к контролю Памяти Шепеля проявил сорт Крымское 15.

Сорта, линии и формы с высоким эффектом ОКС можно включать в более широкомасштабную гибридизацию для получения высокогетерозисных гибридов F₁ по урожайности надземной массы (таблица 3.9).

Средним эффектом ОКС характеризовались сорта, линии и формы: Лиственит, Памяти Шепеля, Early Fulgar (в 2022 г.), а также ПНС 2-13, Early

Fulgar и Памяти Шепеля (в 2023 г.). В течение трехлетнего периода исследований низкая ОКС проявилась у Просвет 1/1 и Lango, Olwa.

При изучении материнских форм в 2021-2023 гг. выявлена высокая ОКС у стерильного гибрида (Искра 2С x ГОС 11)С: +8,91, +3,20 и +6,34 соответственно. У остальных изученных стерильных аналогов линий в разные годы обнаружена низкая ОКС (-0,18 – -6,55), кроме линии Искра 2С, проявившей средний эффект ОКС в 2022 г. (+ 0,13).

Таблица 3.9 – Оценки эффектов ОКС родительских сортов, линий и форм сорго по урожайности надземной массы, 2021-2023 гг.

Название родительских форм	Эффект ОКС фертильной формы, линии, сорта (g _i)		
	2021 г.	2022 г.	2023 г.
Фертильная форма, линия, сорт ♂			
Памяти Шепеля контроль	+0,60	+1,07	+2,04
Просвет 1/1	-7,00	-5,47	-4,92
ПНС 2-13	+3,78	-2,69	+0,28
Лиственит	+2,80	+1,08	-1,89
Крымское 15	+7,07	+8,10	+9,76
Lango, Olwa	-15,53	-2,15	-4,36
Early Fulgar	+6,21	+0,18	+0,23
Крымский сладкий	+2,07	-0,13	-1,14
Σ	0	0	0
НСР	1,97	1,39	2,83
Стерильные аналоги линий ♀			
	Эффект ОКС стерильных аналогов линий (g _j)		
Искра 2С	-0,08	+0,13	-0,18
Бурана 24 С	-6,55	-2,62	-3,26
(Искра 2С x ГОС 11) С	+8,91	+3,20	+6,34
(Коричневая 11С x ГОС 11) С	-2,28	-0,71	-2,90
Σ	0	0	0
НСР	1,49	1,05	2,17

Анализ вариантов специфической комбинационной способности в 2021 г. показал высокую СКС у отцовских форм (σ^2_{si}): Лиственит (365,90), ПНС 2-13 (307,82), Lango, Olwa (174,10) и у материнских (σ^2_{sj}): Бурана 24С (105,74) и (Коричневая 11С x ГОС 11)С (105,74).

В 2022 г. высокая СКС выявлена у отцовских сортов, линий и форм (σ^2_{si}): Лиственит (65,13), Крымский сладкий (53,38), Early Fulgar (12,38) у материнских аналогов линий (σ^2_{sj}): Бурана 24С и (Коричневая 11С x ГОС 11)С.

Анализ вариантов СКС в 2023 г. позволил выявить высокий эффект СКС у сортов и линий: ПНС 2-13 (79,66), Памяти Шепеля (44,77), Крымский сладкий (41,29) и у стерильных линий: Искра 2С и (Искра 2С х ГОС 11)С. Оценивая эффекты комбинационной способности восьми отцовских компонентов сорго сахарного (2019-2021 гг.) отмечаем, что: у сорта Крымское 15 ОКС оказалась высокой, а СКС была высокой у Лиственит, Крымский сладкий, Early Fulgar, ПНС 2-13, Памяти Шепеля и Lango, Olwa.

Анализ эффектов СКС в 2021-2023 гг. показал, что стерильные аналоги линий Бурана 24С и (Коричневая 11С х ГОС 11)С несмотря на низкую ОКС, в отдельных скрещиваниях могут давать высокогетерозисные гибриды сорго сахарного по урожайности надземной массы. Поэтому использование данных стерильных аналогов линий в отдельных комбинациях может быть довольно эффективным.

Среди четырех стерильных аналогов линий – стерильный гибрид (Искра 2С х ГОС 11)С имеет высокую ОКС, а у двух линий в 2019-2020 гг.: Бурана 24С и (Коричневая 11С х ГОС 11)С и в 2021 г. – у Искра 2С и (Искра 2С х ГОС 11)С выявлена высокая СКС.

3.5 Корреляционная зависимость между признаками сортов, самоопыленных линий и форм сорго сахарного

Установление зависимости между признаками – одна из важных агрономических задач. Благодаря корреляционному анализу можно определить направление и степень связи количественных признаков у сорго сахарного.

Нами был проведен корреляционный анализ по трехлетним данным между морфологическими признаками, интенсивностью начального роста в период «30 сутки после всходов», длительностью вегетационного периода, урожайностью и содержанием сахаров в соке стеблей сортов, линий и форм сорго сахарного (таблица 3.10).

Средние положительные корреляционные связи ($r = 0,30 - 0,70$) отмечены между динамикой начального роста в период «30 сутки после всходов» и высотой растений ($r = 0,51$), а также содержанием сахаров в соке стеблей ($r = 0,33$). Слабые положительные корреляционные связи ($r < 0,30$) сформированы между интенсивностью начального роста в период «30 сутки после всходов» и такими показателями, как период «всходы-полная спелость», урожайность надземной массы, ширина листа, количество междоузлий на стебле сорго сахарного.

При изучении корреляционных связей между продолжительностью вегетационного периода и количеством междоузлий выявлена высокая положительная связь, а между продолжительностью вегетационного периода и диаметром стебля – средняя положительная связь.

Проведённый корреляционный анализ показал, что урожайность надземной массы имеет среднюю положительную связь с высотой растений ($r = 0,48$). Между урожайностью и содержанием сахаров и отмечены слабые отрицательные корреляционные связи ($r = - 0,03$).

Большинство биометрических показателей сорго сахарного имели среднее влияние на показатели урожайности. Так, между урожайностью и шириной листовых пластин, диаметром стебля, количеством междоузлий выявлена средняя положительная связь ($r = 0,51$, $r = 0,33$, $r = 0,55$).

Средняя положительная корреляция наблюдалась между высотой растений и количеством междоузлий на стебле ($r = 0,32$).

Коэффициент корреляции (r) между показателем ширины листа и количеством междоузлий – 0,64, шириной листа и диаметром стебля – 0,79, количеством междоузлий и диаметром стебля – 0,74. Полученные результаты позволяют сделать вывод о формировании высоких ($r > 0,70$) и средних ($r = 0,30 - 0,70$) положительных связей между данными признаками.

РАЗДЕЛ 4 СЕЛЕКЦИОННО-ГЕНЕТИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ НОВЫХ ГИБРИДОВ СОРГО САХАРНОГО

4.1 Изучение динамики начального роста новых гибридов сорго сахарного и их родительских форм

Сорго сахарное – наиболее адаптированный вид среди злаков, который благоприятно развивается в засушливых условиях [103]. При низкой влажности почвы культура сохраняет свою физиологическую активность, близкую к активности растений с достаточной влажностью, благодаря эффективному использованию воды из-за увеличения длины корневой системы [73; 133].

Известно, что наиболее медленный рост надземной массы у сорго наблюдается в первые 30-35 суток после всходов [3; 36]. Связано это с тем, что в начальный период развития растений сорго идет интенсивное формирование корневой системы, что, способствует повышению засухоустойчивости культуры.

Недостатки медленного роста на начальных этапах развития сорго ведут к низкой конкурентоспособности по сравнению с сорными растениями и медленному внедрению культуры в кормопроизводство. Возникает необходимость в создании сорговых культур с более интенсивными темпами начального роста.

В 2021-2023 гг. проведены исследования по изучению динамики начального роста сортов, гибридов, линий и форм сорго сахарного на десятые, двадцатые, тридцатые и сороковые сутки после всходов.

Установлено, в период «0-10 сутки после всходов» суточный прирост надземной массы гибридов составил 0,71-1,08 см/сут., например, (Коричневая 11С х ГОС 11)С х Крысакор 12/1 – 0,91 см/сут., Искра 2С х Early Fulgar – 0,71 см/сут., (Искра 2С х ГОС 11)С х Питательное – 1,08 см/сут.

При измерении скорости роста побега в период «10-20 сутки после всходов» выявлено, что прирост зеленой массы сорго достигал 1,15 см/сут. у гибрида (Искра 2С х ГОС 11)С х Питательное (рисунок 4.1).

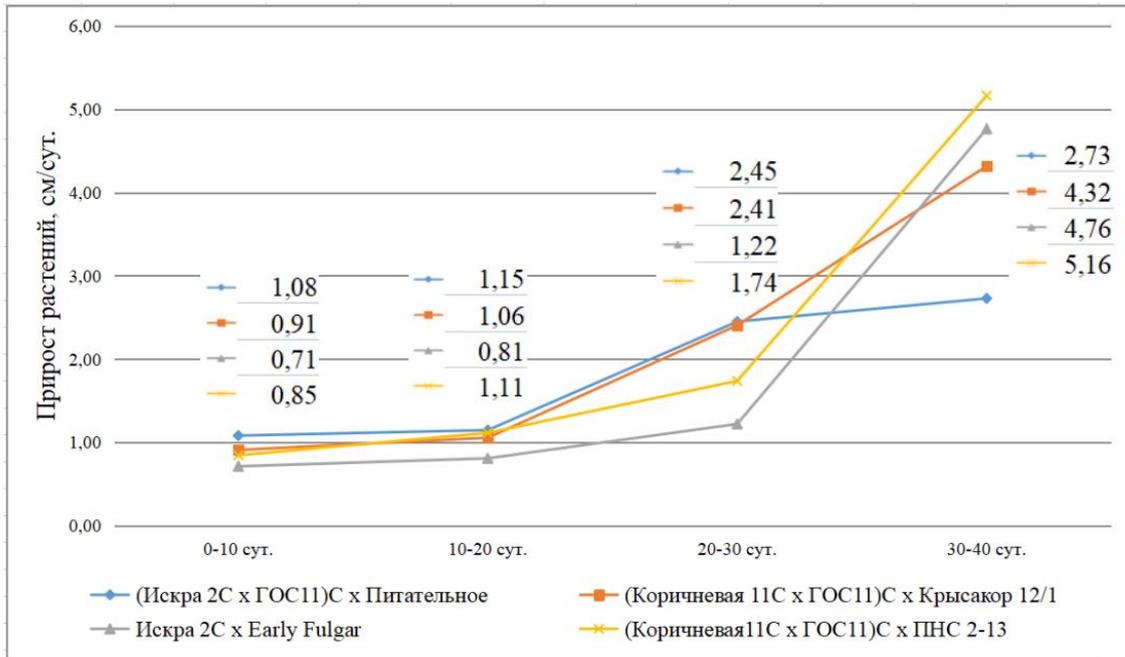


Рисунок 4.1 – Интенсивность начального роста гибридов сорго сахарного, 2021-2023 гг.

Наибольший суточный прирост период «20-30 сутки после всходов» отмечен у гибридов (Коричневая 11С x ГОС11)С x Крысакор 12/1 (2,41 см/сут.) и (Искра 2С x ГОС11)С x Питательное (2,45 см/сут.).

Изучение высоты растений в период «30-40 сутки после всходов» показало увеличение прироста надземной массы всех образцов сорго сахарного, что связано со снижением интенсивности прироста корневой системы. Скорость роста растений в период 30-40 сутки увеличилась более чем в два раза и составила до 5,16 см/сут. у (Коричневая 11С x ГОС 11)С x ПНС 2-13.

В период «30 сутки после всходов» все изучаемые сорта, гибриды, линии и формы сорго были разделены на группы по интенсивности начального роста: образцы с очень низкой (менее 30 см), низкой (30-45 см) и средней (46-60 см) высотой растений (таблица 4.1).

Таблица 4.1 – Интенсивность начального роста гибридов и родительских форм сорго сахарного в период «30 сутки после всходов», 2021-2023 гг.

Название сорта, линии, гибрида, формы (А)	Высота растений в период «30 сут. после всходов» (В), см			
	2021 г.	2022 г.	2023 г.	В среднем по фактору А (НСР ₀₅ А = 1,6)
Памяти Шепеля (контроль)	51,2	25,7	46,4	41,1
(Искра 2С х ГОС 11)С х Памяти Шепеля	46,5	16,7	35,7	32,9
Сорго Абхазия	23,6	30,5	24,7	26,2
Бурана 24С х Сорго Абхазия	32,3	31,5	27,0	30,2
Просвет 1/1	52,5	29,0	29,2	36,9
(Искра 2С х ГОС 11)С х Просвет 1/1	47,4	25,3	30,3	34,3
(Коричневая 11С х ГОС 11)С х Просвет 1/1	49,2	26,4	34,9	36,8
Крымский сладкий	37,5	26,1	39,5	34,3
(Коричневая 11С х ГОС 11)С х Крымский сладкий	42,2	18,6	37,0	32,6
Крысакор 12/1	39,9	30,5	37,1	35,8
(Коричневая 11С х ГОС 11)С х Крысакор 12/1	47,0	44,5	39,6	43,7
ПНС 2-13	46,8	20,8	30,8	32,8
Искра 2С х ПНС 2-13	47,6	40,0	44,1	43,9
(Коричневая 11С х ГОС 11)С х ПНС 2-13	46,8	20,8	30,8	37,0
Early Fulgar	47,6	40,0	44,1	31,4
Искра 2С х Early Fulgar	29,2	23,0	30,1	27,4
(Искра 2С х ГОС 11)С х Early Fulgar	48,2	30,3	42,9	40,5
Бурана 24С х Early Fulgar	38,8	26,9	32,1	32,6
Лиственит	47,1	22,5	39,4	36,3
Бурана 24С х Лиственит	54,0	25,4	36,8	38,7
Крымское 15	51,1	23,2	42,0	38,8
(Искра 2С х ГОС 11)С х Крымское 15	46,2	30,7	35,2	37,4
Питательное	44,7	31,7	39,6	38,6
(Искра 2С х ГОС 11)С х Питательное	53,3	43,5	43,7	46,8
Lango, Olwa	42,8	28,5	37,3	36,2
(Коричневая 11С х ГОС 11)С х Lango, Olwa	41,6	16,5	40,9	33,0
Early Amber	60,3	18,4	42,9	40,5
(Искра 2С х ГОС 11)С х Early Amber	53,0	25,4	33,1	37,2
Бурана 24С	46,0	25,6	30,8	34,1
(Коричневая 11С х ГОС 11)С	41,4	23,6	29,1	31,4
(Искра 2С х ГОС 11)С	49,0	27,2	31,2	35,8
Искра 2С	51,8	30,0	34,7	38,8
В среднем по фактору В (НСР ₀₅ В = 0,4)	45,5	27,5	36,0	36,1
НСР ₀₅ АВ, см	2,7			

Анализ образцов по динамике роста показал, что очень низкая интенсивность начального роста на 30 сутки после всходов (менее 30 см) была отмечена у двух гибридов (Сорго Абхазия и Искра 2С х Early Fulgar) в 2021 г., в 2022 г. – у 18 сортов, гибридов, линий и форм сорго сахарного, например, Крымский сладкий, (Искра 2С х ГОС 11)С х Просвет 1/1, (Коричневая 11С х ГОС 11)С х Просвет 1/1, (Коричневая 11С х ГОС 11)С х Lango, Olwa, а в 2023 г. – у форм и линий Сорго Абхазия, Просвет 1/1 и гибрида Бурана 24С х Сорго Абхазия

Низкая интенсивность начального роста (30-45 см) характерна для 8 сортов, гибридов, линий и форм в 2021 г.: Early Fulgar, Бурана 24С х Early Fulgar, Бурана 24С х Сорго Абхазия и др., 10 – в 2022 г.: (Искра 2С х ГОС 11)С х Early Fulgar, Сорго Абхазия, Бурана 24С х Сорго Абхазия, Крысакор 12/1 и др. и 24 – в 2023 г.: (Искра 2С х ГОС 11)С х Памяти Шепеля, Lango, Olwa и др.

В 2021 г. большинство образцов в период «30 сутки после всходов» отличались средней интенсивностью начального роста (46-60 см), например, (Коричневая 11С х ГОС 11)С х Крысакор 12/1, ПНС 2-13, Крымское 15, (Искра 2С х ГОС 11)С х Крымское 15. В 2022 г. отсутствуют формы сорго сахарного со средней интенсивностью роста, а в 2023 г. сорт Памяти Шепеля достиг высоты 46,8 см.

Такое расхождение в количестве образцов с очень низкой, низкой и средней интенсивностями начального роста связано с тем, что сильные осадки после всходов в 2022-2023 гг. привели к вымыванию некоторых растений из почвы и дополнительными всходам.

Период «30 сутки после всходов» в 2021 - 2023 гг. характеризовался преобладанием сортов, линий, форм и гибридов с низкими показателями интенсивности начального роста (30-45 см): (Коричневая 11С х ГОС 11)С х Крымский сладкий – 32,6 см, (Коричневая 11С х ГОС 11)С х Просвет 1/1 – 36,8 см, Искра 2С х ПНС 2-13 – 43,9 см. Средняя интенсивность начального роста (46-60 см) установлена у гибрида (Искра 2С х ГОС 11)С х Питательное –

46,8 см. Существенное превышение над сортом-контролем по данному показателю выявлено у гибридов (Коричневая 11С х ГОС 11)С х Крысакор 12/1, Искра 2С х ПНС 2-13, (Искра 2С х ГОС 11)С х Питательное.

Необходимо отметить, что погодные условия 2021-2023 гг. повлияли на интенсивность начального роста у сорго сахарного.

В результате изучения интенсивности начального роста у сорго сахарного рекомендовано дальнейшее изучение гибридов с наибольшим суточным приростом в период «20-30 сутки»: (Коричневая 11С х ГОС11)С х Крысакор 12/1 (2,41 см/сут.) и (Искра 2С х ГОС11)С х Питательное (2,45 см/сут.).

В период «30 сутки после всходов» выявлен гибрид со средней интенсивностью начального роста (46-60 см): (Искра 2С х ГОС 11)С х Питательное – 46,8 см, который рекомендовано использовать для создания форм с более интенсивными темпами начального роста и внедрения их в производство.

4.2 Изучение морфо-биологических особенностей и урожайности новых гибридов сорго сахарного

Изучение морфо-биологических особенностей у новых гибридов сорго сахарного, как например, высота растений, размер метелок, ширина междоузлий, размер листа, позволяет установить их хозяйственно ценные признаки.

В результате фенологических исследований установлено, что период «всходы-выметывание» наиболее короткий у гибридов (Коричневая 11С х ГОС 11)С х ПНС 2-13, Искра 2С х Early Fulgar, (Искра 2С х ГОС 11)С х Early Fulgar, (Коричневая 11С х ГОС 11)С х Лиственит, (Искра 2С х ГОС 11)С х Питательное – 57-59 дней, и достаточно продолжительный у (Коричневая 11С х ГОС 11)С х Lango, Olwa – 78 дней (таблица 4.2).

Таблица 4.2 – Морфо-биологическая характеристика гибридов F₁ сорго сахарного, 2021-2023 гг.

Название сорта, гибрида	Вегетационный период, сутки		Высота растений, см	Длина метелки, см	Лист, см	
	всходы– выметывание	всходы– полная спелость			длина	ширина
Памяти Шепеля контроль	66	102	201,1	23,7	58,4	7,1
(Искра 2С х ГОС 11)С х Памяти Шепеля	61	105	197,4	21,6	57,0	6,0
Бурана 24С х Сорго Абхазия	67	102	158,1	15,9	61,5	6,1
(Искра 2С х ГОС 11)С х Просвет 1/1	70	106	157,5	16,1	63,9	7,3
(Коричневая 11С х ГОС 11)С х Просвет 1/1	61	101	178,8	18,5	62,1	6,7
(Коричневая 11С х ГОС 11)С х Крымский сладкий	63	107	164,8	19,3	66,9	6,2
(Коричневая 11С х ГОС 11)С х Крысакор 12/1	62	99	179,4	23,7	62,7	6,6
Искра 2С х ПНС 2-13	64	102	170,7	27,7	55,2	7,8
(Коричневая 11С х ГОС 11)С х ПНС 2-13	57	108	167,2	27,9	63,7	6,9
Искра 2С х Early Fulgar	59	109	159,5	23,8	59,4	7,4
(Искра 2С х ГОС 11)С х Early Fulgar	59	109	162,0	24,4	56,5	7,8
Бурана 24С х Early Fulgar	63	110	176,7	22,3	52,3	6,2
(Искра 2С х ГОС 11)С х Крымское 15	61	107	182,5	20,5	59,5	6,6
(Коричневая 11С х ГОС 11)С х Лиственит	59	99	171,4	19,7	58,2	6,3
Бурана 24С х Лиственит	67	105	155,6	16,8	52,6	6,2
(Коричневая 11С х ГОС 11)С х Крымское 15	60	104	159,0	21,0	61,8	7,1
(Искра 2С х ГОС 11)С х Питательное	59	101	201,1	32,1	60,4	5,5
(Коричневая 11С х ГОС 11)С х Lango, Olwa	78	116	153,6	23,3	59,7	6,7
(Искра 2С х ГОС 11)С х Early Amber	63	99	181,8	20,9	62,3	6,9
НСР ₀₅	10,3	7,7	18,7	6,5	7,5	1,2

По периоду «всходы-полная спелость» в 2021-2023 гг. гибриды были разделены на группы: раннеспелые (до 100 суток) – 3 ((Коричневая 11С х ГОС 11)С х Лиственит, (Коричневая 11С х ГОС 11)С х Крысакор 12/1), (Искра 2С х ГОС 11)С х Early Amber, среднеранние (100-110 суток) – 15, например, Искра 2С х ГОС 11)С х Питательное,

(Коричневая 11С х ГОС 11)С х Просвет 1/1, Искра 2С х ПНС 2-13, Памяти Шепеля, Бурана 24С х Сорго Абхазия, (Искра 2С х ГОС 11)С х Early Fulgar и 1 среднеспелый (111-120 суток) Коричневая 11С х ГОС 11)С х Lango, Olwa.

Биометрические измерения проводились перед уборкой урожая. Одним из важных показателей для сорго сахарного является высота растений. Большинство гибридов среднерослые (200 - 151 см): Искра 2С х Early Fulgar – 159,5 см, (Искра 2С х ГОС 11)С х Early Fulgar – 162,0 см, (Коричневая 11С х ГОС 11)С х ПНС 2-13 – 167,2 см (Коричневая 11С х ГОС 11)С х Просвет 1/1 – 178,8 см. Самые высокорослые растения отмечены у гибридов (Искра 2С х ГОС 11)С х Памяти Шепеля – 197,4 см и (Искра 2С х ГОС 11)С х Питательное – 201,1 см.

Метелки длиной более 30 см были сформированы у (Искра 2С х ГОС 11)С х Питательное (32,1 см). Метелки средней длины (21-30 см) отмечены у большинства гибридов, например, (Искра 2С х ГОС 11)С х Early Fulgar, Искра 2С х Early Fulgar; менее 20 см – у простых гибридов Бурана 24С х Сорго Абхазия, Бурана 24С х Лиственит и трехлинейных гибридов (Искра 2С х ГОС 11)С х Просвет 1/1, (Коричневая 11С х ГОС 11)С х Просвет 1/1, (Коричневая 11С х ГОС 11)С х Крымский сладкий.

У большинства гибридов зафиксирован короткий (45,0-60,0 см) и узкий (5,0-7,5 см) лист, например, Бурана 24С х Early Fulgar, либо лист со средней длиной (61-75 см), но узкий по ширине (5,0-7,5 см), например, (Коричневая 11С х ГОС 11)С х Крымский сладкий (61,8 х 7,1 см), за исключением гибридов Искра 2С х ПНС 2-13 (55,2 х 7,8 см), (Искра 2С х ГОС 11)С х Early Fulgar (56,5 х 7,8 см), у которых короткий, но средний по ширине лист.

Несмотря на погодные условия в течение 2021-2023 гг. гибриды сорго сахарного сформировали сравнительно высокий уровень урожайности надземной массы. В 2019 г. существенное превышение над контролем выявлено у высокоурожайных гибридов (Коричневая 11С х ГОС 11)С х Лиственит – 64,8 т/га, (Искра 2С х ГОС 11)С х Крымское 15 – 64,5 т/га, Искра 2С х

ПНС 2-13 – 58,0 т/га, (Искра 2С х ГОС 11)С х Early Fulgar – 58,9 т/га (таблица 4.3).

Таблица 4.3 – Урожайность гибридов F₁ сорго сахарного, 2021-2023 гг.

Сорт, гибрид (А)	Урожайность надземной массы (В), т/га			
	2021 г.	2022 г.	2023 г.	в среднем по фактору А (НСР ₀₅ = 2,1 т/га)
Памяти Шепеля контроль	53,3	33,5	33,1	40,0
(Искра 2С х ГОС 11)С х Памяти Шепеля	56,9	33,8	44,9	45,2
Бурана 24С х Сорго Абхазия	42,1	30,5	31,9	34,8
(Искра 2С х ГОС 11)С х Просвет 1/1	24,6	27,0	26,8	26,1
(Коричневая 11С х ГОС 11)С х Просвет 1/1	41,0	27,0	34,0	34,0
(Коричневая 11С х ГОС 11)С х Крымский сладкий	48,0	26,3	31,7	35,3
(Коричневая 11С х ГОС 11)С х Крысакор 12/1	40,2	31,5	37,2	36,3
Искра 2С х ПНС 2-13	58,0	26,3	38,5	40,9
(Коричневая 11С х ГОС 11)С х ПНС 2-13	50,4	26,8	35,2	37,5
Искра 2С х Early Fulgar	47,8	30,8	32,5	37,0
(Искра 2С х ГОС 11)С х Early Fulgar	58,9	30,2	39,9	43,0
Бурана 24С х Early Fulgar	53,5	30,2	42,5	42,1
(Коричневая 11С х ГОС 11)С х Лиственит	64,8	37,8	36,6	46,4
Бурана 24С х Лиственит	35,0	25,0	31,6	30,5
(Искра 2С х ГОС 11)С х Крымское 15	64,5	41,2	50,5	52,1
(Коричневая 11С х ГОС 11)С х Крымское 15	42,8	38,1	43,5	41,5
(Искра 2С х ГОС 11)С х Питательное	49,5	27,9	40,0	39,1
(Коричневая 11С х ГОС 11)С х Lango, Olwa	25,5	27,4	30,1	27,6
(Искра 2С х ГОС 11)С х Early Amber	51,2	39,2	44,0	44,8
в среднем по фактору В (НСР ₀₅ = 0,6 т/га)	48,8	30,5	36,6	38,6
НСР ₀₅ АВ = 3,9 т/га				

Погодные условия 2022 г. повлияли на снижение урожайности большинства гибридов в 1,5-2 раза, например, Искра 2С х ПНС 2-13 (26,3 т/га),

(Коричневая 11С х ГОС 11)С х Просвет 1/1 (27,0 т/га), (Искра 2С х ГОС 11)С х Питательное (27,9 т/га).

Существенное превышение над контролем в 2022 г. сформировал трехлинейный гибрид (Искра 2С х ГОС 11)С х Крымское 15.

В 2023 г. высокая урожайность надземной массы у простых гибридов: Искра 2С х ПНС 2-13, Бурана 24С х Early Fulgar и трехлинейных гибридов: (Коричневая 11С х ГОС 11)С х Крысакор 12/1, (Искра 2С х ГОС 11)С х Early Amber, (Искра 2С х ГОС 11)С х Early Fulgar, (Искра 2С х ГОС 11)С х Питательное, (Искра 2С х ГОС 11)С х Памяти Шепеля, (Искра 2С х ГОС 11)С х Крымское 15.

В среднем за 3 года изучения урожайность надземной массы была на уровне 26,1 - 52,1 т/га. Получены высокоурожайные гибриды, которые существенно превышают урожайность сорта-контроля: (Искра 2С х ГОС 11)С х Крымское 15 (52,1 т/га), (Коричневая 11С х ГОС 11)С х Лиственит (46,4 т/га), (Искра 2С х ГОС 11)С х Памяти Шепеля (45,2 т/га), (Искра 2С х ГОС 11)С х Early Amber (44,8 т/га).

При изучении структуры урожая сорговых культур выявлено преобладание массы стеблей по отношению к массе метелок и листьев. Содержание метелок составило от 16,6 % ((Коричневая 11С х ГОС 11)С х Крымский сладкий) до 25,3 % ((Коричневая 11С х ГОС 11)С х ПНС 2-13) от урожая надземной массы сорго сахарного (таблица 4.4).

Объем листовой массы составил до 24,2 % (Бурана 24С х Сорго Абхазия). Большинство образцов в структуре урожая содержали 14,5 - 19,5 % листьев, например, (Коричневая 11С х ГОС 11)С х Крысакор 12/1 (15,9 %), Бурана 24С х Лиственит (16,3 %), (Искра 2С х ГОС 11)С х Early Amber (19,5 %).

Наибольшее количество сахаров содержится в соке стеблей. Поэтому содержание стеблей в структуре урожая надземной массы сорго сахарного имеет важное значение. При изучении структуры урожая выявлено, что соотношение стеблей к надземной массе гибридов составило 58,1 - 71,2 %.

Наибольшее содержание стеблей установлено у Бурана 24С х Лиственит – 66,5 %, (Коричневая 11С х ГОС 11)С х Крымское 15 – 71,2 %.

Таблица 4.4 – Структура урожая и содержание сахаров в соке стеблей гибридов F₁ сорго сахарного, 2021-2023 гг.

Название сорта, гибрида	Структура урожая (2021-2023 гг.), %			Содержание сахаров в соке стеблей, %			
	стебли	метелки	листья	2021 г.	2022 г.	2023 г.	среднее
Памяти Шепеля контроль	68,0	17,1	15,0	17,5	16,0	16,7	16,7
(Искра 2С х ГОС 11)С х Памяти Шепеля	62,8	22,5	14,7	12,3	16,7	16,5	15,2
Бурана 24С х Сорго Абхазия	59,0	16,8	24,2	10,0	10,7	9,7	10,1
(Искра 2С х ГОС 11)С х Просвет 1/1	63,8	22,2	13,9	16,5	16,7	16,7	16,6
(Коричневая 11С х ГОС 11)С х Просвет 1/1	58,8	19,7	21,5	18,0	18,3	17,2	17,8
(Коричневая 11С х ГОС 11)С х Крымский сладкий	65,0	16,6	18,4	15,7	15,0	14,0	14,9
(Коричневая 11С х ГОС 11)С х Крысакор 12/1	64,3	19,8	15,9	20,0	15,7	16,0	17,2
Искра 2С х ПНС 2-13	60,8	24,4	14,9	16,3	15,5	14,0	15,3
(Коричневая 11С х ГОС 11)С х ПНС 2-13	59,8	25,3	14,9	13,3	12,8	14,7	13,6
Искра 2С х Early Fulgar	58,9	20,2	21,0	13,7	14,8	14,8	14,4
(Искра 2С х ГОС 11)С х Early Fulgar	58,1	19,5	22,4	14,0	11,2	11,8	12,3
Бурана 24С х Early Fulgar	60,5	18,2	21,3	18,7	17,8	17,2	17,9
(Коричневая 11С х ГОС 11)С х Лиственит	65,8	18,1	16,1	14,7	13,8	14,2	14,2
Бурана 24С х Лиственит	66,5	17,2	16,3	15,5	15,0	15,7	15,4
(Искра 2С х ГОС 11)С х Крымское 15	63,8	20,9	15,3	9,7	9,3	9,7	9,6
(Коричневая 11С х ГОС 11)С х Крымское 15	71,2	18,6	10,2	11,5	9,8	10,0	10,4
(Искра 2С х ГОС 11)С х Питательное	64,1	21,3	14,5	15,5	16,7	17,8	16,7
(Коричневая 11С х ГОС 11)С х Lango, Olwa	60,9	19,0	20,2	14,8	14,3	14,8	14,7
(Искра 2С х ГОС 11)С х Early Amber	63,2	17,3	19,5	14,3	15,3	16,2	15,3
НСР ₀₅	-	-	-	1,51			

В результате исследований 2021-2023 гг. были выявлены гибриды F₁ с наибольшим содержанием сахаров: - простой гибрид F₁: Бурана 24С х Early Fulgar (17,9 %); - трехлинейные гибриды F₁: (Коричневая 11С х ГОС 11)С х Просвет 1/1 (17,8 %), (Коричневая 11С х ГОС 11)С х Крысакор 12/1 (17,2 %),

(Искра 2С х ГОС 11)С х Просвет 1/1 (16,6 %), (Искра 2С х ГОС 11)С х Питательное (16,7 %).

При анализе расчётного выхода сахара с посевов сорго сахарного, следует отметить, что высокий выход стеблей с гектара отмечается у образцов с высокой урожайностью надземной массы: (Искра 2С х ГОС 11)С х Памяти Шепеля (28,4 т/га), (Коричневая 11С х ГОС 11)С х Лиственит (30,5 т/га), (Коричневая 11С х ГОС 11)С х Крымское 15 (37,1 т/га) (таблица 4.5).

Таблица 4.5 – Расчётный выход сахаров сорго сахарного, 2021 - 2023 гг.

Название сорта, гибрида	Урожайность надземной массы, т/га	Выход стеблей, т/га	Выход зерна в метелках, т/га	Содержание сока, т/га	Выход сока после отжима, т/га	Выход сахара, т/га
Памяти Шепеля контроль	40,0	27,2	6,8	20,4	16,3	2,7
(Искра 2С х ГОС 11)С х Памяти Шепеля	45,2	28,4	10,2	21,3	17,0	2,6
Бурана 24С х Сорго Абхазия	34,8	20,5	5,8	15,4	12,3	1,2
(Искра 2С х ГОС 11)С х Просвет 1/1	26,1	16,7	5,8	12,5	10,0	1,7
(Коричневая 11С х ГОС 11)С х Просвет 1/1	34,0	20,0	6,7	15,0	12,0	2,1
(Коричневая 11С х ГОС 11)С х Крымский сладкий	35,3	22,9	5,9	17,2	13,8	2,1
(Коричневая 11С х ГОС 11)С х Крысакор 12/1	36,3	23,3	7,2	17,5	14,0	2,4
Искра 2С х ПНС 2-13	40,9	24,9	10,0	18,7	14,9	2,3
(Коричневая 11С х ГОС 11)С х ПНС 2-13	37,5	22,4	9,5	16,8	13,5	1,8
Искра 2С х Early Fulgar	37,0	21,8	7,5	16,3	13,1	1,9
(Искра 2С х ГОС 11)С х Early Fulgar	43,0	25,0	8,4	18,7	15,0	1,8
Бурана 24С х Early Fulgar	42,1	25,5	7,7	19,1	15,3	2,7
Бурана 24С х Лиственит	30,5	20,3	5,2	15,2	12,2	1,9
(Коричневая 11С х ГОС 11)С х Лиственит	46,4	30,5	8,4	22,9	18,3	2,6
(Коричневая 11С х ГОС 11)С х Крымское 15	52,1	37,1	9,7	27,8	22,3	3,2
(Искра 2С х ГОС 11)С х Питательное	39,1	25,1	8,3	18,8	15,0	2,5
(Коричневая 11С х ГОС 11)С х Lango, Olwa	27,6	16,8	5,2	12,6	10,1	1,5
(Искра 2С х ГОС 11)С х Early Amber	44,8	28,3	7,8	21,2	17,0	2,6
НСР ₀₅	2,1	7,73	3,04	1,51	4,65	0,78

Наибольшее количество сока выявлено у гибридов (Искра 2С х ГОС 11)С х Early Amber – 21,2 т/га, (Искра 2С х ГОС 11)С х Памяти Шепеля – 21,3 т/га, (Коричневая 11С х ГОС 11)С х Крымское 15 – 27,8 т/га, выход сока после отжима – 17,0 т/га, 17,0 т/га и 22,3 т/га, соответственно.

Расчеты показывают, что изучаемые гибриды обеспечили выход сахара на уровне 1,2-3,2 т/га. Наибольший выход сахара можно получить из сока стеблей гибридов (Искра 2С х ГОС 11)С х Памяти Шепеля – 2,6 т/га, Бурана 24С х Early Fulgar – 2,7 т/га, (Коричневая 11С х ГОС 11)С х Крымское 15 – 3,2 т/га.

Следует отметить, что из сорго сахарного получаемый сахар не кристаллизуется как свекловичный сахар, так как содержит кроме сахарозы, глюкозу и фруктозу. Получаемый сироп можно использовать как в пищевой, фармакологической промышленности, так и для получения биоэтанола.

Сорго сахарное является не только сырьем для получения сахара и биоэтанола, но и кормом для сельскохозяйственных животных. Определение сырой золы, сырой клетчатки, сырого жира и сырого протеина в сухом веществе биомассы сорго сахарного позволяет определить кормовые достоинства данной культуры.

Анализ биохимического состава образцов сорго сахарного позволил установить, что содержание сухого вещества (СВ) составляет 206,10 - 254,80 г в 1 кг надземной массы.

Наибольшее значение имеет фракция сухого вещества, называемая сырым протеином. Основная часть сырого протеина приходится на белки, состоящие из остатков аминокислот. В лабораторных условиях установлено, что в химическом составе биомассы гибридов (Искра 2С х ГОС 11)С х Early Amber, Искра 2С х ПНС 2-13 и (Коричневая 11С х ГОС 11)С х Lango, Olwa содержится наибольшее количество сырого протеина (26,06-30,43 г).

В состав сырой золы входят оксиды и соли содержащихся в сухом веществе корма минеральных элементов, а также примеси песка, глины, несгоревших частиц угля. Наименьшее содержание сырой золы выявлено у

линий и форм Просвет 1/1, Early Amber (7,33-7,42 г), гибрида (Искра 2С х ГОС 11)С х ПНС 2-13 (7,45 г), а наибольшее – у гибрида (Искра 2С х ГОС 11)С х Early Amber (24,92 г) (таблица 4.6).

Таблица 4.6 – Биохимический состав зеленой массы сортов, линий, форм и гибридов сорго сахарного, 2021-2023 гг.

Название сорта, формы, линии, гибрида	Сухое вещество (СВ)	Сырая зола (СЗ)	Сырой протеин (СП)	Сырой жир (СЖ)	Сырая клетчатка (СК)	Безазотистые экстрактивные вещества (БЭВ)
	г/1 кг зеленой массы					
Памяти Шепеля контроль	213,00	8,07	22,90	3,94	44,56	133,53
Lango, Olwa	253,00	10,95	25,00	4,45	43,21	169,38
(Коричневая 11С х ГОС 11)С х Lango, Olwa	226,60	14,21	30,43	5,01	31,81	145,14
Early Amber	206,10	7,42	21,13	5,26	23,17	149,13
(Искра 2С х ГОС 11)С х Early Amber	224,10	24,92	26,06	7,15	55,29	110,68
ПНС 2-13	248,70	11,54	25,64	4,73	29,92	176,88
(Искра 2С х ГОС 11)С х ПНС 2-13	225,90	7,45	20,62	3,61	17,51	176,70
(Коричневая 11С х ГОС 11)С х ПНС 2-13	233,50	9,74	19,57	6,82	33,25	164,13
Искра 2С х ПНС 2-13	224,30	10,90	27,48	5,83	27,41	152,68
Early Fulgar	213,90	9,78	18,99	3,72	36,11	145,30
Искра 2С х Early Fulgar	254,80	12,94	25,63	5,35	33,33	177,54
(Искра 2С х ГОС 11)С х Early Fulgar	224,50	12,71	22,45	4,45	37,63	147,27
Просвет 1/1	228,20	7,33	20,97	4,11	34,23	161,57
(Коричневая 11С х ГОС 11)С х Просвет 1/1	209,90	7,56	20,47	4,03	29,66	148,19
НСР ₀₅	24,08	2,12	5,25	1,29	5,54	22,58

Сырой жир обеспечивает энергию, участвует в формировании жирных кислот, является источником жирорастворимых витаминов. Содержание сырого жира у образцов сорго сахарного составляет 3,61 - 7,15 г.

Сырая клетчатка играет в рационах животных роль источника энергии, а также обеспечивает нормальные процессы пищеварения. В сорговых культурах на долю сырой клетчатки приходится от 17,51 г ((Искра 2С х ГОС 11)С х ПНС 2-13) до 55,29 г ((Искра 2С х ГОС 11)С х Early Amber).

Органические вещества, которые не учитывают при определении сырого протеина, сырого жира и сырой клетчатки, относят к фракции

безазотистых экстрактивных веществ (БЭВ). В состав БЭВ входят камеди, крахмал, сахара, инулин, часть целлюлозы, лигнина и другие вещества. Содержание БЭВ в 1 кг зеленой массы составляет до 177,54 г (Искра 2С х Early Fulgar).

4.3 Гетерозис по морфологическим признакам и урожайности сорго сахарного

Явление гетерозиса впервые было открыто профессором ботаники Петербургской академии наук И. Кельрейтером. В 1760 году он получил межвидовой гибрид махорки и перуанского табака. Гибридные растения были больше по размеру, интенсивнее росли, раньше зацветали при сравнении с родительскими формами. Исследования продолжил Ч. Дарвин, в 1877 г. он выявил гибридную силу у кукурузы, полученной путем скрещивания, а у контрольной группы растений, полученной в результате самоопыления, такого эффекта не наблюдалось [34; 45].

Современное объяснение эффекта гетерозиса предполагает наличие оптимального уровня гомо- и гетерозиготности. Необходимо соотношение, при котором часть генов должна быть гомозиготной в доминантной форме, часть – в рецессивной, часть – гетерозиготной. Поэтому появление высокопродуктивных гибридов с комплексом хозяйственно ценных признаков происходит не всегда.

Использование в селекции эффекта гетерозиса является одним из направлений повышения конкурентоспособности гибридов сорго сахарного отечественной селекции [90; 122; 164].

При изучении гетерозиса из всей совокупности хозяйственно - ценных признаков следует выделять продолжительность вегетационного периода и урожайность [21; 60; 61; 133].

Гетерозис по продолжительности вегетационного периода. Вегетационный период является одним из основных признаков, влияющих на урожайность зеленой массы сорго сахарного [12; 46; 53].

По продолжительности периода «всходы - полная спелость» у гибридов истинный гетерозис на позднеспелость составил до + 8 дней. Наибольшее превосходство по данному показателю над лучшей родительской формой имели гибриды Искра 2С х Памяти Шепеля – 5,9 % или + 5 дней и (Коричневая 11С х ГОС 11)С х Lango, Olwa– 7,4 % или +8 дней (таблица 4.7).

Таблица 4.7 –Проявление истинного гетерозиса сорго сахарного по продолжительности вегетационного периода (всходы - полная спелость), 2021 - 2023 гг.

Название родительских форм, гибридов	Период «всходы – полная спелость», дней				Эффект гетерозиса	
	2021 г.	2022 г.	2023 г.	среднее	дней	%
Памяти Шепеля ♂	101	100	106	102	-	-
Искра 2С х Памяти Шепеля F ₁	100	111	112	108	+6	5,9
(Искра 2С х ГОС 11)С х Памяти Шепеля F ₁	96	110	109	105	+3	2,9
Просвет 1/1 ♂	102	107	110	106	-	-
Перспектива 80С х Просвет 1/1 F ₁	104	102	107	104	-2	1,9
(Искра 2С х ГОС 11)С х Просвет 1/1 F ₁	104	100	113	106	0	0
Крымский сладкий ♂	99	105	111	105	-	-
(Искра 2С х ГОС 11)С х Крымский сладкий F ₁	102	108	106	105	0	0
(Коричневая 11С х ГОС 11)С х Крымский сладкий F ₁	103	110	108	107	+2	1,9
ПНС 2-13 ♂	98	108	114	107	-	-
Искра 2С х ПНС 2-13 F ₁	97	102	108	102	-5	4,7
(Коричневая 11С х ГОС 11)С х ПНС 2-13 F ₁	103	113	109	108	+1	0,9
Early Fulgar ♂	111	101	111	108	-	-
Бурана 24С х Early Fulgar F ₁	112	105	113	110	+2	1,9
Искра 2С х Early Fulgar F ₁	110	104	112	109	+1	0,9
(Искра 2С х ГОС 11)С х Early Fulgar F ₁	114	103	111	109	+1	0,9
Крымское 15 ♂	101	115	117	111	-	-
(Искра 2С х ГОС 11)С х Крымское 15 F ₁	103	108	110	107	-4	3,6
Lango, Olwa ♂	106	105	114	108	-	-
Бурана 24С х Lango, Olwa F ₁	120	115	114	116	+8	7,4
(Коричневая 11С х ГОС 11)С х Lango, Olwa F ₁	115	111	122	116	+8	7,4
Early Amber ♂	100	102	112	105	-	-
(Искра 2С х ГОС 11)С х Early Amber F ₁	101	92	103	99	-6	5,7
Бурана 24С ♀	103	98	102	101	-	-
Бурана 24С х Сорго Абхазия F ₁	93	105	107	102	+1	1,0
НСР ₀₅ , дней	-	-	-	7,7	-	-

Для большинства образцов лучшая родительская форма по исследуемому признаку – отцовская. Однако, при изучении вегетационного периода у гибрида Бурана 24С x Сорго Абхазия, оказалось, что более позднеспелая родительская форма – Бурана 24С (стерильный аналог линии сорго зернового). Гибрид превосходит своего родителя незначительно.

Гипотетический гетерозис подразумевает способность гибридов F_1 превосходить по данному признаку средние показатели продолжительности периода «всходы - полная спелость» у родительских форм (таблица 4.8).

Таблица 4.8 – Проявление гипотетического гетерозиса сорго сахарного по продолжительности вегетационного периода (всходы - полная спелость), 2021 - 2023 гг.

Название гибридов	Период «всходы – полная спелость», дней				Превышение над родителями	
	материн- ская линия, ♀	отцовская линия, ♂	средняя по родителям, \bar{x}	гибрид, F_1	дней	%
Искра 2С x Памяти Шепеля F_1	99	102	101	108	+7	6,9
(Искра 2С x ГОС 11)С x Памяти Шепеля F_1	97	102	100	105	+5	5,0
Бурана 24С x Сорго Абхазия F_1	101	98	100	102	+2	2,5
Перспектива 80С x Просвет 1/1 F_1	98	106	102	104	+2	2,0
(Искра 2С x ГОС 11)С x Просвет 1/1 F_1	97	106	102	106	+4	3,9
(Искра 2С x ГОС 11)С x Крымский сладкий F_1	97	105	101	105	+4	4,0
(Коричневая 11С x ГОС 11)С x Крымский сладкий F_1	97	105	101	107	+6	5,9
Искра 2С x ПНС 2-13 F_1	99	107	103	102	-1	1,0
(Коричневая 11С x ГОС 11)С x ПНС 2-13 F_1	97	107	102	108	+6	5,9
Искра 2С x Early Fulgar F_1	99	108	104	109	+5	4,8
(Искра 2С x ГОС 11)С x Early Fulgar F_1	97	108	103	109	+6	5,8
Бурана 24С x Early Fulgar F_1	101	108	105	110	+5	4,8
(Искра 2С x ГОС 11)С x Крымское 15 F_1	97	111	104	107	+3	2,9
(Коричневая 11С x ГОС 11)С x Lango, Olwa F_1	97	108	103	116	+13	12,6
Бурана 24С x Lango, Olwa F_1	101	108	105	116	+11	9,5
(Искра 2С x ГОС 11)С x Early Amber F_1	97	105	101	99	-2	2,0
НСР ₀₅ , дней	-	-	-	7,8	-	-

Выявлены наиболее позднеспелые гибриды Искра 2С х Памяти Шепеля, Бурана 24С х Lango, Olwa, (Коричневая 11С х ГОС 11)С х Lango, Olwa, которые превосходят среднее значение по родительским формам на 7,5 %, 11,0 % и 13,0 % соответственно.

При изучении конкурсного гетерозиса (трансгетерозиса) по продолжительности периода «всходы-полная спелость» у гибрида (Искра 2С х ГОС 11)С х Early Amber созревание наблюдалось раньше контроля на 3 дня (таблица 4.9).

Таблица 4.9 – Проявление конкурсного гетерозиса сорго сахарного по продолжительности периода «всходы - полная спелость », 2021 - 2023 гг.

Название сорта, гибрида	Период «всходы – полная спелость», дней				Превышение над контролем	
	2021 г.	2022 г.	2023 г.	среднее	дней	%
Памяти Шепеля (контроль)♂	101	100	106	102	-	-
Искра 2С х Памяти Шепеля F ₁	100	111	112	108	+6	5,9
(Искра 2С х ГОС 11)С х Памяти Шепеля F ₁	96	110	109	105	+3	2,9
Бурана 24С х Сорго Абхазия F ₁	93	105	107	102	0	0
Перспектива 80С х Просвет 1/1 F ₁	104	102	107	104	+2	2,0
(Искра 2С х ГОС 11)С х Просвет 1/1 F ₁	104	100	113	106	+4	3,9
(Искра 2С х ГОС 11)С х Крымский сладкий F ₁	102	108	106	105	+3	2,9
(Коричневая 11С х ГОС 11)С х Крымский сладкий F ₁	103	110	108	107	+5	4,9
Искра 2С х ПНС 2-13 F ₁	97	102	108	102	0	0
(Коричневая 11С х ГОС 11)С х ПНС 2-13 F ₁	103	113	109	108	+6	5,9
Искра 2С х Early Fulgar F ₁	110	104	112	109	+7	6,9
(Искра 2С х ГОС 11)С х Early Fulgar F ₁	114	103	111	109	+7	6,9
Бурана 24С х Early Fulgar F ₁	112	105	113	110	+8	7,8
(Искра 2С х ГОС 11)С х Крымское 15 F ₁	103	108	110	107	+5	4,9
(Коричневая 11С х ГОС 11)С х Lango, Olwa F ₁	115	111	122	116	+14	13,7
Бурана 24С х Lango, Olwa F ₁	120	115	114	116	+14	13,7
(Искра 2С х ГОС 11)С х Early Amber F ₁	101	92	103	99	-3	2,9
НСР ₀₅ , дней	-	-	-	7,8	-	-

Выявлено существенное превышение над сортом-контролем у гибридов Бурана 24С х Early Fulgar, Искра 2С х Early Fulgar, (Искра 2С х ГОС 11)С х Early Fulgar. Наиболее позднеспелые по отношению к контролю гибриды (Коричневая 11С х ГОС 11)С х Lango, Olwa, Бурана 24С х Lango, Olwa. Эффект гетерозиса у них составил 13,7 %.

Согласно полученным данным, можно заключить, что у большинства гибридов сорго сахарного гетерозис по периоду «всходы-полная спелость» проявил себя незначительно.

Гетерозис по урожайности надземной массы сорго сахарного.

Одним из основных направлений работы при создании гибридов сорго сахарного является получение высокоурожайных форм. Потенциал гибридов сорго оценивается по проценту увеличения или уменьшения их урожайности по сравнению с лучшим родителем, средним родителем, сортом-контролем [46; 56; 78; 129].

Урожайность надземной массы составила от 26,1 т/га ((Искра 2С х ГОС 11)С х Просвет 1/1) до 52,1 т/га ((Искра 2С х ГОС 11)С х Крымское 15) у полученных гибридов. Превосходство высокоурожайных гибридов над лучшей родительской формой составило до 37,0 % (Искра 2С х ГОС 11)С х Early Amber (таблица 4.10).

Отрицательный эффект истинного гетерозиса у Искра 2С х Памяти Шепеля (- 7,1 т/га) – отклонение от лучшего родителя достоверно.

У большинства гибридов наблюдается превышение по урожайности зеленой массы над лучшей родительской формой, например, (Искра 2С х ГОС 11)С х Крымское 15 (+ 3,3 т/га), Бурана 24С х Lango, Olwa (+ 5,0 т/га), (Искра 2С х ГОС 11)С х Памяти Шепеля (+ 5,2 т/га).

Наибольший эффект истинного гетерозиса отмечен у гибридов (Искра 2С х ГОС 11)С х Early Fulgar – 25,0 %, Искра 2С х ПНС 2-13 – 29,0 %, (Искра 2С х ГОС 11)С х Early Amber – 37,0 %.

Таблица 4.10 – Истинный гетерозис по урожайности надземной массы гибридов F₁ сорго сахарного, 2021-2023 гг.

Название родительских форм, гибридов (А)	Урожайность надземной массы, т/га (В)				Эффект гетерозиса	
	2021 г.	2022 г.	2023 г.	среднее	т/га	%
Памяти Шепеля ♂	53,3	33,5	33,1	40,0	-	-
Искра 2С х Памяти Шепеля F ₁	38,6	29,0	31,2	32,9	-7,1	17,8
(Искра 2С х ГОС 11)С х Памяти Шепеля F ₁	56,9	33,8	44,9	45,2	+5,2	13,0
Сорго Абхазия ♂	46,8	32,7	35,4	38,3	-	-
Бурана 24С х Сорго Абхазия F ₁	42,1	30,5	31,9	34,8	-3,5	9,1
Просвет 1/1 ♂	34,5	30,1	33,7	32,7	-	-
Перспектива 80С х Просвет 1/1 F ₁	35,9	25,8	31,2	31,0	-1,7	5,2
(Искра 2С х ГОС 11)С х Просвет 1/1 F ₁	24,6	27,0	26,8	26,1	-6,6	20,2
ПНС 2-13 ♂	32,9	30,3	32,0	31,7	-	-
Искра 2С х ПНС 2-13 F ₁	58,0	26,3	38,5	40,9	+9,2	29,0
(Коричневая 11С х ГОС 11)С х ПНС 2-13 F ₁	50,4	26,8	35,2	37,5	+3,2	9,3
Early Fulgar ♂	46,4	27,9	28,9	34,4	-	-
Искра 2С х Early Fulgar F ₁	47,8	30,8	32,5	37,0	+2,6	7,6
(Искра 2С х ГОС 11)С х Early Fulgar F ₁	58,9	30,2	39,9	43,0	+8,6	25,0
Бурана 24С х Early Fulgar F ₁	53,5	30,2	42,5	42,1	+7,7	22,4
Крымское 15 ♂	60,5	39,5	46,3	48,8	-	-
(Искра 2С х ГОС 11)С х Крымское 15 F ₁	64,5	41,2	50,5	52,1	+3,3	6,8
Lango, Olwa ♂	22,0	27,6	35,3	28,3	-	-
Бурана 24С х Lango, Olwa F ₁	37,7	29,0	33,2	33,3	+5,0	17,7
Early Amber ♂	42,5	20,8	22,2	28,5	-	-
(Искра 2С х ГОС 11)С х Early Amber F ₁	51,2	39,2	44,0	44,8	+12,1	37,0
(Коричневая 11С х ГОС 11)С ♀	33,9	33,0	36,2	34,3	-	-
(Коричневая 11С х ГОС 11)С х Крымский сладкий F ₁	48,0	26,3	31,7	35,3	+1,0	2,9
(Коричневая 11С х ГОС 11)С х Lango, Olwa F ₁	25,5	27,4	30,1	27,6	-6,7	19,5
(Искра 2С х ГОС 11)С ♀	23,0	33,8	41,3	32,7	-	-
(Искра 2С х ГОС 11)С х Крымский сладкий F ₁	28,9	34,6	30,0	31,2	-1,5	4,6
НСР ₀₅ А, т/га	2,1				-	-
НСР ₀₅ В, т/га	0,6				-	-
НСР ₀₅ АВ, т/га	3,9				-	-

При изучении гипотетического гетерозиса, урожайность зеленой массы у гибридов (Искра 2С х ГОС 11)С х Просвет 1/1 и (Коричневая 11С х ГОС 11)С х Lango, Olwa меньше среднего значения урожайности их родительских форм на 6,6 т/га и 3,7 т/га (таблица 4.11).

Таблица 4.11 – Гипотетический гетерозис по урожайности надземной массы гибридов F₁ сорго сахарного, 2021-2023 гг.

Название гибридов (А)	Урожайность надземной массы, т/га				Превышение над родителями	
	материнская линия, ♀	отцовская линия, ♂	средняя по родителям, \bar{x}	гибрид, F ₁	т/га	%
Искра 2С х Памяти Шепеля F ₁	27,1	40,0	33,6	32,9	-0,7	2,1
(Искра 2С х ГОС 11)С х Памяти Шепеля F ₁	32,7	40,0	36,4	45,2	+8,8	24,2
Бурана 24С х Сорго Абхазия F ₁	27,6	38,3	33,0	34,8	+1,8	5,5
Перспектива 80С х Просвет 1/1 F ₁	28,7	32,7	30,7	31,0	+0,3	1,0
(Искра 2С х ГОС 11)С х Просвет 1/1 F ₁	32,7	32,7	32,7	26,1	-6,6	20,2
(Искра 2С х ГОС 11)С х Крымский сладкий F ₁	32,7	31,4	32,1	31,2	-0,9	2,7
(Коричневая 11С х ГОС 11)С х Крымский сладкий F ₁	34,3	31,4	32,9	35,3	+2,4	7,5
Искра 2С х ПНС 2-13 F ₁	27,1	31,7	29,4	40,9	+11,5	39,1
(Коричневая 11С х ГОС 11)С х ПНС 2-13 F ₁	31,7	34,3	33,0	37,5	+4,5	13,6
Искра 2С х Early Fulgar F ₁	27,1	34,4	30,8	37,0	+6,2	20,1
(Искра 2С х ГОС 11)С х Early Fulgar F ₁	32,7	34,4	33,6	43,0	+9,4	28,0
Бурана 24С х Early Fulgar F ₁	27,6	34,4	31,0	42,1	+11,1	35,8
(Искра 2С х ГОС 11)С х Крымское 15 F ₁	32,7	48,8	40,8	52,1	+11,4	27,7
Бурана 24С х Lango, Olwa F ₁	27,6	28,3	28,0	33,3	+5,3	18,9
(Коричневая 11С х ГОС 11)С х Lango, Olwa F ₁	28,3	34,3	31,3	27,6	-3,7	11,8
(Искра 2С х ГОС 11)С х Early Amber F ₁	32,7	28,5	30,6	44,8	+14,2	46,4
НСР ₀₅ А, т/га	-	-	-	2,20	-	-

Превышение урожайности надземной массы гибридов F₁ сорго сахарного над средним значением по обоим родительским формам установлено у (Искра 2С х ГОС 11)С х Памяти Шепеля (+ 8,8 т/га), (Искра 2С х ГОС 11)С х Early Fulgar (+ 9,4 т/га), (Искра 2С х ГОС 11)С х Крымское 15 (+ 11,4 т/га).

Наибольший эффект гипотетического гетерозиса отмечен у гибридов Искра 2С х ПНС 2-13 и (Искра 2С х ГОС 11)С х Early Amber.

Конкурсный гетерозис у форм (Искра 2С х ГОС 11)С х Памяти Шепеля, (Искра 2С х ГОС 11)С х Early Amber, (Искра 2С х ГОС 11)С х Early Fulgar составляет 13,0, 12,0 и 7,5 % соответственно. Трансгетерозис позволил выявить гибрид (Искра 2С х ГОС 11)С х Крымское 15, который превосходит по урожайности сорт-контроль Памяти Шепеля на 12,1 т/га (30,3 %) (таблица 4.12).

Таблица 4.12 – Конкурсный гетерозис по урожайности надземной массы гибридов F₁ сорго сахарного, 2021-2023 гг.

Название сорта, гибридов (А)	Урожайность надземной массы, т/га (В)				Эффект гетерозиса	
	2021 г.	2022 г.	2023 г.	среднее	т/га	%
Памяти Шепеля (контроль) ♂	53,3	33,5	33,1	40,0	-	-
Искра 2С х Памяти Шепеля F ₁	38,6	29,0	31,2	32,9	-7,1	17,8
(Искра 2С х ГОС 11)С х Памяти Шепеля F ₁	56,9	33,8	44,9	45,2	+5,2	13,0
Бурана 24С х Сорго Абхазия F ₁	42,1	30,5	31,9	34,8	-5,2	13,0
Перспектива 80С х Просвет 1/1 F ₁	35,9	25,8	31,2	31,0	-9,0	22,5
(Искра 2С х ГОС 11)С х Просвет 1/1 F ₁	24,6	27,0	26,8	26,1	-13,9	34,8
(Искра 2С х ГОС 11)С х Крымский сладкий F ₁	32,7	31,4	32,1	31,2	-8,8	22,0
(Коричневая 11С х ГОС 11)С х Крымский сладкий F ₁	48,0	26,3	31,7	35,3	-4,7	11,8
Искра 2С х ПНС 2-13 F ₁	58,0	26,3	38,5	40,9	+0,9	2,3
(Коричневая 11С х ГОС 11)С х ПНС 2-13 F ₁	50,4	26,8	35,2	37,5	-2,5	6,3
Искра 2С х Early Fulgar F ₁	47,8	30,8	32,5	37,0	-3,0	7,5
(Искра 2С х ГОС 11)С х Early Fulgar F ₁	58,9	30,2	39,9	43,0	+3,0	7,5
Бурана 24С х Early Fulgar F ₁	53,5	30,2	42,5	42,1	+2,1	5,3
(Искра 2С х ГОС 11)С х Крымское 15 F ₁	64,5	41,2	50,5	52,1	+12,1	30,3
Бурана 24С х Lango, Olwa F ₁	37,7	29,0	33,2	33,3	-6,7	16,8
(Коричневая 11С х ГОС 11)С х Lango, Olwa F ₁	25,5	27,4	30,1	27,6	-12,4	31,0
(Искра 2С х ГОС 11)С х Early Amber F ₁	51,2	39,2	44,0	44,8	+4,8	12,0
НСР ₀₅ А, т/га	2,22				-	-
НСР ₀₅ В, т/га	0,79					
НСР ₀₅ АВ, т/га	4,07					

Таким образом, можно отметить, что большинство форм не обладает превосходством над родительскими особями по урожайности надземной массы. При этом, были выявлены и высокогетерозисные гибриды. Наибольший эффект истинного гетерозиса по урожайности отмечен у гибридов (Искра 2С х ГОС 11)С х Early Fulgar, Искра 2С х ПНС 2-13, (Искра 2С х ГОС 11)С х Early Amber; гипотетического – у Бурана 24С х Early Fulgar, Искра 2С х ПНС 2-13, (Искра 2С х ГОС 11)С х Early Amber; конкурсного – у (Искра 2С х ГОС 11)С х Крымское 15.

4.4 Результаты изучения наследования количественных признаков гибридов F₁ сахарного сорго

Гибридизация является сложным процессом по созданию новых форм, основанный на развитии генотипа в условиях района возделывания. В гибридном организме состояние признаков, полученные от родительских форм, могут проявляться в каждом поколении по-разному, при этом проявляется доминантное или рецессивное состояние признака. Поэтому важно установить наследование признаков в условиях развития растений. Оценка полученных гибридов выражается устойчивостью к стрессовым факторам среды и величиной потенциальной продуктивности к условиям территории возделывания сельскохозяйственной культуры. Согласно исследованиям различных авторов, установлено, что характер наследования признаков определяется генетическими особенностями материала родительских форм и особенностями почвенно-климатических условий района проведения исследований [5; 7; 11; 30; 40; 43; 87; 94; 95].

Одним из крупнейших достижений является получение и широкое распространение гибридных форм хозяйственно важных растений, характеризующихся выраженным гетерозисным эффектом. Использование высокогетерозисных гибридов способствует увеличению урожайности сельскохозяйственных культур на 10-30 % [52; 54; 71; 72; 88; 90; 125].

В научной литературе часто встречаются результаты, когда значение гетерозиса характеризует коэффициент доминирования (h_p). По его величине можно с высокой точностью определить наследование изучаемого признака – частичное доминирование ($0 < h_p < 0,5$), полудоминирование ($h_p = 0,5$), неполное доминирование ($0,5 < h_p < 1,0$), доминирование ($h_p = 1,0$) и сверхдоминирование ($h_p > 1,0$) [19; 35; 39; 82; 96; 125].

Нами установлены коэффициенты доминирования по продолжительности вегетационного периода, высоте растений, длине метелки, диаметру стебля, количеству междоузлий и содержанию сахаров в соке стеблей у гибридов F_1 сорго сахарного.

Наследование продолжительности вегетационного периода.
Коэффициент доминирования гибридов сорго по отношению к их родительским формам составил от 0 до 7,0. Доминирование у гибрида Бурана 24С x Лиственит, при $h_p=0$ не происходит.

Коэффициент $h_p=0,4$ характеризует состояние частичного доминирования признака родительских форм у гибридов (Искра 2С x ГОС 11)С x Крымское 15 и (Искра 2С x ГОС 11)С x ПНС 2-13. Полудоминирование проявилось у Перспектива 80С x Просвет ($h_p = 0,5$).

Полное доминирование наследования продолжительности вегетационного периода выявлено у гибридов (Искра 2С x ГОС 11)С x Просвет 1/1, (Искра 2С x ГОС 11)С x Крымский сладкий.

Сверхдоминирование (h_p больше 1,0) наблюдалось у девяти гибридов, например, Искра 2С x Памяти Шепеля (7,0), (Искра 2С x ГОС 11)С x Питательное (2,6), Бурана 24С x Early Fulgar (1,7) и (Коричневая 11С x ГОС 11)С x Крымский сладкий (1,5). Для них характерен более поздний период созревания по отношению к родительским формам (рисунок 4.2).

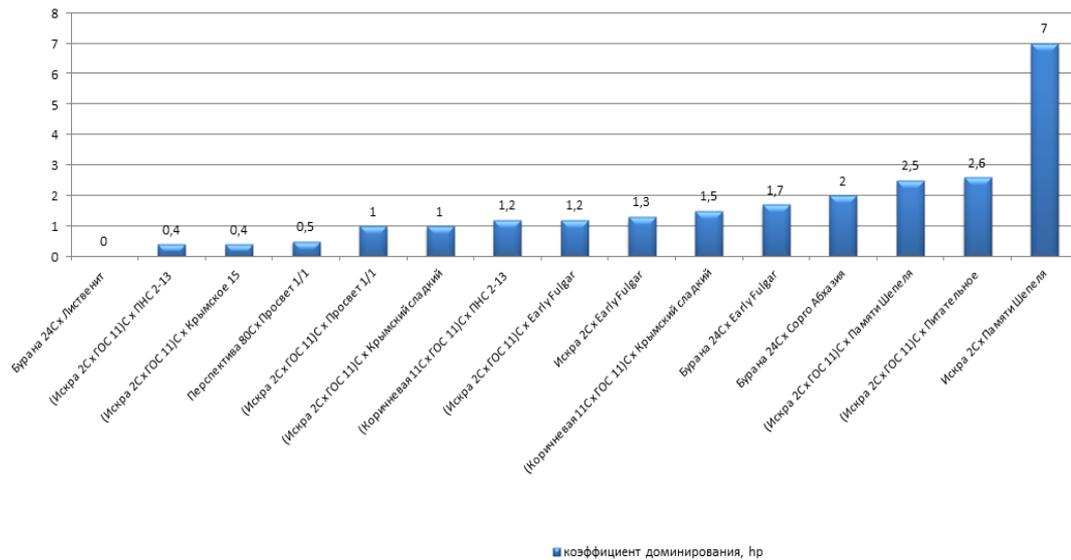


Рисунок 4. 2 – Наследование длины вегетационного периода (всходы - полная спелость) гибридами F_1 сорго сахарного, 2021-2023 гг.

При определении наследования продолжительности вегетационного периода гибридами по отношению к родительским компонентам на основе коэффициента доминирования выявлены формы с частичным доминированием, полудоминированием, доминированием и сверхдоминированием.

Наследование высоты растений. По высоте растений значения h_p менее 0 отображают явление отрицательного доминирования и характеризуют гибриды, как низкорослые по отношению к родительским формам: (Коричневая 11С x ГОС 11)С x Крымский сладкий (-0,5), (Коричневая 11С x ГОС 11)С x ПНС 2-13 (-0,4) и Бурана 24С x Лиственит (-0,1).

Частичное доминирование проявилось у (Коричневая 11С x ГОС 11)С x Крысакор 12/1, (Искра 2С x ГОС 11)С x Крымское 15, а полудоминирование у Искра 2С x ПНС 2-13. Коэффициент h_p у (Искра 2С x ГОС 11)С x Памяти Шепеля и Искра 2С x Early Fulgar составил 0,9 и 0,8 – гибриды обладают неполным доминированием наследования высоты растений.

Эффект сверхдоминирования ($h_p > 1$) наблюдается у Бурана 24С x Сорго Абхазия, Перспектива 80С x Просвет 1/1, Бурана 24С x Early Fulgar. Следует отметить гибриды (Искра 2С x ГОС 11)С x Питательное и Бурана 24С x Просвет 1/1 с наибольшим коэффициентом наследования ($h_p = 4,1$) по высоте растений (рисунок 4.3).

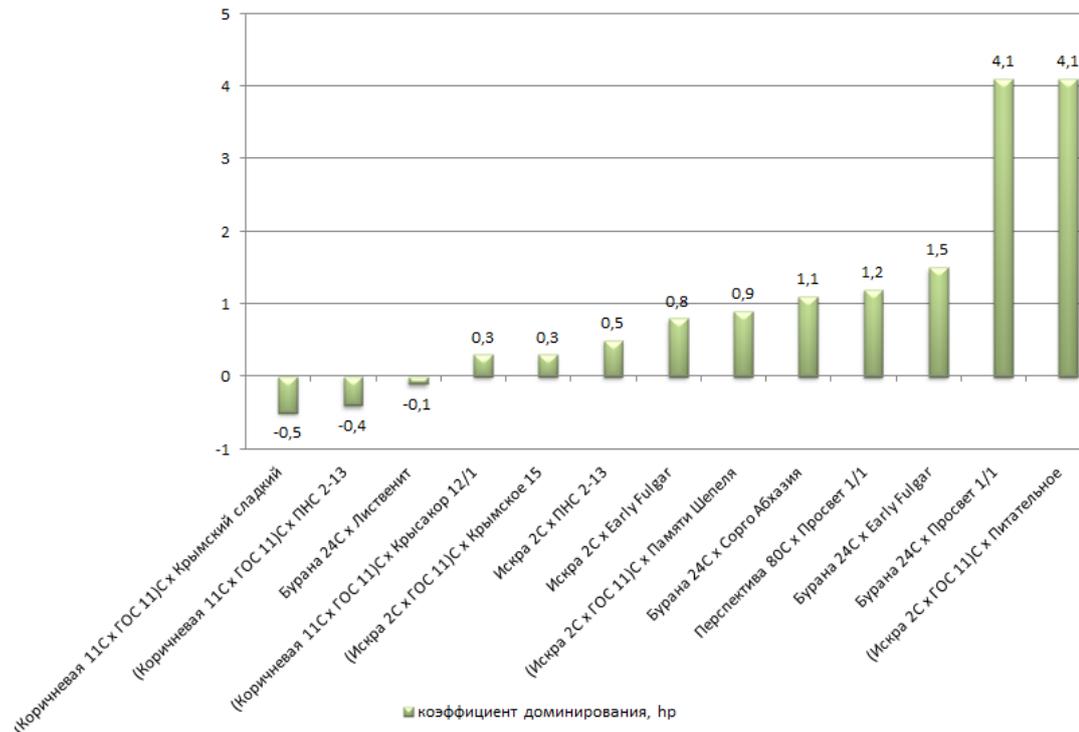


Рисунок 4.3 – Наследование высоты растений гибридами F_1 сорго сахарного, 2021-2023 гг.

Анализируя наследование высоты растений, установлено, что гибриды сорго сахарного проявляют частичное доминирование, неполное доминирование и сверхдоминирование, а также отрицательное наследование.

Наследование содержания сахаров в соке стеблей. Одним из основных направлений использования сорго сахарного является производство сахара и спирта из сока стеблей. Изучение наследования признака способствует дальнейшим селекционным исследованиям, направленным на создание высокосахаристых форм сорго сахарного.

Отрицательное значение коэффициента наследования ($h_p = -2,9 - -0,3$) у Бурана 24С x Сорго Абхазия, (Искра 2С x ГОС 11)С x Крымский сладкий, (Коричневая 11С x ГОС 11)С x ПНС 2-13, Бурана 24С x Лиственит, (Искра 2С x ГОС 11)С x Крымское 15 (рисунок 4.4).

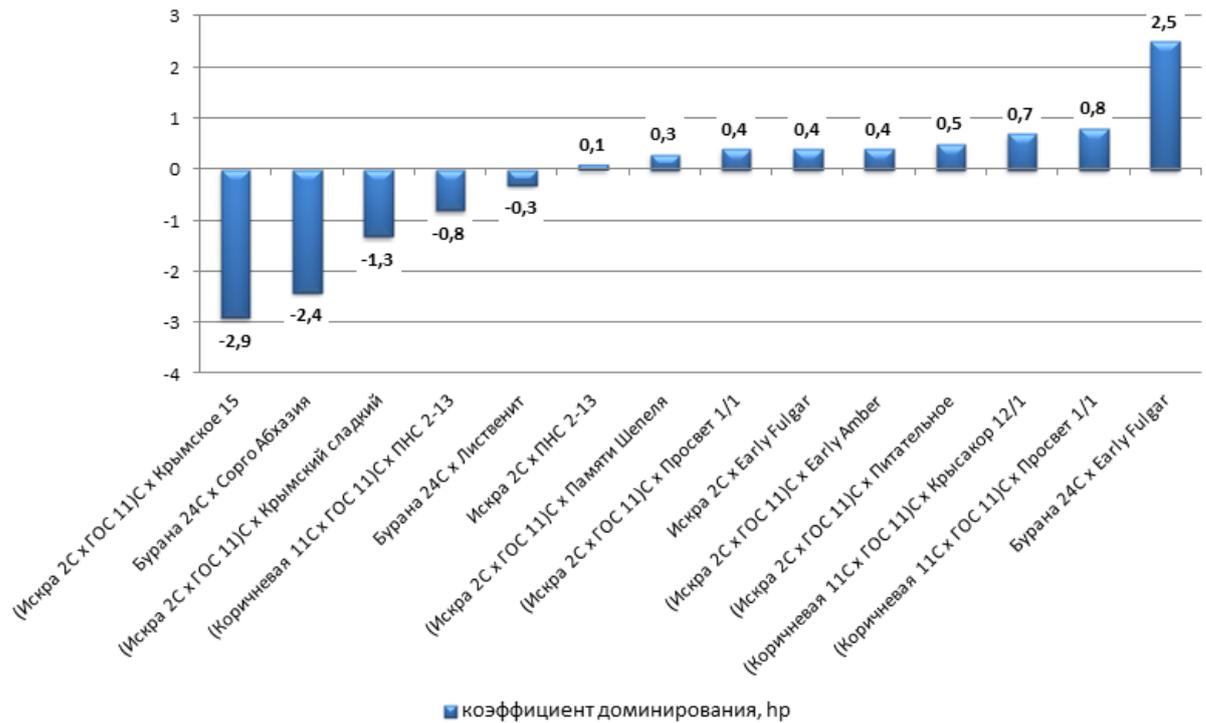


Рисунок 4.4 – Наследование содержания сахаров в соке стеблей гибридами F_1 сорго сахарного, 2021-2023 гг.

Частичное доминирование проявили гибриды, например, Искра 2С x Early Fulgar, (Искра 2С x ГОС 11)С x Просвет 1/1, Искра 2С x ПНС 2-13. Гибрид (Искра 2С x ГОС 11)С x Питательное обладает полудоминированием наследования признака ($h_p = 0,5$).

Неполное доминирование у (Коричневая 11С x ГОС 11)С x Крысакор 12/1 и (Коричневая 11С x ГОС 11)С x Просвет 1/1.

Выявлен гибрид с эффектом сверхдоминирования признака – Бурана 24С x Early Fulgar, коэффициент наследования составил 2,5.

При изучении наследования продолжительности периода «всходы - полная спелость» большинство гибридов позднеспелые по отношению к родительским формам. Они обладали эффектом доминирования и сверхдоминирования признака.

По высоте растений эффект сверхдоминирования выявлен у гибридов Бурана 24С x Сорго Абхазия, Перспектива 80С x Просвет 1/1, Бурана 24С x Early Fulgar, (Искра 2С x ГОС 11)С x Питательное и Бурана 24С x Просвет 1/1.

При изучении наследования длины метелки большинство растений обладали отрицательным доминированием. Размер метелки больше, чем у родительских форм выявлен у двух гибридов: (Искра 2С х ГОС 11)С х Питательное, (Коричневая 11С х ГОС 11)С х Lango, Olwa.

Отрицательный эффект наследования по диаметру стебля выявлен у всех исследуемых образцов. В качестве лучшей родительской формы исходному показателю выступили материнские стерильные аналоги линий сорго зернового.

Количество междоузлий положительно коррелирует с высотой растений и урожайностью надземной массы. Сверхдоминирование установлено у (Коричневая 11С х ГОС 11)С х Крысакор 12/1, Бурана 24С х Просвет 1/1, Бурана 24С х Сорго Абхазия, (Искра 2С х ГОС 11)С х Early Amber, (Искра 2С х ГОС 11)С х Питательное, Перспектива 80С х Просвет 1/1.

Наследование содержания сахаров в соке стеблей у гибридов сорго сахарного происходит по принципу частичного доминирования, полудоминирования, неполного доминирования, и сверхдоминирования. Может проявляться как положительный, так и отрицательный эффект доминирования. Выявлен гибрид с эффектом сверхдоминирования признака – Бурана 24С х Early Fulgar, коэффициент наследования составил 2,5.

РАЗДЕЛ 5 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ГИБРИДОВ И РОДИТЕЛЬСКИХ ФОРМ СОРГО САХАРНОГО

Установление экономической эффективности полученного продукта является одним из обязательных условий в сельском хозяйстве [55; 59; 85].

Наряду с высокой урожайностью надземной массы новых гибридов, сортов, линий необходимо обеспечить еще и высокий выход кормовых единиц и переваримого протеина.

Энергетическая питательность кормов и энергетические потребности животных в нашей стране до 1985 г. рассчитывались в кормовых единицах, а с 1986 г. еще и по обменной энергии [4; 66; 68; 83; 84].

Количество обменной энергии у различных сортов, форм, линий и гибридов сорго составило 2,00 – 2,67 мДж в 1 кг надземной массы для КРС (таблица 5.1).

Таблица 5.1 – Кормовая ценность зеленой массы сортов, линий, форм и гибридов сорго сахарного (для крупного рогатого скота), 2021-2023 гг.

Название сорта, линии, формы, гибрида (А)	Урожайность зеленой массы, т/га (В)	Обменная энергия (ОЭ), мДж / 1 кг зеленой массы	Энергетические кормовые единицы (ЭКЕ), мДж / 1 кг зеленой массы	Кормо-протеиновые единицы, т /га
Памяти Шепеля контроль	40,0	2,12	0,21	8,49
Lango, Olwa	28,3	2,58	0,26	7,30
(Коричневая 11С х ГОС 11)С х Lango, Olwa	27,6	2,36	0,24	6,53
Early Amber	28,5	2,24	0,22	6,37
(Искра 2С х ГОС 11)С х Early Amber	44,8	2,00	0,20	8,94
ПНС 2-13	31,7	2,64	0,26	8,38
(Искра 2С х ГОС 11)С х ПНС 2-13	35,6	2,50	0,25	8,91
(Коричневая 11С х ГОС 11)С х ПНС 2-13	37,5	2,44	0,24	9,15
Искра 2С х ПНС 2-13	40,9	2,40	0,24	9,83
Early Fulgar	34,4	2,17	0,22	7,45

Продолжение таблицы 5.1

Искра 2С x Early Fulgar	37,0	2,67	0,27	9,88
(Искра 2С x ГОС 11)С x Early Fulgar	43,0	2,26	0,23	9,73
Просвет 1/1	32,7	2,39	0,24	7,81
(Коричневая 11 С x ГОС 11)С x Просвет 1/1	34,0	2,21	0,22	7,52
НСР ₀₅ А = 2,1 т/га				

Например, у гибридов (Коричневая 11С x ГОС 11)С x Lango, Olwa – 2,36 мДж, у (Искра 2С x ГОС 11)С x ПНС 2-13 – 2,50 мДж. Наибольшим количеством обменной энергии (для КРС) обладают линия ПНС 2-13 (2,64 мДж) и простой гибрид Искра 2С x Early Fulgar (2,67 мДж).

На основе обменной энергии можно установить энергетическую питательность кормов, которую выражают в энергетических кормовых единицах (ЭКЕ). За энергетическую кормовую единицу (ЭКЕ) принято 10 мДж ОЭ.

Соответственно, наибольший выход энергетических кормовых единиц будет у линии и гибрида с наибольшей обменной энергией: ПНС 2-13 – 0,26 мДж, Искра 2С x Early Fulgar – 0,27 мДж (для КРС).

Установлено, что гибриды (Коричневая 11С x ГОС 11)С x ПНС 2-13, Искра 2С x Early Fulgar, (Искра 2С x ГОС 11)С x Early Fulgar, Искра 2С x ПНС 2-13 обладают наибольшим содержанием кормо-протеиновых единиц с 1 га среди исследованных образцов сорго сахарного для крупного рогатого скота.

В результате исследований выявлены высокоурожайные гибриды (более 40,0 т/га): (Искра 2С x ГОС 11)С x Early Amber, Искра 2С x ПНС 2-13, (Искра 2С x ГОС 11)С x Early Fulgar, с содержанием ЭКЕ и КПЕ: 0,20 мДж и 8,94 т/га, 0,24 мДж и 9,83 т/га, 0,23 мДж и 9,73 т/га соответственно. Простой гибрид Искра 2С x Early Fulgar при урожайности надземной массы 37,0 т/га содержит 0,27 мДж ЭКЕ и 9,88 т/га КПЕ.

Важно знать не только энергетическую ценность зеленых кормов из сорго сахарного, но и необходимо определить показатель экономической

эффективности, при котором происходит сопоставление результатов производства с денежными затратами на него.

Первым этапом в оценке экономической эффективности является выбор высокоурожайных гибридов сорго сахарного. Следует обязательно учитывать помимо урожайности ряд селекционно-ценных признаков исследуемой формы, например, засухоустойчивость, произрастание на засоленных почвах, устойчивость к фитопатогенам, стрессоустойчивость и адаптация к условиям возделывания и др.

Для исследования экономической эффективности зеленого корма из образцов сорго сахарного выбраны четыре гибрида с высокой энергетической ценностью: (Искра 2С х ГОС 11)С х Early Amber, Искра 2С х ПНС 2-13, (Искра 2С х ГОС 11)С х Early Fulgar, Искра 2С х Early Fulgar и районированный сорт-контроль Памяти Шепеля.

Определение экономической эффективности затрат на выращивание сорго сахарного включает использование таких основных показателей, как:

- затраты на возделывание культуры;
- чистый доход с 1 га;
- себестоимость 1 т продукции;
- урожайность т/га;
- выход с 1 га переваримого протеина, кормовых и кормо-протеиновых единиц [24; 27; 31; 41; 70; 100].

Способность кормов удовлетворять потребность животных в энергии и участвующих в построении различных тканей организма веществах, оказывать влияние на рост, развитие и продуктивность животных называют питательностью и выражают количественно. Выход кормо-протеиновых единиц отражает отношение урожайности зеленой массы форм сорго сахарного с 1 га (т) к показателю их КПЕ, выраженному в тоннах с 1 га. В отобранных образцах показатель выхода КПЕ составил 8,49 - 9,88 т / га.

Производственные затраты – важный фактор, влияющий на оценку экономической эффективности форм сорго. Данный показатель включает

суммарные затраты на обработку почвы, удобрения, уход за посевами, стоимость семян для посева, их перевозку и посев, затраты на скашивание зелёной массы и ее транспортировку.

Сумма производственных затрат у сорта-контроля Памяти Шепеля – 20300 руб., у гибридов (Искра 2С х ГОС 11)С х Early Amber, (Искра 2С х ГОС 11)С х Early Fulgar, Искра 2С х ПНС 2-13, Искра 2С х Early Fulgar – 21350 руб., 21200 руб., 20500 руб. и 19500 руб. соответственно (таблица 5.2).

Таблица 5.2 – Экономическая эффективность гибридов сорго сахарного, 2021-2023 гг.

Показатели	Памяти Шепеля (контр.)	Гибриды			
		(Искра 2С х ГОС 11)С х Early Amber	Искра 2С х ПНС 2-13	(Искра 2С х ГОС 11)С х Early Fulgar	Искра 2С х Early Fulgar
Урожайность зеленой массы, т/га	40,0	44,8	40,9	43,0	37,0
Выход кормо-протеиновых единиц, т/га	8,49	8,94	9,83	9,73	9,88
Сумма производственных затрат, руб.	20300	21350	20500	21200	19500
Себестоимость 1 т КПЕ, руб.	2391	2388	2085	2179	1974
Эффективность себестоимости 1 т КПЕ, руб. (%)	-	-3 руб. (0,1 %)	-306 руб. (12,8 %)	-212 руб. (8,9 %)	- 417 руб. (17,4 %)

Себестоимость 1 т КПЕ определяли путем деления суммы производственных затрат на выход кормо-протеиновых единиц с 1 га. Так, сорт Памяти Шепеля обеспечил себестоимость 1 т КПЕ в 2391 руб., а у гибридов (Искра 2С х ГОС 11)С х Early Amber, (Искра 2С х ГОС 11)С х Early Fulgar, Искра 2С х ПНС 2-13, Искра 2С х Early Fulgar – 2388 руб., 2179 руб., 2085 руб. и 1974 руб.

В результате возделывания гибрида (Искра 2С х ГОС 11)С х Early Fulgar установлено, что себестоимость 1 т кормо-протеиновых единиц с 1 га ниже на 8,9 %, а урожайность гибрида выше на 3,0 т, чем у сорта-контроля Памяти Шепеля. Урожайность зеленой массы гибрида Искра 2С х ПНС 2-13 на уровне

контроля, а эффективность себестоимости 1 т КПЕ составила 12,8 %, что на 306 руб. дешевле сорта-контроля. Гибрид Искра 2С х Early Fulgar обладает наибольшим, из представленных в таблице, выходом кормо-протеиновых единиц (9,88 т/га), а его урожайность зеленой массы ниже, чем у сорта Памяти Шепеля на 3,0 т, при этом эффективность себестоимости 1 т КПЕ на 17,4 % больше, чем у контроля. Гибрид Искра 2С х Early Fulgar следует учитывать при использовании сорговых культур в качестве источника зеленого корма для сельскохозяйственных животных.

При исследовании эффективности себестоимости 1 т КПЕ в условиях Республики Крым, новые гибриды F₁ сорго сахарного (Искра 2С х ГОС 11)С х Early Fulgar, Искра 2С х ПНС 2-13, Искра 2С х Early Fulgar рекомендованы для селекционных исследований с дальнейшей передачей в Госсорткомиссию для испытания и последующего районирования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате исследований достигнута поставленная цель по созданию нового исходного материала сорго сахарного по морфо-биологическим и хозяйственно ценным признакам: создан 101 гибрид F_1 путем искусственного опыления сортов, форм, линий сорго коллекции ВИР и селекции АТА. Из них выделено по селекционно-ценным признакам 27 гибридов F_1 сорго сахарного. Рекомендованы 3 гибрида F_1 для селекционных исследований с дальнейшей передачей в Госсорткомиссию для испытания и последующего районирования.

1. В течение 2020-2023 гг. из 42 отцовских сортов, линий, форм и 8 материнских аналогов линий сорго по хозяйственно ценным признакам выделено:

- 12 сортов, линий и форм: 5 – коллекции ВИР и 7 – селекции АТА для гибридизации и дальнейшей селекционной работы. Они использованы как отцовские компоненты при гибридизации.

- 5 материнских аналогов линий сорго: 3 стерильных аналога линий сорго зернового, 2 стерильных гибрида.

2. Из изученной 21 формы сорго по реакции на ЦМС установлено, что 15 образцов (71,0 %) являются восстановителями фертильности и 6 (29,0 %) – полувосстановителями фертильности. С восстановителями фертильности методом гибридизации созданы гибриды.

3. По результатам оценки комбинационной способности по урожайности зеленой массы сортов, линий, форм сорго сахарного высокую ОКС показали – Крымское 15 и (Искра 2С х ГОС 11)С. С высокой СКС выделены – Лиственит, Крымский сладкий, Early Fulgar, ПНС 2-13, Памяти Шепеля и Lango, Olwa, Бурана 24С и (Коричневая 11С х ГОС 11)С, Искра 2С и (Искра 2С х ГОС 11)С. Выделенные сорта, линии, формы рекомендовано применять в скрещиваниях для создания высокогетерозисных по урожайности надземной массы гибридов.

4. Выделены сорта, линии и формы с высоким содержанием сахаров (более 17 %): Питательное, Крысакор 12/1, Крымское, Lango, Olwa, Памяти Шепеля, ПНС 2-13, Крымский сладкий, Лиственит, Kansas orange, Rox orange.

5. Определены корреляционные связи между количественными признаками сортов, линий и форм сорго сахарного:

- установлено, что высокие ($r > 0,70$) положительные связи сформированы между шириной листа и диаметром стебля; количеством междоузлий и диаметром стебля; количеством междоузлий и периодом «всходы-полная спелость».

6. В результате изучения интенсивности начального роста у сорго сахарного рекомендовано дальнейшее изучение гибридов с наибольшим суточным приростом в период «20-30 сутки после всходов»: (Коричневая 11С х ГОС 11)С х Крысакор 12/1 (2,41 см/сут.) и (Искра 2С х ГОС 11)С х Питательное (2,45 см/сут.).

7. При определении продуктивности надземной массы выявлены высокоурожайные гибриды сорго сахарного: (Искра 2С х ГОС 11)С х Крымское 15 (52,1 т/га), (Коричневая 11С х ГОС 11)С х Лиственит (46,4 т/га), (Искра 2С х ГОС 11)С х Памяти Шепеля (45,2 т/га), (Искра 2С х ГОС 11)С х Early Amber (44,8 т/га).

8. В результате селекционной работы по созданию высокосахаристых гибридов сорго сахарного, были выделены:

- простой гибрид F_1 : Бурана 24С х Early Fulgar (17,9 %);
 - трехлинейные гибриды F_1 : (Коричневая 11С х ГОС 11)С х Просвет 1/1 (17,8 %), (Коричневая 11С х ГОС 11)С х Крысакор 12/1 (17,2 %), (Искра 2С х ГОС 11)С х Питательное (16,7 %), (Искра 2С х ГОС 11)С х Просвет 1/1 (16,6 %).

9. При изучении эффекта гетерозиса у новых гибридов выявлены:

- истинный гетерозис на позднеспелость у Бурана 24С х Lango, Olwa (7,4 %), (Коричневая 11С х ГОС 11)С х Lango, Olwa (7,4 %);

- превышение высокоурожайных гибридов над лучшей родительской формой составило до 37,0 % (Искра 2С х ГОС 11)С х Early Amber. Трансгетерозис позволил выявить высокопродуктивный гибрид (Искра 2С х ГОС 11)С х Крымское 15 (30,3 %).

10. При изучении наследования признаков установлены гибриды с эффектом сверхдоминирования признаков ($h_p > 1,0$):

- по продолжительности периода «всходы - полная спелость»: (Искра 2С х ГОС 11)С х Питательное;

- по высоте растений: Бурана 24С х Сорго Абхазия, Перспектива 80С х Просвет 1/1, Бурана 24С х Early Fulgar, (Искра 2С х ГОС 11)С х Питательное и Бурана 24С х Просвет 1/1;

- при изучении наследования содержания сахаров в соке стеблей сорго сахарного выявлен гибрид Бурана 24С х Early Fulgar.

11. Расчет кормовой ценности зеленой массы форм сорго сахарного для крупного рогатого скота, позволил определить, что простой гибрид Искра 2С х Early Fulgar обладает наибольшим содержанием обменной энергии, энергетических кормовых единиц и кормо-протеиновых единиц.

12. При исследовании экономической эффективности себестоимости 1 т КПЕ в условиях Республики Крым, новые гибриды F_1 сорго сахарного (Искра 2С х ГОС 11)С х Early Fulgar, Искра 2С х ПНС 2-13, Искра 2С х Early Fulgar рекомендованы для селекционных исследований с дальнейшей передачей в Госсортокмиссию для испытания и последующего районирования.

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ДЛЯ СЕЛЕКЦИОННОЙ ПРАКТИКИ

1. По результатам оценки комбинационной способности рекомендованы для использования в селекционной работе сорта, линии, формы сорго сахарного Крымское 15, Лиственит, Крымский сладкий, Early Fulgar, ПНС 2-13, Памяти Шепеля и Lango, Olwa и стерильные аналоги линий сорго: (Искра 2С x ГОС 11)С, Бурана 24С, (Коричневая 11С x ГОС 11)С, Искра 2С. Выделенные сорта, линии, формы рекомендовано применять в скрещиваниях для создания высокогетерозисных по урожайности надземной массы гибридов.

2. Сорта, линии, формы с высоким содержанием сахаров (более 17 %): Питательное, Крысакор 12/1, Крымское, Lango, Olwa, Памяти Шепеля, ПНС 2-13, Крымский сладкий, Лиственит, Kansas orange, Rox orange, Просвет 1/1 рекомендовано использовать при создании высокосахаристых форм сорго сахарного.

3. В селекционной практике рекомендовано особое внимание уделять гетерозисным гибридам сорго с повышенной урожайностью надземной массы: Искра 2С x ГОС 11)С x Early Amber, (Коричневая 11С x ГОС 11)С x Лиственит, (Искра 2С x ГОС 11)С x Памяти Шепеля, (Искра 2С x ГОС 11)С x Крымское 15.

4. Рекомендованы для селекции на высокосахаристость гибриды F_1 Бурана 24С x Early Fulgar (17,9 %), (Коричневая 11С x ГОС 11)С x Просвет 1/1 (17,8 %), (Коричневая 11С x ГОС 11)С x Крысакор 12/1 (17,2 %), (Искра 2С x ГОС 11)С x Питательное (16,7 %), (Искра 2С x ГОС 11)С x Просвет 1/1 (16,6 %).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алабушев, А.В. Различные способы уборки сахарного сорго / А.В. Алабушев, Н.В. Шишкин, Г.П. Герасименко, Т.В. Герасименко // Кукуруза и сорго. – 1996. – № 6. – С. 12-13.
2. Алабушев, А.В. Сорго (селекция, семеноводство, технология, экономика) / А.В. Алабушев, Л.Н. Анищенко, Н.Г. Гурский и др. – Ростов-на-Дону: ЗАО Книга. – 2003. – 368 с.
3. Андреев, Н.Г. Луговое и полевое кормопроизводство / Н.Г. Андреев. – М.: Колос, 1975. – С. 371-374.
4. Аникин, А.С. Косвенные методы определения питательных веществ в кормах для молочного скота, овец и свиней / А.С. Аникин, Р.В. Некрасов // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии: научно-теоретический журнал. – Ульяновск: УлГАУ, 2020. – № 2 (50). – С. 193-200.
5. Асеева, Т.А. Наследование основных хозяйственно ценных признаков гибридами ярового тритикале F_1 в условиях Среднего Приамурья/Т.А. Асеева, К.В. Зенкина//Дальневосточный аграрный вестник.–2018.–№ 4 (48).
6. Бабков, И.И. Климат/И.И. Бабков– Симферополь: Крым, 1966. – 67 с.
7. Багавиева, Э.З. Селекционная ценность сортов и гибридов яровой мягкой пшеницы в условиях Среднего Поволжья: дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.05 / Багавиева Эльмира Зинуровна. – Пенза, 2011. – 179 с.
8. Багрова, Л.А. География Крыма: учеб. пособие для учащихся общеобразовательных учеб. заведений / Л.А. Багрова, В.А. Боков, Н.В. Багров. – К.: Либідь, 2001. – 304 с.
9. 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.
10. Болдырева, Л.Л. Создание высокосахаристых гибридов F_1 сорго сахарного в условиях Крыма / Л.Л. Болдырева, В.Н. Юдина // Известия сельскохозяйственной науки Тавриды. – 2019.– № 19 (182). – С. 57-63.
11. Болдырева, Л.Л. Наследование основных количественных признаков гибридами F_1 сорго сахарного/ Л.Л. Болдырева, В.В. Бритвин // Научные труды Южного филиала Национального университета биоресурсов и природопользования Украины «Крымский агротехнологический университет». Серия: Сельскохозяйственные науки. – 2012. – № 149. – С. 77-80.
12. Болдырева, Л.Л. Оценка гетерозиса по основным морфо-биологическим признакам и свойствам у гибридов F_1 сорго зернового / Л.Л. Болдырева, В. В. Бритвин // Известия ОГАУ. – 2017.– № 3 (65). – С.225-229.
13. 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. – № 10 (173). – С. 24-30.

14. Болдырева, Л.Л. Перспективы использования сорго сахарного для производства концентрированного сиропа / Л.Л. Болдырева, В.В. Бритвин // Научные труды Южного филиала Национального университета биоресурсов и природопользования Украины «Крымский агротехнологический университет». Серия: Сельскохозяйственные науки. – 2012. – № 149. – С. 183 -188.

15. Болдырева, Л.Л. Перспективы селекции сорго сахарного в условиях Крыма / Л.Л. Болдырева, В.Н. Юдина // Известия сельскохозяйственной науки Тавриды. – 2017. – № 11 (174). – С 5-12.

16. 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.

17. Бритвин, В.В. Создание новых линий сорго сахарного с высокой продуктивностью и содержанием сахаров / В.В. Бритвин, Л.Л. Болдырева // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2015. – № 4 – С. 38-41.

18. Бритвин, В.В. Сорго как сырье для производства биоэтанола / В.В. Бритвин, Л.Л. Болдырева // Научные труды Южного филиала Национального университета биоресурсов и природопользования Украины «Крымский агротехнологический университет». Серия: Сельскохозяйственные науки. – 2013. – № 154. – С. 69-72.

19. Брюбейкер, Д.Ж. Сельскохозяйственная генетика / Д.Ж. Брюбейкер. – М.: Колос, 1966. – С. 237.

20. Бучинский, И.Е. Засухи и суховеи / И.Е. Бучинский. – Л.: Гидрометеоиздат, 1976. – 211 с.

21. Володин, А.Б. Использование гетерозиса в повышении урожайности и качества зеленой массы сахарного сорго / А.Б. Володин, С.И. Капустин, А.С. Капустин // Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной юбилею ученого-селекционера, Заслуженного изобретателя РФ, Заслуженного деятеля науки РСО-Алания, д. с.-х. н., профессора С.А. Бекузаровой. – 2017. – С. 63-65.

22. ГОСТ 13496.4-2019 Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения содержания азота и сырого протеина. – М.: Стандартиформ, 2019.

23. ГОСТ 13496.15-2016 Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения массовой доли сырого жира. – М.: Стандартиформ, 2016.

24. ГОСТ 31640-2012 Межгосударственный стандарт. Корма. Методы определения содержания сухого вещества. – М.: Стандартиформ, 2020.

25. ГОСТ 31675-2012 Методы определения содержания сырой клетчатки с применением промежуточной фильтрации. – М.: Стандартиформ, 2019.

26. ГОСТ 32933-2014 Корма, комбикорма. Метод определения содержания сырой золы. – М.: Стандартиформ, 2020.
27. ГОСТ Р 56912-2016. Корма зеленые. Технические условия. – М.: Стандартиформ, 2020.
28. Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Т.1. Сорты растений. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2022. – 646 с.
29. Гужов, Ю.Л. Селекция и семеноводство культивируемых растений / Ю.Л. Гужов, А. Фукс, П. Валичек. – М., 1999. – 536 с.
30. Гуляев, Г.В. Селекция и семеноводство полевых культур / Г.В. Гуляев, Ю.Л. Гужов. – Москва: Агропромиздат, 1987. – 447 с.
31. Гусаров, И.В. Качество зелёной массы трав в хозяйствах Вологодской области / И.В. Гусаров, П.А. Фоменко, Е.В. Богатырёва // Молочнохозяйственный вестник. – 2019. – № 1 (33) . – С. 8-16.
32. Гусев, П.Г. Почвенно-климатические условия / П.Г. Гусев, Ю.Е. Кизяков // Научно-обоснованная система земледелия республики Крым. – Симферополь. – 1994. – С. 24-32.
33. Гусев, П.Г. Почвы бассейна среднего и нижнего течения р. Салгир и их агрометрические характеристики: автореф. дис...канд. с.-х. наук / Гусев Петр Григорьевич. – Симферополь, 1966. – 31 с.
34. Дарвин, Ч. Действие перекрестного опыления и самоопыления в растительном мире / Ч. Дарвин. – М.–Л.: Огиз-Сельхозгиз. – 1939. – 487 с.
35. Дзюба, В.А. Многофакторные опыты и методы биометрического анализа экспериментальных данных / В.А. Дзюба. – Краснодар, 2007. – 76 с.
36. Динамика роста и развития растений суданской травы / Н.А. Ковтунова, А.В. Алабушев, А.Е. Романюкин, Е.А. Шишова // Вестник Марийского государственного университета. Серия «Сельскохозяйственные науки. Экономические науки». – 2018. – № 4 (16). – С. 35-44.
37. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б.А. Доспехов. – М.: Агропромиздат, 1985. – 352 с.
38. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта / Б.А. Доспехов. – М.: Колос, 1979. – 250 с.
39. Жученко, А.А. Адаптивная система селекции растений (эколого-генетические основы) / А.А. Жученко. – М.: Изд-во РУДН, 2001. – Т. 1. – 780 с.
40. Заушинцена, А.В. Изменчивость и характер наследования признаков крупности и пленчатости зерна овса / А.В. Заушинцена, К.В. Легощин // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2011. – № 4. – С. 16-19.
41. Зеленовский, А.А. Организация производства: учебное пособие / А.А. Зеленовский, И.А. Оганезов, И.И. Гургенидзе. – Мн.: УО БГАТУ, 2007. – 250 с.
42. Иванов, В.Н. Почвы Крыма и повышение их плодородия / В.Н. Иванов. – Симферополь: – Крым. – 1966. – 148 с.

43. Казыдуб, Н.Г. Наследование хозяйственно-ценных признаков гибридами F_1 и F_2 фасоли овощной в условиях южной лесостепи западной Сибири / Н.Г. Казыдуб, А.П. Клинг // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2010. – № 8. – С. 19-24.
44. Каменева, О.Б. Оценка исходного материала для селекции сахарного сорго в условиях Нижнего Поволжья: автореф. дис. ... канд.с.-х. наук: 06.01.05 / Каменева Ольга Борисовна. – Саратов, 2011. – 21 с.
45. Кельрейтер, И.Г. Изучение о поле и гибридизации растений / И.Г. Кельрейтер – М.-Л.: Огиз-сельхозгиз, 1940. – 428 с.
46. Кибальник, О.П. Использование эффекта гетерозиса в селекции сорго / О.П. Кибальник // Вестник НГАУ. – 2019. – № 2. – С. 15 - 24.
47. Клейменова, А.Ю. Сорго - перспективная кормовая культура в засушливых районах / А.Ю. Клейменова // Актуальность проблемы инновационного развития агропромышленного комплекса: материалы IV всероссийской научной конф. студентов и молодых ученых. – Астрахань, 2009. – С. 199-200.
48. Клепинин, Н.Н. Почвы Крыма / Н.Н. Клепинин. – Симферополь: Гос. изд-во Крымской АССР, 1935. – 118 с.
49. Климат и опасные гидрометеорологические явления Крыма. / Под ред. К.Т. Логвинова, М.Б.Барабаш. –Л.: Гидрометеиздат, 1982. – 317 с.
50. Климатический атлас Крыма: приложение к научно-практическому дискуссионно-аналитическому сборнику «Вопросы развития Крыма». – Симферополь: Таврия-Плюс, 2000. – 120 с.
51. Клименко, О.Е. Оценка агроэкологических условий для закладки коллекционных насаждений плодовых культур / О.Е. Клименко, Т.И. Орёл, М.Л. Новицкий // Бюллетень ГНБС. – 2019. – № 131. – С. 15-24.
52. Ковтунов, В.В. Наследование основных количественных признаков гибридами первого поколения сорго зернового / В.В. Ковтунов // Зерновое хозяйство России. – 2015. – № 3. – С. 33-37.
53. Ковтунова, Н.А. Гетерозис в селекции сахарного сорго / Н.А. Ковтунова, А.Б. Володин, В.В. Ковтунов // Зерновое хозяйство России. – 2017. – № 1 (49). – С. 11-17.
54. Коледа, И.И. Наследование элементов структуры урожая гибридами мягкой озимой пшеницы в системе внутривидовых скрещиваний / И.И. Коледа // Сельское хозяйство – проблемы и перспективы: сб. науч. тр. / под ред. В.К. Пестиса. – Гродно, 2016. – С. 92-98.
55. Кормовая ценность сахарного сорго / Н.А. Ковтунова, Г.М. Ермолина, С.И. Горпиниченко, А.Е. Романюкин // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2017. – № 3. – С. 21-25.
56. Костылев, П.И. Селекция риса и сорго с использованием отдаленной гибридизации в условиях Северного Кавказа: автореф. дис. ... докт.с.-х. наук: 06.01.05 / Костылев Павел Иванович. – Краснодар, 1999. – 51 с.
57. Кутищева, Н.Н. Оценка комбинационной способности исходного материала методом топкросса / Н.Н. Кутищева, Б.К. Литовченко, Л.И. Шудря

[Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.agros-sem.md/blog-agronomist> (дата обращения: 22.03.2023).

58. Левахин, Г.И. Влияние фазы уборки сахарного сорго на энергетическую ценность и продуктивное действие приготовленного из него силоса / Г.И. Левахин // Доклады РАСХН. – 2000. – № 5. – С. 36.

59. Лень, В.С. Анализ методик экономической оценки кормовых культур / В.С. Лень, В.В. Гливенко // Российское предпринимательство. – 2018. – Т. 19. – № 1. – С. 53-66.

60. Лукьяненко, П.П. Гетерозис в растениеводстве / П.П. Лукьяненко. – М.: Наука, 1968. – 340 с.

61. Малиновский, Б.Н. Итоги селекции силосного сорго в Ставропольском селекцентре / Б.Н. Малиновский // Труды Ставропольского НИИСХ. Вопросы биологии, селекции и семеноводства сорго. – 1977. – № 33. – С. 12-22.

62. Малиновский, Б.Н. Сорго на Северном Кавказе / Б.Н. Малиновский. – Р-н-Д: Изд-во Ростовского университета, 1992. – 200 с.

63. Методика Государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Выпуск первый. Общая часть. – М., 2019 – 329 с.

64. Методика Государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Выпуск второй. – М.: Колос, 1989. – 194 с.

65. Методика проведения экспертизы на отличие, однородность и стабильность сорго сахарного / Украинский институт экспертизы сортов растений. – Киев. – 2006. – С. 8-10.

66. Методика расчета обменной энергии в кормах на основе содержания сырых питательных веществ (для крупного рогатого скота, овец, свиней) / М.П. Кирилов, А.Е. Махаев, Н.Г. Первов, В.В. Пузанова и др. – Дубровицы, 2008. – 32 с.

67. Методические рекомендации по применению методов для анализа экспериментальных данных по изучению комбинационной способности / В.Г. Вольф, В.Г. Кадыров, П.П. Литун и др. – Харьков, 1980. – 76 с.

68. Методические указания по проведению полевых опытов с кормовыми культурами. – М.: Россельхозакадемия, 1997. – 156 с.

69. Нагорный, С.А. Биологические особенности и селекционная ценность образцов сахарного сорго для создания сортов и гибридов с повышенным содержанием сахара: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.05 / Нагорный Сергей Анатольевич. – Санкт-Петербург, 2011. – 19 с.

70. Несмеянов, В.И. Методические указания по экономическому обоснованию квалификационных (дипломных) работ на агрономическом факультете / В.И. Несмеянов. – Кинель: СГСХА, 2008. – 40 с.

71. Омаров, Д.С. К методике учета и оценки гетерозиса у растений / Д.С. Омаров // Сельскохозяйственная биология. – 1975. – Т. 10. – № 1. – С. 123-127.

72. Орловская, О.А. Влияние степени генетической дивергенции родителей на уровень гетерозиса гибридов F₁ яровой тритикале / О.А.

Орловская, Л.В. Корень, Л.В. Хотылева // Экологическая генетика. – 2012. – Т. 10. – № 3. – С. 3-9.

73. Петров, Н.Ю. Особенности роста и развития сортов и гибридов сахарного сорго / Н.Ю. Петров, Е.Н. Ефремова, В.А. Федорова // Вестник Ульяновской ГСХА. – 2012. – № 3 (19). – С. 35-39.

74. Половицкий, И.Я. Генетические и производственные особенности карбонатных черноземов предгорного степного Крыма / И.Я. Половицкий, П.Г. Гусев. Р.А. Зенкова // Пути повышения урожайности полевых культур. – Одесса, 1979. – С. 43-47.

75. Половицкий, И.Я. Почвы Крыма и повышение их плодородия: Справ. изд. / И.Я. Половицкий, П.Г. Гусев. – Симферополь:Таврия, 1987.–152 с.

76. Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных Наций [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://faostat.fao.org> (дата обращения: 29.03.2023).

77. Происхождение сорго и развитие его селекции / А.В. Алабушев, Е.А. Шишова, А.Е. Романюкин, Г.М. Ермолина и др. // Научный журнал КубГАУ.– 2017. – № 127. – С. 281-294.

78. Результаты селекции сорго на гетерозис / М.П. Жукова, А.Б. Володин, А.С. Голубь и др. // Вестник АПК Ставрополя. – 2016.– № 4 (24). – С.163-168.

79. Речмедин, И. О. Солнечный Крым: Физ.-географ. очерк. – К.: Рад. шк., 1976. – 240 с.

80. Рязанова, Л.Г. Основы статистического анализа результатов исследований в садоводстве: учеб.-метод. пособие / Л.Г. Рязанова, А.В. Проворченко, И.В. Горбунов. – Краснодар: КубГАУ, 2013. – 61 с.

81. Сметанин, А.П. Методика опытных работ по селекции, семеноводству, семеноведению и контролю за качеством семян риса / А.П. Сметанин, В.А. Дзюба, А.И. Апрод. – Краснодар, 1972. – 40 с.

82. Справочно-информационный портал "Погода и климат" [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.pogodaiklimat.ru/> (дата обращения: 18.04.2023).

83. Справочные таблицы по кормлению сельскохозяйственных животных: Методическое пособие для лабораторных занятий студентов зооинженерного факультета, обучающихся по направлению подготовки 36.02.03. «Зоотехния». – Нижний Новгород: ФГБОУ ВО НГСХА, 2017. – 67 с.

84. Сычев, В.Г. Методические указания по оценке качества и питательности кормов / В.Г. Сычев, В.В. Лепешкин.–Москва: ЦИНАО, 2002.–76 с.

85. Тахтаджян, А.Л. Система магнолиофитов. –Л.: Наука,1987.–439 с.

86. ФГБУ «Госсорткомиссия» [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://reestr.gossortrf.ru> (дата обращения: 05.04.2023).

87. Фоменко, М.А. Наследование хозяйственно ценных признаков гибридами мягкой озимой пшеницы в степной зоне Ростовской области / М.А. Фоменко, А.И. Грабовец, О.В. Мельникова // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2016. – № 4. – С. 17-20.

88. Хаджинов, М.И. Стерильность у межрасовых гибридов сорго / М.И. Хаджинов // Пр. по прикладной ботанике, генетике и селекции. Сер. 2. – 1937. – № 7. – С. 417-446.
89. Хаджинов, М.И. Цитоплазматическая мужская стерильность и использование ее в селекции и семеноводстве кукурузы / М.И. Хаджинов // Стерильность в селекции и семеноводстве кукурузы. – К., 1962. – С. 103-140.
90. Ходоренко, А.В. Термины «доминирование» и «сверхдоминирование». Теория гетерозиса / А.В. Ходоренко, Н.В. Криничная, В.А. Касьяненко // С.-х. биология. – 2005. – Т. 40 (5). – С.15-23.
91. Худашова, А.И. Производство биоэтанола из сахарного сорго для агропромышленного комплекса России/ А.И. Худашова // Наука без границ. – 2017. – № 1. – С. 40-43.
92. Чайлахян, М.Х. Основные закономерности онтогенеза высших растений: научное издание / М.Х. Чайлахян, А.Л. Курсанов // Всесоюзное ботаническое общество АН СССР. – М.: Изд-во АН СССР, 1958. – 80 с.
93. Черенкова, О. Сорго – культура многоцелевого использования / О. Черенкова, А. Самойленко, М. Остапенко, И. Костыря // АGRО вісник Україна. – 2008. – С. 29-36.
94. Чухирь, И.Н. Наследование признаков, формирующих продуктивность растений риса в гибридах первого поколения/ И.Н. Чухирь, Т.Л. Коротенко // Рисоводство. – 2018.– № 2 (39).– С. 6-10.
95. Чухирь, И.Н. Сложные скрещивания и подбор родительских пар – важный этап при создании новых сортов риса / И.Н. Чухирь, Л.В. Есаулова // Научное обеспечение производства сельскохозяйственных культур в современных условиях: Международная научно-практическая конференция, Краснодар, 09 сентября 2016 года. – Краснодар: ИП Синяев Д.Н., 2016. – С. 252-254.
96. Шепель, Н.А. Селекция и семеноводство гибридного сорго / Н.А. Шепель. – Ростов-на-Дону: Ростовский университет, 1985. – 256 с.
97. Шепель, Н.А. Сорго – интенсивная культура: справочное издание / Н.А. Шепель. – Симферополь, 1989. – 192 с.
98. Шорин, П.М. Сахарное сорго / П.М. Шорин. – М.: Колос, 1976. – 50 с.
99. Эффективность сельскохозяйственного производства (методические рекомендации / коллективная монография. – М., 2005. – 156 с.
100. Юдина, В.Н. Влияние погодных условий на продуктивность сортообразцов сорго сахарного как источника для создания высокогетерозисных гибридов в условиях Предгорного Крыма / В.Н. Юдина, Л.Л. Болдырева, В.В. Бритвин // Известия сельскохозяйственной науки Тавриды. – 2020. – № 24 (187). – С. 5-10.
101. A technique to enhance the quality and market value of rainy season sorghum grain / S. Audilakshmi, C. Aruna, T.V. Garud, N.Y.Nayakar et al. // CropProt.- 2005.-Vol.24.-P. 251-258.

102. Acheampong, E.N. A world survey of sorghum and millets germplasm / E.N. Acheampong, A. Murthi, J.T. William// International Plant Genetic Resources (IPGRI):Italy.- 1984. - P.41.
103. Applied nitrogen and phosphorus effects on yield and nutrient uptake by high energy sorghum produced for grain and biomass / F.M. Hons, R.F. Moresco, R.P. Wiedenfeld, J.T. Cothren// Agronomy Journal. – 1986. – Vol. 76. – P 1069 -1078.
104. Assessing sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] germplasm for new traits: food, fuel and unique uses / J.A. Dahlberg, J. Berenji, V. Sikora, D. Latkovic // Maydica.-2011.- Vol.56.-P.85–92.
105. British Petroleum. BP statistical review of world energy 2016 // Statistical review of world energy.-2016.- Vol.65. - P.45.
106. Chandraqenaharia, S.R. Multivariate analysis of genetic divergence in Eu-Sorghum / S.R. Chandraqenaharia, B.R. Murty, V. Arunachalam // Proc. Nat. Inst. Sci India, part B.- 1969. - Vol. 35. - P. 2.
107. Characterization of Brown midrib mutants of sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) / Rao P. Srinivasa, S. Despande, M. Blummel, B.V.S. Reddy et al.//Eur J PlantSciBiotechnol.- 2012.-Vol.6.- P.71–75.
108. Characterization of improved sweet sorghum genotypes for biochemical parameters, sugar yield and its attributes at different phenological stages / C.G.Kumar, A. Fatima, Rao P. Srinivasa, B.V.S. Reddy et al. // Sugar Tech.- 2010.-Vol.12.-P.322–328.
109. Composition and characterization of bmr sorghums. Brown Midrib Sorghum-Current Status and Potential as Novel Ligno-cellulosic Feedstock of Bioenergy / P.S. Rao, S. Despande, R.S. Prakasam, B.V.S. Reddy // Germany:Lap Lambert Academic Publishing Mbh and Co KG.- 2010.-P.9–36.
110. Dahlberg, J.A. Development of a sorghum core collection: Refinement and evaluation of a subset from Sudan / J.A. Dahlberg, J.J. Burke, D.T. Rosenow //Econ Bot.-2004.- Vol. 58.- P.556–567.
111. Damon, E.G. The cultivated sorghums of Ethiopia / E.G. Damon // Imperial Ethiopian College of Agriculture and Mechanical Arts Experimental Station.-1962.- Vol. 6.
112. De Wet, J. M. J. The origin of *Sorghum bicolor*. 2. Distribution and domestication / J. M. J. De Wet, J. R. Huckabay // Evolution.-1967.-Vol. 21-P.787-801.
113. De Wet, J.M.J. Domestication of African cereals / J.M.J De Wet // Afr Econ Hist.- 1977.-Vol.3.- P.15.
114. Dillon, S.L. Sorghum resolved as a distinct genus based on combined ITS1, ndhF and Adh1 analyses / S.L. Dillon, P.K. Lawrence, R.J. Henry, H.J. Price // Plant Systematics and Evolution.-2007.- Vol. 268.-P.29-43.
115. Diversity and selection in sorghum: simultaneous analyses using simple sequence repeats / A.M. Casa, S.E. Mitchell, M.T. Hamblin et al. // Theor Appl Genet.-2005.- Vol. 111.- P.23-30.
116. Doggett, H. Sorghum, 2nd edn. / Doggett H.- New York: John Wiley & Sons, 1988. - P.512.

117. Eckardt, N.A. Cytoplasmic Male Sterility and Fertility Restoration / Nancy A. Eckardt // *Plant Cell*. - 2006. - 18(3). - P. 515–517.
118. Energy Sorghum—a genetic model for the design of C4 grass bioenergy crops / J. Mullet, D. Morishige, R. McCormick, S. Truong et al. // *Journal of Experimental Botany*.-2014.-Vol.65.- P. 3479-3489.
119. Equilibrium processes cannot explain high levels of short- and medium-range linkage disequilibrium in the domesticated grass *Sorghum bicolor* / M.T. Hamblin, M.G.S. Fernandez, A.M. Casa, S.E. Mitchell, A.H. Paterson et al.// *Genetics*.- 2005.-Vol. 171.- P.1247–1256.
120. Evaluation of sweet sorghum for fermentable sugar production potential / G.A. Freeman, M.O. Smith, D.L. Bagby, P.H. Lewellan et al. // *Crop Science*.- 1987.-Vol.27.-P .788 -793.
121. FAO Sorghum and millets in human nutrition. Chapter 1: Introduction. FAO Food and Nutrition Series [Electronic resource]. - FAO Corporate Document Repository. - 1995. - Vol. 27. - Access mode: <http://www.fao.org/docrep/T0818e/T0818E00> (date of the application: 02.04.2021).
122. Genetic and phenotypic association between yield components in hybrid sorghum / *Sorghum bicolor* (L.) Moench population / R. Kenga, A. Tenkouano, S.C. Gupta, S.O. Alabi // *Euphytica*. – 2006. – Vol. 150 (3). – P. 319–326.
123. Genetic structure and diversity of wild sorghum populations (*Sorghum* spp.) from different eco-geographical regions of Kenya /M.M. Muraya, S. de Villiers, H.K. Parzies, E. Mutegi et al. // *Theor App Genet*.-2011.- Vol. 123.-P. 571–583.
124. Griffing, B. Concepts of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems / B.Griffing // *Austral. J. Biol. Sci.* - 1956. - №9. - P. 463-493.
125. Griffing, B. Generalized treatment of the use of diallel crossis in quantitative inheritance / B. Griffing // *Heredity*. – 1956. – № 10. – P. 31-50.
126. Haitham, K.A. Phylogenetic Diversity of *Sorghum bicolor* (L.) Moench Accessions from Different Regions in Sudan / K.A. Haitham, EL-Amin, N. B. Hamza // *American Journal of Biochemistry and Molecular Biology*.-2009.-Vol. 3.- P.127-134.
127. Harlan, J.R. A simplified classification of cultivated sorghum / J.R. Harlan, J.M.De Wet // *Crop Science*.-1972.-V.12.- P.172-176.
128. Hills, F. J. Sweet Sorghum cultivars for alcohol production / F.J. Hills, R.T. Lewellen, I. O. Skoyen // *California Agriculture*. – 1990. – Vol. 44, № 1. – P. 14-16.
129. Hochholdinger, F. Towards the molecular basis of heterosis / F. Hochholdinger, N. Hoekenger // *Trends Plant Sci.*-2007. – Vol. 12. – P. 427-432.
130. House, L.R. A guide to sorghum breeding / L.R.House//Patancheru: ICRISAT, 1980.- 238 p.
131. Hubbert, M.K. Nuclear energy and fossil fuels/ M.K. Hubbert // The spring meeting of the Southern District: American Petroleum Institute, Plaza Hotel, San Antonio, Texas.-1956.
132. Juice, ethanol, and grain yield potential of five sweet sorghum

(*Sorghum bicolor* [L.] Moench) cultivars / Laban K. Rutto, Yixiang Xu, Michael Brandt et al. // Journal of sustainable bioenergy systems. – 2013. – Vol. 3. – P. 113-118.

133. Karper R. Hybrids vigour in sorghum / R. Karper, J. Quinby. – J. Herebity, 1937.

134. Kenga R. Combining ability studies in tropical sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) / R. Kenga, S.O. Alabi, S.C. Gupta // Field Crops Research. – 2004. – Vol. 88 (2-3). – P. 251–260.

135. Koeppen, S. Assessment of energy and greenhouse gas inventories of sweet sorghum for first and second generation bioethanol / S. Koeppen, G. Reinhardt, S. Gaertner// FAO Environmental and natural resources service series. – 2009. – Vol.30.

136. Lazarides, M. Taxonomy, cytology and ecology of indigenous Australian sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench Andropogoneae, Poaceae) / M. Lazarides, J.B. Hacker, M.H.Andrew //Aus Syst Bot.- 1991.-Vol.4.-P. 591–635.

137. Linnaeus, C. Species Plantarum / C. Linnaeus.-Stockholm, 1753.

138. Liu, R. Impacts of main factors on bioethanol fermentation from stalk juice of sweet sorghum by immobilized *Saccharomyces cerevisiae* (CICC 1308) / R. Liu, F. Shen // Bioresour. Technol.-2008. -Vol.99.-P.847–854.

139. Management of biomass and sweet sorghum in the Southwest US / B.Juerg, W. Thompson, W. Rooney, B. Bean // International Annual Meetings ASA-CSSA-SSSA.-2009.-P.1–9.

140. Maskand, P.L. Sweet Sorghum Culture and Syrup Production / P.L. Maskand and W.C. Morris // ACES Publications Alabama Co-Operative Extension Publications. - 1991.-P. 1-12.

141. Melillo, J.M. Climate change impacts in the United States / J.M. Melillo, T. Richmond, G.W.Yohe // The Third National Climate Assessment. US Global Research Program.-2014. – P. 371-395.

142. Miller, D.A. Inheritance of partial male fertility in *S. vulgare* Pers. / D.A. Miller, R.C. Pickett // Crop Sci. –1964. – V.4. - P. 1.

143. Moench, C. 1791. Methodus Plantas Horti Botanici et Agri Marburgensis: a staminum situ describendi /C. Moench.-Marburgi Cattorum: in officina nova libraria academiae, 1791. - 207 p.

144. Paterson, A. The Sorghum bicolor genome and the diversification of grasses/ A. Paterson, J. Bowers, R. Bruggmann et al.// Nature.- 2009.-Vol. 457.- P.551–556.

145. Pretreatment optimization of Sorghum pioneer biomass for bioethanol production and its scale-up / M. Koradiya, S. Duggirala, D. Tipre, S. Dave // Bioresour.Technol.-2016.-Vol.199.-P.142–147.doi.10.1016/j.biortech.2015.08.156.

146. Rao, P.S. Characterization of Improved Sweet Sorghum Cultivars/ P.S. Rao, C.G. Kumar // India: Private Ltd.- 2013.-P.130.

147. Regassa, T.H. Sweet sorghum as a bioenergy crop: literature review / T.H. Regassa, C.S. Wortmann // Biomass Bioenergy.-2014.-Vol.64.-P.348–355.

148. Rhoades, M.M. Cytoplasmic inheritance of male sterility In *Zea mays* / M.M. Rhoades // Science.-1931. -Vol. 73. - P. 340-341.

149. Rogers, J.S. The utilization of cytoplasmic male-sterile inbreds in the production of corn hybrids / J.S. Rogers, J.R. Edwarson // *Agronomy Journal*.-1952.-Vol. 44.- P. 8-13.
150. Shafiee, S. When will fossil fuel reserves be diminished? / S. Shafiee, E. Topal // *Energy Policy*.- 2009.-Vol.37(1).-P.181–189.
151. Shiringan, A.L. Identification of genomic regions of *Sorghum bicolor* (L.) Moench linked to biofuel-related traits in grain x sweet sorghum recombinant inbred lines / A.L.Shiringan // Ph.D. Thesis, Faculty of Agricultural Sciences, Nutritional Sciences and Environmental Management, Justus Liebig University, Giessen.-2009.
152. Silage sorghum performance trial at Stephenville. Forage Research in Texas/ M.A. Sanderson, R.M. Jones, J. Ward, R. Wolfe // Report PR-5018.- 1992.
153. Smith, C.W. Sorghum: Origin, History, Technology, and Production / C.W.Smith, R.A. Frederiksen.- 2000.- 840 p.
154. Snowden, J.D. The cultivated races of sorghum / J.D. Snowden.- Allard and Sons, London,1936. - 246 p.
155. Snowden, J.D. The wild fodder Sorghums of the section Eu-sorghum / J.D. Snowden // *J. Linn. Soc. London*.-1955.- V.55.-P.191-260.
156. Stapf, O. *Sorghum*, in Prain / O. Stapf // *Fl. Trop. Afr.*-1917. -Vol. 9.- P.101-154.
157. Steam explosion of sweet sorghum stems: Optimisation of the production of sugars by response surface methodology combined with the severity factor / J. Damay, X. Duret, T. Ghislain, O. Lalonde et al. // *Industrial Crops and Products*.- 2018.-Vol. 111.- P. 482-493.
158. Sweet Sorghum – a potential alternate raw material for bioethanol and bioenergy / B.V.S. Reddy, S. Ramesh, P.S. Reddy et al. // *International sorghum and millets newsletter*. – 2005. – Vol. 46. – P. 79-86.
159. Sweet sorghum as biofuel feedstock: recent advances and available resources / S. Mathur, A.V. Umakanth, V.A. Tonapi et al. // *Biotechnol Biofuels*.- 2017.-Vol.10.-P.146.
160. Sweet sorghum for biofuel and strategies for its improvement / R.P. Srinivasa, S.S. Rao, N. Seetharama, A.V. Umakanth et al. // *Patancheru: International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics: Information Bulletin*.-2009.- Vol. 77.- 80 p.
161. Sweet sorghum genetic diversity and association mapping for Brix and height / S.C. Murray, W.L. Rooney, M.T. Hamblin et al. // *The Plant Genome*.-2009.-Vol.2.- P.48-62.
162. The Plant List (version 1.1, 2013) [Electronic resource].- Access mode: <http://www.theplantlist.org> (date of the application: 29.03.2021).
163. The relationship between plant height and sugar accumulation in the stems of sweet sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) / S. Shuklaab, T.J. Felderhoff, A. Saballos, W. Vermerris // *Field Crops Research*. – 2017. – Vol. 203. – P. 181-191.

164. Tiwari, D.K. Genotypic and phenotypic correlation in grain sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) / D.K. Tiwari, R.S. Gupta, R. Mishra // Plant Arch. – 2003. – Vol. 3 (2). – P. 283–286.
165. Vavilov, N.I. The origin, variation, immunity and breeding of cultivated plants / Vavilov N.I. // Chronica bot.-1951.-Vol. 13. - P.315-334.
166. Watson, A.M. Agricultural Innovation in the Early Islamic World: The Diffusion of Crops and Farming Techniques / A.M. Watson.-Cambridge: Cambridge University Press, 1983.- P.700-1100.
167. Yi-Hong, W. Genetics, Genomics and Breeding of Sorghum/ W. Yi-Hong, D. H.Upadhyaya, Ch. Kole.- 2015.- 366 p.
168. Zegada-Lizarazu, W. Water up- take efficiency and above- and below-ground biomass development of sweet sorghum and maize under different water regimes / W. Zegada-Lizarazu, A.Zatta, A. Monti // Plant Soil. – 2012. – Vol. 351, № 1-2. – P. 47-60.