

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«ФЕДЕРАЛЬНЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РИСА»
ФГБНУ «ФНЦ РИСА»

На правах рукописи

ПОЛЯКОВА НЕЛЛИ ВЛАДИМИРОВНА

**СОЗДАНИЕ СЕЛЕКЦИОННОГО МАТЕРИАЛА СРЕДНЕПОЗДНЕЙ
БЕЛОКОЧАННОЙ КАПУСТЫ С УСТОЙЧИВОСТЬЮ К ОЖОГУ
ВЕРХУШКИ ВНУТРЕННИХ ЛИСТЬЕВ КОЧАНА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ
ГИБРИДОВ F₁ В УСЛОВИЯХ КРАСНОДАРСКОГО КРАЯ**

Специальность: 4.1.2 – Селекция, семеноводство и биотехнология растений

Диссертация на соискание ученой степени кандидата
сельскохозяйственных наук

Научный руководитель:
кандидат сельскохозяйственных наук
Королёва Светлана Викторовна

Краснодар 2024

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ.....	10
1.1 Происхождение, распространение и народно-хозяйственное значение капусты белокочанной	10
1.2 Морфологические и биологические особенности капусты белокочанно	14
1.3 Гетерозис и его использование в селекции капусты белокочанной	21
1.4 Комбинационная способность	28
1.5 Физиологические нарушения на капусте.....	33
1.6 Факторы, влияющие на метаболизм кальция.....	36
1.6.1 Транспирация и скорость роста	37
1.6.2 Регулируемые и нерегулируемые факторы, влияющие на проявление физиологического расстройства	40
1.6.2.1 Почвенные условия	41
1.6.2.2 Температура и влажность	43
1.6.2.3 Интенсивность освещения.....	45
1.7 Факторы, снижающие проявление заболевания	46
1.8 Изучения в области наследования признака устойчивости к ожогу верхушки внутренних листьев кочана	47
2. УСЛОВИЯ, МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ .	50
2.1 Климат и метеорологические условия проведения опытов.....	50
2.2 Агротехнологические условия проведения экспериментов	55
3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	63
3.1 Изучение комбинационной способности линий капусты белокочанной среднепозднего-позднего сроков созревания.....	63
3.1.1 Оценка среднепоздних самонесовместимых инбредных линий капусты белокочанной по морфологическим признакам.....	63

3.1.2 Комбинационная способность линий капусты белокочанной среднепозднего-позднего сроков созревания по признаку «средняя масса кочана».....	65
3.1.3 Комбинационная способность линий капусты белокочанной среднепозднего-позднего сроков созревания по признаку «ожог верхушки внутренних листьев кочана»	73
3.1.4 Комбинационная способность линий капусты белокочанной среднепозднего-позднего сроков созревания по признаку «продолжительность вегетационного периода»	83
3.1.5 Особенности подбора родительских пар для создания гибридов с устойчивостью к ожогу верхушки внутренних листьев кочана.....	88
3.2 Результаты детального дисперсионного анализа гибридов капусты белокочанной среднепоздней группы спелости в системе неполной диаллельной схемы скрещивания по методу Хеймана	91
3.2.1 Результаты детального дисперсионного анализа диаллельной таблицы по признаку «средняя масса кочана» гибридов капусты белокочанной первого поколения по методу Хеймана.....	92
3.2.2 Результаты детального дисперсионного анализа диаллельной таблицы по признаку устойчивости к «ожогу верхушки внутренних листьев кочана» гибридов капусты белокочанной первого поколения по методу Хеймана	100
3.3 Изучение влияния агротехнических условий на исследуемые гибридные комбинации при создании различных провокационных фонов.....	108
3.4 Результаты изучения наследования признака устойчивости к «ожогу верхушки внутренних листьев кочана»	116
3.5 Результаты предварительного испытания выделившихся гибридов капусты белокочанной среднепозднего и позднеспелого сроков созревания	124
ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВЫРАЩИВАНИЯ УСТОЙЧИВЫХ К ОЖОГУ ВЕРХУШКИ ВНУТРЕННИХ ЛИСТЬЕВ КОЧАНА ГИБРИДОВ КАПУСТЫ БЕЛОКОЧАННОЙ СРЕДНЕПОЗДНЕГО И ПОЗДНЕГО СРОКОВ СОЗРЕВАНИЯ.....	128
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	130
РЕКОМЕНДАЦИИ ПРОИЗВОДСТВУ	133

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	134
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	153

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. В мировом овощеводстве капуста белокочанная занимает важное место и является экономически значимой культурой. Особую роль *Brassica oleracea L. convar. capitata (L.) Alef. var. alba DC.* – отводят в России, как одной из главных овощных культур, которая представляет собой ценный компонент в рациональном питании. Востребованность данной культуры в овощеводческой отрасли высока и стоит наряду с такими основными культурами как морковь, лук, свекла столовая. По площадям возделывания и валовому сбору капусты Россия находится на третьем месте в мире после Китая и Индии. Площадь под капустой в России в промышленном секторе около 27 тысяч га. За последние 10 лет, начиная с 2014 года в Государственный реестр селекционных достижений РФ было включено 40 гибридов F₁ капусты белокочанной средней, среднепоздней и поздней групп спелости.

На сегодняшний день создание гетерозисных гибридов остается актуальным методом селекции, однако в мировой селекции выдвигают новые требования к гибридам, которые заключаются не только в совмещении хозяйственно-ценных признаков, но и в комплексной устойчивости, от которой зависит не только урожайность, но и товарные качества продукции.

Капусту белокочанную позднего и среднепозднего сроков созревания на территории юга России выращивают в условиях короткого дня, низкой влажности воздуха и повышенных температур, что является стрессом для культуры, однако, разнообразие гибридов и подбор жаростойкого сортимента дает возможность избежать угнетения растений и получить высокотоварную продукцию.

В последнее время все большее значение в обеспечении устойчивого роста, высокой урожайности возделываемых культур приобретает возможность нивелирования неконтролируемых факторов внешней среды (засушливые ветра, повышенная солнечная инсоляция, низкая влажность). Для получения новых гибридов, сочетающих в одном генотипе устойчивость не только к заболеваниям патогенного характера, но и к физиологическим расстройствам, необходимо

создание исходного материала, обладающего неоспоримым преимуществом на коммерческом рынке.

Наиболее сложное и часто встречаемое физиологическое расстройство на капусте – ожог верхушки внутренних листьев кочана, связанное с нарушением транспорта Ca^{2+} внутри растения. Из всех способов контроля данного физиологического заболевания наиболее эффективным является выращивание толерантных гибридов.

Цель исследования: изучить проявления ожога верхушки внутренних листьев кочана на гибридах капусты белокочанной среднепозднего срока созревания и разработать методы борьбы с заболеванием путем создания устойчивого селекционного материала и воздействия контролируемых агротехнических факторов в природно-климатических условиях Краснодарского края.

Задачи исследований:

- оценить степень устойчивости инбредных линий к ожогу верхушки внутреннего листа кочана (tip burn);
- провести оценку комбинационной способности инбредных линий в системе неполных диаллельных скрещиваний по признакам: повреждение ожогом внутренних листьев кочана и наиболее важным хозяйственным признакам;
- определить характер наследования признака устойчивости к ожогу верхушки внутреннего листа кочана у гибридов белокочанной капусты среднепозднего срока созревания; и разработать принцип подбора пар для создания гибридов F_1 с устойчивостью к ожогу верхушки внутренних листьев кочана;
- выявить проявление физиологического заболевания (tip burn) на гибридах с разной степенью устойчивости при выращивании на высоком азотном фоне, органо - минеральном фоне;
- установить степень влияния внекорневых подкормок водорастворимыми кальциевыми удобрениями на проявление заболевания у гибридов с разной устойчивостью;

- провести испытания и выделить перспективный гибрид для передачи в ГСИ.

Научная новизна.

Впервые, в отечественной селекции, для юга России получены устойчивые самонесовместимые инбредные линии капусты белокочанной среднепозднего срока созревания с низкой комбинационной способностью по степени поражения ожогом верхушки внутренних листьев кочана.

Разработан принцип подбора родительских пар направленный на создание высокотолерантных гибридов капусты белокочанной среднепоздней группы спелости к ожогу верхушки внутренних листьев кочана.

Определен характер наследования изучаемого признака в гибридных комбинациях на основе линий с разной степенью устойчивости к ожогу верхушки внутренних листьев кочана.

В зависимости от уровня минерального питания, определены факторы контроля заболевания на гибридах с разной степенью устойчивости для условий Краснодарского края.

Получен принципиально новый генетический материал – гибриды F_1 , устойчивый к стресс-факторам внешней среды характерным для зоны с засушливым климатом, отвечающий требованиям выращивания в условиях Краснодарского края по комплексу хозяйственно-ценных признаков.

Практическая значимость.

В условиях Краснодарского края выделены ценные инбредные линии с низкой комбинационной способностью по признаку поражения ожогом верхушки внутренних листьев кочана: Агр82, Ген4270, Яс25п, Бс1ф, 270 Хн111.

Разработана шкала для оценки повреждения заболеванием.

В конкурсном испытании выделены перспективные высокотолерантные гибриды: F_1 (Яс25п2- х Хн270-111), F_1 (Агр82 х 270 Хн 111) для передачи в ГСИ. Одна из гибридных комбинаций включена в Госреестр в 2023 году под названием Викторина.

Рекомендованы агротехнические приемы, снижающие риски поражения заболеванием кочанов у гибридов с различной степенью устойчивости.

Методология и методы исследования. Исследования выполнены по методикам, рекомендованным научными учреждениями, согласно классическим и современным методам селекции.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту:

1. Комбинационная способность по признаку ожог верхушки внутренних листьев кочана в условиях Краснодарского края.
2. Характер наследования признака устойчивости к внутреннему ожогу
3. Влияние уровня минерального питания на проявление ожога верхушки внутренних листьев кочана в природно-климатических условиях Краснодарского края.
4. Инбредные линии капусты белокочанной и гибридные комбинации на их основе с устойчивостью к ожогу верхушки внутренних листьев кочана и комплексом хозяйственно полезных признаков.

Степень достоверности. Достоверность результатов исследований обеспечена проведением опытов в соответствии с существующими методиками. Опыты были заложены с необходимым числом повторностей.

Апробация работы. Результаты исследований по диссертации были доложены на отчетных сессиях в 2020-2024 годах в ФГБНУ «ФНЦ риса», представлены на Международных научно-практических конференциях (ФГБНУ «ФНЦ риса», г. Краснодар 2021-2024 гг.); на XIII Всероссийской научно-практической конференции (Казань, 30 -31 марта 2023 г.), на XI международной научно-практической конференции (15-18 июля 2024г.), Московская обл., Одинцовский г.о., п. ВНИИССОК.

Публикации результатов исследований. По материалам диссертации опубликовано 6 печатных работы, в том числе 2 из них – в изданиях входящих в перечень ВАК РФ.

Структура и объем диссертации. Диссертация изложена на 160 страницах компьютерного текста, содержит 46 таблиц, 12 рисунков. Состоит из введения,

обзора литературы, методической части, результатов исследований, заключения, рекомендаций, списка использованной литературы, приложения. Список литературы содержит 189 источников, из них - 92 на иностранных языках.

1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1 Происхождение, распространение и народно-хозяйственное значение капусты белокочанной

В мировом растениеводстве капуста белокочанная (*Brassica oleracea L. Convar capitata L.*) является одной из значимых овощных культур. По данным ФАО, посевные площади под капустой ежегодно составляют – 2,4 млн. га, а производство – свыше 71,4 млн. т. при средней урожайности – 29,2 т/га.

Ареал ее распространения – от Крайнего Севера до южных субтропиков, но лидерство в странах с умеренным и прохладным климатом.

Из года в год в мире производится 7180320 ц капусты. Китай является крупнейшим производителем капусты в мире с объемом производства 3388150 ц в год. Индия занимает второе место с годовым объемом производства 87550 ц. [113]. Во многих странах Западной Европы – Германии, Норвегии, Франции – капуста также занимает первое место среди овощей. В Англии это одна из важнейших овощных культур, уступающая по площади только овощному гороху и превосходящая его по производству. Среди овощных культур капуста дает самые высокие урожаи (от 80-100 т/га и более) при наименьших затратах и трудозатратах. Во многих странах он используется как продукт массового потребления. Высокая урожайность, пищевая и вкусовая ценность, а также способность сохранять свежесть в течение длительного периода времени делают капустную продукцию очень популярной среди населения [178].

Основная часть импорта капусты приходится на Китай (33,5%), Узбекистан (28,5%), Иран (12,8%), Беларусь (10,2%), Казахстан (6,0%), на остальные страны приходится около 9,0%.

В России капуста белокочанная (*Brassica oleracea L. Convarca pitata L. var. Alba DC.*) составляет 30 % от занимаемой площади.

Основное производство капусты в Северо-Кавказском ФО в 2021 году составило– 32,7% от общероссийского показателя. На втором месте – Приволжский ФО (19,4%), на третьем месте – Центральный ФО (17,7%) [75].

Из результатов ежегодных итогов Ростата по сбору урожая капусты следует, что в 2017 году было убрано более 1,04 млн т. капусты при посевной площади 30 тыс. га, в 2021 – 798 тыс. т продукции при 25,5 тыс. га и в 2022-ом году - 950 тыс. т, при посевной площади в 28,3 тыс. га. Урожайность продукции в течении трех лет находилась в пределах 31,3 – 34 т/га [31].

Экономическую значимость капуста белокочанная приобрела благодаря ряду важных хозяйственных свойств, из которых главным является высокая урожайность - из овощных растений капуста дает самые высокие (от 80-100 т с 1 га и выше) урожаи при наименьшей себестоимости и затратах труда; транспортабельность, лежкость и адаптивная способность к различным условиям выращивания также являются важными хозяйственно-ценными признаками [57]. В России в Госреестр селекционных достижений внесено более 280 сортов и гибридов, разнообразие которых позволяет иметь свежую продукцию в течение всего года. Различие сортимента по длине вегетационного периода классифицирует капусту белокочанную на категории относительно их сроков спелости, что определяет хозяйственное назначение гибрида или сорта.

Сорта и гибриды подразделяются на: ультраскороспелые (от всходов до уборки 80–100 дней), раннеспелые (100-115 дней) с созреванием кочанов в конце мая - начале июня; среднеранние (110-120 дней), для получения продукции со второй декады июня по вторую декаду июля; среднеспелые (120-140 дней) продукция поступает в августе; среднепоздние (135-155 дней); позднеспелые (155-170 дней) уборка производится в октябре, продукция предназначена для длительного хранения и квашения [51,52].

Из рекомендуемой нормы потребления овощей – 161 кг в год на душу населения, на капусту белокочанную приходится 30 кг. Хотя капуста белокочанная по пищевой ценности и по вкусовым качествам уступает капусте

цветной, брюссельской, брокколи, она занимает первое место среди всех овощных растений, выращиваемых в Российской Федерации [85].

Капуста белокочанная используется в свежем виде, для приготовления салатов, пригодна для различного вида кулинарных обработок, употребляется как самостоятельное блюдо, например в квашеном виде, так и с различными добавками.

Специалисты по питанию, ученые-диетологи и представители пищевой промышленности предоставили неоспоримые доказательства лечебных свойств продуктов группы *Brassica*.

Поливитаминовый комплекс, содержащийся в капусте белокочанной, наделяет овощ поистине целебными свойствами содержанием витаминов: С (до 60 мг %), Р (до 300 мг %), В1, В2, витамин К, , витамина U, холина и др. Помимо этого капуста является источником минеральных солей таких как К, Na, Ca, Mg, Mn, Fe, которые необходимы для кровообразования и построения костной ткани. Являясь богатым источником витаминов, глюкозинолатов, фенольных соединений и каротиноидов обуславливают антиоксидантные и фармакологические свойства капусты [112, 164]. Опыты зарубежных и отечественных специалистов в области пищевых исследований не раз оценивали экстракты культуры *Brassica* на антиоксидантную активность. Несколько зарубежных исследований показали, что глюкозинолаты и продукты их распада, характерные для овощей *Brassica*, проявляют противораковые свойства [155].

Комплекс фенольных соединений способен поглощать активные формы кислорода, ингибировать нитрозирование, а также модулировать активность определенных клеточных ферментов. Количественные и качественные исследования полифенольного состава показали существенную вариабельность по антиоксидантной активности при сравнении между собой краснокочанной, брюссельской, белокочанной и других подвидов капусты [33].

Превалирующее количество солей калия предотвращает задержку жидкости в организме. Капустный сок имеет практически нейтральный кислотно-щелочной баланс и полезен больным с повышенной кислотностью.

Листья кочана содержат тартроновую кислоту, тормозящую отложение жиров при избыточном питании. В кочане много лизина, растворяющего чужеродные белки, что повышает их усвоение [119, 177].

Витаминный комплекс капусты способствует укреплению организма, повышению его работоспособности, устойчивости к болезням и неблагоприятным факторам окружающей среды. Одним из достоинств капусты является способность длительное время сохранять имеющийся в ней витамин С без снижения его содержания в течение 7–6 месяцев. Таким свойством не обладает ни один овощ. Это бывает особенно важно для человека в трудный зимне-весенний период, когда в питании мало зеленых овощей, а следовательно, и витаминов [44, 49, 17].

Питательная ценность зависит от содержания основных жизненно важных веществ: белка в % на сырое вещество, составляет до 1,8 %, углеводов 5,4%, клетчатки 0,6 – 1,6 % [104, 125]

Содержание суммы сахаров в листьях колеблется от 1,9 до 5,3%, органических кислот – от 12-15 % в кочанах и до 26 % в листьях [24].

По данным А.Ф. Наместникова (1989), для среднеспелых и позднеспелых сортов и гибридов, признаками определяющими пригодность сорта к квашению являются кочаны с сочными листьями, с повышенной сахаристостью (не менее 4 %) и содержанием витамина С в пределах 50-60 мг %. Чем выше содержание сахаров, тем больше молочной кислоты образуется при брожении, что определяет органолептические свойства квашеной капусты [68].

Наиболее высокие требования среднепоздним и поздним гибридам предъявляют по признаку лежкости, а именно свойству сохранять товарный вид и биохимические свойства. Такой параметр напрямую зависит от ее ботанических и биологических характеристик.

По данным ФНЦ овощеводства, капуста, предназначенная для длительного хранения, должна соответствовать следующим показателям: содержание сухого вещества – 9,3-10,7 %; сахаров – 3,7-4,3 %; витамина С – 21,3-32,2 мг %; нитратов – 39–124 мг/кг [54].

На сохраняемость капусты положительное влияние оказывает содержание углекислоты, которая ингибирует окислительные процессы.

Промышленное выращивание капусты в относительно крупных масштабах (с площадью в 0,6 тыс. га и выше) осуществляется в 8-и регионах РФ. Республика Дагестан – лидер по выращиванию капусты, посевная площадь в 2021 году составила 13,4 тыс. га.

В первую пятерку регионов по сбору капусты в России также вошли Московская область (1071,5 тыс. ц), Воронежская область (804,5 тыс. ц), Республика Марий Эл (754,5 тыс. ц), Волгоградская область (604,6 тыс. ц) [81].

Благодаря отечественным селекционерам решается задача по внедрению импортозамещающего сортимента F₁ гибридов капусты белокочанной с конкурентными преимуществами, обладающими устойчивостью к биотическим и абиотическим факторам. Наиболее распространенными коммерческими гибридами позднего срока созревания являются F₁ Доминанта, Колобок F₁ Илона, F₁ Орбита F₁, F₁ Барыня, F₁ Универс, F₁ Поиск F₁ Герцогиня и F₁ Континент [2, 24, 38, 39].

1.2 Морфологические и биологические особенности капусты белокочанной

Белокочанная капуста (*Brassica oleracea* L. *Convar capitata* L. *var. alba* DC.) относится к семейству Капустные (*Brassicaceae*), роду Капуста (*Brassica*) и является двулетним растением. В первый год капуста образует розетку прикорневых листьев и кочан, а во второй – цветонос и семена [51]. Согласно классификации Е.В. Лизгуновой капусту белокочанную подразделяют на три подвида: средиземноморский, восточный и европейский [52].

На юге России сортимент капусты белокочанной, до наступления эры гибридов F₁, принадлежал к Восточному подвиду (*sub sp. orientalis* Lizg), который распространен в Средней и Малой Азии, на Балканском полуострове и Северном Кавказе [8, 9].

По своим морфологическим особенностям сортимент, относящийся к данному подвиду, отличается крупными размерами, морщинистой поверхностью и слабоприподнятостью листьев. Одной из главных особенностей представителей восточного подвида является жароустойчивость. В первый год жизни растение капусты образует короткий стебель с сидячими или черешковыми листьями, затем кочан различной формы – от округлой до плоской и конусовидной. Плотность кочанов определяется по пятибалльной шкале, от очень рыхлых до очень плотных. Как известно, кочан представляет собой видоизмененную почку с многочисленными листьями и большим запасом питательных веществ.

Рассада капусты имеет тонкий стержневой корень и сердцевидную семядолю.

Величина розетки у раннеспелых сортов – (30 -50 см), среднеспелых – (51 - 70 см), позднеспелых – (71-90 см). Высота наружной кочерыги: от низкой (10 см) до высокой – 21-25 см и очень высокой – свыше 25 см [34].

Листья розетки могут быть лировидными, длинно- и среднечерешковыми, редко с цельными черешками. Пластинки листьев от усеченно-овальных до поперечно-овальных усеченных, морщинистые и сильно морщинистые, плоские или слабоогнутые, чаще с волнистым краем. Пластинка листьев варьирует в пределах от мелких (20 см), до очень крупных (60 см). Края пластинки листьев бывают цельные. Восковой налет от слабого до сильного или отсутствует [46].

Проводящие пучки внутри листьев представляют собой жилки и могут классифицироваться по густоте на средние, редкие, веерообразное, полу-веерообразное и густое. Окраска листьев может быть зеленой, светло-зеленой, синевато-зеленой. Интенсивность воскового налета на поверхности листовой пластинки варьируется от слабой до сильной степени, иногда отмечается отсутствие и зависит от сорта или гибрида, а также от условий среды выращивания.

Стебель капусты в первый год жизни толстый, укороченный и густооблиственный.

Расположение листьев в розетке бывает горизонтальное, полуприподнятое,

сильно приподнятое и направленное вверх. П.Д. Требушенко установил, что дифференциация листовых почек и образование новых листьев происходит при температуре выше 12 °С и избытке коротковолновых лучей (полуденный 10 – часовой период) [86].

Корневая система капусты мощная и хорошо разветвленная. Корни капусты бывают двух основных типов: стержневые и волокнистые. При рассадном способе выращивания в течение первых двух–трех недель концентрируется в верхнем слое почвы (50 – 60 см). Корневая система поздних сортов и гибридов отличается очень хорошим развитием и высокой усваивающей способностью. Корни капусты растут вертикально вниз, в почву, и могут уходить на глубину до 2 м [50].

Около 90% основных корней располагаются на глубине 30-50 см, а диаметр их распространения 70 см. Внутренняя окраска кочана варьируется от белой, бело-зеленой до кремовой и бело-желтой с антоциановой пигментацией. Факторы, способствующие снижению веса кочана, включают: рост уплотненных почв, возникающих в результате нулевой обработки почвы, засуха, заболачивание, распространение насекомых и болезней, а также затенение и дефицит питательных веществ, вызванные сорняками.

Все разновидности и сорта капусты содержат в листьях большое количество красящих пигментов группы антоциана. Ранее было установлено, что из антоциановых, флавоновых пигментов и катехинов образуются дубильные вещества типа фенолов. Все эти вещества способны к быстрому изменению под влиянием окислительных ферментов, в частности, устойчивость растений к различным болезням связана с присутствием дубильных веществ.

Второй год жизни связан с переходом растения из вегетативного состояния в репродуктивное.

Опытами Миллера было установлено, что переходу белокочанной капусты к цветению способствует выдерживание молодых растений при пониженных температурах. Позднее было установлено, что почки кочерыжки семенника являются разностадийными и имеют различную реакцию на низкие температуры,

так нижерасположенные почки частично находятся в состоянии покоя и менее активны [153]. Яровизационное воздействие прежде всего воспринимается верхней почкой, так как она является наиболее деятельной. Изучая вопрос разнокачественности почек капустных растений, еще в 50-х годах ученые объяснили это неодинаковым снабжением питательными веществами во время роста. Так активность и восприятие яровизационных воздействий верхушечной почки является результатом обильного снабжения питательными веществами через все сосудисто–проводящие пучки сосредоточенные возле почки [166].

Яровизация растений капусты зависит от многих факторов: температурный режим, возраста растений, подвида и сроков спелости капусты. Авторы отмечают, что у цветной капусты яровизация проходит в растениях при 13-18 °С. В исследованиях на пекинской капусте отмечено, что чувствительность к яровизации начиналась с появлением всходов и оставалась постоянной с увеличением возраста растения при 5-8 °С в течение 3 недель [118].

Раннеспелые сорта капусты белокочанной в возрасте 5-6 листьев яровизируются при температуре от 0 до 10-12 °С в течении 60-65 дней. Стрелкование и цветение у раннеспелого сортимента зависит от продолжительности воздействия яровизирующих температур: чем дольше яровизация, тем быстрее происходит высвобождение главного стебля и цветение. У поздней капусты переход к репродуктивной фазе лучше проходит при пониженной температуре от +2 до +6 С, в возрасте 55 дней, в течении 70-80 дней, в фазе 8-10 мощных листьев с площадью 400- 500 см² [96]. Успешное прохождение яровизации происходит только в том случае, если растение прошло ювенильный период, когда диаметр стебля составляет около 6 мм [59].

Доказано, что у капусты белокочанной разной группы спелости различный яровизационный период, заключающийся в днях. Так для раннеспелой капусты достаточно 50-65 дней, для средней – от 110-120, а для поздней 180-190 дней [34, 52]. При выращивании семенников в беспересадочной культуре, в пленочной необогреваемой теплице, процесс яровизации протекает значительно быстрее и составляет у поздних линий 120-130 дней, что, вероятно, связано с

освещенностью и меняющимся ходом яровизирующих температур в течение суток и всего периода яровизации.

Важная особенность капусты – отсутствие глубокого физиологического покоя, связанного с дифференциацией верхушечной почки.

Образование соцветия сопровождается изменениями строения конуса нарастания. В результате образования меристемических бугорков в конусе нарастания, из которых формируются органы цветка, появляются чашелистики, тычинки и пестик. В этот период прекращается закладка листьев. Увеличение междоузлия стебля происходит одновременно с формированием органов цветка. Внутренняя кочерыга выходит за пределы кочана [27].

И.Е. Китаева в результате изучения морфогенеза растений капусты установила 12 этапов онтогенеза – от семени, до созревания нового семени. А.С. Кружилин и З.М. Шведская установили 5 фаз морфогенеза в конусе нарастания, которые приводят к полному формированию цветков и пыльцы [45].

Дифференциация почек, расположенных на внешней кочерыге образуют главный стебель высотой до 2 м с боковыми цветоносными побегами.

Цветение начинается с соцветия главного стебля, после чего распускаются цветки, расположенные на осях первого порядка, после этого среднего и нижнего ярусов. Соцветие представляет собой удлиненную кисть (60–80 см и более) [36].

Цветки обоеполые, диаметром 1,8-2,8 см, венчик желтой окраски. Растения капустных культур являются перекрестноопыляющиеся. Пыльца липкая и тяжелая, переносится насекомыми. Цветок у капусты протерогиничный: рыльце созревает и может принять пыльцу в бутоне за 3-4 суток до цветения, пыльники вскрываются за 3-4 часа после распускания. Цветение одного цветка, восприимчивого к опылению и жизнеспособного около, 3 суток. После оплодотворения цветка происходит рост стручка (плод) и образование в нем семян [73].

Плод представляет собой стручок, который раскрывается по мере созревания семян путем растрескивания. Диаметр кондиционных семян 1,5-2,0–2,5 мм, от коричневой до черной окраски, округлые по форме. Масса 1000 семян

варьирует в пределах от 3 до 5 г. Одно растение капусты в среднем образует 40-50 г семян, у отдельных линий и сортов до 200 г [50].

Благодаря исследованиям зарубежных авторов (К. Оказаки, К. Сакамото, Р. Кикучи, А. Сайто, Э. Тогаши, Ю. Кугинуки), при изучении времени цветения у *Brassica oleracea* путем картирования генов и QTL- анализа, было доказано, что сроки цветения находятся под контролем определенных генов, на которые влияют эндогенные факторы, включающие яровизирующую, фотопериодическую и ювенильную фазы [158].

Капуста является холодостойкой, светолюбивой культурой длинного дня, отличающейся высокой требовательностью к влажности воздуха и почвы. Семена капусты могут прорасти при температуре 2-3 °С, всходы появляются при 11 °С на 10-12-й день, а при 18-20 °С на 3-5 день. В фазе семядолей капуста может выдерживать заморозки до -5, -6 °С [13]. Минимальная сумма активных температур, которая обеспечивает наступление массового созревания была определена Алпатьевым А.М. и составляет 1100-1400 °С в зависимости от группы спелости. Благоприятной для роста взрослых растений является температура в пределах 15-18 °С. При температуре 35 °С и формирование кочана приостанавливается, а рыльце пестика семенников становится слабо восприимчивым к пыльце, что препятствует оплодотворению [1].

Морфологические приспособительные органы южных сортов и гибридов обладают анатомическими особенностями: более ксероморфны, имеют более гигрофильную структуру. Физиологическая способность выдерживать погодные условия южных регионов обусловлена не только сохранением ассимилирующей активности на протяжении всего светового дня, высокой термостабильностью белков, а также наличием специфических морфологических признаков: приподнятой и полураскидистой розеткой, сильным восковым налетом на листьях.

Восточные подвиды капусты белокочанной обладают способностью формировать урожай с товарной продукцией в условиях жары в период нарастания температуры и снижения влажности воздуха ближе к середине дня, в

связи с интенсивной транспирацией и способностью охлаждать ткани растения. [46,47]. Основное отличие такого сортифта заключается в восстановительной способности обводненности листьев в вечернее время после сильного снижения в дневные часы.

Следует отметить, что количество устьиц у капусты на нижнем эпидермисе составляет 14000 шт./см², что превышает показатели таких культур как томат в 12 раз, кукурузу в 2 раза и в 3 раза картофеля. На верхнем эпидермисе количество устьиц – 22000 шт./см², в то время как у томата – 14000 шт./см², кукурузы – 7700 шт./см², картофеля – 16000 шт./см² [28].

Высокая интенсивность обмена веществ в капусте влияет на тепловыделение и обусловлена сильной активностью испарения влаги в осенний период: 800-1000 г/т в сутки, зимний 500-600 г/т в сутки и весной – 700 г/т в сутки.

Высокая требовательность капусты к воде обусловлена ее морфологическими особенностями, в том числе, круглосуточной высокой транспирацией вследствие непрерывного открытия устьиц с двух сторон листа, максимального водопотребления в период формирования кочана. Отзывчивость капусты на применение увлажнительных поливов (100-150 м³/га) обусловлена тем, что глубина проникновения основной массы корней сосредоточена в зоне 30-50 см. В южных регионах на момент высадки рассады из-за высоких летних температур (более 30 °С) и горячих порывов ветра, зачастую отмечается дефицит прикорневой почвенной влаги, что в последствии негативно воздействует на формировании листьев розетки и кочана. В связи с этим, при поливе культуры требуется высокая оросительная норма, максимальная потребность в водообеспечении, зависит от погодных условий, и отмечается в период формирования розетки листьев. Наиболее благоприятная влажность почвы – 89-90 % ППВ. По водопотреблению капуста превосходит практически все овощные культуры, расход составляет 4000-5000 м³/га [10.]

Другие исследования в полевых условиях на капусте белокочанной «Амагер 611» на рост и развитие капусты оказывает влияние относительная влажность,

наибольшая продуктивность растений достигается при влажности воздуха – 75-80 % [71].

Капуста относится к культурам длинного дня и оптимальным считается 17–18-ти часовой день. Особенно высокие требования к освещению предъявляют в рассадный период, потому как недостаток света может привести к вытягиванию растений.

Обеспечение скорости роста и полноценного развития растения в течение каждой фенологической фазы в значительной степени связано с почвенным питанием. В рассадный период молодые растения нуждаются в сбалансированном наборе всех основных элементов питания в легкодоступной форме. После высадки в грунт до образования завивки кочана растение нуждается больше всего в азотном питании, а в период образования продуктового органа – в калие и фосфоре [11]. Наиболее интенсивное усвоение капустой минеральных элементов наблюдается в фазу образования кочанов, в этот период растения капусты поглощают наибольшее количество азота 84,44 исправить %, фосфора 86 % и калия 84 % от общей потребности за весь вегетационный период [112].

Капуста отличается высокой реакцией на добавление минеральных и органических удобрений, что обусловлено изменчивым уровнем микроэлементов в процессе роста. Средний уровень урожайности капусты в 10 тонн приводит к изъятию из почвы 35 кг азота, 12 кг фосфора, 44 кг калия и 15 кг кальция. Если же урожай составит 60 тонн с гектара, то потребности в NPK возрастут до 210, 72 и 264 кг соответственно.

Капуста хорошо развивается на различных типах почвы, но особое предпочтение отдается суглинистым почвам, обогащенным органикой, с высоким уровнем гумуса не менее 3,0 %, обладающим благоприятными физическими характеристиками и с нейтральной реакцией почвенного раствора в пределах pH 6,5-7,0.

1.3 Гетерозис и его использование в селекции капусты белокочанной

Открытие гетерозиса, как явления, при котором гибриды первого поколения

превосходят родительские линии по развитию определенного признака, стало известно более ста лет назад благодаря исследованиям Дж. Шелла. [32, 168].

Зачастую в растительном мире гибридная сила проявляется в виде ускоренного роста, увеличении размеров, в повышении жизнеспособности и продуктивности гибридов первого поколения по сравнению с родительскими формами растений. Установлено его проявление в таких признаках, как раннеспелость, улучшение химического состава овощей, повышенная устойчивость к негативным абиотическим и биотическим факторам среды и вредителям. Гетерозис был выявлен уже на этапе оплодотворения, о чем свидетельствует больший размер эндосперма семян и увеличении их жизнеспособности [88].

Термин гетерозис, или как его еще называют «гибридная сила», впервые был описан в 1763 году русским ученым И. Кельрейтером. Позже Чарльз Дарвин доказал, что в результате перекрестного опыления у растений наблюдается увеличение размеров, продуктивности по сравнению с самоопылением. В 1880 году Билом на гибридах кукурузы был продемонстрирован гетерозисный эффект, превзошедший родительские компоненты на 50 % [55].

Существует множество гипотез, объясняющих эффект гетерозиса.

Гипотеза доминирования была предложена С.В. Davenport и в дальнейшем изучена, D.F. Jones [127]. Обобщение Н.В. Турбиным [86, 87] идеи о влиянии генов положительного воздействия в гетерозисном эффекте и выделил три возможных концепции действия доминантных генов. Также совместно с другими учеными была разработана теория генетического равновесия, согласно которой гибридная сила – это кумулятивный эффект фенотипически сходного действия разнородных генетических процессов. Парадигму доминирования и сверхдоминирования стоит изучать как основные часть общей теории гетерозиса которые интегрируют друг друга.

Суждение о сверхдоминировании, которое выдвинул в начале 20-го века G. Shull [167] и E. East [117], предполагает, как взаимодополняющую связь между аллелями в пределах одного локуса.

Согласно предложению А.Густафсона, гетерозис имеет три типа проявления: соматический – более сильное развитие ветвления, которое приводит к увеличению урожая семян и плодов, а также репродуктивный – к повышению конкурентоспособности гибридов в конкуренции за выживание.

В процессе изучения феномена гетерозиса была получена информация о его механизмах на разных уровнях, включая молекулярно-биологический, биохимический, клеточный и организменный.

В 1967 году R. Nageman и его коллеги разработали теорию, объясняющую эффект гетерозиса, согласно которой множественные аллели взаимодействуют друг с другом, что приводит к усилению биохимических процессов в организме [110, 124]. Несколько исследователей отмечают, что гетерозисные гибриды отличаются от исходных форм в различных аспектах, таких как митотическая активность, фотосинтез, активность митохондрий и пластид, а также содержание эндогенных регуляторов роста.

А.А. Жученко в своей работе 2003 года подчеркивает, что ключевым достижением является рост адаптационных способностей гетерозигот благодаря гармоничному взаимодействию всех генетических факторов как в ядре, так и в цитоплазме в процессе скрещивания, что приводит к тому, что общие и уникальные эффекты превышают индивидуальное влияние каждого из компонентов на адаптивные и урожайные показатели. Положительный эффект гетерозиса проявляется не только в том, что гибриды оказываются более продуктивными по сравнению с родительскими компонентами, но и в способности преодолевать негативные генетические взаимосвязи между хозяйственно-ценными признаками и тесно связанными генами, которые управляют как полезными, так и нежелательными признаками [124].

Не раз было установлено в исследованиях различных ученых о прямых корреляциях между гетерозисом и условиями среды выращивания о чем свидетельствуют изменения значений гибридной силы растений, выражающейся в генотипической реакции.

Родительские линии и гибридные комбинации имеют свойство изменять

характер наследования признаков в разных погодно-климатических условиях. Подтверждением этому служит перестройка набора генов, отвечающих за развитие определенного количественного признака, а также изменение набора модулей – базовых блоков, отвечающих за организацию признака, под влиянием сдерживающих факторов, описанные В.А. Драгавцевым [22].

Ученые сходятся во мнении, что селекционная работа для достижения гетерозисного эффекта, должна иметь экологическую целенаправленность на определенный комплекс, представляющий условия среды. В связи с этим предполагается учитывать почвенно-климатические, агротехнические условия, которые характерны для среды возделывания в конкретном регионе выращивания гибрида, а распространения патогенов и вредителей в местности.

Благодаря усовершенствованным методам селекции в области биотехнологии и генной инженерии появилась возможность изучения изменчивости определенного признака на уровне структурных участках ДНК, что является перспективным в исследовании гетерозиса [91]. Помимо этого, стремительно развиваются исследования в области маркерной селекции, где ученые исследователи имеют возможность контролировать устойчивость к определенным заболеваниям и преодолевать негативные корреляции [18,151].

Гетерозисный эффект и специфика его проявлений на капусте впервые были описаны Е.М. Поповой, Н. В. Белороссовой и Р.Е. Химичем на Грибовской опытной станции (ныне ФГБНУ ФНЦО) в 1935 году [3]. Учеными были даны практические рекомендации по подборе родительских пар, сочетание которых повышает гетерозисный эффект в F₁. Так скрещивание пар на основании резких морфологических особенностей или с большой разницей по вегетационному периоду дают большой гетерозис. Также говорится и о том, что морфологические признаки у F₁ гибридов промежуточные, но чаще всего встречается доминирование по материнской линии и реже по отцовской [72].

Многочисленные исследования показывают, что гетерозис у капусты выражается в виде увеличения розетки листьев, кочанов. Кроме увеличения размеров вегетативной массы, гибридная сила выражается в устойчивости к

вредителям, комплексу болезней, а также в скороспелости, повышенной лежкости, в высоких вкусовых качествах и увеличении урожайности на 15-30 % и более. Исследование гетерозиса на капусте сводится к практической эффективности получения гибридных семян, дающих высокоурожайное выравненное потомство с хозяйственно-ценными особенностями.

Установлено, что степень гетерозиса зависит от способа размножения, генетической удаленности родителей, исследуемых признаков, стадии развития растения и среды выращивания [126, 135, 136, 143].

Ученые не раз отмечали, что высокие значения гетерозиса по компонентам урожайности прослеживаются в гибридных комбинациях, отличающихся по морфологическим и биологическим свойствам, а также в сочетаниях линий или сортов отдаленных ареалов возделывания [35, 36].

Ряд авторов в своих исследованиях указывают на то, что межсортовые гибриды F_1 обладают такими положительными характеристиками, как повышенная урожайность, скороспелость и интенсивность роста вегетативных органов. Они также отмечали большую выравненность и товарность растений, а также их улучшенную лежкость. Биохимические показатели, такие как содержание сухих веществ и аскорбиновой кислоты, также увеличивались у гибридов. Еще одним положительным аспектом была их устойчивость к болезням и вредителям. Все эти открытия ученых позволяют сделать вывод о высоком потенциале межсортовых гибридов F_1 в сельском хозяйстве [12, 19, 82].

Гетерозисная селекция белокочанной капусты направлена, в первую очередь, на получение однородных выровненных по всем признакам растений, а также использование гетерозиса по ценным хозяйственным признакам. Кроме того, очень ценным при получении гибридов является возможность оперативно интродуцировать в генотип желаемые признаки, такие, как устойчивость к определенным стрессорам, а также преодолевать отрицательные корреляции между отдельными хозяйственными признаками. Таким примером может быть получение селекционерами лежких высокопродуктивных гибридов и высокоурожайных скороспелых гибридов.

Длительным этапом, требующим глубокого изучения в процессе получения гибридов является создание константных родительских линий, на формирование которых уходит от 7 до 14 лет при использовании классических методов селекции [62]. В современной мировой селекции для ускорения селекционного процесса гомозиготные линии получают через культуру дигаплоидов [43]. Биотехнологический метод культуры изолированных микроспор *in vitro* позволяет ускорить процесс создания F_1 гибридов в 2 раза [82].

В отечественной селекции пока этот метод не нашел должного распространения по причине технической сложности при оценке полученных дигаплоидов.

Гетерозисная селекция капусты базируется на генетическом способе контроля опыления, основанном на использовании явления самонесовместимости (неспособности оплодотвориться собственной пылью) и мужской стерильности.

Самонесовместимость у капусты определяется спорофитной системой с участием множественной серии аллелей одного локуса [51, 65].

С момента открытия явления самонесовместимости И.Кельрейтером (1762 год) до применения в селекционных схемах прошло более полутора века. В начале 1930-х годов самонесовместимость стала применяться на практике для создания гибридов F_1 капусты путем скрещивания двух самонесовместимых линий, идея которого принадлежит О.Н. Пирсону. Исходя из исследований в области генетики самонесовместимости, в 1942 году в Японии Синохара разработал первый гетерозисный гибрид белокочанной капусты. [162]. Оригинальные схемы создания двухлинейных гибридов (ItoT., 1957) и четырехлинейных гибридов на основе самонесовместимости (Odland, Noll, 1950; Nishi, 1967) произвели настоящую революцию в области создания, промышленного семеноводства и возделывания гетерозисных гибридов. В конце 1950-х годов началась широкомасштабная работа по созданию коммерческих гибридов F_1 , которая основывалась на глубоком изучении генетики самонесовместимости растений.

В 1977 г. проф. А.В. Крючковым в МСХА имени К.А. Тимирязева была

предложена четырехлинейная схема [48], для создания гибридов F_1 , которая заключается в сохранении гетерозиготности по аллелям гена самонесовместимости в течение нескольких поколений, пока не достигнута гомозиготность по генам, которые управляют хозяйственно ценными признаками. Первый отечественный гибрид F_1 капусты СБЗ, который получен на основе четырехлинейной схемы был включен в Госреестр в 1991 году. Позже в нашей стране селекционеры перешли на 2-х линейную схему создания гибридов F_1 , предложенную Г.Ф. Монахосом [67].

Преимуществом двухлинейных гибридов является выровненность потомства F_1 по хозяйственно-ценным признакам. Недостатками двухлинейной схемы принято относить процесс размножения линий, который осуществляется гейтоногамным опылением вручную вскрытых бутонов. На сегодняшний день в мире существуют альтернативные подходы, которые получили значительное развитие в решении проблемы самонесовместимости [64].

До 21 века гибриды *B. oleracea* в основном производились с использованием самонесовместимых линий.

Генетические механизмы самонесовместимости у овощей *Brassica* чувствительны, из-за чего S-аллель не всегда стабильна, что приводит к появлению "материнских форм", так называемых «сибсов», в гибридной популяции [164]. Более того, поддержание линий S-аллеля занимает много времени. В результате многолетних исследований была создана лучшая альтернатива для гетерозисного размножения, где в качестве материнского компонента скрещивания выступают линии с цитоплазматической мужской стерильностью [115, 164].

Цитоплазматическая мужская стерильность (ЦМС) – это внеядерный признак, который приводит к образованию abortивных или бесплодных пыльцевых зерен.

Феномен цитоплазматической мужской стерильности (ЦМС), заключается в экспрессии aberrантных (химерных) генов из-за перестроек митохондриального генома, в результате такие растения неспособны продуцировать жизнеспособную

пыльцу [185].

У видов *Brassica* сообщается о различных типах ЦМС, таких как *Ogu*, *nap*, *Nig*, *Tour*, *Shaan2A*, *pol*, *Nsa*, *hau*, *inap* и *oxa*. Среди них *Ogu*-ЦМС впервые идентифицирован у *Raphanus sativus* *Nig*. ЦМС получено от *Brassica nigra*, представляет собой аллоплазматическую систему мужской стерильности, полученную в результате соматической гибридизации *Brassica napus* и *Sinapis arvensis*. *Inap* ЦМС был получен в результате соматической гибридизации *Brassica napus* и *Isatis indigotica* путем рекуррентного обратного скрещивания; *hau* ЦМС и *oxa* ЦМС произошли от *Brassica juncea*. ЦМС *Nig*, *Tour*, *pol* и *Ogu* были перенесены в *B. oleracea* путем слияния протопластов или межвидового скрещивания. Перенос цитоплазмы *Ogura* был осуществлен в цветную капусту в 1992 году, а позже была перенесена в капусту и другие подвиды путем многократного насыщающего скрещивания в течении 6 поколений [157].

На сегодняшний день аллоплазматическая *ogura*-ЦМС является наиболее изученной, стабильной в своем проявлении и широко распространенной в селекции и семеноводстве капустных культур.

Из литературных источников следует, что цитоплазматическая мужская стерильность *ogura*, взаимосвязана с геном *orf138*, расположенным в митохондрии [60].

В литературе встречаются работы, описывающие практическое применение *ogura* подобной ЦМС в селекционных программах по созданию F₁-гибридов капусты [97,98].

1.4 Комбинационная способность

Основополагающая роль в селекционной работе по созданию гетерозисных гибридов отводится характеристике и оценке линий, что определяет особенность генотипов по изучаемому признаку.

Проявление гетерозисного эффекта по определенному признаку в потомстве F₁ гибридов, основывается на комбинационной способности.

Принято различать общую комбинационную способность (ОКС) и специфическую комбинационную способность (СКС). Общая комбинационная способность отражает величину эффекта линии которая получена в результате разницы между средним значением гибрида и средними значениями всех гибридов в диаллельной схеме.

Под общей комбинационной способностью (ОКС) Райт определяет возможность родительской формы передавать свое генетическое превосходство в гибридах этого вида. Большинство ученых считают, что ОКС линий определяется аддитивным (суммарным) действием полигенов.

Спрейг и Тейтум представили концепцию специфической комбинационной способности, которая математически определяется как разница между конкретным параметром изучаемого признака в F_1 , общим эффектом комбинационной способности родительских линий и средним значением по диаллельной схеме. [102].

Специфическая комбинационная способность (СКС) является следствием аллельного и неаллельного взаимодействия генов, которая выражается в виде доминирования, сверхдоминирования и эпистаза [173].

Многие исследования посвященные изучению комбинационной способности на различных сельскохозяйственных культурах отражают влияние высоких значений эффектов ОКС, влияющих на урожайность.

В связи с этим, изучение и оценка ОКС и СКС линий является неотъемлемой частью селекционной схеме, а также компонентой позволяющая определить генетические свойства признака [182].

Широкую информативность по результатам ОКС и СКС линии можно получить при различных схемах скрещиваний: свободное опыление, поликросс, топ-кросс, полные и неполные диаллельные скрещивания. Специфическую КС стоит анализировать оценивают в диаллельных скрещиваниях и топ-кроссах.

Ученый генетик Гриффинг предоставил методику математических формул и схем, позволяющая рассчитать эффекты и варианты линий по ОКС и СКС по линиям, как в прямых, так и в обратных гибридах.

В целях ускорения селекционного процесса и повышения эффективности объема работы, связанной со скрещиванием и испытанием гибридов, были предложены методы неполных диаллельных скрещиваний, что повышает эффективность такой гибридизации до 80-90 % [56].

Схема создания гетерозисных гибридов сводится к созданию линий, обладающих высокой комбинационной способностью, гомозиготностью по аллелям генов, определяющих основные хозяйственные признаки.

Для селекции капусты на желательные признаки, в том числе для селекции на устойчивость к заболеваниям, проводят инцухтирование или инбридинг с целью придания исходному материалу гомозиготности. У линий, обладающих гомозиготностью по аллелям генов, определяющим эти признаки, особенно сильно проявляется эффект гетерозиса.

Такие потомства растений капусты обладают высокой выравненностью по срокам созревания, морфологическим качествам и другим ценным признакам.

Так, например, результаты изучения гибридов и линий О.Р. Давлетбаевой, Г.А. Костенко и В.А. Прокопова, свидетельствуют о том, что при селекции на высокую урожайность наиболее перспективны линии, имеющие высокий эффект ОКС по средней массе кочана и высоте наружной кочерыги в сочетании с отрицательным эффектом ОКС по среднему диаметру розетки листьев [41, 74]. При селекции на порционный тип кочана стоит отдавать предпочтение линиям, обладающим отрицательными эффектами ОКС по массе кочана, со стабильным проявлением данного признака по годам.

В работах Л.И. Шпак и Г.Ф. Монахоса говорится, о возможности получения наибольшего успеха при создании жаростойкого лежкого гибрида если придерживаться сочетания родительских компонентов с длиннодневными линиями поздней лежкой капусты, созданными в условиях Московской области [94].

Успех селекции обуславливает правильное комбинирование линий, что позволяет достигнуть гетерозисного эффекта по желаемым признакам.

Корреляционные связи между метеоусловиями и вариабельности

комбинационных способностей по хозяйственно-ценным признакам на капусте белокочанной, а именно урожайность, индекс кочана, содержание витаминов, отмечены в работе Pathak. Парадигма о взаимодействии генотип-среда нашла свое подтверждение в опытах Khursheed [100].

Многочисленные исследования, направленные на изучение комбинационной способности инбредных линий капусты белокочанной, позволили создать фундаментальную базу для оптимизации селекционного процесса гетерозисных гибридов первого поколения и их семеноводства. Длительный труд А.В. Крючкова и его последователей позволили создать генетический банк самонесовместимых родительских линий, на основе которых получена широкая линейка коммерческих гибридов F_1 , обладающих комплексом хозяйственно-ценных признаков в сочетании с устойчивостью к основным заболеваниям. В настоящее время в Государственный реестр селекционных достижений включены гибриды F_1 районированные в различных регионах страны, контрастные по природно-климатическим и почвенным характеристикам, разного срока созревания: Валентина, Колобок, Трансфер, Марьяна, Монарх, Сударыня, Семко Юбилейный 217, Викторина, Соло Милана, Доминанта, Илона, Василиса, Орбита и другие [37, 38, 66].

Создание жаростойкого сортимента гибридов капусты белокочанной в КНИИОКХ, ныне отдел «ФНЦ риса», под руководством С.В. Королёвой позволяет выращивать гибриды F_1 разного срока созревания: Атаман, Казачок, Рица, Грация, Милана, Млада, Сударыня, Марьяна, Олимп, Викторина, адаптированных к высоким температурам для юга России, которые обладают экологической стабильностью и включены в разных зонах выращивания.

На сегодняшний день для создания перспективного сортимента гетерозисных гибридов селекционеры используют в своих рабочих программах линии, сочетающие в себе высокие показатели ОКС по многим хозяйственно ценным признакам. Так, например, результаты отечественной селекции не раз демонстрировали сочетание в одном генотипе от 2 до 5 и более признаков, представляющие собой селекционную ценность. Г.А. Костенко, 2016 сообщает о

получении гибридов с высокими показателями ОКС по массе кочана, вкусу, плотности, высоте наружной кочерыжки, плотности и отрицательную ОКС по величине розетки и количеству поврежденных листьев кочана трипсом [42].

Авторы сообщают о возможности сочетания в одном гибриде таких признаков как жаростойкость, устойчивость к сосудистому бактериозу, фузариозному увяданию, высокая степень толерантности к вредителям в неблагоприятных условиях возделывания для капусты белокочанной, что позволяет создать гибриды с широким ареалом возделывания [23].

В литературных источниках говорится об актуальности передачи новых генов устойчивости к основным заболеваниям, с последующим пирамидированием в генотипах гибридов F₁. Результатом решения данной проблемы возможно путем межвидовой гибридизации. Ярким примером создания гетерозисного гибрида, сочетающего ряд положительных признаков, является создание Г.Ф.Монахосом, С.Г. Монахосом и О.Н. Зубко линий капусты белокочанной с групповой устойчивостью к киле, фузариозному увяданию и сосудистому бактериозу. Первый полученный таким способом гибрид Киластоп F₁ [26, 27].

Изучение генетических свойств, выражающихся в общей и специфической комбинационной способности наиболее полно отражены в трудах Хеймана, где он выдвинул предположение о том, что при отсутствии эпистаза, общая комбинационная способность состоит как из аддитивной части, так и из средней доминантной, в то время как специфическая комбинационная способность включает главным образом только доминирование [98]. Хейман обуславливал эпистатические взаимодействия генов, в которых комбинационная способность обеих линий будет содержать эпистатическую часть. ОКС включает в себя среднюю степень эффекта доминирования, а в специфическую – эпистатический эффект, который сопряжен с определенными гибридными комбинациями.

Ведущие селекционеры нашей страны за последние 20 лет разработали принципиально новый подход в оптимизации селекционного процесса, получении исходного материала и в последствии переход к гетерозисным гибридам.

На сегодняшний день для каждого региона существует свой конвейер гибридов капусты, обеспечивающий круглогодичность поступления свежей продукции [37, 61].

На юге страны, где климат отличается низкой влажностью воздуха и высокими температурами, ведется селекция по созданию жаростойких гетерозисных гибридов среднепоздней группы спелости, а также ультраскороспелые и скороспелые гибриды. Использование биотехнологии в селекции капусты в сочетании с классической селекцией значительно улучшила уровень селекции.

1.5 Физиологические нарушения на капусте

Физиологические нарушения на капусте белокочанной, как и на многих других культурах, связаны с недостатком определенных элементов минерального питания или нарушением их поступления в растения под воздействием определенных стрессоров, таких, как высокая температура, низкая влажность воздуха, резкие перепады влажности почвы, несбалансированность питательных веществ в почве [90].

Многолетний опыт изучения соотношения элементов питания внутри растения свидетельствует о случаях активной конкуренции ионов элементов в системах, ответственных за их всасывание, транспорт или метаболизм [132]. Это обусловлено схожестью макро и микроэлементов между собой по физико-химическим свойствам или размеру атомов. Помимо этого, недостатка или избыток элементов питания в растениях может быть обусловлен не только их количеством, но и возможным проявлением антагонизма или синергизма при их поглощении из почвы и усвоении из удобрений. Авторами сообщается, что недостаточность элементов минерального питания может возникать из-за кислотности или солонцеватости почвы, вызывающих иммобилизацию питательных элементов в почве [25, 179].

В литературных источниках указано, что физиологические нарушения или неинфекционные болезни, вызванные абиотическими или непатогенными

факторами, являются результатом генетических изменений, происходящих в меристематических клетках растений, что приводит к уродству отдельных органов растения или к потере товарного вида [142]. Степень нарушения зависит от того, на каком этапе развития растения происходят изменения.

Физиологические нарушения, свойственные кочанной капусте, включают в себя: ожог верхушки внутренних листьев кочана, черные черешки, преждевременное образование цветоносов и формирование боковых побегов [53].

Наиболее опасным и распространенным заболеванием физиологического характера на капусте является ожог верхушки внутренних листьев кочана.

Ожог верхушки внутренних листьев кочана был открыт более 100 лет назад, как нарушение в метаболизме растения и до сегодняшнего дня именуется в иностранных источниках, как «tip burn». Феномен tip burn впервые был описан в исследованиях Сайфера и Сэйра в США в 1946 году. Это непатогенное заболевание широко распространено и по многочисленным данным вызвано дефицитом кальция в растении. Tip burn зафиксирован на пяти континентах и представляет собой угрозу получения не товарной продукции различных культур, приводящее к экономическим рискам [120].

Физиологические нарушения, связанные с недостатком кальция в пораженном органе, часто встречается у представителей семейства Brassicaceae, а именно, *Brassica rapa sub sp. pekinensis*, *Brassica oleracea Italica Group* и *Brassica oleracea L. var. botrytis L.*, *Brassica oleracea var. gemmifera*, *Brassica oleracea con var. Capitata rubra* и *Brassica oleracea var. capitata* также подвержены данному физиологическому расстройству, в результате которого утрачиваются вкусовые качества, товарный вид и ценность продуктивного органа капусты [145].

Ожог внутренних листьев кочана представляет собой отмершую листовую ткань. Особенно восприимчивы к заболеванию листья вокруг конуса нарастания. Симптомы заболевания капусты становятся заметны только при разрезе кочана. Пораженная ткань постепенно становится сухой на вид, коричневого цвета и бумажной по текстуре. В крайнем случае – до темно-коричневой или черной. Пораженная область представлена или узкой зоной по краям одного или двух

листьев до довольно обширной, что свидетельствует о разрушении структуры и функций клеточной мембраны и клеточной стенки, приводящим к некрозу меристемы и даже заражению патогенными бактериями [134].

Согласно исследовательской базе, такое расстройство принято рассматривать как локализованный дефицит кальция [138, 188].

Кальций отвечает за прочность клеточной стенки, а также способствует усвоению соединений и химических элементов питательных веществ, что укрепляет ткани растений, поддерживает нормальное развитие корневой системы и отвечает за функциональность корневой системы, активизации пыльцевых трубок и оплодотворения, а также отзывчивость на абиотические и биотические стрессы [130].

Кальциевый дефицит вызывает дисбаланс всех элементов питания клеток, а именно, резко усиливается поглощение магния, ослабляя работу корня.

В последствии у растений уменьшается интенсивность транспирации и фотосинтеза, нарушается синхронность в движении устьиц, снижается устойчивость к неблагоприятным условиям выращивания [156]. Дефицит кальция приводит к отмиранию меристемических тканей и корневой системы, что в конечном итоге приводит к отделению, аутолизированию клеток, становятся коричневыми и высыхают из-за прекращения подачи воды [140, 108].

Преыдушие исследования показали, что в растениях накопление абсцизовой кислоты происходит в момент стресса, что напрямую связано с дефицитом Ca^{2+} и играет регулирующую роль в ответ на вызванный дефицитом Ca^{2+} ожог у представителей *Brassica* [142].

Замечено, что кальций, перемещенный в клетки, сохраняется в вакуолях, а транспортиция его в труднодоступные участки не наблюдается, как у других питательных веществ, например, азота [189].

Ряд исследований подтверждают тот факт, что дефицит кальция не связан с недостатком данного макроэлемента в почве, а вызван нарушением транспорта кальция внутри растения. Это утверждение согласуется с молекулярными исследованиями на пекинской капусте, которые показали, что между симптомами

заболевания и общим содержанием эндогенного Ca^{2+} корреляции не установлено, в то же время эффективность поглощения и использования Ca^{2+} растением зависит от цитоплазматического Ca^{2+} . При кальциевом стрессе пектиновый полисахарид разрушается под действием полигалактуроназы, клеточная стенка отмирает и в условиях недостаточного содержания элемента возникает некроз клеток [148].

У брюссельской капусты аналогичные симптомы наблюдаются у проростков в виде краевого некроза в районе быстро разрастающихся листьев, а именно, на верхушке побега [134].

Зарубежные ученые показали в своих исследованиях, что во внешних листьях содержание кальция увеличивалось в течении дня пропорционально испарению, в то время как во внутренние листья кочана кальций транспортировался в ночное время [101].

Поскольку никакие методы управления не могут контролировать большинство факторов, вызывающих ожог верхних листьев кочана, селекция на устойчивость к ожогам кончиков остается наиболее подходящей долгосрочной стратегией для предотвращения данной проблемы.

1.6 Факторы, влияющие на метаболизм кальция

Транспорт кальция к надземным органам растений зависит от ряда факторов, таких как концентрация Ca^{2+} в ксилемном соке, сбалансированность минерального питания, водопоглощение и водный потенциал растений, транспирация и скорость роста [109].

Установлено, что Ca^{2+} перемещается вместе с потоком воды, поэтому наиболее активное распределение макроэлемента происходит во внешних листьях, где транспирация относительно активна, а движение к внутренним листьям происходит слабее. Авторы сообщают, что транслокация Ca^{2+} во внутренние листья растений пекинской и белокочанной капусты усиливается при снижении транспирации наружных листьев.

Это утверждение согласуется с более ранним заключением авторов, где

говорилося о том, что Ca^{2+} в основном перемещается в области с высокой эвапотранспирацией, поэтому движение в области, требующие большого количества кальция, практически не происходит [122].

Согласно другой точки зрения Armstrong M. J., Kirkby E. A, движение Ca^{2+} в растениях производится массовым потоком и серией обменных реакций по направлению отрицательно заряженных участков ксилемы. Marschner подчеркнул, что Ca^{2+} малоподвижен в тканях растений и имеет отрицательную корреляцию со скоростью потока воды в ксилеме, а регуляция макроэлемента в большей степени зависит от обменных поглощений [103]. Ученые связывают проявление «tip burn» с дефицитом кальция в молодых органах растения и избытком растворимых солей, что в свою очередь препятствует нормальному усвоению кальция [152]. С другой стороны, более высокое накопление Ca^{2+} и K^+ было характерно для устойчивой линии капусты, тогда как Na^+ был выше у восприимчивой линии [138].

1.6.1 Транспирация и скорость роста

Сообщается, что содержание кальция в образцах капусты снижалось по мере закручивания листа во внутреннюю часть кочана от основания к краю. Эти наблюдения согласуются с общим мнением, о том, что Ca^{2+} преимущественно перемещается через ксилему в активно влагоиспаряющую растущую ткань [154].

Поглощенный корнями Ca^{2+} с транспирационным потоком переносится в побеги вместе с другими минеральными веществами питательные вещества. Транспирационный поток в ксилеме находится под очень сильным напряжением, которое тянет воду вверх через корень и стебель к листьям. Поскольку скорость транспирации на лист незрелых листьев меньше, чем у зрелых листьев, на незрелых листьях обычно возникает ожог верхушек, поскольку поступление Ca^{2+} недостаточно по сравнению с потребностями растительных клеток. Аналогичным образом, подавление транспирации средой с высокой относительной влажностью и жаркой, и сухой средой, в которой устьица закрываются, является основным фактором, препятствующим переносу Ca^{2+} от корня к побегу. Поток корневого

давления, представляющий собой осмотическое давление клеток корня, также переносит воду вверх от корня до побега. Натяжение корневой напорной струи слабее, чем транспирационной струи, но она играет важную роль в переносе воды в ночное время. Следовательно, низкая активность корня из-за водного и солевого стресса, низкая температура и низкий уровень кислорода в корневой зоне также вызывают дефицит Ca^{2+} . Кальций является важным компонентом стенок растительных клеток и остается неподвижным после прикрепления к клеточной стенке. Следовательно, Ca^{2+} не перемещается из тканей с достаточным количеством Ca^{2+} в ткани с недостаточным количеством Ca^{2+} , и каждая ткань обычно конкурирует за распределение Ca^{2+} , поступающего из корня. Одним из факторов, влияющих на распределение Ca^{2+} , является площадь листа, а содержание кальция в листе сильно зависит от аккумулятивной скорости транспирации. Palzkill D. A. и др (1976) сообщили, что снижение транспирации в ночное время способствовало распределению кальция во внутренних молодых листьях и, таким образом, предотвратило ожоги у капусты и салата, возможно, за счет усиления потока Ca^{2+} под давлением корней [106]. Напротив, другие ученые наблюдали, что ограниченная транспирация молодых листьев салата-снижает концентрацию Ca^{2+} в них и приводит к быстрому возникновению ожога кончиков. Таким образом, роль влажности в транспорте Ca^{2+} остается спорной. Vande Geijn и Smeulders (1981), исключили корневое давление как основную движущую силу для транспорта Ca^{2+} в меристематические ткани при затенении [105].

Большинство авторов согласны с тем, что возникновение ожога верхушки внутренних листьев кочана сопряжено с увеличением скорости роста. Это объясняется повышенным спросом на Ca^{2+} в периоды интенсивного роста. Это согласуется с выводами Maunard и Barker (1972) относительно брюссельской капусты о том, что низкие уровни Ca^{2+} не вызывают внутреннего потемнения, расстройства, подобного ожогу кончиков, если только они не сочетаются с быстрым ростом растения [150].

Листья растений, у которых развивается кальциевый дефицит, часто крупнее и сочнее, с более высоким содержанием воды, чем листья здоровых

растений [181].

У мощных растений баланс корней и побегов смещен в сторону более высокого отношения побегов к корням. У выращенной в поле капусты пекинской ожог кончиков появляется в основном незадолго до сбора урожая и особенно на тех листьях и тех частях листьев, которые разрастаются быстрее всего [116]. В контролируемых условиях, таких как теплицы и климатические камеры, ожог возникает гораздо чаще, чем у растений, выращенных в полевых условиях. Может не только усилиться интенсивность этого расстройства, но и ускориться его возникновение. Так, например, у салата это наблюдается уже через 13 дней после появления всходов. Чем выше была скорость роста салата, тем раньше появлялись первые признаки ожога кончиков, как по времени появления всходов, так и по количеству развитых листьев [101]. Есть несколько сообщений о том, что замедление роста, например, за счет снижения температуры, уменьшения количества света или ограничения азотных удобрений, может снизить риск возникновения ожога кончиков. Кроме того, применение ингибиторов роста растений может в некоторых случаях успешно уменьшить случаи tip burn. Напротив, другие авторы указывают на то, что ожог кончиков усиливался, когда функция корней снижается из-за почвенных факторов, таких как засуха, засоление, ограничение корней. Кроме того, существует взаимосвязь между типичным ожогом и скоростью роста: быстрый рост увеличивает риск развития ожога кончика листьев кочана [133]. Это говорит о том, что могут возникнуть трудности в создании сортов с активной силой роста, обладающих устойчивостью к типичным ожогам. Однако фермерам в тепличных комплексах по производству растений нужны сорта, которые имеют сокращенный вегетационный период. Наблюдения ученых позволили классифицировать такие сорта по восприимчивости к заболеванию.

Авторами сообщается о том, что перестой кочанов на корню увеличивает риск возникновения ожогов [127, 174]. Масса кочана все еще может увеличиваться в период сбора урожая, что указывает на образование тканей, во время которых может возникнуть внутренний ожог.

1.6.2 Регулируемые и нерегулируемые факторы, влияющие на проявление физиологического расстройства

На кальций растений в основном влияют три основных фактора: абсорбция кальция в корне, перенос кальция от корня к побегу и конкуренция за распределение кальция в клетках [141]. Ca^{2+} , поглощенный из почвенного раствора через каналы плазматической мембраны, транспортируется от корней через ксилему к различным тканям и органам [137]. Однако поглощение Ca^{2+} корнями снижается с увеличением расстояния от верхушки корня, причем в апикальных зонах корня значительно выше, чем в базальных. Транспорт Са к надземным органам растений зависит от ряда факторов, таких как концентрация Ca^{2+} в ксилемном соке, сбалансированность минерального питания, водопоглощение и водный потенциал растений, транспирация и скорость роста [140, 172]. В плазматической мембране клеток корня с помощью биохимических и электрофизиологических методов было идентифицировано множество проницаемых для кальция каналов [114, 152, 160, 169].

Еще в 1946 году Шафер и Сейр (1946) обнаружили положительную корреляцию между урожайностью, массой кочана и внутренним ожогом кончиков листьев кочана. Сообщалось, что кочаны с большей массой были сильнее подвержены заболеванию [165]. Позже Беккер подтвердил в своих наблюдениях тот факт, что внутренний ожог усиливался при быстрых темпах роста кочанов и обычно возникал в годы с высокой урожайностью. Сообщалось, что применение больших количеств азота и органики в виде навоза—может привести к увеличению количества внутренних ожогов без сопутствующего увеличения урожайности. Шафер и Сейр (1946) связывают это явление с низким содержанием кальция и высоким содержанием калия в кончиках пораженных листьев [175].

Ученые из Китая, исследования которых направлены на изучение причин возникновения «tip burn» на капустных культурах, рекомендуют рассматривать факторы заболевания, вызванные дефицитом кальция, комплексно, подразделяя их на четыре категории. К первой относят недостаточное содержание кальция в

почве, вторая причина - нарушение его усвоения из-за высокой температуры, сухости почвы, избыточного увлажнения и накопления солей. Помимо этого, еще одним фактором является дисбаланс в движении и распределении, вызванный дневным и ночным перемещением из-за высокой температуры, низкой влажности и скорости ветра, что влияет на транспирацию. Ускоренные темпы роста и неспособность растениями усваивать и восполнять кальций в труднодоступные участки листьев являются четвертой причиной [172].

1.6.2.1 Почвенные условия

Ингибирование всасывания Ca^{2+} обусловлено двумя факторами: низкой концентрацией Ca^{2+} в прикорневой зоне и низкой поглотительной способностью Ca^{2+} в корнях. Типичный ожог часто возникает, когда корень растения не может в достаточной степени поглощать Ca^{2+} : клетки растения испытывают дефицит Ca^{2+} , даже если зона корня богата Ca^{2+} .

Сообщается, что некоторые факторы, ограничивающие поток корневого давления, такие как сухость почвы, высокое содержанием солей и затопленные почвы, способствуют ожогу верхушки внутренних листьев кочана у капусты белокочанной в поле.

Зарубежными учеными было установлено, что повреждения заболеванием возрастает при большей площади питания капустных растений в результате ранней высадки и позднего сбора урожая, что говорит о влиянии так называемого периода перестоя [184].

Факторы, препятствующие поглощению Ca^{2+} , включают резкое изменение pH в корневой зоне, которое повреждает корни, неподходящую температуру для роста корней, а также водный и соленый стресс в корневой зоне. Кроме того, NH_4^+ и K^+ действуют антагонистически по отношению к поглощению Ca^{2+} корнями. В условиях, богатых NH_4^+ и K^+ , корень может поглощать больше, чем ему необходимо, поэтому поглощение Ca^{2+} относительно подавляется [173]. Ученые из Висконсинского университета утверждают о взаимосвязи накопления и распределения растением кальция и калия [174]. Анализ показал, что содержание

кальция в пораженных участках листьев было очень низким в момент повреждения, в то время как содержание калия высоким.

В качестве провоцирующих заболевание факторов стоит считать анаэробные условия в виде уплотнений почвы, которые ограничивают рост корней. Наблюдение ученых на посадках салата и капусты пекинской установили тот факт, что ожог усиливается у растений, выращенных на плотной почве, по сравнению с растениями, выращенными на рыхлой почве [175].

Йонге Позринк (1961) сообщил, что частота возникновения внутренних ожогов выше на более плодородных почвах, где наблюдается активный рост.

В ранние годы исследований сообщалось, что повышенная кислотность pH может приводить к плохому усвоению кальция и дефициту надземных органов [128].

Однако сравнительно недавние исследования отклонили гипотезу, поскольку исследования, направленные на изучение возникновения дефицита кальция на капусте с диапазоном pH почвы от 5,3 до 6,6, не увеличивали и не уменьшали частоту «*tip burn*», а также не влияли на интенсивность поглощения питательных веществ и не отражались на общей урожайности капусты [111, 177].

Как утверждают ученые, в результате сухости почвы поток корневого давления снижается, что ограничивает поглощение воды растениями. В результате чего Ca^{2+} локализуется во внешних листьях. Авторы обращают внимание на температуру почвы, во многих исследованиях говорится о том, что при низкой температуре почвы скорость поглощения ионов ксилемой снижается, а сопротивление движению воды в корне увеличивается. Если почва остается холодной в течение периода, когда надземные условия теплые и способствуют быстрому росту, корневое давление может оказаться недостаточным для перемещения достаточного количества кальция во внутренние листья растения, что также приводит к нарушениям в метаболизме [178, 179].

Согласно результатам исследования Харца и др. (2007), внутренний ожог листьев не связан с внесением удобрений в виде раствора кальция или содержанием кальция в почве при выращивании кочанного салата. По мнению

ученого, ожог верхушечной части листьев был спровоцирован слабой транспирацией растений за две недели до сбора урожая в результате сильного тумана в предгорной местности [175].

1.6.2.2 Температура и влажность

Многие исследования согласуются с данным утверждением, где говорится о том, что капуста чувствительна к избытку почвенной влаги и переувлажнение является провоцирующим фактором для возникновения дефицита кальция в капусте в результате нарушения транспирационной активности растений [163].

Во многих случаях существует положительная корреляция между высокой влажностью окружающей среды (ОВ) и возникновением ожогов. Это было показано, например, для салата [172], капусты белокочанной и цветной капусты [181].

Stratton и Nagata (1994) использовали высокую относительную влажность в сочетании с высокой температурой, чтобы вызвать ожог растений для скрининга восприимчивости новых сортов.

Работы Saure (1998), Wiebe (1975), Wiebe и др. (1974, 1977), Palzkill и др. (1976) указывают, что на распределение кальция внутри растения и возникновение ожога влияет транспорт воды в растении. Уточняется, что высокая относительная влажность может также непосредственно мешать распределению Ca^{2+} . Условия продолжительной сырой, пасмурной погоды с постоянно высокой относительной влажностью днем и ночью могут ограничивать транспирацию в течение дня и ночи, что также провоцирует болезнь *tip burn*.

Сообщается, что период быстрого роста в сочетании с условиями высокой влажности неблагоприятны для усвоения кальция и могут привести к классическим симптомам ожога [167].

Ученые также пришли к выводу, что низкий уровень влажности воздуха способствует интенсивному испарению, что нарушает внутренний перенос веществ и вызывает недостаток кальция.

Опыты в условиях южных стран показали, что внутреннему ожогу на

капусте способствовали длительная засушливая погода как днем, так и ночью, а также высокая радиация. Высокая температура воздуха или низкая влажность могут способствовать высокой транспирации и приводить к преимущественному накоплению Ca^{2+} в наружных листьях.

В ходе изучения проявления ожога верхушки внутренних листьев кочана на пекинской капусте Кан И, Ву Q, Цин и другие сообщают о положительном влиянии высокой влажности воздуха как сдерживающего фактора для *tip burn*. Изучение заболевания на Юге Китая на цветной капусте полностью сдержало *tip burn* повышением относительной влажности кроны с 70 % до 90 %.

Фенологические наблюдения за проявлением внутреннего ожога у пекинской капусты китайскими коллегами позволили установить первые признаки проявления заболевания уже в фазе четвертых настоящих листьев в контролируемых условиях. На растениях, выращиваемых параллельно в полевых условиях, ожоги кончиков листьев не возникали на столь раннем этапе развития. Причины такого значительного различия между полевой и контролируемой средой до конца не изучены, но ученые полагают, что одним из факторов может быть то, что генетические регуляторные функции различаются в зависимости от стадий развития и условий. В настоящее время китайские коллеги сообщают о положительном влиянии высокой влажности воздуха на устойчивость листьев к ожогам на рассаде китайской капусты, в условиях тепличных комплексов [182].

Известно, что всасывание кальция нарушается при высоких температурах и вызывает дисбаланс в движении и распределении между частями и скорость роста Saure, (1998), что еще больше способствует возникновению заболевания. При воздействии высоких температур на растения капусты, по мнению ряда ученых, происходит локализация кальция во внешних листьях, что снижает содержание Ca во внутренних листьях, что и вызывает побурение внутренней части кочана [183].

Данные о влиянии высокой температуры неоднозначны. С одной стороны, доказано снижение процента заболевания в условиях прохладного климата и появления симптомов *tip burn* на капусте в теплые летние месяцы. Другие авторы

подчеркивали, что активная скорость транспирации, вызванная высокой температурой, солнечной инсоляцией или сухим ветром, может способствовать возникновению ожога верхушки внутренних листьев кочана [179].

Также заболеванию способствует резкая смена, когда прохладный, дождливый период сменится жарой и низкой влажностью воздуха [4].

По мнению ряда авторов, высокая температура не является единственной причиной возникновения ожогов, и до сих пор прямая связь между температурой и частотой возникновения ожогов не установлена [172].

1.6.2.3 Интенсивность освещения

Повышенное содержание Ca^{2+} некоторые авторы: S.A. Ashkar и S.K. Ries (1971), связывают с высокой интенсивностью света. При увеличении интенсивности света и удлинении фотопериода заболевание носило массовый характер, а степень поражения увеличивалась.

При одинаковой общей дневной радиации более длинные фотопериоды могут вызвать большее количество ожогов, чем более высокая интенсивность света. О влиянии на возникновение внутреннего некроза кочанов резко изменяющихся абиотических факторов среды, в частности внезапной смены солнечной сухой погоды на пасмурную и дождливую, сообщал Ван ден Энде. Тибодо и Минотти установили, что на проявление заболевания условия низкой интенсивности освещения или наиболее пасмурные дни не влияют. Виссемайер (1996) подтвердил, что затенение снижает степень поражения внутренних ожогов в кочанах капусты.

Выращенные в теплицах растения китайской капусты поражаются ожогами раньше и в большей степени, чем растения, выращенные в открытом грунте, хотя они получают лишь половину общего количества радиации последних и почти не имеют УФ-излучения вообще.

В Южном Китае обнаружили, что более низкая интенсивность света и более короткий фотопериод частично сократили возникновение ожогов листьев у сорта цветной капусты Sijiu. Так же заболевание было полностью сдержано

повышением относительной влажности кроны с 70 % до 90 %.

В Нидерландах применяют более ранние сроки высадки рассады капусты белокочанной, как профилактическую меру в борьбе с внутренним ожогом, тем самым ограничивая длительную меристематическую поглотительную деятельность за счет короткого фотопериода (Nieuwhofetal., 1960; JongePoerink, 1961).

1.7 Факторы, снижающие проявление заболевания

Ученые утверждают о важности глубокого понимания физиологической роли питательных веществ участвующих в процессах метаболизма, и их взаимодействия. Это может стать важной стратегией улучшения роста и продуктивности культур семейства капустных.

Более ранние исследования на кочанной капусте показали положительное влияние обработок кальциевым раствором и снижение степени развития заболевания (Chung, 1999).

И напротив, изучение заболевания на различных капустных культурах разных лет утверждают о том, что опрыскивание листьев кальцием не предотвращает дефицит кальция, но ученые сходятся в одном мнении, что внекорневые обработки снижают степень ожога.

В литературных источниках не раз сообщалось о возникновении внутреннего ожога листьев за счет применения больших доз азотных и органических удобрений. Сообщается, что внутренний ожог при высоких нормах внесения азота, вероятнее всего, связан с более высокими урожаями в результате увеличения индивидуальной массы кочана за счет более высоких темпов роста кочана. Это связано с увеличением содержание воды и азота и растяжением клеток в кочане капусты (Everaarts and Booij, 2000).

Результаты показали, что экзогенный BR может поддерживать цитоплазматический кальциевый гомеостаз путем усиления относительной экспрессии генов, которые связаны с транспортом кальция внутри растения.

Сообщается, что дефицит бора, проявляется в некротизации верхушечной части листьев капусты. Это связано с неподвижностью элемента в растительной

системе, а также его влиянием на пластичность и растяжимость клеточных стенок, разрушая структуру и функцию клеточных стенок (Huangetal., 1996).

1.8 Изучения в области наследования признака устойчивости к ожогу верхушки внутренних листьев кочана

Ученые утверждают, что самым перспективным контролем *tip burn* является отбор на устойчивость к данному расстройству.

Авторы сообщают о различной степени восприимчивости к «*tip burn*» между сортами, а также утверждают о том, что селекция на устойчивость является единственной возможностью контроля заболевания в неконтролируемых условиях выращивания. Доказано, что у устойчивых растений отмечена более активная транспортиция кальция внутри кочана. В результате длительного анализа было обнаружено, что растения, полученные от устойчивой инбредной линии, содержали большую концентрацию кальция, чем у растений, созданных на основе восприимчивых компонентов.

Попытки определения типа устойчивости к типичному ожогу на капусте белокочанной были предприняты зарубежными более 40 лет назад Диксоном. Тогда Диксон в результате исследований методом классической селекции выдвинул утверждение о доминантном типе наследования признака устойчивости изогенных пар линий капусты белокочанной к внутреннему ожогу листьев. Позже, с 1962 по 1975 года учеными проведен ряд испытаний, и тогда устойчивость к заболеванию идентифицировали как не полностью доминирующую в трех почти изогенных популяциях капусты.

Различная сортовая реакция на возникновение *tip burn* была отмечена на цветной капусте, брюссельской, белокочанной, краснокочанной и пекинской капусте. Из последних результатов в отечественной селекции в условиях Кубани в течении нескольких лет исследований были идентифицированы линии и гибриды с различной восприимчивостью к внутреннему ожогу листьев, а также обнаружены образцы со 100% устойчивостью к заболеванию.

Зарубежные ученые установили разную реакцию коммерческих гибридов на

проявление заболевания ожога верхушки внутренних листьев кочана. Оценка генотипов позволила ранжировать гибриды на слабо устойчивые, восприимчивые (толерантные) – Атрия, Хинова, Рудольфо и др.; неустойчивые – Браво, Фалькон и др.; сильно восприимчивые – Куисто, Суперрет и др.; очень восприимчивые – Green Boy, Condor, RioVerde и др [132]. Данное утверждение нашло свое отражение в исследованиях японских ученых, которые обнаружили физиологическое расстройство в различных сельскохозяйственных культурах, в том числе и на представителях семейства капустных. В исследованиях была обнаружена корреляция между частотой ожогов и концентрацией Ca^{2+} в листьях капусты в разные фенологические фазы. В результате определения экспрессии генов вакулярных переносчиков кальция на листьях капусты китайской, установлено, что распределение кальция в растении контролируется генами в момент абиотических стрессов [77].

Поиск генов, ответственных за *tip burn*, все еще продолжается из-за сложности физиологического нарушения, которое находится под контролем нескольких генов. Один локус количественного признака (QTL) был обнаружен как полезный ген-кандидат для выведения устойчивости к *tip burn* с использованием маркерной селекции (Jennietal., 2013). Другие исследования также выявили некоторые гены-кандидаты на капустных культурах и томате.

Авторами сообщается, что уровни экспрессии определенных генов в образцах, устойчивых к ожогам, были в 4,45 и 1,17 раза выше, чем у растений, чувствительных к ожогам, соответственно.

В исследованиях последних лет говорится о том, что клеточная концентрация катионов кальция и калия была более чем в два раза выше у устойчивой к ожогам линии, а концентрация Na^{+} была выше у восприимчивой линии. Ca^{2+} преимущественно накапливался внутри вакуолей. Помимо этого, была установлена корреляция между частотой ожогов верхушек и концентрацией Ca^{2+} в листьях капусты. Экспрессия локализованных в клеточной мембране генов изменялась в зависимости от количества межклеточного Ca^{2+} в зависимости от стадий развития растений.

Определение концентрации катионов макроэлементов, включая Ca^{2+} и K^+ , в трех сегментах листа: верхушке листа, середине листа и в основании листа изучались на клеточном уровне. Эти катионы обычно накапливаются в большей степени в основании листа. Анализ транскриптома идентифицировал 58 096 локусов как предполагаемые гены в трех этих сегментах листьев трех линий *B. oleracea* и показал значительные изменения в экспрессии 27 876 локусов в зависимости от уровней Ca^{2+} и K^+ . Среди них 1844 локуса были идентифицированы как гены, специфичные для фенотипа, связанные с ожогом. Установлено, что растения капусты устойчивые к ожогам верхушки внутренних листьев кочана совмещали в себе резистентность к тепловому шоку, заморозкам и засухе, в то время как восприимчивые образцы к ожогам демонстрировали корреляцию между внутриклеточными концентрациями Ca^{2+} и K^+ и устойчивостью к абиотическому стрессу с дифференциальной экспрессией генов.

2. УСЛОВИЯ, МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1 Климат и метеорологические условия проведения опытов

Экспериментальная часть научно-исследовательской работы выполнялась в отделе овощекартофелеводства в «Федеральном научном центре риса» с 2020 по 2023 гг.

Территориально селекционно-опытный участок отдела овощеводства в ФГБНУ «Федерального научного центра риса» расположен в поселке Белозерном, относящийся к центральной зоне Краснодарского края и характеризующийся умеренно-континентальным климатом. Средние значения температуры наиболее холодного зимнего месяца (января) – 2-3 °С, а самого теплого (июля) – 23 °С. Максимум дневных показателей температуры воздуха в июле–августе может достигать 38,0 °С. Первые заморозки появляются в среднем с 20 октября, а последние весенние – 13 апреля. Безморозный период длится в среднем 191 день.

Среднегодовое количество осадков составляет 566 мм, район умеренно увлажнен с ГТК - 0,9 – 1,2. Тип распределения осадков континентальный. За теплый период (апрель – октябрь) выпадает 360 мм.

Преобладающими ветрами являются восточные и западные. Восточные и северо-восточные ветры оказывают неблагоприятное влияние на климат. Весной и летом восточные ветры приносят массы сухого воздуха – суховей.

Погодные условия в годы исследований имели свои особенности, которые неоднозначно повлияли на рост и развитие растений капусты. При детальном рассмотрении важных погодных факторов, таких, как температура и влажность воздуха, необходимо рассмотреть два периода: формирование розетки листьев (июль – середина августа) и формирование кочана (середина августа- 1-2 декады октября).

Погодные условия 2021 года в период вегетации капусты белокочанной были сравнительно благоприятным по влажности, что отразилось на росте и развитии растений. Во второй декаде июня сразу после высадки рассады в грунт отмечалась повышение температуры до 25,4 °С, среднемесячная температура составила 21,9 °С (Рисунок 1). Осадки выпадали равномерно и составили во второй декаде 34 мм, а в третьей 41 мм. Относительная среднемесячная влажность воздуха была 75,6%.

Период роста розетки листьев капусты на Кубани выпадает на июль месяц. В этом месяце в течении 25 дней температуры превышали 30 °С, а среднемесячные показатели превышали норму на 4 °С. Скачок температуры во второй декаде июля, достиг в среднем отметки 29,2 °С.

Нетипичным для условий Кубани оказался август, характеризующийся большим количеством выпавших осадков, которые в сумме составили 118 мм, что в свою очередь благоприятно повлияло на продуктивность растений.

Относительная влажность колебалась в диапазоне от 24 % до 100 %. Самая низкая влажность (24 %) была 2 августа, а наивысшая (100 %) — 11 августа. В основном жаркие дни пришлись на 1 и 3 декады месяца со значениями от 29,2 °С и 27,1°С, соответственно. Во второй декаде температурному спаду на 5 °С способствовали ливневые дожди, которые составили 85 мм в среднем.

Сентябрь был самым прохладным месяцем – температура снизилась на 10 °С и достигла в первой декаде отметки 16,2 °С, во второй было повышение на 3-4 °С, и в третьей декаде опять температура понизилась до 14,1 °С. Осадки выпадали равномерно и составили 90,4 мм за месяц. Период с 21 по 30 сентября был дождливым, осадки составили половину месячной нормы – 53,8 мм. Относительная влажность воздуха варьировала в пределах от 67,9 до 76,6%.

Уборка кочанов пришлась на первую декаду октября, температуры данного месяца были в пределах 10,9 – 12,5 °С, а влажность приближена к 80 %.

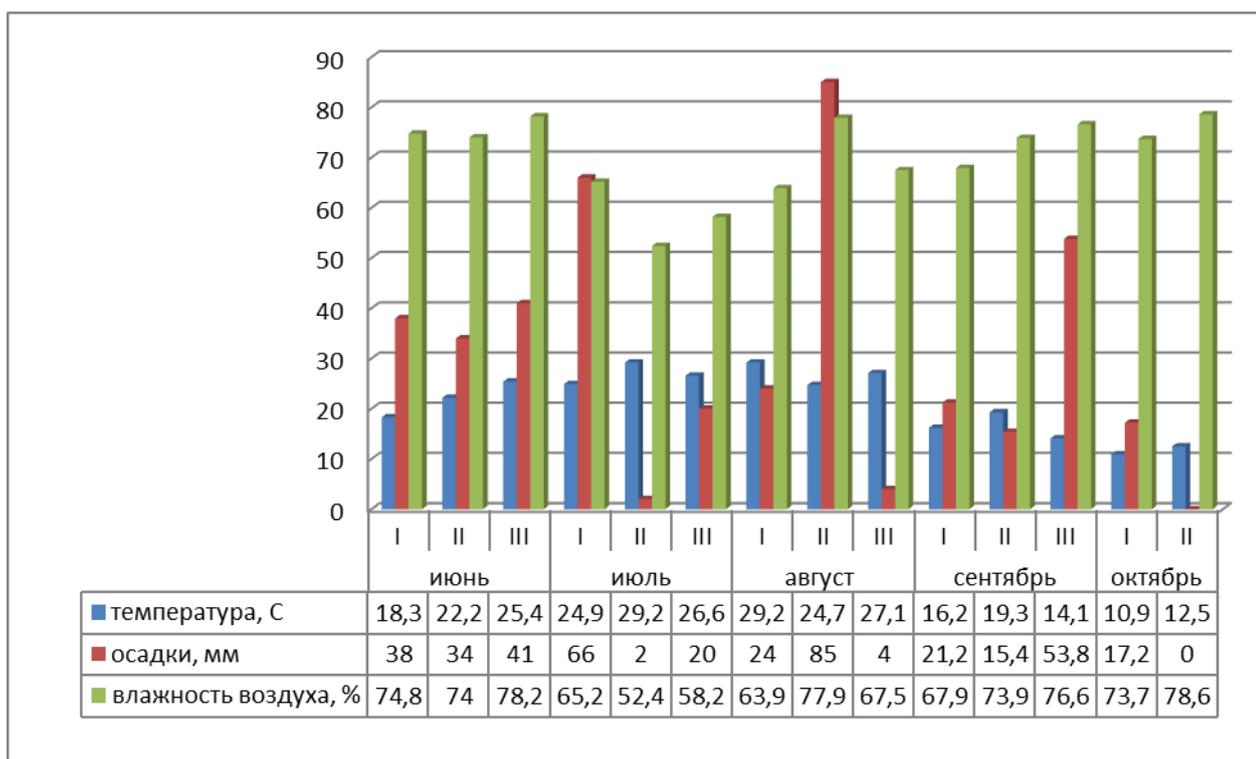


Рисунок 1 – Метеорологические условия в зоне проведения исследований, 2021 г.

Вегетационный период 2022 года характеризовался сильными перепадами влажности воздуха и резкой сменой температур (Рисунок 2). Уже начиная с июня, можно наблюдать резкие перепады во влажности воздуха, во второй декаде июня ОВ составила 59,8 %, а затем увеличилась на 12,6 %. Такому скачку способствовало рекордное выпадение осадков в третьей декаде до 142 мм, что практически составило среднемесячную норму (158 мм).

Конец июня характеризовался средней температурой воздуха 26,1 °С и обильными осадками в третьей декаде до 142 мм, что практически составило среднемесячную норму (158 мм). На момент посадки капусты – начало июня – стояла теплая не жаркая погода, температура воздуха достигала 23,0 °С (10 июня).

В первой декаде июля температура повысилась до 24,4 °С, после чего значения держались на протяжении всего месяца в этом пределе. Надо отметить, что осадки в июле выпадали равномерно (29,1 – 34,0 мм). Относительная влажность воздуха за первую декаду составила 56,3, за вторую 66,8 и наибольшие значения были за третью декаду 70,4 %.

Август характеризовался сильными перепадами влажности и температур в результате рекордного количества осадков (70,1 мм) во второй декаде и практически отсутствия их в первой и третьей декадах (17 – 3,1 мм), соответственно. Относительная влажность воздуха в течении месяца варьировалась от 57,1 – 62,8 %.

В период образования кочана среднедекадные температуры колебались в пределах от 25,7 °С до 26,8 °С. Самая высокая дневная температура в августе 2023 года составила 44 °С. В то время как минимальная температура ночью опускалась до 18 °С.

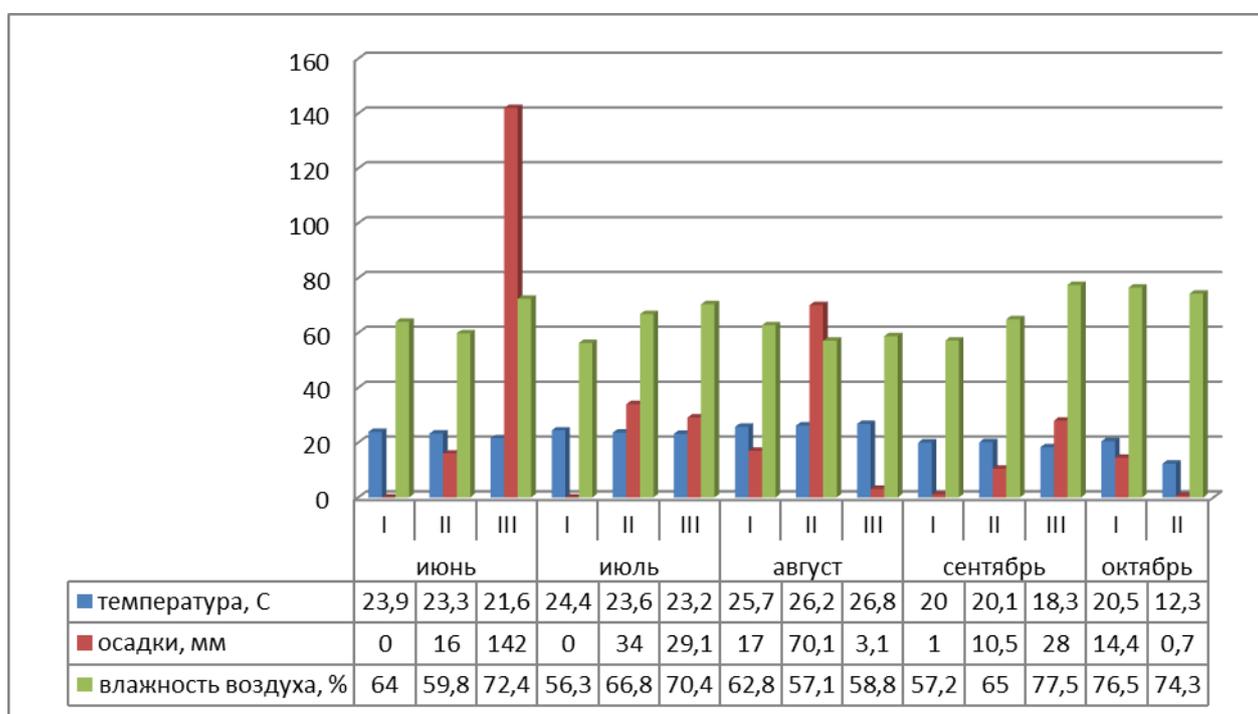


Рисунок 2- Метеорологические условия в зоне проведения исследований, 2022 г.

В сентябре температура снизилась на 7 °С, среднемесячные показатели были в пределах 20 °С, количество осадков было на уровне среднемноголетней составило – 39,7 мм. Относительная влажность воздуха в начале сентября была 57,2 %, после чего увеличилась до 77,5 %, чему способствовало обильное выпадение осадков в третьей декаде месяца – 28,2 мм. Температурная нагрузка в виде экстремальных температур в сочетании с низкой влажностью воздуха задержало формирование кочанов практически на месяц.

Созревание кочанов на опытных делянках в 2023 году проходило на фоне недостаточной почвенной влаги и сопровождалось высокой стрессовой нагрузкой в виде экстремальных для капусты температур, что повлияло на снижение массы кочанов.

Температурные условия сложившиеся в третьем году можно охарактеризовать как экстремальные: количество дней превышающие 30 С составило в июне 7 (после высадки капусты), в июле-26 дней, в августе – 20 дней, в сентябре 8 дней. на уровне – 25,8- 29,3 °С – в первый период и во второй период- вплоть до 3-й декады сентября (22,7- 28,1 °С), с 3-й декады сентября до уборки температура была благоприятной – в пределах 15,0-19,1 °С (рисунок 3).

2023 год отличался экстремальными температурами на уровне – 25,8–29,3 °С – в первый период и во второй период- вплоть до 3-й декады сентября (22,7- 28,1 °С), с 3-й декады сентября до уборки температура была благоприятной – в пределах 15,0-19,1 °С (Рисунок 3).

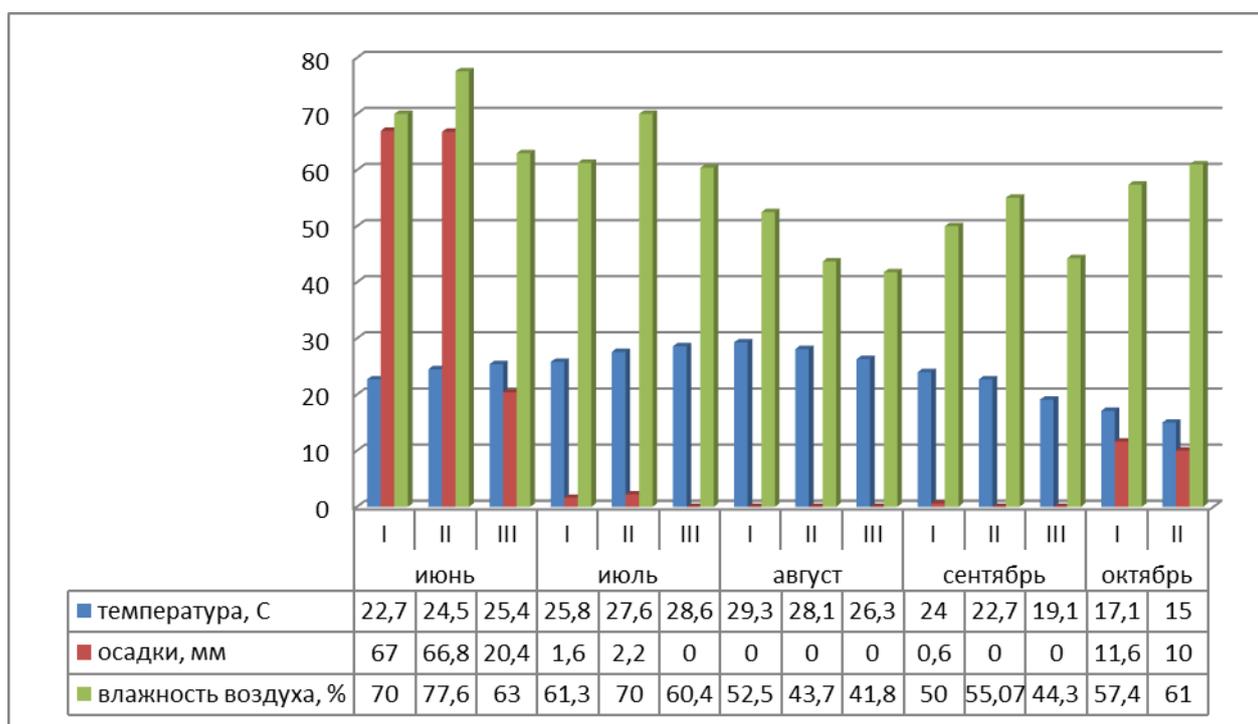


Рисунок 3 – Метеорологические условия в зоне проведения исследований, 2023 г.

Следует отметить, что в это время осадки практически не выпадали, что сопровождалось понижением влажности воздуха, начиная с 3-й декады июля и до

конца вегетации. Стоит выделить наиболее стрессовые периоды по температуре и влажности воздуха - для роста и формирования кочанов- август, сентябрь.

Надо отметить, что экстремальные температуры в июле, августе, сентябре сочетались с низкой влажностью воздуха – 63,6 %, 46 %, 49%, соответственно, что неблагоприятно для капусты. Количество осадков в июле составило 3,8 мм, с августа по сентябрь осадков не наблюдалось, что на фоне высоких температур представляло собой стрессовую нагрузку для капусты в момент формирования кочанов. Среднемесячная температура в августе достигла 28 °С, а в сентябре снизилась на 6°С, но несмотря на это можно сказать, была жаркой для этого месяца, среднемесячные показатели составили 22,3 °С.

Сумма осадков за период вегетации капусты составила в 2021 году рекордное количество – 444,6 мм, в 2022 году – 393,5 мм, в 2023 году – 189,2, а среднемноголетнее количество составило 268,0 мм.

Таким образом, сравнивая метеоусловия 3-х лет исследований, можно сказать, что 2023 год был самый неблагоприятный для капусты поздней, как по температуре, так и по влажности воздуха. Второй год испытаний (2022 год) был не таким жарким, как два других, но по влажности в период созревания кочанов условия были не благоприятные для капусты. В первый год исследований (2021 год) температурные показатели были относительно высокими, но в результате равномерного выпадения осадков влажность воздуха была ближе к оптимальной.

2.2 Агротехнологические условия проведения экспериментов

Почвы на селекционно-опытном участке ФГБНУ «ФНЦ риса» представлены западно-предкавказскими сверхмощными малогумусными выщелоченными черноземами. Механический состав их преимущественно глинистый. Содержание физической глины колеблется –70 – 72 %, а илистых частиц – 28 – 30 %, рН – 6,7, гумус – 2,27 %, содержание азота: легкогидролизированного – 14,5, нитратного – 3,10 мг/100 г почвы, подвижного фосфора – 22,75 мг/100 г почвы; обменных: кальция – 30,0, магния – 7,5 мг-экв./100 г. почвы.

Способ орошения – капельный полив. Режим орошения согласно рекомендациям разработанным в ФГБНУ «ФНЦ риса» по выращиванию капусты белокочанной в условиях Кубани [13].

Исследования проводились согласно с методическими указаниями: «Методикой полевого опыта в овощеводстве» С.С. Литвинова [55] и «Методика опытного дела в овощеводстве и бахчеводстве» В.Ф. Белика [5]. Математический анализ результатов осуществлялся согласно «Методике полевого опыта» по Б.А. Доспехову [20].

Способ выращивания рассадный. Посев проводили в кассеты №96 (диаметр ячейки 5 см), заполненных готовым питательным грунтом.

Выращивание селекционного материала для гибридизации (инбредные линии) проводили по однолетнему циклу в неотапливаемой пленочной теплице. Высадка рассады линий в теплицу – 2 декада сентября. При понижении температуры воздуха до – 5-(-6) °С растения в теплице укрывали нетканым материалом – агрил. Период яровизации – 3 декада ноября- по 3 декаду февраля. Начало цветения – 1-2 декады апреля. Гибридизация – 2-3 декады апреля. Уборка семян- 3-я декада июня-1 декада июля.

Посев в кассеты – 6 – 7 мая. Высадка в поле в фазе 5 листьев – во второй декаде июня 18-20 июня. Схема посадки (90+50)/2х50 см, густота стояния 2,8 растения на 1 м². Количество растений на делянке – 10 шт., повторность 3-кратная. Размещение делянок систематическое. Площадь делянки – 3,5 м².

Создание провокационного фона в питомнике гибридов F₁ предусматривало повышенное внесение доз азотных удобрений, в том числе, в основное внесение N₁₈₀P₁₈₀K₁₈₀ д.в. на га (нитроаммофоска 1080 кг/га или 0,38 кг на делянку). В виде подкормок 2-х кратное внесение аммиачной селитры, в фазе формирования розетки, в дозе 60 кг/га. Агроприемы проводились согласно рекомендациям КНИИОКХ.

Химические обработки делали локально и массово, в зависимости от распространенности вредителя в соответствии с рекомендациями по белокочанной капусте, разработанными в ГНУ КНИИОКХ.

При обработке инсектицидами руководствовались «Списком разрешенных пестицидов».

2.3 Материалы и методы исследований

Опыт 1 Изучение комбинационной способности линий по признакам: масса кочана и поражение ожогом верхушки внутренних листьев кочана

Материал исследований – сорок пять гибридных комбинации F_1 (*Brassica oleracea* var. *Capitata*), полученных в системе неполного диаллельного скрещивания – 10-ти инбредных линий среднепозднего срока созревания, созданных в отделе овощекартофелеводства ФГБНУ «ФНЦ риса: Агр 1321, Тен 4-270, Л79, Бс1ф, Яс25п, 272Бр10, Юби 22, 269-824, Агр 82, 270-Хн111 (таблица 1). В качестве стандарта был взят коммерческий гибрид селекции С.С. имени Тимофеева Доминанта F_1 . Стандарт размещали через каждые 10 делянок.

Схема скрещиваний представлена в таблице 1.

Таблица 1 - Схема скрещиваний

♀ / ♂	269-824	тен4270	яс25п	272Бр10	Л79	Бс1ф	Юби122	Агр1321	Агр 82
269-824									
тен4270	+								
яс25п	+	+							
272Бр10	+	+	+						
Л79	+	+	+	+					
Бс1ф	+	+	+	+	+				
Юби122	+	+	+	+	+	+			
Агр1321	+	+	+	+	+	+	+		
Агр 82	+	+	+	+	+	+	+	+	
270 ХН111	+	+	+	+	+	+	+	+	+

Опыт 2. Влияние различных фонов минерального питания на проявление ожога у гибридов с разной степенью устойчивости к заболеванию

Материал исследований: гибриды: Доминанта F_1 , используемый в селекционных опытах в качестве стандарта (селекционная станция им. Н.Н. Тимофеева), Green Boy F_1 (компания Sakata) и (Хн861 x Агр 1321) F_1 (ФГБНУ «ФНЦ риса»), показавшие ранее разную степень поражения, в частности, Доминанта F_1 – устойчивый, Green Boy F_1 – восприимчивый, (Хн861 x Агр 1321) F_1 – среднеустойчивый.

Первый фон (контроль) – $N_{120}P_{120}K_{120}$, 2 фон - $N_{120}P_{120}K_{120} + N_{60}$ (подкормка), 3 фон - $N_{180}P_{180}K_{180} + Ca(NO_3)_2$ (подкормка); 4 фон - $N_{180}P_{180}K_{180} + N_{60}$ (подкормка), 5 фон - $N_{120}P_{120}K_{120} + N_{70}P_{56}K_{67}$ (органическое удобрение).

Удобрения: нитроаммофоска ($N_{120}P_{120}K_{120}$), аммиачная селитра (N_{60}), органическое удобрение – гранулы конского навоза - 2 т/га ($N_{70}P_{56}K_{67}$).

Провокационный фон в агрономическом опыте закладывался 10.06 в 2021 году и 16.06 в 2022 году и 10.06 в 2023 году. Перед высадкой рассады на первом, четвертом и пятом фонах было внесено локально NPK в дозе 120 кг. д.в. на га, первый фон является стандартом. На втором и третьем фонах в основное внесение были предусмотрены повышенные дозы удобрений NPK в дозе 180 кг. д.в. на га., в течении вегетации было проведено 3 подкормки: второй фон и четвертый – аммиачной селитрой локально - 60 кг. д.в./га, на третьем фоне – кальциевой селитрой по листу ($Ca(NO_3)_2$ из расчета – 0,8 кг/га (1,2 кг д.в азота и 2,16кг д.в./га CaO), в пятом агрофоне в основное внесение было предусмотрено $N_{120}P_{120}K_{120} + N_{70}P_{56}K_{67}$ (органическое удобрение). Удобрения: нитроаммофоска, аммиачная селитра, органическое удобрение – гранулы птичьего помета - 2т/га (Таблица 2).

Подкормки на фонах №2 и №4 вносились два раза в период набора массы кочанов в виде аммиачной селитры под корень с поливом.

Таблица 2 – Схема по применению удобрений на различных фонах, 2021 и 2022 гг.

Сроки внесения	Фон 1 (контроль)	Фон 2	Фон 3	Фон 4	Фон 5
Основное	$N_{120}P_{120}K_{120}$	$N_{120}P_{120}K_{120}$	$N_{180}P_{180}K_{180}$	$N_{180}P_{180}K_{180}$	$N_{120}P_{120}K_{120} + N_{70}P_{56}K_{67}$ органическое удобрение
Подкормка	-	N_{60}	$Ca(NO_3)_2$	N_{60}	-

В 2022 и 2023 годах закладывались агрофоны по изучению влияния внекорневых подкормок на проявление физиологического расстройства согласно схеме в таблице 3. Опыт включал три агрофона с повышенными дозами NPK – $N_{180}P_{180}K_{180}$.

Во втором варианте были предусмотрены внекорневые подкормки кальциевой селитрой по листу ($Ca(NO_3)_2$ из расчета – 0,8 кг/га (1,2 д.в азота и

2,16 д.в./га СаО). Третий агрофон сочетал кальциевую подкормку согласно фону №2 в комплексе с борной кислотой из расчета 5 г/10л.

Таблица 3 – Схема по применению внекорневых подкормок на различных фонах, 2022 и 2023 гг.

Сроки внесения	Фон 1 (Контроль)	Фон 2	Фон 3
Основное	N ₁₈₀ P ₁₈₀ K ₁₈₀	N ₁₈₀ P ₁₈₀ K ₁₈₀	N ₁₈₀ P ₁₈₀ K ₁₈₀
Подкормка-	-	Ca(NO ₃) ₂	Ca(NO ₃) ₂ + бор

Подкормки проводили в период от начала формирования кочана с периодичностью 7-10 дней.

Опыт 3 Изучение наследования признака устойчивости к «ожогу верхушки внутренних листьев кочана»

Для изучения наследования признака устойчивости к «ожогу верхушки внутренних листьев кочана» на опытном участке ФГБНУ «ФНЦ риса» были высажены популяции: Материал исследований F₁(Тен 4272 х Юби 122с); F₁(Тен 42722п2с х Юби 122с); линии: Тен 4272, Тен 42722п2с, Юби 122с беккроссы с линиями, согласно схеме 3 (Таблица 4).

Наблюдения, учеты, описания проводили согласно методическим указаниям по выращиванию капусты белокочанной на юге России (Королева).

Таблица 4 - Схема опыта №3

F ₁ , F ₂	Родительские линии		BC _R	BC _S
	P _R	P _S		
Тен 42722п2с × Юби122с	Тен42722п2с	Юби122с	F ₁ ×Юби122с	F ₁ ×Тен42722п2с
Тен 3-272 × Юби 122с	Юби122с	Тен 3-272	F ₁ ×Юби122с	F ₁ × Тен 3-272

Фенологические наблюдения включали в себя даты единичных и массовых всходов, стадии развития растений - начало формирования кочана, наступление единичной и массовой технической спелости. При оценке на восприимчивость к внутреннему ожогу кочаны оставляли на перестой в течение 10 дней после наступления массовой технической спелости.

По хозяйственно ценным признакам учитывали элементы продуктивности: среднюю массу кочана (кг).

Уборку проводили спустя 10 дней после наступления фазы массовой технической спелости кочанов на каждом гибриде.

При уборке проводили следующие биометрические измерения: индивидуально массу кочана, параметры кочана, зону поражения на продольном разрезе ожогом верхушки внутренних листьев.

Статистическая обработка результатов данных проводилась методом дисперсионного анализа по Б.А. Доспехову (1985), используя пакет прикладных программ Microsoft Excel 2007 [14]. Корреляционный анализ проводился в программе Microsoft Office Excel по методике расчета коэффициента корреляции Пирсона при уровне значимости коэффициента корреляции 0,05 и 0,01.

Изучение общей (ОКС) и специфической (СКС) способностей и родительских линий в системе неполных диаллельных скрещиваний осуществлялись согласно методике Гриффинга (Griffing, 1956) [97]. Изучение взаимодействия генов, контролируемые рассматриваемые признаки (масса кочана и степень поражения ожогом верхушки внутренних листьев кочана) проводили по методу дисперсионного анализа диаллельных таблиц Хеймана (1954) [98].

Для расчета общей и специфической комбинационной способности линий по признаку - поражение «ожогом» за единицу измерения поражения гибридов была взята относительная величина, выражающая процентное соотношение длины очага поражения к диаметру кочана.

Степень фенотипического проявления признака устойчивости определяли посредством сравнения средней выраженности признака у гибрида и обеих родительских форм по методу Гриффинга [97]. Степень доминирования, определялась по формуле:

$$H_p = \frac{F_1 - MF}{HF - MF}$$

где H_p – показатель наследования; F_1 – среднее значение признака гибрида; MF – среднее значение признака между обоими родителями; HF – значение признака у лучшего родителя.

По результатам опыта №3 использовался метод χ^2 (хи-квадрат) в целях определения значимости различий в расщепляющихся популяциях F2 между фактическим числом растений в выборке и теоретически ожидаемым. Результаты хи-квадрат подвергали сравнительной оценке согласно таблице Фишера для установления критического показателя χ^2 (крит.) с учетом уровня значимости для данного исследования и числом степеней свободы для количества классов расщепления. Предполагается если полученное значение χ^2 в рамках опыта меньше критического показателя ($\chi^2 < \chi^2$ (крит.)), то различия между фактическими данными и теоретически ожидаемыми носят случайный характер и расщепление соответствует теоретически ожидаемому, если же χ^2 больше χ^2 критического, то гипотеза отвергается.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1 Изучение комбинационной способности линий капусты белокочанной среднепозднего-позднего сроков созревания

Пригодность линий для использования в качестве компонентов скрещивания при получении гибридных семян зависит не только от ценности их хозяйственно-полезных признаков, но и от способности давать при скрещивании с другой линией гетерозисное гибридное потомство. Для капусты белокочанной характерна инбредная депрессия по морфологическим признакам уже на первых этапах создания линий, что проявляется в снижении жизнеспособности и продуктивных качеств растений, что затрудняет отбор по хозяйственно-ценным признакам, поэтому изучение комбинационной способности линий особенно актуально, так как взаимосвязь между фенотипом линий и значением комбинационной способности по определенным признакам слабо прослеживается.

3.1.1 Оценка среднепоздних самонесовместимых инбредных линий капусты белокочанной по морфологическим признакам

В неполной диаллельной схеме скрещиваний на комбинационную способность представлены линии селекции ФНЦ риса 8-10-го поколения инбридинга созданные на основе иностранного и отечественного сортимента. Линии, обладающие жаровыносливостью, представляют собой те генотипы, которые получены в результате отбора выровненных потомств в условиях Кубани, представлены на рисунке 4.

Исходным материалом при создании жаростойких линий 269-824, Тен4270, 272Бр10, Л79 и 270 Хн111 послужили гибриды и сорта Российской селекции, сочетающие в себе адаптивные свойства к климатическим условиям южного региона.



Яс 25п



269-824



272 Бр10



Юби122



Тен 4270



270 Хн111



Агр82



Л79



Бс 1ф



Агр 1321

Рисунок 4 – Инбредные линии капусты белокочанной, включенные в схему ОКС и СКС

На основе коммерческих гибридов F_1 Юбилей, известного своей отличной сохранностью в зимнее время, и F_1 Агрессор, который получил широкое распространение в условиях юга России благодаря своей адаптивности

характеристикам, были разработаны новые линии: Юби 122, Агр1321 и Агр82. Эти линии являются результатом работы с зарубежными гибридами Юбилей F1 и Агрессор F1 и служат генетическими источниками для увеличения продуктивности, хранения и высокого содержания ключевых компонентов в биохимическом составе.

Таблица 5 – Характеристика инбредных самонесовместимых жаростойких линий среднепозднего срока созревания

Название линии	Исходный материал	Коллекционный материал	Страна происхождения коллекционного материала	Инбредная депрессия
269-824	Сорт	Сорт Можарская	Россия	средняя
тен4270	F ₂	F1(Тен 4 x 270-488)	Россия	сильная
яс25п	F ₂	Селекц.образец	Япония	средняя
272Бр10	F ₂	F1 (272 -488 x Бр10)	Россия	средняя
Л79	сорт	Селекц.образец	Россия	средняя
Бс1ф	F ₂	Селекц.образец	Голландия	средняя
Юби122	F ₂	Юбилей F1	Голландия	средняя
Агр1321	F ₂	Агрессор F1	Голландия	сильная
Агр 82	F ₂	Агрессор F1	Голландия	сильная
270 ХН111	F ₂	(270-4a ×Хн111)	Россия	средняя

Инбредные линии 269-824, Яс25п, 272Бр10, Л79, Бс1ф, Юби122, 270Хн111 подвержены средней степени депрессии и за период вегетации сформировали рыхлые кочаны массой до 1 кг, в то время как, линии Тен4270 Агр1321, Агр82 были сильно депрессированы и кочанов не образовали (Таблица 5).

Заболевание на растениях линий капусты проявлялось на периферии кончиков внутренних листьев. Замечены сильные вариации по поражению на линиях 269-824, Л79, в то время как на 270 Хн111, Бс1ф, Агр82, Тен4270, Яс 25п заболевание не проявлялось, у линий Юби 122 и 272 Бр10 наблюдались фрагментарные незначительные участки поражений.

3.1.2 Комбинационная способность линий капусты белокочанной среднепозднего-позднего сроков созревания по признаку «средняя масса кочана»

Проводимые ранее исследования доказывают, что признак «масса кочана» контролируется полигенной системой и чаще наследуется по принципу неполного

доминирования. Другими исследователями было установлено преобладание доминантных и эпистатических эффектов над аддитивными во всех изученных ими комбинациях [24, 25].

Для сравнительной оценки между гибридами при учете поражения ожогом верхушки внутренних листьев кочана за единицу измерения была взята относительная величина, выражающая процентное соотношение длины очага (см) поражения к диаметру кочана (см).

Существенность различий между родительскими линиями по общей (ОКС), специфической (СКС) комбинационной выявлена в результате дисперсионного анализа (Приложения А.1, А2).

В 2021 году у гибридных комбинаций значения признака «средняя масса кочана» варьировали в пределах от 2,12 до 4,85 кг, у стандарта Доминанта F1 – 2,77 кг (Таблица 6).

Таблица 6 – Результаты гибридных комбинаций капусты белокочанной по признаку «средняя масса кочана» и эффекты ОКС родительских линий, кг, 2021 г.

родительские линии, ♂	родительский линии, ♀									
	269-824	тен4270	яс25п	272Бр10	Л79	Бс1ф	Юби122	Агр1321	Агр82	270 ХН111
269-824	-									
тен4270	2,40	-								
яс25п	2,29	2,49								
272Бр10	3,08	3,92	2,19	-						
Л79	3,09	2,29	2,36	2,91	-					
Бс1ф	4,04	3,36	2,56	4,85	3,65	-				
Юби122	3,76	2,54	2,58	3,64	2,69	3,07	-			
Агр1321	2,50	2,59	2,20	2,94	2,52	2,26	2,21	-		
Агр82	2,93	2,21	2,39	2,80	2,47	2,83	2,48	2,80	-	
270 ХН111	2,70	2,54	2,12	3,14	3,07	2,82	2,70	2,70	3,05	-
gi ОКС	0,18	-0,13	-0,52	0,52	-0,04	0,51	0,05	-0,33	-0,17	-0,06

$НСР_{05}(x) = 0,22$; $НСР_{05}(ОКС) = 0,11$; Стандарт Доминанта F1 – 2,77 кг

Выявлено, что у 13 гибридов средняя масса кочана оказалась значительно выше стандарта на 0,30-2,08 кг. Наибольшая продуктивность получена по 3 гибридам с линиями Бс1ф, 269-824, 272Бр10 и Тен 4270, прибавка к стандарту у которых составила 1,15-2,08 кг.

Размах варьирования эффектов ОКС находился в пределах от -0,52 до +0,52 (Таблица 6). Родительские линии по изучаемому признаку можно разделить на

группы: с высокой ОКС (линии 269-824, 272Бр10 и Бс1ф) - от 0,18 до 0,52; средней ОКС (линии Л79, Юби122 и 270Хн111) - от (-0,06) до 0,05 ; с низкой - линии Тен4270, Яс25п, Агр82, Агр1321) - от -0,52 до - 0,13.

Значения констант СКС у гибридных комбинаций составило от -0,74 до +1,01 (Таблица 7). Наиболее высокие положительные константы СКС от 0,36 до 1,01 отмечены в 9 гибридных комбинациях со средней массой кочана более 3 кг.

Из них максимальными константами обладают 4 гибрида: (269-824 х Юби122) – 0,72, (269-824хБс1ф) – 0,53, (Тен4270х272Бр10) – 0,72, (272Бр10хБс1ф) – 1,01 с массой кочана 3,76 кг, 4,04 кг, 3,92 кг и 4,85 кг, соответственно.

Отрицательные значения констант СКС отмечаются в пределах от -0,74 до -0,31 и зафиксированы в комбинациях с массой кочана от 3,07 кг и ниже. Минимальными значениями от -0,47 до -0,74 обладало 3 комбинации, а именно (Яс25п х 272Бр10) с массой кочана – 2,19 кг, (Бс1ф х Агр 1321) – 2,26 кг и (269-824 х Тен4270) с массой кочана 2,40 кг.

Размах вариантов СКС линий варьировал от 0,08 до 0,31. Максимальные вариансами обладали линии 269-824, 272 Бр10 и Бс1ф со значениями от 0,17 до 0,31.

Таблица 7– Эффекты гибридных комбинаций и варианты СКС родительских линий капусты белокочанной по признаку «средняя масса кочана», кг, 2021 г.

родительские линии, ♂	родительский линии, ♀									
	269-824	тен4270	яс25п	272Бр10	Л79	Бс1ф	Юби122	Агр1321	Агр82	270ХН111
269-824	-									
тен4270	-0,47	-								
яс25п	-0,19	0,32								
272Бр10	-0,43	0,72	-0,62	-						
Л79	0,13	-0,36	0,10	-0,39	-					
Бс1ф	0,53	0,16	-0,25	1,01	0,36	-				
Юби122	0,72	-0,19	0,25	0,27	-0,13	-0,30	-			
Агр1321	-0,17	0,22	0,23	-0,06	0,07	-0,74	-0,31	-		
Агр 82	0,11	-0,31	0,27	-0,36	-0,13	-0,32	-0,21	0,48	-	
270 ХН111	-0,23	-0,09	-0,11	-0,13	0,35	-0,44	-0,10	0,28	0,47	-
S варианта	0,17	0,15	0,10	0,31	0,08	0,31	0,12	0,14	0,12	0,09
НСР ₀₅ = 0,27										

Средние варианты от 0,12 до 0,15 соответствовали линиям Тен4270, Агр1321, Агр82, Юби122 и низкими от 0,08 до 0,10 линии Яс25п, 270Хн111 и Л79.

В наиболее продуктивных комбинациях, где масса кочана более 3,5 кг эффекты ОКС родительских линий могут обладать высокими, средними и низкими значениями. Так, например, в наиболее продуктивных комбинациях (269-824 х Бс1ф) – 4,04 кг и (272 Бр10 х Бс1ф) – 4,85 кг высокая продуктивность гибридов обусловлена вкладом высоких значений эффектов ОКС (от 0,18 до 0,52) и вариантов СКС родительских линий (от 0,53 до 1,01).

В комбинации (Тен 4270 х 272Бр10) с массой 3,92 кг, эффекты ОКС материнской линии Тен4270 имеет низкое значение (-0,13), а варианта СКС обладает средним показателем (-0,04). У отцовского компонента 272 Бр10, напротив, отмечаются высокие значения как по ОКС, так и по СКС (Таблица 8).

Таблица 8 – ОКС и СКС родительских линий в выделившихся комбинациях по признаку масса кочана, 2021 г.

Гибрид	Средняя масса кочана, кг	Эффекты ОКС ¹		Вариансы СКС ²		Константа СКС
		♀	♂	♀	♂	
Гибриды с высокими значениями по «средней массе кочана» (более 3,5 кг)						
269-824×Юби 122	3,76	В	С	В	С	0,72
269-824 × Бс1ф	4,04	В	В	В	В	0,53
Тен 4270 ×272Бр10	3,92	Н	В	С	В	0,72
272 Бр10 × Бс1ф	4,85	В	В	В	В	1,01
Л79 × Бс1ф	3,65	С	В	Н	В	0,36
Гибриды с значениями по «средней массе кочана» (от 3,0 до 3,5 кг)						
Агр 82 × 270 Хн111	3,05	Н	С	С	Н	0,35
Л79 × 270Хн111	3,07	С	С	Н	Н	0,47

1-*Значение ОКС, g_i : В-высокие (0,18 – 0,52), Н-низкие(-0,52-(-0,13), С – средние -0,06-0,05.

2- Вариансы СКС, s_i : В – высокие (от 0,17 до 0,31), Н- (0,08-0,10), С-средние (0,12-0,15).

Низкие варианты свидетельствуют, о стабильной передаче признаков гибридам, а высокие варианты, указывают на разнообразные вариации признака в зависимости от компонентов скрещивания. У линий 269-824, 272Бр10, Бс1ф и 270 Хн111 преобладающую роль в схеме наследования играют аддитивное действие

генов, о чем свидетельствует больший вклад в дисперсию ОКС, чем в дисперсию СКС.

У линий Тен42-70, Яс25п, Л79, Юби122, Агр1321 и Агр82 значительную роль в схеме наследования играют доминантные и, возможно, эпистатические эффекты генов, т.к. у них вклад в дисперсию СКС больше вклада в дисперсию ОКС.

В комбинации (Тен 4270 x 272Бр10) высокие значения варианс СКС линии 272Бр10 и средние Тен4270 указывают на наличие доминирования со стороны линии 272Бр10 и устойчивую передачу признака гибриду. Такая же тенденция прослеживается в F1(Л79 x Бс1ф), где линия Бс1ф высокие значения в ОКС и в СКС.

Анализ проявления признака у F1 гибридов показывает, что средняя масса кочана в продуктивных гибридных комбинациях обусловлена сочетанием высокого ОКС одной линии и среднего ОКС другой или при сочетании высокого ОКС обоих родителей. Основываясь на том, что ОКС выражает суммарное действие генов, а СКС доминирование, из результатов анализа следует, что сочетание линий с высокими значениями ОКС и СКС определяют гетерозисный эффект и являются наиболее ценными для создания высокоурожайных гибридов.

Дисперсионный анализ эффектов комбинационной способности показал наличие существенных различий по ОКС и СКС линий. (Приложение А3, А4),

В 2022 году при выращивании средняя масса кочана гибридов изменялась от 2,28 до 3,64 кг (Таблица 9). При сравнении гибридных комбинаций со стандартом выявлено, что у 12 гибридов масса кочана превысила стандарт - на 0,25-0,91 кг, 8 гибридов оказались на уровне стандарта (2,70-2,89 кг).

Более высокая продуктивность была отмечена у 5-ти гибридных комбинаций (269-824x272Бр10) – 3,47 кг, (269-824 x 270Хн111) – 3,50 кг, (272Бр10 xБс1ф) – 3,64, (272Бр10 xАгр82) –3,71 кг и (Бс1ф x Агр82) –3,37 кг.

Размах варьирования эффектов ОКС находился в пределах от -0,21 до +0,35 (Таблица 9), градация линий по данному признаку следующая: с высокой ОКС линии 269-824, 270Хн111 – 0,18 и 0,35 соответственно; в группу со средней ОКС

попали 2 линии 272Бр10, Бс1ф от 0,01 до 0,09; с низкой ОКС (от -0,01 до (-0,21) остальные 6 линий.

Таблица 9 – Результаты гибридов капусты белокочанной по признаку «средняя масса кочана» и оценка родительских линий на ОКС, кг 2022 г.

родительские линии, ♂	родительский линии, ♀									
	269-824	тен4270	яс25п	272Бр10	Л79	Бс1ф	Юби122	Агр1321	Агр82	270ХН111
269-824	-									
тен4270	2,53	-								
яс25п	2,47	2,52	-							
272Бр10	3,47	2,78	2,40	-						
Л79	2,42	2,49	2,45	2,55	-					
Бс1ф	2,36	3,09	2,39	3,64	2,65					
Юби122	2,36	2,51	2,58	2,89	2,80	3,05	-			
Агр1321	2,7	3,11	2,28	3,32	2,35	2,56	2,68	-		
Агр82	2,69	2,73	2,36	3,71	2,63	3,37	2,81	2,30		
270 ХН111	3,50	2,67	3,20	3,05	2,8	3,16	2,88	2,68	3,32	-
g	0,18	-0,08	- 0,21	0,09	-0,15	0,01	-0,07	-0,10	-0,01	0,35
НСР ₀₅ (x)=0,06; НСР ₀₅ (ОКС)=0,02 St Доминанта F1=2,80										

Высокими положительными константами СКС от 0,37 до 0,47 обладает 5 гибридных комбинаций со средней массой кочана 3,11 – 3,71 кг.

Константы СКС варьировали в пределах -0,27 до +0,47 (таблица 10). Наиболее высокий эффект СКС отмечен в гибридных комбинациях F₁(Тен4272хБс1ф) – 0,31, F₁(Агр1321 х Тен4272) – 0,44, F₁(Агр1321 х 272Бр10) – 0,37, F₁(272Бр10хАгр82)– 0,47, F₁(Бс1фхАгр82)– 0,38, (Бс1фх272Бр10)F₁– 0,42.

Высокие варианты СКС характерны для линий Тен42-72, 272Бр10, Бс1ф, Агр1321 и Агр82 – 0,06-0,08, что указывает на более высокие вариации по признаку при скрещивании с данными линиями (Таблица 10). Средней вариансой обладают линии Яс25п, Л79 и Юби 122, а низкой 269-824 и 270Хн111.

Надо отметить, что положительные значения эффектов СКС отмечаются в большинстве комбинаций с линиями, имеющими низкие или невысокие значения ОКС, в то же время линии с высокими значениями ОКС 269-824 и 270 ХН111 практически во всех комбинациях показывают отрицательные значения.

У линий 269-824, 272Бр10 и 270 Хн111 преобладающую роль в схеме наследования играют аддитивные эффекты генов, т.к. у них вклад в дисперсию ОКС больше вклада в дисперсию СКС.

Таблица 10 – Значения эффектов и вариантов СКС в гибридах F₁ и родительских линиях капусты белокочанной по признаку «средняя масса кочана», кг, 2022 г

родительские линии, ♂, параметры	родительский линии, ♀									
	269-824	тен4270	яс25п	272Бр10	Л79	Бс1ф	Юби122	Агр1321	Агр82	270 ХН111
269-824	-									
тен4270	-0,13	-								
яс25п	-0,08	0,25	-							
272Бр10	0,17	0,08	0,02	-						
Л79	-0,12	0,17	0,28	0,03	-					
Бс1ф	-0,31	0,31	0,09	0,42	0,16	-				
Юби122	-0,23	0,11	0,27	0,13	0,32	0,29	-			
Агр1321	-0,03	0,44	0,15	0,37	0,12	0,07	0,22	-		
Агр82	-0,12	0,15	0,10	0,47	0,16	0,38	0,18	-0,04	-	
270 ХН111	-0,08	-0,23	-0,27	-0,21	-0,11	-0,08	-0,14	-0,21	0,01	-
S	0,03	0,06	0,04	0,08	0,04	0,08	0,05	0,06	0,06	0,03
НСР (ОКС)=0,01										

У линий Тен42-70, Яс25п, Л79, Б1ф, Юби122, Агр1321 и Агр82 значительную роль в схеме наследования играют доминантные и, возможно, эпистатические эффекты генов, т.к. у них вклад в дисперсию СКС больше вклада в дисперсию ОКС.

По результатам двух лет исследований можно сделать вывод, что масса кочана у одних и тех же комбинаций значительно варьировала по годам, что связано с различной реакцией генотипа на изменение условий выращивания, в частности, погоды. В 2021 году эффекты ОКС линий имели размах варьирования от 0,52 до -0,52, а в 2022 году от -0,21 до -0,35. Вариансы СКС в 2021 году имели значения от 0,08 до 0,31, в то время как в 2022 году от -0,27 до +0,47. Что указывает на нивелирующее действие стрессовой среды на признак в 2022 году (Таблица 11).

Однако, выделились гибриды, которые в первый и второй год формировали достаточно крупные кочаны, что непосредственно определяло их стабильную урожайность.

Таблица 11 - ОКС и СКС родительских линий выделившихся гибридов по признаку «средняя масса кочана», 2021-2022 гг.

№	Гибрид F ₁	Масса кочана, кг		g ОКС ¹ 2021 год		S СКС ² 2021 год		g ОКС ³ 2022 год		sСКС ⁴ 2022 год	
		2021 год	2022 год	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂
1	269-824 x Юби122	3,76	2,36	В*	С*	В	Н*	В	Н*	Н	С
2	269-824xБс1ф	4,04	2,36	В	В	В	С	В	С	Н	В
3	Тен4270x272Бр10	3,92	2,78	Н	В	Н	С	Н	С	В	В
4	Л79xБс1ф	3,65	2,65	С	В	Н	С	Н	С	С	В
5	Л79x270Хн111	3,07	2,80	С	С	Н	В	Н	В	С	Н
6	Агр82x270Хн111	3,05	3,32	Н	С	Н	В	Н	В	В	Н
7	269-824x272Бр10	3,08	3,47	В	В	В	С	В	С	Н	В
8	Тен4270xБс1ф	3,36	3,09	Н	В	Н	С	Н	С	В	В
9	272Бр10xБс1ф	4,85	3,64	В	В	С	С	С	С	В	В

1-*Значение ОКС, gi: В-высокие (0,18 – 0,52), Н-низкие (-0,52-(-0,13), С – средние - 0,06-0,05.

2- Вариансы СКС, si: В – высокие (от 0,17 до 0,31), Н- (0,08-0,10), С-средние (0,12-0,15).

3-Значение ОКС, gi: В – высокие (от 0,18-0,35), Н- (-0,01-(-0,21), С-средние (0,01-0,09).

4-Вариансы СКС, si: В – высокие (0,06-0,08), Н- (0,03), С-средние (0,04-0,05).

Как видно из таблицы 10, в 2021 году высокая продуктивность таких гибридов определялась в 7 комбинациях из 9 высокой ОКС одного или двух родителей, аналогичная тенденция отмечалась по СКС, но СКС в большей степени варьировала от низкой до высокой, чем ОКС.

В 2022 году на фоне более глубокого стресса для растений масса снизилась в большей или меньшей степени по сравнению с 2021 годом. В высоко продуктивных комбинациях (№№ 5–7) ОКС одного из родителей высокая, в комбинациях №№ 8, 9 средняя ОКС сочетается с высокой СКС. Родители гибридов, показавших более низкую продуктивность в этом году (№ № 1–4), как правило, имели более низкие значения ОКС и СКС по сравнению с 2021 годом.

Таким образом, во взаимодействии генотип – среда, средовой фактор оказывает влияние не только на признак масса кочана, но и на более стабильный признак, как ОКС линий. Варианса СКС подвергалась более глубоким изменениям, чем ОКС. например, с высокой на низкую.

3.1.3 Комбинационная способность линий капусты белокочанной среднепозднего-позднего сроков созревания по признаку «ожог верхушки внутренних листьев кочана»

Наиболее надежный способ контроля проявления на капусте ожога верхушки внутренних листьев является выращивание толерантных к данному физиологическому нарушению гибридов. Поэтому, исследования были направлены на выявление проявления «ожог верхушки внутренних листьев кочана» на селекционных образцах и изучение ОКС и СКС родительских линий на наличие поражения и степень ее проявления. Изучение наследования данного заболевания для оптимизации подбора родительских пар при скрещивании – актуальное направление при создании гибридов белокочанной капусты разного срока созревания для южного региона.

Степень повреждения каждого кочана внутренним ожогом, дает возможность определить гетерогенность гибрида по поражаемости заболеванием. Вследствие того, что наименьшее поражение гибрида будет иметь отрицательную вариансу ОКС, оценка линий дает нам возможность определить ценность линии по признаку устойчивости к tip burn.

Как было отмечено выше, чувствительность гибридов к ожогу верхушки внутренних листьев кочана, определялась в разных погодных условиях, в том числе 2021 году был более благоприятным для формирования кочанов, чем 2022 год.

В соответствии с величиной поражения на разрезе кочана была установлена степень развития заболевания в процентном соотношении к величине диаметра (Рисунок 5, Приложение В 7).

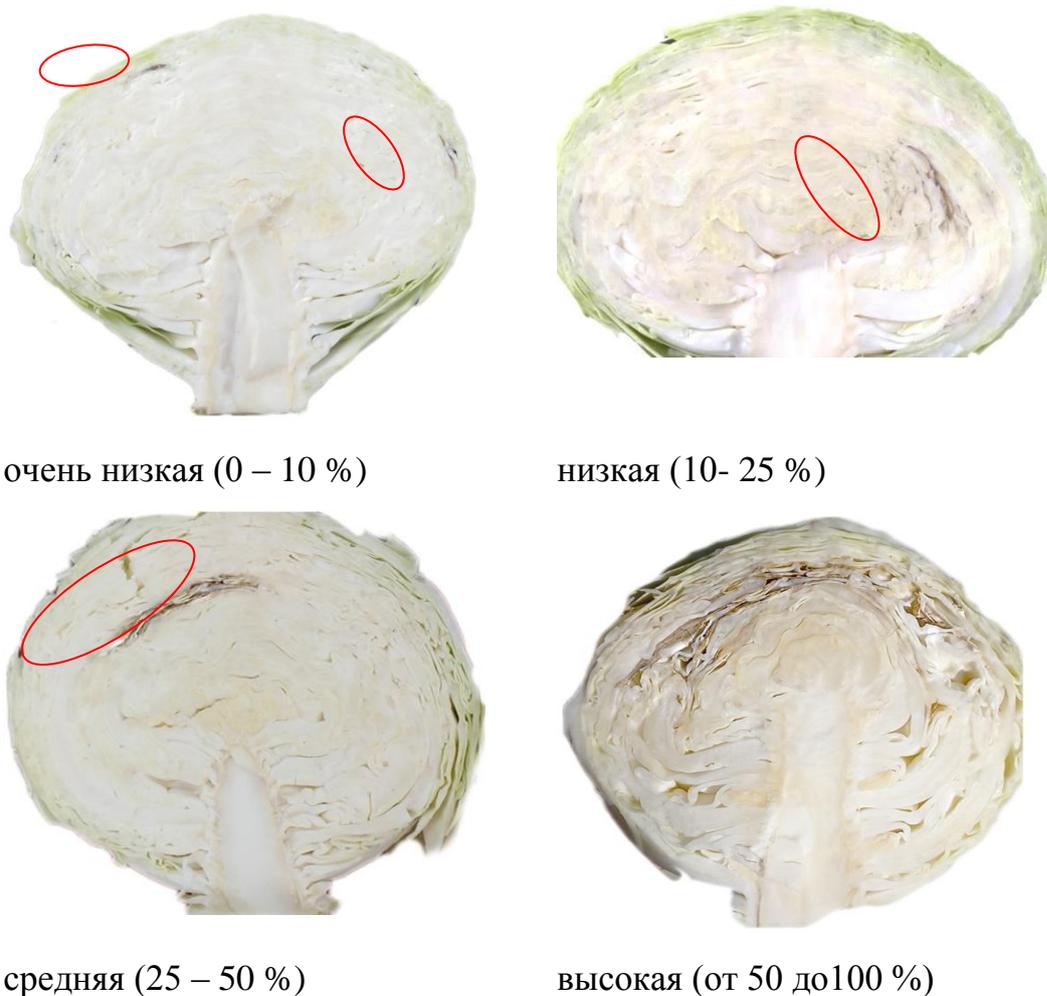


Рисунок 5 – Степень поражения кочанов капусты белокочанной ожогом верхушки внутренних листьев

На рисунке 6 отражены различные вариации по степени поражения внутренним ожогом листьев кочана, в соответствии с величиной участка ожога на разрезе.

В процессе идентификации, различных вариаций по развитию заболевания составлена градационная шкала в соответствии со степенью поражения к ожогу верхушки внутренних листьев кочана для капусты белокочанной (Таблица 12), где:

- очень высокая устойчивость – степень развития болезни 0 до 10 %;
- высокая устойчивость – от 11 до 25 %;
- средняя устойчивость – от 25 до 50 %;
- низкая устойчивость – > 50 %

Таблица 12 – Градационная шкала по поражению к ожогу верхушки внутренних листьев кочана для капусты белокочанной

Развитие, %	Степень поражения	Устойчивость
0-10	очень низкая	очень высокая
11- 25	низкая	высокая
25-50	средняя	средняя
от 50 и выше	высокая	низкая

Поражение ожогом верхушки внутренних листьев кочана по F₁ гибридам в таблице 13 варьирует в пределах от 2 % до 82,3 %. Гибрид Доминанта, выступающий как стандарт устойчивости практически не имел участков поражения – 1,5 % (Таблица 13).

Таблица 13 – Общая комбинационная способность линий капусты по поражению ожогом верхушки внутренних листьев кочана¹, %, 2021 г.

родительские линии, ♂, параметры	родительские линии, ♀									
	269-824	тен4270	яс25п	272Бр10	Л79	Бс1ф	Юби122	Агр1321	Агр82	270 ХН111
269-824	-									
тен4270	24,5	-								
яс25п	35,0	4,43	-							
272Бр10	55,0	29,6	6,83	-						
Л79	43,6	25,3	22,0	49,5	-					
Бс1ф	38,8	3,17	2,00	3,90	1,83	-				
Юби122	65,6	6,77	2,50	4,10	22,3	2,4	-			
Агр1321	45,03	2,80	4,4	53,3	30,6	10,1	47,3	-		
Агр82	5,13	2,47	2,00	2,50	16,3	1,50	3,3	2,37	-	
270 ХН111	2,40	9,20	2,50	9,00	82,3	2,37	1,8	49,3	2,0	-
g ОКС	9,25	-3,55	-5,01	3,54	5,73	-5,81	0,56	3,30	-7,20	-0,82
HCP ₀₅ (x)=3,96; HCP ₀₅ (ОКС) = 1,37; HCP ₀₅ Доминанта – 1,5%										

1 – Выражено в процентах по отношению к диаметру кочана.

Дисперсионный анализ эффектов комбинационной способности показал наличие существенных различий по ОКС и СКС линий. (Приложения А5, А6).

Выявлено, что у 28 гибридов заболевание внутренним ожогом листьев было незначительным и находилось в пределах 1,5% до 10,1 %. С фрагментарными участками ожога оказалось 4 комбинации от 16,3 до 24,5,0 %, следующая группа имела поражение от 25,1 % до 49,5,0 % – 9 комбинаций. Наиболее восприимчивыми к заболеванию оказалось 4 комбинации с участками заболевания от 53,3 % до 82,3 %.

Эффекты ОКС стоит разделить на три группы: с низкими значениями ОКС – Агр 82, Яс25п, Тен270, Бс1ф и 270Хн111 (от -7,20 до -0,82); средними - у линии Юби122, и высокими: 272Бр10, 269-824 и Л79, Агр 1321. Наиболее перспективными для селекции на устойчивость к внутреннему ожогу являются линии, обладающие отрицательным эффектом ОКС (Таблица 13).

Надо отметить, что с линией Агр 82, которая имеет самое низкое значение ОКС (-7,2), 8 комбинаций из 9 поразились в слабой степени – 0,67-5,13%. Наоборот, с линией 269-824, имеющей самую высокую ОКС (9,25), только 2 гибрида поразились слабо, с линией Юби122 – слабое поражение отмечалось на 6 гибридах.

Эффекты СКС отражают характер поведения линий в отдельных комбинациях скрещивания. Низкие варианты линий означают, что генотип устойчиво передает признаки гибридам, а высокие варианты обозначают, что данный признак может иметь в одних комбинациях более высокое значение, чем в других. Значения эффектов СКС варьировали в пределах -16,2 до +27,3 (Таблица 14).

При анализе вариантов линий СКС высокие значения наблюдаются у линий 269-824 – 80,4, Л79 – 110, а максимальным обладает 270Хн11 – 163, средние значения характерны для линий - 272Бр10, Юби 122, Агр1321, а низкие варианты у линий: Тен4270, Яс25п, Бс1ф и Агр82.

Необходимо отметить, что в гибридных комбинациях с линией Агр82 отмечается наименьший процент поражения внутренним ожогом листьев, в то время как варианта СКС у данной линии также имеет низкое значение 18,2. Такая же тенденция, как у Агр82 прослеживается у линии Яс25п и Тен4270, Бс1ф.

Значение эффектов СКС у восприимчивых образцов, степень поражения которых находилась в пределах 53,3-82,3 % изменялись в интервале – от 10,0 до 27,3. У семи наименее восприимчивых гибридов с поражением кочана до 3,3 %, эффекты СКС имеют низкие значения от -7,8 до 3,66.

Исходя из результатов СКС и ОКС можно сделать вывод, что сочетание высоких эффектов СКС внутри гибрида и высокого положительного показателя

ОКС по родителям будет наблюдаться сильная восприимчивость гибрида, как например: $F_1(269-824 \times 272\text{Бр}10)$, где поражение гибрида – 55 %, СКС – 5,86, $a_{gi}=9,25$, $g_j=3,54$. Стоит отметить, что сочетание устойчивой родительской линии с низким и средним результатом ОКС отражает высокую степень устойчивости гибрида: $\text{Агр}82 \times 270\text{Хн}111$ – поражение – 2 %, ОКС $g_i=(-7,20)$, $g_j=(-0,82)$, СКС = (-0,11).

Таблица 14 – Эффекты и варианты СКС родительских линий по признаку «ожог верхушки внутренних листьев кочана», %, 2021 г.

родительские линии, ♂	родительский линии, ♀									
	269-824	тен4270	яс25п	272Бр10	Л79	Бс1ф	Юби122	Агр1321	Агр82	270 ХН111
269-824	-									
тен4270	-2,42	-								
яс25п	4,32	1,81	-							
272Бр10	5,86	5,88	-4,08	-						
Л79	-2,12	1,52	1,31	6,51	-					
Бс1ф	6,98	1,97	2,68	-4,72	-7,98	-				
Юби122	14,0	-2,59	-3,27	7,02	-4,09	-3,39	-			
Агр1321	0,99	-7,32	-5,07	10,9	-2,67	-1,38	10,8	-		
Агр82	-8,45	3,02	3,66	-4,06	0,67	4,37	-0,64	-3,89	-	
270 ХН111	-16,2	0,01	-2,39	-7,19	27,3	-1,16	-7,81	13,2	-0,11	-
S	80,4	14,9	12,9	48,2	110	22,5	58,8	64,3	18,2	163
НСР ₀₅ (x)=1,76; НСР (ОКС)=0,88.										

Обращая внимание на линию 270Хн111 можно заметить, что варианта СКС обладает наивысшим результатом (163), однако эффект ОКС линии находится в группе с низкими значениями (-0,82). Из таблицы 14 следует, что из 9-ти комбинаций с данной линией у 7 гибридов наблюдается незначительные участки поражения внутренним ожогом не превышающие 9% и только в 2-х с восприимчивыми линиями, процент поражения возрастает до 82,3 %.

В таблице 15 представлены гибриды с разной степенью устойчивости к ожогу верхушки внутренних листьев кочана с развитием от 1,5 % до 5,13 %, устойчивые (10,1-24,5 %), средневосприимчивые (45, -49,5 %) и восприимчивые (55,0 – 82,3 %).

Таблица 15 – Значения ОКС и СКС генотипов с различной степенью восприимчивости к внутреннему ожогу листьев, 2021 г.

Гибрид	Степень поражения, %	Значение ОКС, gi^1		Вариансы СКС, gi^2	
		♀	♂	♀	♂
Поражение до 10 %					
269-824 x Agr82	5,13	В*	Н*	В	Н
Яс25п x Бс1ф	2,0	Н	Н	Н	Н
Яс25п x Юби122	2,25	Н	С	Н	С
Яс25п x Agr82	2,0	Н	Н	Н	Н
Яс25п x 270 Хн111	2,50	Н	Н	Н	В
272Бр10 x Agr 82	2,5	В	Н	С	Н
Л79 x Бс1ф	1,83	В	Н	В	Н
Бс1ф x Юби122	2,4	Н	С	Н	С
Бс1ф x Agr82	1,5	Н	Н	Н	Н
Поражение от 10 до 25 %					
269-824 x Тен 4270	24,5	В	Н	В	Н
Л79 x Agr82	16,3	В	Н	В	Н
Л79 x Юби122	22,3	В	С	В	С
Бс 1ф x Agr1321	10,1	Н	В	Н	С
Поражение от 25 до 50 %					
269-824 x Agr 1321	45,0	В	В	В	С
272 Бр10 x Л79	49,5	В	В	В	В
Юби122 x Agr 1321	47,3	С	В	С	С
Agr 1321 x 270 Хн111	49,3	В	Н	С	В
269-824 x Юби22	65,6	В	С	В	С
Л79 x 270Хн111	82,3	В	Н	В	В
269-824 X 272Бр10	55,0	В	В	В	В

1-*Значение ОКС, gi : В – высокие от 3,3 до 9,5, Н – низкие (-7,2 до -0,82), С – средние (0,56).

2- Вариансы СКС, gi : В – высокие (от 80,4 до 163), Н – (12,9-22,5), С – средние (48,2-64,3).

Результаты анализа ОКС и СКС демонстрируют определенную закономерность у линий Agr82, Тен 4270, Яс25п, Бс1ф, а именно, данные родительские формы имеют низкие значения как ОКС (-7,2 – (-0,82), так и низкие значения вариантов СКС (от 12,9 до 22,5), кроме линии 270Хн111.

Анализ первого года исследований показал, что из 21 гибридной комбинации с минимальным процентом повреждения заболеванием (от 1,83 % до 5,13 %) в 6–ти отмечается поражение (от 1,5 % до 4,43 %). Такое незначительное проявление заболевания обусловлено сочетанием материнского и отцовского компонентов с низкими или средними значениями ОКС и СКС таких линий как Тен 4270, Яс25п, Бс1ф, Agr82, Юби122. В гибридной комбинации с линией

270Хн111, в качестве отцовского компонента, очаг поражения составил 2,5 %, за счет наибольшего вклада общей комбинационной способности в признак, чем специфической.

В трех комбинациях с поражением от 1,83 до 5,13 % отмечается присутствие линий с высокими значениями как ОКС, так и СКС: Л79, 272Бр10, 269-824 в качестве материнского компонента. Стоит отметить, что наименьший процент поражения по этим гибридам обусловлен отцовским компонентом (Агр82, Бс 1ф) с низкими значениями эффектов ОКС.

Увеличение развития заболевания до 25 % наблюдается в комбинациях, где одна из родительских линий обладает высокими значениями по ОКС и СКС, а другая низкими отрицательными. Исключением является линия Юби 122, которая обладает средними значениями по комбинационной способности.

Поражение заболеванием от 45,0 до 49,5 % отмечены в комбинациях, полученных на основе линий с высокими или средними значениями как по ОКС, так и СКС.

Значительную роль в схеме наследования ожога верхушки внутренних листьев в комбинации (Л79 x 270Хн111) F₁ играют доминантные и, возможно, эпистатические эффекты генов, так как вклад в дисперсию СКС больше вклада в дисперсию ОКС. Сочетание линии Л79, обладающей высокой комбинационной способностью и линии 270Хн111 с низким отрицательным значениям по ОКС и наивысшей вариансой СКС, в гибриде проявляет максимальную степень заболевания (82,3 %).

Результаты исследований показали, что заболевание в комбинациях проявляется при сочетании обеих линий с высокими значениями ОКС, при сочетании линий со средним и высоким значением ОКС, а также внутренний ожог листьев может иметь место при скрещивании одной линий с высоким значением ОКС, а другой линии с низким значением ОКС, но высокими показателями по вариансам СКС.

Данные таблицы 16 отражают распространение заболевания на делянках и потери урожайности продукции капусты белокочанной, связанные с выбраковкой

пораженных кочанов. Гибриды, у которых в качестве материнского и отцовского компонента присутствуют линии 269-824, 272Бр10, Л79, Агр1321, распространение заболевания составило 100 %, такая закономерность установлена по гибридам №№3, 4, 7, 11, 15.

Потери урожайности от 28,1 т/га до 54,8 т/га наблюдаются в 9 гибридах, у которых степень поражения не превышала 50 %. Потери урожайности от 71,0 т/га до 81,8 т/га отмечены в 5 комбинациях, где в качестве одного из родительских компонентов выступали линии – 269-824, Л79, 272БР10.

Из результатов исследований можно сделать вывод, что рассматриваемое физиологическое расстройство в наиболее восприимчивых комбинациях может снизить урожайность до 100 %.

Таблица 16 – Влияние заболевания ожог верхушки внутренних листьев кочана на урожайность и качества гибридов, 2021 г.

№	Гибрид F ₁	Степень поражения, %	Урожайность общая, т/га	Распространение заболевания, %	Потери урожайности,	
					т/га	%
1	269-824 x Ген4270	24,5	68,6	60	41,1	59,9
2	269-824 x яс25п	35,0	65,4	43	28,1	43,0
3	269-824 x 272Бр10	55,0	88,0	100	88,0	100,0
4	269-824 x Л79	43,6	88,3	100	88,3	100,0
5	269-824 x Бс1ф	38,8	75,3	35	40,4	53,7
6	269-824 x Юби122	65,6	84,1	64	68,8	81,8
7	269-824 x Агр1321	45,03	71,4	100	71,4	100,0
8	ген4270 x 272Бр10	29,6	78,4	81	63,5	81,0
9	ген4270 x Л79	25,3	65,4	74	48,4	74,0
10	Яс25п x Л79	22,0	67,4	53	35,7	53,0
11	272 Бр10 x Л79	49,5	83,1	100	83,1	100,0
12	272 Бр10 x Агр 1321	53,3	84,0	81	68,0	81,0
13	Л79 x Юби122	22,3	76,9	54	41,5	54,0
14	Л79 x Агр 1321	30,6	72,0	60,5	43,6	60,6
15	Л79 x 270 Хн111	82,3	87,7	100	87,7	100,0
16	Юби122 x Агр 1321	47,3	63,1	59	37,3	59,1
17	Агр 1321 x 270 Хн111	49,3	77,1	71	54,	71,0

В гибридах, где в качестве отцовского и материнского компонента выступают линии 269-824, 272Бр10, Л79, наблюдается наибольший процент

распространения и развития ожога, а также потеря урожайной продукции до 100 %.

Увеличение ликвидной урожайности до 29-57 % отмечено в комбинациях с родительскими формами: 270 Хн111, Яс25п, Юби122 и Тен4270.

В 2022 году поражение гибридов капусты белокочанной находилось в пределах от 1,1 % до 82,1 %. Гибрид Доминанта, выступающий как стандарт устойчивости практически не имел участков поражения – в пределах 2 % (Таблица 17). По 21 гибриду развитие заболевания было незначительным и находилось в пределах 1,1 % до 7,5 %. С фрагментарными участками ожога от 13,5 до 18,6 % оказалось 4 комбинации. Среднюю восприимчивость показали 14 гибридов – от 25,5 до 49,7 %. Наиболее восприимчивыми к заболеванию оказалось 6 комбинации с участками заболевания от 52,4 до 82,1 % . Вариансы ОКС стоит разделить на три группы: с низкими ОКС: Агр 82, Бс1ф, Тен270, (от -9,7 до -3,9); средними: Юби122, Яс25п, Л79, 270Хн111(от -3,1 до 3,4), высокими: 269-824, 272Бр10 и Агр1321 (5,5-11,1).

Дисперсионный анализ ОКС и СКС между вариансами признака «развитие ожога верхушки внутренних листьев кочана» оказались значимыми, в связи с $F_{факт.} > F_{05}$ (приложения А7, А8).

У линий, чьи значения ОКС, имеют низкие отрицательные значения, стоит рассматривать как наиболее перспективные в селекции на устойчивость к заболеванию. Таковыми являются: Тен4270 (-3,9 %), Яс25п (-3,1 %), Бс1ф (-5,2 %), Юби122 (-1,3 %), Агр82 (-9,7 %), и 270Хн111(-3,1 %). Самыми высокими значениями ОКС обладали линии 269-824, 272 Бр10, Агр1321.

Необходимо отметить, что с линией Агр 82, которая имеет самое низкое значение ОКС (-9,7) семь комбинаций из восьми поражались в очень слабой степени – 1,3-6,8 %. Наоборот, с линией 269-824, имеющей самую высокую ОКС (11,1), только 2 гибрида поражались слабо – с линией Агр82 (6,8%) и с линией 270Хн111 (6,8 %).

Таблица 17– Значения эффектов ОКС родительских линий капусты белокочанной по признаку развитие «поражение внутренним ожогом кочана», %, 2022 г.

родительские линии, ♂	родительский линии, ♀									
	269-824	тен4270	яс25п	272Бр10	Л79	Бс1ф	Юби122	Агр1321	Агр82	270 ХН111
269-824	-									
тен4270	30,1	-								
яс25п	37,4	7,5	-							
272Бр10	72,7	41,5	42,6	-						
Л79	45,5	44,1	30,1	26,3	-					
Бс1ф	49,7	2,2	2,7	42,9	2,3	-				
Юби122	64,2	6,7	0,7	45,9	25,5	1,1	-			
Агр1321	82,1	2,5	32,0	69,8	51,6	18,6	52,4	-		
Агр82	6,8	1,2	1,6	2,8	13,5	0,9	3,1	1,3	-	
270 ХН111	2,5	13,8	3,3	17,5	75,8	3,2	1,2	43,0	1,7	-
ОКС	11,1	-3,9	-3,1	5,5	3,4	-5,2	-1,3	6,3	-9,7	-3,1
НСП ₀₅ (x)=5,3; НСП (ОКС)=1,73. Ст. Доминанта – 1,5%										

Эффекты СКС варьировали в пределах от -18,2 до 26,2 (Таблица 18).

Высокие отрицательные значения эффектов СКС, способные внести значительный вклад в снижении поражения гибридов, отмечены у 6 гибридных комбинаций.

Таблица 18 – Эффекты и варианты СКС родительских линий капусты белокочанной по признаку степень «поражению внутренним ожогом», % 2022 г.

родительские линии, ♂	родительский линии, ♀									
	269-824	тен4270	яс25п	272Бр10	Л79	Бс1ф	Юби122	Агр1321	Агр82	270 ХН111
269-824	-									
тен4270	-3,61	-								
яс25п	-0,72	-0,57	-							
272Бр10	8,25	7,73	7,53	-						
Л79	-3,28	11,1	6,35	-19,0	-					
Бс1ф	7,51	-1,19	-1,67	9,73	-8,51	-				
Юби122	10,9	-2,77	-6,52	7,38	-0,75	-4,27	-			
Агр1321	12,2	-12,5	1,78	11,7	4,67	-3,19	9,86	-		
Агр82	-9,39	2,88	2,31	-5,79	1,62	4,01	1,24	-7,29	-	
270 ХН111	-18,2	2,55	-3,44	-5,04	26,2	-1,44	-6,31	6,8	2,33	-
S	104	47,1	20,5	111	164	34,3	47,5	84,3	26,8	14,4
НСП ₀₅ =0,76										

В то же время отмечаются высокие положительные значения эффектов СКС у 12 гибридов, которые вносят значительный вклад в сторону увеличения поражения.

Минимальные СКС варианты от 14,4 до 34,3 характерны для линий 270 Хн111, Бс1ф, Яс25п, Агр82. Линии, имеющие высокие варианты СКС - 269-824, Л79 и 272 Бр10 (104-164) в скрещивании с другими линиями дают максимальные вариации по поражению.

Проанализировав самые высокотолерантные к заболеванию комбинации с точки зрения ОКС родительских линий и СКС, участвующих в скрещивании, можно отметить следующую тенденцию, что данные гибриды получены с участием родительских линий с низким и средним значением вариансов ОКС и СКС, например: F₁ (Яс25пхЮби122), где поражение гибрида – 0,7 %, СКС – (-6,52), а ОКС ♀ – 1,3, ОКС ♂ = -3,1. Бс1ф х Агр82 – поражение – 0,9 %, ОКС ♀ = -9,7, ОКС ♂ = -5,2, СКС = 4,04.

3.1.4 Комбинационная способность линий капусты белокочанной среднепозднего-позднего сроков созревания по признаку «продолжительность вегетационного периода»

Продолжительность вегетационного периода определяли от всходов кассетной рассады до наступления массовой технической спелости в сутках.

Разные гибриды по созреванию попадают в неодинаковые погодные условия по влажности и температуре в период формирования кочана. Более ранние гибриды больше подвержены абиотическим стрессам, что может негативно повлиять на поступления кальция и вызвать ожог. С другой стороны, гибриды с более длительным периодом формирования кочана испытывают более длительный дефицит кальция.

В 2021 году при выращивании капусты белокочанной гибриды имели большие вариации по продолжительности вегетационного периода. У гибридных комбинаций варьирование признака находилось в пределах от 118 до 161 сут. (Таблица 19).

Оптимизация конвейерного возделывания данной культуры в большей степени зависит от подбора родительских линий с различным вегетационным периодом, что наиболее точно позволяют определить значения комбинационной способности. Эффекты ОКС линий варьировали от -11,4 до +5,15 (Таблица 19).

Анализ эффектов ОКС показал, что линии Яс25п, 272 Бр10 и Юби 122 ($g=4,36-5,15$) отличаются высокой ОКС, линии Л79, Агр82 и 270Хн111 занимают промежуточное положение ($g=0,11-2,57$). Гибридные комбинации с продолжительным вегетационным (от 135 до 155 суток) получены путем сочетания родительских компонентов с высокими положительными ($4,36-5,15$ сут.) и средними эффектами ОКС ($0,44 -2,57$ сут.) в гибридных комбинациях. К таким образцам стоит отнести (Яс25п х 272 Бр10) F_1 – 151 сут., (Яс25п х Юби122) F_1 и (Яс25п х 270Хн111) F_1 – 147сут., (Л79хЮби122х) F_1 – 155сут., (Юби122х270Хн111) F_1 – 149 сут.

Таблица 19 - Продолжительность вегетационного периода гибридов F_1 , эффекты ОКС родительских линий, сут., 2021 г.

родительские линии, ♂	родительский линии, ♀									
	269-824	тен4270	яс25п	272Бр10	Л79	Бс1ф	Юби122	Агр1321	Агр 82	270 ХН111
269-824										
тен4270	126									
яс25п	138	141								
272Бр10	161	124	151							
Л79	139	120	141	136						
Бс1ф	130	118	145	150	151					
Юби122	148	119	147	143	155	146				
Агр1321	138	137	139	129	135	132	139			
Агр 82	129	133	135	143	137	136	143	142		
270 ХН111	129	138	147	154	138	135	149	130	154	
gi ОКС	-1,35	-11,4	4,36	5,15	0,11	-0,52	4,61	-4,02	0,44	2,57
НСР ₀₅ (x)=8,21; НСР(ОКС)=4,10 Стандарт F_1 Доминанта – 157 сут.										

Линии с отрицательными эффектами по продолжительности вегетационного периода стоит использовать в селекции на скороспелость при создании среднеспелых и среднепоздних гибридов. К таким линиям стоит отнести 269-824, Тен 4270, Бс1ф и Агр1321 ($g= -11,4$ до $-0,52$) – имеет низкую ОКС.

Выявлено, что у комбинации (Агр 82 х 270 Хн111) F_1 техническая спелость наступала примерно в одно время со стандартом Доминанта F_1 (154 сут.), а у 11-ти– существенно раньше на 15-18 дней, отмечено, что у 5-ти гибридов техническая спелость наступила на месяц раньше. Комбинация (269-824 х 272

Бр10) F1 имела максимальную продолжительность по вегетационному периоду – 161 суток.

Дисперсионный анализ ОКС и СКС между вариансами признака «продолжительность вегетационного периода» оказались значимыми, в связи с $F_{факт.} > F_{05}$ (Приложения А9, А10).

Эффекты СКС варьировали в пределах -11,42 до +18,6 (Таблица 20). Высокие значения СКС отмечены в гибридных комбинациях (269-824x272Бр10) F_1 -18,6; (Л79xБс1ф) F_1 -12,5, (Тен42701 x Агр1321) F_1 -13,2, (Л79 x Юби 122) F_1 -11,1, (Тен4270xАгр82) -13,2, (Тен 4270 x 270 ХН111) -7,6, (272Бр10x270Хн111) -7,4; низкие у 22 комбинаций -11,42 до 1,02. Максимальные варианты характерны для линий Тен4270, 272 Бр10 и 269-824.

Таблица 20 – Анализ эффектов и вариантов СКС гибридов и родительских линий по признаку «вегетационный период», 2021 г.

родительские линии, ♂	родительский линии, ♀									
	269-824	тен4270	яс25п	272Бр10	Л79	Бс1ф	Юби122	Агр1321	Агр82	270ХН111
269-824	-									
тен4270	1,5	-								
яс25п	-3,5	9,5	-							
272Бр10	18,6	-8,7	2,3	-						
Л79	1,0	-7,3	-2,0	-8,1	--					
Бс1ф	7,3	-8,3	2,6	6,8	12,5	-				
Юби122	5,9	-12,7	-0,5	-5,2	11,1	2,7	-			
Агр1321	4,5	13,2	-0,5	-11,3	0,0	-2,7	-1,8	-		
Агр82	-9,3	5,4	-8,6	-1,8	-2,4	-0,1	-1,3	6,0	-	
270 ХН111	-11,4	7,6	0,8	7,4	-4,9	-6,3	2,0	-7,4	12,1	
S	86,1	89,1	24,3	94,5	54,2	48,4	46,0	53,0	48,1	64,04
НСР _{05(s)} =10,05										

При анализе данных комбинационной способности по вегетационному периоду и внутреннему ожогу закономерностей не обнаружено.

У линий 272 Бр10, Юби122 и 270Хн122 высокая СКС сочетается с высоким эффектом ОКС.

В 2022 году при возделывании капусты белокочанной в гибридных комбинациях поколения F_1 имелись различия по продолжительности вегетационного периода (Приложения А11, А12). В сравнении с предыдущим годом исследований наблюдается значительное увеличение продолжительности

вегетационного периода по 22 гибридам на 20 и более дней, что свидетельствует о более выраженной реакции генотипов на стрессовые температурные условия, сложившиеся во второй год. У гибридных комбинаций варьирование составило от 135 до 169 сут. (Таблица 21).

К образцам с разницей в 7-12 дней между годами относятся 4 гибрида.

Эффекты ОКС линий варьировали от -9,48 до +12,7 (Таблица 21).

Таблица 21- Продолжительность вегетационного периода гибридов F₁, эффекты ОКС родительских линий, сут., 2022 г.

Родительская линия, ♂,	Родительская линия, ♀									
	269-824	тен4270	яс25п	272Бр10	Л79	Бс1ф	Юби122	Агр1321	Агр82	270ХН111
269-824	-									
тен4270	140	-								
яс25п	169	164	-							
272Бр10	153	166	167	-						
Л79	149	167	168	167	-					
Бс1ф	163	163	169	166	165	-				
Юби122	160	164	169	163	154	160	-			
Агр1321	139	163	139	135	136	150	162	-		
Агр82	162	158	165	166	139	163	163	140	-	
270 ХН111	158	155	167	168	167	168	168	139	153	-
g ОКС	9,0	-2,65	-0,68	-1,8	-2,16	-0,95	-1,41	-9,48	-2,66	12,7
ст. Доминанта – 164 дня. НСР ₀₅ (x)=2,42; НСР ₀₅ (ОКС)=0,78.										

Анализ эффектов ОКС показал, что линии 269-824, 270Хн111 (g=9,0-12,7) отличаются высокой ОКС, линии 272 Бр10, Л79, Агр 82, занимают промежуточное положение (g=-2,66 до -0,68). Родительские компоненты, обладающие высокими положительными вариансами ОКС, при сочетании с линиями, имеющими средние показатели эффектов СКС в F₁ указывают на более продолжительный вегетационный период. К таким комбинациям стоит отнести (272 Бр10x270Хн111) F₁ – 168 сут., (Бс1ф x 270Хн111) F₁ – 168 сут., (269-824xЯс25п) F₁-169 сут.

К родительским линиям с отрицательными значениями по ОКС стоит отнести: Тен 4270, Л79, Бс1ф и Агр1321, 272Бр10 (g= -9,48 до -1,8) – имеют низкую ОКС.

Выявлено, что у 13 гибридных комбинаций техническая спелость наступила в одно время со стандартом Доминанта F₁ (164 сут.) с разницей в 1-2 дня, а у 5-ти – существенно раньше: на 6-14 дней (150-158 сут.), отмечено, что у 5-ти гибридов техническая спелость наступила на месяц раньше (135-140 сут.) в сравнении со стандартом.

В группу стабильных гибридов с минимальной реакцией на меняющиеся погодные условия, сложившиеся в разные годы входят F₁: (269-824 x Agr 82), (Яс25пxAgr 1321), (Л79 x Юби122), (Л79 x Юби122), (Л79 x Agr1321), (Agr 1321 x Agr 82), (Agr82 x 270 Хн111).

Значения эффектов СКС варьировали в пределах -17,6 до +15,1 (Таблица 22).

Таблица 22 – Анализ эффектов и вариантов СКС гибридов и родительских линий по признаку «вегетационный период», 2022 г.

Родительская линия, ♂,	Родительская линия, ♀									
	269-824	тен4270	яс25п	272Бр10	Л79	Бс1ф	Юби122	Агр1321	Агр82	270 ХН111
269-824	-									
тен4270	-11,1	-								
яс25п	1,58	10,7	-							
272Бр10	-5,30	13,2	11,4	-						
Л79	-7,10	14,5	12,6	14,2	-					
Бс1ф	-1,15	10,5	11,9	11,1	13,0	-				
Юби122	-2,19	11,5	12,0	10,3	5,98	7,76	-			
Агр1321	-4,62	18,9	5,06	4,18	4,88	11,2	17,1	-		
Агр82	0,06	9,55	11,2	13,2	15,1	10,3	10,8	7,38	-	
270 ХН111	-17,6	-7,40	-3,20	-1,25	-1,89	-1,94	-1,47	-8,40	-8,39	-
S	67,5	167	107	120	132	105	112	123	121	65,6
НСР ₀₅ =0,33; Доминанта ст. 164 сут.										

Высокие эффекты СКС отмечены в более поздних гибридных комбинациях, с вегетационным периодом (163-170 сут.), а именно, (Агр1321xТен4270) F₁-18,9; (272БрxAгр82) F₁-(13,2), (Л79xAгр82) F₁-15,1. У 4 комбинаций с низкими эффектами СКС (от -17,6 до -8,39) отмечается более сокращенный период созревания (139-158 дней). Максимальные варианты характерны для линий Л79 и Тен4270 – 132-167, соответственно.

У линий 269-824, 270Хн111 высокие показатели ОКС сочетаются с низкой вариансой СКС.

Оценка образцов показала, что наименьшие значения ОКС имели образцы Agr1321, Agr82, Тен4270. Эти же образцы показали высокие варианты СКС у гибридов, полученных с их участием. Самыми скороспелыми оказались гибриды F₁ Agr1321xAgr82 (140 дней), F₁ Agr1321xТен4270 – 158 дней.

При создании среднепоздних гибридов стоит выделить линии, гибриды с которыми имеют более сокращенный вегетационный период (Тен4270 и Бс1ф). При создании гибридов с продолжительным вегетационным периодом, предназначенные для длительного хранения, в селекционную программу в качестве родительских компонентов стоит включать линии с высоким значением ОКС: Agr82, 270 Хн111, Яс25п.

3.1.5 Особенности подбора родительских пар для создания гибридов с устойчивостью к ожогу верхушки внутренних листьев кочана

Из результатов двух лет исследований можно заметить значительное увеличение процента степени поражения в 2022 году по сравнению с 2021 годом в гибридных комбинациях, у которых ОКС по обоим родительским компонентам имеют высокие положительные значения (Таблица 23). Так, например, в 6-ти комбинациях с линиями 269-824, Agr1321, 272 Бр10 поражение увеличилось на 16,5 – 37,1 %, что в свою очередь может быть обусловлено более экстремальными погодными условиями второго года исследований. Комбинации (269-824 x Юби122), (Л79x270Хн111), (269-824x272Бр10) имели максимальные вариации по поражению как в 2021 году (55,0-82,3 %), так и в 2022 году (64,2 – 75,8 %), а эффекты родительских форм были нестабильны.

Стоит отметить, что сочетание родительской линии с высоким и средним результатом ОКС отражает низкую степень поражения по годам. Такая закономерность проявляется по 6 гибридам с линиями: Agr82, Тен 4270, Бс1ф, Яс25п, где поражение в 2021 году варьировало в пределах от 1,5 % - 4,43 %, а в 2022 году было от 1,2 % до 7,5 %.

Необходимо отметить следующие линии, у которых значения ОКС имели тенденцию увеличиваться и переходить в ранг средних значений в наиболее жаркий и засушливый год: Яс25п и 270Хн111. В комбинации (Тен4270 х Яс25п) замечено увеличение признаков заболевания на 3,2 % в 2022 году, что возможно является следствием изменения ОКС линии Яс25п.

Таблица 23 – Результаты оценки ОКС и СКС линий гибридов капусты белокочанной у гибридов с разной степенью поражения внутренним ожогом, 2021-2022 гг.

Гибрид F ₁	Поражение заболевани ем, %		ОКС 2021 год ¹		СКС202 1 год ²		ОКС 2022 год ³		СКС2022 год ⁴	
	2021 год	2022 год	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂
Поражение до 10%										
Агр 82 х 270 Хн111	2,0	1,7	Н	Н	Н	В	Н	С	Н	Н
Тен4270хБс1ф	3,17	2,2	Н	Н	Н	Н	Н	Н	С	Н
Тен4270 х Яс25п	4,43	7,5	Н	Н	Н	Н	Н	С	С	Н
Поражение от 10,1 до 25,0 %										
Л79 х Агр 82	16,3	17,0	В	Н	В	Н	С	Н	В	Н
Яс25п х Л79	22,0	30,1	Н	В	Н	В	С	С	Н	В
Поражение от 25,1 до 50,0 %										
Тен4270х272Бр10	29,6	41,5	Н	В	Н	С	Н	В	С	В
269-824 х Тен 4270	24,5	30,1	В	Н	В	Н	В	Н	В	С
Поражение более 50%										
Л79х270 Хн111	82,3	75,8	В	Н	В	В	С	С	В	Н
269-824 х Юби122	65,6	64,2	В	С	В	С	В	С	В	С
272Бр10х269-824	55,5	72,7	В	В	С	В	В	В	В	В

1- *Значение ОКС, gi: В-высокие от 3,3 до 9,5, Н-низкие (-7,2 до -0,82), С – средние (0,56).

2- Вариансы СКС, si: В – высокие (от 80,4 до 163), Н- (12,9-22,5), С-средние (48,2-64,3).

3- *Значение ОКС, gi: В-высокие от 5,5 до 11,1, Н-низкие (-9,7 до -3,9), С – средние (-3,1 – 3,4).

4-Вариансы СКС, si: В – высокие (от 104 до 164), Н- (14,4- 34,3), С-средние (47,1-47,5).

К линиям, которые не подвержены изменчивости по значению ОКС и вариансам СКС с минимальным проявлением заболевания в оба года исследований относятся Бс1ф и Агр82.

Группировка гибридов по степени поражения позволяет проанализировать вклад ОКС и СКС родителей в проявление признака. Надо отметить, что в первый и второй год исследований статус гибрида по относительной устойчивости, в большинстве случаев, сохраняется в пределах группы, претерпев незначительные изменения. Очень высокая устойчивость (до 10%) характерна для гибридов, имеющих низкие эффекты ОКС и низкие варианты СКС одного или 2-х родителей. При поражении до 25% возможны сочетания низкой ОКС одного из родителей с высокой и средней ОКС второго родителя; при этом варианса СКС одного из родителей также низкая. В благоприятный год для развития заболевания возможен переход из устойчивой группы в среднеустойчивую, как у гибрида (Яс25п x Л79). При средней степени устойчивости – такая же тенденция, как у предыдущей группы, но во второй год варианса СКС линий имела высокие и средние значения, что повлияло на снижение устойчивости гибридов. В группе сильно восприимчивых гибридов один из родителей обязательно имеет высокую ОКС, а также высокую или среднюю вариансу СКС, у второго родителя в этом случае или ОКС или варианса СКС высокие.

К линиям со стабильными низкими ОКС следует отнести: Agr 82, Тен4270, Яс25п, Бс1ф, 270 Хн111, сочетания которых обеспечивают очень высокую устойчивость гибридов к ожогу.

Линии со средней ОКС, такие, как Юби122, стоит включать в гибридизацию с осторожностью, проверяя комбинации на высоком агрофоне в течение ряда лет на предмет поражения ожогом.

Таким образом, с точки зрения подбора родительских пар, надо быть уверенным, что оба родителя имеют низкие ОКС, чтобы избежать поражения гибридов, при этом значения вариантов СКС родителей не так важны, то есть у данных линий аддитивное действие аллелей является определяющим фактором в устойчивости гибрида.

По результатам исследований необходимо выделить линии, представляющие селекционный интерес в работе по созданию гибридов, сочетающих высокую степень устойчивости к ожогу внутренних листьев кочана

(tip burn) и формирующие стандартные высокопродуктивные кочаны (Таблица 24).

Таблица 24 – Перспективные линии для селекции на устойчивость к ожогу верхушки внутренних листьев кочана

линии	КС по поражению (tip burn)		КС по массе кочана		ОКС по вегетационному периоду
	ОКС	СКС	ОКС	СКС	
Бс 1ф	Низкое	Низкое	Высокое	Высокое	Низкое
Агр 82	Низкое	Низкое	Среднее	Среднее	Высокое
Тен 4270	Низкое	Низкое/Среднее	Среднее	Среднее	Низкое
270Хн111	Низкое	Низкое/Среднее	Высокое	Низкое	Высокое
Яс25п	Низкое/Среднее	Низкое	Низкое	Среднее	Высокое

Установлено, что линии Бс1ф, Агр 82, 270 Хн111 обладали низкими отрицательными значениями ОКС и СКС в течении двух лет исследований, что характеризует низкую степень восприимчивости к изучаемому физиологическому расстройству.

Помимо этого, следует отметить высокие эффекты ОКС по признаку средняя масса кочана у линий Бс1ф, 270Хн111. Линии Яс25п, Тен4270 и Агр 82 следует использовать как ген-источники устойчивости к внутреннему ожогу в сочетании с другим родительским компонентом, обладающим низкими значениями ОКС по признаку заболевания и высоким эффектом СКС или ОКС по массе кочана.

При подборе родительских пар для получения устойчивых гибридов следует уделять внимание линиям с низкими эффектами по ОКС обоих родителей. При этом значение варианс СКС родителей не столь важно, так как аддитивное действие аллелей имеет ключевое значение для стабильности гибрида.

3.2 Результаты детального дисперсионного анализа гибридов капусты белокочанной среднепоздней группы спелости в системе неполной диаллельной схемы скрещивания по методу Хеймана

Метод диаллельного генетического анализа количественных признаков приобрел популярность благодаря работам Хеймана [149, 150]. Данный метод

базируется на предположении, что количественный признак детерминирован полиморфными локусами, точнее блоками сцепленных полигенов.

Для изучения генетической изменчивости количественного признака часто используется параллельная схема анализа. В эту схему включаются исходные формы и гибриды, полученные путем скрещивания. Метод позволяет оценить генетические параметры признака, такие как степень доминирования, количество генов или групп генов, контролирующих данный признак, а также распределение аллелей, что позволяет выбрать наилучшую стратегию селекции. Мониторинг генетических компонентов, определяющий численность доминантных и рецессивных аллелей, а также специфику особенностей наследования признаков наиболее полно отражают расчеты коварианс (W_r) и варианс (V_r) между показателями гибрида и родительских линий.

Графический результат, отражающий зависимость между линиями и гибридами представлен в виде линии регрессии с конкретным расположением точек отвечающие за генетическое состояние материнских и отцовских форм.

Наибольшее число доминантных генов принято рассматривать на графике как точку, расположенную вблизи начала координат с наименьшим значением.

Линия в которой проявление признака обусловлено большей численностью рецессивных аллелей мигрирует на графике в верхней правой части согласно координат. Такие родительские формы обычно имеет большее значение [53, 94].

В рамках опыта в системе неполных диаллельных схем гибриды и их линии изучались по средней массе кочана и внутреннему ожогу листьев. Результаты однофакторного дисперсионного анализа позволили установить значимость в различиях между повторностями, что позволяет перейти к расчетам.

3.2.1 Результаты детального дисперсионного анализа диаллельной таблицы по признаку «средняя масса кочана» гибридов капусты белокочанной первого поколения по методу Хеймана

Дисперсионный анализ генетических факторов по Хейману показал (Таблица 25), что линии существенно отличаются по аддитивным

(существенность а) и доминантным (существенность б) эффектам генов, потому как $F_{\text{факт.}} > F_{\text{теор.}}$. Варианса b_1 является значимой это означает, что действие доминантных генов на признак однонаправлено.

Таблица 25 – Дисперсионный анализ генетических факторов по признаку средняя масса кочана, 2021 г.

Факторы варьирования	Число степеней свободы	Дисперсия	$F_{\text{факт.}}$	$F_{\text{теор.}}$
a	9	2	18	0,01
a ₁	9	4,16	18	0,01
b	45	1,30	90	1,48
b ₁	1	19,9	2	18,51
b ₂	9	3,35	18	2,46
b ₃	35	0,24	70	1,51
c	9	43,8	18	2,46
d	36	4,49	72	1,51
Общее	99	6,39	198	1,32

Значимость показателя b_2 указывает на то, что доминантные аллели неравномерно распределены между родительскими линиями. Она аналогична вариансе специфической комбинационной способности, определяемой по Гриффингу и ее достоверность указывает на сверхдоминирование и неаллельное взаимодействие полигенов.

В таблице 26 значение параметра (H_1/D) , характеризующего степень доминирования больше единицы и равно (1,27), что свидетельствует о внутрилокусном сверхдоминировании изучаемого признака. На основании показателя $\sqrt{(H_1/D)}$ равного 1,13, который оценивает степень истинного доминирования в каждом локусе можно говорить о незначительном преобладании доминантного компонента над аддитивным.

Разное значение компонентов $H_1(1,76)$ и $H_2(0,86)$ подтверждает несистематизированное расположение доминантных и рецессивных аллелей, отвечающих за признак «масса кочана», что имеет подтверждение в отношении $\frac{1}{4} H_2/H_1$ (0,12), которое меньше максимального значения 0,25, указывающее на гетерозисный эффект доминантных аллелей с положительными эффектами. Тот факт, что значение H_1 больше D ($1,75 > 1,55$) свидетельствует о

сверхдоминировании в наследовании признака массы кочана. В изучаемых линиях доминантных аллелей больше, чем рецессивных, так как $F > 0$ и равно 2,14.

Поскольку доминирование доказано следует проверить соотношение доминантных и рецессивных генов у родительских компонентов, которое выражается в отношении $\frac{1}{2} \times F/V (D \times (H_1 - H_2))$ и равно 0,98. Согласно тому, что значение отличается от 1, то степень доминирования неодинаково в разных локусах.

Таблица 26 – Результаты оценки генетических компонентов для признака «средняя масса кочана», 2021 г.

Генетические компоненты	Оценка	Генетические компоненты	Оценка
E	0,01	H_1/D	1,27
D	1,38	$\sqrt{H_1/D}$	1,13
H_1	1,76	$\frac{1}{2} \times F/V (D \times (H_1 - H_2))$	0,96
H_2	0,86	$\frac{1}{4} H_2/H_1$	0,12
F	2,14	h_2	2,96

Примечание: D – значение вариации, контролирующей аддитивные эффекты генов; F – компонент частоты распределения доминантных и рецессивных аллелей в родительских формах; H_1 – компонент вариации, отвечающий за доминантные эффекты генов; H_2 – компонент вариации, отвечающий за рецессивные эффекты генов; H_1/D – отношение средней степени доминирования; $\sqrt{H_1/D}$ – средняя степень доминирования в каждом локусе; h/H_2 – указывает на число генов или групп генов которые при контроле признака проявляют эффекты доминирования; $\frac{1}{2} \times F/V (D \times (H_1 - H_2))$ – показатель соотношения общего количества доминантных генов к сумме рецессивных генов родительских форм; h_2 – коэффициент наследуемости в узком понимании.

Высокий показатель коэффициента наследуемости в узком смысле ($h^2 = 2,96$) говорит о том, что массу кочана контролируют аддитивные (суммарные) гены, так как $h^2 > 0,25$ (Погиба, 1988).

Проанализировав полученные данные с помощью регрессионного анализа (Приложение А13), установлена адекватность регрессии. Коэффициент регрессии оказался значимым, что позволяет перейти к интерпретации графика регрессии W_r на V_r (Рисунок 6).

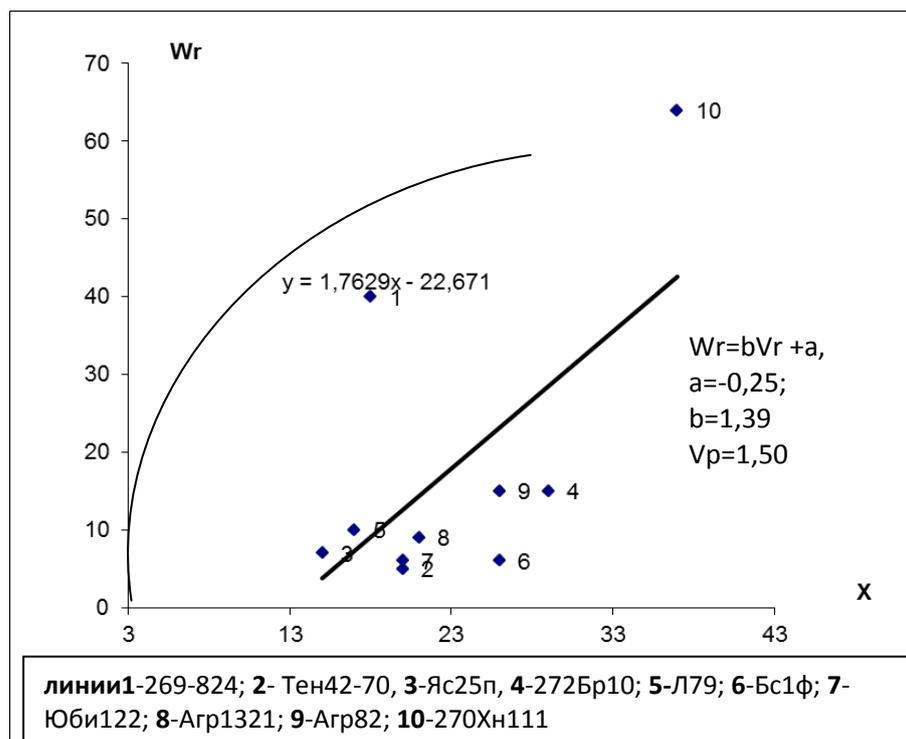


Рисунок 6 - Регрессия W_r на V_r для признака «средняя масса кочана» линий, 2021 год

Результаты графического анализа указывают на увеличение роли неаллельных взаимодействий генов, о чем свидетельствует коэффициент регрессии, отличающийся от 1 ($b=1.39$). Распределение родительских линий вдоль линии регрессии показывает, что линии 269-824, 270Хн111 обладают минимальным числом доминантных аллелей, максимальное число доминантных аллелей наблюдается у линий Яс25п, Л79, Агр1321. У линий Тен4270, Юби122 и Бс1ф, кроме доминантных аллелей, присутствуют еще аллели обладающие сверхдоминированием.

Дисперсионный анализ в 2022 году показал (Таблица 27), что линии существенно отличаются по аддитивным (существенность а) и доминантным (существенность б) эффектам генов, потому как $F_{\text{факт.}} > F_{\text{теор.}}$. Варианса b_1 является значимой, это означает, что действие доминантных генов на признак однонаправлено. Значимость показателя b_2 указывает на то, что доминантные аллели неравномерно распределены между родительскими линиями. Она аналогична дисперсии специфической комбинационной способности,

определяемой по Гриффингу и ее достоверность указывает на сверхдоминирование и неаллельное взаимодействие полигенов.

Таблица 27 - Дисперсионный анализ генетических факторов по признаку средняя масса кочана, 2022 г.

Факторы варьирования	Число степеней свободы	Дисперсия	F _{факт.}	F _{теор.}
A	9	1,67	1521,3	2,46
a ₁	9	4,65	1419	2,46
B	45	1,20	1031,3	1,48
b ₁	1	17,19	1022	18,51
b ₂	9	3,56	5069,8	2,46
b ₃	35	0,13	101,6	1,51
C	9	42,78	2835	2,46
D	36	3,91	2838,1	1,51
Общее	99	6,01	4745,6	1,32

У селекционного материала в схеме наследования признака в большинстве локусов преобладают эффекты доминантных генов ($F > 0$) (Таблица 27). По гибридам проявилось промежуточное наследование. Доминирование направлено в сторону увеличения признака.

В таблице 28 значение параметра (H_1/D), характеризующего среднюю степень доминантности, равно 1,13, что больше 1 и говорит о сверхдоминировании изучаемого признака. На основании показателя $\sqrt{(H_1/D)}$, равного 1,06, который оценивает степень истинного доминирования в каждом локусе, можно говорить о незначительном преобладании доминантного компонента над аддитивным. Разница в значениях между компонентой доминантными генами $H_1(1,75)$ и компонентой $H_2(0,80)$ отвечающей о положении рецессивных эффектов генов свидетельствует неравномерности между родительскими линиями, что подтверждает $\frac{1}{4} H_2/H_1 (0,11)$, который меньше максимального значения 0,25. Тот факт, что значение H_1 больше $D (1,75 > 1,55)$ свидетельствует о сверхдоминировании в наследовании признака массы кочана.

Поскольку доминирование допущено, следует проверить соотношение доминантных и рецессивных генов у родительских компонентов, которое выражается в отношении $\frac{1}{2} \times F/V (D \times (H_1 - H_2))$ и равно 0,98. Согласно тому, что

значение отличается от 1, то степень доминирования неодинакова в разных локусах.

Высокий показатель коэффициента наследуемости в узком смысле ($h^2=2,55$) говорит о том, что массу кочана контролируют аддитивные (суммарные) гены, так как $h^2 > 0,25$.

Таблица 28 – Результаты оценки генетических компонентов для признака «масса кочана», 2022 год

Генетические компоненты	Оценка	Генетические компоненты	Оценка
E	0,01	H_1/D	1,13
D	1,55	$\sqrt{(H_1/D)}$	1,06
H_1	1,75	$\frac{1}{2} \times F/V (D \times (H_1 - H_2))$	0,98
H_2	0,80	$\frac{1}{4} H_2/H_1$	0,11
F	2,39	h_2	2,55

Примечание: D – компонент вариации, обусловлен аддитивными эффектами генов; F – показатель относительной частоты распределения доминантных и рецессивных аллелей у родительских форм; H_1 – компонент вариации, обусловлен доминантными эффектами генов; H_2 – компонент вариации, обусловлен рецессивными эффектами генов; H_1/D – показатель средней степени доминирования; $\sqrt{H_1/D}$ – мера средней степени доминирования в каждом локусе; $\frac{1}{4} H_2/H_1$ – указывает на число генов или групп генов которые при контроле признака проявляют эффекты доминирования; $\frac{1}{2} \times F/V (D \times (H_1 - H_2))$ – показатель соотношения общего количества доминантных генов к сумме рецессивных генов в родительских формах; h_2 – коэффициент наследуемости в узком понимании.

В результате регрессионного анализа диаллельных данных (Приложение А14) выявлена адекватность регрессии. Коэффициент регрессии достоверен, что позволяет перейти к интерпретации графика регрессии W_r на V_r (Рисунок 7).

Анализ взаимосвязи вариантов потомков (V_r) и коварианс родитель-потомок (W_r) указывает на наличие эффектов неаллельного взаимодействия генов в виде комплиментарного эпистаза. Расположение родительских линий относительно линии регрессии зависит от соотношения чисел доминантных и рецессивных аллелей, которые они содержат (Рисунок 7).

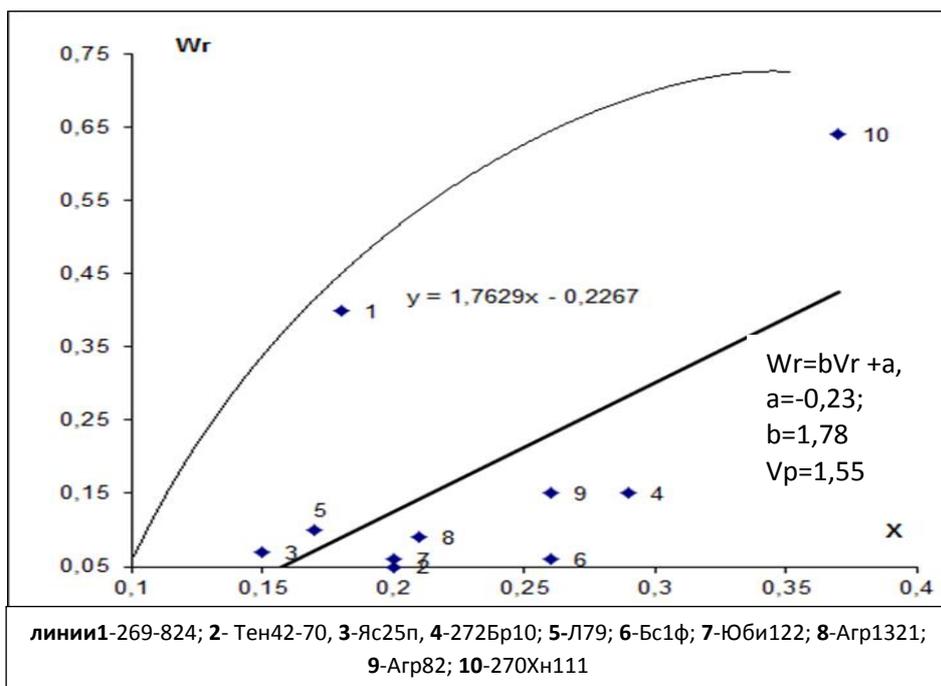


Рисунок 7 - Регрессия W_r на V_r для признака «средняя масса кочана» линий, 2022 год

Коэффициент регрессии b значительно отличается от единицы (b равно 1,78) и значительно от нуля, что указывает на присутствие эффектов неаллельного взаимодействия генов, контролирующих признак «масса кочана».

Распределение родительских линий вдоль линии регрессии показывает, что линии 269-824, 270Хн111 обладают минимальным числом доминантных аллелей, максимальное число доминантных аллелей наблюдается у линий Яс25п, Л79, Агр1321. У линий Тен4270, Юби122 и Бс1ф, кроме доминантных аллелей, присутствуют еще обладающие сверхдоминированием.

Учитывая, что в большинстве локусов доминантные аллели преобладают ($F > 0$), а средняя степень доминирования в отдельных локусах ($V_{H_1/D} > 1$) и в изучаемом материале ($H_1/D > 1$) полная, можно сделать вывод, что признак средняя масса кочана контролируется доминантными полигенами и является высоконаследуемым, что значительно упрощает работу на повышение продуктивности гибридов среднепоздней и поздней капусты.

В целом анализ демонстрирует то, что в генетической вариации признака масса кочана существенную роль играют аддитивные и доминантные эффекты генов. Доминантные гены положительно усиливают экспрессию изучаемого

признака, а рецессивные снижают. Интерес в селекции на высокую продуктивность представляют собой линии 272 Бр 10, Бс1ф.

Результаты анализа по свидетельствуют о существенных различиях между сортами по аддитивным и доминантным эффектам генов. Анализ взаимосвязи вариантов и коварианс признака «масса кочана» показывает, что у изучаемых родительских линий Юби122, Яс25п, Агр1321 признак контролируется доминантными аллелями. Наибольшее число рецессивных аллелей, контролирующих данный признак, наблюдается у линий - Л79,269-824, 272Бр10 и 270Х111.

В детерминации признака масса кочана преобладают доминантные эффекты, так как в оба года исследований показатель, отвечающий за среднюю степень доминирования в экспериментальном материале ($H1/D$) и в каждом локусе ($\sqrt{H1/D}$), был больше 1.

3.2.2 Результаты детального дисперсионного анализа диаллельной таблицы по признаку устойчивости к «ожогу верхушки внутренних листьев кочана» гибридов капусты белокочанной первого поколения по методу Хеймана

Дисперсионный анализ по оценке поражения внутренним ожогом листьев кочана по методике Хеймана указывают на значимость в разнокачественности между линиями по аддитивным и доминантным эффектам. Проявляющихся в комбинациях (Таблица 29) (компоненты а и b). Распределение генов, отвечающих за физиологическое расстройство, имеют разнонаправленность, а сам признак стоит рассматривать как результат аллельного и неаллельного взаимодействия (b3).

У селекционного материала в схеме наследования признака в большинстве локусов преобладают эффекты доминантных генов ($F > 0$) (Таблица 29). По гибридам проявилось промежуточное наследование. Доминирование направлено в сторону увеличения признака.

Таблица 29 – Дисперсионный анализ генетических факторов по признаку степени повреждения внутренним ожогом листьев кочана, 2021 г.

Факторы варьирования	Число степеней свободы	Дисперсия	$F_{\text{факт.}}$	$F_{\text{теор.}}$
A	9	1774,38	276,6	2,46
a ₁	9	178,19	957,42	2,46
B	45	389,8	73,2	1,48
b ₁	1	1344,6	591,0	18,51
b ₂	9	290,7	167,4	2,46
b ₃	35	388,03	61,3	1,51
C	9	2714	377,1	2,46
D	36	872	129,0	1,51
Общее	99	902	147,6	1,32

В таблице 30 на основании отношения $(H_1/D)=1,60$, которое характеризует среднюю степень доминирования, говорит о сверхдоминировании изучаемого признака, так как больше единицы. На основании показателя $\sqrt{(H_1/D)}$ равного 1,27, который оценивает степень истинного гетерозиса в каждом локусе можно

говорить о незначительном преобладании доминантного компонента над аддитивным, так как значение больше 1. Компоненты $H_1(1027,1)$ и $H_2(638,6)$, отвечающие за распределение доминантных и рецессивных аллелей расположены между родительскими формами несистематически. Асимметричность значений находит подтверждение в отношении $\frac{1}{4}H_2/H_1$ (0,16), который меньше максимального значения 0,25, что также указывает на ключевую роль доминантных аллелей в наследовании заболевания. Тот факт, что значение H_1 больше D ($1021,4 > 637,5$) свидетельствует о сверхдоминировании в наследовании признака.

Таблица 30 – Результаты оценки генетических компонентов для процента распространения устойчивых к внутреннему ожогу гибридов, 2021 г.

Генетические компоненты	Оценка	Генетические компоненты	Оценка
E	1,10	H_1/D	1,60
D	637,5	$\sqrt{(H_1/D)}$	1,27
H_1	1021,4	$\frac{1}{2} \times F/V (D \times (H_1 - H_2))$	0,87
H_2	638,6	$\frac{1}{4} H_2/H_1$	0,16
F	854,6	h_2	536,5

Поскольку доминирование допущено следует проверить соотношение доминантных и рецессивных генов у родительских компонентов, которое выражается в отношении $\frac{1}{2} \times F/V (D \times (H_1 - H_2))$ и равно 0,87. Согласно тому, что значение отличается от 1, то степень доминирования неодинаково в разных локусах.

Высокий показатель коэффициента наследуемости в узком смысле ($h^2=536,5$) говорит о том, что заболевание контролируют аддитивные (суммарные) гены, так как $h^2 > 0,25$.

В результате регрессионного анализа диаллельных данных выявлена адекватность регрессии. Коэффициент регрессии достоверен, что позволяет перейти к интерпретации графика регрессии $W r$ на $V r$ (Рисунок 8).

Анализ взаимосвязи вариантов потомков ($V r$) и коварианс родитель-потомок ($W r$) указывает на наличие эффектов неаллельного взаимодействия полигенов в виде эпистаза (Приложение А 15). Следует отметить, что по признаку ожог верхушки внутренних листьев кочана, точки которые отображают линии (Агр 82,

Бс1ф, Тен4270 и Яс25п) расположены вблизи начала координат и имеют очень низкие и отрицательные значения ОКС и СКС, а также вариансу W_r и ковариансу V_r (Рисунок 8).

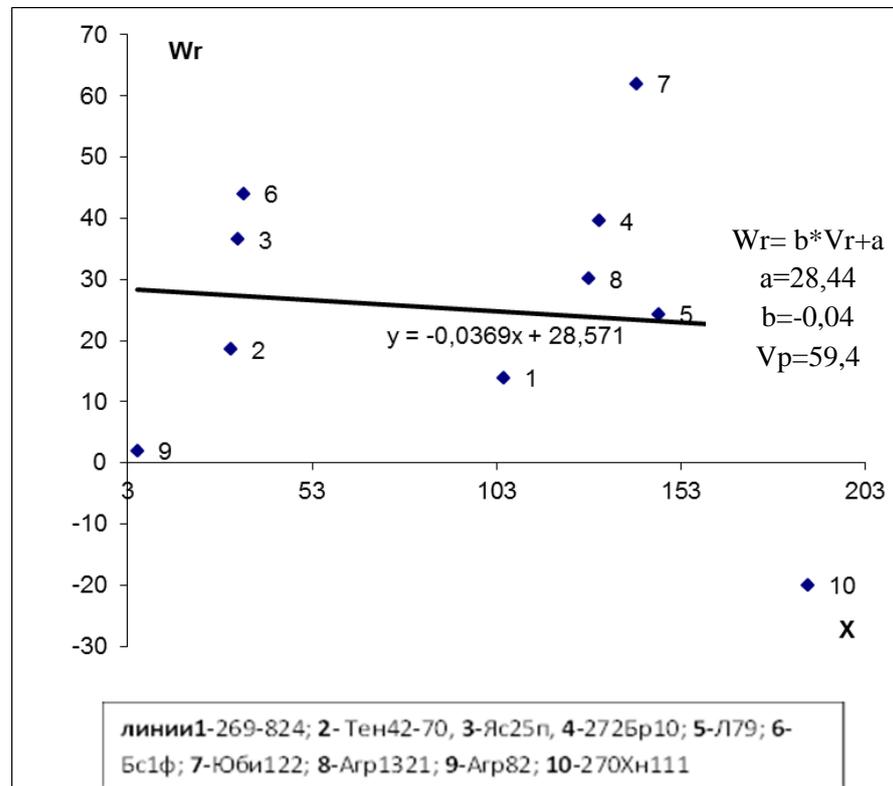


Рисунок 8 - Регрессия W_r на V_r для признака «поражение ожогом верхушки внутренних листьев кочана» линий, 2021 год

Низкие значения коварианс и варианс являются результатом отрицательных значений ОКС и СКС, что говорит о высоком гетерозисе по признаку устойчивости к заболеванию в комбинациях, где присутствуют данные линии. Линии на графике следует интерпретировать иначе, чем по предыдущему признаку, потому как расположение точек 9 и 10 отражают не большее число доминантных генов, отражающих признак поражения, а большее число рецессивных.

Стоит сказать, что присутствие эпистаза в эффектах генетического анализа указывает на то, что данный признак имеет полигенную природу и рассмотрение графиков зависимостей в качестве аддитивно-доминантной гипотезы невозможно.

Впрочем, определенные линии в конкретных комбинациях имеют стабильно-четкие показатели как по восприимчивости, так и по устойчивости, о чем свидетельствует расположение точек относительно линии регрессии.

На графике (Рисунок 8) регрессии, что линия зависимости значений расположена выше точки начала координат обуславливая признак поражения ожогом верхушки внутренних листьев кочана как частичное доминирование. Коэффициент регрессии имеет значение ($b=-0,04$) и значимо отличается от 1, что указывает на неаллельное взаимодействие полигенов.

Превалирование в количественном соотношении доминантных генов, которые влияют на фенотипическое проявление физиологического расстройства, отмечены у линий Л79 и 269-824, Агр1321, Юби122, 272 Бр10 (точки 1 и 5, 8, 4, 7).

Все линии согласно полученному графику регрессии можно расположить в виде градации от большего количества доминантных генов, которые отвечают за проявление изучаемого признака, к меньшему количеству, а именно: Л79, 269-824, 272 Бр10, Ген4270, Яс25п, Бс1ф, Юби122, Агр82, 270Х111.

Расчеты дисперсионного анализа по изучению поражения ожогом верхушки внутренних листьев кочана методом Хеймана позволили определить значимую диспаратность между линиями по аддитивным и доминантным эффектам генов (существенность а и b) (Таблица 31).

Таблица 31 – Дисперсионный анализ генетических факторов по признаку степени поражения ожога верхушки внутренних листьев кочана, 2022 г.

Факторы варьирования	Число степеней свободы	Дисперсия	F _{факт.}	F _{теор.}
a	9	4648,5	2438,1	2,46
a ₁	9	2906,0	1381,1	2,46
b	45	1728,7	1505,1	1,48
b ₁	1	1232,4	28219,0	18,51
b ₂	9	3192,4	5808,9	2,46
b ₃	35	1049,6	786,9	1,51
c	9	26039,5	1688	2,46
d	36	3118,9	2048,3	1,51
Общее	99	4709,7	3390,2	1,32

Показатель b_1 характеризует однонаправленность эффектов доминантных генов.

Гены, влияющие на проявление заболевания в доминантном состоянии имеют разнонаправленное расположение между линиями, о чем свидетельствует значимость показателя b_2 . Существенность коэффициента b_3 , указывает на то, что в контроле данного признака преобладающую роль играют как аллельные, так и неаллельные взаимодействия генов.

Доминирование признака поражения внутренним ожогом листьев кочана имеет средние значения уровня доминирования в изучаемых комбинациях и проявляется в каждом локусе как полная, что свидетельствует о сверхдоминировании ($H_1/D > 1$ и $\sqrt{H_1/D} > 1$). Однако, компонент, отвечающий за проявление доминирования ($\frac{1}{2} * F / \sqrt{D * (H_1 - H_2)}$) равен 0,83 и близок к 1, что указывает на то, что доминантные гены отвечающие за проявление поражения фенотипически расположен между аллелями в разных локусах.

О неодинаковом распределении доминантных и рецессивных аллелей в локусах сообщает значение $H_2/4H_1$ который не равен 0,25. Так как значение D отвечающее за суммарное действие генов меньше значения определяющее вариации доминантных генов $D < H_1$, а именно $968,2 < 2002,5$, а также меньше значения определяющее действие рецессивных генов (H_2), то во взаимосвязи генов признаков преобладают неаддитивные генетические эффекты.

У селекционного материала в схеме наследования признака «ожог внутренних листьев кочана» в большинстве локусов преобладают эффекты доминантных аллелей в связи с компонентой F , которая значительно больше нуля. (Таблица 32). Замечена прямонаправленная взаимосвязь между увеличением признака и эффектом доминирования. На основании параметра $(H_1/D) = 2,07$ можно сделать резюме о том, что наблюдается частичное доминирование в наследовании ожога верхушки внутренних листьев кочана у изучаемых линий. Средняя степень доминирования больше 1 и равна 1,44, что обуславливает наличие гетерозисного эффекта по данному признаку так как поэтому характеризующего среднюю степень доминантности так как $\sqrt{H_1/D}$ больше 1.

Из результатов $\frac{1}{4} H_2/H_1 = 0,14$, можно сделать вывод, что аллели распределены между линиями равномерно. Следовательно анализ обуславливает успех селекционной работы на получение устойчивых форм к внутреннему ожогу листьев. Помимо этого, расстройство в неустойчивых формах контролируется доминантными полигенами и является высоконаследуемым.

Таблица 32 – Результаты оценки генетических компонентов для степени поражения внутренним ожогом листьев кочана гибридов, 2022 г.

Генетические компоненты	Оценка	Генетические компоненты	Оценк а
E	0,46	H_1/D	2,07
D	968,2	$\sqrt{(H_1/D)}$	1,44
H_1	2002,5	$\frac{1}{2} \times F/V (D \times (H_1 - H_2))$	0,83
H_2	1151,5	$\frac{1}{4} H_2/H_1$	0,14
F	1509,4	h_2	1825,5

В результате регрессионного анализа диалельных данных (Приложение А16) выявлена достоверность регрессии. Коэффициент регрессии позволяет перейти к интерпретации графика регрессии Wr на Vr (Рисунок 9).

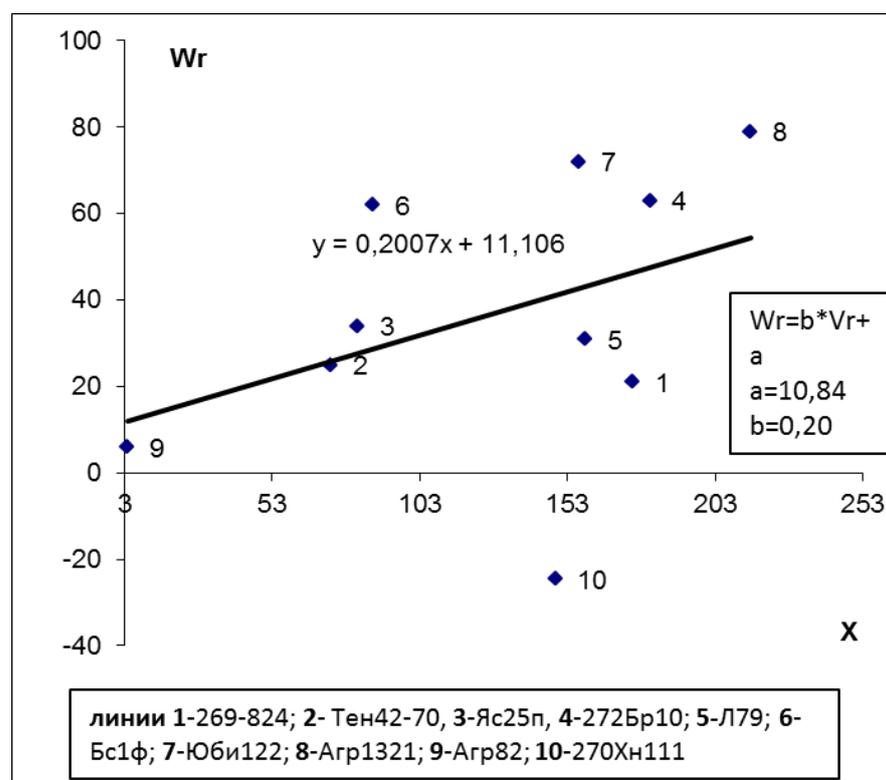


Рисунок 9- Регрессия Wr на Vr для признака поражения к внутреннему ожогу листьев, 2022 год

Коэффициент регрессии существенно отличается от единицы ($b=0,20$) и определяет наклон прямой, коэффициент, а значимо больше единицы, что указывает на преобладание аддитивных эффектов генов (неполное доминирование) и соответствует комплиментарному эпистазу. Как было отмечено в результатах 2021 года исследований линии, с отрицательным ОКС, СКС и низким значением вариантов и коварианс, рассматриваемые как наиболее стабильные по устойчивости (Агр 82, Яс25п, Тен4272) расположены вблизи начала координат, что указывает на большее число рецессивных генов, контролирующих признак поражения.

Линии на графике следует интерпретировать иначе, чем по предыдущему признаку, потому как расположение точек 9 и 10 отражают не большее число доминантных генов, отражающих признак поражения, а большее число рецессивных.

Расположение линий Агр82 и Юби122, Арг1321 на графике свидетельствует о наиболее выраженном эффекте комплиментарного взаимодействия. У линий Бс1ф и Яс 25п наблюдается неаллельное взаимодействие генов.

По количеству доминантных генов в порядке убывания линии располагаются следующим образом: Л79, 269-824, 272 Бр10, Агр1321, Тен4270, Яс25п, Бс1ф, Юби122, Агр82, 270Х111.

Полученные данные дисперсионного анализа по Хейману показывают, что механизм наследования признака сложнее, чем предполагалось ранее. Формирование внутреннего ожога обусловлено влиянием значительно большего числа генов.

Анализируя результаты по восприимчивости можно предположить, что наследование признака ожог верхушки внутренних листьев кочана обусловлено суммарным действием аллельных и неаллельных полигенов. Аддитивность полигенов таких признаков имеет сложную генетическую природу аддитивного, доминантного, эпистатического и модифицирующего действия генов. Поэтому

доля влияния неаддитивных генов, доминантного и эпистатического взаимодействия в наследовании таких признаков незначительна.

Генетический анализ гибридов показал, что при селекции на продуктивность и устойчивость к исследуемому заболеванию можно использовать линии Агр82, 270Хн11 Яс 25п, Юби122, Ген4270 и Бс1ф.

3.3 Изучение влияния агротехнических условий на исследуемые гибридные комбинации при создании различных провокационных фонов

Как было сказано ранее, проявление ожога верхушки внутренних листьев кочана представляет собой дисбаланс в поступлении кальция между внешними и внутренними листьями кочана. На динамику поступления кальция оказывают влияние другие элементы питания, в той или иной степени. Необходимость установить влияние контролируемых факторов на поступление кальция, на гибриды с разной склонностью к поражению, а именно, различных доз удобрений при внесении в почву, характерную для Кубани, диктуется перспективой правильного подбора сортимента для разных фонов питания. В рамках опыта рассматривалось три основных признака – степень поражения внутренним ожогом листьев, средняя масса кочана и вегетационный период, потому как от уровня минерального питания зависит продуктивность растения и в меньшей степени продолжительность вегетационного периода. Именно, через изменяющиеся значения основных признаков у разных генотипов на различных фонах питания, предстоит установить закономерности по поражению ожогом. Один из вариантов опыта связан с внесением кальция в усвояемой форме при внекорневой подкормке с целью оптимизировать его поступление в труднодоступную зону кочана.

В связи с резкими отличиями погодных условий первого (2021 г.) и второго (2022 г.) года исследований, влияющих неоднозначно на формирование массы кочана, целесообразно рассмотреть полученные результаты по каждому году отдельно.

Результаты таблицы 33 отражают влияние различных агрофонов на массу кочана и вегетационный период.

В 2021 году наибольшая прибавка по массе кочана отмечается у гибрида (Хн861хАгр1321) F₁, на высоких фонах питания (№2-5) – 16,1 – 37,5 % в

сравнении с контролем. В неблагоприятный год прибавка была существенной по двум вариантам №2 и № 3, но не превышала 14 %.

Таблица 33 – Результаты оценки гибридов по признаку средняя масса кочана , 2021 -2022 гг.

Гибриды F ₁	N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀ контроль	N ₁₈₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	N ₁₈₀ P ₁₈₀ K ₁₈₀ +подкормка Ca(NO ₃) ₂	N ₂₄₀ P ₁₈₀ K ₁₈₀	N ₁₉₀ P ₁₇₆ K ₁₈₇ граннул.орга н.
	1	2	3	4	5
2021 год					
Доминанта	2,77	3,06	3,27	2,82	2,85
(Хн861хАгр1321)	3,22	3,74	4,13	4,03	4,43
Green boy	3,21	3,33	2,96	3,46	3,31
НСР ₀₅ =0,33 кг					
2022 год					
Доминанта	2,77	2,66	2,92	2,76	2,48
(Хн861хАгр1321)	3,23	3,67	3,63	3,40	2,90
Green boy	2,38	2,54	2,38	2,25	2,58
НСР ₀₅ =0,25 кг					

У F₁ Доминанта наибольшая прибавка массы кочана в размере 8,6 – 10,5 % зафиксирована на стандартных фонах в сочетании с подкормками (N₁₈₀P₁₂₀K₁₂₀ + подкормка–N₆₀) – 3,06кг, (NPK 180 +подкормка Ca(NO₃)₂) – 3,27 кг. В 2022 году реакция генотипа на внесение повышенных доз удобрений была незначительной в пределах НСР₀₅.

Японский образец F₁ Green boy сформировал кочаны массой от 2,96 до 3,46 в зависимости от фона. Наиболее высокая прибавка к контролю в размере 8 % отмечается в варианте №4 с внесением азотной подкормки. Во второй год исследований прибавка по массе кочана на всех фонах была незначительной.

Таким образом, отмечается различная отзывчивость гибридов на повышенные фоны минерального питания. Причем минимальная отзывчивость отмечается в неблагоприятный год. Наиболее отзывчивым оказался гибрид (Хн861хАгр1321) F₁.

В результате двухфакторного дисперсионного анализа было установлено, что наибольшее влияние на продуктивность растений в течении двух лет исследований оказывает генотип (Приложения В1, В2).

Влияние агрофонов по элементам питания на продолжительность вегетационного периода прослеживается в таблице 34. Стоит отметить сильную дифференциацию по первому году. В частности, подкормка азотом ускорила созревание на 5 -11 дней у гибридов Доминанта и (Хн861хАгр1321) F1, что не отмечалось на третьем гибриде (Green boy). В 2022 году вариации по срокам созревания не превышала 5 дней по вариантам опыта.

Таблица 34 – Результаты оценки гибридов по признаку вегетационный период, 2021 -2022 гг.

Гибриды F ₁	N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀ контроль	N ₁₈₀ P ₁₂₀ K ₁₂ 0	N ₁₈₀ P ₁₈₀ K ₁₈₀ +подкормка Ca(NO ₃) ₂	N ₂₄₀ P ₁₈₀ K ₁₈₀	N ₁₉₀ P ₁₇₆ K ₁₈₇ граннул.орг ан.
	1	2	3	4	5
2021 год					
Доминанта	129	118	130	118	130
(Хн861хАгр1321)	130	118	120	125	130
Green Boy	125	125	130	125	130
2022 год					
Доминанта	165	160	160	161	160
(Хн861хАгр1321)	160	155	155	160	155
Green Boy	127	121	128	119	127

Необходимо отметить тот факт, что увеличение вегетационного периода в 2022 году было вызвано сильной стрессовой нагрузкой в виде экстремальных температур и низкой влажности воздуха в период формирования кочана и набора массы, что в совокупности ввело растения в анабиоз и приостановило процесс созревания. В итоге продолжительность вегетационного периода по гибриду Доминанта увеличилась на 36 дней в контроле, и на 5 –м фоне – на 30 дней.

По гибриду (Хн861хАгр1321) в первый год исследований на агрофонах с сочетающие азотные подкормки сформировали кочаны на 10 -12 дней раньше. Исключение составили фоны № 5, 6 (125 -130дней), у которых массовая спелость наступила одновременно с контролем. Во второй год исследований у образца, также как и у F1 Доминанты, наблюдается увеличение вегетационного периода в среднем на 30-40 дней. Максимальная продолжительность в 2022 году отмечается на контрольном фоне-165суток.

У F1 Green boy вегетационный период в первый год составил 125 дней на первом, втором и четвертом фонах, увеличение на 5 суток было на фонах № 3 и №

5. Во второй год исследований значительного увеличения по данному признаку не наблюдалось, за исключением фона № 4 и № 2, где отмечается сокращение вегетационного периода в сравнении с контролем на 6-8 дней.

В результате двухфакторного дисперсионного анализа было установлено, что наибольшее влияние на продолжительность вегетационного периода растений в течении двух лет исследований оказывает генотип (Приложения В5, В6).

В таблице 35 представлены результаты степени восприимчивости гибридов в зависимости от агрофонов. У среднеустойчивого гибрида F1 Хн861хАгр1321 поражение в первый годы не превышало 50%, причем минимальное – 16,5 в контроле, максимальное на 2-м и 5-м фонах. В 2022 году степень поражения увеличилась в контроле на 10,5 %, наиболее ощутимо – в 4-м варианте - от 21,2 до 66%.

Таблица 35 – Поражение ожогом верхушки внутренних листьев кочана, %, 2021–2022 гг.

Гибриды F ₁	N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀ контроль	N ₁₈₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	N ₁₈₀ P ₁₈₀ K ₁₈₀ +подкормка Ca(NO ₃) ₂	N ₂₄₀ P ₁₈₀ K ₁₈₀	N ₁₉₀ P ₁₇₆ K ₁₈₇ граннул.орган.
	1	2	3	4	5
2021 год					
Доминанта	7,7	10,5	4,1	9,4	25,0
(Хн861хАгр1321)	16,5	44,8	22,4	21,2	44,0
Green Boy	78,9	81,6	72,5	82,2	61,5
НСР ₀₅ = 4,05; НСР ₀₅ ^A = 0,66; НСР ₀₅ ^B = 0,57					
2022 год					
Доминанта	12	7,0	3,0	16,0	15
(Хн861хАгр1321)	26	36	13,8	66	43
Green Boy	64	60	41,5	70,5	95
НСР ₀₅ = 3,64; НСР ₀₅ ^A = 4,00; НСР ₀₅ ^B = 3,40					

Слабоустойчивый гибрид Green boy в первый год показал высокую степень поражения во всех вариантах от 61,5 до 82,2 %. В 2022 году на фоне с подкормкой кальциевой селитрой (№ 3) поражение проявилось в средней степени 41,5 %, максимальное отмечается на фоне с применением органического удобрения (№ 5).

Устойчивый гибрид Доминанта на высоких фонах минерального питания имеет тенденцию к поражению от 4,1 до 25,0 % в благоприятный год и от 3,0 % до 16,0 % в неблагоприятный год. Отмечается тенденция минимального

поражения как в первый, так и во второй год на фоне с применением кальциевой подкормки (№3) – 4,1 %, 3,0 %, соответственно.

Таким образом, отзывчивость на высокие дозы азота генотипов по признаку средняя масса кочана оказалось неоднозначной: реакция гибридов Доминанта и Green Boy в пределах НСР₀₅.

Гибрид F₁(Хн861хАгр1321) характеризовался высокой отзывчивостью на повышенные дозы минеральных удобрений как в первый, так и во второй год. В виду того, что признак ожог является многофакторным и многофункциональным, то проявление на одинаковых фонах разнонаправлено в зависимости от генотипа и влияния неконтролируемых погодных условий.

В результате двухфакторного дисперсионного анализа было установлено, что наибольшее влияние на «ожог верхушки внутренних листьев кочана» растений в течении двух лет исследований оказывает генотип (Приложения В3, В4).

Применение кальциевых подкормок на высоком агрофоне снижает степень поражения, что является общей тенденцией по годам, но не исключает заболевание полностью.

Изучение влияния кальция в течении двух лет исследований позволили выявить положительное влияние внекорневых кальциевых подкормок на сокращение степени развития ожога верхушки внутренних листьев кочана на гибридах F₁ капусты белокочанной, а также отметить различную реакцию генотипов. Однако, профилактические меры обработок кальциевой селитрой на повышенных агрофонах полностью не исключают проявление заболевания, поэтому стоит отдельно остановиться на исследованиях двух лет (2022-2023 гг.), которые направлены на изучение реакции гибридов на проявление заболевания, а также формирования массы кочана и продолжительность вегетационного периода в варианте с применением микроэлемента бор. Установлен положительный эффект взаимодействия бора и кальция на снижение заболевания в группе различных представителей овощных культур.

В 2023 году погодные условия в период созревания кочанов были

неблагоприятными для капусты среднепозднего срока созревания в связи с высокими температурами и низкой влажностью воздуха.

Из таблицы 36 видно, что масса кочана в контрольном варианте по гибридам была примерно на одном уровне и составила 2,53 – 2,56 кг. С увеличением основных доз удобрений в сочетании с кальциевой подкормкой (вариант №2) масса кочана увеличилась у гибрида Доминанта и Хн 861хАгр1321 – на 21,5 % и 25 %, соответственно. По F₁ Green Boy отмечается незначительное увеличение до 2,67 кг.

На третьем агрофоне с применением кальциевой и борной подкормки в комплексе отмечается увеличение массы кочана в сравнении с контролем по гибриду Доминанта на 25,4 % и по F₁(Хн861хАгр1321) на 24,2 %. F₁ Green Boy сформировал кочаны массой на уровне значений характерных для варианта № 2 (N₁₈₀P₁₈₀K₁₈₀+Ca(NO₃)₂).

Таблица 36 – Результаты оценки гибридов по признакам продуктивности и продолжительности вегетационного периода в зависимости от агрофонов, 2023 г.

Гибриды F ₁	N ₁₈₀ P ₁₈₀ K ₁₈₀ контроль	N ₁₈₀ P ₁₈₀ K ₁₈₀ +подкор мка Ca(NO ₃) ₂	N ₁₈₀ P ₁₈₀ K ₁₈₀ +подкор мка Ca(NO ₃) ₂ +бор
	1	2	3
Средняя масса кочана, кг			
Доминанта	2,55	3,10	3,20
(Хн861хАгр1321)	2,56	3,20	3,18
Green boy	2,53	2,67	2,69
Вегетационный период, сут			
Доминанта	143	140	137
(Хн861хАгр1321)	140	135	135
Green boy	137	128	130

Стоит отметить, что с увеличением доз удобрений продолжительность вегетационного периода имела тенденцию сокращаться, так в сравнении с контролем на гибриде F₁ Доминанта разница в третьем варианте составила 6 дней, у (Хн861хАгр1321) кочаны в вариантах с подкормками созрели на 5 суток раньше. У F₁ Green Boy массовая техническая спелость наблюдается в варианте №2 с кальциевой подкормкой на 9 суток раньше и в №3 (NPK 180 +подкормка Ca(NO₃)₂+бор) на 7 суток.

Эффективность применения кальциевых подкормок с борной кислотой в комплексе отражает таблица 37. Из результатов следует, что в 2022 году по устойчивому гибриду Доминанта отмечается снижение развития заболевания в зависимости от внесения подкормок, в варианте № 2 на 4 % и на агрофоне № 3 – признаки заболевания отсутствовали. Такая же закономерность отмечается в 2023 году, где агрофон с добавлением борной кислоты предотвратил развитие ожога верхушки внутренних листьев кочана. На средневосприимчивом (Хн861хАгр1321) в контрольном варианте, в 2022 году развитие заболевания составило – 30,0 %.

На агрофонах ($N_{180}P_{180}K_{180} + Ca(NO_3)_2$ и ($N_{180}P_{180}K_{180} + Ca(NO_3)_2 + \text{бор. к-та}$) степень развития заболевания снизилось на 7,6 % и на 9,5 %, соответственно.

Таблица 37 – Поражение ожогом верхушки внутренних листьев кочана, %, 2022 – 2023 гг.

Гибриды F ₁	$N_{180}P_{180}K_{180}$ контроль	$N_{180}P_{180}K_{180} +$ $Ca(NO_3)_2$	$N_{180}P_{180}K_{180} +$ $Ca(NO_3)_2 + \text{бор. к-та}$
2022 год			
Доминанта	7,0	3,0	0,01
(Хн861хАгр1321)	30,0	22,4	20,5
Green Boy	82,0	72,5	52,6
НСР ₀₅ =5,7			
2023 год			
Доминанта	2,5	3,0	0
(Хн861хАгр1321)	36,0	13,8	14,8
Green Boy	60,0	41,5	40,8
НСР ₀₅ = 7,2			

Восприимчивый по годам к ожогу внутренних листьев кочана гибрид Green Boy имел повреждение кочана в размере 82,0 % на контроле, 72,56 % на фоне №2 и 52,6 % в варианте с кальциевой и борной подкормкой, что указывает на наибольшую эффективность применения кальциевых удобрений в сочетании с бором. В 2023 году развитие заболевания было значительно ниже, а результат применения обработок в вариантах № 2 и № 3 выразался в сокращении участка поражения в среднем на 19 % в сравнении с контролем.

Таким образом сочетание в подкормках кальциевой селитры с борной кислотой показало эффект на высокоустойчивом гибриде Доминанта, в данном варианте заболевание не проявлялось. Эффект от применения бора на среднеустойчивом гибриде не проявился, по сравнению с кальциевой селитрой. На восприимчивом гибриде применение обеих видов подкормок не позволило кардинально снизить заболевание.

3.4 Результаты изучения наследования признака устойчивости к «ожогу верхушки внутренних листьев кочана»

Для селекционера наибольшее значение имеет знание изменчивости селекционного признака, обусловленного генетическим разнообразием данной группы растений.

Статистические методы оценки характера наследуемости селективируемых признаков и комбинационной способности линий являются предпосылкой для рационального планирования подбора родительских пар для скрещивания и ориентировочного прогнозирования эффективности селекции. Наиболее значимо для этих целей является определение коэффициента наследуемости (h^2). Коэффициент наследуемости показывает, какая доля общей фенотипической изменчивости того или иного признака определяется наследственными различиями организмов, то есть генотипом.

Для оценки соответствия эмпирических данных определенной теоретической предпосылке, нулевой гипотезе (H_0) используется χ^2 (хи-квадрат). В исследованиях по изучению наследования признака устойчивости к ожогу верхушки внутренних листьев кочана критерий хи-квадрат применялся в генетическом анализе соответствия расщепления гибридов теоретически ожидаемому.

В результате дисперсионного анализа влияние отцовского компонента на проявление ожога кочана оказалось по t-критерию ($F_{ф} > F_{05}$) существенным, нулевая гипотеза о независимости отвергается и, следовательно, можно вычислить коэффициент наследуемости, характеризующий степень изменчивости.

Критерий хи-квадрат (χ^2) является идентификационным значением в установлении степени соответствия полученного расщепления в гибридных комбинациях F₂ и потомствах от анализируемых скрещиваний теоретически ожидаемому: в первом случае 3:1, во втором – 1:1 по фенотипу.

Вероятность значения (P) указывает на подтверждение закономерного совпадения с ожидаемым если имеет показатель больше 0,05.

Для определения χ^2 , степень свободы равнялась 1. При $P = 0,05$ по таблице: «Стандартные значения хи – квадрат при разных степенях свободы» находим $\chi^2 = 3,841$. В том случае если $\chi^2 = 3,841$ и менее, то это свидетельствует об определенном совпадении полученных результатов расщепления с теоретически ожидаемым 3:1 и 1:1, указывающим на моногенный контроль признака устойчивости растений к ожогу внутренних листьев кочана. Чем ближе значение χ^2 к нулю, в нашем случае, тем выше вероятность совпадения.

Для изучения наследования устойчивости к заболеванию были взяты гибридные комбинации, полученные путем насыщающих скрещиваний с контрастными по устойчивости родительскими линиями: Тен4-272-2пс, Тен 3-272 и Юби 122с. Линия Юби122 в 2021 году имела средние значения ОКС по поражению внутренним ожогом, поэтому особый интерес представляло изучение наследования признака с контрастными линиями.

Так линия Тен4272-2пс имела 100 % устойчивость к заболеванию. У линии Юби122 – 53,5%, устойчивые и восприимчивые растения находились в соотношении 16:14.

Результаты исследований по уровню распространения заболевания у F_1 и их родительских форм дают возможность определить коэффициент доминирования по заболеванию для определения типов взаимодействия генов. Критерии степени доминирования и типа наследования по Гриффингу представлены в таблице 38.

Таблица 38 – Классификация гибридов по типу наследования восприимчивости к ожогу внутренних листьев кочана

Значение D	Тип наследования	Характер действия генов
$D < -1$	отрицательный гетерозис	инбредная депрессия
$-1 < D < 0,5$	промежуточное	аддитивный
$0,5 < D < 1$	доминирование	доминантный
$D > 1$	гетерозис	сверхдоминирование и неаллельное взаимодействие

Для оценки соответствия эмпирических данных определенной теоретической предпосылке, нулевой гипотезе (H_0), используется χ^2 (хи-квадрат).

В исследованиях по изучению наследования признака устойчивости к ожогу верхушки внутренних листьев кочана критерий хи-квадрат применялся в генетическом анализе соответствия расщепления гибридов теоретически ожидаемому.

У гибрида F_1 (Тен4272п 1пхЮби122) процент устойчивых растений составил 96,6 %, из 30 растений, восприимчивыми оказались 5 растений. Тип наследования устойчивости к внутреннему ожогу в гибриде, обусловленный неполным доминированием согласно значению коэффициента наследования, который равен 0,7 (Таблица 39).

Таблица 39 – Оценка селекционного материала капусты на устойчивость к внутреннему ожогу листьев гибрида (Тен4272п 1пхЮби122) F_1 , 2022 г.

Название гибрида	Процент устойчивых растений на делянке, %	Соотношение устойчивых к неустойчивым	Коэффициент доминирования (D)	Тип наследования
(Тен4272п1п×Юби122) F_1	96,6	25:5	0,7	доминирование
BC Юби122	56,6	17:13	0,9	промежуточное
BC Тен4272п-1п	86,6	26:4	1,3	доминирование
P1 Тен4272п-1п	100	30:0	-	-
P2 Юби122	46,7	16:14	НСР ₀₅ 9,7% $h^2=1,57$ $\chi^2=1,57 < X^2_{0,05}$ (теорет.), значит нулевая гипотеза о расщеплении 3:1 не отвергается	
(Тен4272п1пхЮби122) F_2	82,3	42:9		

Беккросс, полученный путем насыщения гибрида (Тен4272п-2пс х Юби122с) F_1 устойчивым родительским компонентом Тен4272-2пс, имел соотношение количества устойчивых растений к восприимчивым практически 26:4. Коэффициент доминирования в F_1 BC_{Тен4272п} составляет 1,3, что указывает на превалирующую роль доминирования генов, отвечающих за устойчивость к внутреннему ожогу. В беккроссе BC_{Тен4272п} отмечено фенотипическое единообразие по признаку устойчивости к заболеванию.

В беккроссе $BC_{Юби122с}$ с восприимчивой линией Юби122с число восприимчивых растений составило 43,3 % от общего количества растений. Соотношение устойчивых растений к восприимчивым составляет 17:14, что соответствует расщеплению 1:1, обуславливая гетерозиготность родительского компонента по признаку устойчивости. В беккроссе $BC_{Юби122с}$ коэффициент доминирования составил 0,9, что указывает на промежуточный характер действия генов устойчивости к ожогу. Фактическое расщепление в гибридном потомстве F_2 (Тен4272п-2пс x Юби122) равно 42:9 и совпадает с теоретическим расщеплением 3:1 чему свидетельствует χ^2 равный 1,57. Результаты свидетельствуют о том, что нулевая гипотеза о доминировании признака не отвергается, так как $\chi^2 > \chi_t$

У гибрида F_1 (Тен 3-272 x Юби122), полученного со среднеустойчивой родительской формой Юби122, процент распространения заболеванием на делянках составил 93,3 % (Таблица 40). При сочетании среднеустойчивой линии Юби 122 с восприимчивой линией Тен 3-272 в F_1 приводит к наличию поражением внутренним некрозом не только внутри кочана, но и на верхних листьях, что указывает на высокую степень восприимчивости (Рисунок 11). Рисунок 10 отображает наличие небольших участков поражения уже на начальной стадии завивки кочана. По родительским компонентам наблюдается четкое распределение на восприимчивый генотип Тен 3-272 с соотношением устойчивых растений к восприимчивым 0:1 и среднеустойчивой Юби122 с противоположным соотношением 1:0. Тип наследования устойчивости к внутреннему ожогу в гибридах: (Тен 3-272 x Юби122) F_1 и $BC_{Юби}$, $BC_{Тен 3-272}$ обусловлен отрицательным гетерозисом, а значит заболевание обусловлено противоположным действием – доминированием.

Беккросс, полученный путем насыщения гибрида (Тен 3-272 x Юби122) F_1 x Тен 3-272 восприимчивым родительским компонентом Тен3-272, имел соотношение количества устойчивых растений к восприимчивым практически 10:21. Коэффициент доминирования в F_1 $BC_{Тен 3-272}$ составляет -1,1 что указывает на превалирующую роль доминирования генов, отвечающих за восприимчивость к внутреннему ожогу. Родительский компонент Тен 3-272 имел 100 %

восприимчивость к заболеванию, по линии Юби122 количество больных растений составило 50%. В беккресе $BC_{Юби122}$ соотношение устойчивых растений к восприимчивым составляет 10:21, что не соответствует расщеплению 14:16. Коэффициент доминирования в беккресе $BC_{Юби122}$ имел отрицательное значение.



Рисунок 10 – Гибрид (Тен 3-272 x Юби122) F_1 в период завивки кочана, 2022 год



Рисунок 11 – Гибрид (Тен 3-272 x Юби122) F_1 на момент формирования кочана, 2022 год

Фактическое расщепление в гибридном потомстве F_2 (Тен 3-272 x Юби122) равно 10:42, критерий хи-квадрат равный 84 и значительно больше 5%-го уровня значимости (3,84) при 1 степени свободы $\chi^2 > \chi_{\alpha}^2$. Результаты свидетельствуют о том, что нулевая гипотеза о доминировании признака устойчивости в данной гибридной комбинации отвергается.

Таблица 40– Оценка селекционного материала капусты на устойчивость к внутреннему ожогу листьев гибрида (Тен 3-272 x Юби122)F₁, 2022 г.

Название гибрида	Процент устойчивых растений на делянке, %	Соотношение устойчивых к неустойчивым	Коэффициент доминирования (D),%	Тип наследования
(Тен 3-272 x Юби122)F ₁	6,6	2:28	-1,1	Отрицательный гетерозис
BC _{Тен 3-272}	33,0	10:21	-3,0	Отрицательный гетерозис
BC _{Юби122}	46,6	14:16	-15,0	Отрицательный гетерозис
P1 Тен 3-272	100	0:30	НСР ₀₅ -9,2% $\chi^2=84 > X^2_{0,05}$ (теорет), значит нулевая гипотеза о расщеплении 3:1 отвергается	
P2 Юби122	50,0	15:15		
F ₂ (Тен 3-272 x Юби122)	19,2	10:42		

В 2023 году у гибрида F₁ (Тен4272п-2пс x Юби122) процент устойчивых растений составил 71%, из 30 растений, восприимчивыми оказались 9 растений. Тип наследования устойчивости к внутреннему ожогу в гибриде обусловленный неполным доминированием согласно значению коэффициенту наследования, который равен 0,6 (Таблица 41).

Таблица 41 – Оценка селекционного материала капусты на устойчивость к внутреннему ожогу листьев, 2023 г.

Название гибрида	Процент устойчивых растений на делянке, %	Соотношение устойчивых к неустойчивым	Коэффициент доминирования (D),%	Тип наследования
(Тен4272п-2пс x Юби122)F ₁	71,0	21:9	0,6	доминирование
F ₁ (Тен42722псxЮби122)xЮби122с	63,3	19:11	1	неполное доминирование
F ₁ (Тен4272п1пхЮби122с)xТен42722пс	95,0	28:2	0,6	неполное доминирование
P1 Тен4272-2пс	100	30:0	НСР ₀₅ -9,2%	
P2 Юби122с	46,5	15:15		
F ₂ (Тен4272п-2псxЮби122с)	77,0	40:12	$\chi^2=2,0 < X^2_{0,05}$ (теорет), значит нулевая гипотеза о расщеплении 3:1 не отвергается	

Наблюдаемое единообразие устойчивых растений в гибридных потомствах F₁ свидетельствует о доминировании признака устойчивости.

Фактическое расщепление в гибридном потомстве F_2 (Тен4272п-2пс х Юби122) равно 40:12 и совпадает с теоретическим расщеплением 3:1 чему свидетельствует χ^2 равный 2. Результаты свидетельствуют о том, что нулевая гипотеза о доминировании признака не отвергается, так как $\chi^2 > \chi_t^2$.

Процент устойчивых растений к *tip burn* у гибридов F_1 находилось в пределах 63,3 – 95,0 %. Наименьшее количество пораженных растений было на делянках ВС_{Тен42722пс} процент устойчивости составил – 95,0%.

Беккросс, полученный путем насыщения гибрида (Тен4272п-2пс х Юби122с) F_1 устойчивым родительским компонентом Тен4272-2пс имел соотношение количества устойчивых растений к восприимчивым практически 28:2. Коэффициент доминирования в F_1 ВС_{Тен42722п} составляет 0,6, что указывает на превалирующую роль доминирования генов, отвечающих за устойчивость к внутреннему ожогу.

В беккроссе ВС_{Юби122с} со средневосприимчивой линией Юби122с число устойчивых растений составило 63,3% от общего количества растений. Соотношение устойчивых растений к восприимчивым составляет 19:11.

В беккроссе ВС_{Юби122с} коэффициент доминирования составил 1, что указывает на доминантный характер действия генов устойчивости к ожогу.

В 2023 году у гибрида F_1 (Тен 3-272 х Юби122) процент устойчивых растений составил 10 % из 30 растений, восприимчивыми оказались 27 растений. Коэффициент доминирования по признаку устойчивости составил -1,0, что соответствует отрицательному гетерозису (Таблица 42).

Фактическое расщепление в гибридном потомстве F_2 (Тен 3-272 х Юби122) равно 22:30 и не совпадает с теоретическим расщеплением 3:1 чему свидетельствует χ^2 равный значимо больший 3,84, соответствующий 1 – степени свободы. Результаты свидетельствуют о том, что нулевая гипотеза о доминировании признака отвергается, так как $29 > 3,84$.

Количество непораженных кочанов внутренним ожогом у гибридов F_1 находилось в пределах 10,0-46,6 %. Наименьшее количество пораженных растений было на делянках ВС_{Юби122} процент, устойчивости составил – 46,6 %.

Таблица 42 – Оценка селекционного материала капусты на устойчивость к внутреннему ожогу листьев, 2023 г.

Название гибрида	Процент устойчивых растений на делянке, %	Соотношение устойчивых к неустойчивым	Коэффициент доминирования (d), %	Тип наследования
(Тен 3-272 x Юби122)F ₁	10,0	3:27	-1,0	Отрицательный гетерозис
BC _{Юби122}	46,6	17:13	7,5	Доминирование
BC _{Тен 3-272}	30,0	5:25	-1,5	Отрицательный гетерозис
P1 Тен 3-272	100	0:30	НСР ₀₅ 9,2%	
P2 Юби122	50,0	15:15		
F ₂ (Тен 3-272 x Юби122)	19,2	22:36	$\chi^2=29 > X^2_{0,05}$ (теорет), значит нулевая гипотеза о расщеплении 3:1 отвергается	

Беккросс, полученный путем насыщения гибрида (Тен 3-272x Юби122с)F₁ среднеустойчивым родительским компонентом Юби122, имел соотношение количества устойчивых растений к восприимчивым практически 17:13. Коэффициент доминирования в F₁ BC_{Юби122} составляет 7,5, что указывает на превалирующую роль доминирования генов, отвечающих за устойчивость к внутреннему ожогу.

В беккроссе BC_{Тен 3-272} с восприимчивой линией Тен 3-272 число восприимчивых растений составило 70,0 % от общего количества растений. Соотношение устойчивых растений к восприимчивым составляет 5:25. В беккроссе BC_{Тен 3-272} коэффициент доминирования по признаку устойчивости с восприимчивой линией составил -1,5.

Результаты показали, что в гибридных комбинациях при сочетании среднеустойчивой линии Юби122 и устойчивой линии Тен42722пс в F₁ наблюдается 71,0-96,6 % устойчивых растений, а в комбинациях линии Юби122 с восприимчивой родительской формой Тен 3-272 , процент устойчивых растений сокращается на 80,0-93,4 %.

Исходя из полученных результатов, представленных в таблице 40, можно предположить, что наследование устойчивости к внутреннему ожогу листьев у данных образцов обусловлено неаллельным действием различных полигенов. Селекционный материал и инбредные линии, обладающие аллелями гена устойчивости, в меньшей степени подвержены заболеванию.

Следовательно, наследование признака устойчивости к ожогу верхушки внутренних листьев кочана носит полигенный характер, а в комбинациях с устойчивыми линиями приближено к доминантному типу.

3.5 Результаты предварительного испытания выделившихся гибридов капусты белокочанной среднепозднего и позднеспелого сроков созревания

В питомнике конкурсного испытания гибридов было изучено 6 перспективных образцов, выделившихся в течении 2 лет исследований в питомнике на комбинационную способность.

Гибриды сравнивали с высокоурожайным на юге России универсальным гибридом Агрессор F₁. Надо отметить, что данный гибрид слабо поражается внутренним ожогом листьев кочана, трипсом и в отдельные благоприятные годы формирует кочаны 3,0-3,5 кг, что отвечает требованиям торговых сетей.

Продолжительность вегетационного периода среднепоздних и поздних гибридов варьировала в пределах от 119 до 141 дней.

Среди гибридов предназначенных для длительного хранения выделилось шесть с периодом от высадки до массового созревания 119-138 дней.

Товарная урожайность зависела от степени поражения табачным трипсом, что предполагало удаление пораженных листьев. По результатам 2023 года лежкий гибрид F₁(Агр82 x 270Хн111) оказался на уровне стандарта по товарной урожайности, а универсальный F₁ (Яс25п2- x Хн270-111) превосходил стандарт на 22,9 т/га (Таблица 43).

Среди поздних гибридов выделилось 2 образца (№№): 217 и 221 с урожайностью 76,1- 115 т/га, что на 13,4 – 71,3 % выше универсального гибрида Агрессор F₁. Результат на уровне стандарта по урожайности показала комбинация

лежкого плана (Тен4270 х Бс1ф)F₁ – 68,4 т/га. Наибольшая прибавка к стандарту зафиксирована на гибридах №221 и 217, 13,4 % и 71,3 % соответственно.

Таблица 43 -Характеристика выделившихся гибридов белокочанной капусты среднепозднего-позднего сроков созревания по хозяйственно-ценным признакам, 2023 г.

№№	Название гибрида	Вегетационный период	Общая урожайность, т/га	Товарная урожайность, т/га	Прибавка к стандарту, %	Проявление tip burn, %
215	Бс1ф х Юби122	140	59,7	49,1	-11,0	0
217	Агр82 х 270Хн111	119	76,1	61,9	13,4	0
218	Бс1ф х 270Хн111	138	62,8	49,5	-6,4	0
220	Тен4270-1а х Бс1ф	141	68,4	60,3	-1,9	0
221	Яс25п2- х Хн270-111	112	115,0	83,3	71,3	0
222	Бс1ф х Агр82	119	73,6	55,7	9,6	0
St	Агрессор	119	67,1	60,4	-	0
НСР ₀₅					11,8 %	

Минимальный показатель по общей урожайности был зафиксирован у гибрида (Бс1ф х Юби122) – 59,7 т/га.

Кочаны гибридов были изучены по комплексу морфологических признаков, которые определяются визуально и биометрически.

Признак, определяющий продуктивность гибрида – масса кочана. В 2023 году масса кочана по гибридам имела существенные различия, так крупные кочаны сформировало 3 гибрида с массой от 3,36 – 4,03 кг. Стоит сказать, что наиболее крупные кочаны были у комбинации (Яс25п2-1 х Хн270-14п-1с2) – 4,03 кг.

По массе кочана гибрид № 215 – был на уровне стандарта (2,19 кг) и составил 2,20 кг.

Из таблицы 44 видно, что все гибриды входят в группу с индексом 0,89-1,07. Практически все представленные гибриды имели среднюю длину кочерыги в интервале от 30,4 до 50,0 % от высоты кочана. Показатель «индекс кочана» определяет форму кочана. Наиболее предпочтительной является круглая форма с индексом 0,80-1,10.

Таблица 44 – Характеристика среднепоздних и поздних гибридов по признакам кочана и поражению табачным трипсом, 2023 г.

№ дел янок и	Гибрид F ₁	Признаки кочана				Поражен ие трипсом		СРВ ¹ , %
		Масса, г	Плот ность , балл	Длина кочерыг и, %	Индек с	Кол.во листья в штук	Потеря массы кочана , %	
215	Бс1ф x Юби122	2,20	4,9	47,0	0,92	7,5	17,7	8,0
217	Агр82 x Хн270111	3,20	4,8	34,7	1,01	7,0	18,6	9,0
218	Бс1ф x 270Хн111	3,36	4,7	35,0	0,97	8,0	21,1	7,8
220	Тен4270-1а x Бс1ф	2,52	4,8	48,5	1,02	6,0	11,8	8,0
221	Яс25п2-1 x 270Хн111	4,03	4,6	50,0	1,0	11,6	27,5	7,5
222	Бс1ф x Агр82	3,56	4,9	41,4	0,98	10,6	24,3	8,0
St 1	Агрессор	2,19	4,8	54,0	0,83	6,3	9,9	8,0
НСР ₀₅ (масса кочана) 0,23								

¹ СРВ – сухие водорастворимые вещества, %

Наиболее важным признаком для лежких и универсальных гибридов является показатель плотности кочана, который в идеале должен соответствовать 4,8-5 баллам. В опыте плотность по гибридам изменялась в диапазоне от 4,6 до 4,9 (Таблица 44).

По содержанию растворимых веществ выделились 5 гибридов лежкого плана (№№215,217, 220, 222, и стандарт) содержали 8-9 % растворимых веществ и F₁(Бс1ф x 270Хн111) и (Яс25п2-1 x 270 Хн111) F₁ универсального назначения – 7,8% и 7,5% растворимых веществ.

Оценка на устойчивость к наиболее опасному вредителю – табачному трипсу, показала, что поражение стандарта составило 6,3 листьев в то, время, как у гибрида F₁ (Тен4270-1а x Бс1ф) от 4 до 6 листьев.

Поражение трипсом у наиболее урожайных гибридов: Агр82 x 270Хн111, Яс25п2- x Хн270-111 и Бс1ф x Агр82 было в пределах 7 – 10,6 листьев.

F₁(Яс25п x270 Хн111)F₁ (Агр82 x 270Хн111)

Рисунок 12 – Выделившиеся гибриды по результатам конкурсного испытания, 2023 г.

Конкурсное испытание гибридов позволило выделить 2 гибридные комбинации F₁(Агр82 x 270Хн111), превышающие по урожайности коммерческий стандарт Агрессор F₁ на 6,5 – 9,0 т/га, обладающие высокой устойчивостью к внутреннему ожогу листьев, толерантностью к табачному трипсу, альтернариозу. Также выделился высокоурожайный образец F₁ (Яс25п2-1 x 270Хн111) – 115,0 т/га, обладающий устойчивостью к ожогу внутренних листьев кочана и предназначенный для квашения (Рисунок 12).

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВЫРАЩИВАНИЯ УСТОЙЧИВЫХ К ОЖОГУ ВЕРХУШКИ ВНУТРЕННИХ ЛИСТЬЕВ КОЧАНА ГИБРИДОВ КАПУСТЫ БЕЛОКОЧАННОЙ СРЕДНЕПОЗДНЕГО И ПОЗДНЕГО СРОКОВ СОЗРЕВАНИЯ

Ранее говорилось о том, что внутренний ожог листьев капусты является серьезной проблемой для многих производителей, поскольку это заболевание приводит к значительным потерям урожая и снижению качества и товарности продукции. Однако, благодаря селекционной работе удалось создать гибриды капусты, которые обладают улучшенной устойчивостью к данной болезни.

Кроме того, устойчивые гибриды капусты позволяют сократить убытки от отбраковки продукции и повысить уровень конкурентоспособности на рынке. Благодаря этим преимуществам, выращивание таких гибридов может стать выгодной стратегией для производителей капусты.

Общие затраты на выращивание капусты белокочанной составляют 400 тыс. руб. на га.

Из представленной таблицы (Таблица 45) видно, что основные затраты при выращивании капусты приходятся на уборку, уходные работы и воду, составляющие почти 51% себестоимости. Также значительную долю занимают семена и подготовка почвы, они вместе составляют более 23%. Капельная лента и минеральные удобрения также имеют немалую долю в общей сумме затрат, почти 17%. Пестициды составили около 7,4% от общей себестоимости.

Таблица 45 – Общие затраты на выращивание капусты белокочанной среднепозднего срока созревания в открытом грунте на га

Виды затрат	Тыс. руб/га	%
Капельная лента	43,5	10,8
Подготовка почвы с нарезкой гряд	30	7,5
Минеральные удобрения	26	6,5
Себестоимость рассады	60	15

Продолжение таблицы 45

Семена	6	1,5
Уходные работы+вода	90	22,5
Пестициды	29,5	7,4
Уборка	114	28,5
Итого	400	100
Себестоимость 1 кг капусты, руб	5,2	

Положительный результат отмечается на остальных гибридах, товарность продукции которых была на уровне 85-90 % (Таблица 46). Экономическая эффективность гибридов под номерами 3 и 5 значительно превышала стандарт Агрессор на 52 -187 %.

Таблица 46 – Экономическая эффективность гибридов капусты белокочанной в условиях Краснодарского края

Гибрид F1	Урожайность общая, т/га	Товарная урожайность, т/га	Затраты на 1 га, тыс. руб.	Прибыль, %	Экономич. эффективность, %
				15 руб.	15 руб.
Бс1ф х Юби122	59,7	49,1	381,5	355	93,1
Агр82 х 270Хн111	76,1	61,9	422,5	506	119,7
Бс1ф х 270Хн111	62,8	49,5	389,3	353,2	90,7
Тен4270-1а х Бс1ф	68,4	60,3	403,2	501,3	124,3
Яс25п2- х Хн270-111	115,0	83,3	517,7	731,8	141,3
Бс1ф х Агр82	73,6	55,7	416,2	419,3	100,7
St. Агрессор	67,1	60,4	400,0	55,8	126,5

Экономическая эффективность выращивания перспективных гибридов (Агр82 х 270Хн111) и (Яс25п2- х Хн270-111) составила 119,7 %, 141,3 %.

В заключение, можно отметить, что развитие селекции и выращивание устойчивых гибридов капусты к ожогу верхушки внутренних листьев кочана является перспективным направлением для увеличения эффективности производства и улучшения экономических показателей предприятий сельского хозяйства. Таким образом, внедрение новых технологий и генотипов может способствовать развитию отрасли и увеличению прибыли для товаропроизводителей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. 10 инбредных линий среднепоздней и поздней белокочанной капусты, участвующих в скрещивании, имели разную степень депрессии по массе кочана, что не позволило определить предрасположенность линии к поражению физиологическим расстройством под названием «ожог верхушки внутренних листьев кочана».

2. Оценка комбинационной способности 10 линий (ОКС и СКС) в системе неполных диаллельных скрещиваний показала, что 4 линии имели высокие и средние ОКС по массе кочана: 269-824, 272Бр10, Бс1ф, 270 Хн111. Стабильно высокие значения СКС по годам характерны для линий 272 Бр10, Бс1ф, средние для Юби 122 и низкие – для 270 Хн111. 12 гибридов из 45, полученных на основе линий с высокой ОКС, существенно превышали стандарт Доминанта по изучаемому признаку.

3. Создание гибридов среднепоздней группы спелости обеспечивается сочетанием линий Тен4270, Бс1ф, Агр1321 с низкими отрицательными значениями ОКС по продолжительности вегетационного периода. При использовании линий в скрещивании с положительными эффектам КС (Яс25п, 272 Бр10, Юби122, 272 Хн111) позволяет получать гибриды с более длительным периодом вегетации в F₁.

4. К линиям со стабильными низкими ОКС по поражению ожогом верхушки внутренних листьев кочана следует отнести: Агр 82, Тен4270, Яс25п, Бс1ф, 270 Хн111, сочетание которых обеспечивают очень высокую толерантность в гибридных комбинациях. Промежуточные показатели характерны для линий Юби122. Стабильно высокие значения эффектов ОКС и СКС по признаку ожог верхушки внутренних листьев кочана у линий 269-824, Л79, 272 Бр10, Агр1321 обеспечивают сильную восприимчивость в гибридных комбинациях F₁.

5. Анализ по Хейману позволил установить, что в генетическом контроле признака «ожог верхушки внутренних листьев кочана» превалируют неполное доминирование, сверхдоминирование и эпистаз. Физиологическое расстройство в

неустойчивых формах контролируется доминантными полигенами и является высоконаследуемым. По количеству доминантных генов, влияющих на проявления ожога верхушки внутренних листьев кочана, в порядке убывания линии располагаются следующим образом: Л79, 269-824, 272 Бр10, Агр1321, Тен4270, Яс25п, Бс1ф, Юби122, Агр82, 270Хн111.

6. Характер наследования устойчивости в гибридах с разной степенью устойчивости родителей различается: при скрещивании устойчивой линии со среднеустойчивой (Юби122) устойчивость наследуется по типу моногенной доминантной, при скрещивании восприимчивой линии (Тен 3-272) со среднеустойчивой (Юби122) гипотеза моногенно-доминантную модели отвергается.

7. В качестве родительских пар для получения высоко толерантных гибридов следует особое внимание уделять линиям с низкими эффектами по ОКС обоих родителей или можно включать одну из линий со средней ОКС и низкой СКС. При этом, используя различные тестеры по устойчивости, достаточно провести оценку ОКС тестируемых линий на высоком фоне по питанию.

8. Применение высоких доз удобрений ($N_{180}P_{120}K_{120}$, $N_{240}P_{180}K_{180}$, $N_{190}P_{176}K_{187}$), способствовало увеличению, по сравнению с контролем ($N_{120}P_{120}K_{120}$), степени проявления ожога внутренних листьев на устойчивом гибриде Доминанта на 1,7 -17,3 %, среднеустойчивом (Хн861 x Агр1321) F1 на 4,7 – 28,3 % и на восприимчивом Green Boy на 2,4-3,3 %. Максимальное развитие заболевания отмечено на восприимчивом гибриде Green Boy на фонах с $N_{190}P_{176}K_{187}$ (95 %) и $N_{240}P_{180}K_{180}$ (60,0-82,0 %), минимальное на высоко толерантном гибриде Доминанта на фоне $N_{190}P_{176}K_{187}$ (15-25%).

9. Применение внекорневых кальциевых подкормок на высоком агрофоне снизило развитие заболевания на устойчивом гибриде Доминанта на 12,6 %, на средневосприимчивом (Хн861 x Агр1321) F1 на 9,5 % и на восприимчивом Greenboy на 14,7 %. Внекорневая подкормка кальциевой селитрой в сочетании с борной кислотой сократило развитие внутреннего ожога в комбинации (Хн861xАгр1321)F1 до 14,8 – 20,5 %, на восприимчивом гибриде Greenboy до 40,8

-52,6 % в зависимости от года. Кальциевые подкормки в сочетании с бором исключило заболевание только на высоко толерантном гибриде Доминанта F1.

10. По результатам конкурсного испытания на основе перспективных линий выделено два гибрида, превышающие по общей урожайности коммерческий стандарт Агрессор F1 на 9,0 т/га, обладающие высокой устойчивостью к внутреннему ожогу листьев и толерантностью к табачному трипсу F1(Агр82 x 270 Хн 111) с урожайностью 76,1 т/га и гибрид предназначенный для переработки – F1(Яс25п2- x Хн270-111) с общей урожайностью 115 т/га, превышающий стандарт на 47,9 т/га .

РЕКОМЕНДАЦИИ СЕЛЕКЦИОННЫМ УЧРЕЖДЕНИЯМ

В качестве компонентов скрещиваний при создании гибридов среднепозднего-позднего сроков созревания с устойчивостью к ожогу верхушки внутренних листьев кочана использовать линии Агр 82, Тен4270, Яс25п, Бс1ф, 270 Хн111.

Оценку устойчивости к ожогу необходимо вести на высоком агрофоне при относительно благоприятных условиях для формирования кочана. При оценке степени поражения необходимо использовать градационную шкалу.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПРОИЗВОДСТВУ

При выращивании гибридов среднепозднего-позднего сроков созревания в условиях жаркого климата Юга России необходимо придерживаться среднего фона по NPK, чтобы избежать проявления ожога внутренних листьев кочана на относительно устойчивых гибридах. На высоких дозах агрофона ($N_{180}P_{180}K_{180}$) рекомендуется применение кальциевых внекорневых подкормок в сочетании с борной кислотой, в дозе 20 г и 5 г на 10 литров воды, соответственно, в период от начала формирования кочана с периодичностью 7-10 дней.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Алпатьев А.М. Влагооборот культурных растений: книга автора /А.М. Алпатьев // 2-е изд., перераб.и доп. - Л.: Гидрометеиздат, 1959. - 248с.
2. Байдина А. В. F 1 Настя-новый гибрид капусты /А. В. Байдина, Г. Ф. Монахос, С. Г. Монахос //Картофель и овощи. – 2017. – №. 11. – С. 32-33.
3. Баутин В.М. Селекция и семеноводство капусты в России на современном этапе / В.М. Баутин, Г.Ф. Монахос, С.Г. Монахос, Д.В. Пацуря // Картофель и овощи. – 2013. - № 2. – С. 2-3.
4. Баутин, В.М. селекция и семеноводство капусты в России на
5. Белик, В.Ф. Методика физиологических исследований в овощеводстве и в бахчеводстве / В.Ф. Белик // М. 1970, 210 с
6. Бондаренко Г.Л. Методика опытного дела в овощеводстве и бахчеводстве /Г.Л.Бондаренко, К.И.Яковенко. – Харьков: Основа, 2001. – 369 с.
7. Бунин, М. С. Производство гибридных семян овощных культур / М. С. Бунин, Г. Ф. Монахос, В. И. Терехова. – Москва: Издательство РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2011. – 182 с.
8. Вавилов Н. И. Центры происхождения культурных растений /Н.И. Вавилов// Труды по прикл. бот., ген. и сел. Л.: ВИР, 1926. – 248 с. 3.
9. Вавилов Н.И. Азия – источник видов. Растительные ресурсы. /Н.И. Вавилов// 1966. – Т.II. – Вып.4. С.577-580.
10. Ванеян С.С. Орошение овощных культур / С.С. Ванеян, А.Ф. Вишнякова // Картофель и овощи, 2001. – No 3. – С. 29-33
11. Влияние макро- и микроэлементов на урожайность и качество капусты белокочанной в условиях Лесостепи Западной Сибири / Н. В. Гоман, Н. А. Воронкова, В. А. Волкова, Н. А. Цыганова // Вестник КрасГАУ. – 2019. – № 5(146). – С. 9-15.
12. Гизатова А. Ф. Изучение и выделение исходного материала для селекции белокочанной капусты в Чуйской долине Киргизии: дис. – Автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. с.-х. наук. Л., ВИР, 1968.

13. Гиш Р. А. Овощеводство открытого грунта юга России. Состояние и тенденции развития /Р.А. Гиш //Овощи России. – 2021. – №. 4. – С. 5-10.

14. Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Том 1. Сорты растений. – М: Мин-во сельского хозяйства Российской Федерации, 2018. – 508 с.

15. Гуляев, Г. В. Генетика: Учебник для аграрных специальностей вузов. Допущено Главным управлением высшего и среднего сельскохозяйственного образования Министерства сельского хозяйства СССР в качестве учебника для студентов высших сельскохозяйственных учебных заведений по агрономическим специальностям / Г. В. Гуляев. – 3-е издание, дополненное и переработанное. – Москва: Издательство "Колос", 1984. – 351 с. – (Учебники и учебные пособия для высших сельско-хозяйственных учебных заведений).

16. Гутиэррес, Г. А. Проявление самонесовместимости у линий белокочанной капусты в зависимости от состояния цветка и условий выращивания растений: специальность 06.01.05 "Селекция и семеноводство сельскохозяйственных растений»: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук / Гутиэррес Гутиэррес Арнульфо. – Москва, 1987. – 20 с. – EDN QGMQIB.

17. Давлетбаева, О. Р. Комбинационная способность инбредных линий капусты белокочанной по основным хозяйственно ценным признакам / О. Р. Давлетбаева, Г. А. Костенко, В. А. Прокопов // Селекция, семеноводство и сортовая агротехника овощных, бахчевых и цветочных культур : Сборник научных трудов по материалам Международной научно- практической конференции, посвященной VII Квасниковским чтениям, Московская обл., Раменский район, д.Верея, 01 декабря 2016 года. – Московская обл., Раменский район, д.Верея: ГУП РО "Рязанская областная типография", 2016. – С. 99-101.

18. Джинкс, Дж.Л. Биометрическая генетика гетерозиса / Дж.Л. Джинкс // Гетерозис. – М.: Агропромиздат, 1987. – С. 17–70.

19. Джохадзе Т. И. Комбинационные свойства скороспелых сортов белокочанной капусты // Методы ускорения селекции овощных культур. – 1975. – С. 45-47.
20. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта: (с основами статистической обработки результатов исследований): учебник для студентов высших сельскохозяйственных учебных заведений по агрономическим специальностям / Б. А. Доспехов; Б. А. Доспехов. – Изд. 6-е, стер., перепеч. с 5-го изд. 1985 г. – Москва: Альянс, 2011.
21. Драгавцев, В. А. Молекулярный, онтогенетический, популяционный и фитоценотический уровни эколого-генетической организации хозяйственно ценных признаков растений / В. А. Драгавцев // Сельскохозяйственная биология. – 2006. – Т. 41, № 1. – С. 114-123.
22. Драгавцев, В.А. Генетика признаков продуктивности яровых пшениц в Западной Сибири / В.А. Драгавцев, Р.А. Цильке, Б.Г. Рейтер и др. – Новосибирск: СОАН, 1984. – 230 с.
23. Дякунчак, С. А. Создание инбредных линий капусты белокочанной с групповой устойчивостью к фузариозу и сосудистому бактериозу / С. А. Дякунчак, С. В. Королева // Рисоводство. – 2018. – № 2(39). – С. 74-79.
24. Елисеева Т. Капуста белокочанная (лат. Brassica)/Т. Елисеева, Н. Ткачева // Журнал здорового питания и диетологии. – 2018. – Т. 4. – №. 6. – С. 13-23.
25. Земницкая Д.Е. Тест-растения в оценке фитотоксичности почвы при проведении генетического мониторинга / Д.Е. Земницкая, А.А. Чижеумова, Н.И. Варфоломеева // В сборнике: Овощеводство - от теории к практике. Сборник статей по материалам III региональной научно-практической конференции молодых ученых. Краснодар, 2020. С. 59-62.
26. Зубко, О. Н. Возникновение ogura-подобной ЦМС в растениях Brassica при отдаленной гибридизации / О. Н. Зубко, С. Г. Монахос, Г. Ф. Монахос // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. – 2019. – № 2. – С. 136-141.

27. Зубко, О. Н. Отдаленная гибридизация для передачи устойчивости к сосудистому бактериозу / О. Н. Зубко, С. Г. Монахос // Картофель и овощи. – 2016. – № 11. – С. 39-40.
28. Ильина Н.А. Физиология и биохимия растений: Учебное пособие / Н.А. Ильина, И.В. Сергеева, А.И. Перетятко//Ульяновск-Саратов, 2013. - 335 с. ISBN 978-5-86045-613-6., Физиология и биохимия сельскохозяйственных растений / под ред. Н.Н. Третьякова. М.: Колос, 2005. – 639 с., Позднякова Анастасия Валерьевна КУБГАУ
29. Ирков, И. И. Технология производства белокочанной капусты / И. И. Ирков, Г. А. Костенко, Г. Ф. Монахос // Картофель и овощи. – 2014. – № 1. – С. 3-9. – EDN RTGZCF.
30. Капуста. - Л.: Колос. Ленингр. отд-ние, 1984. – 328 с.
31. Касимов Н. Г. К вопросу выращивания капусты на территории
32. Кильчевский А. В. и др. Гетерозис в селекции сельскохозяйственных растений //Молекулярная и прикладная генетика. – 2008. – Т. 8. – С. 7-24.
33. Киракосян Р. Н. Содержание фенольных соединений в листьях растений-регенерантов капусты белокочанной (*Brassica oleracea* L.) / Р. Н. Киракосян, Е. А. Калашникова // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. – 2017. – №. 2. – С. 34-43.
34. Китаева И. Е. Капуста/ И. Е. Китаева//Московский рабочий. – 1977. – С. 57-61.
35. Колобердина З. И. Использование гетерозиса для повышения урожайности /З.И. Колобердина //Вестник с.-х. науки. –М. – 1941. – №. 1. – С. 79-84.
36. Королева, С. В. Гетерозис и наследование сосудистого бактериоза у гибридов белокочанной капусты / С. В. Королева, Н. В. Полякова, О. Г. Пистун // Рисоводство. – 2022. – № 4(57). – С. 66-72.
37. Королева С. В. Конвейер капусты для юга /С. В. Королева //Картофель и овощи. – 2013. – №. 7. – С. 17.

38. Королева С. В. Селекция капусты белокочанной на устойчивость к табачному трипсу / С. В. Королева//Научное обеспечение производства сельскохозяйственных культур в современных условиях. – 2016. – С. 101-106.

39. Королева С.В. Сроки цветения инбредных линий белокочанной капусты как результат взаимодействия генотипа и факторов внешней среды /С.В. Королева, С.В. Ситников//Современное состояние овощеводства: Сборник научных трудов, посвященный 75-летию КНИИОКХ. -Краснодар, 2006.-стр.71-75.

40. Королева, С. В. Особенности селекции капусты белокочанной для юга РФ в свете современных требований / С. В. Королева // Овощи России. – 2014. – № 4(25). – С. 52-56.

41. Костенко В. А. и др. Отдаленные результаты инвазивных методов лечения у пациентов, перенесших острый коронарный синдром //Регионарное кровообращение и микроциркуляция. – 2012. – Т. 11. – №. 4. – С. 62-65.

42. Костенко Г. А. Комбинационная способность нового исходного материала капусты //Синицына АА, Вишнякова АВ, Монахос СГ Сравнительная. – С. 38.

43. Костенко Г. А. Результаты сортоиспытания новых гибридов капусты / Г.А. Костенко, Г. Ф. Монахос, А. Н. Ховрин //Картофель и овощи. – 2013. – №. 10. – С. 26-27.

44. Костенков Е. А. Витамин" С" в продуктах растительного происхождения /Е. А. Костенков// Colloquium-journal. – Голопристанський міськрайонний центр зайнятості – Голопристанский районный центр занятости, 2018. – №. 7-2. – С. 11-14.

45. Кружилин А.С. Корневая система и продуктивность орошаемых культур /А.С. Кружилин// М.: Наука, 1983. - 235с.

46. Кружилин, А.С. Биология двулетних растений/А.С. Кружилин, З.М. Шведская// М.: Наука,1966.-325с.

47. Крючков А. В. Селекция и семеноводство овощных и плодовых культур /А.В. Крючков, С. П. Потапов //М.: Агропромиздат. – 1986. – С. 143-144.

48. Крючков, А. В. Селекция F1 гибридов кочанной капусты на основе спорофитной самонесовместимости : специальность 06.01.05 "Селекция и семеноводство сельскохозяйственных растений" : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора сельскохозяйственных наук / Крючков Анатолий Васильевич. – Ленинград, 1990. – 61 с.

49. Кузнецова Е. Н. Хранение капусты белокочанной /Е. Н. Кузнецова// Климат, экология, сельское хозяйство Евразии. – 2020. – С. 82-88.

50. Лизгунова Т.В. Агрометеорологическая характеристика сортов белокочанной капусты /Т.В. Лизгунова, Степанова В.М., Джохадзе Т.И. - Л.// Каталог мировой коллекции, 1981.- № 314. - 16с.

51. Лизгунова Т.В. Капуста. Овощные культуры и кормовые корнеплоды /Т. В. Лизгунова// 3-е изд., перераб. и доп. - Л.: Колос, 1948. -5т. - 245с.

52. Лизгунова, Т.В. Культурная флора СССР / Т.В. Лизгунова. Т. VI.

53. Лизгунова, Т.В. Культурная флора СССР / Т.В. Лизгунова. Т. XI. Капуста. - Л.: Колос. Ленингр. отд-ние, 1984. – 328 с.

54. Литвинов С. С. Хранение белокочанной капусты/ С. С. Литвинов, А. В.

55. Литвинов, С. С. Методика полевого опыта в овощеводстве / С. С. Литвинов. – Москва: Всероссийский научно-исследовательский институт овощеводства, 2011. – 650 с.

56. Мамонов, Е.В. Комбинационная способность инбредных линий пекинской капусты по биохимическим признакам / Е.В. Мамонов, Ж. Ркейби // Известия ТСХА. – 2001. – № 2. – С. 54-72.

57. Маслова, А.А. Сравнительная характеристика сортов капусты белокочанной по устойчивости к болезням в период хранения /А.А. Маслова, А.А. Ушаков// Фундаментальные и прикладные исследования: проблемы и результаты. – 2016. №. 25. – С. 59-63.

58. Минейкина А. И. Создание исходного материала капусты белокочанной с использованием современных методов селекции //ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства. – 2018.

59. Минейкина, А. И. Оценка устойчивости гибридных комбинаций капусты белокочанной, созданных на основе линий удвоенных гаплоидов к *Plasmodiophora brassicae* wor / А. И. Минейкина, А. А. Ушаков, Л. Л. Бондарева // Овощи России. – 2016. – № 2(31). – С. 90-93.

60. Миронов, А. А. Межвидовая гибридизация *Raphanus sativus* l / А. А. Миронов, О. Н. Зубко // Перспективы развития садоводства и садово-паркового строительства. – Москва: Общество с ограниченной ответственностью "Мегаполис", 2022. – С. 291-304.

61. Монахос, Г. Ф. Конвейерное производство капусты на основе отечественных гибридов / Г. Ф. Монахос // Вестник овощевода. – 2009. – № 1. – С. 8-12.

62. Монахос, Г. Ф. Селекция капусты на устойчивость: состояние и перспективы / Г. Ф. Монахос, С. Г. Монахос, Г. А. Костенко // Картофель и овощи. – 2016. – № 12. – С. 31-35.

63. Монахос, Г. Ф. Селекция капусты на устойчивость: состояние и перспективы / Г. Ф. Монахос, С. Г. Монахос, Г. А. Костенко // Картофель и овощи. – 2016. – № 12. – С. 31-35.

64. Монахос, Г. Ф. Сочетаемость родительских линий позднеспелой капусты по семеноводческим признакам в беспересадочной культуре и способ ее регулирования / Г. Ф. Монахос, З. К. Курбанова // Гавриш. – 2008. – № 3. – С. 40-43.

65. Монахос, Г.Ф. Проявление комбинационной способности самонесовместимых промежуточных гибридов в зависимости от площади питания четырехлинейных гибридов среднеспелой белокочанной капусты: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.05. / Монахос Григорий Федорович. - М., 1984. - 22 с.

66. Монахос, Г.Ф. Результаты селекции позднеспелой жаростойкой капусты для южных регионов / Г.Ф. Монахос, Л.И. Шпак // Капустные овощные культуры. Актуальные вопросы селекции и семеноводства. Современные технологии выращивания. – Краснодар: Просвещение-Юг. - 2012. – С. 60– 65.

67. Монахос, Г.Ф. Схема создания двухлинейных гибридов капустных овощных культур на основе самонесовместимости / Г.Ф. Монахос // Изв. ТСХА. – 2007. – Вып. 2. – С. 86-93.
68. Наместников А. Ф. Консервирование плодов и овощей /А.Ф. Наместников. -М.: Росагропромиздат, 1989. –230 с.
69. Определение типа цитоплазмы у растений семейства капустные (Brassicaceae Burnett) с помощью ДНК маркеров / Е. А. Домблидес, А. С. Домблидес, Т. В. Заячковская, Л. Л. Бондарева // Вавиловский журнал генетики и селекции. – 2015. – Т. 19, № 5. – С. 529-537.
70. Передовые исследования Кубани: Сборник материалов Ежегодной отчетной конференции грантодержателей Кубанского научного фонда, Сочи, 20–22 июня 2022 года. – Краснодар: Унитарная некоммерческая организация "Кубанский научный фонд", 2022. – 380 с.
71. Пивоваров, В.Ф. Адаптивность и гомеостатичность сортов и гибридов капусты белокочанной генофонда ВНИИССОК / В.Ф. Пивоваров, – 2012. – №. 5. – С. 27-30.
72. Попова Е. М. Высокоурожайные гибридные семена капусты /Е.М. Попова// Сб. Использование гетерозиса в овощеводстве. Краснодар. – 1963.
73. Прокопов В. А. Подбор и оценка исходного материала для создания F1 гибридов капусты белокочанной для юга России: дис. – Всерос. науч.-исслед. ин-т овощеводства, 2016.
74. Прокопов, В. А. Корреляция эффектов общей комбинационной способности и фенотипического проявления признаков у линий капусты белокочанной / В. А. Прокопов, Г. А. Костенко, О. Р. Давлетбаева // Селекция, семеноводство и сортовая агротехника овощных, бахчевых и цветочных культур : Сборник научных трудов по материалам Международной научно- практической конференции, посвященной VII Квасниковским чтениям, Московская обл., Раменский район, д.Веря, 01 декабря 2016 года. – Московская обл., Раменский район, д.Веря: ГУП РО "Рязанская областная типография", 2016. – С. 248-251.

75. Разин О.А. Анализ производства капусты в России/ О.А. Разин, Т.Н. Сурихина// - Овощи России, 2022 – №6. – С.51-58.
76. Рахман М., Драгавцев В. А. Новые подходы к прогнозированию гетерозиса у растений //Сельскохозяйственная биология. – 1990. – Т. 25. – №. 1. – С. 3-12.
77. Романова, М. В. Шатилов//Картофель и овощи. – 2014. – №. 1. – С. 26-28.
78. Российской Федерации и импортозамещения / Н. Г. Касимов, В. И. Константинов, У.И. Константинова// Научное и кадровое обеспечение АПК для продовольственного импортозамещения: материалы Всероссийской научно-практической конференции. 16-19 февраля 2016 года, г. Ижевск. В 3 т.–Ижевск: ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА, 2016.–Т. 3.–299 с. – 2016. – С. 23.
79. Сердюк, М. А. Наследование хозяйственно-ценных признаков инцухт-линий позднеспелой капусты белокочанной, используемых при селекции на жаростойкость: специальность 06.01.05 "Селекция и семеноводство сельскохозяйственных растений»: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук / Сердюк Михаил Анатольевич. – Москва, 2003. – 24 с.
80. Смиряев, А.В. Генетика популяций и количественных признаков: учебник/ А.В. Смиряев, А.В. Кильчевский. – М.: КолосС, 2007. – 270 с.
81. Стальная М. И. Промышленная технология производства белокочанной капусты /М. И. Стальная, В. В. Стальная//Рекомендовано до друку Науково-технічною радою Дослідної станції «Маяк» Інституту овочівництва і баштанництва НААН, протокол № 3 від 09 березня 2017 р. Відповідальний за випуск: мол. наук. співроб. Позняк ОВ. – 2017. – С. 248.
82. Студенцов О. В. Исходный материал для селекции капусты летнего срока выращивания в Краснодарском крае. Автореф. канд. дисс. – 1971.
83. Терновая, Л. В. Организация контроля над режимом влажности почвы при возделывании капусты / Л. В. Терновая, С. В. Макарычев, А. А. Томаровский

// Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2020. – № 7(189). – С. 33-40.

84. Типсина Н. Н. Использование белокочанной капусты в пищевой промышленности /Н. Н. Типсина, Е. Е. Ташлыкова// Вестник Красноярского государственного аграрного университета. – 2010. – №. 11. – С. 176-181.

85. Типсина, Н. Н. Использование нетрадиционного сырья в пищевых производствах / Н. Н. Типсина, В. В. Матюшев, А. А. Беляков // Вестник КрасГАУ. – 2015. – № 1(100). – С. 125-131. – EDN TMLMCX.

86. Требушенко П.Д. Ботанический журнал / П.Д. Требушенко// 1960, №2, с. 1257

87. Турбин Н.В. Комбинационную способность / Н.В. Турбин // Генетические основы селекции растений. – М.: Наука. – 1971. – С. 112-155.

88. Турбин, Н.В. Генетика гетерозиса и методы селекции растений на

89. Федорова М. И. и др. Редис моховский–источник ms-и mf-линий при селекции на гетерозис //Овощи России. – 2015. – №. 3-4. – С. 22-27.

90. Физиологические болезни овощных растений семейства капустные / А. Д. Джамбаева, Р. Ю. Бакаева, Е. М. Ганеева [и др.] // International Journal of Professional Science. – 2021. – № 1. – С. 23-25.

91. Филатов, Г. В. Гетерозис: физиологогенетическая природа / Г.В. Филатов. – М.: Агропромиздат, 1988. – 96 с

92. Харламов Д.М. Комбинационная способность самонесовместимых линий брокколи: автореф. дис... канд. с.-х. наук: 06.01.05 / Харламов Дмитрий Михайлович. – М.: МСХА. – 2000. – 19 с.

93. Харламов, Д. М. Селекция гетерозисных гибридов F1 белокочанной капусты / Д. М. Харламов // Гавриш. – 2006. – № 3. – С. 40-44.

94. Шпак Л. И. Комбинационная способность самонесовместимых линий позднеспелой капусты белокочанной восточного подвида: дис. – Диссертация... канд. с.-х. наук–Л., 2017.-50с, 2017.

95. Шпак, Л. И. Лежкие гетерозисные гибриды капусты в Молдове / Л. И. Шпак, Г. Ф. Монахос // Картофель и овощи. – 2013. – № 8. – С. 29-31.

96. Шуляк Н. В. Реакция инбредных линий белокочанной капусты на погодные условия в период яровизации /Н. В. Шуляк, С. В. Королева// Приоритетные направления научного обеспечения отраслей агропромышленного комплекса России и стран СНГ. – 2018. – С. 135-141.
97. Griffing, B. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems / B. Griffing. – *Austral. Jou. Of Bio. Sci.*, 1956 b, v. 9, 4, 463 p.
98. Hayman B. I. The analysis of variance of diallel tables // *Biometrics*. – 1954. – Т. 10. – №. 2. – С. 235-244.
99. Patel A. M., Arha M. D., Khule A. A. Combining ability analysis for seed yield and its attributes in Indian mustard [*Brassica juncea* (L.) Czern and Coss]. – 2013.
100. Khursheed H. Heterosis and Combining Ability Studies in Sprouting Broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica* Plenck) : дис. – 2011.
101. Ahmad P. et al. Yutong Li^{1, 2}, Jizhong Ma², Xueqin Gao², Jianzhong Tie², Yue Wu², Zhongqi Tang², Linli Hu^{1, 2} and Jihua Yu. – 2022.
102. Aloni B. Enhancement of leaf tipburn by restricting root growth in Chinese cabbage plants // *Journal of horticultural science*. – 1986. – Т. 61. – №. 4. – С. 509-513.
103. Armstrong M. J., Kirkby E. A. The influence of humidity on the mineral composition of tomato plants with special reference to calcium distribution // *Plant and Soil*. – 1979. – Т. 52. – С. 427-435.
104. Bakshi M. P. S. Waste to worth: vegetable wastes as animal feed /M. P. S. Bakshi, M. Wadhwa, H. P. S. Makkar // *CABI Reviews*. – 2016. – №. 2016. – С. 1-26.
105. Bangerth F. Calcium-related physiological disorders of plants // *Annual review of phytopathology*. – 1979. – Т. 17. – №. 1. – С. 97-122.
106. Barta D. J., Tibbitts T. W. Calcium localization in lettuce leaves with and without tipburn: Comparison of controlled-environment and field-grown plants // *Journal of the American Society for Horticultural Science*. – 1991. – Т. 116. – №. 5. – С. 870-875.
107. Barta D. J., Tibbitts T. W. Effects of artificial enclosure of young lettuce leaves on tipburn incidence and leaf calcium concentration // *Journal of the American Society for Horticultural Science*. – 1986. – Т. 111. – №. 3. – С. 413-416.

108. Bergmann B. A., Stomp A. M. Effect of genotype on in vitro adventitious shoot formation in *Pinus radiata* and correlations between pairs of phenotypic traits during in vitro shoot development //Plant cell, tissue and organ culture. – 1994. – T. 39. – C. 185-194.
109. Bhatla S. C. et al. Plant mineral nutrition //Plant physiology, development and metabolism. – 2018. – C. 37-81.
110. Birchler J. A. et al. Heterosis //The Plant Cell. – 2010. – T. 22. – №. 7. – C. 2105-2112.
111. Cubeta M. A. et al. Influence of soil calcium, potassium, and pH on development of leaf tipburn of cabbage in eastern North Carolina //Communications in soil science and plant analysis. – 2000. – T. 31. – №. 3-4. – C. 259-275.
112. Cvetković B. R. et al. The effects of osmotic dehydration of white cabbage on polyphenols and mineral content //Lwt. – 2019. – T. 110. – C. 332-337.\
113. Daniel K. A. M. Cabbage (*Brassica oleracea*) Production in Kenya: A Review of its Economic Importance, Ecological Requirement and Production Constraints/ K. A. M. Daniel, E. M. D. Muindi, S. M. D. Muti //International Journal of Plant & Soil Science. – 2023. – Vol. 35. – №. 18. – P. 245-254.
114. Demidchik, V.; Bowen, H.C.; Maathuis, F.J.; Shabala, S.N.; Tester, M.A.; White, P.J.; Davies, J.M. *Arabidopsis thaliana* root non-selective cation channels mediate calcium uptake and are involved in growth. *Plant J.* 2002, 32, 799–808.
115. Dey S. S. et al. Superior CMS (Ogura) lines with better combining ability improve yield and maturity in cauliflower (*Brassica oleracea* var. botrytis) //Euphytica. – 2011. – T. 182. – C. 187-197.
116. Dieter Jeschke W., Hartung W. Root-shoot interactions in mineral nutrition //Plant and Soil. – 2000. – T. 226. – №. 1. – C. 57-69.
117. East E. M. Heterosis //Genetics. – 1936. – T. 21. – №. 4. – C. 375.
118. Elers B., Wiebe H. J. Flower formation of Chinese cabbage. I. Response to vernalization and photoperiods //Scientia horticultrae. – 1984. – T. 22. – №. 3. – C. 219-231.

119. Emenike A. et al. Forecasting the Degradation of Vitamin C Concentration in Commonly Consumed Vegetable Cabbage (*Brassica oleracea*) dipped in Different Pre-treatment Solutions //Journal of the Turkish Chemical Society Section A: Chemistry. – 2023. – T. 10. – №. 1. – C. 109-116.
120. Everaarts A. P., Blom-Zandstra M. Review Article Internal tipburn of cabbage (*Brassica oleracea* var. *capitata*) //The Journal of Horticultural Science and Biotechnology. – 2001. – T. 76. – №. 5. – C. 522-528.
121. Gaskell M. et al. Soil fertility management for organic crops. – 2007.
122. Gilliam M. et al. Calcium delivery and storage in plant leaves: exploring the link with water flow //Journal of experimental botany. – 2011. – T. 62. – №. 7. – C. 2233-2250.
123. Griffing, B. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems / B. Griffing. – Austral. Jou. Of Bio. Sci., 1956 b, v. 9, 4, 463 p.
124. Hageman R. H., Leng E. R., Dudley J. W. A biochemical approach to corn breeding //Advances in agronomy. – 1967. – T. 19. – C. 45-86.
125. Haghghi M. Effect of exogenous amino acids application on growth and nutritional value of cabbage under drought stress/M. Haghghi, S. Saadat, L. Abbey//Scientia Horticulturae. – 2020. – T. 272. – C. 109561.
126. Hale A. L., Farnham M. W. Heterosis for Horticultural Traits in Broccoli //HortScience. – 2006. – T. 41. – №. 4. – C. 990C-990.
127. Harter L. L., Jones L. R. Cabbage diseases. – US Department of Agriculture, 1928. – №. 1351.
128. Have H. Research and breeding for mechanical culture of rice in Surinam. – Wageningen University and Research, 1967.
129. Hayman B. I. The analysis of variance of diallel tables //Biometrics. – 1954. – T. 10. – №. 2. – C. 235-244.
130. Hirschi KD (2004) The calcium conundrum. Both versatile nutrient and specific signal. Plant Physiol 136:2438–2442.
131. Hori, Y., K. Yamasaki, T. Kamilhama, and M. Aoki. 1959. On the transition of early spring cabbage production and the occurrence of the so-called heart

rot in Fugi City, an example of the deterioration of soil productivity in vegetable areas
III. J. Hort. Assoc. Jap. 28:267-276

132. Hossain M. A. et al. Competitive adsorption of metals on cabbage waste from multi-metal solutions //Bioresource technology. – 2014. – T. 160. – C. 79-88.

133. IMAI H. et al. Effect of time, form and concentration of nitrogen application on Chinese cabbage tipburn //Japanese Journal of Tropical Agriculture. – 1988. – T. 32. – №. 2. – C. 85-94.

134. Jagadeesh B. et al. Diseases and disorders of cole crops (Stem Brassicas) and their management //Diseases of Horticultural Crops: Diagnosis and Management. – Apple Academic Press, 2022. – C. 79-129.

135. Kaushik P. et al. Diallel genetic analysis for multiple traits in eggplant and assessment of genetic distances for predicting hybrids performance //Plos one. – 2018. – T. 13. – №. 6. – C. e0199943.

136. Kawamura K. et al. Genetic characterization of inbred lines of Chinese cabbage by DNA markers; towards the application of DNA markers to breeding of F1 hybrid cultivars //Data in Brief. – 2016. – T. 6. – C. 229-237.

137. Khalaj, K.; Ahmadi, N.; Souri, M.K. Improvement of Postharvest Quality of Asian Pear Fruits by Foliar Application of Boron and Calcium. *Horticulturae* 2016, 3, 15.

138. Khan F. A. et al. Calcium deficiency disorders and their management in vegetable //Journal of Horticultural Science and Biotechnology. – 2017. – T. 84. – №. 6. – C. 577-584.

139. Ijaz A. et al. Estimation of ionized calcium, total calcium and albumin corrected calcium for the diagnosis of hypercalcaemia of malignancy //Journal-College of Physicians and Surgeons of Pakistan. – 2006. – T. 16. – №. 1. – C. 49.

140. Kierkels, T. Many physiogene problems due to poor calcium distribution: Balance can be restored at night. *Greenh. Int. Mag. Greenh. Grow.* 2013, 2, 10–11.

141. Krebs, J.; Agellon, L.B.; Michalak, M. Ca²⁺ homeostasis and endoplasmic reticulum (ER) stress: An integrated view of calcium signaling. *Biochem. Biophys. Res. Commun.* 2015, 460, 114–121.

142. Kumar R., Kumar V. Physiological disorders in perennial woody tropical and subtropical fruit crops-A review. – 2016.
143. Laripe A. et al. 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 //Theoretical and Applied Genetics. – 2017. – T. 130. – C. 403-417.
144. Li N. et al. Root morphology ion absorption and antioxidative defense system of two Chinese cabbage cultivars (*Brassica rapa* L.) reveal the different adaptation mechanisms to salt and alkali stress //Protoplasma. – 2022. – T. 259. – №. 2. – C. 385-398.
145. Li Y. et al. Exogenous brassinosteroids alleviate calcium deficiency-induced tip-burn by maintaining cell wall structural stability and higher photosynthesis in mini-Chinese Cabbage //Frontiers in Plant Science. – 2022. – T. 13. – C. 999051.
146. Li Y. et al. Exogenous brassinosteroids alleviate calcium deficiency-induced tip-burn by maintaining cell wall structural stability and higher photosynthesis in mini Chinese Cabbage //Frontiers in Plant Science. – 2022. – T. 13. – C. 999051.
147. Marschner H., Römheld V. In vivo measurement of root-induced pH changes at the soil-root interface: effect of plant species and nitrogen source //Zeitschrift für Pflanzenphysiologie. – 1983. – T. 111. – №. 3. – C. 241-251.
148. Masarirambi M. T. et al. Physiological disorders of Brassicas/Cole crops found in Swaziland: A review //African Journal of Plant Science. – 2011. – T. 5. – №. 1. – C. 8-14.
149. Matzinger D. F., Kempthorne O. The modified diallel table with partial inbreeding and interactions with environment //Genetics. – 1956. – T. 41. – №. 6. – C. 822.
150. Maynard D. N., Barker A. V. Nitrate Content of Vegetable Crops1 //HortScience. – 1972. – T. 7. – №. 3. – C. 224-226.
151. Melchinger, A.E. Prediction of testcross means and variances among F3 progenies of F1 crosses from testcross means and genetic distances of their parents in maize / A.E. Melchinger, R.K. Gumber, R.B. Leipert, M. Vuylsteke, M. Kuiper //

Theor. Appl. Genet. – 1998. – V. 96. – P. 503–512. 65. Becker, H.C. Heterosis and hybrid breeding / H.C. Becker, W. Link // Vortr. Pfl anzenzuchtg. Mendel Centenary Congress. – 2000. – V. 48. – P. 319–327.

152. Miedema, H.; Demidchik, V.; Véry, A.; Bothwell, J.H.F.; Brownlee, C.; Davies, J.M. Two voltage-dependent calcium channels co-exist in the apical plasma membrane of *Arabidopsis thaliana* root hairs. *New Phytol.* 2008, 179, 378–385.

153. Miller J. C. Louisiana Copenhagen cabbage: methods of breeding and description. – 1934.

154. Mohamed F. Mineral analysis and proximate composition of leaves of (*Brassica oleracea* var. *acephala*) in response to boron application in pot experiments: дис. – Cape Peninsula University of Technology, 2018.

155. Moreb N. et al. Cabbage //Nutritional composition and antioxidant properties of fruits and vegetables. – 2020. – C. 33-54.

156. Napier D. R., Combrink N. J. J. Aspects of calcium nutrition to limit plant physiological disorders //V International Pineapple Symposium 702. – 2005. – C. 107-116.

157. Ogura H. 1968. Studies of new male sterility in Japanese radish with special reference to the utilization of sterility towards the practical raising of hybrid seeds. Met. Fac. Agric. Kadoshima Univ. 6. P. 3978.

158. Okazaki K. et al. Mapping and characterization of FLC homologs and QTL analysis of flowering time in *Brassica oleracea* //Theoretical and Applied Genetics. – 2007. – T. 114. – C. 595-608.

159. Ortiz-Monasterio I. et al. Breeding, transformation, and physiological strategies for the development of wheat with high zinc and iron grain concentration //The World Wheat Book, a History of Wheat Breeding; Bonjean, AP, Angus, WJ, Van Ginkel, M., Eds. – 2011. – C. 951-977.

160. Pantoja, O. Recent Advances in the Physiology of Ion Channels in Plants. *Annu. Rev. Plant Biol.* 2021, 72, 463–495.

161. Pramanik K. et al. Impact of temperature: an important climate changing factor on vegetable crops //Agriculture and forestry: current trends, perspectives.

Immortal publications, Vijayawada. – 2020. – C. 105-134.

162. Ramchiary N. et al. Classical breeding and genetic analysis of vegetable Brassicas //Genetics, genomics and breeding of vegetable brassicas. – 2011. – C. 34-80.

163. Saure M. C. Causes of the tipburn disorder in leaves of vegetables //Scientia horticulturae. – 1998. – T. 76. – №. 3-4. – C. 131-147.

164. Sehgal N., Singh S. Progress on deciphering the molecular aspects of cell-to-cell communication in Brassica self-incompatibility response //3 Biotech. – 2018. – T. 8. – №. 8. – C. 347.

165. Shafer, J., Jr., and C. B. Sayre. 1946. Internal breakdown of cabbage as related to nitrogen fertilizer and yield. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci 47:340-342.

166. Sheen T. F. Cabbage seed production in the subtropics – 1982.

167. Shull G. H. What is "heterosis"? //Genetics. – 1948. – T. 33. – №. 5. – C. 439.

168. Shull, G.H. The genotypes of maize / G.H. Shull // Amer. Naturalist. – 1911.–Vol. 45, № 2. – P. 232–252.

169. Simon E. W. The symptoms of calcium deficiency in plants //New phytologist. – 1978. – T. 80. – №. 1. – C. 1-15.

170. Singh S. et al. Current understanding of male sterility systems in vegetable Brassicas and their exploitation in hybrid breeding. Plant Reprod. 2019; 32: 231–256.

171. Singh S. et al. Cytoplasmic male sterile and doubled haploid lines with desirable combining ability enhances the concentration of important antioxidant attributes in Brassica oleracea //Euphytica. – 2018. – T. 214. – C. 1-19.

172. Souri, M.K.; Hatamian, M. Aminocheletes in plant nutrition: A review. *J. Plant Nutr.* 2018, 42, 67–78.

173. Sprague G. F., Tatum L. A. General vs. specific combining ability in single crosses of corn. – 1942.

174. Struckmeyer B. E., Walker J. C. The anatomy of internal tipburn of cabbage //American Journal of Botany. – 1967. – T. 54. – №. 2. – C. 228-231.

175. Takano, T. and M. Sisa. 1964. The effects of salt concentration of culture solution and calcium supplied to the soil on the occurrence of the marginal rot in

Chinese cabbage (*Brassica pekinensis* Rupr.). Jap. Soc. Hort. Sci. J. 33:35-44.

176. Tarca A. L., Carey V. J. Analysis work-flow for the article Targeted expression profiling by RNA-Seq improves detection of cellular dynamics during pregnancy and identifies a role for T cells in term parturition. – 2018.

177. Tkacheva N. White cabbage (lat. *Brassica*) / N. Tkacheva, T. Eliseeva// Journal of Healthy Nutrition and Dietetics. – 2018. – T. 4. – №. 6. – C. 13-23.

178. Tons M. M. World Cabbage Production, 2015-2019.

179. Turan M., Sevimli F. Influence of different nitrogen sources and levels on ion content of cabbage (*Brassica oleracea* var. capitata) //New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science. – 2005. – T. 33. – №. 3. – C. 241-249.

180. Uno Y. et al. Reduction of leaf lettuce tipburn using an indicator cultivar //Scientia Horticulturae. – 2016. – T. 210. – C. 14-18.

181. Van de Geijn S. C., Smeulders F. Diurnal changes in the flux of calcium toward meristems and transpiring leaves in tomato and maize plants //Planta. – 1981. – T.

182. Volf, V.G. Methodical recommendations on application of maths methods for analysis of experimental data on the study of combining ability / V.G. Volf, P.P. Litun. – Kharkov, 1980. – 76p.

183. Walker J. C. Diseases of cabbage and related plants. – US Department of Agriculture, 1958. – №.

184. Wang S. et al. Transcriptome de novo assembly and analysis of differentially expressed genes related to cytoplasmic male sterility in cabbage //Plant physiology and Biochemistry. – 2016. – T. 105. – C. 224-232.

185. Wang W. et al. Transcriptome-wide identification and characterization of circular RNAs in leaves of Chinese cabbage (*Brassica rapa* L. ssp. *pekinensis*) in response to calcium deficiency-induced tip-burn //Scientific reports. – 2019. – T. 9. – №. 1. – C. 14544.

186. Wiebe, H. J., Beziehungen zwischen dem Wasserhaushalt der Pflanzen und dem Auftreten der Innenblattnekrosen bei Weilkohl. Gartenbauwissenschaft 40, 134-138 (197s).

187. Wright S. Genic and organismic selection //Evolution. – 1980. – C. 825-843.
188. Zhang S. et al. Comparative Transcriptome and Co-Expression Network Analyses Reveal the Molecular Mechanism of Calcium-Deficiency-Triggered Tipburn in Chinese Cabbage (*Brassica rapa* L. ssp. *Pekinensis*) //Plants. – 2022. – T. 11. – №. 24. – C. 3555.
189. Zou J. J. et al. Arabidopsis calcium-dependent protein kinase CPK10 functions in abscisic acid-and Ca²⁺-mediated stomatal regulation in response to drought stress //Plant physiology. – 2010. – T. 154. – №. 3. – C. 1232-1243.

ПРИЛОЖЕНИЯ

А1. - Дисперсионный анализ изучаемых генотипов по признаку «средняя масса кочана», 2021 год

Источник изменчивости	Степени свободы	Дисперсия	Fф	Критерий Фишера
Общий	134	0,33	17,79	1,28
Генотипы	44	0,97	52,07	1,48
Повторности	2	0,05	3,50	3,09
Случайные отклонения	88	0,02	-	-

А2. Дисперсионный анализ комбинационной способности по признаку «масса кочана», 2021 год

Источник изменчивости	Степени свободы	Дисперсия	F ф.	F теор.
ОКС	9	0,88	141,91	1,97
СКС	35	0,18	28,97	1,51
Случайные отклонения	88	0,01	-	-

А3. Дисперсионный анализ изучаемых генотипов по признаку «средняя масса кочана», 2022 год

Источник изменчивости	Степени свободы	Дисперсия	Fф.	F теор.
Общий	299	1,99	1572,0	1,19
Генотипы	99	6,01	4745,6	1,32
Повторности	2	0,09	3,56	3,04
Случайные отклонения	198	0,09	-	-

А4. Дисперсионный анализ комбинационной способности по признаку «средняя масса кочана», 2022 год

Источник изменчивости	Степени свободы	Дисперсия	F ф.	F теор
ОКС	9	0,56	1317,1	1,92
СКС	45	0,40	947,03	1,42
РЭ	45	3,89	9229,9	1,42
Случайные отклонения	198	0,01	-	-

А.5 Дисперсионный анализ изучаемых генотипов по признаку «ожог верхушки внутренних листьев кочана», 2021 год

Источник изменчивости	Степени свободы	Дисперсия	Fф.	F теор.
Общий	134	13,88	11,75	1,28
Генотипы	44	39,81	33,70	1,48
Повторности	2	2,17	1,84	3,09
Случайные отклонения	88	1,18	-	-

А6. Дисперсионный анализ комбинационной способности по признаку «ожог верхушки внутренних листьев кочанна», 2021 год

Источник изменчивости	Степени свободы	Дисперсия	Fф.	F теор.
ОКС	9	40,16	101,98	1,97
СКС	35	6,35	16,14	1,51
Случайные отклонения	88	0,39	-	-

А7. Дисперсионный анализ изучаемых генотипов по признаку «ожог верхушки внутренних листьев кочана», 2022 год

Источник изменчивости	Степени свободы	Дисперсия	Fф.	F теор.
Общий	299	433	39,6	1,19
Генотипы	99	1288	117,1	1,32
Повторности	2	11,9	1,09	3,04
Случайные отклонения	198	10,9	НСР ₀₅ =5,38	

А.8 Дисперсионный анализ комбинационной способности по признаку «ожог верхушки внутренних листьев кочана», 2022 год

Источник изменчивости	Степени свободы	Дисперсия	F ф.	F теор.
ОКС	9	663,6	148,2	1,92
СКС	45	198,1	44,2	1,42
РЭ	45	608,2	135,9	1,42
Случайные отклонения	198	4,48	-	

А9. Дисперсионный анализ изучаемых генотипов по признаку «вегетационный период», 2021 год

Источник изменчивости	Степени свободы	Дисперсия	F ф	F теор.
Общий	134	112,5	4,37	1,28
Генотипы	44	286,0	11,1	1,48
Повторности	2	114	4,42	3,09
Случайные отклонения	88	25,7	-	-

А.10 Дисперсионный анализ комбинационной способности по признаку «вегетационный период», 2021 год

Источник изменчивости	Степени свободы	Дисперсия	F ф	F теор.
ОКС	9	196,0	22,8	1,97
СКС	35	69,4	8,08	1,51
Случайные отклонения	88	9	-	-

А.11 Дисперсионный анализ изучаемых генотипов по признаку «вегетационный период», 2022 год

Источник изменчивости	Степени свободы	Дисперсия	F ф	F теор.
Общий	299	6352,0	2787,7	1,19
Генотипы	99	19179,3	8417,3	1,32
Повторности	2	22,42	9,84	3,04
Случайные отклонения	198	2,28	НСР ₀₅ =2,42	

А12. Дисперсионный анализ комбинационной способности по признаку «вегетационный период», 2022 год

Источник изменчивости	Степени свободы	Дисперсия	F ф	F теор.
ОКС	9	799,5	1052,7	1,92
СКС	45	1162,9	1531,1	1,42
РЭ	45	12742,0	16776	1,42
Случайные отклонения	198	0,76	НСР ₀₅ =0,78	

А 13. Варiances и ковариансы признака «средняя масса кочана», 2021 год

Линии	W _r	V _r	W _r +V _r	W _r -V _r
269-824	0.15	0.13	0,02	0,02
тен4270	0.01	0.26	-0,25	-0,25
яс25п	0.04	0.14	-0,1	-0,1
272Бр10	0.06	0.38	-0,32	-0,32
Л79	0.19	0.24	-0,05	-0,05
Бс1ф	0.11	0.39	-0,28	-0,28
Юби122	0.18	0.25	-0,07	-0,07
Агр1321	0.11	0.17	-0,06	-0,06
Агр 82	0.19	0.20	-0,01	-0,01
270 ХН111	0.53	0.34	0,19	0,19

А 14. Варiances и ковариансы признака «средняя масса кочана», 2022 год

Линии	W _r	V _r	W _r +V _r	W _r -V _r
269-824	0,40	0,18	0,58	0,22
тен4270	0,05	0,20	0,25	-0,14
яс25п	0,07	0,15	0,22	-0,08
272Бр10	0,15	0,29	0,43	-0,14
Л79	0,10	0,17	0,28	0,07
Бс1ф	0,06	0,26	0,32	-0,20
Юби122	0,06	0,20	0,26	-0,13
Агр1321	0,09	0,21	0,30	-0,11
Агр 82	0,15	0,26	0,41	-0,11
270 ХН111	0,64	0,37	1,01	0,27

А 15. Варiances и ковариансы признака «ожог верхушки внутренних листьев кочана», 2021 год

Линии	W _r	V _r	W _r +V _r	W _r -V _r
269-824	13,9	104,8	-90,9	-90,9
тен4270	18,4	31,1	-12,7	-12,7
яс25п	36,3	32,8	3,5	3,5
272Бр10	39,6	131,4	-91,8	-91,8
Л79	24,32	147,9	-123,58	-123,58
Бс1ф	43,8	34,6	9,2	9,2
Юби122	61,7	141,4	-79,7	-79,7
Агр1321	30,1	127,7	-97,6	-97,6
Агр 82	2,0	5,6	-3,6	-3,6
270 ХН111	-20,1	187,6	-207,7	-207,7

А 16. Вариансы и ковариансы признака «ожог верхушки внутренних листьев кочана», 2022 год

Линии	W _r	V _r	W _r +V _r	W _r -V _r
269-824	21,1	175,1	196,2	-153,9
тен4270	25,2	73,3	98,5	-48,1
яс25п	33,7	81,3	115,6	-48,2
272Бр10	63,4	180,6	244	-117,2
Л79	30,7	153,3	190,0	-128,
Бс1ф	61,3	87,8	149,4	-26,2
Юби122	71,9	156,8	228,7	-84,9
Агр1321	78,8	215,5	294,5	-136,8
Агр 82	5,8	4,09	9,89	1,71
270 ХН111	-24,6	149,4	124,7	-174,0

В 1. Двухфакторный дисперсионный анализ по изучению действия различных доз Удобрений на массу кочана гибридов F₁, 2021 год

Дисперсия	Сумма квадратов	Степени свободы	Средний квадрат	F _ф	F ₀₅
Общая	12,13	44			
Гибриды А	6,6	2	3,3	96,11	3,32
Фоны В	1,49	4	0,37	5,42	2,69
Взаимодейств ия АВ	1,98	8	0,24	3,60	2,27
остаток (ошибки)	2,06	30	0,068		
НСР ₀₅ =0,25					

В2. Двухфакторный дисперсионный анализ по изучению действия различных доз удобрений на массу кочана гибридов F₁, 2022 год

Дисперсия	Сумма квадратов	Степени свободы	Средний квадрат	F _ф	F ₀₅
Общая	8,61	44			
Гибриды А	6,901	2	3,4506	1194,2	3,31
Фоны В	0,867	4	0,2167	75,0	2,68
Взаимодействие АВ	0,758	8	0,0947	32,7	2,266
остаток (ошибки)	0,086	30	0,0028	-	-
при F > F ₀₅ НСР ₀₅ = 0,25 ; НСР ₀₅ А = 0,21; НСР ₀₅ В = 0,16					

В 3. Двухфакторный дисперсионный анализ по изучению действия различных доз удобрений на устойчивость к ожогу внутренних листьев кочана гибридов F₁, 2021 г.

Дисперсия	Сумма квадратов	Степени свободы	Средний квадрат	F _ф	F ₀₅
Общая	1635,73	44			
Гибриды А	767,28	2	383,64	5560	3,32
Фоны В	81,83	4	20,4575	296,4855	2,69
Взаимодействие АВ	348,88	8	43,61	632,029	2,27
НСР ₀₅ = 0,25					

В 4. Двухфакторный дисперсионный анализ по изучению действия различных доз азота на устойчивость к ожогу внутренних листьев кочана гибридов F₁, 2022

Дисперсия	Сумма квадратов	Степени свободы	Средний квадрат	F _ф	F ₀₅
Общая	31630,01	44			
Гибриды А	22238,0	2	11119,04	2658,69	3,31
Фоны В	6197,2	4	1549,3	370,04	2,68
Взаимодействия АВ	3069	8	383,6	91,7	2,27
остаток (ошибки)	125,4	30	4,18		
при F > F ₀₅ НСР ₀₅ = 3,4; НСР ₀₅ А = 4,00; НСР ₀₅ В = 3,10					

В 5. Двухфакторный дисперсионный анализ по изучению действия различных доз азота на продолжительность вегетационного периода гибридов F₁, 2021 год

Дисперсия	Сумма квадратов	Степени свободы	Средний квадрат	Fф	F ₀₅
Общая	4068,8	44			
Гибриды А	3458,8	2	1729,4	25063,7	3,32
Фоны В	193,91	4	48,4775	702,57	2,69
Взаимодействие АВ	378,42	8	47,3025	685,54	2,27
остаток (ошибки)	37,67	30	0,069	-	-
НСР ₀₅ =1,08					

В6. Двухфакторный дисперсионный анализ по изучению действия различных доз азота на продолжительность вегетационного периода гибридов F₁ 2022 год

Дисперсия	Сумма квадратов	Степени свободы	Средний квадрат	Fф	F ₀₅
Общая	20111,1	44	-	-	-
Гибриды А	19680,5	2	9840,2	5983,9	97,8
Фоны В	272,8	4	68,2	41,4	1,35
Взаимодействие АВ	108,3	8	13,5	8,23	0,53
остаток (ошибки)	49,3	30	1,64		
НСР ₀₅ =1,04; НСР ₀₅ А=1,57; НСР ₀₅ В=1,21					

Приложение В 7 – Изучаемые гибриды с различной степенью восприимчивости к ожогу верхушки внутренних листьев кочана

