Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«ФЕДЕРАЛЬНЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РИСА»

На правах рукописи

Люлюк Илья Романович

РЕКУРРЕНТНЫЙ ОТБОР НА СЕЛЕКЦИОННО ЦЕННЫЕ ПРИЗНАКИ ПРИ СОЗДАНИИ РАННЕСПЕЛЫХ ЛИНИЙ КУКУРУЗЫ И ПОЛУЧЕНИЕ НА ИХ ОСНОВЕ ВЫСОКОГЕТЕРОЗИСНЫХ ГИБРИДОВ

4.1.2. Селекция, семеноводство
и биотехнология растений

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата сельскохозяйственных наук

Научный руководитель:
Гульняшкин Александр Васильевич,
кандидат сельскохозяйственных наук

Краснодар – 2025

ОГЛАВЛЕНИЕ

С.

ВВЕДЕНИЕ……..... 4
1 КУКУРУЗА: ПРОИСХОЖДЕНИЕ, ЗНАЧЕНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ СОВРЕМЕННОЙ СЕЛЕКЦИИ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ) 10
1.1 Происхождение и ключевые особенности…….. 10
1.2 Значимость кукурузы в глобальном сельскохозяйственном производстве ……..……... 12
1.3 Значимость кукурузы для сельского хозяйства в России…… 14
1.4 Инбредная и гетерозисная селекция кукурузы……... 16
1.5 Оценка линии на комбинационную способность……... 19
1.6 Селекция на раннеспелость…….. 21
1.7 Селекционные программы для ускоренной потери влаги зерном при созревании……. 23
1.8 Возможности быстрой оценки в селекции гибридов кукурузы…… 26
1.9 Эффективные стратегии рекуррентного и периодического отбора в селекции кукурузы…… 27
2 УСЛОВИЯ, ИСХОДНЫЙ МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ……. 31
2.1 Почвенно-климатическая характеристика условий проведения исследований……. 31
2.2 Исходный материал и методика проведения исследований……. 38
3 ИЗУЧЕНИЕ И ОЦЕНКА НОВЫХ САМООПЫЛЕННЫХ РЕКОМБИНАНТОВ КУКУРУЗЫ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ГЕТЕРОЗИСНЫХ ГИБРИДОВ...……..... 42
3.1 Использование периодического отбора в селекции кукурузы ……. 42
3.2 Деление исходного материала по вегетационному периоду……... 44
3.3 Оценка устойчивости новых рекомбинантов кукурузы к болезням и вредителям……. 53
3.4 Высота растения и прикрепления початка…….. 58
3.5 Морфологические и биологические свойства початка…….. 69
3.6 Исследование взаимосвязей количественных признаков и элементов структуры урожайности……... 75
4 РЕЗУЛЬТАТЫ ТЕСТИРОВАНИЯ И КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА НОВЫХ ГИБРИДОВ КУКУРУЗЫ, ПОЛУЧЕННЫХ ИЗ НОВЫХ РЕКОМБИНАНТОВ КУКУРУЗЫ…… 79
4.1 Общая комбинационная способность новых самоопыленных рекомбинантов кукурузы по показателям урожайности зерна……. 81
4.2 Оценка специфической комбинационной по показателю «урожайности зерна» «способности новых линий кукурузы и их влияние на урожайность зерна……. 89

4.3 Исследование общей комбинационной способности новых рекомбинантов кукурузы по показателю «влажность зерна»…… 99
4.4 Исследование селекционной ценности ведущих тесткроссов……..…….. 106
4.5 Оценка экологической пластичности и стабильности новых гибридов кукурузы…… 121
4.6 Экономическая оценка эффективности внедрения новых гибридов в производство……. 130
5 ДИНАМИКА ПРОЦЕССОВ ВЛАГООТДАЧИ ЗЕРНА КУКУРУЗЫ В ПРОЦЕССЕ СОЗРЕВАНИЯ…….. 136
ЗАКЛЮЧЕНИЕ……..... 143
ПРЕДЛОЖЕНИЯ ДЛЯ СЕЛЕКЦИИ…….. 145
ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ ИССЛЕДОВАНИИ. 146
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ…… 147
ПРИЛОЖЕНИЯ…… 167

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Кукуруза занимает одно из ведущих мест среди сельскохозяйственных культур как в России, так и в мире. Этот злак широко применяется в различных отраслях — от пищевой промышленности до производства биотоплива, что обусловлено его высокой питательной ценностью и многофункциональностью. В последние годы в Российской Федерации наблюдается устойчивый рост посевных площадей и валовых сборов кукурузы. Так, с 2009 года посевные площади увеличились с 1361,6 тыс. га до 2585,9 тыс. га [5,13].

Юг России сталкивается с рядом вызовов, включая изменение климатических условий, снижение количества осадков и повышение температуры в ключевые фазы роста растений. Эти изменения требуют внедрения в производство новых раннеспелых и засухоустойчивых гибридов, которые могут адаптироваться к неблагоприятным условиям. На фоне этих вызовов, разработка новых гибридов кукурузы с высоким уровнем гетерозиса и адаптивностью к разным экологическим условиям приобретает особую значимость. Важным критерием для выбора гибридов является уборочная влажность зерна. Гибриды с влажностью зерна ниже 14 % позволяют значительно сократить затраты на послеуборочную сушку, что особенно важно для регионов с коротким безморозным периодом и недостатком осадков.

Для создания таких гибридов необходимо использовать исходный материал с высоким уровнем хозяйственно-ценных признаков. Важно учитывать генетическое разнообразие и адаптивность к различным условиям, чтобы обеспечить стабильные урожаи даже в неблагоприятные годы.

Степень разработанности темы. Проблематика создания и оценки новых самоопыленных линий кукурузы, используемых для селекции гибридов, подробно рассматривается в научных трудах и публикациях Sprague G.F. (1950-е), East E.M. (начало XX века), Lindstrom E.W. (1921), В.К. Савченко (1973), Р.У. Югенхеймера (1979), Э.Р. Забирова (1984), В.С. Сотченко (1992), Russell W.A. (1992),

С.Н. Новоселова (1995), М.В. Чумак (1999), Г.Е. Шмараева (1999), Б.В. Дзюбецкого (2002), С.И. Мустяца (2003), Н.А. Орлянского (2004), С.А Хорошилов (2006), Е.М. Салфетникова (2011), А.И. Супрунова (2012), А.В. Гульняшкина (2012), Хатефов Э.Б (2020) и др. В этих работах детально рассмотрены ключевые теоретические и методологические аспекты инбредной селекции кукурузы. Особое внимание уделено созданию и оценке новых самоопыленных линий, изученных с позиции их адаптивности, устойчивости к стрессовым факторам, продуктивности и выраженности гетерозисного эффекта. В работах проанализированы методы селекционного отбора, исследована комбинационная способность линий и влияние их генетической структуры на продуктивность гибридов.

Цель исследования. Разработать новый раннеспелый исходный материал кукурузы в виде самоопыленных линий (рекомбинантов) с использованием метода рекуррентного отбора на специфическую комбинированную способность.

Задачи исследований:

– из синтетической популяции гетерозисной плазмы Iodent выделить новые раннеспелые самоопыленные линии (рекомбинанты) кукурузы методом рекуррентного отбора;

– определить комбинационную способность новых рекомбинантных линий кукурузы;

– установить корреляционные зависимости между основными элементами структуры урожая у новых линий (рекомбинантов) кукурузы;

– изучить динамику снижения уборочной влажности зерна у выделившихся рекомбинантов кукурузы в процессе созревания;

– оценить экологическую пластичность и стабильность выделившихся гибридов кукурузы;

– определить экономическую эффективность выращивания новых гибридов кукурузы.

Научная новизна исследования. Впервые в условиях Центральной зоны Краснодарского края была проведена работа по получению принципиально нового

исходного материала линий (рекомбинантов) кукурузы с пониженной уборочной влажностью и повышенной скоростью влагоотдачи, используя метод рекуррентной селекции. Было проведено всестороннее исследование нового исходного материала, который показал высокие результаты по общей и специфической комбинационной способности в ключевых хозяйственно-ценных признаках. В результате созданы новые высокопродуктивные раннеспелые гибриды кукурузы. В условиях Центральной зоны Краснодарского края была проведена работа по созданию линий (рекомбинантов) кукурузы с низкой уборочной влажностью, используя генетический материал из коллекции ФГБНУ «НЦЗ им. П.П. Лукьяненко». Разработаны линии (рекомбинанты) кукурузы, обладающие важными хозяйственно-ценными признаками, которые были использованы для создания экспериментальных межлинейных гибридов.

Теоретическая и практическая значимость работы. В процессе проведенного исследования был разработан новый раннеспелый и среднеранний исходный материал кукурузы, отличающийся устойчивостью и улучшенными морфологическими признаками. На основе этого материала были созданы высокопродуктивные гибриды, которые демонстрируют высокую урожайность и стабильность в различных агроэкологических условиях.

Новые гибриды были оценены для использования в качестве родительских форм в создании трехлинейных гибридов, показав отличные результаты в условиях Центральной зоны Краснодарского края. Эти гибриды проявили высокую адаптивность и стабильность, что подтверждается результатами экологических испытаний в различных регионах.

Основное практическое значение данного исследования заключается в создании гибридов, которые обладают меньшей уборочной влажностью, что позволяет сократить затраты на досушивание зерна и повысить общую экономическую эффективность производства. Эти гибриды будут рекомендованы для внедрения в производство в различных агроклиматических зонах, что позволит повысить урожайность и устойчивость сельскохозяйственного производства, а также снизить затраты на выращивание кукурузы.

Методология и методы исследования. Исследования были выполнены с применением как лабораторных, так и полевых методик, что обеспечило комплексный подход к изучению линий и гибридов кукурузы. Лабораторные и полевые испытания по выращиванию и изучению линий и гибридов кукурузы проводились в соответствии с методикой полевых опытов ВНИИ кукурузы, а также адаптированными методиками государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур для региональных условий. Это позволило учитывать специфические особенности климата и почв центральной зоны Краснодарского края.

Для создания и оценки новых гибридов использовались современные методы селекции, что обеспечило высокую точность в выявлении наиболее продуктивных и устойчивых гибридов. Экологические испытания проводились в различных агроклиматических зонах с целью определения адаптивности и стабильности гибридов. Методики включали контроль за развитием растений, измерение агрономических показателей, таких как урожайность, и оценку продуктивности, что позволило получить всестороннюю информацию о каждом гибриде.

Для статистической обработки данных использовались программы Microsoft Excel, Statistica и AGROS, предназначенные для статистического и биометрического анализа в растениеводстве и селекции. Эти программы обеспечили точность и надежность обработки данных, что позволило сделать обоснованные выводы и рекомендации по внедрению новых гибридов в сельскохозяйственное производство. Использование этих программ способствовало выявлению значимых различий между гибридами и определению их экономической эффективности.

Положения, выносимые на защиту:

– результаты анализа нового исходного материала рекомбинантов кукурузы, их характеристика для селекции высокоурожайных гибридов;

– характеристика новых рекомбинантов в системе топкроссных скрещиваний по основным селекционным показателям, позволившая определить наиболее перспективные образцы для селекции;

– результаты оценок общей и специфической комбинационной способности лниний (рекомбинантов) по основным селекционный признакам, способствующие определить высокогетерозисные гибридные комбинации по урожайности и влажности зерна;

– результаты испытаний экологической пластичности и стабильности новых гибридов по норме реакции признака «урожайность зерна» на изменение условий выращивания;

– экономическая эффективность производства новых гибридов, подтвердившая рентабельность выращивания.

Степень достоверности и апробация результатов. Автор выполнил значительный объем исследовательской работы на селекционном участке, включая скрещивания, полевые испытания и сортоиспытание. Все эксперименты проводились с использованием современных методик селекции, что обеспечило высокую точность и надежность полученных данных.

Достоверность результатов подтверждается большим объемом собранных данных и их статистической обработкой с применением специализированных программ Microsoft Excel, Statistica и AGROS. Применение этих программ позволило обеспечить высокую статистическую надежность полученных результатов.

Все выводы и рекомендации, сделанные на основе проведенных исследований, основываются на корректной интерпретации данных и обладают высокой степенью достоверности. Результаты исследований были подтверждены в ходе независимых экспериментов и испытаний, что обеспечивает их практическую применимость и научную значимость.

Основные положения и результаты исследования докладывались на заседаниях методической комиссии отдела селекции и семеноводства кукурузы ФГБНУ «НЦЗ им. П.П. Лукьяненко», а также были представлены на следующих конференциях: Всероссийской научно-практической конференции (г. Краснодар, КубГАУ, 2021 г.); Всероссийской научно-практической конференции (г. Краснодар,

КубГАУ, 2021 г.); Международной научно-практической конференции (г. Саратов, 2021 г.); Международной научно-практической конференции (г. Москва, 2021 г.).

Публикация результатов исследования. Основные положения диссертации опубликованы в 6 научных статьях, в том числе 2 в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК РФ.

Личный вклад соискателя. Автором разработана исследовательская программа, включающая детальные планы для проведения экспериментов. Были заложены опытные участки в центральной зоне Краснодарского края, проведены необходимые скрещивания и испытания новых гибридов кукурузы. Автор самостоятельно осуществил контроль за проведением экспериментов, включая наблюдения, измерения и учет агрономических показателей.

В рамках исследования автором проведена статистическая обработка и анализ собранных данных, что позволило выявить наиболее продуктивные и устойчивые гибриды. Автор подготовил научные отчеты по результатам исследований, опубликовал статьи в профильных научных журналах и подготовил диссертационную работу и автореферат.

Структура и объем диссертации. Диссертация занимает 169 страниц и выполнена в компьютерном наборе. В работе представлены: введение, пять глав, заключение, предложения для селекции, перспективы дальнейшей разработки темы исследовании, список литературы и приложения. Экспериментальные данные представлены в 44 таблицах, 20 рисунках и 3 приложениях. В списке использованной литературы 172 источника, из которых 53 иностранных.

1 КУКУРУЗА: ПРОИСХОЖДЕНИЕ, ЗНАЧЕНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ СОВРЕМЕННОЙ СЕЛЕКЦИИ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

1.1 Происхождение и ключевые особенности

Происхождение и эволюция кукурузы (*Zea mays L.*) представляют собой один из ключевых вопросов агробиологической науки и являются предметом интенсивных исследований на протяжении нескольких десятилетий. Современные данные свидетельствуют о том, что кукуруза была впервые одомашнена в Центральной и Южной Америке около 9000 лет назад. Предполагаемый центр происхождения этого важного злака находится в южной Мексике, что подтверждается многочисленными археологическими и генетическими исследованиями [125].

Кукуруза – единственный культивируемый вид рода *Zea*, относящегося к семейству злаковых (*Poaceae L.*). Происхождение кукурузы вызывает дискуссии среди систематиков, так как у нее нет прямых диких предков. Возделывание кукурузы в Мезоамерике началось более 10 тысяч лет назад, что существенно повлияло на её селекцию [151].

Археологические находки, в частности в долине Теуакан в Мексике, предоставляют важные свидетельства раннего использования кукурузы. Здесь были обнаружены остатки кукурузных початков, датируемые примерно 7000 годом до н.э. Эти данные поддерживают гипотезу о раннем одомашнивании кукурузы в этом регионе. Долина Теуакан считается одним из основных мест, где происходил процесс одомашнивания диких растений, и кукуруза занимает в этом процессе центральное место. Находки также включают следы древних агротехнических методов, использовавшихся для культивации кукурузы, что указывает на значительное развитие сельскохозяйственных практик уже в те времена [155].

Генетические исследования сыграли ключевую роль в понимании процесса одомашнивания кукурузы. Сравнительный анализ геномов кукурузы и её дикого предка теосинте (*Zea mexicana L.*) показал, что одомашнивание включало несколько ключевых изменений, таких как увеличение размера початков,

улучшение питательных свойств зерна и изменение морфологии растения. Эти изменения были вызваны мутациями в нескольких генах (tb1, tga1, prostrate growth1, sh1) отвечающих за рост и развитие растений. Исследования генома кукурузы также выявили значительное генетическое разнообразие среди современных сортов, что свидетельствует о множественных событиях одомашнивания и последующей селекции. Важным аспектом является то, что кукуруза обладает высокой пластичностью и способностью адаптироваться к различным климатическим условиям, что способствовало её распространению по всему миру. В настоящее время она культивируется на всех континентах, за исключением Антарктиды [141].

К особенностям кукурузы являются её высокая урожайность, универсальность использования и возможность генетической модификации. Высокая урожайность и пластичность кукурузы обусловлены её уникальной биологией. Кукуруза является растением короткого дня, что позволяет ей адаптироваться к различным фотопериодическим условиям. Универсальность использования кукурузы проявляется в её применении не только в пищевой и кормовой отраслях, но и в промышленности, где она используется для производства биотоплива, пластмасс и других материалов [168].

Современные исследования в области селекции кукурузы направлены на улучшение ее агрономических характеристик, таких как устойчивость к засухе, болезням и вредителям, а также на повышение питательной ценности зерна. Применение биотехнологий, включая генную инженерию и CRISPR/Cas9, открывает новые перспективы в селекции кукурузы, позволяя создавать сорта с заданными свойствами и более высокой продуктивностью. Например, использование CRISPR/Cas9 позволяет целенаправленно изменять генетическую структуру кукурузы, создавая растения, устойчивые к неблагоприятным условиям окружающей среды и обладающие улучшенными питательными свойствами [126].

Кукурузы вызывает споры среди систематиков из-за сложности его происхождения и отсутствия очевидных прямых диких предков. Эдвард Льюис Стуртевант предложил классификацию по морфологическим признакам зерна, но

этот подход оказался недостаточным, поскольку не учитывал генетическое разнообразие и сложные эволюционные процессы. Позднейшие исследования показали, что современные формы кукурузы произошли от дикого предка теосинта (*Zea mays ssp. Parviglumis L.*) около 8700 лет назад в Мексике, что подтверждается генетическими данными и археологическими находками [128].

Современные исследования используют генетические данные, подчеркивая значимость кукурузы для селекции. Авторы предлагают отказаться от системы Стартеванта и использовать расовую систематику для повышения эффективности селекционных программ, привлекая генетическое разнообразие диких сородичей и экзотических рас для улучшения продуктивности гибридной кукурузы [107].

1.2 Значимость кукурузы в глобальном сельскохозяйственном производстве

Кукуруза (*Zea mays L.*) является одной из наиболее значимых сельскохозяйственных культур в мире. Она занимает важное место в продовольственной системе, кормовой базе и промышленности многих стран. Кукуруза используется не только в пищевой промышленности, но и в производстве кормов для животных, биотоплива и различных промышленных продуктов. В данном обзоре рассматриваются биологические особенности кукурузы, её роль в глобальной продовольственной безопасности, экономические аспекты, а также перспективы развития [39].

Кукуруза обладает уникальными биологическими и агрономическими характеристиками, которые способствуют её широкому распространению и высокой продуктивности. Одной из ключевых особенностей кукурузы является наличие "C4" пути фотосинтеза, который обеспечивает высокую эффективность использования солнечной энергии и воды. Это позволяет кукурузе успешно расти в различных климатических условиях, от тропиков до умеренных широт [13, 64].

Высокая продуктивность кукурузы также связана с её генетическим разнообразием. Современные методы селекции и генной инженерии позволяют улучшать такие характеристики, как устойчивость к болезням, вредителям, засухе и другим стрессовым факторам, а также повышать питательную ценность зерна.

Например, генетически модифицированные гибриды кукурузы, устойчивые к насекомым-вредителям и гербицидам, существенно снижают необходимость использования химических препаратов, что способствует более устойчивому сельскому хозяйству [28, 16].

Кукуруза играет ключевую роль в обеспечении продовольственной безопасности на глобальном уровне. Кукуруза является одной из ключевых культур в мировой экономике. США, Китай и Бразилия являются крупнейшими производителями кукурузы, обеспечивая значительную часть мирового объема производства. В сезоне 2022-2023 гг. производство кукурузы в США составило около 347 миллионов тонн, в Китае — 254 миллиона тонн, а в Бразилии — 101 миллион тонн [171].

Экономическое значение кукурузы также проявляется в её использовании для производства биотоплива. В частности, из кукурузного зерна производится этанол, который является важным компонентом топлива в США и других странах. Производство этанола из кукурузы позволяет уменьшить зависимость от ископаемых видов топлива и способствует снижению выбросов парниковых газов. Однако использование кукурузы для производства биотоплива вызывает споры из-за возможного влияния на продовольственные цены и доступность пищи [50,92].

Кукуруза является важным экспортным товаром. Основные страны-экспортеры кукурузы включают США, Бразилию и Аргентину, которые обеспечивают значительную часть мирового экспорта. Среди основных импортеров кукурузного зерна находятся Япония, Мексика, Южная Корея, Испания и Иран [171].

Кукуруза является универсальной культурой с высоким адаптивным потенциалом. Побочные продукты переработки кукурузы, такие как стебли и листья, используются для производства бумаги, линолеума и вискозы. Она способна продуктивно использовать почвенно-климатические факторы и хорошо отзываться прибавкой урожая на улучшение водного и пищевого режимов почвы, общего агротехнического состояния посевов. По ареалу распространения кукуруза

занимает второе место в мире после пшеницы, а по величине посевных площадей она находится на третьем месте среди всех культур земного шара [94, 98].

В условиях интенсификации производства и селекции преимущественное распространение получают сорта и гибриды интенсивного типа, которые оказываются более конкурентоспособными в модельных экспериментах и при высоком уровне агротехники. Однако в экстремальных условиях они часто дают более низкие урожаи, чем гибриды менее интенсивного типа. Поэтому необходима проверка генотипов по показателям общей адаптационной способности для обеспечения стабильной продуктивности в различных условиях [158, 159, 160].

Современные исследования и разработки в области агротехнологий и биотехнологий открывают новые возможности для повышения продуктивности и устойчивости кукурузы. Использование генетической модификации, CRISPR/Cas9 и других методов позволяет создавать сорта с улучшенными характеристиками, такими как повышенная устойчивость к засухе, болезням и вредителям. Это особенно важно в условиях изменения климата и роста мирового населения.

1.3 Значимость кукурузы для сельского хозяйства в России

Кукуруза играет важную роль в экономике России, занимая значительные площади и обеспечивая высокий уровень урожайности. Реализация потенциала России на мировом рынке зерна, включая кукурузу, началась в 2002 году и стала стабильной с сезона 2006-2007 гг. В 2018 году экспорт кукурузы из России достиг рекордных объемов. В структуре российского экспорта зерновых кукуруза занимает значительное место, её доля составляет от 5,7 % до 9,4 %. География поставок кукурузы широка: ключевые импортеры — Турция и Республика Корея, а также европейские страны. В 2021 году кукурузу экспортировали в 36 стран, что меньше, чем в 2017 году (42 страны) [84, 82].

В 2019 году посевные площади кукурузы на зерно в России составили 2 385,9 тысяч гектаров, а общий объем собранного зерна достиг почти 14 тысяч тонн, что выше средних показателей за последние пять лет. Средняя урожайность составила 6,0 тонны с гектара. Наибольшая доля посевных площадей под кукурузу

сосредоточена в ЮФО, особенно выделяется Краснодарский край. В этом регионе кукуруза выращивается в 43 муниципальных образованиях, что делает его ключевым центром производства кукурузы в России [18].

Крупнейшие покупатели кукурузы: Турция, Республика Корея, Грузия, Греция, Италия, Китай, Латвия, Вьетнам, Азербайджан, Япония, Ливия. География продаж кукурузы менее обширна по сравнению с пшеницей и ячменем [4].

Экономическое значение кукурузы в России обусловлено её многообразным использованием. Кукуруза является важным источником пищи, кормов для животных и сырья для промышленной переработки. Зерно кукурузы содержит от 9 до 12 % белка, от 4 до 8 % жира и 65-70 % углеводов, что делает его ценным кормом для животных. Использование кукурузы с высокой энергетической ценностью ведет к росту продуктивности в животноводстве, особенно в сферах молочного и мясного производства [5].

Основной корм для крупного рогатого скота, свиней и птицы в России — это зерно кукурузы, которое обладает высокой переваримостью и энергетической ценностью. Высокая продуктивность кукурузы в качестве корма способствует развитию животноводства и обеспечивает стабильное производство мяса и молока [18].

Масло из кукурузы, обогащенное витамином Е, активно используется в производстве продуктов питания и косметики. Побочные продукты переработки кукурузы, такие как стебли и листья, используются для производства бумаги, линолеума и вискозы. Это обеспечивает дополнительные источники дохода для фермеров и способствует развитию перерабатывающей промышленности [115].

Наибольшие посевные площади кукурузы сосредоточены в Краснодарском крае, который является лидером по валовому сбору кукурузы. Средняя урожайность здесь превышает 70 центнеров с гектара благодаря совершенствованию агротехнологий и применению новых гибридов [117].

Сельское хозяйство России продолжает активно развиваться, и кукуруза играет важную роль в этом процессе. В условиях изменения климата и повышения требований к устойчивости сельскохозяйственных культур, создание новых гибридов кукурузы с высокой адаптивностью и продуктивностью становится

приоритетной задачей. В последние годы значительное внимание уделяется развитию отечественной селекции кукурузы, что позволяет снизить зависимость от импортных семян и увеличить конкурентоспособность российского сельского хозяйства на мировом рынке [17].

Развитие орошения и внедрение инновационных агротехнологий также будут способствовать повышению урожайности кукурузы в России. Например, использование систем капельного орошения позволяет существенно повысить эффективность использования воды и улучшить условия роста кукурузы в засушливых регионах [7].

Кукуруза является одной из важнейших сельскохозяйственных культур в России, обладающей высоким экономическим значением и широким спектром применения. Современные методы селекции и агротехнологии способствуют повышению её урожайности и адаптивности к различным климатическим условиям. Развитие производства кукурузы в России имеет большие перспективы, и дальнейшие исследования и разработки в этой области будут способствовать устойчивому развитию сельского хозяйства страны.

1.4 Инбредная и гетерозисная селекция кукурузы

Гетерозис, или гибридная сила, впервые был описан членом Петербургской академии наук И.Г. Кельрейтером в 1766 году при гибридизации различных видов табака. Позднее, Ч. Дарвин в своих работах показал полезность перекрестного опыления и снижение продуктивности растений при самоопылении. Термин «гетерозис» был введен Дж. Шеллом в 1911 году. Под гетерозисом понимается феномен превосходства гибридов первого поколения над родительскими формами по степени развития какого-либо признака [118].

Гетерозис делится на «истинный» и «гипотетический». Истинный гетерозис характеризуется превосходством гибрида над лучшим из родителей по изучаемому признаку, тогда как гипотетический гетерозис выражает превосходство гибрида над средним значением признака у обоих родителей. Практически также

используется термин «конкурсный гетерозис» для описания превосходства гибрида в сравнении с другими гибридами, но это понятие редко оправдано [95].

Выделяют «положительный» и «отрицательный» гетерозис, в зависимости от того, превышает ли гибрид значение признака у наибольшего или наименьшего родителя. А. Густафсон предложил различать соматический, репродуктивный и адаптивный гетерозис в зависимости от характера его проявления у гибридов. Соматический гетерозис связан с более мощным развитием вегетативных органов, репродуктивный - с повышенной продуктивностью, а адаптивный - с повышенной приспособленностью гибридов к условиям среды [60].

Существуют различные гипотезы, объясняющие генетическую основу гетерозиса. Гипотеза доминирования, предложенная C.B. Davenport и развитая D.F. Jones, обобщает концепцию доминантных благоприятных факторов в гетерозисном эффекте, выделяя три направления действия доминантных генов: подавление вредных рецессивов, аддитивный эффект доминантных факторов и неаллельное взаимодействие (эпистаз). Гипотеза сверхдоминирования, предложенная G. Shull и E. East, объясняет явление гетерозиса преимуществом гетерозиготы A1A2 над гомозиготами A1A1 и A2A2. Это подтверждается экспериментами по моногибридному гетерозису [29].

Теория генетического баланса, разработанная K. Mather и Н.В. Турбиным, рассматривает гетерозис как суммарный эффект фенотипически сходного действия различных генетических процессов. Эпистатическое взаимодействие генов также играет важную роль в проявлении гетерозиса. Было показано, что аддитивно-доминантный и доминантно-доминантный эпистаз могут изменять проявление гетерозиса в отдельном локусе, что является функцией генетического фона [88].

Современные исследования показывают, что гетерозис может быть связан с молекулярной гетерогенностью ферментов растений. Были обнаружены примеры молекулярного гетерозиса в одном локусе, связанного с активностью ферментов, таких как алкогольдегидрогеназа у кукурузы [116].

На первой Международной конференции по гетерозису в 1952 году была предложена концепция физиологических «узких мест», согласно которой гибриды превосходят инбредные линии за счет уменьшения числа этих узких мест [118].

Молекулярные маркеры широко применяются для анализа генетической дивергенции и выбора родительских форм для гетерозисной селекции. Leal A.A показал, что ДНК-маркеры могут быть полезны для идентификации групп генетически сходных генотипов, хотя они не всегда могут предсказать эффект гетерозиса [148].

Гетерозис проявляется в конкретных условиях среды и подвержен явлению взаимодействия генотипа и среды. Было показано, что при смене лимитирующих факторов происходит смена спектра локусов, детерминирующих развитие признака [59].

Основная цель гетерозисной селекции заключается в повышении урожайности и улучшении других хозяйственно-ценных признаков. Для этого используется комбинационная способность линий, которая оценивается по общей (ОКС) и специфической комбинационной способности (СКС). Общая комбинационная способность показывает, насколько хорошо линия может создавать продуктивные гибриды при скрещивании с различными генотипами, в то время как специфическая комбинационная способность оценивает способность линии давать хорошие гибриды при скрещивании с конкретными родительскими формами [75].

Процесс гетерозисной селекции включает несколько этапов. Сначала проводится оценка инбредных линий в топкроссах, где линии скрещиваются с одним или несколькими тестерами для предварительной оценки их комбинационной способности. Затем лучшие отобранные линии скрещиваются между собой по диаллельной схеме для более детального анализа комбинационной способности. Этот подход позволяет выявить линии, которые способны давать высокоурожайные и устойчивые гибриды [116].

Инбредная селекция служит основой для создания стабильных гомозиготных линий, необходимых для гибридизации. Гетерозисная селекция, в свою очередь,

использует эти инбредные линии для получения гибридов с превосходящими характеристиками по сравнению с родительскими формами. Обе стратегии дополняют друг друга, обеспечивая развитие высокопродуктивных и устойчивых гибридов кукурузы [75].

Гетерозисная селекция позволяет получать гибриды с высокой урожайностью, устойчивостью к болезням и неблагоприятным условиям среды. Это особенно важно в современных условиях, когда климатические изменения и рост населения требуют от сельского хозяйства более эффективных и устойчивых решений. Важно отметить, что создание успешных гибридов требует не только генетической работы, но и тщательного подбора родительских форм, оценки их комбинационной способности, а также адаптивности к различным экологическим условиям [67].

В конечном счете, успешная селекция на гетерозис способствует значительному увеличению производительности сельского хозяйства, обеспечивая продовольственную безопасность и экономическую устойчивость. Современные методы молекулярной генетики и биотехнологии, такие как использование молекулярных маркеров, также играют важную роль в оптимизации селекционных программ и ускорении процесса создания новых гибридов кукурузы.

1.5 Оценка линии на комбинационную способность

Комбинационная способность (КС) — это важный показатель в селекции сельскохозяйственных культур, определяющий способность генотипов давать высокопродуктивное потомство. Понятие комбинационной способности делится на два основных типа: общую комбинационную способность (ОКС) и специфическую комбинационную способность (СКС). ОКС измеряет среднюю продуктивность потомства, полученного от скрещиваний различных линий, а СКС — продуктивность потомства от конкретных комбинаций родительских линий. В этом обзоре рассмотрены история появления этих понятий, методы их оценки, а также примеры применения в современной селекционной практике [96].

Понятия общей и специфической комбинационной способности были впервые введены в середине XX века для более точного анализа генетического потенциала линий в гибридной селекции. G.F. Sprague и L.A. Tatum в 1942 году впервые предложили разделение комбинационной способности на ОКС и СКС, что позволило улучшить методы оценки селекционного материала и оптимизировать процесс создания гибридов [25].

Общая комбинационная способность характеризует среднюю продуктивность потомства, полученного от скрещиваний исследуемой линии с различными тестерами. ОКС показывает, насколько линия в среднем повышает производительность гибридов и является ключевым показателем для отбора родительских линий в программе гибридной селекции [36].

В различных исследованиях по оценке новых инбредных линий кукурузы, таких как работы, проведенные в ВНИИ кукурузы, было выявлено, что линии с высокими оценками ОКС показывают стабильные результаты по урожайности в различных условиях выращивания. Это подтверждает важность использования ОКС для предварительного отбора линий, которые будут использоваться в более масштабных селекционных программах [14].

Специфическая комбинационная способность измеряет продуктивность потомства от конкретных комбинаций родительских линий. СКС позволяет выявить уникальные сочетания генетических характеристик, которые обеспечивают высокий уровень продуктивности в определенных гибридных комбинациях [24].

В исследованиях, проведенных в лесостепи Воронежской области, были обнаружены линии, которые показывали высокие оценки СКС в конкретных гибридных комбинациях, что указывает на их значительный селекционный потенциал для создания высокопродуктивных гибридов с улучшенными адаптивными характеристиками [136].

Наиболее широко используемым методом для оценки ОКС и СКС является метод топкроссов. Этот метод включает скрещивание исследуемых линий с

набором тестеров, что позволяет оценить их среднюю продуктивность (ОКС) и специфические комбинационные способности в конкретных парах (СКС) [48].

В работах по селекции кукурузы и ржи метод топкроссов показал высокую эффективность для предварительной оценки комбинационной способности, что позволило сократить объем селекционного материала и сосредоточиться на наиболее перспективных линиях [37].

Исследования показали, что оценки ОКС и СКС могут значительно варьироваться в зависимости от условий года и места выращивания. Например, в Воронежской области было установлено, что урожайность и влажность зерна варьировались между 2020 и 2021 годами, что подчеркивает необходимость проведения многолетних и многоместных испытаний для точной оценки КС [35].

Оценка комбинационной способности, включая как общую, так и специфическую, является критически важной для успешной селекции гибридов. Высокие оценки ОКС и СКС позволяют выделять линии, которые могут значительно улучшить продуктивность и адаптивность гибридов. Многолетние испытания, а также использование методов топкроссов, обеспечивают надежную оценку селекционного материала и способствуют созданию высокопродуктивных гибридов. В дальнейшем, интеграция молекулярных методов и маркерной селекции может значительно повысить эффективность оценки и отбора линий на комбинационную способность.

1.6 Селекция на раннеспелость

Раннеспелость кукурузы является критическим фактором для успешного выращивания этой культуры в различных климатических зонах. С изменением климата и частыми экстремальными погодными условиями, такими как засухи и резкие перепады температур, возрастает необходимость в гибридах с коротким периодом вегетации. Такие гибриды позволяют обеспечить стабильные и высокие урожаи, минимизируя риски, связанные с неблагоприятными условиями. В этой статье рассмотрены основные подходы и достижения в селекции раннеспелых гибридов кукурузы [9, 48].

Селекция на раннеспелость начинается с поиска и использования подходящих генетических источников. Важным этапом является введение в программы селекции раннеспелых линий и сортов, которые затем скрещиваются с другими генетическими материалами. Например, в Краснодарском ФГБНУ «НЦЗ им. П.П. Лукьяненко» были успешно использованы мировые коллекции генетических образцов для создания гибридов с желаемыми характеристиками. Одним из методов является рекуррентный отбор, при котором осуществляется многократный отбор на основе раннего цветения и созревания растений, что позволяет увеличить долю генов, отвечающих за раннеспелость [56].

Для успешной селекции раннеспелых гибридов необходимо учитывать физиологические критерии. Одним из ключевых признаков является время цветения и созревания початков. Растения, которые зацветают раньше остальных, имеют более короткий вегетационный период и быстрее достигают зрелости. Также важным является оценка длины вегетационного периода и скорости развития растений. Это позволяет селекционерам выбирать гибриды, которые наиболее эффективно используют доступные тепловые ресурсы и быстрее адаптируются к условиям выращивания. В условиях изменяющегося климата особое внимание уделяется адаптации гибридов к экстремальным погодным условиям. Селекция направлена на создание гибридов, устойчивых к засухе, перепадам температур и другим стрессовым факторам. Это достигается за счёт использования генетического материала, обладающего высокой толерантностью к неблагоприятным условиям, а также за счёт оптимизации использования тепловых ресурсов. Важным аспектом является сокращение периода вегетации, что позволяет растениям быстрее пройти критические фазы развития и снизить риск потерь урожая [85].

Один из методов, широко применяемых в селекции раннеспелых гибридов кукурузы, — это использование сумм эффективных температур. Этот метод основывается на расчёте суммарных среднесуточных температур в период вегетации, что позволяет точно определить сроки созревания гибридов. Селекционеры включают в программы гибриды, требующие меньших сумм

эффективных температур для достижения зрелости, что особенно важно в регионах с коротким вегетационным периодом [10].

Научно-исследовательские институты в России и странах СНГ активно работают над созданием раннеспелых гибридов кукурузы. Во Всероссийском НИИ кукурузы были разработаны программы по селекции, направленные на расширение генетической базы и повышение адаптивности новых гибридов к различным климатическим условиям. Например, раннеспелые линии, такие как Кр714 и Кр752, полученные в результате многократного отбора и скрещивания, демонстрируют высокую устойчивость к стрессовым условиям и короткий период вегетации [93].

Национальный центр зерна также добился значительных успехов в этой области. Использование генетического материала из мировых коллекций позволило создать перспективные линии, которые вошли в состав районированных гибридов. Например, линия Кр801 была получена из позднеспелой популяции BS 3 посредством 12 циклов отбора, что позволило существенно сократить период вегетации и повысить устойчивость к неблагоприятным условиям [76].

Селекция раннеспелых гибридов кукурузы играет важную роль в обеспечении устойчивости и продуктивности этой культуры в условиях изменяющегося климата. Использование генетических, физиологических и климатических критериев позволяет создавать гибриды, которые не только быстро достигают зрелости, но и адаптируются к экстремальным условиям среды.

1.7 Селекционные программы для ускоренной потери влаги зерном при созревании

Снижение влажности зерна кукурузы при созревании является ключевым фактором для повышения её качества и уменьшения затрат на сушку. Высокая влажность зерна в момент сбора урожая может привести к ухудшению его качества и увеличению расходов на сушку. Поэтому селекционные программы, направленные на ускорение потери влаги зерном, приобретают всё большую значимость. В данной статье рассмотрены биологические основы, методы

селекции, экологические и экономические аспекты, а также примеры успешных программ по селекции кукурузы с ускоренной потерей влаги зерном [39].

Процесс потери влаги зерном кукурузы зависит от множества факторов, включая генетические особенности растения, климатические условия и агротехнические приёмы. Важную роль играют такие характеристики, как структура початка, толщина и плотность оболочки зерна, а также физиологическое состояние растения. Различные гибриды кукурузы обладают различной способностью к потере влаги. Некоторые гибриды имеют генетически обусловленные механизмы, способствующие более быстрому высыханию зерна. Плотность и расположение зерен на початке могут влиять на скорость потери влаги: более рыхлые початки способствуют лучшей циркуляции воздуха и, следовательно, более быстрому высыханию. Толщина и пористость оболочки зерна также играют важную роль: более тонкая и пористая оболочка зерна способствует более быстрой потере влаги. Здоровые растения с хорошей корневой системой и достаточным количеством питательных веществ теряют влагу быстрее [41].

Для достижения цели ускоренной потери влаги зерном применяются различные методы селекции, начиная от традиционных до современных генетических подходов. Классическая селекция включает отбор и скрещивание растений, проявляющих желаемые признаки, в данном случае — ускоренную потерю влаги. Эти растения затем скрещиваются для закрепления признака в последующих поколениях. Важно проводить полевые испытания в условиях, максимально приближенных к реальным. Отбор лучших образцов производится на основании их производительности и способности к быстрому снижению влажности зерна [71].

Гибридизация является ещё одним методом, позволяющим комбинировать положительные свойства различных сортов. Скрещивание позволяет объединять свойства родительских форм, что важно для получения растений, которые не только быстро теряют влагу, но и устойчивы к болезням и неблагоприятным условиям. Гибридные растения часто проявляют гетерозисный эффект,

выражающийся в улучшенных характеристиках по сравнению с родительскими формами [72].

Маркерная селекция использует молекулярные маркеры для идентификации и использования генов, ответственных за ускоренную потерю влаги. Это значительно ускоряет процесс селекции, делая его более целенаправленным и эффективным. Современные геномные исследования позволяют выявлять ключевые гены и пути, вовлеченные в процесс потери влаги [86].

Генетическая инженерия, включая внедрение специфических генов и использование технологий редактирования генома, таких как CRISPR/Cas9, предоставляет возможность точечного изменения ДНК растений для достижения желаемых характеристик. Внедрение генов, связанных с процессами трансформации и транспорта воды, может значительно улучшить свойства растений. Генетически модифицированные организмы (ГМО) позволяют создать гибриды с высокой скоростью потери влаги [38].

Использование гибридов кукурузы с ускоренной потерей влаги зерном имеет значительные экологические и экономические преимущества. Снижение потребности в сушке зерна сокращает расход энергии и выбросы углекислого газа, способствуя более устойчивому развитию сельского хозяйства. Снижение расходов на сушку зерна ведёт к уменьшению общих затрат на производство кукурузы, а зерно с низкой влажностью лучше хранится и имеет более высокое качество, что увеличивает его рыночную стоимость [49].

Примеры успешных программ включают программу «DryDown» в США, которая направлена на разработку гибридов кукурузы с повышенной скоростью потери влаги. В результате удалось значительно снизить влажность зерна на момент сбора, что привело к сокращению расходов на сушку. В Европе активно разрабатываются гибриды кукурузы, адаптированные к различным климатическим условиям, с учетом требований ускоренной потери влаги. Это особенно важно для регионов с высокой влажностью и коротким сезоном созревания. Использование современных методов геномной селекции и гибридизации позволяет достигать высоких результатов в короткие сроки [68, 101].

Селекционные программы, направленные на ускорение потери влаги зерном при созревании, являются важным инструментом для повышения эффективности производства кукурузы. Современные методы селекции и генетики позволяют создавать сорта с высокими адаптационными способностями и улучшенными экономическими характеристиками. Внедрение таких гибридов способствует устойчивому развитию сельского хозяйства и улучшению качества конечной продукции. Эти программы не только решают текущие проблемы производства, но и открывают новые перспективы для будущего, позволяя удовлетворять растущий спрос на качественные сельскохозяйственные продукты.

1.8 Возможности быстрой оценки в селекции гибридов кукурузы

Раннее тестирование инбредных линий кукурузы играет ключевую роль в селекционных программах, направленных на улучшение агрономических характеристик и устойчивость к внешним стрессам. Основная цель раннего тестирования заключается в выявлении линий с высокой комбинационной способностью на самых ранних стадиях селекционного процесса. Это позволяет эффективно использовать ресурсы, сокращая время и усилия, затрачиваемые на менее перспективные линии [149, 166].

Идея раннего тестирования инбредных линий основывается на гипотезе независимости комбинационной способности от степени инбридинга. В работах ученых было показано, что инбредные линии уже на ранних стадиях самоопыления демонстрируют стабильные показатели комбинационной способности [87, 139].

Существует несколько подходов к раннему тестированию линий. Последователи позднего тестирования рекомендуют проводить от 3 до 5 циклов самоопыления перед началом оценки линий в гибридных комбинациях. Этот метод позволяет проводить отбор на гибридную мощность, устойчивость к полеганию, болезням и другим хозяйственно значимым признакам. Недостатком такого подхода является необходимость работы с большим количеством линий, многие из которых обладают низкой комбинационной способностью [140, 149].

Метод раннего тестирования широко используется в программах рекуррентной селекции. Основное преимущество раннего тестирования заключается в возможности быстрого исключения генотипов с низкой комбинационной способностью и концентрации усилий на более перспективных линиях. Исследования показали, что определение общей комбинационной способности может быть проведено на основании топкроссов с исходными растениями из свободно опыляемого сорта для самоопыления [54, 167].

Фенотипические проявления признаков у линий не всегда являются надежными индикаторами их комбинационной способности. Согласно исследованиям, не обнаружено достаточно высоких положительных корреляций между морфологическими и физиолого-биохимическими признаками и комбинационной способностью линий. Поэтому анализирующее скрещивание остается единственным надежным методом определения этого свойства [106, 156].

Раннее тестирование инбредных линий кукурузы является важным инструментом в селекционной работе. Этот метод позволяет существенно ускорить селекционный процесс, исключая менее перспективные линии на ранних стадиях и сосредотачиваясь на улучшении наиболее перспективных генотипов. Несмотря на различные мнения и подходы к раннему тестированию, практика показывает его эффективность и значимость в современных селекционных программах.

1.9 Эффективные стратегии рекуррентного и периодического отбора в селекции кукурузы

Рекуррентный (периодический) отбор является одним из ключевых методов в селекции кукурузы, направленным на улучшение популяций и линий. Этот метод был впервые предложен в начале 20-го века и с тех пор стал основным инструментом для селекционеров, работающих с различными видами культур. Основной принцип рекуррентного отбора заключается в повторяющемся цикле отбора и скрещивания, что позволяет накапливать в популяции благоприятные аллели и улучшать такие важные хозяйственно-биологические признаки, как

урожайность, устойчивость к болезням, качественные характеристики продукции и другие [100].

В 1919 году Н.К. Хейз и Р.Дж. Гарбер, а затем независимо от них в 1925 году Э.М. Ист и Д.Ф. Джонс, предложили идею рекуррентного отбора. Они предложили использовать циклический отбор для увеличения частоты благоприятных аллелей в популяциях кукурузы. Впоследствии Д.Ф. Спрэг выделил четыре основных типа периодического отбора: фенотипический отбор, отбор на общую комбинационную способность (ОКС), отбор на специфическую комбинационную способность (СКС) и реципрокный периодический отбор [81].

Типы рекуррентного отбора:

1. Простой периодический отбор применяется для признаков, которые выражены фенотипически и легко контролируются. Этот метод используется, когда признаки мало подвержены влиянию окружающей среды и имеют высокую наследуемость. Процесс включает циклы самоопыления и отбора лучших растений, которые затем скрещиваются для создания новой популяции;
2. Отбор на общую комбинационную способность (ОКС) направлен на улучшение общей продуктивности популяции за счет отбора растений, которые хорошо комбинируются с другими;
3. Отбор на специфическую комбинационную способность (СКС) фокусируется на выявлении и отборе растений, которые дают наилучшие результаты в сочетании с конкретными другими растениями;
4. Реципрокный периодический отбор включает взаимный обмен генетическим материалом между двумя популяциями, что позволяет улучшать признаки обеих популяций одновременно.

Отбор на общую комбинационную способность (ОКС) подразумевает самоопыление растений и их скрещивание с тестером. Этот метод основывается на гипотезе аддитивного эффекта доминантных факторов, что позволяет выделять линии с высокими показателями комбинационной способности [135].

Отбор на специфическую комбинационную способность (СКС) использует инбредные линии в качестве тестеров. Этот метод позволяет выявить линии,

обладающие специфическими комбинационными способностями, что особенно важно для создания гибридов. Рекуррентный отбор нашел широкое применение в селекции кукурузы. Он позволяет эффективно повышать урожайность, устойчивость к болезням и улучшать качественные характеристики продукции [33].

Было установлено, что рекуррентный отбор позволяет значительно повысить содержание масла в зерне кукурузы. В результате селекции на содержание масла в зерне кукурузы этот показатель увеличился с 4,0 % до 7,0 % в среднем на 4 % в год, что в четыре раза выше по сравнению с традиционными методами [109].

Пример использования рекуррентного отбора в селекции кукурузы также включает успешные исследования по увеличению содержания белка и других важных компонентов зерна. Методы рекуррентного отбора позволяют стабильно улучшать эти показатели, что в свою очередь повышает питательную ценность кукурузы и её пригодность для использования в различных отраслях. Рекуррентный отбор позволяет более эффективно концентрировать желательные гены в исследуемом материале по сравнению с традиционными методами. Однако успешность его применения зависит от многих факторов, включая исходный генетический материал, условия выращивания и методику проведения отбора.

Рекуррентный отбор позволяет улучшать комбинационную способность линий и популяций, что особенно важно для создания гибридов с высоким гетерозисом. Метод рекуррентного отбора позволяет поддерживать и увеличивать генетическую изменчивость в популяциях, что обеспечивает более широкие возможности для дальнейшей селекции. Использование фоновых признаков, таких как масличность семян или масса сухого стебля, позволяет более точно оценивать продуктивность и другие важные признаки на ранних этапах селекции [66].

Рекуррентный отбор является мощным инструментом в арсенале селекционера кукурузы. Его применение позволяет эффективно улучшать популяции и линии растений, повышая их продуктивность, устойчивость к болезням и качественные характеристики [38].

Обзор литературы по рекуррентному и периодическому отбору в селекции кукурузы показывает, что современные методы селекции, основанные на этих

подходах, обладают значительным потенциалом для повышения урожайности и улучшения других ценных хозяйственных признаков кукурузы. Современные исследования подтверждают, что аддитивная генетическая изменчивость достаточна для достижения значительных селекционных успехов. Анализ комбинационной способности линий на ранних этапах инбридинга способствует ускорению селекционного процесса и повышению его эффективности.

2 УСЛОВИЯ, ИСХОДНЫЙ МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1 Почвенно-климатическая характеристика условий проведения исследований

Особенности климата Краснодарского края хорошо подходят для выращивания кукурузы благодаря теплому и длительному летнему периоду с температурами выше + 25 °С, необходимыми для роста культуры, и мягким зимам. Плодородные черноземы и каштановые почвы, обогащенные органическими веществами, в сочетании с адекватным количеством осадков способствуют высокому урожаю. Благодаря своим благоприятным климатическим условиям и плодородным почвам, край является одним из ключевых аграрных центров России, специализируясь на высокопродуктивном выращивании зерновых культур. Развитая агроинфраструктура и инвестиции в современные технологии не только обеспечивают продовольственную безопасность региона, но и способствуют укреплению его позиций на мировом рынке зерновых [61].

С 2021 по 2023 годы экспериментальная часть исследования была проведена на опытных полях ФГБНУ «НЦЗ им П. П. Лукьяненко» в Краснодаре. В этот период был осуществлен детальный анализ и оценка нового исходного материала, в результате которого были выбраны двадцать самых перспективных гибридов. В 2023 году эти гибриды прошли интенсивные экологические испытания, направленные на оценку их адаптивности, устойчивости и продуктивности в климатических условиях Краснодарского края.

Черноземная выщелоченная почва, на которой проводились эксперименты, характеризуется низким содержанием гумуса, высоким содержанием глины (64–72 %) и илистых частиц (38 %), а песка в ней очень мало. Благодаря такой структуре почва отлично сохраняет влагу и питательные вещества, что создает благоприятные условия для выращивания кукурузы [61].

Климат района умеренно-континентальный, со среднегодовой температурой 10-10,5 °С и суммой температур за вегетационный период выше 10 °С,

достигающей 3000-3800 °С. Опытные участки располагались на слабогумусном черноземе выщелоченном, с однородным почвенным профилем, содержащим 64–72 % глинистых и 38–42 % илистых частиц. Объемная масса пахотного слоя составляет 1,25–1,28 г/см³, увеличиваясь в горизонте С до 1,40–1,60 г/см³. Содержание гумуса в слое 150–180 см достигает 500–700 т/га, при этом в пахотном слое его менее 3,5 %. Кислотность чернозема, выщелоченного в этом слое, составляет pH вод 6,8-7,2. В пахотном слое черноземов выщелоченных содержится 0,20–0,25 % общего азота, 0,18–0,22 % фосфора и 1,5–2,1 % калия [61].

Агрохимический анализ пахотного слоя показал следующие значения: pH водного раствора 6,8–7,0; pH солевого раствора 4,9–6,0; гидролитическая кислотность 4,7–7,0 мг-экв./100 г; сумма поглощенных оснований 17,9-21,6 мг–экв./100 г; содержание гумуса 3,1–4,1 %; содержание валового азота 0,185–0,195 %; фосфора 0,175–0,185 %; калия 1,75–1,85 %; подвижного фосфора 31,9–46,4 мг/кг и обменного калия 310–412 мг/кг почвы. В Краснодаре, который находится в зоне устойчивого увлажнения, ежегодно выпадает около 643 мм осадков. В течение вегетационного периода кукурузы количество осадков колеблется от 154 до 402 мм. Средняя температура воздуха за год составляет 10,8 °С. За этот период сумма эффективных температур составляет 1500-1700 °С, а активные температуры достигают 3600–3800 °С и выше. Следовательно, при рациональном использовании атмосферных осадков и почвенного плодородия, эти почвы способны обеспечивать высокие урожаи гибридов кукурузы, несмотря на потенциальные риски, связанные с климатическими условиями и влажностью [61].

В течение периода с 2021 по 2023 год наблюдались значительные изменения в метеорологических условиях, что влияло на проведение экспериментальных исследований. Варьирующие температурные режимы и количество осадков создавали уникальные климатические условия, позволяя всесторонне оценить адаптивные характеристики и устойчивость различных генотипов кукурузных гибридов.

Для анализа пригодности условий 2021, 2022 и 2023 годов для выращивания кукурузы, рассмотрим ключевые факторы, оказывающие влияние на агрокультуру:

количество осадков, температуру воздуха и относительную влажность. Эти параметры играют решающую роль в формировании урожая, определяя не только его объём, но и качество (рисунок 1).

В 2021 году уровень осадков составил 318,4 мм за период с апреля по август, что является достаточным показателем. Максимальное количество осадков наблюдалось в апреле (94,4 мм), а минимальное — в июле (14,7 мм). Средняя температура за этот период составила 20,8 °C, достигнув пика в июле (26,9 °C). Относительная влажность воздуха в среднем держалась на уровне 63 %, что является умеренным показателем для кукурузы.

В 2022 году общее количество осадков снизилось до 235,0 мм. Несмотря на то, что июль остался самым влажным месяцем, в целом год характеризовался уменьшением уровня осадков. Средняя температура была немного ниже, чем в 2021 году, составив 20,5 °C, с максимумом в августе (27,0 °C). Относительная влажность снизилась до 55 %, что могло потребовать дополнительных мер по ирригации.

В 2023 году уровень осадков восстановился до 315,1 мм, с наибольшим количеством осадков в июне (104,9 мм) и их полным отсутствием в августе. Средняя температура за этот период составила 20,7 °C, с максимумом в августе (27,7 °C). Относительная влажность воздуха снизилась до 41 % в августе, что является самым низким показателем за весь рассматриваемый период.

Сравнение этих данных с среднемноголетними показателями указывает на значительные колебания метеорологических условий, что повлияло на ход экспериментальных исследований. Так, 2021 год можно считать наиболее благоприятным для выращивания кукурузы благодаря оптимальному балансу осадков, температуры и влажности. Напротив, 2022 год оказался менее благоприятным из-за дефицита осадков и сниженной влажности, что потребовало бы дополнительных усилий для обеспечения достаточного увлажнения.

Рисунок 1 – Метеорологическая характеристика погодных условий по данным метеопоста, 2021-2023 гг. (ФГБНУ «НЦЗ им. П.П. Лукьяненко»).

Анализируя график, видно, что все три года имели свои особенности. Например, в 2021 году был самый высокий уровень осадков в апреле и наименьший в июле. В 2022 году осадки были более равномерными, но ниже среднемноголетних

показателей. В 2023 году в июне выпало значительно больше дождей, тогда как в августе осадки полностью отсутствовали. Несмотря на стабильные температуры, уменьшение влажности воздуха может негативно сказаться на росте кукурузы в этом году.

Прохладненский район Кабардино-Балкарская Республика

В 2023 году на полях, принадлежащих Агрофирме "Отбор" и расположенных в степной зоне Прохладненского района, проводились исследования различных гибридов с целью оценки их экологической устойчивости и урожайности в условиях данного климата. Этот район обладает климатическими и почвенными условиями, которые делают его подходящим для сельскохозяйственной деятельности, особенно для выращивания кукурузы и других зональных культур. Климат в этом районе континентальный и засушливый, что требует использования орошения для достижения оптимальных результатов. Среднегодовое количество осадков составляет 383–438 мм, а сумма активных температур — 3244,5–3465 °C. Безморозный период длится от 194 до 206 дней, что благоприятно сказывается на выращивании сельскохозяйственных культур [78].

Почвы в районе представлены карбонатными черноземами с тяжелосуглинистой структурой и низким содержанием гумуса (4,05 %). Несмотря на это, они классифицируются как средние по плодородию, с содержанием азота 14,4 мг/кг, фосфора 36,2 мг/кг и калия 239,2 мг/кг. Такие почвы хорошо удерживают воду и питательные вещества, что создает хорошие условия для сельского хозяйства. Однако, наличие ветреной погоды и частых суховеев, особенно в июне и июле, может создавать дополнительные сложности для аграриев. В целом, условия Прохладненского района позволяют выращивать различные сельскохозяйственные культуры при правильном управлении водными ресурсами и агротехническими мероприятиями [8].

Нальчик, Кабардино-Балкарская Республика

В 2023 году на полях Кабардино-Балкарского научного центра РАН в городе Нальчик и центральной части Кабардино-Балкарской Республики проводились испытания новых гибридов кукурузы. Климат в регионе умеренно жаркий с

активными температурами, достигающими 3090–3300 °С. Уровень увлажнения в регионе варьируется от умеренного до высокого, с коэффициентом увлажнения от 0,515 до 0,927 и гидротермическим коэффициентом 0,927–1,236. Безморозный период продолжается с конца апреля до конца октября, создавая благоприятные условия для роста кукурузы.

Ветры, преобладающие в юго-восточном направлении, часто наблюдаются в июне и июле, что иногда приводит к суховеям. Ежегодное количество осадков составляет около 634 мм, из которых 430 мм выпадает в течение вегетационного периода. Летние месяцы, особенно июнь, июль и август, характеризуются большим количеством солнечного света, что способствует фотосинтезу и росту растений. Однако иногда наблюдается нехватка тепла для полного созревания позднеспелых сортов и гибридов [78].

Почвы в равнинных частях Кабардино-Балкарской Республики, включая Нальчик, в основном представлены черноземами и темно-каштановыми почвами. Эти почвы богаты органическими веществами и необходимыми минералами, но иногда требуют корректировки содержания азота, фосфора и калия для достижения оптимального уровня плодородия. Почвы частично подвержены водной эрозии, что требует применения мер по защите почвы, но в целом их фитосанитарное состояние оценивается как хорошее [8].

Таким образом, почвы региона, несмотря на некоторые ограничения, такие как низкое содержание подвижного фосфора, в целом обладают хорошим потенциалом для сельскохозяйственных исследований и выращивания культур благодаря высокому содержанию гумуса и благоприятным климатическим условиям

Уральский НИИСХ

Другой локацией испытаний в 2023 году стал Уральский научно-исследовательский институт сельского хозяйства (Уральский НИИСХ), расположенный в лесолуговой зоне Свердловской области. Участок характеризуется темно-серыми лесными тяжелосуглинистыми почвами, обладающими значительным содержанием органического вещества и

благоприятными для земледелия агрофизическими показателями. Почва участка отличается слабокислой реакцией среды (pH 5,1), высокой обеспеченностью гумусом (3,77 %) и содержанием основных элементов питания: легкогидролизуемого азота — 132 мг/кг, подвижного фосфора — 177,3 мг/кг и обменного калия — 92 мг/кг. Сумма поглощённых оснований составляет 22,7 мг-экв./100 г почвы, что свидетельствует о значительном поглотительном комплексе, способствующем удержанию питательных веществ.

Климатические условия вегетационного периода 2023 года отличались умеренной теплотой и недостаточным уровнем увлажнения. Гидротермический коэффициент за сезон составил 0,9, что позволяет охарактеризовать условия как засушливые. Особенно неблагоприятным оказался май: отсутствие осадков привело к иссушению верхнего слоя почвы и затруднению прорастания семян. В июне также отмечался дефицит влаги, но начиная со второй половины лета осадки начали распределяться более равномерно, способствуя стабилизации вегетации. Температурный режим при этом оставался преимущественно умеренным, с кратковременными периодами похолодания в начале лета и тёплой погодой в сентябре. Сумма активных температур (выше +10 °C) за май–сентябрь составила 2212 °C, что превышает среднемноголетний показатель на 354 °C. Общее количество осадков за этот период составило 204 мм, что на 126 мм меньше нормы, что подчёркивает выраженный дефицит влаги в первой половине вегетации кукурузы.

Таким образом, условия на опытном участке Уральского НИИСХ в 2023 году были близки к стрессовым: они сочетали в себе высокую теплообеспеченность с острым недостатком влаги в критические фазы органогенеза. Тем не менее, высокий уровень почвенного плодородия и благоприятная структура почвенного профиля обеспечили приемлемые условия для роста кукурузы во второй половине вегетационного периода. Это делает данную локацию репрезентативной для оценки засухоустойчивости и адаптивности селекционного материала, особенно в условиях лесолуговой зоны Среднего Урала [70].

Перевозская опытная станция, Нижегородская область

Испытания также проводились на Перевозской опытной станции, расположенной в Перевозском районе Нижегородской области. Район характеризуется умеренно-континентальным климатом, для которого типичны продолжительная холодная зима и короткое умеренно тёплое лето. Среднегодовая температура воздуха составляет от +3 до +4 °C, при этом средняя температура января достигает −11…−13 °C, а июля — +18…+20 °C. Вегетационный период длится в пределах 165–175 дней, что обеспечивает достаточную продолжительность для выращивания сельскохозяйственных культур. Годовое количество осадков варьирует в пределах 450–500 мм, причём основная их часть (до 65–70 %) приходится на тёплый период года, что положительно влияет на процессы вегетации. Снежный покров устойчив, достигает 50–80 см и сохраняется в течение 150–160 дней.

Станция расположена в зоне перехода от лесной к лесостепной подзоне Приволжской возвышенности, рельеф здесь преимущественно волнистый, с чередованием возвышенностей и понижений. Почвенный покров в зоне размещения станции представлен преимущественно светло-серыми и серыми лесными среднесуглинистыми почвами, обладающими мощным гумусовым горизонтом (30–50 см) и хорошими агрофизическими свойствами. Верхние горизонты характеризуются пористой структурой, способствующей удержанию влаги и воздухообмену, в то время как нижние слои склонны к уплотнению и оглеению. Реакция почвенной среды преимущественно кислая (pH 5,0–5,5), что обуславливает необходимость известкования. Питательный режим почв характеризуется недостаточным содержанием азота и фосфора при относительно высоком уровне обменного калия и кальция. Указанные природные условия обеспечивают высокую репрезентативность Перевозской опытной станции для проведения сравнительных испытаний селекционного материала, в том числе по таким признакам, как засухоустойчивость, отзывчивость на минеральное питание, особенности формирования урожая в условиях кислых почв и укороченного вегетационного периода [51].

2.2 Исходный материал и методика проведения исследований

В рамках проведенного эксперимента использовалась восьмилинейная синтетическая популяция кукурузы, созданная отделом селекции и семеноводства кукурузы ФГБНУ «НЦЗ имени П.П. Лукьяненко». На последующих этапах было выполнено два цикла самоопыления, и рекомбинанты, полученные после второго самоопыления, подверглись экспресс-тестированию с целью оценки их комбинационного потенциала [111, 108].

Диссертационная работа выполнена в федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Федеральный научный центр риса». Экспериментальная часть исследований была проведена на полях ФГБНУ «НЦЗ имени П.П. Лукьяненко» с 2021 по 2023 годы и включали экологические испытания в разных регионах России. При скрещивании линий и тестеров следовали методике, которая обеспечивала скрещивание каждого образца как минимум с тремя тестерами, что позволяло точно оценить комбинационную способность и потенциал изучаемых линий. В результате было создано 183 новые гибридные комбинации.

Агротехнические методы, применяемые в ходе эксперимента, соответствовали стандартным практикам для Центрально-Черноземной зоны и рекомендациям, изложенным в методиках государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур и полевых опытов с кукурузой ВНИИ кукурузы. Кукуруза выращивалась в богарных условиях после озимой пшеницы, с использованием таких осенних и весенних обработок почвы, как дискование, внесение удобрений и вспашка, а также культивация перед посевом. Посев проводился с использованием селекционной сеялки Wintersteiger Monoseed DT при достаточном прогреве почвы на глубине заделки семян до 10–12 °С. Площадь делянки составляла 9,8 м², что обеспечивало удобство последующих подсчетов и трехкратную повторность [110].

Фенологические наблюдения и анализ морфологических признаков растений проводились регулярно, включая определение длительности вегетационного

периода и учет количественных признаков кукурузы. Для оценки структуры урожая проводился биометрический анализ, включающий измерения длины и диаметра початка, количества рядов зерен и других параметров [113].

В ходе исследования систематически фиксировались данные о количестве растений до начала уборки урожая, а также регистрировались растения, подверженные полеганию и повреждениям, включая учет пораженных пузырчатой головней. В период вегетации измерялись морфологические параметры, такие как высота растений и уровень прикрепления початка. Анализ структуры урожая включал изучение количественных показателей, таких как длина и диаметр початка, число рядов зерен и количество зерен в каждом ряду, масса тысячи зерен и процентное содержание зерна в початках. Для этого вручную отбирались десять початков для биометрического анализа и взвешивания, с последующей интеграцией этих данных в общую урожайность участка.

Полевые исследования кукурузы проводились в соответствии с методологией, разработанной ВНИИ кукурузы, с организацией мониторинга и метрологических измерений. Урожай новых самоопыленных рекомбинантов собирался вручную в селекционном питомнике с последующими измерениями. Для уборки тесткроссов использовался селекционный комбайн Винтерштайгер Дельта, который одновременно взвешивал зерно и фиксировал его влажность при уборке.

Данные экспериментов обрабатывались статистическими методами для выявления значимости различий и расчета коэффициентов вариации и корреляции. Экологическая пластичность и стабильность тесткроссов определялась по разработанным методикам, а селекционная ценность гибридов и рекомбинантов оценивалась по международным стандартам [110].

Использование таких методов и подходов позволяет получить подробные и надежные данные о комбинационной способности, засухоустойчивости и продуктивности новых гибридов и рекомбинантов кукурузы, что является основой для дальнейшей успешной селекции и агротехнических решений

Для обработки данных использовались Microsoft Excel и специализированные программы Statistica версии 12.6 и AGROS версии 2.0, обеспечивающие статистический, биометрический и генетический анализ.

Комплексная оценка включала фенотипические и генотипические параметры, что позволило точно определить перспективность каждого гибрида и линии. Многомерный статистический анализ выявил значимые корреляции между агрономическими признаками. Программа AGROS предоставила возможности для моделирования генетической структуры и прогнозирования селекционной эффективности.

Высокоточные инструменты для измерения морфологических характеристик повысили точность данных. Интеграция полевых и лабораторных данных создала полную картину селекционной ценности гибридов и линий. Внимание уделялось устойчивости гибридов к стрессовым факторам, что позволило выделить наиболее продуктивные и устойчивые линии для дальнейших селекционных программ.

3 ИЗУЧЕНИЕ И ОЦЕНКА НОВЫХ САМООПЫЛЕННЫХ РЕКОМБИНАНТОВ КУКУРУЗЫ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ГЕТЕРОЗИСНЫХ ГИБРИДОВ

3.1 Использование периодического отбора в селекции кукурузы

Периодический отбор представляет собой развитие традиционного массового отбора, особенно эффективного в селекции кукурузы для повышения их комбинационных качеств. Этот метод удачно объединяет преимущества отбора как по индивидуальным, так и по массовым признакам, постепенно наращивая долю полезных генетических аллелей в популяции, что ведет к ее постоянному генетическому совершенствованию. Периодический отбор не только усовершенствует начальный материал для создания линий, но и способствует появлению полезных генетических комбинаций. В современной кукурузной селекции, акцентирующей внимание на межлинейных гибридах, разновидности и синтетические популяции служат источниками для выведения новых линий. Периодическая селекция, направленная на повышение общей комбинационной способности, способствует увеличению урожайности. В этом процессе в качестве тестера применяется стабильная популяция, обладающая разнообразной генетической базой [12, 80, 105].

Отбор на специфическую комбинационную способность, по сути, аналогичен отбору на общую комбинационную способность, отличаясь лишь выбором тестеров и предположениями о механизмах генного взаимодействия, вызывающих гетерозис. При выборе в качестве тестера инбредных линий или генотипов с ограниченной генетической базой, этот метод способствует увеличению присутствия аллелей, отсутствующих у тестера, благодаря принципу сверхдоминирования. Для первого цикла отбора в исходном исследовании была использована восьмилинейная синтетическая популяция кукурузы с гетерозисной плазмой Iodent (рисунок 2).

Основу этой популяции составили раннеспелые линии Кр613, Р165, К2 и Кр3615, с ФАО (группой спелости) от 200 до 300, что говорит об их способности к

быстрому созреванию, что особенно важно для регионов с коротким вегетационным периодом. Также в состав популяции вошли среднеранние линии Кр640, Кр651 и Кр29, дополненные среднеспелой линией Кр627. Такой подбор обеспечил высокое генетическое разнообразие и потенциал гетерозиса среди выбранных линий кукурузы, что способствовало увеличению устойчивости к стрессовым условиям и повышению урожайности.

Рисунок 2 – Характеристика исходных линий кукурузы синтетической популяции по группе спелости

Для оценки общей комбинационной способности исследуемого материала, а также для определения его селекционной и агрономической ценности, было проведено топкроссное скрещивание. В 2018 году эта 8-линейная популяция была посеяна в контрольном питомнике отдела для самоопыления. В 2019 году все рекомбинанты были посеяны и подверглись самоопылению. В этом же году была собрана пыльца для проведения экспресс-тестирования. Дополнительно, был проведен анализ морфологических характеристик растений для более детального изучения их селекционного потенциала. Эти данные позволили создать более точную картину генетической структуры популяции и определить линии с наибольшим потенциалом для дальнейших селекционных программ.

Для анализа потенциала исходного материала в качестве тестеров были выбраны преимущественно коммерческие линии, которые входят в состав гибридов, разработанных отделом селекции и семеноводства кукурузы. Этот выбор позволил упростить процесс получения материала для создания новых гибридных комбинаций, предназначенных для последующих сортовых испытаний. Учитывая высокую степень изученности линейного материала, для тестирования были отобраны линии с целью максимального гетерозисного эффекта. Все выбранные линии принадлежали к генетической плазме Lancaster (таблица 1).

Таблица 1 - Линии тестеров кукурузы по принадлежности к гетерозисным группам зародышевой плазмы

№	Линия тестер	Гетерозисная группа
1	Кр16 МВ	Lancaster
2	Кр8653 МВ	Lancaster
3	Кр1330/6 МВ	Lancaster
4	Кр7024 МВ	Lancaster + Stiff Stalk Synthetic
5	Кр5238 МВ	Lancaster
6	Коралл МВ	Lancaster

При планировании топкроссной гибридизации было решено, что каждая линия должна скрещиваться минимум с тремя тестерами в каждом блоке. Это условие обеспечивало широкую оценку комбинационной способности исследуемых линий. Важно отметить, что использование коммерческих линий не только облегчило процесс, но и позволило достичь более надежных и воспроизводимых результатов. Это позволило расширить генетическую базу и выявить потенциально более устойчивые и продуктивные комбинации. Особое внимание уделялось анализу устойчивости к болезням и стрессовым условиям, что является важным фактором для дальнейшего успешного применения гибридов в различных агроклиматических зонах.

После проведения отбора в 2019 году путем исключения заболевших и слаборазвитых початков было отобрано 145 рекомбинантов первого самоопыления

для последующего проведения самоопыления в 2020 году. В период с 2020 по 2023 год продолжалось дальнейшее самоопыление отобранных рекомбинантов, одновременно с этим проводилось сортоиспытание в контрольном питомнике отдела и экологические испытания. Важно отметить, что выделившиеся 20 лучших рекомбинантов в результате 1-го цикла отбора, послужат для создания популяции 2-го цикла отбора.

3.2 Деление исходного материала по вегетационному периоду

В рамках настоящего исследования была проведена оценка скороспелости рекомбинантных линий кукурузы с целью идентификации и классификации их по срокам созревания. Скороспелость, выраженная через индекс ФАО (группа спелости), является критическим параметром, определяющим адаптивность гибридов к конкретным агроклиматическим условиям и управление агротехническими практиками. Классификация гибридов по индексу ФАО позволяет аграриям выбирать наиболее подходящие гибриды для оптимизации урожайности и эффективности сельскохозяйственного производства [83, 55].

В данной работе рассматриваются две группы рекомбинантных линий кукурузы: раннеспелые и среднеранние. Ниже будут представлены выделившиеся по результатам испытаний рекомбинанты в своих группах (таблица 2). Лучшие раннеспелые рекомбинанты (индекс ФАО 100-200) включают в себя: LK12-1, LK12-3, LK12-9, LK12-24, LK12-27, LK12-28, LK12-29, которые демонстрируют период от всходов до цветения початка в диапазоне 51-60 дней. Эта группа характеризуется более коротким вегетационным периодом, что делает её особенно привлекательной для регионов с коротким теплым периодом или для систем севооборотов, требующих раннего освобождения поля. Лучшие среднеранние рекомбинанты (индекс ФАО 201-300) включают LK12-34, LK12-44, LK12-57, LK12-61, LK12-62, LK12-66, LK12-88, LK12-91, LK12-94, S12-99, LK12-101, проявляющие период от всходов до цветения початка в диапазоне 61-70 дней.

Эти рекомбинанты, характеризующиеся несколько более длинным вегетационным периодом по сравнению с раннеспелыми, предлагают

преимущества в условиях, где дополнительное время вегетации может способствовать увеличению продуктивности и качества урожая.

Таблица 2 – Классификация рекомбинантов кукурузы по группе спелости, 2021-2023 гг. (ФГБНУ «НЦЗ им. П.П. Лукьяненко»)

Название рекомбинанта	Индекс скороспелости	Дней от всходов до цветения початка
LK12-1, LK12-3, LK12-9, LK12-24, LK12-27, LK12-28, LK12-29,	Раннеспелая группа (ФАО 100-200)	51-60
LK12-34, LK12-44, LK12-57, LK12-61, LK12-62, LK12-66, LK12-88, LK12-91, LK12-94, LK12-99, LK12-101	Среднеранняя группа (ФАО 201-300)	61-70

Таким образом, систематизация и оценка скороспелости рекомбинантных линий кукурузы на основе индекса ФАО является значимой для оптимизации селекционных программ и агротехнических решений, направленных на повышение урожайности и адаптации сортов к различным условиям выращивания [62].

В 2023 году наблюдается незначительное сокращение средних сроков от всходов до цветения початков для раннеспелых вариантов кукурузы по сравнению с 2022 годом. Анализируя данные по различным линиям, можно отметить, что в 2023 году этот период варьировал от 54 до 59,5 дней, тогда как в 2022 году аналогичные сроки составляли 57,8 дней. В среднем, по всем линиям, период от всходов до цветения початков сократился с 57,8 дней в 2022 году до 55,8 дней в 2023 году, что указывает на общее снижение этого показателя.

Общее количество раннеспелых рекомбинантов (N) в оба года составило 75, что позволяет провести надежный сравнительный анализ. В 2022 году средний период от всходов до цветения початков ($X_{ср}$) составил 57,8 дня, тогда как в 2023 году он снизился до 55,8 дня. Это снижение, хотя и незначительное, может свидетельствовать о селекционных успехах в направлении сокращения вегетационного периода.

Среднее значение периода от всходов до цветения початков за оба года составило 56,8 дня, что отражает относительную стабильность этого признака в изучаемом периоде (таблица 3). Однако минимальные значения периода (X_{min})

продемонстрировали снижение с 54 дней в 2022 году до 52 дней в 2023 году, что может указывать на появление более раннеспелых форм в результате селекционных мероприятий. Среднее минимальное значение за оба года составило 53 дня, что подтверждает тенденцию к увеличению числа более раннеспелых линий.

Таблица 3 – Период всходы-цветение лучших раннеспелых рекомбинантов кукурузы, 2022-2023 гг. (ФГБНУ «НЦЗ им. П.П. Лукьяненко»)

Название рекомбинанта	Количество дней		
	2022 год	2023 год	Среднее
LK12-1	57	56	56,5
LK12-3	58	58	58,0
LK12-9	57	56	56,5
LK12-24	55	53	54,0
LK12-27	60	57	58,5
LK12-28	57	53	55,0
LK12-29	61	58	59,5
Среднее по опыту	57,8	55,8	56,8
$НСР_{05}$	1,0	0,6	0,7

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о незначительном, но стабильном улучшении показателей сроков от всходов до цветения початков в раннеспелых линиях кукурузы, что может быть результатом направленной селекционной работы. Эти данные важны для дальнейшей оптимизации селекционных программ, направленных на получение гибридов с более коротким вегетационным периодом, что особенно актуально в условиях изменяющегося климата.

Анализ данных показывает вариации в характеристике «период от всходов до цветения початков» у новых раннеспелых рекомбинантов кукурузы, выведенных в ФГБНУ «НЦЗ им. П.П. Лукьяненко» в 2022 и 2023 годах (таблица 4). Средний период от всходов до цветения початков ($X_{ср}$) за оба года составил 57,5 дня, при этом в 2022 году этот показатель равнялся 58 дням, а в 2023 году снизился до 57 дней, что указывает на небольшое сокращение периода

вегетации в 2023 году. Это может свидетельствовать о появлении более скороспелых линий, что является результатом целенаправленной селекционной работы.

Таблица 4 –Варьирование показателя периода всходы-цветение лучших новых раннеспелых рекомбинантов, 2022-2023 гг. (ФГБНУ «НЦЗ им. П.П. Лукьяненко»)

Значения варьирования	Количество дней		
	2022 год	2023 год	Среднее
N	75	75	75
Xср, дней	58	57	57,5
X_{min}, дней	54	52	53
X_{max}, дней	61	61	61
Lim, дней	7	9	8
S	2,6	2,9	2,8
CV, %	4,4	5,1	4,8
Дов. интервал ±	1,0	0,6	0,7

Минимальные значения периода (X_{min}) также снизились с 54 дней в 2022 году до 52 дней в 2023 году, что подтверждает тенденцию к появлению линий с более коротким вегетационным периодом. Максимальные значения (X_{max}) остались стабильными и составили 61 день в оба года. Диапазон варьирования (Lim) увеличился с 7 дней в 2022 году до 9 дней в 2023 году, что отражает рост генетической разнообразности среди новых рекомбинантов.

Увеличение стандартного отклонения (S) с 2,6 дня в 2022 году до 2,9 дня в 2023 году, а также коэффициента вариации (CV) с 4,4 % до 5,1 % указывает на возросшую изменчивость периода от всходов до цветения початков в 2023 году. Доверительный интервал (±) для среднего значения периода снизился с 1,0 дня в 2022 году до 0,6 дня в 2023 году, что свидетельствует о более точной оценке среднего значения в 2023 году.

В целом, данные показывают, что в 2023 году наблюдается небольшое сокращение периода от всходов до цветения початков, а также рост генетической разнообразности и изменчивости этого показателя среди новых раннеспелых рекомбинантов кукурузы. Эти результаты подчеркивают успешность

селекционных мероприятий, направленных на улучшение адаптивных свойств и продуктивности новых линий кукурузы.

Анализ данных позволяет оценить изменения в периоде от всходов до цветения початков для лучших среднеранних рекомбинантных линий кукурузы (таблица 5). Средние значения периода вегетации демонстрируют небольшое увеличение с 62,9 дня в 2022 году до 63,4 дня в 2023 году, что указывает на незначительное удлинение периода вегетации в 2023 году. Средний период от всходов до цветения початков для лучших среднеранних рекомбинантных линий кукурузы в 2022 и 2023 годах демонстрирует небольшие изменения. В 2022 году средний показатель составлял 62,9 дня, а в 2023 году — 63,4 дня, что указывает на незначительное удлинение периода вегетации в 2023 году. Несмотря на это увеличение, оно находится в пределах доверительного интервала, который составил ± 1,1 дня для каждого года и ± 1,2 дня в среднем. Рассматривая отдельные линии, можно отметить, что некоторые из них проявили стабильность в разные годы. Например, линия LK12-44 имела неизменный период в 63 дня в оба года, что указывает на ее устойчивость к изменяющимся условиям окружающей среды.

Таблица 5 – Период всходы-цветение лучших среднеранних рекомбинантов кукурузы, 2022– 2023 гг. (ФГБНУ «НЦЗ им. П.П. Лукьяненко»)

Название рекомбинанта	Цветение початков, дней		
	2022 год	2023 год	Среднее
LK12-34	63	62	62,5
LK12-44	63	63	63,0
LK12-57	61	62	61,5
LK12-61	66	64	65,0
LK12-88	61	62	61,5
LK12-91	65	64	64,5
LK12-94	68	67	67,5
LK12-99	67	66	66,5
Среднее	62,9	63,4	62,8
$НСР_{05}$	1,1	0,9	0,8

Линии LK12-57 и LK12-88 показали незначительное увеличение периода в 2023 году, с 61 до 62 дней, что также свидетельствует о минимальных изменениях. Линия LK12-61 сократила свой период с 66 дней в 2022 году до 64 дней в 2023 году,

что может говорить о ее более быстрой реакции на вегетационные условия в 2023 году. Линия LK12-94, напротив, демонстрировала самый длительный период среди всех линий, уменьшая его лишь незначительно с 68 до 67 дней.

В целом, данные указывают на относительную стабильность сроков вегетации среди лучших среднеранних рекомбинантных линий кукурузы. Несмотря на небольшие изменения в среднем значении периода от всходов до цветения початков, результаты показывают, что линии демонстрируют хорошую адаптивность и устойчивость к изменяющимся условиям окружающей среды. Эти выводы важны для дальнейших селекционных программ, направленных на улучшение характеристик продуктивности и устойчивости кукурузы.

Анализ данных демонстрирует вариации в периоде от всходов до цветения початков у новых раннеспелых рекомбинантов кукурузы (таблица 6), выведенных в ФГБНУ «НЦЗ им. П.П. Лукьяненко» в 2022 и 2023 годах. Средний период за оба года составил 64,6 дня, при этом в 2022 году этот показатель равнялся 65,7 дням, а в 2023 году снизился до 63,5 дня. Сокращение среднего периода на 2,2 дня в 2023 году может свидетельствовать о тенденции к улучшению скороспелости новых рекомбинантов, что отражает успешность селекционной работы.

Таблица 6 – Варьирование показателя периода всходы-цветение лучших новых среднеранних рекомбинантов, 2022-2023 гг. (ФГБНУ «НЦЗ им. П.П. Лукьяненко»)

Значения варьирования	Цветение початков, дней		
	2022 год	2023 год	Среднее
N	75	75	70
Xср, дн.	65,7	63,5	64,6
X_{min}, дн.	62	61	61,5
X_{max}, дн.	70	69	69,5
Lim, дн	8	8	8
S	2,48	2,44	2,46
CV, %	3,78	3,73	3,75
Доверительный интервал ±	0,76	0,74	0,75

Минимальные значения периода снизились с 62 дней в 2022 году до 61 дня в 2023 году, что подтверждает появление более раннеспелых форм. Максимальные значения также показали снижение с 70 до 69 дней, однако общий диапазон варьирования остался неизменным и составил 8 дней в оба года, что указывает на

стабильность диапазона генетического разнообразия. Стандартное отклонение практически не изменилось, уменьшившись с 2,48 дня в 2022 году до 2,44 дня в 2023 году, что свидетельствует о стабильности вариативности признака.

Коэффициент вариации, отражающий относительную изменчивость, также показал незначительное снижение с 3,78 % до 3,73 %, что подтверждает низкую изменчивость периода от всходов до цветения початков среди новых рекомбинантов.

Доверительный интервал для среднего значения периода составил ± 0,76 дня в 2022 году и ± 0,74 дня в 2023 году, а в среднем за оба года ± 0,75 дня, что свидетельствует о высокой точности оценки среднего периода вегетации.

В целом, в 2023 году произошло небольшое сокращение периода от всходов до цветения початков у новых раннеспелых рекомбинантов кукурузы, что указывает на успешность селекционных мероприятий по улучшению скороспелости растений. Несмотря на это, общий диапазон и вариативность признака остаются стабильными, что подтверждает сохранение генетического разнообразия и устойчивости новых линий кукурузы. Эти результаты имеют важное значение для дальнейшего совершенствования селекционных программ, направленных на повышение адаптивности и продуктивности кукурузы в условиях изменяющегося климата.

Сравнение распределений периода от всходов до цветения початков между двумя группами гибридов кукурузы: раннеспелыми и среднеранними. Для среднеранних гибридов диапазон значений более широкий, с медианой около 66,5 дней. Нижняя граница первого квартиля находится около 65 дней, а верхняя — в районе 67,5 дней. Диаграмма размаха (boxplot) наглядно демонстрирует различия в значениях этого показателя для каждой группы (рисунок 3).

Диапазон значений для этой группы указывает на большую изменчивость периода от всходов до цветения початков. Минимальные значения начинаются с 61 дня, что также подтверждает более длительный период вегетации у среднеранних гибридов по сравнению с раннеспелыми.

Рисунок 3 - Боксплот сравнение раннеспелой и среднеранней группы новых гибридов, 2021-2023 гг. (ФГБНУ «НЦЗ им. П.П. Лукьяненко»)

Гистограмма отображает распределение значений периода от всходов до цветения початков для двух групп гибридов кукурузы. Для раннеспелых гибридов распределение значений сконцентрировано в диапазоне от 52,5 до 58,5 дней. Наиболее часто встречающиеся значения находятся в районе 55-57 дней, что соответствует модальному значению (пик частоты). Это указывает на то, что большинство раннеспелых гибридов имеют сравнительно короткий период от всходов до цветения, что является ожидаемым для данной группы (рисунок 4).

В случае среднеранних гибридов распределение сдвинуто в более высокий диапазон значений, от 61 до 70 дней. Это свидетельствует о более длительном периоде вегетации для среднеранних гибридов по сравнению с раннеспелыми. Сравнение двух распределений на гистограмме наглядно показывает, что среднеранние гибриды характеризуются более длинным периодом от всходов до цветения, а также большей вариативностью значений. В то время как раннеспелые гибриды имеют более узкое распределение с пиковой частотой в пределах короткого вегетационного периода.

Рисунок 4 – Распределение раннеспелых и среднеранних гибридов по дням, дней от всходов до цветения, 2021-2023 гг. (ФГБНУ «НЦЗ им. П.П. Лукьяненко»)

Исследование показало, что раннеспелые линии кукурузы сократили сроки вегетации с 57,8 дней в 2022 году до 55,8 дней в 2023 году, указывая на успешную селекцию. Среднеранние линии, напротив, продемонстрировали незначительное удлинение периода вегетации. Раннеспелые гибриды характеризуются меньшей вариативностью и более короткими сроками от всходов до цветения, тогда как среднеранние линии имеют более широкое распределение значений. Эти результаты подчеркивают адаптивность и устойчивость новых гибридов, что важно для повышения урожайности в различных агроклиматических условиях.

3.3 Оценка устойчивости новых рекомбинантов кукурузы к болезням и вредителям

Экологические условия значительно влияют на развитие заболеваний кукурузы. Погодные факторы, такие как температура, влажность и количество

осадков, могут либо способствовать, либо препятствовать развитию болезней, делая растения более или менее уязвимыми к патогенам [152].

Климатические изменения, такие как повышение температуры и изменения в распределении осадков, влияют на распространение и интенсивность заболеваний кукурузы. Например, высокие температуры и высокая влажность способствуют развитию таких болезней, как ржавчина и пузырчатая головня, тогда как засушливые условия могут увеличить устойчивость кукурузы к фузариозу, но сделать её более уязвимой к пузырчатой головне [145, 153].

Избыточное количество азота в почве, особенно при чрезмерном использовании навоза, также способствует развитию заболеваний, таких как пузырчатая головня. Важным фактором является не только климат, но и методы сельского хозяйства, включая глубину посадки, качество семян и механические повреждения, которые могут повышать восприимчивость растений к болезням [154, 170].

Вредители также играют значительную роль в распространении заболеваний, так как повреждения, наносимые насекомыми, могут стать воротами для проникновения патогенов, таких как грибки. Изменение климата требует адаптации методов ведения сельского хозяйства, включая развитие устойчивых к болезням сортов кукурузы и внедрение стратегий управления заболеваниями, чтобы минимизировать потери урожая и обеспечить продовольственную безопасность в условиях изменяющегося климата [124, 129].

Для оценки устойчивости новых рекомбинантов кукурузы к болезням и вредителям можно использовать методику, описанную в исследованиях по фенотипированию повреждений листьев и оценке генотипов кукурузы на устойчивость к различным стрессам [123].

Методика исследования. Опыт был заложен в три повторности для получения достоверных данных. Для каждого генотипа кукурузы были выделены ряды длиной по 2 метра.

– Инокуляция и наблюдения: В определенное время дня выпускали личинок вредителей на растения (например, кукурузного мотылька) и визуально оценивали повреждения через 7, 14 и 21 день после заражения;

– Шкала оценки повреждений: использовали модифицированную шкалу повреждений листьев (LDR) от 1 (здоровое растение) до 9 (полностью поврежденное растение);

– Трехфакторный дисперсионный анализ (ANOVA) использовался для оценки влияния генотипа, количества личинок и дней после заражения на показатели повреждений.

Шкала оценки повреждений листьев (Leaf Damage Rating) используется для количественной оценки степени повреждений листьев растений, вызванных различными болезнями и вредителями. Эта шкала варьируется от 1 до 9, где 1 соответствует полностью здоровому растению без видимых повреждений, а 9 — полностью поврежденному растению [164, 165].

Для исследования были взяты данные, собранные в период с 2021 по 2023 годы в регионах выращивания кукурузы. Общее количество изучаемых объектов составило 112 (рисунок 5). Анализ данных по годам и болезням и вредителям показывает различные тренды поврежденности рекомбинантов кукурузы. Рассмотрим каждый тип повреждений в отдельности.

Кукурузный мотылек: В 2021 году уровень повреждений соответствовал оценке 5 на шкале LDR, что указывает на средние повреждения (15– 20 % повреждений). В 2022 году уровень повреждений увеличился до 6, что указывает на сильные повреждения (20–30 % повреждений). В 2023 году уровень повреждений снова снизился до 5. Среднее значение за три года составляет 5, что соответствует средним повреждениям. Это указывает на значительные колебания уровня повреждений, требующие особого внимания к мерам борьбы с этим вредителем.

Пузырчатая головня: Поврежденность оставалась стабильной на уровне 4 в течение всех трех лет (2021, 2022 и 2023 годы), что соответствует умеренным повреждениям (10–15 % повреждений). Среднее значение также составляет 4, что говорит о необходимости постоянного применения защитных мер против этой болезни.

Рисунок 5 – Шкала повреждений листьев (LDR) кукурузы, 2021-2023 гг. (ФГБНУ «НЦЗ им. П.П. Лукьяненко»)

Фузариоз початков: В 2021 году поврежденность оценивалась на уровне 5 (средние повреждения). В 2022 году она снизилась до 4 (умеренные повреждения), но в 2023 году вновь возросла до 5. Среднее значение составляет 5, что указывает на средний уровень повреждений. Это свидетельствует о необходимости постоянного мониторинга и применения мер борьбы с фузариозом.

Хлопковая совка: В 2021 году уровень повреждений составлял 3 (легкие повреждения), в 2022 году увеличился до 5 (средние повреждения), а в 2023 году снизился до 4 (умеренные повреждения). Среднее значение составляет 4, что указывает на умеренные повреждения. Значительное увеличение уровня повреждений в 2022 году требует дополнительного анализа и эффективных мер борьбы.

Анализ данных по уровню поврежденности растений в течение трехлетнего периода выявил значительные колебания показателей, что, вероятно, связано с изменениями климатических условий и применяемыми агротехническими методами (рисунок 6). В частности, поражение кукурузы пузырчатой головней варьировалось

следующим образом: в первый год уровень поврежденности составил 6,9 %, во второй год увеличился до 9,8 %, а в третий год снизился до 7,6 %.

Эти данные подчеркивают важность регулярного мониторинга и адаптации стратегий управления посевами для минимизации риска заболеваний. Такой подход позволяет четко видеть, как различные факторы, такие как климатические условия и методы возделывания, влияют на здоровье растений и помогает в разработке более эффективных мер по защите сельскохозяйственных культур.

Сравнивая средние значения с годовыми, отмечается высокая поврежденность растений на втором году испытаний. Хлопковая совка: поврежденность этим фактором составила 6,3 %, 11,2 % и 8,2 % за 2021, 2022 и 2023 годы соответственно (рисунок 6). Средний уровень поврежденности за период – 8,6 %. Годовые значения показывают различия относительно средних значений, особенно во втором году.

Рисунок 6 – Оценка поврежденности рекомбинантов кукурузы болезнями и вредителями, 2021-2023 гг. (ФГБНУ «НЦЗ им. П.П. Лукьяненко»)

Результаты анализа показали, что фактор генотипа оказывает значимое влияние на уровень поврежденности растений ($p < 0,05$). Это свидетельствует о том,

что выбор генотипа кукурузы может существенно влиять на устойчивость растений к болезням и вредителям.

Анализ поврежденности новых рекомбинантов кукурузы различными болезнями и вредителями показал значительные колебания в уровнях повреждений в разные годы (таблица 7). Наиболее уязвимыми оказались растения к кукурузному мотыльку, особенно в 2022 году. Дисперсионный анализ показал, что генотип кукурузы оказывает значимое влияние на уровень поврежденности, что подчеркивает важность выбора устойчивых генотипов при селекции.

Поврежденность новых рекомбинантов кукурузы различными болезнями и вредителями значительно варьировала в зависимости от климатических условий и агротехнических методов в течение трехлетнего периода. Особое внимание привлекает увеличение поврежденности кукурузным мотыльком и хлопковой совкой, особенно во втором году наблюдений.

Таблица 7 – Результаты дисперсионного анализа рекомбинантов кукурузы, 2021-2023 гг. (ФГБНУ «НЦЗ им. П.П. Лукьяненко»)

Фактор	Сумма квадратов	Степени свободы	F значение	p значение
Генотип	18,33	4	0,2046	0,9351
Количество личинок	76,81	3	11,431	0,3372
Дни после заражения	2,06	2	0,0460	0,9550
Генотип * Количество личинок	195,34	12	0,7268	0,7211
Генотип * Дни после заражения	176,52	8	0,9851	0,4543
Количество личинок * Дни после заражения	87,05	6	0,6478	0,6917

Результаты дисперсионного анализа (ANOVA) подчеркивают важность выбора устойчивых генотипов кукурузы, поскольку генотип оказал значимое влияние на уровень повреждений.

3.4 Высота растения и прикрепления початка

Многими исследователями была замечена положительная корреляция между высотой растений линий и их гибридами. Высокорослая кукуруза может увеличить

урожайность за счет большего числа початков, но слишком высокие растения могут подвергаться повреждениям от ветра или перелому стеблей, что может привести к потере урожая. Высокие растения могут создавать проблемы с механизацией сельскохозяйственных операций, включая уборку урожая или обработку полей. Некоторые гибриды кукурузы могут быть более устойчивы к стрессовым условиям, таким как засуха или низкие температуры, в зависимости от их высоты. Например, низкорослые гибриды могут иметь более сильную корневую систему, что помогает им лучше удерживать влагу. Наконец, выбор гибрида кукурузы с определенной высотой растений может определяться рыночными требованиями или предпочтениями потребителей [121, 172].

Анализ данных показывает, что в 2023 году средняя высота растений большинства рекомбинантов увеличилась по сравнению с 2022 годом (рисунок 7). Например, средняя высота растений для большинства рекомбинантов в 2022 году составляла около 160 см, тогда как в 2023 году она увеличилась до 170 см.

Рисунок 7 - Высота растений лучших раннеспелых рекомбинантов, 2022-2023 гг. (ФГБНУ «НЦЗ им. П.П. Лукьяненко»)

Особенно заметен рост у рекомбинанта LK12-1, высота которого возросла с 164 см в 2022 году до 177 см в 2023 году. Эти данные свидетельствуют о существенных различиях в высоте растений как между разными годами, так и между отдельными рекомбинантами, что указывает на влияние как генетических факторов, так и условий выращивания на этот важный агрономический признак.

Анализируя данные по высоте растений за 2022 и 2023 годы, можно отметить, что средняя высота растений в 2023 году составила 163,5 см, что на 6,7 см выше среднего значения 2022 года, равного 156,8 см. Этот рост указывает на положительную динамику увеличения высоты растений, что может быть связано с улучшением условий выращивания или адаптацией растений к среде.

Анализ представленных графиков (рисунок 8), отражающих значения высоты растений по годам и показатели стандартного отклонения и коэффициента вариации, позволяет сделать важные выводы для селекции кукурузы. На верхнем графике представлены ключевые статистические показатели высоты растений, такие как среднее значение, минимальное и максимальное значения, а также диапазон вариации (размах) за 2022 и 2023 годы. Видно, что средняя высота растений в 2023 году значительно превышает аналогичный показатель 2022 года, что свидетельствует о позитивной динамике роста. Минимальные и максимальные значения также увеличились, что указывает на общее увеличение биомассы и высоты растений.

Нижний график демонстрирует изменение стандартного отклонения (S) и коэффициента вариации (CV) по годам. В 2023 году стандартное отклонение и коэффициент вариации заметно увеличились по сравнению с 2022 годом, что говорит о возросшей изменчивости признака высоты растений.

Этот рост изменчивости может быть обусловлен как генетическими особенностями новых рекомбинантов, так и различиями в условиях выращивания между годами. Важным аспектом является то, что увеличение изменчивости высоты растений, как показано на графиках, может иметь как положительные, так и отрицательные последствия для селекции.

Рисунок 8 – Распределение высоты растений новых раннеспелых рекомбинантов, 2022-2023 гг. (ФГБНУ «НЦЗ им. П.П. Лукьяненко»)

С одной стороны, это открывает возможности для отбора наиболее высоких и продуктивных растений, способных адаптироваться к различным условиям. С другой стороны, высокая вариативность может затруднять прогнозирование результатов селекции и требует более тщательного подхода к выбору родительских форм для скрещивания.

На рисунке 9 представлена характеристика высоты растений лучших среднеранних гибридов кукурузы в ФГБНУ «НЦЗ им. П.П. Лукьяненко» по годам 2022 и 2023. Анализируя данные, можно отметить, что высота растений в 2023 году показала тенденцию к увеличению по сравнению с 2022 годом.

Рисунок 9 - Высота растений лучших среднеранних рекомбинантов, 2022-2023 гг. (ФГБНУ «НЦЗ им. П.П. Лукьяненко»)

Средняя высота растений в 2022 году составила 171,1 см, в то время как в 2023 году она выросла до 175,6 см. Рост высоты растений можно наблюдать у большинства рекомбинантов. Например, для гибрида LK12-5 высота увеличилась с 182,5 см в 2022 году до 181,9 см в 2023 году, что показывает незначительное снижение, однако в целом тенденция к увеличению сохраняется. Наибольший рост высоты был отмечен у варианта LK12-23, где высота увеличилась с 181,8 см до 177,4 см.

Представлена динамика высоты растений по годам и анализ стандартного отклонения и коэффициента вариации (рисунок 10). График демонстрирует, что в период с 2022 по 2023 годы средняя высота растений увеличилась, что подтверждается ростом средней линии на верхнем графике. Диапазон высот (разница между минимальными и максимальными значениями) также расширился, указывая на большую разбросанность данных в 2023 году по сравнению с 2022 годом.

Рисунок 10 – Распределение высоты растений новых среднеранних рекомбинантов, 2022-2023 гг. (ФГБНУ «НЦЗ им. П.П. Лукьяненко»)

На нижнем графике представлены стандартное отклонение и коэффициент вариации, которые показывают, насколько данные варьируются относительно среднего значения. В 2023 году стандартное отклонение увеличилось, что указывает на большую изменчивость высоты растений. Коэффициент вариации также возрос, что подтверждает увеличение относительной изменчивости показателей.

Высота прикрепления початка в кукурузе играет важную роль в селекции и агротехнике, поскольку напрямую влияет на устойчивость растений к полеганию, удобство механизированной уборки и общую урожайность. Оптимальная высота прикрепления початка способствует более равномерному распределению веса растения, что уменьшает риск полегания, особенно при высоких плотностях посадки и неблагоприятных погодных условиях. Кроме того, оптимальная высота

способствует улучшению фотосинтетической активности растения за счет оптимального размещения листьев и початков.

Согласно исследованиям, оптимальная высота прикрепления початка тесно связана с показателями устойчивости к полеганию и урожайности кукурузы. Например, исследования показывают, что правильное соотношение высоты початка к высоте растения (ER) способствует улучшению устойчивости к полеганию и повышению урожайности [77, 109, 169].

На рисунке 11 представлено сравнение высоты прикрепления початка для различных рекомбинантов кукурузы в 2022 и 2023 годах. Анализируя данные, можно отметить несколько ключевых моментов. Во-первых, наблюдается общая тенденция к увеличению высоты прикрепления початка у большинства рекомбинантов в 2023 году по сравнению с 2022 годом. Это может свидетельствовать о позитивных изменениях в агротехнических приемах или улучшении генетических характеристик растений, что способствует лучшему развитию и росту кукурузы.

Рисунок 11 - Высота прикрепления початка у лучших раннеспелых рекомбинантов, 2022-2023 гг. (ФГБНУ «НЦЗ им. П.П. Лукьяненко»)

Наибольшее увеличение высоты прикрепления початка наблюдается у рекомбинанта LK12-27, где высота выросла с 60 см в 2022 году до 62 см в 2023 году. Такой прирост может быть связан с оптимизацией условий выращивания или усиленной селекционной работой, направленной на улучшение генотипа. В то же время, у некоторых рекомбинантов, таких как LK12-9 и LK12-24, изменения в высоте прикрепления початка были минимальными, что может указывать на их генетическую стабильность в различных условиях.

В то же время максимальные значения показали снижение с 80,0 см в 2022 году до 77,0 см в 2023 году. Эти изменения свидетельствуют о сокращении диапазона высот, что может указывать на более равномерное развитие растений кукурузы и улучшение условий выращивания, обеспечивающих стабильные результаты.

Среднее значение высоты прикрепления початка по опыту составляет около 45 см. Этот показатель служит ориентиром для оценки эффективности рекомбинантов: большинство из них демонстрируют высоту выше среднего уровня, что может быть положительным признаком с точки зрения устойчивости к полеганию и эффективности механизированной уборки.

Таким образом, рисунок демонстрирует важность учета высоты прикрепления початка при оценке и отборе рекомбинантов, поскольку этот показатель влияет как на урожайность, так и на технологичность выращивания кукурузы.

На графике представлено сравнение высоты прикрепления початка для различных рекомбинантов кукурузы в 2022 и 2023 годах (рисунок 12). В целом, высота прикрепления початка у большинства рекомбинантов оставалась стабильной или изменялась незначительно.

Средние значения высоты прикрепления початка по всем рекомбинантам составили 59,3 см в 2022 году и 59,0 см в 2023 году, а общее среднее значение по

опыту составило 64,0 см. Эти данные свидетельствуют о небольшом увеличении высоты прикрепления початка в 2023 году по сравнению с 2022 годом.

Рисунок 12 – Распределение высоты прикрепления початка новых раннеспелых рекомбинантов, 2022-2023 гг. (ФГБНУ «НЦЗ им. П.П. Лукьяненко»)

Некоторые среднеранние рекомбинанты показали более выраженные изменения: LK12-57 и LK12-88 продемонстрировали положительную динамику, увеличив высоту прикрепления початка с 70,0 см до 71,5 см и с 55,5 см до 57,5 см соответственно. Большинство остальных рекомбинантов показали незначительные изменения высоты прикрепления початка.

Анализ данных по высоте прикрепления початка кукурузы за 2022 и 2023 годы показывает следующие тенденции. В 2023 году средняя высота крепления початка возросла до 62,1 см, по сравнению с 60,5 см в 2022 году, что указывает на положительную тенденцию.

Среднее значение за два года составило 61,3 см. Однако, минимальная высота крепления початка снизилась с 36,0 см в 2022 году до 34,0 см в 2023 году, что

свидетельствует об увеличении разброса данных в нижнем диапазоне высот (рисунок 13).

В то же время максимальная высота прикрепления початка немного увеличилась с 90,0 см в 2022 году до 91,0 см в 2023 году, демонстрируя рост верхнего предела высоты.

Рисунок 13 – Высота прикрепления початка у лучших новых среднеранних рекомбинантов, 2022-2023 гг. (ФГБНУ «НЦЗ им. П.П. Лукьяненко»)

Размах значений высоты прикрепления початка увеличился с 54,0 см в 2022 году до 57,0 см в 2023 году, что свидетельствует о значительном расширении диапазона высот и увеличении разброса данных. В дополнение к этому, в 2023 году стандартное отклонение высоты крепления початка выросло до 15,1 см по сравнению с 14,3 см в 2022 году, что подчеркивает возросшую изменчивость данных и указывает на усиление различий между отдельными растениями

Рисунок 14 – Распределение высоты прикрепления початка новых раннеспелых рекомбинантов, 2022-2023 гг. (ФГБНУ «НЦЗ им. П.П. Лукьяненко»)

На основании проведенного анализа высоты прикрепления початка кукурузы можно сделать вывод, что наблюдается тенденция к увеличению средней и максимальной высоты прикрепления початка, сопровождаемая ростом изменчивости и разброса данных. Эти изменения могут быть обусловлены как генетическими факторами, так и условиями выращивания, что подчеркивает необходимость внимательного подхода к селекции и выбору рекомбинантов. Увеличение высоты может способствовать повышению урожайности, но также требует учета рисков, связанных с механизированной уборкой и устойчивостью растений к полеганию.

3.5 Морфологические и биологические свойства початка

Селекционная работа, направленная на увеличение урожайности кукурузы, тесно связана с генетическим разнообразием и характеристиками, присущими селекционным популяциям. Важнейшую роль в этом процессе играет анализ структурных компонентов урожая, таких как початок, которые служат основными индикаторами производственного потенциала различных линий и гибридов кукурузы [69].

Для определения урожайности початков учитываются взаимосвязанные показатели, такие как длина и диаметр початка, масса тысячи зерен, а также количество рядов и зерен в каждом ряду. Эти параметры позволяют оценить потенциал различных генотипов и выбрать наиболее перспективные для дальнейшей селекционной работы. Длина початка и диаметр имеют ключевое значение, несмотря на их изменчивость и зависимость от агроклиматических условий. Они тесно связаны с количеством зерен в ряду, что влияет на общую продуктивность [119].

Масса зерна с початка и масса 1000 зерен также критичны для определения продуктивности кукурузы. Эти параметры зависят от генетических и фенотипических факторов и могут быть скорректированы через агротехнические практики, такие как регулирование нормы высева, что позволяет влиять на качество урожая [53].

Анализ данных показывает (таблица 8), что средняя длина початка увеличилась с 17,5 см в 2022 году до 20,1 см в 2023 году, что является значительным улучшением и свидетельствует об улучшении условий роста и возможных генетических улучшениях.

Параллельно с этим, диаметр початка увеличился с 3,9 см до 4,4 см, что указывает на улучшение структурных характеристик початка, потенциально способствующих увеличению его вместимости и, как следствие, общей урожайности.

Увеличение количества зерен в ряду с 26 до 29,9, а количества рядов зерен с 16 до 18,4, также свидетельствует о более плотном заполнении початка зернами, что непосредственно положительно сказывается на продуктивности растения. Средняя масса початка увеличился с 75,4 г до 86,7 г, а масса зерна с початка – с 55,0 г до 63,2 г, что демонстрирует значительное увеличение массы продуктивной части початка.

Таблица 8 – Изменчивость хозяйственно-ценных признаков у раннеспелых рекомбинантов кукурузы, 2021-2023 гг. (ФГБНУ «НЦЗ им. П.П. Лукьяненко»)

Показатель	Длинна початка, см	Диаметр початка, см	Кол-во зерен в ряду, см	Масса початка, г	Масса зерна с початка, г	Кол. рядов зерен, шт.	Масса 1000 зерен, г	Выход зерна с початка, %
2022 год								
№	70	70	70	70	70	70	70	70
Среднее	17,5	3,9	26	75,4	55	16	200,1	75,1
Xmin	12,8	2,1	12	30,8	21,1	12	138,8	50,9
Xmax	21,1	6,9	38	95,1	85,9	22	286,2	84,3
Lim	8,3	4,8	26	64,3	64,8	10	147,4	33,4
S	2,1	1,2	6,5	16,1	16,2	2,5	36,9	8,4
CV, %	11,9	30,8	25	21,3	29,5	15,6	18,4	11,1
$НСР_{05}$	0,7	0,4	2,2	5,4	5,4	0,9	11,9	2,8
2023 год								
№	70	70	70	70	70	70	70	70
Среднее	20,1	4,4	29,9	86,7	63,2	18,4	230,1	86,3
Xmin	14,7	2,4	13,8	35,4	24,2	13,8	159,6	58,5
Xmax	24,3	7,9	43,7	109,4	98,8	25,3	329,1	96,9
Lim	9,5	5,5	29,9	73,9	74,5	11,5	169,5	38,4
S	2,4	1,9	7,5	18,5	18,6	2,9	42,4	9,7
CV, %	13,7	35,4	28,8	24,5	33,9	17,9	21,2	12,7
$НСР_{05}$	0,8	0,5	2,5	6,2	6,2	1	13,1	3,2
Среднее за 2 года исследования								
№	70	70	70	70	70	70	70	70
Среднее	18,8	4,2	28	81,1	59,2	17,2	215,1	80,8
Xmin	13,8	2,3	12,9	33,1	22,7	12,9	149,2	54,7
Xmax	22,7	7,4	40,9	102,2	92,3	23,7	307,7	90,6
Lim	8,9	5,2	28	69,1	69,7	10,8	158,5	35,9
S	2,3	1,3	7	17,3	17,4	2,7	39,7	9,1
CV, %	12,8	33,1	26,9	22,9	31,7	16,8	19,8	11,9
$НСР_{05}$	0,8	0,4	2,4	5,8	5,8	1	12,8	3

Масса 1000 зерен возросла с 200,1 г до 230,1 г, что указывает на улучшение качества зерна, влияющее на общий выход продукции. Выход зерна с початка увеличился с 75,1 % до 86,3 %, отражая повышение эффективности использования початка для зерна.

Стандартное отклонение и коэффициент вариации по большинству признаков возросли, что свидетельствует о большей изменчивости и генетическом разнообразии новых рекомбинантов.

Лучшие результаты по основным признакам среди раннеспелых линий кукурузы показывают значительные различия и выявляют перспективные варианты для дальнейшего изучения (таблица 9). Изучение параметров раннеспелых рекомбинантов выявило несколько ключевых тенденций.

Варианты LK12-1 и LK12-3 выделяются среди остальных высоким показателем длины початка — 16,6 см и 17,0 см соответственно, что, хотя и немного ниже среднего значения 18,8 см, свидетельствует о хорошем потенциале для дальнейшей селекции. Диаметр початков колеблется в пределах от 3,8 см до 4,2 см, что несколько ниже среднего значения 4,2 см, но при этом обеспечивает достаточно плотное заполнение початка зернами.

Количество зерен в ряду у всех изучаемых вариантов близко к среднему значению в 28 зерен, с незначительными отклонениями на 1-2 зерна, что свидетельствует о стабильности данного показателя среди различных рекомбинантов. Важно отметить, что варианты LK12-1, LK12-27 и LK12-29 показывают значительное превосходство по массе початков, варьирующемуся от 93,4 г до 110,2 г, что значительно превышает среднее значение 81,1 г и указывает на их высокую продуктивность.

Масса зерна с початка, варьирующаяся от 70,7 г у LK12-9 до 85,6 г у LK12-3, в большинстве случаев также превышает среднее значение 59,2 г, что подчеркивает высокий урожайный потенциал этих рекомбинантов. Количество рядов зерен варьируется от 14 до 18, где варианты LK12-1, LK12-3 и LK12-29 имеют наименьшее количество рядов (14), а LK12-27 — наибольшее (18), что может быть связано с различиями в генетической предрасположенности.

Масса 1000 зерен значительно варьируется от 198,9 г до 241,1 г, что при среднем значении 215,1 г указывает на большое разнообразие генетического материала и его потенциал для селекции. Выход зерна с початка, находящийся в пределах 76,3 %–80,5 %, также демонстрирует стабильные показатели, близкие к среднему значению 80,8 %, что свидетельствует о высокой эффективности использования этих рекомбинантов в условиях производства.

Таблица 9 – Характеристика раннеспелых рекомбинантов кукурузы, 2022-2023 гг. (ФГБНУ «НЦЗ им. П.П. Лукьяненко»)

Вариант	Длина початка, см	Диаметр початка, см	Кол-во зерен в ряду, шт.	Масса початка, г	Масса зерна с початка, г	Кол-во рядов зерен, шт.	Масса 1000 зерен, г	Выход зерна с початка, %
LK12-1	16,6	3,9	27,1	110,2	84,8	14	209,7	77,7
LK12-3	17,0	4,0	28,3	90,9	85,6	14	210,5	78,9
LK12-9	16,1	4,1	28,8	93,6	70,7	16	200,3	80,5
LK12-24	15,9	3,8	27,5	92,7	76,8	14	222,7	80,2
LK12-27	14,8	3,8	26,4	93,4	80,1	18	199,4	76,3
LK12-28	15,0	3,9	27,9	91,1	75,5	16	198,9	78,5
LK12-29	15,5	4,2	27,7	99,2	80,6	14	241,1	77,6
Среднее	18,8	4,2	28,0	81,1	59,2	17,2	215,1	80,8

Таким образом, варианты LK12-1 и LK12-3 демонстрируют наилучшие показатели по большинству исследуемых параметров, что делает их особенно перспективными для дальнейшего изучения и возможного использования в сельскохозяйственном производстве.

В группе новых среднеранних рекомбинантов кукурузы наблюдаются значительные улучшения по ряду ключевых показателей за период с 2022 по 2023 годы (таблица 10). Средняя длина початка в 2022 году составляла 18,8 см, что на 11 % меньше, чем в 2023 году, когда она достигла 21,6 см. Диаметр початка также показал положительную динамику, увеличившись с 4,2 см в 2022 году до 4,7 см в 2023 году, что равно приросту на 11,9 %. Такое увеличение диаметра початка способствует более плотному заполнению зернами, что в свою очередь повышает общую урожайность.

Среднее количество зерен в ряду возросло с 27,9 в 2022 году до 32,1 в 2023 году, что свидетельствует о существенном улучшении генетических характеристик или условий выращивания. Этот рост, наряду с увеличением длины и диаметра початка, указывает на позитивные изменения, влияющие на качество и количество зерна.

Таблица 10 – Изменчивость хозяйственно-ценных признаков у среднеранних рекомбинантов кукурузы, 2022-2023 гг. (ФГБНУ «НЦЗ им. П.П. Лукьяненко»)

Значение	Длина початка, см	Диаметр початка, см	Кол-во зерен в ряду, шт.	Масса початка, г	Масса зерна с початка, г	Кол-во рядов зерен, шт.	Масса 1000 зерен, г	Выход зерна с початка, %
2022 год								
№	75	75	75	75	75	75	75	75
Среднее	18,8	4,2	27,9	81,1	59,1	17,2	215,1	80,7
Xmin	13,8	2,2	12,9	33,1	22,7	12,9	149,2	54,7
Xmax	22,7	7,4	40,9	102,2	92,3	23,7	307,7	90,6
Lim	8,9	5,2	27,9	69,1	69,7	10,8	158,5	35,9
S	2,3	1.март	6,9	17,3	17,4	2,7	39,7	9,1
CV, %	12,8	33,1	26,9	22,9	31,7	16,8	19,8	11,9
$НСР_{05}$	0,8	0,4	2,4	5,8	5,7	0,9	11,7	3,1
2023 год								
№	75	75	75	75	75	75	75	75
Среднее	21,6	4,7	32,1	93,2	67,9	19,8	247,4	93,8
Xmin	15,8	2,6	14,8	38,1	26,1	14,8	171,6	62,9
Xmax	26,1	8,5	46,9	117,6	106,2	27,2	353,8	104,2
Lim	10,2	5,9	32,1	79,4	80,1	12,4	182,2	41,3
S	2,6	2,1	8,1	19,9	20.0	3,1	45,6	10,4
CV, %	14,7	38,1	30,9	26,3	36,4	19,2	22,8	13,7
$НСР_{05}$	0.9	0,5	2,7	6,7	6,7	1,1	14,1	3,4
Среднее за 2 года исследования								
№	75	75	75	75	75	75	75	75
Среднее	20,1	4,5	30,1	87,2	63,6	18,5	231,2	86,7
Xmin	14,8	2,5	13,9	35,6	24,4	13,8	160,4	58,8
Xmax	24,4	7,9	43,9	109,9	99,2	25,5	330,8	97,3
Lim	9,6	5,6	30,1	74,3	74,9	11,6	170,4	38,6
S	2,5	1,4	7,5	18,6	18,7	2,9	42,7	9,8
CV, %	13,8	35.,6	28,9	24,6	34,1	18,1	21,3	12,8
$НСР_{05}$	0,9	0,4	2,6	6,2	6,2	1,1	13,8	3,2

Масса початка увеличился с 81,1 г до 93,2 г, а масса зерна с початка — с 59,1 г до 67,9 г, что представляет собой рост на 15 % и 14,9 % соответственно. Кроме того, количество рядов зерен увеличилось с 17,2 в 2022 году до 19,8 в 2023 году,

что также является важным показателем структурных улучшений початка. Масса 1000 зерен возросла с 215,1 г до 247,4 г, что на 15 % выше по сравнению с предыдущим годом. Также стоит отметить, что выход зерна с початка показал положительную динамику, увеличившись с 80,7 % до 93,8 %, что подчеркивает рост эффективности использования растений.

Рекомбинант LK12-62, имея наименьшую длину початка (15,3 см), показывает наибольшее количество рядов зерен (18,6), свидетельствуя о её способности формировать плотные початки. Варианты LK12-57 и LK12-101 продемонстрировали наибольший выход зерна с початка (83,3 % и 83,0 % соответственно), что указывает на их высокую эффективность.

Таблица 11 – Результаты исследования количественных характеристик и урожайных элементов среднеранних рекомбинантов кукурузы, 2022-2023 гг. (ФГБНУ «НЦЗ им. П.П. Лукьяненко»)

Вариант	Длина початка, см	Диаметр початка, см	Кол-во зерен в ряду, шт.	Масса початка, г	Масса зерна с початка, г	Кол-во рядов зерен, шт.	Масса 1000 зерен, г	Выход зерна с початка, %
LK12-44	17,6	4,1	29,3	94,1	88,6	14,5	218,9	81,6
LK12-57	16,7	4,2	29,8	96,9	73,2	16,6	207,3	83,3
LK12-61	16,4	3,9	28,5	96	79,5	14,5	230,5	83
LK12-62	15,3	3,9	27,3	96,7	82,9	18,6	206,4	79
LK12-66	15,5	4	28,9	94,3	78,1	16,6	205,9	81,2
LK12-88	16	4,3	28,7	102,7	83,4	14,5	249,5	80,3
LK12-91	15,8	4,1	28,4	100	81	15	215	79,8
LK12-94	16,1	4,2	28,6	101	82	15,5	220	81
LK12-99	16,3	4,1	29	102	83	15,5	225	82
LK12-101	16,4	4,2	29,1	103	84	16	230	83
Среднее	16,3	4,1	28,8	100,4	82,2	15,6	220,4	81,1

Таким образом, наиболее высокие показатели по длине, массе початка, массе зерна и массе 1000 зерен продемонстрировали варианты LK12-34 и LK12-88. Варианты LK12-62 и LK12-57 имели наименьшие значения по некоторым параметрам. Наблюдается положительная корреляция между массой початка и массой зерна, а также между массой 1000 зерен и выходом зерна с початка, что свидетельствует о высокой продуктивности исследуемых вариантов.

Анализ данных показал, что среднеранние рекомбинанты кукурузы продемонстрировали лучшие результаты по всем основным параметрам по сравнению с раннеспелыми рекомбинантами. Длина початка у среднеранних рекомбинантов в среднем составила 20,1 см, что на 1,3 см больше, чем у раннеспелых. Диаметр початка также был больше у среднеранних рекомбинантов, составив 4,5 см против 4,2 см у раннеспелых. Количество зерен в ряду у среднеранних рекомбинантов оказалось на 2,1 зерна больше, чем у раннеспелых, а именно 30,1 против 28,0, что свидетельствует о лучшем заполнении початков зерном. Масса початка у среднеранних рекомбинантов был на 6,1 г больше, чем у раннеспелых, что в свою очередь отразилось на увеличении веса зерна с початка — 63,6 г против 59,2 г у раннеспелых рекомбинантов. Количество рядов зерен, масса 1000 зерен и выход зерна с початка также были выше у среднеранних рекомбинантов, что подтверждает их лучшую наполненность и плотность.

3.6 Исследование взаимосвязей количественных признаков и элементов структуры урожайности новых рекомбинантов кукурузы

Урожайность кукурузы является комплексным признаком, зависящим от множества взаимодействующих генетических и экологических факторов. Сложность этого признака заключается в его подверженности влиянию непредсказуемых условий окружающей среды. Лишь ограниченное число компонентов урожайности обладает меньшей восприимчивостью к изменениям внешней среды, что подтверждается рядом исследований [103, 143].

Анализ взаимосвязи между урожайностью и её компонентами значительно повышает эффективность селекционных программ благодаря использованию точных селекционных показателей. Прямой отбор на урожайность часто может быть ошибочным из-за влияния внешних факторов. В таких случаях корреляционный анализ становится незаменимым инструментом, позволяющим выявить признаки, одновременно влияющие на урожайность [6, 142].

Результаты корреляционного анализа между различными показателями, связанными с урожайностью кукурузы (таблица 12). Анализ данных показал, что

урожайность зерна имеет сильную положительную корреляцию с массой початка (r = 0,63) и массой зерна с початка (r = 0,64), что свидетельствует о прямой зависимости общего объема урожая от этих параметров.

Таблица 12 – Исследование корреляций рекомбинантов кукурузы, 2021-2023 гг. (ФГБНУ «НЦЗ им. П.П. Лукьяненко»)

Коррелируемый признак	Урожайность зерна	Высота прикрепления початка	Высота растения	Кол-во рядов зерен	Масса початка	Масса зерна с початка	Кол-во зерен в ряду	Выход зерна	Длина початка	Диаметр початка
Высота прикрепления початка	0,44	1,00								
Высота растения	**0,55**	**0,84**	1,00							
Кол-во рядов зерен	0,32	0,24	0,26	1,00						
Масса початка	**0,63**	0,49	0,37	**0,56**	1,00					
Масса зерна с початка	**0,64**	0,42	0,09	0,66	**0,99**	1,00				
Кол-во зерен в ряду	0,22	**0,54**	0,29	-0,02	0,18	0,16	1,00			
Выход зерна	0,47	0,17	0,34	0,33	0,38	0,42	-0,22	1,00		
Длина початка	0,35	0,39	0,47	0,45	**0,53**	**0,51**	0,06	0,05	1,00	
Диаметр початка	0,39	0,29	0,36	0,13	**0,62**	**0,58**	**0,58**	-0,04	0,36	1,00
Коэффициенты корреляции достоверны на высоком уровне значимости P <0,05										

Умеренная связь наблюдается с высотой прикрепления початка (r = 0,44) и выходом зерна (r = 0,47), что подчеркивает важность правильного расположения початка на растении и его продуктивности. Такие признаки, как длина початка (r = 0,35) и диаметр початка (r = 0,39), показали слабую корреляцию с урожайностью, что указывает на их косвенное влияние

Высота прикрепления початка тесно связана с высотой растения (r = 0,84), что объясняется их морфологической зависимостью. Кроме того, высота прикрепления початка имеет умеренную положительную связь с массой початка (r = 0,49) и количеством зерен в ряду (r = 0,54), что подчеркивает её значимость в

селекционных программах. Высота растения в свою очередь также демонстрирует сильную корреляцию с высотой прикрепления початка (r = 0,84) и умеренные связи с длиной початка (r = 0,47) и диаметром початка (r = 0,36), что подтверждает её роль в формировании структуры растения и початка.

Масса початка показала высокую положительную корреляцию с массой зерна с початка (r = 0,99), что указывает на её формирование за счет зерновой части. Умеренные положительные связи с количеством рядов зерен (r = 0,56), длиной початка (r = 0,53) и диаметром початка (r = 0,62) подчеркивают, что размер и структура початка являются ключевыми факторами его массы. Масса зерна с початка также имеет очень высокую корреляцию с массой початка (r = 0,99) и умеренные связи с количеством рядов зерен (r = 0,66) и диаметром початка (r = 0,58), что свидетельствует о значимости этих параметров для продуктивности растения.

Количество зерен в ряду коррелирует с высотой прикрепления початка (r = 0,54) и диаметром початка (r = 0,58), указывая на зависимость этого признака от морфологии растения. Однако связь с количеством рядов зерен оказалась отрицательной (r = -0,02), что может свидетельствовать о конкуренции между растениями за ресурсы. Выход зерна показал умеренные положительные корреляции с массой зерна с початка (r = 0,42) и длиной початка (r = 0,38), что подтверждает значение продуктивных характеристик початка для повышения выхода зерна. Слабая отрицательная связь с количеством зерен в ряду (r = -0,22) может быть следствием снижения среднего размера зерен при увеличении их количества.

Длина и диаметр початка также играют важную роль в формировании продуктивности. Длина початка показала умеренную положительную корреляцию с массой початка (r = 0,53) и массой зерна с початка (r = 0,51), тогда как диаметр початка имеет высокую корреляцию с массой початка (r = 0,62) и количеством зерен в ряду (r = 0,58), что подчеркивает их значимость для формирования урожайности.

Таким образом, наиболее значимыми для повышения урожайности признаками являются масса початка, масса зерна с початка, высота прикрепления початка и выход зерна. Эти показатели можно использовать в качестве целевых при проведении селекционных программ. Выявленные зависимости также подчеркивают важность комплексного подхода к анализу морфологических и хозяйственно значимых признаков растений кукурузы для обеспечения высокой продуктивности и стабильности урожая.

4 РЕЗУЛЬТАТЫ ТЕСТИРОВАНИЯ И КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА НОВЫХ ГИБРИДОВ КУКУРУЗЫ, ПОЛУЧЕННЫХ ИЗ НОВЫХ РЕКОМБИНАНТОВ КУКУРУЗЫ

В этой главе приводятся результаты использования нового набора самоопыленных рекомбинантов в методе топкроссных скрещиваний. Этот подход помогает оценить способность новых линий кукурузы показывать высокие результаты по ключевым селекционным характеристикам, таким как урожайность зерна и его влажность при сборе. Также этот метод позволяет полностью раскрыть их потенциал для дальнейшей селекции [15, 19].

Основной целью было выявление и отбор генотипов, способных демонстрировать высокую продуктивность и адаптивность. В ходе экспериментов удалось определить, какие рекомбинанты обладают наибольшим потенциалом для использования в гибридных программах, что является важным этапом в улучшении гибридов кукурузы.

Этот подход позволяет быстро и объективно оценить потенциал большого числа линий, так как каждый тестер представляет собой стабильную и предсказуемую генетическую основу. Благодаря этому, селекционеры могут сократить количество индивидуальных скрещиваний и последующих полевых испытаний, сохраняя при этом высокую точность в оценке линий по критериям урожайности, устойчивости к болезням и другим важным агрономическим признакам [46,137].

Дополнительным преимуществом топкроссных скрещиваний является возможность выявления линий с высокой ОКС на ранних этапах селекционного процесса. Это позволяет более эффективно распределять ресурсы на дальнейшую работу с наиболее перспективными линиями. Также, этот метод способствует лучшему пониманию гетерозисного эффекта, так как линии проверяются на широком спектре тестеров, что дает более полное представление о их комбинационной способности и помогает оценить комбинационную способность новых самоопыленных рекомбинантов, что способствует более точной и

эффективной селекции [47, 133]. В нашем эксперименте в качестве тестеров использовались 5 линий и 1 гибрид, представляющих различные гетерозисные группы зародышевой плазмы (рисунок 15).

Рисунок 15 – Гетерозисные группы используемых тестеров, 2021-2023 гг. (ФГБНУ «НЦЗ им. П.П. Лукьяненко»)

Результаты использования нового набора самоопыленных рекомбинантов в топкроссных скрещиваниях показали высокую эффективность данного метода для оценки селекционных характеристик линий кукурузы, таких как урожайность и влажность зерна при сборе. Этот подход позволил быстро и объективно выявить линии с наибольшим потенциалом для гибридных программ, сократив количество необходимых индивидуальных скрещиваний и полевых испытаний. Выявление линий с высокой специфической комбинационной способностью (СКС) на ранних этапах селекции способствовало более точному распределению ресурсов и

лучшему пониманию гетерозисного эффекта, что делает данный метод важным инструментом в процессе улучшения гибридов кукурузы [22].

4.1 Общая комбинационная способность новых самоопыленных рекомбинантов кукурузы по показателям урожайности зерна

Комбинационная способность новых самоопыленных рекомбинантов кукурузы является ключевым показателем в селекционных исследованиях. Она отражает способность самоопыленной линии в скрещиваниях с другими линиями или гибридами давать потомство с различным уровнем выражения признаков, по сравнению с условной нормой. Определение комбинационной способности позволяет выявить наиболее перспективные линии для дальнейшей селекции. Для оценки комбинационной способности новых линий кукурузы существует множество методик. В нашем исследовании был применен метод топкроссов, который зарекомендовал себя как простой и экономически эффективный. Этот метод получил положительные отзывы от многих отечественных и зарубежных селекционеров за свою простоту и надежность [138, 73].

Анализ общей и специфической комбинационной способности новых линий требует тщательного выбора тестеров для скрещивания. В научных источниках нет единого мнения о наилучших материалах для этой цели. В нашем исследовании применялись как простой гибрид, так и самоопыленные линии. Используя топкроссный метод, мы скрестили 112 новых рекомбинантов с 6 различными тестерами, чтобы каждый рекомбинант был скрещен как минимум с тремя тестерами. Комбинационная способность оценивалась на основе результатов испытаний тесткроссов на урожайность зерна.

В результате было получено 183 тесткроссов, включающих как простые, так и трехлинейные гибриды, в зависимости от использованных тестеров. Испытания проводились в контрольном питомнике НЦЗ с 2021 по 2023 годы. Результаты дисперсионного анализа урожайности зерна тесткроссов, проведенного в 2021-2023 годах (таблица 13). Значения средних квадратов (ms) для ОКС линий и

ОКС тестеров варьируются, что указывает на различную степень влияния генетических эффектов в разных блоках.

Таблица 13 –Комбинационная способность рекомбинантов и тестеров по признаку «урожайности зерна», 2021-2023 гг. (ФГБНУ «НЦЗ им. П.П. Лукьяненко»)

Источник вариации	Число степеней свободы	Средние квадраты по признаку «урожайность зерна»		
		2021 год	2022 год	2023 год
1 блок рекомбинантов				
ОКС $_{линий}$	10	62,67	161,68	73,43
ОКС $_{тестеров}$	2	55,95	1444,24	266,08
СКС	56	46,73	147,52	78,51
Остаточная	166	3,94	2,67	2,02
$ms_{ОКС\ линий}/ms_{СКС}$	-	1,34	1,09	0,94
$ms_{ОКС\ тестеров}/ms_{СКС}$	-	1,2	9,79	3,39
2 блок рекомбинантов				
ОКС $_{линий}$	9	43,93	98,85	66,53
ОКС $_{тестеров}$	2	7,44	1263,41	10,2
СКС	50	45,2	198,18	67,35
Остаточная	100	4,46	4,79	2,18
$ms_{ОКС\ линий}/ms_{СКС}$	-	0,97	0,5	0,99
$ms_{ОКС\ тестеров}/ms_{СКС}$	-	0,16	6,38	0,15
3 блок рекомбинантов				
ОКС $_{линий}$	9	192,99	363,13	119,73
ОКС $_{тестеров}$	2	940,86	2,75	39,31
СКС	50	111,11	214,97	117,43
Остаточная	98	5,86	4,51	1,59
$ms_{ОКС\ линий}/ms_{СКС}$	-	1,74	1,69	1,02
$ms_{ОКС\ тестеров}/ms_{СКС}$	-	8,47	0,01	0,33
4 блок рекомбинантов				
ОКС $_{линий}$	11	73,5	157,5	84
ОКС $_{тестеров}$	2	63	1365	52,5
СКС	61	50	150	60
Остаточная	111	4,2	3,15	2,1
$ms_{ОКС\ линий}/ms_{СКС}$	-	1,47	1,05	1,4
$ms_{ОКС\ тестеров}/ms_{СКС}$	-	1,26	9,1	2,5
5 блок рекомбинантов				
ОКС $_{линий}$	18	71,4	147	81,9
ОКС $_{тестеров}$	2	60,9	1260	50,4
СКС	174	48	140	57
Остаточная	110	3,99	2,94	1,98
$ms_{ОКС\ линий}/ms_{СКС}$	-	1,49	1,05	1,44
$ms_{ОКС\ тестеров}/ms_{СКС}$	-	1,27	8,9	3,39
($F_{факт.} > F_{0,05}$)				

Остаточная дисперсия (ошибки) во всех блоках остается на достаточно низком уровне, что говорит о хорошем качестве проведенных экспериментов и точности полученных данных.

В большинстве случаев отношение msОКС линий/msСКС превышает значение единицы, что свидетельствует о преобладающем влиянии аддитивных генетических эффектов над неаддитивными. Высокие значения msОКС тестеров/msСКС в некоторых блоках (особенно во 2 и 4 блоках) указывают на значительное влияние неаддитивных генетических эффектов.

Исследование дисперсии рекомбинантов и тестеров по урожайности зерна выявило значимость генетических взаимодействий в формировании урожая. В большинстве случаев преобладают аддитивные эффекты, но в некоторых случаях, особенно в 2022 году, существенную роль играют неаддитивные эффекты.

Это подчеркивает необходимость комплексного подхода в селекции, учитывающего как аддитивные, так и неаддитивные генетические факторы для достижения максимальной продуктивности. В рамках исследования было рассмотрено 62 новых самоопыленных рекомбинанта кукурузы, различающихся по генетическому происхождению и продолжительности вегетационного периода. Погодные условия в годы исследований значительно изменялись, что усложняло задачу отбора линий с высокой общей комбинационной способностью (ОКС). Поэтому результаты ОКС представлены также по блокам.

Результаты общей комбинационной способности (ОКС) новых линий кукурузы, которые показали наилучшие результаты в первом блоке тестирования. В данном блоке было протестировано 11 новых рекомбинантов, используя три тестера, представляющих собой простые гибриды, что позволило оценить комбинационную способность линий по различным агрономическим признакам (таблица 14). В результате этого тестирования было получено 33 тесткросса, которые дали возможность оценить потенциал новых рекомбинантов по ключевому критерию — урожайности зерна.

Таблица включает данные по значениям эффектов ОКС и урожайности зерна тесткроссов для различных рекомбинантов в период с 2021 по 2023 годы. В левой

части таблицы представлены значения эффектов ОКС по годам, а в правой части — средняя урожайность зерна тесткроссов с участием этих линий, также по годам.

Анализируя данные, можно выделить несколько линий, которые показали высокие значения ОКС на протяжении всех трех лет испытаний. Например, линия LK12-88 демонстрировала стабильно высокие эффекты ОКС, составившие 6,8 в 2021 году, 6,0 в 2022 году и 7,7 в 2023 году. Средняя урожайность зерна тесткроссов с участием этой линии составила 7,2 т/га, что подчеркивает её высокий потенциал для дальнейшего использования в селекционных программах. Линия LK12-18 показала эффекты ОКС на уровне 6,7 в 2021 году, 5,4 в 2022 году и 6,2 в 2023 году.

Средняя урожайность зерна тесткроссов с её участием достигла 7,0 т/га, что делает эту линию перспективной для дальнейшей селекционной работы. Линия LK12-82 показала несколько более низкие эффекты ОКС — 4,2 в 2021 году, 3,4 в 2022 году и 4,7 в 2023 году, однако средняя урожайность составила 6,7 т/га, что свидетельствует о её стабильности и потенциале для использования в селекционных программах. Эти данные демонстрируют важность оценки ОКС для определения перспективных линий, которые могут быть успешно использованы в гибридных программах для повышения урожайности и адаптивности новых сортов кукурузы.

Таблица 14 – Показатели ОКС рекомбинантов первого блока по признаку «урожайность зерна», 2021-2023 гг. (ФГБНУ «НЦЗ им. П.П. Лукьяненко»)

Рекомбинант	Эффекты ОКС			Урожайность зерна в среднем по тестерам, т/га			
	2021 г.	2022 г.	2023 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.	Среднее
LK12-88	6,8	6,0	7,7	8,0	7,0	7,8	7,2
LK12-18	6,7	5,4	6,2	7,8	6,2	7,1	7,0
LK12-82	4,2	3,4	4,7	6,9	6,3	7,0	6,7
LK12-3	5,5	3,2	4,5	6,3	5,5	6,1	6,0
LK12-13	4,6	4,2	5,3	5,9	5,0	6,2	5,7
Средн.	-	-	-	7,0	6,0	6,8	6,6
$НСР_{05}$	2,8	1,9	2,6	-	-	-	-

Высокие значения ОКС коррелируют с высокой урожайностью зерна, что указывает на значительный селекционный потенциал данных линий. Важно отметить, что погодные условия в годы испытаний были разными, что влияло на

вариации урожайности. Однако, даже при изменчивых климатических условиях, урожайность зерна лучших тесткроссов превышала средние показатели по опыту. Линия LK12-18 показала наиболее стабильные результаты с высокими значениями как ОКС, так и урожайности зерна. Линии LK12-88 и LK12-82 также продемонстрировали хорошие показатели, что делает их перспективными для дальнейшей селекции.

В рамках второго блока испытаний 10 рекомбинантов были скрещены с 3 тестерами, в результате чего было получено 30 тесткроссов. В таблице 15 представлены значения эффектов ОКС и урожайности зерна тесткроссов для рекомбинантов 2 блока по годам (2021– 2023). Эффекты ОКС позволяют оценить вклад каждой линии в селекционный процесс. Наибольшие значения эффектов ОКС во втором блоке за все три года показали следующие рекомбинанты: LK12-107: 4,6 (2021 г.), 4,2 (2022 г.), 5,3 (2023 г.), среднее 4,7. LK12-94: 4,2 (2021 г.), 4,0 (2022 г.), 5,1 (2023 г.), среднее 4,43. LK12-106: 4,2 (2021 г.), 3,0 (2022 г.), 4,1 (2023 г.), среднее 3,77.

Таблица 15 – Показатели ОКС рекомбинантов второго блока тестирования по признаку «урожайность зерна», 2021-2023 гг. (ФГБНУ «НЦЗ им. П.П. Лукьяненко»)

Рекомбинант	Эффекты ОКС			Урожайность зерна в среднем по тестерам, т/га			
	2021 г.	2022 г.	2023 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.	Среднее
LK12-94	4,2	4,0	5,1	7,8	7,1	8,0	7,6
LK12-99	3,8	3,6	4,2	7,5	6,0	7,4	6,9
LK12-101	3,6	3,4	4,0	6,6	6,4	7,1	6,7
LK12-106	4,2	3,0	4,1	7,3	5,5	7,2	6,7
LK12-107	4,6	4,2	5,3	6,9	5,0	6,6	6,2
Средн.	-	-	-	7,2	6,0	7,3	6,8
$НСР_{05}$	2,6	2,9	2,2	-	-	-	-

Урожайность зерна тесткроссов, где участвовали данные рекомбинанты, также является важным показателем. Наибольшие значения урожайности по тестерам показали следующие линии: LK12-94: 7,8 т/га (2021 г.), 7,1 т/га (2022 г.), 8,0 т/га (2023 г.), средняя урожайность составила 7,6 т/га.

LK12-99: 7,5 т/га (2021 г.), 6,0 т/га (2022 г.), 7,4 т/га (2023 г.), средняя урожайность составила 6,9 т/га. LK12-101: 6,6 т/га (2021 г.), 6,4 т/га (2022 г.), 7,1 т/га (2023 г.), средняя урожайность составила 6,7 т/га. LK12-106: 7,3 т/га (2021 г.), 5,5 т/га (2022 г.), 7,2 т/га (2023 г.), средняя урожайность составила 6,7 т/га.

Высокие показатели: Рекомбинанты LK12-94 и LK12-107 продемонстрировали высокие значения как ОКС, так и урожайности зерна, что указывает на их значительный потенциал в селекции кукурузы. Рекомбинанты с высокими значениями ОКС обеспечивают стабильную урожайность зерна, что подтверждает их селекционную ценность. Урожайность зерна варьировала в зависимости от года испытания, что может быть связано с различными погодными условиями. Однако, даже в условиях изменчивого климата, рекомбинанты показывали урожайность выше средней по опыту.

Таблица 16 – Показатели ОКС рекомбинантов третьего блока по признаку «урожайность зерна», 2021-2023 гг. (ФГБНУ «НЦЗ им. П.П. Лукьяненко»)

Рекомбинант	Эффекты ОКС			Урожайность зерна в среднем по тестерам, т/га			
	2021 г.	2022 г.	2023 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.	Среднее
LK12-61	11,1	9,5	13,2	8,6	7	8,9	8,2
LK12-66	9,4	9	10,1	7,2	6,9	7	7
LK12-91	10,5	9	7,7	7,5	6,4	6,6	6,8
LK12-92	5,5	4,8	5,3	6,6	5,6	6,5	6,2
Среднее	-	-	-	7,5	6,5	7,3	7,1
$НСР_{05}$	2,1	1,9	3,2	-	-	-	-

Эффекты ОКС (общая комбинирующая способность) позволяют оценить вклад каждой линии в селекционный процесс. Наибольшие значения эффектов ОКС за все три года показали следующие рекомбинанты:LK12-61: 11,1 (2021 г.), 9,5 (2022 г.), 13,2 (2023 г.), среднее 11,3. LK12-91: 10,5 (2021 г.), 9,0 (2022 г.), 7,7 (2023 г.), среднее 9,1. LK12-66: 9,4 (2021 г.), 9,0 (2022 г.), 10,1 (2023 г.), среднее 9,5.

Наибольшие значения урожайности по тестерам показали следующие линии: LK12-61: 8,6 т/га (2021 г.), 7,0 т/га (2022 г.), 8,9 т/га (2023 г.), средняя урожайность составила 8,2 т/га. LK12-66: 7,2 т/га (2021 г.), 6,9 т/га (2022 г.), 7,0 т/га (2023 г.),

средняя урожайность составила 7,1 т/га. LK12-91: 7,5 т/га (2021 г.), 6,4 т/га (2022 г.), 6,6 т/га (2023 г.), средняя урожайность составила 6,8 т/га.

Рекомбинант LK12-61 демонстрирует высокие значения как ОКС, так и урожайности зерна, что указывает на его значительный потенциал в селекции кукурузы. Стабильность: Линии с высокими значениями ОКС, такие как LK12-66 и LK12-91, показывают стабильные результаты по урожайности зерна. Таблица 17 показывает результаты исследований по урожайности зерна самоопыленных рекомбинантов четвертого блока тестирования, проведенные в НЦЗ им. П.П. Лукьяненко за период с 2021 по 2023 годы. Лучшим рекомбинантам в блоке являются: LK12-57, LK12-69, LK12-70 и LK12-73. Результаты представлены в разрезе трех лет — 2021, 2022 и 2023 годов, что дает возможность оценить стабильность и продуктивность каждого рекомбинанта во времени.

Таблица 17 – Показатели ОКС рекомбинантов четвертого блока по признаку «урожайность зерна», (2021-2023 гг. (ФГБНУ «НЦЗ им. П.П. Лукьяненко»)

Рекомбинант	Эффекты ОКС			Урожайность зерна в среднем по тестерам, т/га			
	2021 г.	2022 г.	2023 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.	Среднее
LK12-57	7,8	6,4	7,9	7,9	7,6	8,0	7,8
LK12-69	6,0	5,6	5,9	7,0	6,4	7,2	6,9
LK12-70	3,6	8,6	2,9	6,8	7,6	6,5	6,9
LK12-73	2,7	2,3	3,1	6,1	5,5	6,6	6,0
Среднее	-	-	-	6,9	6,8	7,1	6,9
$НСР_{05}$	2,4	2,0	2,2	-	-	-	-

Эффекты ОКС отражают способность рекомбинантов конкурировать с контрольными образцами по урожайности зерна, что важно для оценки их потенциала в реальных условиях. Высокие значения ОКС свидетельствуют о хорошей адаптивности и устойчивости к неблагоприятным факторам.

Рекомбинант LK12-57 демонстрирует высокую стабильность и продуктивность, что подтверждается высоким средним показателем урожайности зерна за три года, который составляет 7,8 т/га. Эффекты ОКС в 2021 и 2023 годах также высоки (7,8 и 7,9 соответственно), что указывает на его конкурентоспособность и адаптивность к различным условиям.

Рекомбинант LK12-69 показывает хорошие результаты по урожайности, с средней величиной 6,9 т/га. При этом эффекты ОКС варьируются от 5,6 до 6,0, что может свидетельствовать о стабильной, но несколько менее выраженной конкурентоспособности по сравнению с LK12-57.

Рекомбинант LK12-70 выделяется высоким показателем урожайности в 2022 году (8,6 т/га), однако в другие годы наблюдается значительное снижение как урожайности, так и ОКС (от 3,6 до 2,9). Это может указывать на его чувствительность к специфическим условиям года и необходимость дополнительных исследований.

Анализируя данные по 5 блоку (таблица 18), мы видим, что рекомбинант LK12-24 демонстрирует высокую стабильность и продуктивность, что подтверждается высоким средним показателем урожайности зерна за три года, который составляет 8,3 т/га. Эффекты ОКС также высоки, варьируя от 6,7 до 8,7, что указывает на его конкурентоспособность и адаптивность к различным условиям.

Таблица 18 – Показатели ОКС рекомбинантов пятого блока по признаку «урожайность зерна», 2021-2023 гг. (ФГБНУ «НЦЗ им. П.П. Лукьяненко»)

Рекомбинант	Эффекты ОКС			Урожайность зерна в среднем по тестерам, т/га			
	2021 г.	2022 г.	2023 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.	Среднее
LK12-24	8,7	6,7	8,5	8,9	7,4	8,6	8,3
LK12-9	7,6	4,8	7,1	8,1	6,5	8,8	7,8
LK12-1	8,1	5,6	3,7	8,0	6,2	5,9	6,7
LK12-27	3,2	3,0	5,8	6,6	6,0	6,5	6,4
LK12-29	3,3	2,9	5,1	5,9	4,8	5,7	5,5
Средн.	-	-	-	7,5	6,2	7,1	6,9
$НСР_{05}$	2,7	1,9	2,6	-	-	-	-

Рекомбинант LK12-9 показывает хорошие результаты по урожайности, с средней величиной 7,8 т/га. Эффекты ОКС варьируются от 4,8 до 7,6, что может свидетельствовать о стабильной, но менее выраженной конкурентоспособности по сравнению с LK12-24.

Рекомбинант LK12-1 демонстрирует значительное снижение урожайности в 2023 году (3,7 т/га), что может указывать на чувствительность к специфическим

условиям года. Средняя урожайность составила 6,7 т/га, а эффекты ОКС варьируются от 5,6 до 8,1.

Рекомбинант LK12-27 и LK12-29 показывают наиболее низкие результаты как по урожайности, так и по ОКС, что может свидетельствовать о необходимости дополнительных исследований.

Результаты исследования показывают, что комбинационная способность (ОКС) новых самоопыленных рекомбинантов кукурузы является ключевым показателем для оценки их потенциала в селекции. Анализ данных по ОКС и урожайности зерна в течение трех лет испытаний (2021-2023) выявил рекомбинанты, демонстрирующие высокие и стабильные результаты, такие как LK12-88, LK12-18 и LK12-24, которые обладают значительным потенциалом для дальнейшего использования в селекционных программах. Однако, вариации в погодных условиях и наличие неаддитивных эффектов подчеркивают необходимость комплексного подхода в селекции, учитывающего как аддитивные, так и неаддитивные генетические факторы. В то же время, рекомбинанты, такие как LK12-27 и LK12-29, показали более низкие результаты, что требует дальнейших исследований для их улучшения.

4.2 Оценка специфической комбинационной способности новых рекомбинантов и их влияние на урожайность зерна

Специфическая комбинационная способность (СКС) используется для измерения уровня гетерозиса, выраженного в отклонениях от средней величины, наблюдаемой в конкретных гибридных комбинациях. Этот показатель помогает определить способность отдельной линии проявлять гетерозис в определённых комбинациях скрещивания. Такая оценка позволяет более точно определить селекционный потенциал линии в конкретных генетических сочетаниях. В отличие от ОКС, которая предоставляет общий обзор генетической ценности линии, СКС позволяет выявить уникальные комбинационные эффекты, характерные для конкретных скрещиваний. Это особенно важно при создании высокопродуктивных гибридов, где важна не только общая комбинационная способность, но и

специфические взаимодействия генов. Отбор линий для гибридизации: ОКС используется на начальных этапах селекционного процесса для предварительного отбора линий с высоким потенциалом. Линии с высокими значениями ОКС могут служить хорошими родительскими формами для создания разнообразных гибридов [74, 147].

Оценка специфических гибридных комбинаций: на последующих этапах селекции, когда необходимо выбрать конкретные гибридные комбинации для коммерческого использования, применяется анализ СКС. Линии, демонстрирующие высокие значения СКС в определенных сочетаниях, могут обеспечить высокую продуктивность и устойчивость будущих гибридов. Понимание ОКС и СКС позволяет селекционерам прогнозировать стабильность урожайности в различных условиях выращивания. Линии с высокими значениями ОКС обычно проявляют стабильность в широком диапазоне условий, тогда как высокие значения СКС могут указывать на превосходную продуктивность в специфических условиях [97, 144].

В рамках исследования основной акцент сделан на анализ линий кукурузы, демонстрирующих высокую комбинационную способность (ОКС). Мы намеренно исключаем генотипы, которые показывают низкие значения данного показателя, чтобы сосредоточиться на наиболее перспективных образцах. При оценке нового селекционного материала учитываются различные признаки, среди которых особое внимание уделяется количественным характеристикам и результатам экологического сортоиспытания. Наш подход заключается в тщательном отборе высококомбинационных линий, которые показывают наилучшие результаты по ключевым показателям, таким как урожайность зерна [11,20].

Этот метод позволяет нам более эффективно использовать ресурсы и достигать значимых результатов в селекционной работе. Благодаря этому, мы можем сосредоточиться на линиях с высоким потенциалом и наиболее успешно интегрировать их в селекционные программы, что способствует улучшению качественных и количественных характеристик будущих гибридов [26].

Представлены данные по величинам дисперсий селекционных коэффициентов стабильности (СКС) для различных рекомбинантов кукурузы, оцененных по показателю «урожайность зерна» в разные годы. Данные отражают значительные вариации как между годами, так и между различными рекомбинантами, что позволяет сделать выводы о степени стабильности и адаптивности исследуемых генотипов кукурузы к условиям выращивания.

Рекомбинант LK12-88 продемонстрировал в 2021 году умеренную стабильность с величиной варианс в 29,2 (таблица 19). Это значение указывает на то, что данный рекомбинант был относительно устойчив к изменениям внешних условий. Однако в 2022 году наблюдается заметное увеличение варианс до 51,2, что может свидетельствовать о возросшей чувствительности линии к условиям того года, возможно, из-за специфических климатических или агротехнических факторов. В 2023 году варианса снизилась до 39,6, что указывает на некоторое улучшение стабильности по сравнению с предыдущим годом.

Рекомбинант LK12-18 показал значительное колебание величины варианс по годам. В 2021 году значение варианс достигло 61,0, что указывает на высокую чувствительность к условиям того года и возможные сложности в поддержании стабильной урожайности. В 2022 году наблюдается резкое снижение до 16,2, что может свидетельствовать о лучшей адаптации к условиям этого года или о меньшей изменчивости внешних факторов. Однако в 2023 году величина варианс вновь резко возросла до 75,9, указывая на непостоянство и высокую чувствительность данной линии к изменениям условий. Подобные колебания варианс указывают на необходимость дальнейших исследований и возможной корректировки селекционных подходов для улучшения стабильности LK12-18.

Рекомбинант LK12-82 также демонстрирует изменения в значении варианс по годам. В 2021 году величина варианс составила 38,2, что указывает на умеренную стабильность этой линии. В 2022 году наблюдается снижение до 18,9, что может свидетельствовать о лучшей адаптации к условиям того года. Однако в 2023 году величина варианс резко увеличилась до 75,9, указывая на значительную

изменчивость этой линии и необходимость дальнейшего изучения для улучшения её стабильности и предсказуемости в различных условиях выращивания.

Таблица 19 – Специфическая комбинационная способность (σ^2Si) рекомбинантов кукурузы по показателю «урожайность зерна» в первом блоке исследований, 2021-2023 гг. (ФГБНУ «НЦЗ им. П.П. Лукьяненко»)

Рекомбинант	2021 год	2022 год	2023 год
LK12-88	29,2	51,2	39,6
LK12-18	61,0	16,2	75,9
LK12-82	38,2	18,9	75,9
LK12-3	29,3	15,5	180,2
LK12-13	-2,9	23,3	43,6
σ^2Si среднее	18,9	18,8	91,0

Рекомбинант LK12-3 в 2021 году показал значение вариансы 29,3, что свидетельствует о стабильности. В 2022 году значение снизилось до 15,5. В 2023 году наблюдается резкий скачок до 180,2, что свидетельствует о высокой изменчивости. Этот рекомбинант показывает значительную изменчивость в урожайности, что может быть полезным для селекции, но требует дополнительных исследований для стабилизации показателей.

В 2021 году значение вариансы для рекомбинанта LK12-13 было отрицательным (-2,9), что необычно и может указывать на аномалии в данных или высокую стабильность. В 2022 году значение увеличилось до 23,3. В 2023 году наблюдается дальнейшее увеличение до 43,6. Несмотря на отрицательное значение в первый год, этот рекомбинант демонстрирует постепенное увеличение вариации, что может быть полезно для понимания его адаптивных способностей.

Стабильные рекомбинанты: LK12-88 и, частично, LK12-13 показали относительно стабильные значения вариации, что делает их более предсказуемыми для использования. Рекомбинанты с высоким потенциалом для селекции: LK12-18 и LK12-3 продемонстрировали значительные колебания вариации, что указывает на их чувствительность к изменениям условий и возможность значительных улучшений через селекцию.

В таблице 20 ниже представлены значения вариаций СКС по показателю «урожайность зерна» для рекомбинантов, исследованных во втором блоке. В 2021

году рекомбинант LK12-94 показал вариансу 43,3, что указывает на умеренную стабильность. В 2022 году значение снизилось до 16,5, демонстрируя улучшение стабильности. В 2023 году варианса увеличилась до 64,9, указывая на изменчивость в урожайности. В целом, LK12-94 демонстрирует колебания вариансы, но остается относительно стабильным по сравнению с другими рекомбинантами.

Рекомбинант LK12-99 в 2021 году имел вариансу 20,6, что свидетельствует о стабильности. В 2022 году наблюдается значительное увеличение до 65,3, указывая на высокую чувствительность к условиям года.

Таблица 20 – Специфическая комбинационная способность (σ^2Si) рекомбинантов кукурузы по показателю «урожайность зерна» во втором блоке исследований, 2021-2023 гг. (ФГБНУ «НЦЗ им. П.П. Лукьяненко»)

Рекомбинант	2021 год	2022 год	2023 год
LK12-94	43,3	16,5	64,9
LK12-99	20,6	65,3	142,1
LK12-101	21,1	55,5	108,4
LK12-106	16,8	12,7	18,9
LK12-107	77,5	21,4	14,8
σ^2Si среднее	28,5	26,7	60,4

Для рекомбинанта LK12-101 в 2021 году значение вариансы составило 21,1 указывая на умеренную стабильность. В 2022 году значение увеличилось до 55,5, а в 2023 году - до 108,4. Эти изменения указывают на значительную изменчивость в урожайности, что требует дальнейшего изучения для улучшения стабильности показателей. В 2023 году вариация еще больше увеличилась до 142,1, что свидетельствует о значительной изменчивости. Этот рекомбинант показывает высокую изменчивость в урожайности, что может быть полезным для селекционной работы.

Рекомбинант LK12-106 в 2021 году показал низкую вариансу 16,8, что свидетельствует о высокой стабильности. В 2022 году значение еще больше снизилось до 12,7, а в 2023 году немного увеличилось до 18,9. Этот рекомбинант демонстрирует наименьшую изменчивость среди всех представленных, что делает его одним из наиболее стабильных и предсказуемых для использования.

В 2021 году рекомбинант LK12-107 показал высокую вариансу 77,5, что свидетельствует о значительной изменчивости. В 2022 году значение снизилось до 21,4, а в 2023 году - до 14,8. Несмотря на высокое значение в первый год, этот рекомбинант показывает тенденцию к улучшению стабильности.

Стабильные рекомбинанты: LK12-106 и, в меньшей степени, LK12-94 показали относительно стабильные значения вариансы, что делает их более предсказуемыми для использования. Рекомбинанты с высоким потенциалом для селекции: LK12-99 и LK12-101 продемонстрировали значительные колебания вариансы, что указывает на их чувствительность к изменениям условий и возможность значительных улучшений через селекцию.

В таблице 21 представлены данные по третьему блоку самоопыленных рекомбинантов. Здесь можно выделить вариант LK12-66 который стабильно по всем годам испытаний показывал высокие значения специфической комбинационной способности за все годы исследований.

В 2021 году рекомбинант LK12-61 показал вариансу 27,1, что указывает на умеренную стабильность. В 2022 году значение снизилось до 10,3, демонстрируя улучшение стабильности. В 2023 году варианса увеличилась до 89,3, указывая на значительную изменчивость в урожайности. В целом, LK12-61 показывает колебания вариации, но остается относительно стабильным по сравнению с другими рекомбинантами.

Рекомбинант LK12-66 в 2021 году имел высокую вариансу 84,6, что свидетельствует о значительной изменчивости. В 2022 году значение уменьшилось до 54,0, но остается высоким. В 2023 году варианса значительно увеличилась до 181,2, указывая на высокую чувствительность к условиям года. Этот рекомбинант демонстрирует значительную изменчивость в урожайности, что может быть полезным для селекционной работ. Для рекомбинанта LK12-91 в 2021 году значение вариансы составило 23,3, указывая на умеренную стабильность. В 2022 году значение увеличилось до 26,6, а в 2023 году снизилось до 17,7. Эти изменения указывают на относительную стабильность в урожайности, делая этот рекомбинант предсказуемым для использования.

Рекомбинант LK12-92 в 2021 году показал низкую вариансу 16,6, что свидетельствует о высокой стабильности. В 2022 году значение немного увеличилось до 28,6, а в 2023 году снизилось до 27,7. Этот рекомбинант демонстрирует наименьшую изменчивость среди всех представленных, что делает его одним из наиболее стабильных и предсказуемых для использования.

Таблица 21 – Специфическая комбинационная способность (σ^2Si) рекомбинантов кукурузы по показателю «урожайность зерна» в третьем блоке исследований, 2021-2023 гг. (ФГБНУ «НЦЗ им. П.П. Лукьяненко»)

Рекомбинант	2021 год	2022 год	2023 год
LK12-61	27,1	10,3	89,3
LK12-66	84,6	54,0	181,2
LK12-91	23,3	26,6	17,7
LK12-92	16,6	28,6	27,7
σ^2Si среднее	26,5	17,4	50,9

Анализ значений специфической комбинационной способности (σ^2Si) показал, что разные рекомбинанты кукурузы в третьем блоке демонстрируют различную степень устойчивости и изменчивости в зависимости от условий года. Стабильные рекомбинанты: LK12-92 и, в меньшей степени, LK12-91 показали относительно стабильные значения вариансы, что делает их более предсказуемыми для использования.

Рекомбинанты с высоким потенциалом для селекции: LK12-66 продемонстрировал значительные колебания вариансы, что указывает на его чувствительность к изменениям условий и возможность значительных улучшений через селекцию.

В таблице 22 представлены результаты анализа специфической комбинационной способности (σ^2Si) самоопыленных рекомбинантов кукурузы по показателю «урожайность зерна» в рамках четвертого блока исследований. Данные в таблице позволяют глубже оценить изменчивость и стабильность урожайности рекомбинантов в различных условиях выращивания, что является важным аспектом при селекции и адаптации кукурузных линий к различным агроэкологическим зонам.

В 2021 году рекомбинант LK12-57 показал низкую вариансу (6,9), указывая на высокую стабильность. В 2022 году значение резко увеличилось до 107,4, что свидетельствует о значительной изменчивости в условиях данного года. В 2023 году варианса снизилась до 70,8, оставаясь достаточно высокой. Таким образом, LK12-57 демонстрирует значительные колебания вариансы, но сохраняет сравнительно стабильную продуктивность.

Рекомбинант LK12-69 в 2021 году показал умеренную вариансу (23,3), что указывает на относительно стабильную урожайность. В 2022 году значение снизилось до 21,1, демонстрируя улучшение стабильности. Однако в 2023 году варианса резко увеличилась до 295,5, что указывает на высокую чувствительность к условиям этого года. Этот рекомбинант показывает значительную изменчивость в урожайности, что может быть полезным для селекционной работы с целью выявления оптимальных условий выращивания.

Для рекомбинанта LK12-70 в 2021 году значение вариансы составило 56,5, что указывает на определенную изменчивость. В 2022 году значение снизилось до 10,4, демонстрируя высокую стабильность. В 2023 году варианса снова увеличилась до 23,1, оставаясь относительно низкой. Этот рекомбинант демонстрирует наименьшую изменчивость среди всех представленных, что делает его одним из наиболее стабильных и предсказуемых для использования в различных условиях.

В 2023 году варианса увеличилась до 53,4, указывая на некоторую изменчивость, но в целом оставаясь относительно стабильной. Этот рекомбинант также демонстрирует высокую стабильность в большинстве годов, что делает его перспективным для использования в условиях изменяющегося климата. Анализ значений специфической комбинационной способности (σ^2Si) в четвертом блоке исследований показал, что варианты LK12-70 и LK12-73 показали относительно низкие значения вариации, что делает их более предсказуемыми и надежными для использования в различных агротехнических условиях.

Таблица 22 – Специфическая комбинационная способность (σ^2Si) рекомбинантов кукурузы по показателю «урожайность зерна» в четвертом блоке исследований, 2021-2023 гг. (ФГБНУ «НЦЗ им. П.П. Лукьяненко»)

Рекомбинант	2021 год	2022 год	2023 год
LK12-57	6,9	107,4	70,8
LK12-69	23,3	21,1	295,5
LK12-70	56,5	10,4	23,1
LK12-73	3,1	11,4	53,4
σ^2Si среднее	13,5	54,9	116,9

Рекомбинанты с высоким потенциалом для селекции, такие как LK12-57 и LK12-69, продемонстрировали значительные колебания вариансы, что указывает на их чувствительность к изменениям условий выращивания. Это свидетельствует о возможности значительных улучшений через целенаправленную селекцию и дальнейшую адаптацию к различным средам. Для завершения всестороннего анализа специфической комбинационной способности (σ^2Si) самоопыленных рекомбинантов кукурузы необходимо внимательно рассмотреть данные по пятому блоку исследований.

В таблице 22 представлены результаты, которые позволят окончательно оценить изменчивость и стабильность урожайности в разных условиях выращивания, что обеспечит комплексное понимание адаптивных возможностей исследуемых рекомбинантов. Более того, данное исследование позволит детализированно оценить особенности их реакции на агротехнические факторы, что в дальнейшем также поспособствует точной идентификации наиболее перспективных линий для будущих селекционных программ и разработки методов повышения урожайности.

Из данных следует, что рекомбинант LK12-24 в 2021 году показал вариансу 30,6, что указывает на умеренную стабильность. В 2022 году значение снизилось до 27,1, демонстрируя улучшение стабильности. В 2023 году вариация увеличилась до 45,4, указывая на небольшую изменчивость в урожайности. В целом, LK12-24 демонстрирует сравнительно стабильные показатели вариансы по годам. Рекомбинант LK12-9 в 2021 году имел вариансу 20,5, что свидетельствует о

стабильности. В 2022 году значение увеличилось до 54,4, указывая на значительную изменчивость. В 2023 году вариация осталась высокой, достигнув 49,3. Этот рекомбинант показывает высокую изменчивость в урожайности, что требует дополнительного изучения для улучшения стабильности (таблица 23).

Таблица 23 – Специфическая комбинационная способность (σ^2Si) рекомбинантов кукурузы по показателю «урожайность зерна» в пятом блоке исследований, 2021-2023 гг. (ФГБНУ «НЦЗ им. П.П. Лукьяненко»)

Рекомбинант	2021 год	2022 год	2023 год
LK12-24	30,6	27,1	45,4
LK12-9	20,5	54,4	49,3
LK12-1	8,9	18,8	250,1
LK12-27	72,1	17,4	8,9
LK12-29	28,3	65,9	38,8
σ^2Si среднее	15,5	25,9	37,3

Для рекомбинанта LK12-1 в 2021 году значение вариансы составило 8,9, указывая на высокую стабильность. В 2022 году значение увеличилось до 18,8, оставаясь низким. В 2023 году наблюдается резкий скачок до 250,1, что свидетельствует о высокой изменчивости.

Рекомбинант LK12-27 в 2021 году показал высокую вариансу 72,1, что свидетельствует о значительной изменчивости. В 2022 году значение снизилось до 17,4, демонстрируя улучшение стабильности. В 2023 году вариация снизилась еще больше до 8,9, указывая на высокую стабильность.

Рекомбинант LK12-29 в 2021 году показал вариансу 28,3, что свидетельствует о стабильности. В 2022 году значение увеличилось до 65,9, указывая на значительную изменчивость. В 2023 году вариация снизилась до 38,8, оставаясь умеренной. Этот рекомбинант демонстрирует изменчивость в урожайности, что требует дальнейшего изучения для улучшения стабильности.

Стабильные рекомбинанты: LK12-24 и LK12-27 показали относительно низкие значения вариансы, что делает их более предсказуемыми и надежными для использования в различных агротехнических условиях. Рекомбинанты с высоким потенциалом для селекции: LK12-1 и LK12-9 продемонстрировали значительные

колебания вариансы, что указывает на их чувствительность к изменениям условий и возможность значительных улучшений через селекцию.

В представленном анализе специфической комбинационной способности (СКС) самоопыленных рекомбинантов кукурузы выявлены значительные различия в стабильности и изменчивости урожайности по годам и между различными генотипами. Рекомбинанты, такие как LK12-24 и LK12-27, показали высокую стабильность, что делает их перспективными для использования в условиях различных агротехнических режимов. В то же время, рекомбинанты LK12-1 и LK12-9 продемонстрировали значительные колебания вариантов СКС, что указывает на их потенциал для дальнейшей селекции и адаптации к специфическим условиям выращивания. В целом, данные подчеркивают важность тщательного отбора генотипов с высокой стабильностью и специфическими комбинационными эффектами для создания высокопродуктивных и устойчивых гибридов кукурузы.

4.3 Исследование общей комбинационной способности новых рекомбинантов кукурузы по показателю «влажность зерна»

Особое внимание уделяется созданию гибридов с высокой урожайностью, которые могут быстро отдавать влагу при созревании. Исследование влажности зерна является критически важным аспектом селекционной работы, поскольку оно определяет не только сроки уборки урожая, но и его последующее качество и сохранность. Внимательное измерение и анализ влажности на разных стадиях созревания позволяет выявить линии, способные быстро и эффективно терять влагу, что снижает расходы на сушку и повышает конкурентоспособность продукции. Эти данные являются решающими при отборе перспективных гибридов, которые могут обеспечить стабильный и качественный урожай в условиях изменяющегося климата [89, 130].

Для повышения эффективности селекционных программ важно проводить комплексную оценку новых линий кукурузы, учитывая множество показателей. Наши исследования показывают, что уборочная влажность зерна, наряду с урожайностью, является критически важным признаком, который зависит от

погодных условий. Современные методы и технологии позволяют более точно оценить комбинационную способность новых линий, что способствует созданию более продуктивных и устойчивых гибридов, способных адаптироваться к различным климатическим условиям [57, 134].

Анализ результатов комбинационной способности новых линий проводился по тестерным блокам, аналогично методам оценки по признаку урожайности зерна. Это позволило нам получить объективные данные и провести сравнительный анализ различных генотипов в одинаковых условиях. В условиях изменяющегося климата и необходимости адаптации сельскохозяйственных культур к новым условиям, наши исследования приобретают особую значимость. Разработка новых гибридов кукурузы с улучшенными показателями по признаку «уборочная влажность зерна» способствует повышению общей продуктивности и устойчивости сельскохозяйственных систем [42].

В таблице 24 представлены результаты оценки новых самоопыленных рекомбинантов кукурузы на комбинационную способность по признаку «уборочная влажность зерна» в рамках первого блока тестирования. Следует подчеркнуть, что эффект комбинационной способности (ОКС) оставался статистически значимым для каждого года испытаний, несмотря на различия в погодных условиях. Это свидетельствует о высокой надежности и воспроизводимости полученных данных, а также подчеркивает устойчивость и адаптивность новых рекомбинантов в различных агроклиматических условиях, что делает их ценными для использования в селекционных программах.

Всего было протестировано 170 тесткроссов, что позволяет получить обширные данные для анализа. Период исследования: Оценка проводилась на протяжении трех лет, что дает возможность учитывать вариации погодных условий и их влияние на уборочную влажность зерна. Значения эффектов ОКС были достоверными для каждого года, несмотря на годовые колебания погодных условий. Поэтому селекция кукурузы с пониженной УВЗ или способностью к быстрой отдаче влаги при созревании становится важной задачей. Результаты показали значительное варьирование значений ОКС по годам, что отражает

влияние погодных условий на уборочную влажность зерна. Тем не менее, стабильность и воспроизводимость результатов подтверждаются достоверностью значений эффектов ОКС и СКС.

Таблица 24 – Комбинационная способность новых рекомбинантов кукурузы по признаку «уборочная влажность зерна»: 1 блок тестирования, 2021-2023 гг. (ФГБНУ «НЦЗ им. П.П. Лукьяненко»)

Название рекомбинанта	Эффекты ОКС (Gi)				Варианса СКС(σ^2_{Si})		
	2021	2022	2023	Среднее	2021	2022	2023
LK12-88	-4,0	-2,2	-6,7	-4,2	0,3	0,1	0,7
LK12-18	-5,4	-1,7	-3,2	-3,3	1,2	2,3	4,3
LK12-82	-1,9	-1,1	-3,1	-2,8	0,7	-0,3	1,1
LK12-3	-3,0	-1,8	-4,8	-2,8	0,4	-0,2	1,6
LK12-13	-3,2	-0,5	-4,7	-2,6	1,0	0,5	0,8
НСР05	1,3	0,9	0,7	-	-	-	-
Среднее	-	-	-	-	5,6	2,2	8,2

Рекомбинант LK12-88 показал устойчиво низкие значения ОКС по всем трем годам исследования, со средним значением – 4,2 %. Варианса СКС также была низкой, что свидетельствует о стабильности этой линии при разных условиях выращивания. Это делает LK12-88 перспективным кандидатом для селекции на снижение УВЗ.

Рекомбинант LK12-18 имел более низкие значения ОКС в 2021 году (-5,4 %), но значения варьировали в последующие годы, со средним значением -3,3 %. Высокие значения вариансы СКС в 2022 и 2023 годах (2,3 и 4,3 соответственно) указывают на значительное влияние генотип-средовых взаимодействий на этот рекомбинант.

Рекомбинант LK12-82 и LK12-3 показали умеренные значения ОКС, со средними значениями - 2,8 % и - 2,8 % соответственно. Эти линии также продемонстрировали относительно низкую вариабельность по показателю СКС, что делает их стабильными при различных погодных условиях.

Рекомбинант LK12-13 показал относительно стабильные значения ОКС со средним значением - 2,6 % и умеренной вариансой СКС, что делает его также перспективным для дальнейшей селекции.

Исследования показали, что рекомбинанты LK12-88, LK12-18, LK12-82 и LK12-3 обладают перспективными характеристиками для селекции на снижение уборочной влажности зерна. Они продемонстрировали стабильные низкие значения ОКС и умеренную вариабельность СКС, что делает их пригодными для использования в северных зонах возделывания кукурузы.

Во втором тестовом блоке было изучено 27 новых тесткроссов кукурузы на базе «НЦЗ им. П.П. Лукьяненко» в период с 2021 по 2023 гг. Основное внимание уделялось оценке комбинационной способности рекомбинантов по признаку «уборочная влажность зерна». В таблице 25 ниже представлены результаты по эффектам общих (ОКС) и специфических комбинационных способностей (СКС) для пяти лучших рекомбинантов, а также расчетные средние значения за исследуемый период.

Таблица 25 – Комбинационная способность новых рекомбинантов кукурузы по признаку «уборочная влажность зерна»: 2 блок тестирования, 2021-2023 гг. (ФГБНУ «НЦЗ им. П.П. Лукьяненко»)

Рекомбинант	Эффекты ОКС (Gi)				Варианса СКС(σ^2_{Si})		
	2021	2022	2023	Среднее	2021	2022	2023
LK12-94	-2,2	-0,5	-3,8	-2,2	-0,0	0,4	3,0
LK12-99	-2,3	-1,5	-2,0	-1,9	5,7	-0,6	10,8
LK12-101	-3,1	-1,7	-0,9	-1,9	4,3	2,4	6,7
LK12-106	-4,1	-1,1	-0,3	-1,8	0,2	-0,1	9,1
LK12-107	-0,4	-0,9	-0,0	-0,4	0,6	0,2	1,1
НСР05	0,8	1,2	0,6	-	-	-	-
Среднее	-	-	-	-	3,8	1,3	4,4

Исследование показало, что все пять рекомбинантов продемонстрировали отрицательные значения эффектов общих комбинационных способностей (ОКС) по уборочной влажности зерна за все три года, что указывает на их потенциальное снижение влажности зерна при уборке. Наибольшие отрицательные значения ОКС наблюдались у рекомбинанта LK12-106 в 2021 году (-4,1), что указывает на его высокий потенциал снижения влажности.

Рекомбинанты LK12-99 и LK12-101 показали значительное улучшение специфических комбинационных способностей (СКС) с высокими

положительными значениями в 2022 и 2023 годах, что указывает на их стабильную комбинационную способность в различных условиях выращивания.

Средние значения эффектов ОКС у всех рекомбинантов были отрицательными, что подтверждает их общее направление на снижение уборочной влажности зерна. Варианса СКС также продемонстрировала значительные колебания, что подчеркивает различия в специфических комбинационных способностях рекомбинантов в разных условиях.

В третьем блоке тестирования на базе ФГБНУ «НЦЗ им. П.П. Лукьяненко» в период с 2021 по 2023 гг. была проведена оценка комбинационной способности новых рекомбинантов кукурузы по признаку «уборочная влажность зерна». В таблице 26 приведены 4 лучших рекомбинанта, всего в этой группе было исследовано 27 тесткроссов которые были получены от 9 рекомбинантов. Исследование включало анализ эффектов общих и специфических комбинационных способностей.

Таблица 26 – Комбинационная способность новых рекомбинантов кукурузы по признаку «уборочная влажность зерна»: 3 блок тестирования, 2021-2023 гг. (ФГБНУ «НЦЗ им. П.П. Лукьяненко»)

Рекомбинант	Эффекты ОКС (Gi)				Варианса СКС(σ^2_{Si})		
	2021	2022	2023	Среднее	2021	2022	2023
LK12-61	-3,2	-1,1	-6,0	-3,4	2,7	0,6	14,5
LK12-66	-4,4	-1,7	-2,6	-3,0	7,0	0,3	8,1
LK12-91	-4,3	-1,4	-2,9	-2,9	3,6	0,2	0,0
LK12-92	-4,0	-0,7	-2,9	-2,5	0,2	0,1	1,7
HCP05	-1,0	-2,0	-2,4	-2,4	0,2	1,9	0,1
Среднее	-3,7	-0,7	-2,2	-2,2	9,1	1,7	21,6

Исследование показало, что рекомбинанты LK12-61, LK12-66, LK12-91 и LK12-92 демонстрируют отрицательные эффекты ОКС по признаку «уборочная влажность зерна» за все годы тестирования, что указывает на их потенциал снижения влажности зерна при уборке. Наиболее выраженное снижение наблюдалось у LK12-61 в 2023 году (-6,0). Средние значения эффектов ОКС для всех рекомбинантов также отрицательные, подтверждая их общий потенциал для снижения влажности. При этом, рекомбинанты LK12-66 и LK12-61 показали

высокие значения вариации СКС в 2021 году (7,0 и 2,7 соответственно), что может указывать на их устойчивость к различным условиям выращивания.

Рекомбинант LK12-91 продемонстрировал наименьшую вариацию СКС, что может свидетельствовать о его стабильности в показателях влажности.

Средние значения вариации СКС указывают на значительные колебания в специфических комбинационных способностях, что требует дальнейших исследований и оптимизации селекционного процесса для достижения стабильных результатов по снижению уборочной влажности зерна.

Рекомбинанты LK12-57, LK12-69, LK12-70 и LK12-73 продолжают демонстрировать отрицательные эффекты ОКС, что свидетельствует об их потенциале в снижении влажности зерна при уборке (таблица 27). Наиболее выраженные отрицательные значения наблюдались у LK12-57 в 2023 году (-6,8), что указывает на его высокий потенциал.

Таблица 27 – Комбинационная способность новых рекомбинантов кукурузы по признаку «уборочная влажность зерна»: 4 блок тестирования, 2021-2023 гг. (ФГБНУ «НЦЗ им. П.П. Лукьяненко»)

Рекомбинант	Эффекты ОКС (Gi)				Варианса СКС(σ^2_{Si})		
	2021	2022	2023	Среднее	2021	2022	2023
LK12-57	-3,6	-1,2	-6,8	-3,8	3,1	0,7	16,3
LK12-69	-5,0	-1,9	-2,9	-3,4	8,0	0,3	9,3
LK12-70	-4,8	-1,6	-3,3	-3,3	4,1	0,2	0,9
LK12-73	-4,6	-0,8	-3,3	-2,9	0,2	0,1	1,9
HCP05	-1,1	-2,3	-2,2	-2,7	0,2	2,1	0,1
Среднее	-4,2	-0,8	-2,5	-2,5	10,3	1,9	24,4

Средние значения эффектов ОКС также остались отрицательными, подтверждая общую тенденцию к снижению влажности. Высокие значения вариации СКС у рекомбинантов LK12-69 и LK12-57 в 2021 году (8,0 и 3,1 соответственно) свидетельствуют о значительной устойчивости этих рекомбинантов к различным условиям выращивания. Рекомбинант LK12-70 показал наименьшие значения вариации СКС, что может указывать на его стабильность. Средние значения вариации СКС для всех рекомбинантов также демонстрируют значительные колебания, что требует дальнейшего изучения и

селекции для достижения стабильных результатов по снижению уборочной влажности зерна.

В пятом блоке тестирования, проведенном в период с 2021 по 2023 годы, была проведена всесторонняя оценка комбинационной способности новых рекомбинантов кукурузы, результаты которой представлены в таблице 28. Эффекты общей комбинационной способности (ОКС, Gi) позволяют оценить общий потенциал каждого рекомбинанта в снижении уборочной влажности зерна, что является важным критерием для повышения эффективности и качества урожая. Наибольшие отрицательные значения ОКС были зафиксированы у рекомбинанта LK12-24 в 2023 году (-6,3), что указывает на его высокую эффективность в снижении влажности зерна при уборке.

Таблица 28 – Комбинационная способность новых рекомбинантов кукурузы по признаку «уборочная влажность зерна»: 5 блок тестирования, 2021-2023 гг. (ФГБНУ «НЦЗ им. П.П. Лукьяненко»)

Рекомбинант	Эффекты ОКС (Gi)				Варианса СКС(σ^2_{Si})		
	2021	2022	2023	Среднее	2021	2022	2023
LK12-24	-3,2	-1,1	-6,3	-3,5	2,9	0,6	15,0
LK12-9	-4,0	-1,2	-2,7	-3,1	7,4	0,3	8,6
LK12-1	-4,1	-1,3	-3,1	-3,0	3,8	0,2	0,0
LK12-27	-4,2	-0,7	-2,9	-2,7	0,2	0,1	1,7
LK12-29	-2,7	-0,4	-1,6	-2,3	-0,3	0,6	1,1
HCP05	-1,1	-2,1	-3,0	-2,5	0,2	1,9	1,3
Среднее	-3,9	-0,7	-2,3	-2,3	2,8	2,3	24,5

Варианса СКС (σ^2Si) показывает стабильность и специфические комбинационные способности рекомбинантов в различных условиях выращивания. Рекомбинант LK12-24 продемонстрировал высокую вариансу СКС в 2023 году (15,0), что может свидетельствовать о его высокой адаптивности. Аналогично, высокие значения вариации СКС были зафиксированы у LK12-9 в 2021 году (7,4), что также подчеркивает его способность адаптироваться к изменяющимся условиям.

Исследования комбинационной способности новых рекомбинантов кукурузы по признаку «уборочная влажность зерна» в различных блоках тестирования

выявили несколько перспективных линий, обладающих устойчивыми и значимыми характеристиками. В условиях изменяющегося климата и разнообразных погодных условий рекомбинанты LK12-88, LK12-94, LK12-61, LK12-57 и LK12-24 показали наибольший потенциал для снижения уборочной влажности зерна, что делает их важными кандидатами для дальнейшего использования в селекционных программах. Эти варианты демонстрируют как стабильность, так и адаптивность к различным условиям выращивания, что способствует созданию новых высокопродуктивных и устойчивых гибридов кукурузы.

4.4 Исследование селекционной ценности ведущих тесткроссов

Урожайность служит основным критерием, определяющим успех гибридов в различных агроклиматических условиях. Цель селекции кукурузы заключается в создании высокоурожайных гибридов, способных эффективно адаптироваться к различным экологическим зонам, сохраняя при этом стабильные показатели продуктивности. При этом, важно учитывать не только абсолютные показатели урожайности, но и их стабильность в различных условиях выращивания, что свидетельствует о пластичности и адаптивности генотипов. В современных селекционных программах особое внимание также уделяется созданию гибридов с устойчивостью к биотическим и абиотическим стрессам, что позволяет минимизировать потери урожая и обеспечить его высокое качество. Комплексная оценка селекционной ценности тесткроссов, включающая анализ таких показателей, как стабильность урожайности, адаптивность к разным условиям и устойчивость к стрессам, позволяет выделить наиболее перспективные линии для дальнейшего использования в гибридизации [23, 146].

В период с 2021 по 2023 годы были проведены исследования, направленные на анализ варьирования урожайности зерна тесткроссов кукурузы. Оценка включала такие показатели, как средняя урожайность, максимальные и минимальные значения, размах варьирования, стандартное отклонение и коэффициент вариации, что позволило всесторонне охарактеризовать продуктивность тестируемых гибридов (таблица 29).

Средняя урожайность за указанный период колебалась в пределах от 6,0 до 7,1 т/га, при этом общее среднее значение составило 6,5 т/га. Наибольшая урожайность была достигнута в 2022 году, что, вероятно, связано с благоприятными агроклиматическими условиями и применением улучшенных агротехнических методов. Этот год выделяется среди прочих, демонстрируя значительный потенциал тесткроссов при оптимальных условиях выращивания.

Таблица 29 – Урожайность зерна тесткроссов в 1 блоке: анализ варьирования, 2021-2023 гг. (ФГБНУ «НЦЗ им. П.П. Лукьяненко»)

№ Тестерного блока	Значения варьирования	2021	2022	2023	Среднее
1	N	27	27	27	27
	Xср, т/га	6,0 ± 0,5	7,1 ± 0,7	6,5 ± 0,4	6,5 ± 0,5
	X_{max}, т/га	8,1	8,5	9,5	9,5
	X_{min}, т/га	6,0	6,0	4,1	2,7
	Lim, т/га	2,1	2,5	5,3	6,8
	S	0,7	0,9	1,6	1,8
	CV, %	16,3	12,6	25,2	27,3

Максимальные значения урожайности показывают устойчивую тенденцию к увеличению в течение трехлетнего периода, достигая пика в 2023 году с 9,5 т/га. Это свидетельствует о наличии в исследуемой выборке высокопродуктивных гибридов, которые способны стабильно давать высокий урожай. Размах варьирования урожайности увеличился с 2,1 т/га в 2021 году до 5,3 т/га в 2023 году. Это указывает на значительную гетерогенность результатов и необходимость более точного отбора высокопродуктивных гибридов. Стандартное отклонение увеличилось с 0,7 т в 2021 году до 1,6 т в 2023 году, отражая растущую вариабельность урожайности среди тесткроссов. Коэффициент вариации показывает, что наиболее стабильной урожайность была в 2022 году (12,6 %), а наиболее вариабельной – в 2023 году (25,2 %). Это подчеркивает необходимость улучшения методов селекции и оптимизации условий выращивания.

В целом, анализ варьирования урожайности зерна тесткроссов в 1 блоке за период с 2021 по 2023 годы показывает значительную гетерогенность результатов. Наибольшая урожайность была зафиксирована в 2022 году, тогда как 2023 год характеризовался наиболее высокой вариабельностью урожайности. Дальнейшие исследования должны быть направлены на оптимизацию условий выращивания и улучшение селекционных методов для стабилизации и повышения урожайности зерна.

В таблице 30 представлены результаты двухфакторного дисперсионного анализа урожайности зерна тесткроссов 1 блока в зависимости от года изучения и генотипа гибрида. Год изучения (А) является значимым фактором с F-значением 3,3, что превышает критическое значение 3,0. Это свидетельствует о том, что различия в урожайности зерна между годами статистически значимы и что год действительно влияет на урожайность.

Таблица 30 – Дисперсионный анализ урожайности зерна тесткроссов 1 блока по годам, 2021-2023 гг. (ФГБНУ «НЦЗ им. П.П. Лукьяненко»)

Источник варьирования	Степеней свободы (df)	Сумма квадратов (SS)	Средние квадраты (MS)	$F_ф$	F_{05}
Общая	29	236.3	-	-	-
Год изучения (А)	2	0,5	0,3	3,3	3,0
Генотип гибрида (В)	5	234,6	46,9	573,2	1,3
Взаимодействие (А х В)	10	0,8	0,1	1,0	1,2
Остаток (ошибка)	12	0,4	0,0	-	-

Генотип гибрида (В) также является значимым фактором, с F-значением 573,2 что значительно превышает критическое значение 1,3. Это указывает на то, что различия между генотипами гибридов существенно влияют на урожайность зерна. Взаимодействие между годом и генотипом гибрида (А х В) не является значимым, так как F-значение 1.0 меньше критического значения 1,2. Это означает, что влияние генотипа гибрида на урожайность не зависит существенно от года изучения.

Остаток (ошибка) представляет собой непредсказуемую вариабельность в данных, которая не объясняется ни годом изучения, ни генотипом гибрида. Сумма квадратов остатка составляет 0,4 при 12 степенях свободы. Средняя урожайность зерна варьировалась от 6,1 т/га в 2021 году до 7,3 т/га в 2023 году, с общим средним значением 6,6 т/га. Максимальные значения урожайности достигали 9,0 т/га, тогда как минимальные значения составляли от 5,7 до 7,0 т/га.

В таблице 31 представлена урожайность зерна тесткроссов в 2 блоке за период 2021-2023 годов, с анализом основных показателей варьирования. Коэффициент вариации (CV) указывает на умеренное колебание урожайности, с наибольшей вариативностью в 2021 году (CV = 13,1 %) и наименьшей в 2022 году (CV = 8,4 %).

Таблица 31 – Урожайность зерна тесткроссов в 2 блоке: анализ варьирования, 2021-2023 гг. (ФГБНУ «НЦЗ им. П.П. Лукьяненко»)

№ Тестерного блока	Значения варьирования	2021	2022	2023	Среднее
2	N	27	27	27	27
	Xср, т/га	6,5 ± 0,4	6,1 ± 0,5	7,3 ± 0,7	6,6 ± 0,5
	X_{max}, т/га	8,7	8,1	8,1	9,0
	X_{min}, т/га	7,0	5,7	5,7	6,3
	Lim, т/га	1,7	2,4	2,4	2,4
	S	0,6	0,8	0,8	0,7
	CV, %	8,4	13,1	13,1	11,0

Эти результаты подчеркивают значимость годовых климатических условий и стабильность генотипов гибридов, исследуемых в данном блоке. Для комплексного анализа результатов был проведен двухфакторный дисперсионный анализ урожайности зерна тесткроссов во втором блоке тестирования (таблица 32).

Дисперсионный анализ урожайности зерна тесткроссов второго блока по годам показал, что наибольшее влияние на урожайность оказывает генотип гибрида (B), о чем свидетельствует значительное F-значение (553,2) по сравнению с критическим значением (1,3). Это подчеркивает важность генетических факторов в определении продуктивности гибридов.

Таблица 32 – Дисперсионный анализ урожайности зерна тесткроссов 2 блока, 2021-2023 гг. (ФГБНУ «НЦЗ им. П.П. Лукьяненко»)

Источник варьирования	Степеней свободы (df)	Сумма квадратов (SS)	Средние квадраты (MS)	$F_ф$	F_{05}
Общая	29	236.3	-	-	-
Год изучения (А)	2	0,5	0,3	3,3	3,0
Генотип гибрида (В)	5	224,2	44,7	553,2	1,3
Взаимодействие (А х В)	10	0,8	0,1	1,1	1,2
Остаток (ошибка)	12	0,3	0,0	-	-

Влияние года изучения (А) также оказалось статистически значимым ($F_{ф.}$ = 3,3 при F_{05} = 3,0), что указывает на влияние климатических условий на урожайность. Однако взаимодействие между годом и генотипом (А х В) не было статистически значимым ($F_{ф.}$ = 1,1 при F_{05} = 1,2), что свидетельствует о том, что реакция гибридов на изменения в погодных условиях была достаточно стабильной.

Таблица 33 – Урожайность зерна тесткроссов в 3 блоке: анализ варьирования, 2021-2023 гг. (ФГБНУ «НЦЗ им. П.П. Лукьяненко»)

№ Тестерного блока	Значения варьирования	2021	2022	2023	Среднее
3	N	27	27	27	27
	Xср, т/га	6,7 ± 5,2	7,7 ± 3,3	7,4 ± 10,3	5,3 ± 6,9
	X_{max}, т/га	10,4	8,2	9,2	9,5
	X_{min}, т/га	6,7	6,7	3,9	6,6
	Lim, т/га	17,8	1,4	5,2	2,8.
	S	5,2	7,6	21,3	12,7
	CV, %	77,6	9,8	28,8	21,8

Анализ данных по урожайности зерна тесткроссов в 3 блоке за 2021-2023 годы выявил ключевые различия (таблица 32). В 2021 году средняя урожайность составила 6,7 т/га с высоким стандартным отклонением 5,2, указывая на значительную вариативность. Максимальное значение достигло 10,4 т/га, а

минимальное – 6,7 т/га, с размахом 17,8 т/га и коэффициентом вариации 77,6 %. В 2022 году средняя урожайность составила 7,7 т/га, стандартное отклонение снизилось до 3,3, что указывает на большую стабильность данных. Максимальное значение составило 8,2 т/га, минимальное – 6,7 т/га, размах – 1,4 т/га, коэффициент вариации – 9,8 %.

В 2023 году средняя урожайность была 7,4 т/га, стандартное отклонение выросло до 10,3, что свидетельствует о большей изменчивости данных. Максимальное значение достигло 9,2 т/га, минимальное – 3,9 т/га, размах – 5,2 т/га, коэффициент вариации – 28,8 %. Таким образом, 2022 год показал наибольшую стабильность, тогда как 2021 и 2023 годы характеризовались высокой изменчивостью.

Дисперсионный анализ урожайности зерна тесткроссов третьего блока за 2021-2023 годы (таблица 34) показывает, что наибольшее влияние на урожайность оказывает генотип гибрида (В), о чем свидетельствует высокое F-значение (24,36) по сравнению с критическим (2,45), что подтверждает значимость генетических факторов в определении продуктивности.

Таблица 34 – Дисперсионный анализ урожайности зерна тесткроссов 3 блока по годам, 2021-2023 гг. (ФГБНУ «НЦЗ им. П.П. Лукьяненко»)

Источник варьирования	Степеней свободы (df)	Сумма квадратов (SS)	Средние квадраты (MS)	$F_ф$	F_{05}
Общая	27	140,85	-	-	-
Год изучения (А)	2	2,54	1,27	3,92	3,12
Генотип гибрида (В)	8	125,76	15,72	24,36	2,45
Взаимодействие (А х В)	16	7,65	0,48	0,75	1,78
Остаток (ошибка)	54	4,90	0,09	-	-

Влияние года изучения (А) также оказалось статистически значимым ($F_{ф.}$ = 3,92 при F_{05} = 3,12), что указывает на влияние погодных условий на урожайность. Взаимодействие между годом и генотипом (А х В) не было статистически

значимым ($F_{ф.}$ = 0,75 при F_{05} = 1,78), что свидетельствует о том, что реакция гибридов на изменения в погодных условиях была достаточно стабильной.

Проведенный дисперсионный анализ урожайности зерна тесткроссов в 4 блоке за 2021-2023 годы выявил значительное влияние различных факторов. Общая сумма квадратов (SS) составила 1982.4 при степени свободы (df) равной 96. В 4 блоке за 2021-2023 годы рассмотрены средние значения урожайности, вариативность и стабильность данных по каждому году (таблица 35). Представленные результаты позволяют выявить ключевые различия и влияние климатических условий на продуктивности.

Таблица 35 – Урожайность зерна тесткроссов в 4 блоке: анализ варьирования, 2021-2023 гг. (ФГБНУ «НЦЗ им. П.П. Лукьяненко»)

№ Тестерного блока	Значения варьирования	2021	2022	2023	Среднее
4	N	33	33	33	33
	Xср, т/га	6,2 ± 0,6	6,2 ± 0,6	6,3 ± 0,7	6,2 ± 0,6
	X_{max}, т/га	8,3	7,6	8,9	7,3
	X_{min}, т/га	5,3	5,4	5,0	5,2
	Lim, т/га	3,0	2,2	4,9	2,1
	S	0,6	0,6	0,7	0,7
	CV, %	15,3	9,6	19,3	10,4

Анализ влияния года изучения на урожайность показал, что данный фактор имеет статистически значимое влияние. Сумма квадратов для года изучения (SS) составила 120.5, средние квадраты (MS) - 60.25. F-фактическое ($F_{ф.}$) значение составило 4.5, что превышает критическое значение F_{05} - 3.15. Это подтверждает важность климатических условий в разные годы. Генотип гибрида также продемонстрировал значительное влияние на урожайность.

Таблица 36 – Дисперсионный анализ урожайности зерна тесткроссов 4 блока по годам, 2021-2023 гг. (ФГБНУ «НЦЗ им. П.П. Лукьяненко»)

Источник варьирования	Степеней свободы (df)	Сумма квадратов (SS)	Средние квадраты (MS)	$F_ф$	F_{05}
Общая	96	1982.4	-	-	-
Год изучения (А)	2	120.5	60.25	4.5	3.15
Генотип гибрида (В)	30	1450.3	48.34	3.8	2.04
Взаимодействие (А х В)	60	389.6	6.49	1.2	1.47
Остаток (ошибка)	4	22.0	5.50	-	-

Сумма квадратов (SS) для данного фактора составила 1450.3, средние квадраты (MS) - 48.34. F-фактическое ($F_{ф.}$) значение было 3.8, что превышает критическое значение F_{05} - 2.04. Это подчеркивает необходимость выбора подходящих генотипов для повышения урожайности.

В пятом тестерном блоке анализ показал значительную вариацию урожайности зерна, аналогичную другим блокам, что подтверждают полученные данные (таблица 37). Исследования показали, что средняя урожайность зерна за указанный период составила 6,0 т/га. Наибольшая урожайность была зафиксирована в 2021 году (6,4 т/га), наименьшая – в 2022 году (5,8 т/га). В 2023 году показатель средней урожайности составил 5,9 т/га, что несколько выше уровня 2022 года, но ниже показателя 2021 года.

Таблица 37 – Урожайность зерна тесткроссов в 5 блоке: анализ варьирования, 2021-2023 гг. (ФГБНУ «НЦЗ им. П.П. Лукьяненко»)

№ Тестерного блока	Значения варьирования	2021	2022	2023	Среднее
5	N	18	18	18	18
	Xср, т/га	6,4	5,8	5,9	6,0
	X_{max}, т/га	7,9	6,9	7,8	7,5
	X_{min}, т/га	5,7	4,8	5,4	5,3
	Lim, т/га	2,2	2,1	2,4	2,2
	S	0,5	0,6	0,6	0,5
	CV, %	7,8	9,5	9,3	8,9

Максимальная урожайность в 2021 году достигла 7,9 т/га, в 2022 году – 6,9 т/га, а в 2023 году – 7,8 т/га. Это свидетельствует о значительном потенциале урожайности в 2021 и 2023 годах. Минимальные значения урожайности варьировались от 4,8 т/га в 2022 году до 5,7 т/га в 2021 году. В 2023 году

минимальная урожайность составила 5,4 т/га, что выше минимального значения 2022 года, но ниже 2021 года. Диапазон урожайности, определяемый разницей между максимальным и минимальным значениями, был наибольшим в 2023 году (2,4 т/га), тогда как в 2021 и 2022 годах он составил 2,2 и 2,1 т/га соответственно

Стандартное отклонение, показывающее степень разброса данных относительно среднего значения, было наиболее высоким в 2022 и 2023 годах (0,6 т/га), что указывает на большую изменчивость урожайности в эти годы. В 2021 году стандартное отклонение составило 0,5 т/га, что свидетельствует о более стабильных условиях выращивания. Коэффициент вариации, выражающий относительную изменчивость данных, был наименьшим в 2021 году (7,8 %), что подтверждает наибольшую стабильность урожайности в этот период. В 2022 году коэффициент вариации достиг 9,5 %, а в 2023 году – 9,3 %, что указывает на значительные колебания урожайности в эти годы.

Таким образом, анализ показал, что наибольшая стабильность и урожайность зерна наблюдалась в 2021 году, тогда как в 2022 и 2023 годах условия выращивания оказались более изменчивыми, что отразилось на колебаниях урожайности. Это подчеркивает важность учета внешних факторов и оптимизации агротехнических практик для обеспечения стабильной и высокой урожайности в будущем.

Влияние года на урожайность статистически значимо. Сумма квадратов равна 20,68 при 2 степенях свободы, что даёт средний квадрат 10,34. Полученное значение $F_{ф.}$ (7,74) превышает критическое значение F_{05} (3,01), что указывает на значимость различий между годами. Это свидетельствует о том, что годовые условия существенно влияют на урожайность (таблица 38). Генотип гибрида также оказывает значительное влияние на урожайность зерна.

Сумма квадратов для этого фактора составляет 457,77 при степени свободы равной 17, что приводит к среднему квадрату 26,93. Значение $F_{ф.}$ (6,27) значительно превышает критическое значение F_{05} (1,30), что подтверждает высокую значимость различий между генотипами. Взаимодействие между годом изучения и генотипом также показало статистическую значимость, хотя и в меньшей степени.

Дисперсионный анализ показал, что год изучения и генотип гибрида оказывают значительное влияние на урожайность зерна тесткроссов. Взаимодействие между этими факторами также является значимым, хотя и в меньшей степени.

По результатам дисперсионного анализа (ANOVA) для всех блоков, год изучения и генотип гибрида оказали значительное влияние на урожайность зерна. Влияние взаимодействия «год изучения - генотип гибрида» также было статистически значимым во всех блоках.

Таблица 38 – Дисперсионный анализ урожайности зерна тесткроссов 5 блока по годам, 2021-2023 гг. (ФГБНУ «НЦЗ им. П.П. Лукьяненко»)

Источник варьирования	Степеней свободы (df)	Сумма квадратов (SS)	Средние квадраты (MS)	$F_ф$	F_{05}
Общая	53	546,44	-	-	-
Год изучения (А)	2	20,68	10,34	7,74	3,01
Генотип гибрида (В)	17	457,77	26,93	6,27	1,30
Взаимодействие (А х В)	34	57,99	1,71	1,23	1,22
Остаток (ошибка)	502	10,00	0,02	-	-

- Год изучения (А): Значительное влияние года на урожайность подтверждено во всех блоках, что подчеркивает важность климатических условий и агротехнических мероприятий в разные годы.
- Генотип гибрида (В): Различия между генотипами оказались высоко значимыми, что указывает на необходимость тщательного отбора и селекции для повышения урожайности.
- Взаимодействие (А х В): Взаимодействие между годом и генотипом показало значимость, что свидетельствует о том, что реакция генотипов на годовые условия варьируется.

Результаты анализа вариации урожайности зерна среди тесткроссов показали, что в каждой группе топкроссов были как высокоурожайные, так и низкоурожайные гибриды. Это свидетельствует о значительном потенциале для селекции, где можно отбирать и исключать гибридные комбинации с низкой урожайностью, сосредотачиваясь на улучшении продуктивных характеристик.

Учитывая ежегодные колебания условий выращивания, можно более точно подбирать генотипы, которые демонстрируют стабильность и высокую урожайность в различных внешних условиях. Это критически важно для создания гибридов, способных обеспечить высокие показатели производства даже при изменяющихся агроклиматических условиях.

В таблице 39 представлены результаты испытаний лучших тесткроссов раннеспелой группы по урожайности и уборочной влажности зерна за три года. В качестве стандарта для раннеспелой группы использовался гибрид Краснодарский 194МВ (ФАО 190). Всего в данную группу входило 79 тесткросса. Анализ данных показывает значительные различия в урожайности зерна и уборочной влажности между тесткроссами. Стандартный гибрид Краснодарский 194 МВ продемонстрировал стабильную урожайность от 5,8 до 6,8 т/га за три года, с уборочной влажностью от 14,3 % до 18,1 %.

Таблица 39 – Агрономические показатели топовых раннеспелых тесткроссов, 2021-2023 гг. (ФГБНУ «НЦЗ им. П.П. Лукьяненко»)

Название гибрида	Урожайность зерна, т/га			Уборочная влажность, %		
	2021 г.	2022 г.	2023 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.
Краснодарский 194 МВ ст.	6,3	5,8	6,8	14,3	17,8	18,1
Кр7024 МВ х 12-57	7,2	8,2	9,1	13,9	18,3	17,5
Коралл МВ х 12-88	7,2	7,9	9,0	14,6	17,5	17,2
Кр16 МВ х 12-3	5,9	8,0	7,2	14,9	17,9	17,5
Кр16 МВ х 12-92	7,2	7,5	8,1	14,4	18,2	17,1
Кр 16 МВ х 12-1	6,9	7,4	7,8	13,8	19,5	16,6
$НСР_{05}$	0,6	0,7	0,4	1,5	1,2	1,4

Гибрид Кр7024 МВ х 12-57 показал наибольшую урожайность среди всех тесткроссов, достигнув 9,1 т/га в 2023 году. Его уборочная влажность оставалась относительно стабильной, варьируя от 13,9 % до 18,3 %. Гибрид Коралл МВ х 12-88 также продемонстрировал высокую урожайность, достигая 9,0 т/га в 2023 году, с уборочной влажностью от 14,6 % до 17,5 %. Гибрид Кр16 МВ х 12-66 показал стабильные результаты по урожайности от 6,9 до 8,2 т/га, с уборочной влажностью от 14,9 % до 17,9 %.

Гибрид Кр16 МВ х 12-92 имел умеренно высокую урожайность, с максимальным значением 8,1 т/га в 2023 году и минимальным 7,2 т/га в 2021 году. Уборочная влажность варьировалась от 14,4 % до 18,2 %. Гибрид Кр16 МВ х 12-1 показал наиболее низкую урожайность среди тесткроссов, от 6,9 т/га в 2021 году до 7,8 т/га в 2023 году, с уборочной влажностью от 13,8 % до 19,5 %.

Таким образом, гибриды Кр7024 МВ х 12-57 и Коралл МВ х 12-88 демонстрируют наивысшую урожайность среди группы раннеспелых тесткроссов. Стандартный для этой группы - гибрид Краснодарский 194 МВ показал стабильные, но более низкие результаты.

Для понимания изменений влажности зерна среди различных гибридов за три года исследований в раннеспелой группе, был проведен детальный анализ (рисунок 16). Результаты показали, что гибриды Краснодарский 194 МВ ст. и Коралл МВ х 12-88 продемонстрировали наибольшую стабильность по влажности зерна. Эти гибриды отличались минимальной изменчивостью влажности в различных условиях каждого года, что свидетельствует об их устойчивости к колебаниям внешних факторов. Гибриды Кр7024 МВ х 12-57 и Кр16 МВ х 12-1 проявили наибольшую вариабельность влажности зерна. Это указывает на их высокую чувствительность к изменениям внешних условий, таким как климатические колебания и агротехнические практики. Такая изменчивость может негативно сказаться на стабильности урожайности и качестве зерна.

Эти данные подчеркивают важность выбора гибридов, демонстрирующих стабильные показатели влажности и урожайности зерна в различных условиях. Гибриды, как Краснодарский 194 МВ и Коралл МВ х 12-88, могут быть предпочтительными для селекционных программ, направленных на обеспечение надежных и предсказуемых результатов в различных агроклиматических зонах.

В то время как гибриды с высокой вариабельностью требуют дополнительного внимания к условиям их выращивания и могут потребовать специфических агротехнических приемов для достижения оптимальных показателей.

Рисунок 16 – Уборочная влажность зерна среди раннеспелой группы тесткроссов, 2021-2023 гг. (ФГБНУ «НЦЗ им. П.П. Лукьяненко»)

Данные по урожайности и влажности зерна, которые позволяют оценить стабильность и адаптивные качества среднеранних гибридов в условиях различных лет. Так, стандарт в опыте гибрид Краснодарский 291 АМВ продемонстрировал среднюю урожайность за три года в 7,23 т/га и среднюю уборочную влажность 18,6 %, с изменениями влажности от 16,9 % в 2021 году до 19,9 % в 2023 году. Гибрид Кр16 МВ х 12-92 имел среднюю урожайность 8,33 т/га и среднюю влажность 17,67 %, при этом влажность варьировалась от 16,7 % в 2021 году до 19,1 % в 2022 году, затем снизилась до 17,2 % в 2023 году, показывая небольшое стандартное отклонение и стабильные результаты.

Гибрид Кр16 МВ х 12-1 показал среднюю урожайность 8,07 т/га и среднюю влажность 17,6 %, с изменениями влажности от 15,5 % в 2021 году до 18,8 % в 2022 году и 18,5 % в 2023 году, что указывает на умеренную вариабельность (таблица 40). Коралл МВ х 12-24 имел среднюю урожайность 8,0 т/га и среднюю влажность 18,6 %, с изменениями влажности от 16,5 % в 2021 году до 20,0 % в 2023 году, что указывает на изменчивость показателей с умеренным стандартным отклонением. Гибридная комбинация Коралл МВ х12-3 показала среднюю урожайность 8,0 т/га и среднюю влажность 18,7 %, при этом влажность варьировалась от 16,5 % в 2021 году до 20,1 % в 2022 году и снизилась до 19,4 % в 2023 году, что свидетельствует о стабильности показателей с умеренным стандартным отклонением.

Таблица 40 - Агрономические показатели топовых среднеранних тесткроссов, 2021-2023 гг. (ФГБНУ «НЦЗ им. П.П. Лукьяненко»)

Название гибрида	Урожайность зерна, т/га			Уборочная влажность, %		
	2021 г.	2022 г.	2023 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.
Краснодарский 291 АМВ ст.	7,4	7,0	7,3	16,9	19,2	19,9
Кр16 МВ х 12-92	8,2	8,7	8,1	16,7	19,1	17,2
КР 16 МВ х 12-1	7,7	8,4	8,1	15,5	18,8	18,5
Коралл МВ х 12-24	7,7	8,5	7,8	16,5	19,3	20
Коралл МВ х12-3	8,0	8,1	7,9	16,5	20,1	19,4
Коралл МВ х 12-29	7,6	8,2	8,0	15,8	18,7	19,2
$НСР_{05}$	0,6	0,7	0,4	1,5	1,2	1,4

Гибрид Коралл МВ х 12-29 показал среднюю урожайность 7,93 т/га и среднюю влажность 17,9 %, с изменениями влажности от 15, 8 % в 2021 году до 18,7 % в 2022 году и 19,2 % в 2023 году, что указывает на стабильность показателей с умеренным стандартным отклонением. Данные по уборочной влажности гибридов Краснодарский 291 АМВ ст. и Кр16 МВ х 12-92 демонстрируют наиболее стабильные результаты (рисунок 17). Средняя влажность гибрида Краснодарский 291 АМВ ст. составила 18,7 %, а средняя влажность гибрида Кр16 МВ х 12-92 составила 17,7 % с небольшим стандартным отклонением. Эти гибриды показывают минимальные колебания влажности по годам, что свидетельствует об их устойчивости к внешним

Гибриды Кр7024 МВ х 12-57 и Кр16 МВ х 12-1 показали наибольшую вариабельность влажности зерна, что может указывать на их чувствительность к изменениям внешних условий. Средняя влажность гибрида Кр7024 МВ х 12-57 составила 18,5 % с значительным стандартным отклонением, а у Кр16 МВ х 12-1 средняя влажность составила 17,6 % с умеренным стандартным отклонением.

Рисунок 17 - Уборочная влажность зерна среди среднеранней группы тесткроссов, 2021-2023 гг. (ФГБНУ «НЦЗ им. П.П. Лукьяненко»)

Подводя итог по представленным результатам выше, можно сделать следующие выводы: лучший раннеспелый гибрид Кр7024 МВ х 12-57 продемонстрировал наивысшую урожайность среди всех тесткроссов раннеспелой группы, достигнув 9,1 т/га в 2023 году. Средняя урожайность гибрида за три года

составила 8,2 т/га, что значительно выше показателей стандарта Краснодарский 194 МВ, который имел среднюю урожайность 6,3 т/га. Уборочная влажность гибрида Кр7024 МВ х 12-57 оставалась относительно стабильной, варьируя от 13,9 % до 18,3 %, что также свидетельствует о его устойчивости к колебаниям внешних условий. Эти результаты подчеркивают, что гибрид Кр7024 МВ х 12-57 превосходит стандарт не только по урожайности, но и по стабильности показателей уборочной влажности. Лучший среднеранний гибрид Кр16 МВ х 12-92 показал наилучшие результаты среди группы среднеранних тесткроссов, достигнув средней урожайности за три года 8,3 т/га. В 2023 году урожайность составила 8,1 т/га. Влажность зерна варьировалась от 16,7 % в 2021 году до 19,1 % в 2022 году и снизилась до 17,2 % в 2023 году, что указывает на небольшое стандартное отклонение и стабильные результаты. В сравнении со стандартом группы, гибридом Краснодарский 291 АМВ, который имел среднюю урожайность 7,2 т/га и среднюю влажность 18,6 %, гибрид Кр16 МВ х 12-92 демонстрирует более высокие и стабильные показатели.

4.5 Оценка экологической пластичности и стабильности новых гибридов кукурузы

Создание гибридов кукурузы, обладающих высокой стабильностью урожайности вне зависимости от изменяющихся климатических условий, является ключевой задачей современной селекции. Для достижения этого, гибриды должны демонстрировать высокую экологическую пластичность, что подразумевает их способность поддерживать продуктивность в различных экологических условиях и снижать негативное влияние стрессовых факторов, таких как засуха, жара и патогены [31, 157].

Эти усилия важны для поддержания стабильных урожаев в условиях глобальных изменений климата, когда экстремальные погодные условия становятся все более частыми. Успешное создание таких гибридов зависит от тщательного отбора генетических линий и оценки их адаптивности к различным условиям выращивания. Исследования показывают, что генетическая

устойчивость и пластичность являются основными факторами, определяющими адаптивность гибридов к изменяющимся условиям окружающей среды [34].

Одним из важнейших показателей, подверженных значительной изменчивости в зависимости от года, зоны возделывания и погодных условий, является урожайность и уборочная влажность зерна кукурузы. Эти параметры напрямую отражают уровень адаптивности исследуемого материала и позволяют объективно оценить его продуктивность в различных агроэкологических условиях. В период с 2021 по 2023 год нами было проведено экологическое сортоиспытание новых тесткроссов, полученных в результате селекции, с целью оценки их адаптивности по признаку урожайности зерна.

В рамках работы испытания охватили разнообразные природно-климатические зоны, что обеспечило всестороннюю проверку пластичности генотипов. Опытные участки размещались на полях Национального центра зерна им. П.П. Лукьяненко (г. Краснодар), ССЦ «Отбор», Уральского НИИСХ (Свердловская область) и Перевозской опытной станции (Нижегородская область). Данные регионы существенно различаются по температурному режиму, уровню и распределению осадков, а также по типу почв, что позволило выявить генотипы с высокой стабильностью урожайности и хорошей адаптацией к различным условиям выращивания.

Экологический пункт "Отбор", расположенный в Кабардино-Балкарской Республике, характеризуется умеренно жарким климатом с суммой активных температур 3000–3200 °С, умеренным уровнем увлажнения и гидротермическим коэффициентом 0,9–1,2. Годовое количество осадков составляет 616 мм, из которых 417 мм выпадает в течение вегетационного периода.

В Уральском НИИСХ климат умеренно теплый и сухой, с частыми засухами. Осадков в вегетационный период выпадает 204 мм, что на 126 мм меньше среднего. Почвы темно-серые лесные тяжелосуглинистые.

На Перевозской опытной станции в Нижегородской области климат умеренно-континентальный, со среднегодовой температурой +2,5-3,5 °С и годовым

количеством осадков 400-450 мм. Почвы светло-серые среднесуглинистые, богатые перегноем и гумусом.

Самым благоприятным пунктом для испытаний оказался ССЦ «Отбор». Здесь были зафиксированы максимальные урожаи гибридов благодаря благоприятным климатическим условиям и хорошей почвенной структуре. Наименее благоприятным пунктом стал Уральский НИИСХ, где дефицит осадков и частые засухи негативно сказывались на урожайности кукурузы, несмотря на хорошие агрохимические показатели почвы.

Изучение адаптивности нового селекционного материала в нашей стране обладает давними традициями и включает в себя значительный вклад многих выдающихся ученых. Особое внимание в исследованиях уделяется пониманию экологической пластичности и стабильности сортов, что отражает среднюю реакцию гибридов на изменения условий окружающей среды. Согласно работам В.З. Пакудина и Л.М. Лопатиной, экологическая пластичность характеризуется способностью сорта или гибрида адаптироваться к изменяющимся условиям окружающей среды, а стабильность определяется степенью отклонения реальных данных от этой средней реакции в конкретных условиях [34].

Одной из ключевых стратегий улучшения селекционного материала является отбор гибридов и линий, демонстрирующих как высокую стабильность, так и способность адаптироваться к различным условиям выращивания. Для этого широко применяются параметрические модели, базирующиеся на линейном регрессионном анализе, такие как метод Эберхарта и Рассела. Этот метод позволяет не только оценить стабильность и пластичность гибридов, но и выявить наиболее перспективные из них для дальнейшего использования в селекционной практике [122, 132].

Таким образом, исследование адаптивных свойств и стабильности новых гибридов кукурузы является центральной задачей в селекции, направленной на повышение продуктивности и устойчивости к внешним стрессовым факторам. Эти аспекты особенно важны в условиях изменяющегося климата, когда повышенная

адаптивность сортов становится ключевым фактором обеспечения стабильности сельскохозяйственного производства.

Таблица 41 представляет результаты полевых испытаний урожайности зерна различных гибридов кукурузы при влажности 14 %, проведенных в период с 2021 по 2023 годы. Испытания охватывали несколько научных центров и экспериментальных станций, включая НЦЗ, ССЦ «Отбор», Уральский НИИСХ и опытную станцию «Перевозская». Эти исследования проводились в различных природно-климатических условиях, что позволяет сделать выводы о широком спектре адаптивных возможностей изучаемых гибридов. Гибрид Кр16 МВ х 12-92 проявил себя как один из наиболее стабильных и продуктивных по сравнению с раннеспелым стандартом Краснодарский 194 МВ.

Таблица 41 – Результаты испытаний по урожайности зерна тесткроссов кукурузы в разных регионах (2021-2023 гг.)

Гибрид	НЦЗ, 2021	НЦЗ, 2022	НЦЗ, 2023	ССЦ «Отбор», 2023	Уральский НИИСХ, 2023	Опытная станция «Перевозская», 2023	Среднее
Кр7024 МВ х 12-57	7,2	8,4	9,1	10,2	5,3	8,5	8,1
Кр16 МВ х 12-92	7,2	8,7	8,1	10,1	5,5	8,3	7,9
Кр16 МВ х 12-3	5,9	8,0	7,2	11,0	7,1	7,6	7,8
Кр16 МВ х 12-62	7,1	8,0	6,1	10,0	5,2	7,9	7,4
Кр16 МВ х 12-34	5,9	8,9	8,8	10,0	4,4	8,1	7,7
Кр16 МВ х 12-24	6,2	8,4	8,0	12,0	4,1	8,1	7,8
Кр16 МВ х 12-1	6,0	8,6	6,2	8,3	4,8	7,5	6,9
Кр16 МВ х 12-44	6,1	8,6	7,8	10,1	5,1	8,1	7,6
Кр16 МВ х 12-9	6,9	6,4	6,5	9,5	3,2	7,2	6,6
Кр16 МВ х 12-18	6,9	6,7	8,2	11,7	4,7	7,9	7,7
Кр16 МВ х 12-28	6,2	8,3	7,5	10,3	4,9	7,5	7,5
Коралл МВ х 12-66	7,5	8,7	9,6	8,7	4,5	8,8	7,9
Коралл МВ х 12-88	6,4	8,0	9,0	9,2	4,5	8,6	7,6
Коралл МВ х 12-24	6,7	8,5	7,8	7,6	5,1	8,3	7,3
Коралл МВ х 12-34	5,4	8,2	6,8	8,7	4,4	7,7	6,9
Коралл МВ х 12-29	5,7	8,7	7,8	10,2	3,2	8,0	7,3
Кр8653 МВ х 12-88	7,0	7,0	7,0	7,6	6,4	7,8	7,1

продолжение таблицы 41

Гибрид	НЦЗ, 2021	НЦЗ, 2022	НЦЗ, 2023	ССЦ «Отбор», 2023	Уральский НИИСХ, 2023	Опытная станция «Перевозская», 2023	Среднее
Кр8653 МВ х 12-94	6,9	6,7	8,1	7,6	7,8	7,7	7,5
Кр1330/6 х 12-27	6,9	6,2	5,9	9,6	4,4	7,4	6,7
Кр1330/6 х 12-62	7,0	6,7	4,0	6,7	3,8	7,1	5,8
Краснодарский194 МВ st.	4,0	6,4	7,0	7,6	6,1	6,9	6,3
Краснодарский 291 АМВ st.	6,2	7,6	7,8	9,3	1,5	6,8	6,5
Среднее по опыту	6,5	7,8	7,5	9,3	4,6	7,9	7,3
$НСР_{05}$	3,9	4,1	4,0	3,7	2,1	2,9	

Средняя урожайность данного гибрида составила 7,9 т/га, что значительно превышает урожайность стандарта, равную 6,3 т/га. Максимальная урожайность гибрида была зафиксирована в ССЦ «Отбор» в 2023 году и составила 10,1 т/га. В других испытательных пунктах урожайность также превышала или была сопоставима с результатами стандарта, что подчеркивает высокую адаптивность и продуктивность гибрида Кр16 МВ х 12-92.

Гибрид Кр7024 МВ х 12-57 также продемонстрировал отличные результаты, превзойдя среднеранний стандарт Краснодарский 291 АМВ. Средняя урожайность этого гибрида составила 8,1 т/га, что существенно выше урожайности стандарта, равной 6,5 т/га. Наивысшая урожайность гибрида Кр7024 МВ х 12-57 была зафиксирована в ССЦ «Отбор» в 2023 году и составила 10,2 т/га. В большинстве испытательных пунктов урожайность данного гибрида значительно превышала средние показатели, что подтверждает его высокий потенциал и пригодность для выращивания в различных агроэкологических условиях.

Таким образом, раннеспелый тесткросс Кр16 МВ х 12-92 и среднеранний тесткросс Кр7024 МВ х 12-57 продемонстрировали высокие показатели продуктивности и адаптивности в различных природно-климатических зонах. Эти гибриды показывают значительный потенциал и обладают перспективой для широкого внедрения в сельскохозяйственное производство, что подтверждает их ценность для дальнейшего использования и селекции.

Показатели адаптивности новых гибридов, прошедших экологические испытания в различных регионах, представлены в таблице 42. Для оценки экологической пластичности и стабильности различных гибридов кукурузы мы использовали параметры: ошибка (Sbi), критерий значимости отклонения от 1 (t) и коэффициент адекватности (B). Ошибка (Sbi) показывает среднеквадратичное отклонение от регрессии и отражает степень соответствия урожайности гибрида ожидаемой линии регрессии. Чем меньше значение ошибки, тем стабильнее гибрид. Критерий значимости отклонения от 1 (t) используется для проверки гипотезы о том, что коэффициент регрессии (bi) равен 1. Значение t вычисляется

как (bi−1)/Sbi(bi - 1) / Sbi(bi−1)/Sbi. Если значение t значительно отличается от 0, это означает, что bi существенно отличается от 1.

Таблица 42 – Показатели экологической пластичности и стабильности урожайности раннеспелых гибридов кукурузы (2021-2023 гг.)

Название гибрида	Урожай-ность, т/га	Пластич-ность, bi	Стабиль-ность, Sdi^2	Ошибка (Sbi)	Критерий значимости (t)	Коэффи-циент адеват-ности (B)
Краснодарский 194 MB st.	6,1	0,5	195,9	14,00	-0,036	0,5
Краснодарский 291 AMB st.	6,9	1,4	777,1	27,88	0,014	1,0
(0,9<b<1,1) - очень высокая фенотипическая стабильность						
Коралл MB x 12-66	7,6	1,0	452,6	21,27	0,000	1,0
Коралл MB x 12-34	6,6	1,0	335,4	18,32	0,000	1,0
Кр16 MB x 12-1	6,5	0,9	316,2	17,78	-0,006	0,9
1,1<b<1,2 - интенсивная фенотипически высокостабильная форма						
Кр16 MB x 12-3	7,4	1,2	531,2	23,05	0,009	0,8
Кр16 MB x 12-28	7,0	1,1	409,4	20,23	0,005	0,8
Кр16 MB x 12-44	7,2	1,1	407,4	20,18	0,005	1,0
1,2<b<1,4 - интенсивная форма с пониженной фенотипической стабильностью						
Кр7024 MB x 12-57	7,6	1,4	105,3	10,26	0,039	1,0
Кр16 MB x 12-92	7,7	1,3	628,1	25,07	0,012	0,9
Кр16 MB x 12-24	7,4	1,6	845,1	29,06	0,021	0,8
Среднее по опыту	6,9	-				
$НСР_{05}$	0,3					

Коэффициент адекватности (B) показывает соотношение фактической и ожидаемой урожайности и часто используется как коэффициент пластичности. Значение bi отражает степень изменения урожайности гибрида при изменении условий. Если bi меньше 1, гибрид менее чувствителен к изменениям условий, если больше 1 – более чувствителен.

Гибрид Краснодарский194 МВ показал урожайность 6,1 т/га и коэффициент пластичности 0,5, что указывает на его низкую чувствительность к изменениям условий и высокую стабильность. Однако высокая ошибка (14.00) свидетельствует о значительном отклонении от ожидаемой модели. Краснодарский 291 АМВ с урожайностью 6,9 т/га и коэффициентом пластичности 1,4 демонстрирует высокую чувствительность к изменениям условий и низкую стабильность, что подтверждается высокой ошибкой (27, 88).

Гибриды Коралл МВ х 12-66 и Коралл МВ х 12-34 с коэффициентом пластичности 1,0 показывают среднюю чувствительность и стабильность. Их ошибки составляют 21,27 и 18,32 соответственно, что говорит о умеренной стабильности. Гибрид Кр16 МВ х 12-1 с коэффициентом пластичности 0,9 и ошибкой 17,78 также демонстрирует умеренную чувствительность и хорошую стабильность.

Гибриды Кр16 МВ х 12-3, Кр16 МВ х 12-28 и Кр16 МВ х 12-44, с коэффициентами пластичности 1,2, 1,1 и 1,1 соответственно, показывают небольшую повышенную чувствительность к изменениям условий. Их ошибки и уровни стабильности умеренные, что делает их хорошим выбором для условий с переменными факторами.

Гибриды Кр7024 МВ х 12-57 и Кр16 МВ х 12-92 демонстрируют высокую урожайность (7,6 и 7,7 т/га соответственно) и высокие коэффициенты пластичности (1,4 и 1,3). Однако их высокие ошибки (10.26 и 25.07) указывают на низкую стабильность, что делает их менее подходящими для условий с резкими изменениями. Гибрид Кр16 МВ х 12-24 с коэффициентом пластичности 1,6 и ошибкой 29,06 показывает высокую чувствительность к изменениям условий, что может быть преимуществом в благоприятных условиях, но вызывает нестабильность при изменении условий.

В данной главе были рассмотрены результаты исследований по оценке экологической пластичности и стабильности новых гибридов кукурузы в различных почвенно-климатических условиях. В ходе полевых испытаний различных гибридов в 2021-2023 годах были выявлены как гибриды с высокой

продуктивностью и стабильностью, так и гибриды с повышенной чувствительностью к изменениям условий выращивания. Анализ параметров пластичности и стабильности показал, что некоторые гибриды, такие как Кр16 МВ х 12-92 и Кр7024 МВ х 12-57, демонстрируют высокую урожайность, но при этом их стабильность снижена, что ограничивает их применение в условиях резких изменений окружающей среды. В то же время, гибриды с умеренными показателями пластичности и стабильности, такие как Коралл МВ х 12-66 и Коралл МВ х 12-34, представляются более сбалансированными вариантами для устойчивого сельскохозяйственного производства.

4.6 Экономическая оценка эффективности внедрения новых гибридов в производство

Эффективное использование трудовых, земельных, водных и материальных ресурсов является ключевым направлением для повышения продуктивности в аграрной промышленности. Создание высокоурожайных гибридов основных сельскохозяйственных культур и их адаптация к региональным условиям являются основными задачами селекционной работы. Отечественные гибриды кукурузы часто отличаются по стоимости семян от иностранных аналогов, что связано с различной себестоимостью производства [77].

Многолетние данные из Краснодарского края показывают, что средняя урожайность раннеспелых гибридов составляет 4,5 т/га, среднеранних — 6,0 т/га, а среднеспелых и позднеспелых — 7,5 т/га. Хотя раннеспелые гибриды иногда дают на 10-20 % меньший урожай, они имеют преимущество в возможности освобождения полей под озимые посевы уже в августе. Основным недостатком позднеспелых гибридов является высокая влажность зерна при сборе, что увеличивает затраты на досушивание [112].

В ходе нашего исследования были определены два наиболее продуктивных гибрида по показателю урожайности зерна: раннеспелый Кр16 МВ х 12-92 и среднеранний Кр7024 МВ х 12-57. На основании полученных данных по урожайности и влажности зерна при уборке была произведена экономическая

оценка этих гибридов. В качестве контрольных образцов использовались гибриды Краснодарский 194 МВ и Краснодарский 291 АМВ.

Экономическая эффективность исследуемых гибридов была рассчитана с использованием методических рекомендаций по оценке экономической эффективности научных разработок в земледелии. Расчеты основывались на формуле, которая включает затраты на посев, уход, уборку и хранение семян, а также на снижение затрат на сушку благодаря оптимальной уборочной влажности зерна [44].

Результаты расчетов представлены в таблице 43, где указаны данные по урожайности, уборочной влажности, затраты на сушку и общая экономическая эффективность каждого. В данном исследовании представлены данные по экономическому потенциалу трех гибридов кукурузы: Краснодарский 194 МВ (стандарт), Кр7024 МВ х 12-57 и Кр16 МВ х 12-24. Рассмотрим ключевые показатели каждого из них.

Таблица 43 - Экономический потенциал новых раннеспелых гибридов кукурузы, 2021-2023 гг. (ФГБНУ «НЦЗ им. П.П. Лукьяненко»)

Показатель	Краснодарский 194 МВ (стандарт)	Кр7024 МВ х 12-57	Кр16 МВ х 12-24
Урожайность, т/га	6,1	8,2	7,5
Уборочная влажность, %	16,7	16,6	16,8
Цена продажи 1 т зерна, руб.	12000	12000	12000
Производственные затраты с 1 га, руб.	49481,5	50704	50688
Чистый доход с 1 га, руб.	23838,5	40496	39312
Уровень рентабельности, %	48,2	79,8	77,5

Наибольшую урожайность показал гибрид Кр7024 МВ х 12-57 с показателем 8,2 т/га, что выше стандарта на 1,1 т/га. Гибрид Кр16 МВ х 12-24 также превзошел стандарт, показав урожайность 7,5 т/га. Таким образом, оба новых гибрида обеспечивают более высокий уровень производства зерна по сравнению со стандартом.

Все гибриды имеют схожую уборочную влажность, с небольшими колебаниями. Наименьшую влажность показал гибрид Кр7024 МВ х 12-57 (16,6 %), тогда как у стандартного гибрида этот показатель составил 16,7 %. Уборочная влажность гибрида Кр16 МВ х 12-24 составила 16,8 %. Эти значения свидетельствуют о том, что все три гибрида находятся в пределах допустимой нормы, однако небольшие различия могут повлиять на затраты на сушку.

Цена продажи зерна для всех гибридов одинакова и составляет 12000 руб./т. Это позволяет проводить сравнение экономической эффективности без учета различий в ценах на продукцию. Производственные затраты на 1 га для всех гибридов различаются. Наибольшие затраты отмечены у гибрида Кр7024 МВ х 12-57 (50704 руб./га), что выше затрат на стандартный гибрид на 1222,5 руб. Затраты на гибрид Кр16 МВ х 12-24 составляют 50688 руб./га, что также выше затрат на стандарт. Такие различия обусловлены дополнительными затратами на агротехнические мероприятия и обработку.

Чистый доход с 1 га для гибрида Кр7024 МВ х 12-57 составил 40496 руб., что значительно выше дохода от стандартного гибрида на 16657,5 руб. Гибрид Кр16 МВ х 12-24 также показал высокий чистый доход в размере 39312 руб./га, что выше стандарта на 15473,5 руб. Таким образом, оба новых гибрида обеспечивают значительно больший чистый доход по сравнению со стандартом. Наибольшую рентабельность показал гибрид Кр7024 МВ х 12-57 с уровнем 79,8 %, что значительно превосходит стандарт (48,2 %). Гибрид Кр16 МВ х 12-24 также продемонстрировал высокий уровень рентабельности (77,5 %). Эти показатели свидетельствуют о высокой экономической эффективности новых гибридов.

На основании проведенного анализа можно сделать вывод, что оба новых гибрида кукурузы, Кр7024 МВ х 12-57 и Кр16 МВ х 12-24, превзошли стандартный гибрид Краснодарский 194 МВ по всем основным экономическим показателям. Наиболее высокий экономический потенциал показал гибрид Кр7024 МВ х 12-57, который обеспечил наибольшую урожайность, чистый доход и уровень рентабельности. Таким образом, этот гибрид является наиболее перспективным для внедрения в сельскохозяйственное производство.

В нашем исследовании была проведена всесторонняя оценка и анализ экономической эффективности выращивания различных гибридов кукурузы среднеранней группы спелости. Были детально рассмотрены несколько ключевых показателей, включая урожайность, влажность при уборке, производственные затраты и чистый доход, чтобы определить наилучшие варианты для сельскохозяйственного производства. В качестве контрольного образца для сравнения был выбран гибрид Краснодарский 291 АМВ, широко признанный стандартом в отрасли (таблица 44).

По показателю урожайности лидирует гибрид Кр16 МВ х 12-92 с результатом 8,3 т/га. Гибрид Коралл МВ х 12-29 показал урожайность 7,9 т/га, что также превосходит стандартный гибрид Краснодарский 291 АМВ с урожайностью 7,2 т/га. Таким образом, новые гибриды показывают более высокие показатели урожайности по сравнению с контрольным вариантом. Уборочная влажность зерна является важным фактором, влияющим на затраты на досушивание. Наименьший показатель влажности был зафиксирован у гибрида Кр16 МВ х 12-92 (17,7 %), что ниже, чем у Коралл МВ х 12-29 (17,9 %) и стандартного гибрида Краснодарский 291 АМВ (18,7 %). Снижение влажности при уборке позволяет уменьшить затраты на досушивание и, соответственно, производственные затраты.

Таблица 44 - Экономический потенциал новых среднеранних гибридов кукурузы, 2021-2023 гг. (ФГБНУ «НЦЗ им. П.П. Лукьяненко»)

Показатель	Краснодарский 291 АМВ (стандарт)	Кр16 МВ х 12-92	Коралл МВ х 12-29
Урожайность, т/га	7,2	8,3	7,9
Уборочная влажность, %	18,7	17,7	17,9
Цена продажи 1 т зерна, руб.	12000	12000	12000
Производственные затраты с 1 га, руб.	61908	60343	60393
Чистый доход с 1 га, руб.	24492	39257	34407
Уровень рентабельности, %	39,6	65,0	56,9

Цена продажи зерна для всех гибридов установлена одинаковой и составляет 12000 руб. за тонну, что позволяет объективно сравнивать экономическую эффективность каждого гибрида. Производственные затраты на 1 га для

стандартного гибрида Краснодарский 291 АМВ составили 61908 руб., что выше, чем у гибридов Кр16 МВ х 12-92 (60343 руб.) и Коралл МВ х 12-29 (60393 руб.). Причина более высоких затрат на производство у стандартного гибрида Краснодарский 291 АМВ заключается в более высокой уборочной влажности зерна. У Краснодарского 291 АМВ влажность составляет 18,7 %, тогда как у Кр16 МВ х 12-92 - 17,7 %, а у Коралл МВ х 12-29 - 17,9 %.

Высокая влажность требует дополнительных затрат на досушивание зерна, что увеличивает общие производственные затраты. Учитывая вышеуказанный уровень влажности, гибрид Краснодарский 291 АМВ требует большего количества энергии и времени для сушки зерна, что, в свою очередь, приводит к увеличению затрат на топливо и использование сушильного оборудования. Чистый доход с 1 га был наибольшим у гибрида Кр16 МВ х 12-92 и составил 39257 руб., что значительно выше по сравнению с Коралл МВ х 12-29 (34407 руб.) и Краснодарский 291 АМВ (24492 руб.). Это указывает на более высокую экономическую эффективность новых гибридов по сравнению с контрольным вариантом. Уровень рентабельности, который показывает эффективность вложений, был самым высоким у гибрида Кр16 МВ х 12-92 (65,0 %), за ним следует Коралл МВ х 12-29 (56,9 %) и Краснодарский 291 АМВ (39,6 %). Высокий уровень рентабельности новых гибридов свидетельствует об их экономической привлекательности для сельскохозяйственного производства.

На основе проведенного анализа можно сделать вывод, что новые среднеранние гибриды кукурузы Кр16 МВ х 12-92 и Коралл МВ х 12-29 обладают более высоким экономическим потенциалом по сравнению со стандартным гибридом Краснодарский 291 АМВ. Они демонстрируют лучшую урожайность, более низкую влажность при уборке, что приводит к снижению производственных затрат, и, как следствие, более высокий чистый доход и уровень рентабельности.

В результате проведенного исследования были определены наиболее продуктивные и экономически эффективные гибриды кукурузы раннеспелой и среднеранней группы спелости. Лучший раннеспелый гибрид: Кр7024 МВ х 12-57, этот вариант показал наибольшую урожайность (7,6 т/га) и чистый доход (40496

руб./га), а также самый высокий уровень рентабельности (79,8 %). Это делает его наиболее привлекательным для внедрения в сельскохозяйственное производство среди раннеспелых гибридов. Лучший среднеранний гибрид: Кр16 МВ х 12-92, этот вариант превзошел стандарт по всем ключевым показателям, продемонстрировав урожайность 8,3 т/га, чистый доход 39257 руб./га и уровень рентабельности 65,0 %. Таким образом, внедрение новых гибридов Кр7024 МВ х 12-57 и Кр16 МВ х 12-92 в производство позволит существенно повысить экономическую эффективность сельскохозяйственных предприятий, снизив затраты и увеличив доходность.

5 ДИНАМИКА ПРОЦЕССОВ ВЛАГООТДАЧИ ЗЕРНА КУКУРУЗЫ В ПРОЦЕССЕ СОЗРЕВАНИЯ

Изучение динамики влагоотдачи зерна кукурузы является важным аспектом повышения эффективности селекционных программ и улучшения качества гибридов. Влажность зерна изменяется на протяжении всего периода созревания под влиянием множества факторов, включая количество осадков, температуру воздуха, влажность почвы и другие климатические условия. В данной работе представлены результаты многолетних наблюдений за динамикой влагоотдачи зерна различных гибридов кукурузы в условиях изменяющихся климатических факторов [90, 127].

Целью данного исследования является анализ и оценка динамики влагоотдачи зерна кукурузы на разных стадиях созревания, выявление закономерностей и факторов, влияющих на эти процессы. Это позволит разработать рекомендации по оптимизации агротехнических мероприятий для повышения урожайности и качества зерна кукурузы в различных климатических условиях. Данные, представленные в этой работе, включают показатели влажности зерна на разных этапах созревания, а также информацию о количестве осадков за соответствующие периоды. Анализ этих данных позволит определить влияние климатических условий на влагоотдачу и выявить наиболее устойчивые к изменению погодных условий гибриды кукурузы.

Рисунок 18 состоит из двух частей: верхний график показывает динамику влагоотдачи зерна, а нижний график — урожайность для четырех гибридов кукурузы. Для гибрида Краснодарский 194 МВ влагоотдача зерна начинается с 42,6 % на 35-й день и постепенно снижается до 16,6 % к 55-му дню. Этот гибрид демонстрирует наименьшее значение влагоотдачи среди всех представленных гибридов уже на 35-й день, что свидетельствует о его быстрой способности терять влагу. Гибрид Кр16 МВ ^{x} 12-24 начинается с 41,7 % на 35-й день, достигает 35,2 % на 40-й день и затем постепенно снижает влагоотдачу до 16,8 % к 55-му дню.

Рисунок 18 – Исследование влагоотдачи зерна раннеспелых тесткроссов, 2021-2023 гг. (ФГБНУ «НЦЗ им. П.П. Лукьяненко»)

Этот гибрид показывает высокую влагоотдачу на 40-й день, но затем быстро теряет влагу. Он имеет показатель влажность зерна 40,0 % на 35-й день, затем значение снижается до 31,5 % на 40-й день и далее постепенно падает до 16,6 % к 55-му дню. Этот гибрид также демонстрирует значительное снижение влагоотдачи после 40-го дня. Гибрид Кр1330-6 МВ × 12-34 начинается с самой высокой влагоотдачи — 44,5 % на 35-й день, которая затем снижается до 32,4 % на 40-й день

и достигает 17,2 % к 55-му дню. Этот гибрид демонстрирует самый высокий начальный уровень влагоотдачи, но затем довольно быстро теряет влагу.

Гибрид Краснодарский 194 МВ показывает урожайность 6,1 т/га, что указывает на достаточно высокую продуктивность этого гибрида.

Гибрид Кр16 МВ ˣ 12-24 имеет самую высокую урожайность среди всех представленных гибридов — 7,6 т/га, что делает его привлекательным выбором для выращивания. Гибрид Кр7024 МВ ˣ 12-57 демонстрирует урожайность 7,4 т/га, что также является высоким показателем. Гибрид Кр1330-6 МВ ˣ 12-34 имеет урожайность 6,8 т/га, что также является хорошим результатом.

Анализ графика показывает, что гибрид "Краснодарский 194 МВ" обладает низкой влагоотдачей, что может быть полезным в условиях, требующих быстрого высыхания зерна. Гибриды Кр16 МВ ˣ 12-24 и Кр7024 МВ ˣ 12-57 показывают высокую урожайность, что делает их привлекательными для производителей. Гибрид Кр1330-6 МВ ˣ 12-34 сочетает в себе высокую начальную влагоотдачу и хорошую урожайность, что также делает его достойным выбора.

Рисунок 19 для среднеранней группы гибридов кукурузы демонстрирует динамику влагоотдачи зерна и урожайность для четырех гибридов: Краснодарский 291 АМВ, Кр16 МВ ˣ 12-92, Коралл МВ ˣ 12-28 и Кр8653 МВ ˣ 12-28. Для гибрида Краснодарский 291 АМВ влагоотдача зерна начинается с 45,0 % на 35-й день и постепенно снижается до 18,7 % к 55-му дню. Этот гибрид демонстрирует высокую начальную влагоотдачу, но затем достаточно быстро теряет влагу. Гибрид Кр16 МВ ˣ 12-92 начинается с 40,2% на 35-й день и постепенно снижается до 17,7 % к 55-му дню, показывая относительно стабильную влагоотдачу, которая остается немного выше, чем у Краснодарского 291 АМВ на протяжении всего периода. Гибрид Коралл МВ ˣ 12-28 имеет 45,0 % влагоотдачи на 35-й день, затем значение снижается до 17,9 % к 55-му дню. Этот гибрид также демонстрирует высокую начальную влагоотдачу, но затем теряет влагу быстрее, чем Кр16 МВ ˣ 12-92. Гибрид Кр8653 МВ ˣ 12-28 начинается с 45,0% на 35-й день и снижается до 18,4 % к 55-му дню, демонстрируя динамику влагоотдачи, похожую на Коралл МВ ˣ 12-28. Гибрид Краснодарский 291 АМВ показывает урожайность

7,2 т/га, что является наименьшим показателем среди всех представленных гибридов

Рисунок 19 – Исследование влагоотдачи зерна среднеранних тесткроссов, 2021-2023 гг. (ФГБНУ «НЦЗ им. П.П. Лукьяненко»)

Гибрид Кр16 МВ ˣ LK 12-92 имеет самую высокую урожайность — 8,3 т/га, что делает его наиболее продуктивным среди исследуемых гибридов. Гибрид Коралл МВ ˣ LK 12-28 демонстрирует урожайность 7,9 т/га, что является хорошим результатом. Гибрид Кр8653 МВ ˣ LK 12-28 имеет урожайность 7,5 т/га, что также является значительным результатом, но немного ниже по сравнению с Кр16 МВ ˣ LK 12-92 и Коралл МВ ˣ LK12-28.

Анализ показывает, что гибрид Краснодарский 291 АМВ обладает одним из самых высоких начальных уровней влагоотдачи, однако его урожайность составляет 7,2 т/га, что значительно ниже по сравнению с другими гибридами. Этот

гибрид теряет влагу быстрее, что может быть преимуществом в условиях, требующих быстрого высыхания зерна, но его низкая урожайность снижает его общую привлекательность. Гибрид Кр16 MB x LK 12-92 показывает высокую стабильную влагоотдачу и наивысшую урожайность среди всех представленных гибридов, что делает его наиболее привлекательным для производителей. Гибриды Коралл MB x LK 12-28 и Кр8653 MB x LK 12-28 также демонстрируют хорошие результаты по влагоотдаче и урожайности.

Линия Кр714 (стандарт) демонстрирует начальную влагоотдачу 39,5% на 30-й день, которая постепенно снижается до 13,7 % к 50-му дню (рисунок 20). В то же время, рекомбинант LK 12-24 показывает начальную влагоотдачу 42,0 % на 30-й день, которая уменьшается до 13,9 % к 50-му дню. Несмотря на то, что у LK 12-24 начальная влагоотдача выше, к 50-му дню она становится немного ниже, чем у линии Кр714 (стандарт). Причина более низкой влагоотдачи у рекомбинанта LK 12-24 может быть связана с его физическими параметрами. У LK 12-24 диаметр стержня составляет 2,2 см, что несколько больше, чем у Кр714 стандарт (2,0 см).

Более крупный диаметр стержня может способствовать более эффективной транспортировке и испарению влаги. Кроме того, рекомбинант LK 12-24 имеет меньшее количество оберток (5 против 6 у Кр714), что может также способствовать более быстрому испарению влаги. Линия Кр640 (стандарт) показывает начальную влагоотдачу 45,0 % на 30-й день, которая снижается до 18,3 % к 50-му дню. В то время как рекомбинант LK 12-92 демонстрирует начальную влагоотдачу 44,0 % на 30-й день, которая уменьшается до 15,4 % к 50-му дню. Несмотря на схожие начальные значения влагоотдачи, к 50-му дню влагоотдача у рекомбинанта LK12-92 значительно ниже, чем у Кр640 стандарт.

Причина более низкой влагоотдачи у рекомбинанта LK12-92 может быть связана с его физическими параметрами. У LK 12-92 диаметр стержня составляет 2,5 см, что немного меньше, чем у Кр 640 (2,8 см). Несмотря на меньший диаметр стержня, LK 12-92 может иметь более эффективные механизмы транспортировки и испарения влаги. Кроме того, LK 12-92 имеет меньшее количество оберток (7 против 9 у Кр640), что также может способствовать более быстрому испарению влаги.

Рисунок 20 – Характеристика влагоотдачи рекомбинантов, 2021-2023 гг. (ФГБНУ «НЦЗ им. П.П. Лукьяненко»)

Анализ показывает, что на влагоотдачу зерна влияют несколько ключевых параметров:

1. Диаметр стержня**:** более крупный диаметр стержня может способствовать более эффективной транспортировке и испарению влаги, что наблюдается у рекомбинанта LK 12-24 по сравнению с линией Кр714.

2. Количество оберток**:** меньшее количество оберток может способствовать более быстрому испарению влаги, что видно у LK 12-24 и LK 12-92 по сравнению с их стандартами.

3. Длина зерновки**:** длина зерновки также может играть роль, в данном анализе ее влияние не было столь явно выражено.

В целом, рекомбинанты LK 12-24 и LK 12-92 демонстрируют более низкую влагоотдачу к 50-му дню по сравнению с их стандартами, что может быть связано с физическими параметрами, такими как диаметр стержня и количество оберток. Эти факторы могут играть ключевую роль при выборе линий для селекции, способствуя более эффективному испарению влаги и ускоренной сушке зерна.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В результате рекуррентной селекции из синтетической популяции гетерозисной плазмы Iodent, было выделено 145 рекомбинантов второго самоопыления, прошедшие испытания в 2021–2023 годах. В ходе сортоиспытаний и экологических исследований выделено 20 лучших рекомбинантов, среди которых особо перспективными оказались рекомбинанты LK 12-92, LK 12-24, LK 12-57, LK 12-3, LK 12-28. Эти варианты целесообразно использовать во втором цикле рекуррентного отбора.

2. Выделены рекомбинанты кукурузы с высокими показателями ОКС СКС, за три года исследования:

- по урожайности зерна рекомбинанты LK12-88, LK12-18 и LK12-24 продемонстрировали высокие значения ОКС (6,8–8,7) и среднюю урожайность 7,0–8,3 т/га, рекомбинанты LK12-92 и LK12-57 показали наименьшую изменчивость СКС (σ^2Si 16,6–70,8), обеспечивая стабильную продуктивность;

-по уборочной влажности зерна рекомбинанты LK12-88 (-4,2), LK12-61 (-3,4), LK12-57 (-3,8), LK12-24 (-3,5) и LK12-94 (-2,2) показали устойчиво низкие значения ОКС и высокую адаптивность в различных условиях. Наибольшее снижение влажности отмечено у LK12-57 (-6,8 в 2023 г.) и LK12-24 (-6,3 в 2023 г.), которые являются наиболее перспективными для селекции их целесообразно использовать в гибридных селекционных программах по кукурузе.

3. Расчет коэффициентов корреляции в раннеспелой и среднеранней группах у самоопыленных рекомбинантов кукурузы показал, что урожайность кукурузы тесно связана с массой початка (0,70–0,75) и массой зерна (0,71–0,75), а также с количеством рядов зерен (0,30–0,55) и массой 1000 зерен (0,40–0,47). Диаметр и длина початка влияют на продуктивность (0,36–0,67), а высота растений и початков (0,19–0,29) важны для адаптации. Это обеспечивает возможность дальнейшего улучшения нового исходного материала через селекцию, основанную на отборе по данным элементам структуры урожайности.

4. Раннеспелый гибрид Кр7024 МВ х LK12-57 продемонстрировал наивысшую урожайность среди всех тесткроссов раннеспелой группы, достигнув 9,1 т/га в 2023 году и среднюю урожайность 8,2 т/га за три года, что значительно выше стандарта Краснодарский 194 МВ (6,3 т/га). Уборочная влажность гибрида варьировала от 13,9 % до 18,3 %, демонстрируя устойчивость к внешним условиям. Лучший среднеранний гибрид Кр16 МВ х 12-92 показал среднюю урожайность 8,33 т/га за три года и 8,1 т/га в 2023 году, превосходя стандарт Краснодарский 291 АМВ (7,23 т/га).

5. Исследование новых рекомбинантов выявило материал с продолжительным накоплением сухого вещества и быстрой влагоотдачей при созревании, что ценно для селекции высокоурожайных гибридов с эффективной потерей влаги зерном. Образцы LK12-57, LK12-92 и LK12-93, характеризующиеся быстрой потерей влаги зерном, будут включены во второй цикл рекуррентного отбора.

6. При проведении экологического сортоиспытания дана полная характеристика новым тесткроссам по норме их реакции на изменения условий среды, и выявлены общие закономерности формирования их урожайности. Выделены высокопластичные гибридные комбинации интенсивного типа: Кр7024 МВ х LK 12-57, Кр16 МВ х LK 12-92 отличающиеся высокой урожайностью зерна и стабильностью ее проявления в различных экологических условиях выращивания.

7. В результаты анализа экономической эффективности выращивания новых гибридов было выявлено, что раннеспелый гибрид: Кр7024 МВ х LK12-57, показал наибольшую урожайность (7,6 т/га) и чистый доход (40496 руб./га), а также самый высокий уровень рентабельности (79,8 %). Лучший среднеранний гибрид: Кр16 МВ х LK 12-92, этот вариант превзошел стандарт по всем ключевым показателям, продемонстрировав урожайность 8,3 т/га, чистый доход 39257 руб./га и уровень рентабельности 65,0 %.

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ДЛЯ СЕЛЕКЦИИ

1. Выделившиеся за период изучения рекомбинанты LK 12-92, LK 12-24, LK 12-57, LK 12-3, LK 12-28, LK 12-34, LK 12-18, LK 12-9, включить во второй цикл рекуррентного отбора.

2. Передать в конкурсное сортоиспытание отдела селекции и семеноводства кукурузы высокоурожайные раннеспелые и среднеранние гибриды: Кр7024 MB x LK12-57, Кр16 MB x LK 12-92.

3. Включить рекомбинанты с быстрой отдачей влаги (LK 12-92, LK 12-24, LK 12-57, LK 12-3, LK 12-28, LK 12-34, LK 12-18, LK 12-9) в программы отдела селекции и семеноводства кукурузы по созданию гибридов с пониженной уборочной влажностью зерна.

4. Включить рекомбинанты LK12-92, LK12-24, LK12-57 и LK12-3 в селекционную программу отдела селекции и семеноводства кукурузы по созданию стерильных аналогов материнских форм и созданию восстановителей фертильности отцовских форм.

ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Изучение генетических механизмов, влияющих на раннеспелость и снижение влажности зерна, применение молекулярно-биологических методов для идентификации маркеров, связанных с комбинационной способностью и продуктивностью, а также использование гаплоидных технологий позволит ускорить создание новых гетерозисных гибридов на основе коллекции линий и гибридов, разработанных автором.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агроклиматический обзор за 2019–2020 сельскохозяйственный год по Краснодарскому краю. – Краснодар : КубГАУ. – 2021. – С. 3–17.

2. Агроклиматический обзор за 2020–2021 сельскохозяйственный год по Краснодарскому краю. – Краснодар : КубГАУ. – 2022. – С. 2–19.

3. Агроклиматический обзор за 2021–2022 сельскохозяйственный год по Краснодарскому краю. – Краснодар : КубГАУ. – 2023. – С. 3–19.

4. Анищенко А. Н. Проблемы обеспечения продовольственной безопасности России в условиях глобальных вызовов и угроз / А. Н. Анищенко // Проблемы рыночной экономики. – 2021. – № 3. – С. 131–147.

5. Артамонова И. С. Россия на мировом рынке зерна: роль и перспективы / И. С. Артамонова, Е. А. Казазян, Е. В. Худа // Журнал экономики и бизнеса. – 2022. – Т. 5–1 (87). – С. 49–52.

6. Ахметов Ш. И. Продуктивность гибридов кукурузы селекции компании «Сингента» в условиях юга Нечерноземья / Ш. И. Ахметов, П. В. Иванцов, М. А. Депутатов // Вестник Ульяновской ГСХА. – 2014. – № 3 (27). – С. 6–10.

7. Балансы продовольственных ресурсов [Электронный ресурс] // Федеральная служба государственной статистики. – Режим доступа: https://rosstat.–gov.ru/enterprise_economy# (дата обращения: 04.04.2024).

8. Мониторинг антропогенного воздействия на почвы предгорной зоны Кабардино-Балкарской Республики / С. М. Бесланеев, В. И. Кумахов, А. В. Дохов [и др.] // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В. М. Кокова. – 2013. – № 1 (1). – С. 5–8.

9. Богдан П. М. Продуктивность гибридов кукурузы отечественной селекции в условиях Приморского края / П. М. Богдан, И. Н. Даниленко, Н. А. Красковская // Дальневосточный аграрный вестник. – 2023. – Т. 17, № 3. – С. 5–13.

10. Бойко В. Н. Исходный материал для гибридной селекции кукурузы на многопочатковость из коллекции ВИР / В. Н. Бойко, Э. Б. Хатефов // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. – 2021. – Т. 182, № 4. – С. 27–35.

11. Варламов Д. В. Отбор новых самоопыленных линий кукурузы для селекции раннеспелых гибридов / Д. В. Варламов // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2016. – № 115. – С. 379–390.

12. Волгин В. В. Рекуррентный отбор в селекции растений (обзор) / В. В. Волгин // Масличные культуры. – 2012. – № 1 (150). – С. 161–171.

13. Габдрашитов Р. Р. Состояние и прогноз развития мирового рынка зерна / Р. Р. Габдрашитов // Современная экономика: проблемы, пути решения, перспективы : материалы VIII Всерос. науч.-практ. конф. Самара, 25 февраля 2021 г. – Кинель : СамГАУ, 2021. – С. 15–18.

14. Галговская Л. А. Комбинационная способность новых инбредных линий кукурузы селекции ВНИИК / Л. А. Галговская, О. В. Теркина, А. Н. Романова // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. – 2023. – № 6 (116). – С. 264–269.

15. Галговская Л. А. Гибриды кукурузы для предгорной зоны Ставропольского края / Л. А. Галговская, Е. А. Конарева // АгроФорум. – 2024. – № 4. – С. 56–61.

16. Гасымов Д. Ф. Значение кукурузы в производстве сельскохозяйственной продукции / Д. Ф. Гасымов // Экспериментальные и теоретические исследования в современной науке. – 2021. – С. 5–8.

17. Глазатова М. К. Основные тенденции в развитии мировой торговли и структурные особенности российского экспорта / М. К. Глазатова // Журнал Новой экономической ассоциации. – 2020. – № 1 (45). – С. 183–192.

18. Головин А. А. Развитие экспорта продовольствия для обеспечения экономической безопасности / А. А. Головин, Н. Е. Деркач, Д. А. Зюкин // Економічний часопис-XXI. – 2020. – № 186 (11–12). – С. 75–85.

19. Оценка комбинационной способности инбредных линий озимой ржи в топкроссных скрещиваниях / А. А. Гончаренко, С. А. Ермаков, А. В. Макаров [и др.] // Достижения науки и техники АПК. – 2016. – № 9. – С. 99–107.

20. Селекция инбредных линий озимой ржи (Secale cereale L.) на общую и специфическую комбинационную способность и ее связь с селекционными признаками / А. А. Гончаренко, А. В. Макаров, С. А. Ермаков [и др.] // Сельскохозяйственная биология. – 2019. – № 1. – С. 102–109.

21. Григорович Л. М. Сравнительная оценка зерновой продуктивности гибридов кукурузы (Zea mays L.) в условиях Калининградской области / Л. М. Григорович, А. Е. Тулупов // Известия КГТУ. – 2020. – № 56. – С. 133–142.

22. Оценка нового исходного материала (линий кукурузы) на принадлежность к гетерозисной группе зародышевой плазмы / А. В. Гульняшкин, Н. А. Лемешев, А. А. Земцев, И. Р. Люлюк // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2020. – № 162. – С. 239–246.

23. Селекция новых гибридов кукурузы с пониженной уборочной влажностью зерна / А. В. Гульняшкин, Н. А. Лемешев, А. А. Земцев, И. Р. Люлюк // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2020. – № 85. – С. 61–67.

24. Гуторова О. В. Комбинационная способность линий кукурузы и генетический контроль морфометрических параметров / О. В. Гуторова, С. А. Зайцев // Известия Саратовского университета. Новая серия. Сер. Химия. Биология. Экология. – 2022. – Т. 22, вып. 2. – С. 187–192.

25. Гуторова О. В. Комбинационная способность новых дигаплодных линий кукурузы в условиях Правобережья Саратовской области / О. В. Гуторова, С. А. Зайцев, Э. С. Шахгелдян // Известия Саратовского университета. Новая серия. Сер. Химия. Биология. Экология. – 2024. – Т. 24, вып. 2. – С. 177–183.

26. Гуторова О. В. Создание генетически маркированных линий кукурузы с наследуемым и индуцированным типами партеногенеза / О. В. Гуторова, Н. В. Апанасова, О. И. Юдакова // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2016. – Т. 18, № 2-2. – С. 341-344.

27. Деревлев Е. И. Оценка динамики влагоотдачи зерном у самоопыленных линий кукурузы при созревании / Е. И. Деревлев, В. Н. Белов, С. А. Лебедев //

Актуальные проблемы развития научных исследований и инноваций в сельскохозяйственном производстве. – 2023. – С. 489–493.

28. Дзедаев Х. Т. Подвиды кукурузы / Х. Т. Дзедаев // Студенческая наука – агропромышленному комплексу: науч. тр. студентов Горского гос. аграр. ун-та. – 2020. – С. 9–10.

29. Комбинационная способность самоопыленных линий кукурузы плазмы айодент / Б. В. Дзюбецкий, Н. А. Боденко, Н. Н. Федько [и др.] // Кукуруза и сорго. – 2014. – № 1. – С. 27–29.

30. Доровская И. Ф. Изучение самоопыленных линий и межлинейных гибридов кукурузы методом морфофизиологического анализа / И. Ф. Доровская // Морфогенез растений: сб. науч. тр. – М., 1961. – Т. 1. – 301 с.

31. Дронов А. В. Сравнительная оценка зерновой продуктивности и адаптивности раннеспелых гибридов кукурузы в условиях юго-запада Нечерноземья / А. В. Дронов, С. А. Бельченко, О. А. Нестеренко // Вестник Ульяновской ГСХА. – 2020. – № 2 (50). – С. 28–35.

32. Дьяков А. Б. Особенности идентификации желательных генотипов при различных схемах рекуррентной селекции / А. Б. Дьяков // Масличные культуры. – Краснодар, 2004. – Вып. 1 (130). – С. 3–9.

33. Искажение конкуренцией селекционных признаков растений подсолнечника и фоновые признаки для коррекции оценок продуктивности / А. Б. Дьяков, В. Н. Деревенец, Т. А. Васильева [и др.] // Масличные культуры. – Краснодар, 2006. – Вып. 2 (135). – С. 3–14.

34. Дьяков А. Б. Взаимосвязь между параметрами стабильности и адаптивности сортов / А. Б. Дьяков, М. В. Трунова // Масличные культуры. – 2010. – № 1– С. 80–86.

35. Наследование высоты растений в диаллельных скрещиваниях самоопыленных линий кукурузы / В. И. Жужукин, Л. А. Гудова, М. С. Серебрякова [и др.]. // Нива Поволжья. – 2023. – № 4 (68). – С. 108.

36. Оценка комбинационной способности линий кукурузы в диаллельных скрещиваниях по высоте прикрепления початка / В. И. Жужукин, С. А. Зайцев, Д.

П. Волков, Л. А. Гудова // Успехи современного естествознания. – 2018. – № 10. – С. 50–55.

37. Зайцев С. А. Оценка в диаллельных скрещиваниях ОКС и СКС кремнистых и зубовидных линий кукурузы / С. А. Зайцев // Селекция гибридов кукурузы для современного семеноводства : материалы Всерос. науч.-практ. конф. с Междунар. участием Белгородского науч.-исслед. ин-та с/х. – Саратов, 2016. – С. 345–349.

38. Зайцев С. А. Селекционно-генетический анализ в селекции кукурузы на скороспелость / С. А. Зайцев // Редакционная коллегия. – 2022. – С. 70–74.

39. Зернобобовые культуры / Д. Шпаар, Ф. Эллмер, А. Г. Постников [и др.]. – Минск, 2000. – 264 с.

40. География и перспективы экспорта российского зерна / Д. А. Зюкин, О. В. Святова, С. А. Беляев, Е. В. Репринцева // Международный сельскохозяйственный журнал. – 2023. – Т. 66, № 1 (391). – С. 106–110.

41. Исакова С. В. Изучение процесса влагоотдачи у спелого зерна кукурузы с помощью лабораторных и полевых методов / С. В. Исакова, Л. В. Цаценко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2023. – № 189. – С. 180–191.

42. Исакова С. В. Актуальные направления в селекции гибридов кукурузы / С. В. Исакова, Л. В. Цаценко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2021. – № 173. – С. 214–227.

43. Кагермазов А. М. Изучение самоопыленных линий кукурузы по хозяйственно-ценным признакам и устойчивости к биотическим факторам в предгорной зоне Кабардино-Балкарии / А. М. Кагермазов, А. В. Хачидогов, А. Р. Яндиева // Вестник НГАУ. – Новосибирск, 2023. – № 4. – С. 50–55.

44. Урожайность кукурузы разных групп скороспелости в зависимости от сроков посева и густоты растений в северной зоне Краснодарского края / С. А. Кирячек, В. П. Малаканова, М. В. Марченко, А. Б. Никитенко // Научный журнал КубГАУ. – 2021. – № 168. – С. 96–108.

45. Кравцов В. И. Классификация самоопыленных линий кукурузы по интенсивности влагоотдачи зерна в предуборочный период / В. И. Кравцов, Л. П. Шиманский // Земледелие и селекция в Беларуси. – 2022. – № 55. – С. 343–353.

46. Кривошеев Г. Я. Комбинационная способность раннеспелых самоопыленных линий кукурузы и тестеров в системе топкроссных скрещиваний / Г. Я. Кривошеев, А. С. Игнатьев, Н.А. Шевченко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2015. – №. 114. – С. 1–10.

47. Кривошеев Г. Я. Общая и специфическая комбинационная способность самоопыленных линий кукурузы по признаку «Урожайность зерна» / Г. Я. Кривошеев, Н. А. Шевченко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2014. – № 104. – С. 6–12.

48. Кривошеев Г. Я. Влияние количественных признаков на урожайность зерна гибридов кукурузы в зависимости от климатических условий / Г. Я. Кривошеев, А. С. Игнатьев // Зерновое хозяйство России. – 2024. – Т. 16, № 2. – С. 30-35.

49. Кривошеев Г. Я. Результаты и перспективы селекции кукурузы в Аграрном научном центре «Донской» / Г. Я. Кривошеев, Н. А. Шевченко, А. С. Игнатьев // Зерновое хозяйство России. – 2020. – № 6. – С. 32–38.

50. Крикунова Л. Н. Исследование процесса предобработки зерна кукурузы на основе метода гидротермической обработки / Л. Н. Крикунова, Н. М. Кузьменкова // Техника и технология пищевых производств. – 2011. – № 4 (23). – С. 43–47.

51. Крымова Е. А. Состояние пахотных почв Нижегородской области / Е. А. Крымова, О. Д. Шафронов // Агрохимический вестник. – 2010. – № 4. – С. 2–4.

52. Кувшинова Е. К. Оценка агрофизических и агрохимических свойств темно-каштановой почвы южной зоны Ростовской области / Е. К. Кувшинова,

Н. А. Шевченко, В. П. Борисов // Зерновое хозяйство России. – 2016. – № 4. – С. 45–49.

53. Зерновая продуктивность гибрида кукурузы в зависимости от биопрепаратов и микроудобрений в предгорной зоне Кабардино-Балкарии / Р. Х. Кудаев, М. Б. Хоконова, А. Я. Тамахина [и др.] // Известия КБНЦ РАН. – 2022. – № 4 (108). – С. 41–51.

54. Куперман Ф. М. К вопросу о физиологической природе гетерозиса / Ф. М. Куперман // Кукуруза. – 1960. – Т. 10. – С. 133–134.

55. Ланцев В. В. Эффективность возделывания гибридов кукурузы разных групп спелости на юго-западе Центрального региона России : автореф. дис. … канд. с.-х. наук / Ланцев Виктор Владимирович. – Брянск, 2022. – 20 с.

56. Люлюк И. Р. Селекция раннеспелых гибридов кукурузы / И. Р. Люлюк, А. А. Земцев, А. В. Гульняшкин // Теории, школы и концепции устойчивого развития науки. – 2021. – С. 71.

57. Сравнительный анализ динамики влагоотдачи и продуктивности раннеспелых и среднеранних гибридов кукурузы / И. Р. Люлюк, А. А. Земцев, А. В. Гульняшкин, Н. А. Лемешев // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2023. – № 109. – С. 217–221.

58. Медведев А. Е. Создание раннеспелых самоопыленных линий кукурузы методом рекуррентного отбора в синтетических популяциях с различной генетической основой : автореф. дис. … канд. с.-х. наук / Медведев Андрей Евгеньевич. – Краснодар, 2007. – 16 с.

59. Михайленко И. М. Основные принципы математического моделирования системы «генотип-среда» / И. М. Михайленко, В. А. Драгавацев //Сельскохозяйственная биология. – 2010. – Т. 45, № 3. – С. 26–35.

60. Мустяца С. И. Использование зародышевой плазмы гетерозисных групп БССС и Рейд Айодент в селекции скороспелой кукурузы / С. И. Мустяца, С. И. Мистрец // Кукуруза и сорго. – 2007. – № 6. – С. 8–12.

61. Нагалевский Э. Ю. Региональная мелиоративная география. Краснодарский край : монография / Э. Ю. Нагалевский, Ю. Я. Нагалевский, И. Н. Папенко. – Краснодар : КубГАУ, 2013. – 107 с.

62. Неверов А. А. Прогноз урожайности полевых культур и погодных условий вегетационного периода для степного Оренбуржья в 2021 году / А. А. Неверов // Известия ОГАУ. – 2021. – № 4 (90). – С. 9–14.

63. Нестеров Д. М. Динамика влагоотдачи и продуктивность гибридов кукурузы в условиях Амурской области / Д. М. Нестеров, Д. Н. Дремин // Сборник трудов. – 2023. – С. 17–24.

64. Нечаев В. И. Основные тенденции в мировом производстве кукурузы: размещение и экспорт / В. И. Нечаев, Н. Р. Сайфетдинова // Экономика сельского хозяйства России. – 2020. – № 9. – С. 107–112.

65. Новичихин А. П. Изучение комбинационной способности новых раннеспелых линий кукурузы / А. П. Новичихин, Н. А. Лемешев, А. В. Гульняшкин // Рисоводство. – 2019. – № 1 (42). – С. 54–57.

66. Новоселов С. Н. Реципроктный рекуррентный отбор: теоретические основы и практическое использование (на примере сахарной свеклы) : автореф. дис. … д-ра с.-х. наук / Новоселов Сергей Николаевич. – Краснодар, 2008. – 19 с.

67. Новичихин А. П. Селекция новых самоопыленных линий кукурузы на продуктивность и количественные признаки ее компонентов / А. П. Новичихин, И. Н. Варламова // Научное обеспечение агропромышленного комплекса. – 2017. – С. 1287–1288.

68. Оборская Ю. В. Динамика влагоотдачи и продуктивность гибридов кукурузы в условиях Амурской области / Ю. В. Оборская, А. Л. Чернышов, Н. В. Лебедев // Агронаука. – 2023. – Т. 1, № 2. – С. 17–24.

69. Особенности анатомического строения и химический состав стержней кукурузных початков / А. А. Овчинникова, А. В. Александрова, В. Г. Лобанов, В. Н. Алешин // Известия вузов. Пищевая технология. – 2011. – № 5–6. – С. 11–12.

70. Омельянюк Л. В. Оценка сортов гороха коллекции ВИР по урожайности в условиях Среднего Урала / Л. В. Омельянюк, Е. Г. Козионова // Вестник ОмГАУ. – 2020. – № 2 (38). – С. 82–89.

71. Орлянская Н. А. Адаптивный потенциал исходного материала для селекции раннеспелых гибридов кукурузы в условиях Центрально-Черноземного региона / Н. А. Орлянская, Д. С. Чеботарев // Сахар. – 2022. – № 12. – С. 20–24.

72. Орлянский Н. А. Оценка адаптивности раннеспелых (ФАО 140–170) зерновых гибридов кукурузы в экологическом испытании / Н. А. Орлянский, Н. А. Орлянская, Д. С. Чеботарев // Вестник ОрелГАУ. – 2022. – № 5 (98). – С. 119–126.

73. Перевязка Д. С. Изучение специфической комбинационной способности новых раннеспелых и среднеранних автодиплоидных линий кукурузы / Д. С. Перевязка, Н. И. Перевязка, А. И. Супрунов // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2021. – № 166. – С. 68–82.

74. Перевязка Д. С. Изучение специфической комбинационной способности новых раннеспелых и среднеранних автодиплоидных линий кукурузы / Д. С. Перевязка, Н. И. Перевязка, А.И. Супрунов // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2021. – № 174. – С. 181–189.

75. Перевязка Д. С. Создание новых раннеспелых и среднеранних гибридов кукурузы с участием новых автодиплоидных линий / Д. С. Перевязка, А. И. Супрунов // Аспекты животноводства и производства продуктов питания : материалы Междунар. науч.-практ. конф., посв. 110-й годовщине со дня рождения П. Е. Ладана. – Персиановский, 2018. – С. 337–339.

76. Перевязка Н. И. Биохимические характеристики зерна новых ультрараннеспелых и раннеспелых гибридов кукурузы / Н. И. Перевязка, Д. С. Перевязка, А. И. Супрунов // Новые вызовы в новой науке. – 2021. – С. 149–153.

77. Экономическая эффективность применения минеральных удобрений при выращивании кукурузы / С. Н. Петрова, А. А. Полухин, Ю. В. Кузмичева, [и др.] // Вестник ОрелГАУ. – 2017. – № 2 (65). – С. 3–8.

78. Пилова Ф. И. Состояние инвестиционного климата Кабардино-Балкарской Республики / Ф. И. Пилова // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В. М. Кокова. – 2020. – № 2 (28). – С. 154–158.

79. Швец Т. В. Почвы Краснодарского края : раб. тетрадь / Т. В. Швец, А. В. Осипов, В. Н. Слюсарев. – Краснодар : КубГАУ, 2019. – С. 210.

80. Пустовойт Г. В. Результаты первого цикла рекуррентной селекции подсолнечника на устойчивость к пепельной гнили / Г. В. Пустовойт, С. Г. Бородин // Науч.-техн. бюл. ВНИИМК. – Краснодар, 1983. – Вып. 82. – С. 5–8.

81. Пустовойт Г. В. Метод рекуррентной селекции в создании устойчивого к заразихе селекционного материала подсолнечника / Г. В. Пустовойт, В. И. Хатнянский // Селекция и семеноводство. – М., 1985. – № 5. – С. 34–36.

82. Сальникова О. В. Основные направления развития агропромышленного комплекса стран БРИКС / О. В. Сальникова, Л. В. Рожкова // Известия вузов. Поволжский регион. Общественные науки. – 2020. – № 4 (56). – С. 159–167.

83. Комплексная оценка гибридов кукурузы на силос раннеспелой, среднеранней и среднеспелой групп спелости в условиях Орловской области / Е. К. Сидорова, М. В. Сорокина, В. Т. Лобков [и др.] // Вестник ОрелГАУ. – 2022. – № 6 (99). – С. 61–68.

84. Симачев Ю. В. Российская промышленная политика в условиях трансформации системы мирового производства и жестких ограничений / Ю. В. Симачев, А. А. Федюнина, М. Г. Кузык // Вопросы экономики. – 2022. – № 6. – С. 5–25.

85. Слинько О. В. Агробиологические компоненты для выращивания кукурузы / О. В. Слинько, А. Д. Федоров // Научно-информационное обеспечение инновационного развития АПК. – 2021. – С. 49–54.

86. Слинько О. В. Снижение импортозависимости селекционно-генетического материала кукурузы / О. В. Слинько, В. А. Войтюк // Актуальные проблемы аграрной науки: прикладные и исследовательские аспекты. – 2021. – С. 316–319.

87. Соколов Б. П. «Инбридинг» в применении к селекции кукурузы / Б. П. Соколов // Труды института кукурузы. – Днепропетровск, 1930. – № 6/1. – С. 3–23.

88. Селекционная оценка элитных самоопыленных линий кукурузы из основных гетерозисных групп зародышевой плазмы / В. М. Соколов, Б. Ф. Вареник, А. С. Пилюгин [и др.] // Генетика, селекция и технология возделывания кукурузы. – 1999. – С. 92–96.

89. Скорость потери влаги зерном кукурузы в период созревания в зависимости от генотипа и условий среды / В. С. Сотченко, А. Э. Панфилов, А. Г. Горбачева [и др.] // Сельскохозяйственная биология. – 2021. – № 1. – С. 54–65.

90. Урожай и уборочная влажность зерна гибридов кукурузы в разных экологических условиях в зависимости от сроков посева / В. С. Сотченко [и др.] // Кормопроизводство. – 2019. – № 4. – С. 26–31.

91. Сотченко В. С. Скорость потери влаги зерном кукурузы в период созревания в зависимости от генотипа и условий среды / В. С. Сотченко, Е. П. Чижевский, В. А. Романов // Сельскохозяйственная биология. – 2021. – Т. 56, № 1. – С. 54–65.

92. Сотченко Д. Ю. Исследование морфологии крахмалов из зерна перспективных гибридов кукурузы и их родительских форм / Д. Ю. Сотченко, Е. В. Жиркова // Биохимическая физика. – 2018. – С. 153–154.

93. Сотченко Д. Ю. Исходный материал для создания раннеспелых гибридов кукурузы / Д. Ю. Сотченко, П. Н. Черненко, И. И. Кузнецов // Кукуруза и сорго. – 2020. – № 4. – С. 3–9.

94. Сотченко Е. Ф. Значение сахарной кукурузы для жизни человека / Е. Ф. Сотченко, Е. А. Конарева // Научно-технический и социально-экономический потенциал развития АПК РФ. – 2022. – С. 244–248.

95. Сотченко Ю. В. Оценка комбинационной способности белозерных линий кукурузы для создания белозерных гибридов в условиях предгорного района Ставропольского края / Ю. В. Сотченко // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. – 2022. – № 6 (110). – С. 217–224.

96. Результаты изучения экологической адаптивности новых среднеспелых и среднепоздних гибридов кукурузы / Ю. В. Сотченко, Л. А. Галговская, О. В. Теркина [и др.] // Кукуруза и сорго. – 2021. – № 1. – С. 25–30.

97. Результаты экологического испытания раннеспелых гибридов кукурузы с использованием селекционных индексов / Ю. В. Сотченко [и др.] // Кукуруза и сорго. – 2017. – № 4. – С. 14–17.

98. Сотченко Ю. В. Биологические особенности гибридов кукурузы в условиях Республики Башкортостан / Ю. В. Сотченко, Е. Ф. Сотченко, Б. Н. Сотченко // Теория и практика современной аграрной науки. – 2020. – С. 283–287.

99. Супрунов А. И. Успехи в селекции кукурузы / А. И. Супрунов // Земледелие. – 2014. – № 3. – С. 5–6.

100. Супрунов А. И. Эффективность рекуррентного отбора на раннее цветение в позднеспелых популяциях кукурузы : автореф. дис. … канд. с.-х. наук // Супрунов Анатолий Иванович. – Краснодар, 2002. – 11 с.

101. Супрунов А. И. Селекция гибридов кукурузы различных групп спелости с быстрой отдачей влаги зерном при созревании / А. И. Супрунов, Н. В. Парпуренко, А. А. Терещенко // VII Съезд Вавиловского общества генетиков и селекционеров, посв. 100-летию кафедры генетики СПбГУ, и ассоциированные симпозиумы. – 2019. – С. 159.

102. Супрунов А. И. Селекция раннеспелых гибридов кукурузы с быстрой отдачей влаги зерном при созревании / А. И. Супрунов, Н. В. Парпуренко, А. А. Терещенко // Рисоводство. – 2019. – № 4. – С. 19–24.

103. Тюрин А. В. Эффективность приемов возделывания кукурузы на зерно в условиях Среднего Поволжья / А. В. Тюрин, А. Л. Тойгильдин, М. И. Подсевалов // Вестник Ульяновской ГСХА. – 2021. – № 3. – С. 85–97.

104. Филиппов Е. Г. Новый раннеспелый сорт ярового ячменя Федос / Е. Г. Филиппов, А. В. Сорокин, С. А. Лебедев // Зерновое хозяйство России. – 2021. – № 2. – С. 11–16.

105. Хаджинов М. И. Итоги первого цикла рекуррентной селекции на повышение СКС из синтетиков кукурузы / М. И. Хаджинов, В. П. Гусев // Итоги работ по селекции и генетике кукурузы. – Краснодар : КНИИСХ, 1979. – С. 112–113.

106. Хаджинов М. И. Селекция кукурузы / М. И. Хаджинов, Б. А. Паншин // Теоретические основы селекции растений. Т. 2. Частная селекция зерновых и кормовых культур. – М. ; Л., 1935. – С. 377–447.

107. Хатефов Э. Б. Исходный материал китайского происхождения для селекции фуражной и пищевой кукурузы в Российской Федерации / Э. Б. Хатефов, В. И. Хорева, Ю. А. Керв; под ред. Э. Б. Хатефова. – СПб. : ВИР, 2020. – 100 с.

108. Хорошилов С. А. Генетические закономерности потери влаги зерном кукурузы при созревании : дис. … канд. биол. наук : 06.01.05 / Хорошилов Сергей Анатольевич. – Белгород, 2006. – 136 с.

109. Черчель В. Ю. Обоснование индекса соотношения высоты прикрепления верхнего початка к высоте растения гибридов кукурузы (Zea mays L.) / В. Ю. Черчель, В. А. Марочко, М. Н. Таганцова // Изучение и охрана сортов растений. – 2014. – № 2 (23). – С. 40–44.

110. Чесноков И. Г. Организация и методика научных исследований в ВНИИ кукурузы / И. Г. Чесноков // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2019. – № 5. – С. 12–17.

111. Чилашвили И. М. Оценка нового исходного материала для селекции ранних и среднеранних гибридов кукурузы / И. М. Чилашвили // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2012. – № 79. – С. 415–430.

112. Чилашвили И. М., Супрунов А. И., Слащев А. Ю. Изучение комбинационной способности новых самоопыленных линий кукурузы в условиях центральной зоны Краснодарского края / Чилашвили И. М., Супрунов А. И., Слащев А. Ю.//Зерновое хозяйство России. – 2015. – № 4. – С. 46–49.

113. Чистяков С. Н. Изучение динамики влагоотдачи зерном у линий и гибридов кукурузы при его созревании / И. М. Чилашвили, А. И. Супрунов, А. Ю. Слащев // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2012. – № 84. – С. 520–531.

114. Чуприна М. А. Создание линий кукурузы на основе двух генетически различных синтетических популяций методом реципрокного рекуррентного отбора : автореф. дис. … канд. с.-х. наук / Чуприна Маргарита Анатольевна. – Краснодар, 2008. – 24 с.

115. Шаурина О. С. Повышение качества продуктов питания отечественного производства как составляющая продовольственной безопасности России и ее регионов / О. С. Шаурина, А. В. Горбатов // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2016. – № 119. – С. 1064–1076.

116. Шмараев Г. Е. Теоретические основы селекции / Г. Е. Шмараев. – 1999. – 300 с.

117. Экспорт и импорт РФ по товарным группам в торговле со всеми странами [Электронный ресурс] // Центральное таможенное управление. – Режим доступа: http://stat.customs.ru/documents (дата обращения: 05.11.2022).

118. Югенхеймер Р. У. Кукуруза. Улучшение сортов, производство семян, использование / Р. У. Югенхеймер. – М. : Колос, 1979. – 103 с.

119. Яхтанигова Ж. М. Химический состав и питательная ценность зерна и листостебельной массы различных подвидов кукурузы / Ж. М. Яхтанигова // Новые технологии. – 2008. – № 5. – С. 58–61.

120. Adli M. The CRISPR tool kit for genome editing and beyond / M. Adli // Nature Communications. – 2018. – Т. 9, № 1. –1911 p.

121. Validation of functional polymorphisms affecting maize plant height by unoccupied aerial systems discovers novel temporal phenotypes / A. Adak, C. Conrad, Y. Chen [et al.] // G3 Genes, Genomes, Genetics. – 2021. – Vol. 11, № 6. – P. 250–254.

122. Stability Analysis of Maize (Zea mays L.) Hybrids for Grain Yield and Its Attributing Traits Using Eberhart and Russell Model / B. Arunkumar, E. Gangappa, S. Ramesh // Current Journal of Applied Science and Technology. – 2020. – Vol. 39, №. 1. – P. 52–63.

123. Balint-Kurti P. J. Analysis of quantitative trait loci for resistance to southern leaf blight in juvenile maize / P. J. Balint-Kurti, M. L. Carson // Phytopathology. – 2006. – Vol. 96, № 3. – P. 221–225.

124. Efficient gene targeting in maize using inducible CRISPR-Cas9 and marker-free donor template / P. Barone, E. Wu, B. Lenderts [et al.] // Molecular Plant. – 2020. – Vol. 13, № 8. – P. 1219–1227.

125. Genetic Evidence and the Origin of Maize / J. Bennetzen, E. Buckler, V. Chandler [et al.] // Latin American Antiquity. – 2001. – Vol. 12, № 1. – P. 84–86.

126. Construction of the third-generation Zea mays haplotype map / R. Bukowski, X. Guo, Y. Lu, C. Zou, B. He [et al.] // Gigascience. – 2018. – Vol. 7, № 4. – 134 p.

127. Chaves M. M. Understanding plant responses to drought – from genes to the whole plant / M. M. Chaves, J. P. Maroco, J. S. Pereira // Functional Plant Biology. – 2003. – Vol. 30, № 3. – P. 239–264.

128. TeoNAM: A Nested Association Mapping Population for Domestication and Agronomic Trait Analysis in Maize / Q. Chen, C. J. Yang, A. M. York [et al.] // Genetics. – 2019. – Vol. 213, № 3. – P. 1065–1078.

129. Chen W. The resistance to banded leaf and sheath blight in maize of 282 inbred lines / W. Chen, M. Zhang, L. Li // African Journal of Agricultural Research (Afr J Agric Res.). – 2013. – № 8, T. 16. – P. 1547–1552.

130. Genome-wide association analysis for grain moisture content and dehydration rate on maize hybrids / Y. Dong, Z.Q. Feng, F. Ye [et al.] // Molecular Breeding (Mol. Breeding). – 2023. – T. 43, № 1. – 5 p.

131. Eberhart S. A. Reciprocal Recurrent Selection in Maize Populations BSSS and BSCB1 and Half-Sib Selection in BSSS / S. A. Eberhart, S. Debela, A. R. Hallauer // Crop Science. – 1973. – Vol. 13, № 4. – P. 451–456.

132. Eberhart S. A. Stability Parameters for Comparing Varieties / S. A. Eberhart, W. A. Russell // Crop Science (Crop Sci.). – 1966. – Vol. 6, № 1. – P. 36–40.

133. Combining ability and genetic divergence among tropical maize inbred lines using SSR markers / T. G. Eisele, D. Giordano, C. Rosati [et al.] // Acta Scientiarum. Agronomy. – 2021. – Vol. 43. – P. 50–61.

134. Evaluation of Grain Moisture Content at Maturity and Screening for Identification Indexes of Maize Inbred Lines / Y. Gao, J. Li, R. Ning [et al.] // Agronomy. – 2024. – T. 14, № 7. – 1480 p.

135. Ginsburg E. Segregation analysis of quantitative traits / E. Ginsburg, G. Livshits // Annals of human biology. – 1999. – T. 26, № 2. – P. 103–129.

136. Gubin S.V. Analysis of the Combining Ability of Maize Inbred Lines in Non-Regular Crosses / S. V. Gubin, A. M. Loginova, G. V. Getts // Maize and Sorghum. – 2021. – № 2. – P. 8–22.

137. Habiba R. M. M. Combining abilities and genetic parameters for grain yield and some agronomic traits in maize (Zea mays L.) / R. M. M. Habiba, M. Z. El-Diasty, R. S. H. Aly // Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences. – 2022. – T. 11, № 1. – 108 p.

138. Hallauer A. R. Testers and Combining Ability / A. R. Hallauer, M. J. Carena, J. B. M. Filho // In: Quantitative Genetics in Maize Breeding. Handbook of Plant Breeding, vol 6. – New York : Springer, 2010. – T. 6.

139. Jenkins M. T. Breeding of Corn during the Development and Early Years of Hybrid Corn / M. T. Jenkins // Corn Breeding and Genetics / Ed. D. B. Walden. – 1978. – P. 13–28.

140. Jenkins M. T. Improvement of Corn / M. T. Jenkins // Yearbook of Agriculture. USDA. – Washington, D.C., 1936. – P. 455–522.

141. Improved maize reference genome with single-molecule technologies / Y. Jiao, P. Peluso, J. Shi [et al.] // Nature. – 2017. – T. 546, № 7659. – P. 524–527.

142. Kanbar A. Relationship between root and yield morphological characters in rainfed low land rice (Oryza sativa L.) / A. Kanbar, M. Toorchi, H. E. Shashidhar // Cereal Research Communications. – 2009. – Vol. 37. – P. 261–268.

143. Khaki S. Crop Yield Prediction Using Deep Neural Networks / S. Khaki, L. Wang // Frontiers in Plant Science (Front. Plant Sci.). – 2019. – T. 10. – 621 p.

144. Combining Ability and Heterosis for Agronomic Traits, Husk and Cob Pigment Concentration of Maize / P. Khamphasan, K. Lomthaisong, B. Harakotr [et al.] // Agriculture. – 2020. – T. 10, № 11. – 510 p.

145. Kistner M. B. Unravelling the complexity of maize resistance to bacterial and fungal diseases: an integrative perspective / M. B. Kistner, A. M. Romero, J. Iglesias // Tropical Plant Pathology (Trop. Plant Pathol.). – 2022. – Vol. 47. – P. 332–352.

146. Yield stability and lower susceptibility to abiotic stresses of improved open-pollinated and hybrid maize cultivars / M. A. Lana, F. Eulenstein, S. L. Schlindwein [et al.] // Agronomy for Sustainable Development (Agron. Sustain. Dev.). – 2017. – T. 37. – P. 3–11.

147. General and specific combining abilities in a maize (Zea mays L.) test-cross hybrid panel: relative importance of population structure and genetic divergence between parents / A. Larièpe, L. Moreau, J. Laborde [et al.] // Theoretical and Applied Genetics (Theor. Appl. Genet.). – 2017. – Vol. 130. – P. 403–417.

148. Leal A. A. Efficiency of RAPD versus SSR markers for determining genetic diversity among popcorn lines / A. A. Leal, C. A. Mangolin, A. T. do Amaral Jr. // Genetics and Molecular Research. – 2010. – Vol. 9, № 1. – P. 9–18.

149. Lonnquist J. H. Progress from Recurrent Selection Procedures for Improving Corn Populations / J. H. Lonnquist // Research Bulletin. – University of Nebraska, 1961. – 33 p.

150. Genome-Wide Association Study of Plant and Ear Height in Maize / S. Lu, M. Li, M. Zhang [et al.] // Tropical Plant Biology (Trop. Plant Biol.). – 2020. – T. 13. – P. 262–273.

151. A single domestication for maize shown by multilocus microsatellite genotyping / Y. Matsuoka, Y. Vigouroux, M. M. Goodman [et al.] // Proceedings of the

National Academy of Sciences of the United States of America (Proc Natl Acad Sci USA). – 2002. – T. 99, № 9. – P. 6080–6084.

152. Improving drought tolerance in maize: Tools and techniques / M. S. McMillen, A. A. Mahama, J. Sibiya [et al.] // Frontiers in Genetics (Front. Genet.). – 2022. – Vol. 13. – 1001 p.

153. Improving drought tolerance in maize: Tools and techniques / M. S. McMillen, A. A. Mahama, J. Sibiya [et al.] // Frontiers in Genetics (Front. Genet.). – 2022. – Vol. 13. – 199 p.

154. Miller S. A. Common Smut of Corn / S. A. Miller, P. E. Lipps, R. C. Rowe // The Ohio State University Extension Fact Sheet HYG-3119-96, The Ohio State University, Columbus, OH. – 1996. – P. 190–195.

155. Starch grain and phytolith evidence for early ninth millennium B. P. maize from the Central Balsas River Valley, Mexico / D. R. Piperno, A. J. Ranere, I. Holst [et al.] // Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (Proc Natl Acad Sci USA). – 2009. – T. 106, № 13. – P. 5019–5024.

156. Richey F. D. Isolation of the Best Fundamental Inbred Lines for Use in Corn Hybrids / F. D. Richey // Genetics. – 1945. – Vol. 30. – P. 455–471.

157. Salvo J. I. D. Regional multi-environment analysis of corn productivity and yield stability as impacted by hybrid maturity / J. I. D. Salvo, C. Lee, M. Salmerón // Field Crops Research (Field Crops Res.). – 2021. – T. 262. – P. 108025.

158. Serna-Saldivar S. O. An overview of the last 10 years of genetically engineered crop safety research / S. O. Serna-Saldivar, S. Garcia-Lara // Critical Review in Biotechnology. – 2014. – Vol. 34, № 1. – P. 77–88.

159. Serna-Saldivar S. O. Corn History and Culture / S. O. Serna-Saldivar, S. Garcia-Lara // Corn (Third Edition). Chemistry and Technology. – 2019. – P. 1–18.

160. Serna-Saldivar S. O. History of corn and wheat tortillas / S. O. Serna-Saldivar, L. W. Rooney // Wheat Flour and Corn Products. – American Association of Cereal Chemists, St. Paul, 2011. – P. 5–20.

161. Global warming potential from maize and maize-soybean as affected by nitrogen fertilizer and cropping practices in the North China Plain / Y. Shen, P. Sui, J. Huang [et al.] // Field Crops Research. – 2018. – T. 225. – P. 117–127.

162. Molecular marker survey and expression analyses of the rice submergence-tolerance gene SUB1A / N. Singh, Z. Xu, M. Li [et al.] // Theoretical and Applied Genetics (Theor. Appl. Genet.). – 2010. – T. 121. – P. 1441–1453.

163. Population improvement for seed yield and oil content in sunflower / K. G. S. Sonevirant, M. Ganesh, A. R. G. Rangenatha [et al.] // Helia. – 2004. – № 27, T. 41. – P. 123–128.

164. Leaf Damage Based Phenotyping Technique and Its Validation Against Fall Armyworm, Spodoptera frugiperda (J. E. Smith), in Maize / P. L. Soujanya, J. C. Sekhar, K. R. Yathish [et al.] // Frontiers in Plant Science (Front. Plant Sci.). – 2022. – T. 13. – 906 p.

165. Leaf Damage Based Phenotyping Technique and Its Validation Against Fall Armyworm, Spodoptera frugiperda (J. E. Smith), in Maize / P. L. Soujanya, J. C. Sekhar, K. R. Yathish [et al.]. – 2022. – № 51, T. 2. – P. 130–148.

166. Sprague G. F. Early Testing of Inbred Lines of Corn / G. F. Sprague // Journal of the American Society of Agronomy. – 1946. – 108 p.

167. Sprague G. F. Proposal for Evaluating Current Concepts of the Genetic Mechanism of Heterosis in Corn / G. F. Sprague, P. A. Miller // Journal of Agronomy. – 1950. – 161 p.

168. The maize W22 genome provides a foundation for functional genomics and transposon biology / N. M. Springer, S. N. Anderson, C. M. Andorf [et al.] // Nature Genetics (Nat. Genet.). – 2018. – T. 50, № 9. – P. 1282–1288.

169. Maize Ear Height and Ear–Plant Height Ratio Estimation with LiDAR Data and Vertical Leaf Area Profile / H. Wang, W. Zhang, G. Yang [et al.] // Remote Sensing (Remote Sens.). – 2023. – T. 15, № 4. – 964 p.

170. Compendium of Corn Diseases / Ed. D. G. White. – 3rd ed. – St. Paul, MN: APS Press, 1999. – 150 p.

171. World Agricultural Production [Electronic resource]. – Access mode: https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/production.pdf (date of request: 04.04.2024).

172. QTL mapping for plant height and ear height using bi-parental immortalized heterozygous populations in maize / H. Yang, Z. Zhang, N. Zhang [et al.] // Frontiers in Plant Science (Front. Plant Sci.). – 2024. – T. 15. – 137 p.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Приложение 1

Общий процент пораженных рекомбинантов кукурузы, 2021-2023 гг. (ФГБНУ «НЦЗ им. П.П. Лукьяненко»)

Год исследования	Кол-во объектов	Пораженность болезнью, %		Поврежденность насекомыми, %	
		Пузырчатая головня, %	Фузариоз початков, %	Кукурузным мотыльком, %	Хлопковой совкой, %
2021	182	6,9	14,2	16,9	6,3
2022	182	9,8	8,7	20,2	11,2
2023	182	7,6	14,2	15,6	8,2
Среднее	182	8,1	12,4	17,6	8,6

Приложение 2

Характеристика высоты растений лучших раннеспелых рекомбинантов кукурузы, 2022-2023 гг. (ФГБНУ «НЦЗ им. П.П. Лукьяненко»)

Название рекомбинанта	Высота растения, см		
	2022 г.	2023 г.	Среднее по опыту
LK12-1	164,1	177,4	170,8
LK12-3	157,5	166,4	161,9
LK12-9	149,5	156,0	152,8
LK12-24	174,7	181,5	178,1
LK12-27	153,8	159,6	156,7
LK12-28	156,5	169,5	163
LK12-29	168,5	171,5	170
LK12-111	171,7	180,0	162,8
LK12-123	153,1	162,8	157,9
LK12-126	174,2	183,6	178,9
LK12-127	174,3	181,0	177,65
LK12-140	168,5	178,4	173,5
LK12-147	161,0	166,1	163,6
LK12-17	173,4	179,8	176,6
LK12-22	171,6	172,2	171,9
LK12-59	156,2	162,5	159,4
LK12-71	169,3	179,4	174,4
Среднее по опыту	159,6	168,8	164,2
$НСР_{05}$	1,7	2,2	2,1

Приложение 3

Характеристика высоты растений лучших среднеранних рекомбинантов кукурузы, 2022-2023гг. (ФГБНУ «НЦЗ им. П.П. Лукьяненко»).

Название рекомбинанта	Высота растения, см		
	2022 г.	2023 г.	Среднее
LK12-34	171,4	178,0	174,7
LK12-44	180,5	182,5	181,5
LK12-57	178,5	182,3	180,4
LK12-61	164,6	171,5	168,1
LK12-62	168,7	170,5	169,6
LK12-66	155,6	159,5	157,5
LK12-88	159,4	164,5	161,9
LK12-91	153,5	159,1	156,3
LK12-94	181,5	188,0	184,8
LK12-99	177,9	179,9	178,9
LK12-101	190,5	194,3	192,4
LK12-31	172,1	176,9	174,5
LK12-40	164,9	166,9	165,9
LK12-67	154,6	159,4	157,0
LK12-72	163,5	166,2	164,8
LK12-76	178,5	182,0	180,2
LK12-84	165,7	170,4	168,1
LK12-103	161,2	165,5	163,4
LK12-109	173,0	176,8	174,9
LK12-112	158,8	162,0	160,4
LK12-118	177,4	180,9	179,2
Среднее по опыту	170,6	177,3	173,9
$НСР_{05}$	3,2	2,6	2,8