

Оригинальная статья / Original article

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-5-52-58>
УДК 635.342:631.524.85

Н.В. Полякова*

Федеральное государственное бюджетное
научное учреждение
«Федеральный научный центр риса»
350921, Россия, г. Краснодар,
п. Белозерный, д.3

*Автор для переписки: nelshul1994@gmail.com

Конфликт интересов. Автор подтверждает
отсутствие конфликта интересов при написа-
нии данной работы.

Вклад авторов: Н.В. Полякова: оценка селек-
ционного материала, изучение комбинацион-
ной способности линий и принципа подбора
родительских пар для создания высокотолер-
антных гибридов. Анализ полученных резуль-
татов, статистическая обработка данных.

Для цитирования: Полякова Н.В. Подбор роди-
тельских пар при получении гибридов F₁ капу-
сты белокочанной с устойчивостью к ожогу
верхушки внутренних листьев кочана. *Овощи
России*. 2024;(5):52-58.

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-5-52-58>

Поступила в редакцию: 24.07.2024

Принята к печати: 11.09.2024

Опубликована: 27.09.2024

Nellie V. Polyakova*

Federal State Budgetary Scientific Institution
«Federal Scientific Rice Centre»
3, Belozerny, Krasnodar, 350921, Russia

Corresponding Author: nelshul1994@gmail.com

Conflict of interest. The author declare that there
are no conflicts of interest.

Authors' Contribution: N.V. Polyakova: assessment
of breeding material, study of the combina-tive
ability of lines and the principle of selection of
parental pairs to create highly tolerant hybrids.
Analysis of the results obtained, statistical data
processing.

For citation: Polyakova N.V. Selection of parental
pairs when obtaining F₁ hybrids of white cab-bage
with resistance to the tip burn of the inner leaves.
Vegetable crops of Russia. 2024;(5):52-58. (In
Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-5-52-58>

Received: 24.07.2024

Accepted for publication: 11.09.2024

Published: 27.09.2024

Подбор родительских пар при получении гибридов F₁ капусты белокочанной с устойчивостью к ожогу верхушки внутренних листьев кочана

Check for updates



РЕЗЮМЕ

Актуальность. Капуста белокочанная в процессе формирования кочанов в определенных условиях повреждается ожогом верхушки внутренних листьев кочана, который за рубежом получил устойчивое название «tip burn». Данное нарушение трактуется как физиологическое или неинфекционное заболевание, причина которого заключается в нарушении поступления кальция. Заболевание проявляется внутри кочана, являясь результатом взаимодействия стресс- факторов внешней среды и предрасположенности генотипа. Самым эффективным способом борьбы с данным расстройством является создание высокотолерантных гибридов. Особенно это актуально для юга России, где стрессовая нагрузка на растения максимальна. **Цель исследований** – разработать принцип подбора родительских пар для создания устойчи-вых гибридов к ожогу верхушки внутренних листьев кочана, выделить перспективные гибриды.

Материалы и методы. В 2021-2022 годах в ФГБНУ «ФНЦ риса» в отделе овощеводства в поле-вых условиях проведена оценка 45 гибридных комбинаций полученных на основе 10 инбред-ных линий по признаку «повреждение ожогом внутренних листьев кочана». Проведен анализ комбинационной способности линий по Гриффингу, и анализ наследования признака по Хейману. В 2023 году проведено конкурсное испытание перспективных гибридов.

Результаты. Отрицательно стабильную ОКС по поражению ожогом в оба года исследований имели 5 линий: Ген4270, Яс25п, Бс1ф, Агр 82, 270Хн111. СКС линий в большей степени подвер-жена изменениям по годам. Эффекты СКС в гибридах за счет доминирования, эпистаза и сверхдоминирования в отдельных комбинациях значительно влияют на проявление признака в сторону уменьшения или усиления. Принцип подбора родительских пар для создания устойчи-вых гибридов построен на комбинации линий с отрицательным значением ОКС, в отдель-ных случаях допустимо включать одну линию со средней ОКС и низкой СКС. Анализ генетиче-ских параметров по Хейману подтверждает факт превалирования неаддитивного наследова-ния признака поражения, в неустойчивых формах расстройство контролируется доминантны-ми полигенами и является высоконаследуемым.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

капуста белокочанная, ожог внутренних листьев кочана, некроз, гибрид, линия, устойчивость

Selection of parental pairs when obtaining F₁ hybrids of white cabbage with resistance to the tip burn of the inner leaves

ABSTRACT

Relevance. During the formation of cabbage heads, under certain conditions, white cabbage is dam-aged by a burn of the top of the inner leaves of the head, which abroad received the stable name “tip burn”. This disorder is interpreted as a physiological or non-infectious disease, the cause of which is a violation of calcium intake. The disease manifests itself inside the cabbage head, resulting from the interaction of environmental stress factors and the predisposed genotype. The most effective way to combat this disorder is to develop highly tolerant hybrids. This is especially true for the south of Russia, where the stress load on plants is maximum.

Purpose of the study – to develop a principle for selecting parental pairs for developing hybrids that are resistant to the tip burn of the inner leaves of a cabbage head, and to identify promising hybrids.

Materials and methods. In 2021-2022 in FSBSI “Federal Scientific Rice Centre”, in the department of vegetable growing, 45 hybrid combinations obtained on the basis of 10 inbred lines were assessed under field conditions for the trait “burn damage to the inner leaves of the cabbage head.” An analy-sis of the combining ability of lines according to Griffin, and an analysis of the inheritance of the trait according to Heiman were carried out. In 2023, a competitive test of promising hybrids was carried out.

Results. In both years of research, 5 lines had negatively stable TCA for burn damage: Ten4270, Yas25p, Bs1f, Agr 82, 270Hn111. SCA of lines is more subject to changes from year to year. The effects of SCA in hybrids due to dominance, epistasis and overdominance in individual combinations significantly influence the manifestation of the trait in the direction of decrease or increase. The prin-ciple of selecting parental pairs to develop stable hybrids is based on a combination of lines with a negative SCA value; in some cases, it is permissible to include one line with an average SCA and low SCA. Analysis of genetic parameters according to Heiman confirms the prevalence of non-additive inheritance of the lesion; in unstable forms, the disorder is controlled by dominant polygenes and is highly heritable.

KEYWORDS:

white cabbage, tip burn of the inner leaves, necrosis, hybrid, line, resistance

Введение

Производство капусты является важной и стратегически значимой отраслью сельского хозяйства в России, занимающей более 30% всей площади, выделенной под выращивание овощей. В мировой селекции капусты белокочанной большое внимание уделяется вопросу совмещения в одном генотипе хозяйственно-важных признаков и устойчивости к абиотическим и биотическим факторам. Главные требования, предъявляемые к F₁ гибридам это: отличный товарный вид кочанов при соответствующих вкусовых качествах, высокая стабильность урожая, морфологическая выравненность, устойчивость к основным заболеваниям, толерантность к вредителям, высокая лежкость при хранении [1,2].

На территории Краснодарского края возделывание капусты белокочанной ведется в условиях высоких температур, превышающие оптимум (25°C), недостаточной влажности воздуха, сопровождающиеся частыми порывами горячего ветра в период высокой солнечной инсоляции.

Апогей солнечной активности и отсутствие осадков на Кубани приходится на период с июля по сентябрь, что способствует перегреву листового аппарата растений капусты и вводит растения в стресс, в результате отрицательно воздействуя на обменные процессы в метаболизме растений, провоцируя заболевания, задержку в развитии и росте. Повышение урожайности, адаптивных свойств и качества капусты белокочанной при выращивании в неблагоприятных условиях возделывания, возможно в результате выращивания новых гетерозисных гибридов [3].

Селекционная работа по созданию гибридов для южного региона на первых этапах включает выделение перспективного исходного материала (F₁-F₂ гибриды, индивидуальные отборы в сортовых популяциях), отвечающего требованиям по хозяйственно ценным признакам, ген источникам по устойчивости к патогенам, устойчивости к стрессам. Дальнейшее создание чистых гомозиготных линий ценных по морфологическим и хозяйственно-ценным признакам базируется на определении комбинационной способности линейного материала по важным для селекционера признакам [4]. Наиболее опасным и распространенным заболеванием физиологического характера на капусте является ожог верхушки внутренних листьев кочана, которое за рубежом среди аграриев получило устойчивый термин «tip burn». В последние годы голландские производители капусты отметили, что это заболевание становится все более распространенным среди белокочанной и краснокочанной капусты. Выращивание восприимчивого сорта к tip burn представляет большую опасность для производителей в связи с большим процентом неликвидных кочанов, диагностировать которые предоставляется возможным только при разрезе, а значит подвергает дискредитации как оригинатора гибрида, так и товаропроизводителя.

Внутренний ожог листьев кочана представляет собой некроз клеток, разрушение которых является результатом увеличения проницаемости клеточной мембраны, что в последствии приводит к смешиванию содержимого клеток и разрушению клеточной структуры. Первоначально такой каскад процессов незаметен,

и диагностировать его невозможно [5]. Заболевание развивается скрыто и когда симптомы внутреннего ожога становятся видимыми, многие этапы разрушения уже произошли и восстановление ткани при дефиците кальция, превышающем критический временной период, невозможно [6]. Не раз сообщалось об ограниченной доступности кальция в почве и пассивном его распределении в надземные части растения. Локализованный дефицит кальция вызван не недостаточной доступностью кальция в почве, а внутренним нарушением в распределении кальция в органах растения [7]. Поскольку кальций почти исключительно транспортируется в ксилеме, количество кальция, достигающее быстро растущих тканей кочана капусты, вероятно, связано с количеством воды, поступающей в кочан через ксилему [8].

В виду того, что заболевание имеет широкое распространение во многих широтах возделывания капусты белокочанной, были установлены различные причины вызывающие внутренний ожог.

Наиболее частые случаи дефицита кальция установлены при резком изменении pH почвы, водного и солевого стресса, а также при низком уровне кальция в почве или дисбалансе питательных элементов в ней. Затрудняют усвоение питательных элементов, из-за ограничения роста корней, неблагоприятные анаэробные условия почвы. Помимо этого, капуста чувствительна, как к переувлажнению, так и дефициту почвенной влаги [9]. Нарушение транспорта питательных веществ в растении капусты, в частности кальция, отмечалось не раз при низком уровне воздушной влажности из-за интенсивного испарения. Также в условиях влажного климата заболевание имеет свойство проявляться в кочанах в связи с замедлением транспирации. Влияние высоких температур как провоцирующего заболевание фактора обусловлено концентрацией кальция во внешних листьях и дефицитом во внутренних.

Сообщается, что при интенсивном наборе массы кочаном развивающиеся листья испытывают нехватку макроэлемента при ускоренных темпах роста.

Пораженные ткани растений являются благоприятной средой для инфицирования и развития вторичных заболеваний.

Различная реакция генотипов среднеспелой и позднеспелой капусты белокочанной подтверждает значимость генетического контроля заболевания и имеет свое отражение во многих исследованиях зарубежных ученых. Первые исследования по идентификации типа устойчивости к внутреннему ожогу листьев на линиях капусты белокочанной были предприняты Диксоном более 40 лет назад. Позже учеными были установлены генотипы с различной степенью устойчивости и восприимчивости [10, 11]. На сегодняшний день молекулярные методы позволили определить гены-кандидаты устойчивости к «tip burn», а также установить корреляцию между экспрессией генов и содержанием кальция и калия в растениях капусты. Ученые смогли идентифицировать локусы количественных признаков, влияющих на устойчивость к ожогу верхушки внутренних листьев кочана на салате [12].

В виду того что, внутренний ожог листьев является сложным физиологическим заболеванием, которое

может возникнуть при различных условиях неблагоприятных для растений капусты, изучение характера наследования, а также способов снижения риска развития продолжается до настоящего времени. Ученые сходятся во мнении, что наиболее эффективным способом контроля заболевания на посадках разных представителей семейства Brassicaceae является выращивание устойчивых гибридов F₁.

Предполагается, что вероятность возникновения таких нарушений значительно возрастает на территории южных регионов, где климатические условия летом и в начале осени не соответствуют требованиям капусты белокочанной [13].

Цель исследований – разработать принцип подбора родительских пар для создания устойчивых гибридов к ожогу верхушки внутренних листьев кочана (tip burn).

Методика и условия проведения исследований

В качестве материала исследований было взято 10 инбредных родительских линий среднепозднего и позднего сроков созревания селекции отдела овощеводства ФГБНУ «ФНЦ риса». На их основе в системе неполных диаллельных скрещиваний получено 45 гибридов F₁ для изучения общей (ОКС) и специфической (СКС) комбинационной способности.

Питомник для изучения общей и специфической комбинационной способностей был заложен на базе отдела овощеводства ФГБНУ «ФНЦ риса» в 2021-2022 годах. Конкурсное испытание перспективных образцов проводилось в 2023 году. Способ орошения – капельный полив. Рассадку выращивали в кассете №96 в открытом грунте. Посев в кассеты – 6-7 мая. Высадка в поле в фазе 5 листьев – во второй декаде 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. Удобрения вносили под сплошную культивацию и в борозды непосредственно перед высадкой рассады.

Оценка на комбинационную способность проводилась на высоком агрофоне с внесением повышенных доз удобрений под сплошную культивацию и в борозды непосредственно перед высадкой рассады по д.в. N₁₈₀P₁₈₀K₁₈₀, а также двукратной подкормкой аммиачной селитрой по д.в. N60 в период начала формирования кочана.

Общие дозы удобрений в 2023 году по д.в. следующие: N₁₂₀P₁₂₀K₁₂₀.

Агротехника выращивания в годы испытаний проводилась согласно рекомендациям по выращиванию капусты белокочанной в условиях Кубани. Уборка проводилась – в 3 декаде октября – 1 декаде ноября. Учет поражением внутренним ожогом проводили на 10 кочанах. Дифференциация степени развития заболевания проводилась путем замера степени поражения на разрезе, в сантиметрах с последующим соотношением к диаметру кочана в процентном выражении.

В первый и во второй годы исследований (2021–2022) температурные условия были схожи среднедекадная температура в первый период была экстремально высокой и варьировалась в пределах 23,2...29,2°C, низкая влажность воздуха отмечалась во 2 и 3 декадах июля в 2021 году. 2023 год отличался экстремальными температурами на уровне – 25,8...29,3°C

– в первый и во второй период вегетации растений – вплоть до 3-й декады сентября (22,7...28,1°C). В 2021 году сентябрь оказался благоприятным для формирования кочанов по температуре и влажности воздуха, во второй и третий годы данный месяц был засушливым, что в сочетании с высокой температурой и отсутствием осадков задержало развитие кочанов.

Анализ комбинационной способности родительских линий выполняли по В. Griffing [14]. Генетический анализ диаллельной схемы выполняли по методу В.И. Науман [15]. Статистическая обработка результатов данных проводилась методом дисперсионного анализа, используя пакет прикладных программ Microsoft Excel 2010.

Результаты исследований

Инбредные линии капусты белокочанной подвержены депрессии, в том числе, по продуктивному органу. Отдельные линии даже не формируют кочан, поэтому оценить линию по такому признаку, как ожог внутренних листьев кочана, не представляется возможным. В селекционной работе на устойчивость к внутреннему ожогу на капусте белокочанной наиболее эффективным оценочным критерием является изучение родительских инбредных линий капусты белокочанной на комбинационную способность.

Согласно результатам исследований, в 2021 году развитие ожога внутренних листьев кочана у гибридов F₁ находилось в пределах от 1,5 до 82,3%, а в 2022 году – 1,0 до 82,1% (табл. 1). В первый год исследований на уровне устойчивого стандарта F₁ Доминанта (1,5%) были 13 гибридов, развитие ожога у которых не превышало 2,5%. В число высокоустойчивых образцов с поражением кочанов до 10% вошли 25 гибридов F₁. В менее благоприятный год поражение до 10% наблюдалось по 20 образцам, в том числе, на уровне стандарта Доминанта (2,0%) выделено 12 комбинаций. Условия засушливого и неблагоприятного 2022 года спровоцировали увеличения зоны поражения на 16,5–37,1% в шести гибридах, полученных на основе линий 269-824, Agr1321, 272 Бр10.

Из таблиц 1, 2 следует, что отрицательно стабильную ОКС по поражению ожогом в оба года исследований имели 5 линий: Тен4270, Яс25п, Бс1ф, Agr 82, 270Хн111. Стоит отметить, что наибольшее количество гибридов с минимальной степенью развития заболевания получено в сочетании с данными линиями. Лежкая линия Юби122 балансирует по ОКС – от среднего значения до низкого. Стабильно положительными значениями эффектов ОКС характеризовались 4 линии: 269-824, Agr1321, 272 Бр10, Л79.

Как известно, в отличие от ОКС, варианты СКС менее стабильны и более подвержены влиянию внешних условий. Данные СКС за 2 года подтверждают это положение – в частности, 4 линии: Л79, Тен4270, 272 Бр10, 270Хн111 показали наибольшие различия, остальные – наиболее стабильны. Наиболее низкие значения вариантов СКС по 2-м годам характерны для линий Яс25п, Agr 82, Бс1ф, что также указывает на их более высокую стабильность в комбинациях. У четырех линий 269-824, Л79, Agr1321, 272Бр10 варианты СКС имеют максимальные значения как в 2021 году (от 48,2 до 110), так и во второй год исследований (от 84,3 до 111). Исключение представляла собой линия 270

Таблица 1. Значения эффектов ОКС и варианс СКС по признаку поражения внутренним ожогом листьев кочана в течение двух лет исследований, %, 2021–2022 годы
Table 1. Values of the effects of GKA and SCA variance for the sign of damage by internal burn of cabbage leaves during two years of research, %, 2021–2022

♀	269-824	Тен4270	Яс25п	272Бр10	Л79	Бс1ф	Юби122	Агр1321	Агр 82	270 ХН111
♂	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2021 год										
1	-									
2	24,5	-								
3	35,0	4,43	-							
4	55,0	29,6	6,83	-						
5	43,6	25,3	22,0	49,5	-					
6	38,8	3,17	2,0	3,90	1,83	-				
7	65,6	6,77	2,5	4,10	22,3	2,4	-			
8	45,03	2,80	4,4	53,3	30,6	10,1	47,3	-		
9	5,13	2,47	2,0	2,50	16,3	1,50	3,3	2,37	-	
10	2,40	9,2	2,5	9,00	82,3	2,37	1,8	49,3	2,0	-
g OKC	9,25	-3,55	-5,01	3,54	5,73	-5,81	0,56	3,30	-7,20	-0,82
S SKC	80,4	14,9	12,9	48,2	110	22,5	58,8	64,3	18,2	163
2022 год										
1	-									
2	30,1	-								
3	37,4	7,5	-							
4	72,7	41,5	42,6	-						
5	45,5	44,1	30,1	26,3	-					
6	49,7	2,2	2,7	42,9	2,3	-				
7	64,2	6,7	1,2	45,9	25,5	1,1	-			
8	82,1	2,5	32,0	69,8	51,6	18,6	52,4	-		
9	6,8	1,2	1,6	2,8	13,5	1,0	3,1	1,3	-	
10	2,5	13,8	3,3	17,5	75,8	3,2	1,2	43,0	1,7	-
g OKC	11,1	-3,9	-3,1	5,5	3,4	-5,2	-1,3	6,3	-9,7	-3,1
S SKC	104	47,1	20,5	111	164	34,3	47,5	84,3	26,8	14,4

2021 год – $HCP_{05}(x)=3,96$; $HCP_{05}(OKC) = 1,37$; $HCP_{05}(SKC) = 0,88$, St. Доминанта – 1,5%
2022 год – $HCP_{05}(x)= 5,3$; $HCP_{05}(OKC) = 1,73$; $HCP_{05}(SKC) = 0,76$, St. Доминанта – 2,0 %

ХН111, которая имела отрицательные значения по общей комбинационной способности в оба года исследований (-0,82% и -3,1%), в то время как по специфической комбинационной способности варианты сильно резко отличалась по годам (163 и 14,4).

На основании полученных результатов по комбинационной способности, значение эффектов и вари-

анс комбинационной способности были ранжированы на три категории - от низкого до высокого, что позволит наглядно оценить комбинации на устойчивость по вкладу ОКС и СКС (табл. 2).

Низкие значения соответствовали эффектам от -7,2 до -0,82 в 2021 году и от -9,7 до -3,9 в 2022 году; средние значения равны 0,56 в первый год, а во второй год

Таблица 2. Ранжирования линий на основании значений ОКС и СКС, 2021-2022 годы
Table 2. Line rankings based on OKS and SKS values, 2021-2022

Значения ОКС		Значения СКС		Ранжирование
2021	2022	2021	2022	
(-7,2)-(-0,82)	(-9,7)-(-3,9)	12,9-22,5	14,4-34,3	Низкое
0,56	3,1-3,4	48,2-64,3	47,1-47,5	Среднее
3,3-9,5	5,5-11,1	80,4 -163	104-164	Высокое

Таблица 3. Результаты оценки ОКС и СКС линий гибридов капусты белокачанной у гибридов с разной степенью поражения внутренним ожогом, 2021-2022 годы
Table 3. Results of the assessment of the OKS and SCS of white cabbage hybrid lines in hybrids with different degrees of damage by internal burn, 2021-2022

Гибрид F ₁	Поражение заболеванием, %		ОКС 2021 год ¹		СКС 2021 год ²		ОКС 2022 год ³		СКС 2022 год ⁴	
	2021 год	2022 год	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂
Поражение до 10%										
Агр 82 x 270 Хн111	2,0	1,7	Н	Н	Н	В	Н	С	Н	Н
Тен4270хБс1ф	3,2	2,2	Н	Н	Н	Н	Н	Н	С	Н
Тен4270 x Яс25п	4,4	7,5	Н	Н	Н	Н	Н	С	С	Н
Поражение от 10,1 до 25,0 %										
Л79 x Агр 82	16,3	17,0	В	Н	В	Н	С	Н	В	Н
Яс25п x 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 x 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 x Юби122	65,6	64,2	В	С	В	С	В	С	В	С
269-824 x272Бр10	55,5	72,7	В	В	С	В	В	В	В	В

находились примерно в одном пределе 3,1 – 3,4. Высокие эффекты по ОКС характерны для линий со значениями в пределах от 3,3 до 11.1 в зависимости от года.

В таблице 3 представлены гибриды, разделенные на группы по степени поражения и вклады ОКС и СКС в проявление признака. Как показали результаты по оценке комбинационной способности, проявление признака в одних комбинациях происходит за счет вкладов ОКС, с другой стороны, у значительной доли гибридов вклад СКС линий способен значительно повлиять на проявление признака в сторону уменьшения или увеличения.

В высоко толерантной группе с поражением 2,0-7,5 % очень слабое поражение детерминировалось низкой ОКС обоих родителей или сочетанием низкой ОКС одного из родителей со средней ОКС и низкой вариан-сой СКС второго родителя.

Во второй группе с поражением до 25% один из

родителей имеет низкую ОКС и СКС по поражению, по второму родителю возможны вариации. Надо отметить, что такая же тенденция сохраняется у гибридов с поражением 24,5 и 29,6 % - из 3-й группы. При поражении от 30% до 50% и более, что не допустимо для гибридов, создаваемых для выращивания в южной зоне, одна или обе линии имеют высокую ОКС по поражению, по СКС возможны вариации от низкой до высокой, т.е в гибридах восприимчивых к ожогу проявление признака детерминируется в большей степени аддитивными эффектами генов.

Дисперсионный анализ методом Хеймана позволяет дать определение механизмам генетического контроля признака поражения tip burn на основании диаллельной схемы. А также выявить характер наследования признака поражения ожогом внутренних листьев кочана в рамках значений полученных в условиях Краснодарского края на представленных линиях (табл. 4).

Таблица 4. Компоненты генетической дисперсии по признаку поражения внутренним ожогом листьев кочана линий, 2021-2022 годы
Table 4. Components of genetic variance for damage by internal leaf burn of cabbage heads of lines, 2021-2022

Генетические компоненты	Значение		Генетические компоненты	значение	
	2021 год	2022 год		2021 год	2022 год
E	0,46	1,10	H1/D	2,07	1,60
D	968,2	637,5	$\sqrt{(H_1/D)}$	1,44	1,27
H ₁	2002,5	1021,4	$\frac{1}{2} \times F/V (D \times (H_1 - H_2))$	0,83	0,87
H ₂	1151,5	638,6	H ₂ /4H ₁	0,14	0,16
F	1509,4	854,6	h ₂	1825,5	536,5

Анализ генетических параметров по Хейману позволяет отметить ряд закономерностей. Существенно значимые показатели компонентов доминирования (H_1 , H_2), по абсолютной величине превышают значения компонента D , характеризующего аддитивное действие генов по признаку поражения верхушки внутренних листьев кочана растений капусты белокочанной. В системе генетического контроля степени развития «tip burn» превалируют неаддитивные гены, о чем свидетельствует компонент H_1 (200,5 и 1021,4), который имеет значение больше, чем D , как в первый, так и во второй год.

В детерминации признака имеет место внутрилокусное сверхдоминирование, что подтверждается параметром $H_1/D > 1$, а между локусами отмечено неаллельное взаимодействие типа комплементарного эпистаза. Полученные данные показывают, что значения H_1 и H_2 неравны, следовательно, доминантные и рецессивные определяющие признак аллели распределены между родительскими линиями асимметрично, что подтверждается отношением $H_2/4H_1$ (0,14 и 0,16). Так как $H_2/4H_1$ меньше теоретического значения (0,25) это указывает на неравномерное распределение аллелей с положительными и отрицательными эффектами.

Средняя степень доминирования ($\sqrt{(H_1/D)}$) больше 1 и в зависимости от года равна 1,44 и 1,27, что обуславливает наличие гетерозисного эффекта по данному признаку. Помимо этого, проявление признака в неустойчивых формах контролируется доминантными полигенами и является высоконаследуемым.

Отношение h_2/H_2 приблизительно равно 1,6, что указывает на то, что, по крайней мере, один ген или блок генов проявляют доминирование. Значение компонента F положительно и указывает

на преобладание числа доминантных аллелей над рецессивными.

Средняя степень доминирования в разных локусах различна в связи со значением компонента $\frac{1}{2} \times F/V$ ($D \times (H_1 - H_2)$), которое не равно 1, но близко по значению (0,83).

Таким образом, при подборе пар скрещивания необходимо учитывать, что проявление ожога в неустойчивых формах контролируется доминантными полигенами и является высоконаследуемым и, что в системе генетического контроля степени развития «tip burn» превалируют неаддитивные гены. Поэтому, необходимо при подборе пар для получения гибридов с минимальным поражением, необходимо отбирать линии с максимальным количеством рецессивных аллелей, что соответствует, как правило, низким значениям ОКС и СКС по признаку.

В 2023 году в конкурсное испытание были включены выделившиеся по комплексу признаков гибриды, полученные с участием линий с низкими ОКС по ожогу верхушки внутренних листьев кочана. В качестве стандарта был взят распространенный на юге иностранный гибрид F_1 Агрессор. По вегетационному периоду (количество дней от высадки рассады до массовой технической спелости) 3 перспективных комбинации относятся к среднепоздней группе, как и стандарт Агрессор F_1 . У остальных комбинаций продолжительность вегетационного периода составила 138 - 140 дней (табл. 5).

Существенная прибавка к стандарту по общей урожайности в размере от 13,4 до 71,3 % отмечается у гибридов F_1 (Агр82 $\times$ 270Хн111) и F_1 (Яс25п2-х Хн270-111). Остальные комбинации показали результаты на уровне стандарта. Стоит отметить, что выход товарной продукции у лучших по урожай-

Таблица 5. Характеристика выделившихся гибридов белокочанной капусты среднепозднего-позднего сроков созревания по хозяйственно ценным признакам, 2023 год

Table 5. Characteristics of the selected hybrids of white cabbage of mid-late-late ripening periods according to economically valuable traits, 2023

№№	Название гибрида	Вегетационный период	Общая урожайность, т/га	Товарность, %	Прибавка к стандарту, %	Проявление tip burn, %
215	Бс1ф $\times$ Юби122	140	59,7	95,0	-11,0	0
217	Агр82 $\times$ 270Хн111	119	76,1	93,0	13,4	0
218	Бс1ф $\times$ 270Хн111	138	62,8	96,3	-6,4	0
220	Тен4270-1а $\times$ Бс1ф	141	68,4	95,0	-1,9	0
221	Яс25п $\times$ Хн270-111	112	115,0	85,0	71,3	0
222	Бс1ф $\times$ Агр82	119	73,6	95,0	9,6	0
St	Агрессор	119	67,1	90,1	-	0
HCP ₀₅					11,8 %	

ности комбинаций составил 93,0 и 85 %. Проявления заболевания «tip burn» в изучаемых гибридах не было обнаружено.

По комплексу хозяйственно- ценных признаков и устойчивости к заболеванию выделено 2 среднепоздних гибрида лежкого плана (№№ 217, 222). Образец (Яс25п2 × Хн270-111), универсального назначения показал самую высокую урожайность– 115,0 т/га.

Выводы

В виду того, что внутренний ожог листьев является высоко наследуемым физиологическим расстройством и в большинстве восприимчивых комбинаций имеет характер сверхдоминирования

и эпистаза, стоит уделять особое внимание генетическому контролю в подборе генотипов. Наиболее эффективным методом отбора устойчивых форм для создания гетерозисных гибридов F₁, является оценка на общую и специфическую комбинационную способность с последующим строгим ранжированием по значениям эффектов и вариантов. В качестве родительских пар для получения высоко толерантных гибридов следует особое внимание уделять линиям с низкими эффектами по ОКС обоих родителей или можно включать линии со средней ОКС и низкой СКС. При этом, используя различные тестеры по устойчивости, достаточно провести оценку ОКС тестируемых линий на высоком фоне по питанию.

• Литература

1. Королева С.В., Шуляк Н.Г. Проявление ожога верхушки внутренних листьев кочана на гибридах белокочанной капусты среднепозднего и позднего сроков созревания. *Овощи России*. 2020;(4):84-87. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2020-4-84-87>
<https://elibrary.ru/eyaaab>
2. Королева С.В., Дякунчик С.А., Юрченко С.А. Создание гибридов F₁ капусты белокочанной с комплексной устойчивостью на юге России. *Овощи России*. 2019;(4):16-20.
<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2019-4-16-20>
<https://elibrary.ru/ztsxlm>
3. Королева С.В. Конвейер капусты для юга. *Картофель и овощи*. 2013;(7):17. <https://elibrary.ru/rhawot>
4. Шпак Л.И., Драмачук А.Л. Оценка по комплексу признаков поздних перспективных гибридных комбинаций капусты белокочанной. *Вестник*. 2018. С. 131. <https://elibrary.ru/eeecvtu>
5. Maruo T., Tipburn Johkan M. Plant Factory. Academic Press, 2020. С. 231-234. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816691-8.00015-7>
6. Aloni B. Enhancement of leaf tipburn by restricting root growth in Chinese cabbage plants. *Journal of horticultural science*. 1986;61(4):509-513. <https://doi.org/10.1007/s00425-002-0937-8>
7. Yuan J. et al. Identification of genes related to tipburn resistance in Chinese cabbage and preliminary exploration of its molecular mechanism. *BMC plant biology*. 2021;(21):1-12.
<https://doi.org/10.1186/s12870-021-03303-z>
8. Kuronuma T. et al. Tipburn severity and calcium distribution in *lisanthus* (*Eustoma Grandiflorum* (Raf.) Shinn.) cultivars under different relative air humidity conditions. *Agronomy*. 2018;8(10):218. <https://doi.org/10.1186/s12870-021-03303-z>
9. Kim K.D. et al. Tipburn occurrence according to soil moisture, calcium deficiency, and day/night relative humidity regime in Highland Kimchi Cabbage. 2021.
<https://doi.org/10.7235/hort.20210065>
10. Okazaki K., Sakamoto K., Kikuchi R., Saito A., Togashi E., Kuginuki Y., Matsumoto S., Hirai M. Mapping and characterization of FLC homologs and QTL analysis of flowering time in *Brassica oler-*

- acea*. *Theoretical and Applied Genetics*. 2007;(114):595-608.
<https://doi.org/10.1007/s00122-006-0460-6>
11. Wang Sh., Wang Ch., Zhang X.-X., Chen X., Liu J.-J., Jia X.-F., Jia S.-Q. Transcriptome de novo assembly and analysis of differentially expressed genes related to cytoplasmic male sterility in cabbage. *Plant physiology and Biochemistry*. 2016;(105):224-232.
<https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2016.04.027>
12. Su T. et al. Natural variation in a calreticulin gene causes reduced resistance to Ca²⁺ deficiency-induced tipburn in Chinese cabbage (*Brassica rapa* ssp. *pekinensis*). *Plant, Cell & Environment*. 2019;42(11):3044-3060. <https://doi.org/10.1111/pce.13612>
13. Kuronuma T., Watanabe H. Identification of the causative genes of calcium deficiency disorders in horticulture crops: A systematic review. *Agriculture*. 2021;11(10):906.
<https://doi.org/10.3390/agriculture11100906>
14. Griffing B. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. *Australian Journal of Biological Sciences*. 1956;9(4):463.
15. Hayman B.I. The analysis of variance of diallel tables. *Biometrics*. 1954;10(2):235-244.

• References (In Russ.)

1. Koroleva S.V., Shulyak N.B. Manifestation of tip burn on white cabbage hybrids of medium-late and late maturation. *Vegetable crops of Russia*. 2020;(4):84-87. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2020-4-84-87> <https://elibrary.ru/eyaaab>
2. Koroleva S.V., Dyakunchak S.A., Yurchenko S.A. Development of F₁ hybrids of cabbage with complex resistance in the south of Russia. *Vegetable crops of Russia*. 2019;(4):16-20. (In Russ.)
<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2019-4-16-20>
<https://elibrary.ru/ztsxlm>
3. Koroleva S.V. Cabbage conveyor for the south. *Potato and vegetables*. 2013;(7):17. <https://elibrary.ru/rhawot>
4. Shpak L.I., Dramanchuk A.L. Evaluation of late promising hybrid combinations of white cabbage by a set of traits. *Bulletin*. 2018. P. 131. <https://elibrary.ru/eeecvtu>

Об авторе:

Нелли Владимировна Полякова – научный сотрудник отдела овощеводства, автор для переписки, nelshul1994@gmail.com, SPIN-код: 5535-2149, <https://orcid.org/0000-0001-8847-9746>

About the Author:

Nellie V. Polyakova – Researcher of the Vegetable Growing Department, Corresponding Author, nelshul1994@gmail.com, SPIN-code: 5535-2149, <https://orcid.org/0000-0001-8847-9746>