

DOI 10.5281/zenodo.10276686

EDN FIBQXB

УДК 632.4:635.112

Ветрова С. А., Козарь Е. Г., Енгальчева И. А., Мухина К. С.

СКРИНИНГ СЕЛЕКЦИОННЫХ ЛИНИЙ СВЕКЛЫ СТОЛОВОЙ ПО УСТОЙЧИВОСТИ К ФОМОЗУ

ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства»

Реферат. Одной из наиболее распространенных и экономически значимых болезней на культуре свеклы столовой является фомоз, возбудитель которого поражает растения на разных стадиях онтогенеза, приводя к значительным потерям урожая. Исследования проводили с целью изучения распространения и уровня вредоносности возбудителя фомоза (*Phoma betae* Frank) в современных условиях Московской области и оценки устойчивости к данной болезни линейного материала свеклы столовой в условиях *in vivo* и *in vitro*. Работу выполняли в ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства» (Московская область, Одинцовский район) в 2017–2022 гг. В результате проведенного фитомониторинга развития болезней хранения отмечено нарастание распространенности и агрессивности фомоза, особенно в период с 2020 по 2022 гг., на 30 и 20 % соответственно по сравнению с предыдущими годами исследований (2017–2019). В результате отбора на устойчивость к фомозу в условиях различающейся инфекционной нагрузки *in vivo* в различные годы исследований удалось снизить число восприимчивых линий с 14 до 4 %. Иммунологическая оценка устойчивости *in vitro* индивидуальных генотипов отобранных линий к наиболее агрессивным изолятам возбудителя *Ph. betae* показала их достаточно высокую устойчивость относительно стандарта восприимчивости сорта Бордо односемянная; объем зоны поражения дисков в среднем 73 и 165 мм³ соответственно. В потомствах устойчивых генотипов, отобранных после иммунологической оценки, отмечено снижение распространенности фомоза (не более 10 %) и изменение в структуре популяций со смещением основного пика кривых распределения корнеплодов по интенсивности поражения дисков агрессивным изолятом *Ph. betae* в сторону устойчивых генотипов. В результате комплексного подхода получены три изогенных пары *ms*- и *mf*- линий (А и В) и восемь отцовских линий-опылителей (С) свеклы столовой со стабильно высокой устойчивостью к фомозу. Они будут использованы для создания новых гибридов на основе ЦМС.

Ключевые слова: свёкла столовая (*Beta vulgaris* L.), фомоз, *Phoma betae* Frank, отбор, линия, инфекционный фон, устойчивость.

Для цитирования: Ветрова С. А., Козарь Е. Г., Енгальчева И. А., Мухина К. С. Скрининг селекционных линий свеклы столовой по устойчивости к фомозу // Таврический вестник аграрной науки. 2023. № 4 (36). С. 38–50. EDN: FIBQXB. DOI: 10.5281/zenodo.10276686.

For citation: Vetrova S. A., Kozar E. G., Engalycheva I. A., Muhina K. S. Screening of beetroot breeding lines for resistance to phomosis // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2023. No. 4(36). P. 38–50. EDN: FIBQXB. DOI: 10.5281/zenodo.10276686.

Введение

Свекла столовая является основной овощной корнеплодной культурой, возделываемой практически во всех регионах нашей страны. Лидерами по объему выращивания товарной продукции являются Московская, Самарская, Ростовская, Омская и Волгоградская области, где суммарная доля производства составляет около 50 % от общего валового сбора. Несмотря на внедрение в производство сортов и гибридов свеклы столовой для интенсивных технологий выращивания, потребности

населения в данной овощной культуре удовлетворяются не в полной мере [1]. Одним из главных лимитирующих факторов сохранения высоких товарных качеств корнеплодов являются болезни в период вегетации и хранения. В зависимости от этиологии возбудителей, климатических условий того или иного региона, уровня устойчивости выращиваемых сортов этой экономически важной культуры, потери урожая от болезней могут составлять 10–30 % [2].

Пораженные даже в незначительной степени корнеплоды теряют товарный вид и не могут быть использованы для свежего потребления и переработки. На производственных предприятиях это требует дополнительной сортировки, которая не исключает попадания в товарную группу корнеплодов со скрытой внутренней инфекцией. Все это приводит к увеличению прямых затрат и снижению хозяйственной эффективности выращивания сортов и гибридов [3, 4].

Одной из наиболее распространенных и экономически значимых болезней на культуре свеклы столовой является фомоз. Возбудители инфекции – грибы рода *Phoma* spp. встречаются повсеместно в регионах выращивания свеклы и мангольда во всем мире [5–7]. Размножаются грибы пикнидиальным спороношением и распространяются при высокой влажности, когда пикниды набухают и выделяют большое количество одноклеточных, бесцветных, мелких, выходящих в виде ленточки спор, длительное время сохраняющих жизнеспособность на растительных остатках и в почве [8, 9].

Гриб поражает культуру на разных стадиях онтогенеза: на всходах вызывает развитие корнееда, приводящее к изреженности посевов; на листьях – зональную пятнистость; на корнеплодах – сухую сердцевинную гниль (рисунок 1) [10, 11]. У взрослых растений свеклы заболевание проявляется ближе к концу вегетации. В этот период гриб с черешков листьев через головку проникает в корнеплод, вызывая развитие сердцевинной гнили в период хранения, чем и обусловлена его высокая вредоносность [12, 13]. Первые симптомы заболевания начинают проявляться через один–два месяца после закладки корнеплодов на зимнее хранение, с массовым развитием весной. Пораженные внутренние части корнеплода становятся твердыми, приобретают интенсивно чёрную окраску с четкой границей, часто с образованием пустот с белым налетом. Вторая форма – поверхностное поражение корнеплодов в виде темно-серых, сухих вдавленных пятен, на поверхности которых к концу хранения можно обнаружить черные точечные пикниды с бесцветными одноклеточными спорами. На семенных растениях *Ph. betae*, наряду с листьями поражает семенные клубочки. Посев таких семян приводит к массовому поражению всходов свёклы корнеедом, что обеспечивает цикличность его распространения [14, 15].

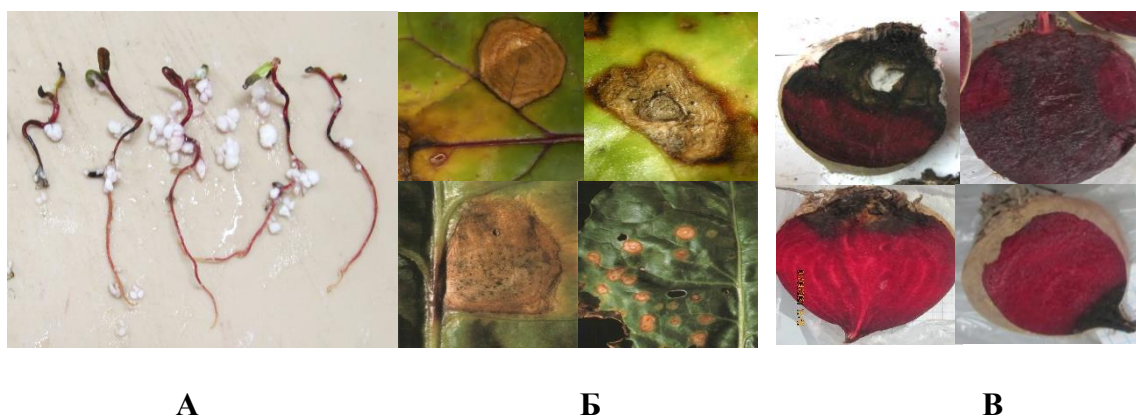


Рисунок 1 – Поражение растений свёклы столовой фомозом (*Phoma betae* Frank) на разных стадиях онтогенеза: А – проросток; Б – лист; В – корнеплод

Цель исследований – анализ распространенности и вредоносности возбудителя фомоза в современных условиях Московской области и оценка устойчивости к фомозу коллекции линий свеклы столовой ФГБНУ ФНЦО для создания трехлинейных гибридов на основе цитоплазматической мужской стерильности (ЦМС).

Материалы и методы исследований

Фитомониторинг осуществляли с 1979 г., анализируя четыре десятилетних периода. Проведен анализ данных лаборатории иммунитета и защиты растений ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства» (ФНЦО), ежегодно осуществляли учет распространения болезней корнеплодов свеклы столовой (в среднем анализировали по 100 образцов в год).

Экспериментальную часть работы выполняли в 2017–2022 гг. на базе лабораторий молекулярно-иммунологических исследований (МИИ), селекции и семеноводства столовых корнеплодов ФНЦО в Одинцовском районе Московской области. Объект исследований – свекла столовая (*Beta vulgaris L.*). Материал исследований – стерильные ms- (A×B) и фертильные mf-линии (B, C) свеклы столовой отечественного и иностранного происхождения.

Опыты закладывали на полях основного севооборота производственного отдела ФНЦО. Предшествующими культурами в зависимости от года выращивания являлись капуста, огурец, лук, томаты. Почва опытного участка дерново-подзолистая тяжелосуглинистая с мощностью пахотного горизонта 20–23 см. Основные агрохимические показатели почвы и методики их определения [16] представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Агрохимическая характеристика почвы на полях основного севооборота ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства»

Показатель	Значение	Методика определения
pH _{KCl}	5,6–6,1	потенциометрический
Содержание гумуса, %	1,8–2,0	по Тюрину
Подвижный фосфор (P ₂ O ₂), мг/кг	420–480	по Кирсанову
Обменный калий (K ₂ O), мг/кг	165	по Кирсанову
Сумма обменных оснований (S), мг-экв./100 г	18,9	трилонометрический метод по Каппену-Гильковицу

Погодные условия вегетации в 2017 и 2020 гг. складывались идентично и характеризовались прохладным и влажным летом (ГТК = 2,3 и 2,6 соответственно). Температура воздуха в среднем за вегетацию составляла 15,1 °С и 13,3 °С соответственно, что на 1,4–3,2 °С ниже среднеголетних значений. Вегетационные периоды в 2018, 2019, 2021 гг. характеризовались как теплые и засушливые (ГТК = 0,8–1,2). Средняя температура воздуха была выше среднеголетних значений на 0,6–0,9 °С (таблица 2, рисунок 2).

Исследования проводили в соответствии с общепринятыми методиками [17, 18] по классической схеме селекционного процесса:

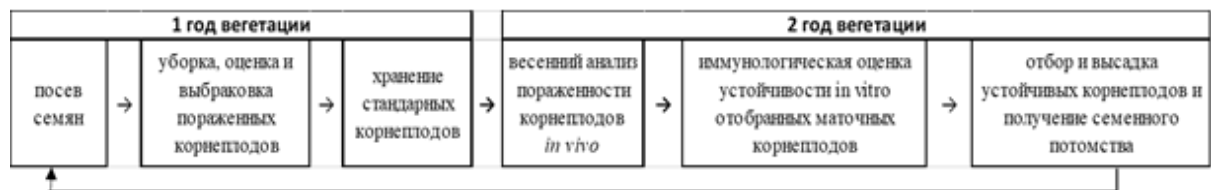


Таблица 2 – Погодные условия в период проведения исследований

Месяц	Год					Средняя многолетняя
	2017	2018	2019	2020	2021	
среднесуточная температура воздуха, °С						
Май	10,9	16	17,2	11	14	14
Июнь	14,5	17,7	19,8	14,9	20,2	16,8
Июль	17,9	19,9	17,3	14,5	22,2	19,6
Август	18,9	18,8	17,4	13,3	19,4	19,1
Сентябрь	13,1	14,2	15,4	13	9,7	12,9
Среднее за вегетацию	15,1	17,4	17,4	13,3	17,1	16,5
сумма осадков, мм						
Май	81	78	55	124	105	74
Июнь	140	70	66,5	100	62	90,3
Июль	197	79	57	110	40	132,7
Август	67	30	60	46	73	88
Сентябрь	38	63	33	25	96	53,3
Сумма за вегетацию	523	320	284	405	376	438,3

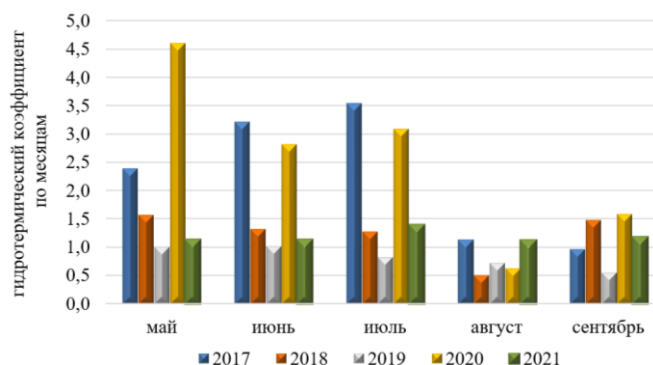


Рисунок 2 – Гидротермический коэффициент по месяцам вегетации в годы исследований (2017–2021 гг.)

Всего за годы исследований изучено 414 селекционных линий (таблица 3).

Таблица 3 – Число изученных селекционных линий свеклы столовой в годы исследований

Селекционный питомник	Проанализировано в годы исследований, шт.									
	2017*		2018**		2019*		2020**		2021*	
	уборка	заложено на хранение	уборка	заложено на хранение	уборка	заложено на хранение	уборка	заложено на хранение	уборка	заложено на хранение
Линии	80	65	110	88	90	76	58	51	76	62
Корнеплоды	1544	1172	1620	1135	1969	1088	1183	737	2856	2052

Примечание. * – первая выборка линий и их последующие поколения; ** – вторая выборка линий и их последующие поколения.

В селекционном питомнике площадь опытной делянки составляла от 0,5 до 10 м² (в однократной повторности) исходя из наличия семян, при норме высева 1 г/м². Посев проводили с 25 мая по пятое июня в зависимости от условий года на грядках по схеме

70+30+70, глубина заделки семян 3–4 см. Уборку маточных корнеплодов осуществляли во второй декаде сентября с качественным и количественным учетом урожая, выделяя большие корнеплоды в отдельную группу для фитоэкспертизы. Товарные корнеплоды каждого образца без признаков поражения болезнями помещали в овощные сетки и закладывали в контейнеры с полиэтиленовыми вкладышами на хранение в овощехранилище при температуре 1–2 °С и влажности 90–92 % в течение семи месяцев (до II декады апреля).

Фитосанитарное обследование в период хранения *in vivo*, выбраковку пораженных корнеплодов при весеннем анализе с идентификацией видового состава патогенов, степень поражения фомозом и уровень устойчивости селекционного материала определяли по соответствующим методикам и определителям [19, 20]. Дифференциацию селекционного материала по группам устойчивости (ГУ) осуществляли в зависимости от показателя распространенности (Р, %) болезни в образце по следующей градации: I – устойчивые (Р = 0 %), II – относительно устойчивые (Р = 1–20 %), III – средневосприимчивые (Р = 21–50 %) и IV – восприимчивые (Р = 51–85 %).

Иммунологическую оценку устойчивости последовательных поколений селекционных линий свеклы столовой *in vitro*, отобранных по комплексу хозяйственно значимых признаков, проводили в лабораторных условиях после хранения: в 2020 г. – 15 линий (урожай 2019 г.), в 2022 г. – 21 линия (урожай 2021 г.). В качестве стандарта восприимчивости использовали сорт Бордо односемянная. Для заражения использовали наиболее вирулентные изоляты *Ph. betae* из коллекции фитопатогенных микроорганизмов лаборатории иммунитета и защиты растений ФНЦО. Заражение осуществляли путем нанесения агаровых блоков десятисуточной культуры возбудителя на среде Чапека (в контроле – стерильный агаровый блок) на высеченные из корнеплодов диски в десятикратной повторности. Для изучения полиморфизма по устойчивости индивидуальных генотипов в пределах выделенных линий отбирали наиболее типичные маточные корнеплоды без внешних признаков поражения, у которых срезали $\frac{1}{3}$ боковой части (щёчку), делили на диски и проводили инфицирование вышеуказанным способом. Учет степени поражения делали на седьмые сутки после заражения с измерением диаметра, глубины и расчетом объема зоны поражения (V_p , см³), который является наиболее информативным критерием оценки уровня устойчивости как популяции в целом, так и внутривидового полиморфизма. Обработку данных проводили по соответствующим методам статистического анализа [21] с использованием программы MS Excel 2010.

Результаты и их обсуждение

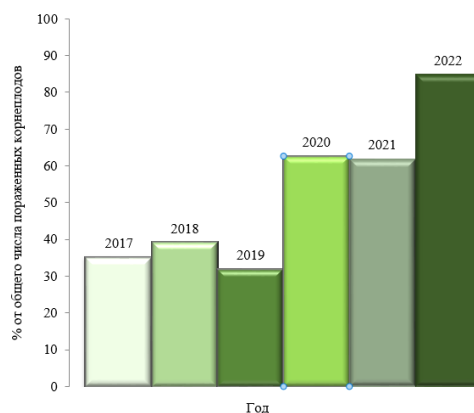
Фитомониторинг развития болезней в период хранения показал, что в условиях Московской области наибольший ущерб корнеплодным культурам наносит кагатная гниль, вызываемая комплексом фитопатогенов. Данные за последние 40 лет свидетельствуют об изменении структуры патогенного комплекса, смене доминирующих видов, повышении вирулентности и агрессивности ранее малопатогенных групп микроорганизмов. С начала 2000-х гг. на свекле столовой отмечено снижение вредоносности серой и белой гнилей и нарастание распространенности и агрессивности фузариоза, альтернариоза и бактериоза. Причины таких популяционных сдвигов разнообразны и во многом связаны с экологическими факторами, которые определяют взаимоотношения в системе патоген-растение. Однако доминирующим видом возбудителей кагатной гнили в течение всех проанализированных десятилетних периодов (диапазоны указаны на графике) является фомоз, распространенность которого резко увеличилась начиная с 2020 г. (рисунок 3 А). Напряженность инфекционного фона в этот год возросла на 30 % относительно предыдущих трёх лет, а в 2022 г. – еще на 20 % (рисунок 3 Б).

В результате изучения взаимоотношений возбудителя фомоза и растений свеклы столовой на разных стадиях онтогенеза показано, что при благоприятных условиях развития растений и низкой напряженности инфекционного фона в период вегетации патогены находятся в определенном равновесии с растением-хозяином и являются практически безвредными для корнеплодов. В случае ухудшения условий выращивания или хранения, это равновесие нарушается, патоген начинает усиленно развиваться и создает очаги поражения корнеплодов свеклы в хранилище [22].

При оценке устойчивости линейного материала в 2017 г. с низким уровнем распространения фомоза в период вегетации, пораженные корнеплоды во время уборки были обнаружены только в двух линиях, что составило около 3 % от числа изученных (рисунок 4 А). После хранения в группе устойчивых вошли 70 % образцов.



А



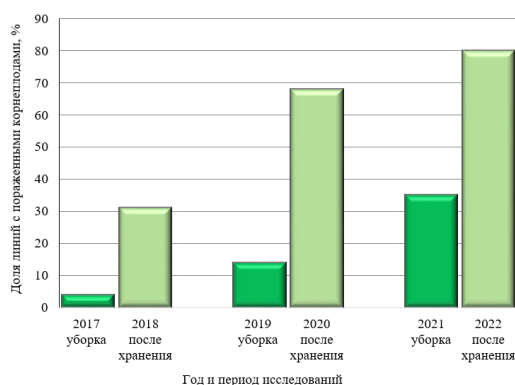
Б

Рисунок 3 –Динамика распространения: А – болезней хранения разной этиологии в Московской области (среднее за десятилетия периоды XX и XXI вв.); Б – фомоза в годы исследований

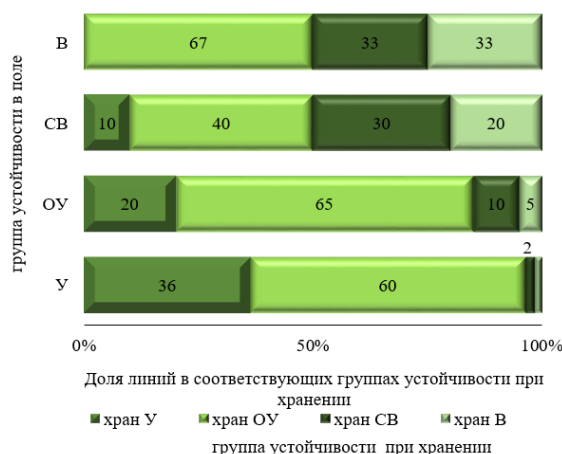
Во время уборки 2019 г. доля линий с признаками поражения корнеплодов составила 14 %, что привело к более массовому развитию патогена в период хранения. Высокую устойчивость проявили корнеплоды только у 30 % образцов. В условиях вегетационного периода 2021 г. отмечено значительное поражение листовой розетки и корнеплодов фомозом уже перед уборкой, что и стало причиной высокой напряженности фона и снижения доли образцов с отсутствием симптомов поражения корнеплодов фомозом после хранения до 20 %.

При этом следует отметить, что распределение образцов по отдельным группам устойчивости при оценке в поле и после хранения отобранных внешне здоровых

корнеплодов не всегда совпадает. Так, среди устойчивых полевой оценке образцов, только около 40 % не имели признаков поражения корнеплодов после хранения (рисунок 4 Б). В группах относительно устойчивых и средневосприимчивых в поле присутствовали как устойчивые, так и восприимчивые образцы по степени поражения корнеплодов при хранении, а в группе восприимчивых 67 % образцов по результатам весенней оценки вошли в группу относительно устойчивых. Поэтому, при селекции на устойчивость на естественном фоне необходимо учитывать суммарный показатель доли пораженных корнеплодов в период вегетации в поле и после хранения, а также стабильность проявления признака в последующих поколениях.



А



Б

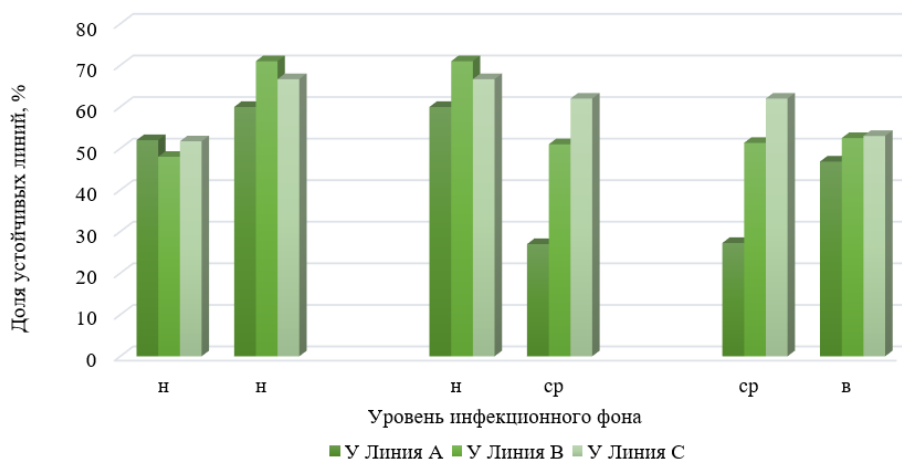
Рисунок 4 – Доля пораженных фомозом (А) и соответствие распределения линий по группам устойчивости до и после хранения (Б) (2021–2022 гг.)

Примечание. *Хран У – группа устойчивых после хранения; хран ОУ – группа относительно устойчивых после хранения; хран СВ – группа средневосприимчивых после хранения; хран В – группа восприимчивых после хранения.*

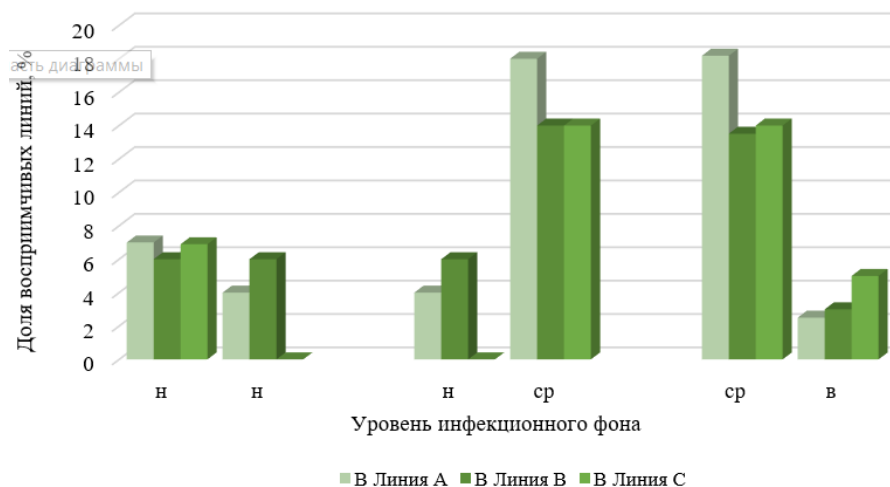
Сложившиеся контрастные условия в годы исследований дали возможность сравнить результативность отбора на устойчивость к фомозу в зависимости от изменения степени инфекционной нагрузки естественного фона (низкий (н.) – Р < 40 %, средний (ср.) – Р = 40–60 %, высокий (в.) Р = 70–80 %) при отборе (исходная популяция – исх.) и последующем анализе полученного потомства (п.) в следующих сочетаниях: Н_{исх}→Н_п; Н_{исх}→Ср_п; Ср_{исх}→В_п.

На основе оценки исходного и выделенного линейного материала свёклы столовой в следующем поколении на низких фонах выявили увеличение доли

устойчивых и снижение восприимчивых, как стерильных, так и фертильных линий-закрепителей и опылителей. В общей совокупности изученных линий доля устойчивых в среднем увеличилась на 16 % (рисунок 5 А). Анализ потомств устойчивых образцов, выделенных на низком фоне, показал, что при увеличении распространенности фомоза до среднего уровня происходит их перераспределение: существенное снижение устойчивых и увеличение процента восприимчивых генотипов. Особенно это выражено в группе фертильных линий-опылителей С, в которой на низком фоне восприимчивых образцов не было, а на среднем их доля составила 14 % (рисунок 5 Б).



А



Б

Рисунок 5 – Доля устойчивых (А) и восприимчивых (Б) селекционных линий свеклы столовой к *Ph. betae* в зависимости от напряженности инфекционного фона (учет во время весеннего анализа корнеплодов после хранения в 2017–2022 гг.)

В результате отбора устойчивых линий и индивидуальных генотипов среди относительно устойчивых и средневосприимчивых образцов при среднем уровне напряженности инфекционного фона, как и ожидалось, произошло снижение доли восприимчивых линий до 2–7 % при оценке на высоком фоне распространения патогена. При этом по всей совокупности изученных линий доля пораженных болезнями корнеплодов в данном случае составила менее 10 % от общего числа проанализированных, что свидетельствует о высокой эффективности отбора и устойчивости созданного селекционного линейного материала свеклы столовой в целом.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что при оценке селекционного материала на устойчивость к фомозу в условиях естественного инфекционного фона проблематично получать ежегодно сопоставимые данные по причине различающейся инфекционной нагрузки и присутствия смешанной инфекции на пораженных корнеплодах. При низкой инфекционной нагрузке даже многолетние испытания не обеспечивают объективную оценку устойчивости образцов к фомозу. Это значительно снижает эффективность селекции на иммунитет, особенно при работе с инбредными потомствами двулетних перекрестно опыляемых культур.

Существенно ускорить процесс получения и отбора ценных генотипов позволяет иммунологическая оценка индивидуальных маточных корнеплодов на устойчивость к наиболее агрессивным изолятам возбудителя *Ph. betae* в условиях *in vitro*.

На примере трех перспективных ms- и mf-линий (А, В и С), отобранных ранее по комплексу хозяйственно ценных признаков, представлены результаты иммунологической оценки индивидуальных корнеплодов исходных популяций этих линий (таблица 4 и рисунок 6). Относительно стандарта восприимчивости сорта Бордо односемянная, данные линии показали достаточно высокую устойчивость как на естественном фоне, так и при искусственном заражении. После хранения доля корнеплодов с внешним проявлением признаков фомоза у них не превышала 15 %, а объем зоны поражения дисков *Ph. betae* в среднем составил 22–105 мм³, тогда как у сорта Бордо односемянная соответственно – 25 % и 165 мм³.

Таблица 4 – Распространенность фомоза *in vivo* и степень поражения *Ph. betae* маточных корнеплодов селекционных линий свеклы столовой *in vitro*

Линия	Распространённость фомоза <i>in vivo</i> , %				Средний объем (диапазон) зоны поражения диска корнеплода <i>in vitro</i>			
	исходная популяция		потомство отбора		исходная популяция		потомство отбора	
	хранение	ГУ	хранение	ГУ	мм ³	ГУ	мм ³	ГУ
ms-А №503	9	ОУ	0	У	22	У	22	У
					6–45		11–49	
mf-В №532	15	СВ	10	ОУ	91	ОУ	44	У
					42–126		21–70	
mf-С №541	5	ОУ	2	ОУ	105	СВ	100	О
					26–220		13–250	
Бордо односемянная (St.)	25	В	28	В	165	В	185	В
					75–283		41–326	
НСР ₀₅	2,42		3,39		17,36		19,79	

Результаты оценки на естественном и искусственном фонах у изогенной пары ms-А №503 и mf-В №532 совпали и выявили более высокую устойчивость корнеплодов стерильной линии, чем фертильной линии-закрепителя. При этом в пределах обеих линий отмечено присутствие двух субпопуляций с разным уровнем устойчивости, о чем свидетельствуют два пика на кривых распределения (рисунок 6).

В то же время у линии опылителя mf-С № 541 выявлено несоответствие между данными оценки на двух фонах, а именно, наибольший средний размер зоны поражения с широким диапазоном варьирования показателя при искусственной инокуляции *in vitro* и низкий процент пораженных фомозом корнеплодов после хранения *in vivo*. Это свидетельствует о наличии скрытой инфекции, которая проявилась позже, после высадки маточных корнеплодов (выпады составили около 35 %). Популяция этой линии, как видно на кривой распределения, в основном представлена группой корнеплодов со средним уровнем устойчивости, но присутствует небольшой процент восприимчивых генотипов.

По итогам иммунологической оценки в пределах каждой линии были отобраны корнеплоды с наименьшим объемом зоны поражения и высажены в групповые изоляторы, получено семенное потомство и выращены корнеплоды отобранных популяций. После хранения в материнской линии ms-A №503 пораженных фомозом корнеплодов не обнаружили. В фертильных линиях распространенность фомоза относительно стандарта была невысокой и составила не более 10 % (таблица 4).

При иммунологической оценке индивидуальных корнеплодов существенное снижение средних показателей объема зоны поражения дисков отмечено только у линии mf-B №532. Тем не менее, в структуре потомств изученных линий отмечены явные изменения в распределении корнеплодов по интенсивности поражения дисков агрессивным изолятом *Ph. betae*. В потомстве всех отборов четко виден сдвиг основного пика кривых распределения в сторону устойчивых генотипов и практически отсутствуют восприимчивые генотипы (рисунок 6).

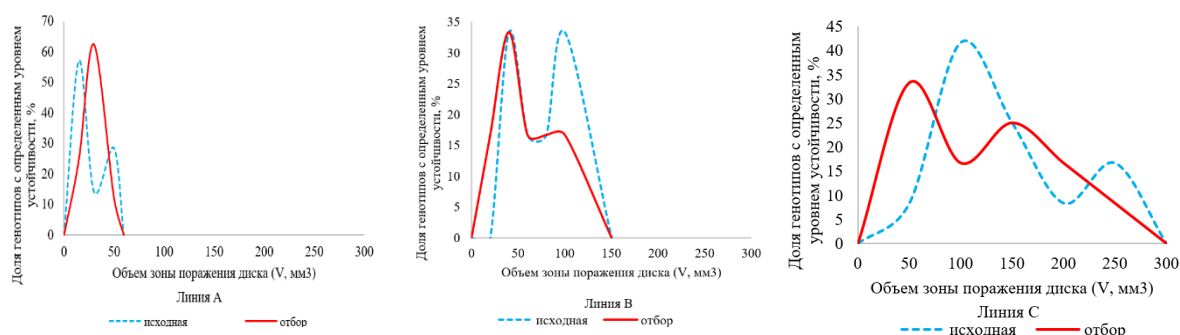


Рисунок 6 – Кривые распределения генотипов по интенсивности поражения дисков маточных корнеплодов свеклы столовой фомозом в исходных линиях и полученных потомствах от индивидуального отбора относительно устойчивых генотипов (2019–2022 гг.)

Таким образом, отбор на основе результатов комплексной оценки устойчивости индивидуальных маточных корнеплодов *in vivo* и *in vitro* является весьма результативным для получения исходного и линейного материала для селекции на гетерозис. В потомстве отборов можно выделить уникальные генотипы с сочетанием более высоких уровней устойчивости и хозяйственно ценных признаков.

Выводы

Фитомониторинг развития болезней в период хранения показал, что доминирующим видом возбудителей кагатной гнили на культуре свёклы столовой, является фомоз, распространенность которого с 2019 по 2022 гг. увеличилась с 60 до 85 %.

В условиях различающейся инфекционной нагрузки естественного фона методом рекуррентного отбора удалось снизить долю восприимчивых линий до 2–7 %. При этом доля пораженных болезнями корнеплодов свёклы столовой составляла менее 10 % от общего числа проанализированных.

В результате многолетней работы из разных инбредных потомств свеклы столовой был выделен перспективный селекционный материал с высокой устойчивостью корнеплодов к фомозу (распространённость болезни не более 10 % в пределах линии), среди которого наибольшую ценность с точки зрения стабильности проявления признака по годам, представляют три изогенных пары mf- и ms-линий (A×B) с округлой и с цилиндрической формой корнеплода, а также восемь линий-опылителей С, три из которых созданы на основе сортопопуляций отечественного происхождения.

Литература

1. Солдатенко А. В., Разин А. Ф., Шатилов М. В., Иванова М. И., Разин О. А., Россинская О. В., Башкиров О. В. Межрегиональный обмен в контексте выравнивания потребления овощей в субъектах федерации // Овощи России. 2018. № 6. С. 41–46. DOI: 10.18619/2072-9146-2018-6-41-46.
2. Борисов В. А., Романова А. В., Янченко Е. В., Масловский С. А., Андрианов С. А., Янченко А. В., Гренадеров Н. В., Скрипник А. В. Технология хранения и сроки реализации столовых корнеплодов. Москва: ВНИИО, 2010. 80 с.
3. Ветрова С. А., Козарь Е. Г., Енгальчева И. А., Мухина К. С. Оценка устойчивости селекционного материала свёклы столовой к болезням хранения // Биосфера. 2022. Т. 14. № 4. С. 282–287. DOI: 10.24855/biosfera.v14i4.696.
4. Захаренко В. А. Экономика оценки проявления микозов и упреждение эпифитотий стратегических культур // Достижения науки и техники АПК. 2020. Т. 34. № 12. С. 95–98. DOI: 10.24411/0235-2451-2020-11216.
5. Hanson L., Ting M., Goodwill T. Variability in *Phoma* species affecting sugar beet // Phytopathology Supplement; APSnet (Plant Pathology Online). 2012. P. 50.
6. Pethybridge S., Kikkert J., Hanson L., Nelson S. Challenges and prospects for building resilient disease management strategies and tactics for the New York table beet industry // Agronomy. 2018. Vol. 8. No. 7. P. 112–167. DOI: 10.3390/agronomy8070112.
7. Vaghefi N., Silva A., Koenick L., Pethybridge S. Genome resource for *Neocamarosporium betae* (syn. *Pleospora betae*), the cause of *Phoma* leaf spot and root rot on *Beta vulgaris* // Molecular Plant-Microbe Interactions. 2019. Vol. 85. No. 32. P. 245–254. DOI: 10.1094/MPMI-12-18-0334-A.
8. Koenick L. B., Vaghefi N., Knight N. L., Du Toit L. J., Pethybridge S. J. Genetic diversity and differentiation in *Phoma betae* populations on table beet in New York and Washington states // Plant Disease. 2018. Vol. 10. No. 103. P. 9–18. DOI: 10.1094/PDIS-09-18-1675-RE.
9. Гомжина М. М., Ганнибал Ф. Б. Современная систематика грибов рода *Phoma sensu lato* // Микология и фитопатология. 2017. Т. 51. № 5. С. 268–275.
10. Zachow Ch., Tilcher R., Berg G. Sugar beet - associated bacterial and fungal communities show a high indigenous antagonistic potential against plant pathogens // Microbial Ecology. 2008. Vol. 55. No. 1. P. 119–129. DOI: 10.1007/s00248-007-9257-7
11. Дьяков Ю. Т., Дементьева М. И., Семенкова И. Г., Успенская Г. Д., Яковлева Н. П. Общая и сельскохозяйственная фитопатология. Москва: Колос, 1984. 495 с.
12. Nitesh Ch, Eirian J., Seona C. Pathogenicity of *Phoma betae* isolates from red beet (*Beta vulgaris*) at seed farms in Canterbury, New Zealand // New Zealand Plant Protection. 2019. No. 72. P. 21–26. DOI: 10.30843/nzpp.2019.72.272.
13. Стогниенко О. И. Особенности формирования патоконтекста в ризосфере сахарной свёклы // Аграрная наука. 2019. № S2. С. 65–68. DOI: 10.32634/0869-8155-2019-326-2-65-68.
14. Корганова Н. Н. Болезни семенников овощных культур // Картофель и овощи. 1968. № 5. С. 40–43.
15. Edson H. A. Seedling diseases of sugar beets and their relation to root-rot and crown-rot // Journal of Agricultural Research. 1915. Vol. IV. No. 2. P. 135–168. DOI: 10.5962/bhl.title.37213.
16. Кидин В. В., Дерюгин И. П., Кобзаренко В. И., Кулюкин А. Н., Ладонин Д. В. Практикум по агрохимии. М.: Колос, 2008. 599 с.
17. Буренин В. И., Пивоварова Н. С., Власова Э. А. Методические указания по изучению и поддержанию мировой коллекции корнеплодов. Л.: б\и, 1989. 88 с.
18. Методы селекции и семеноводства овощных корнеплодных растений (морковь, свёкла, редис, дайкон, редька, репа, брюква, пастернак) // Под ред. Пивоварова В. Ф., Бунина М. С. М.: РАСХН, 2003. 284 с.
19. Левитин М. М. Современные видовые названия фитопатогенных грибов // Защита и карантин растений. 2018. № 8. С. 8–11.
20. Билай В. И., Элланская И. А. Основные микологические методы в фитопатологии. Методы экспериментальной микологии. Киев: Наукова думка, 1982. 552 с.
21. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
22. Шевченко В. Н., Топаровская Ю. С. Устойчивость сахарной свёклы к кагатной гнили в начальной фазе роста корнеплодов // Селекция и семеноводство. 1975. № 37. С. 80–86.

References

1. Soldatenko A. V., Razin A. F., Shatilov M. V., Ivanova M. I., Razin O. A., Rossinskaya O. V., Bashkirov O. V. Interregional exchange in the context of the alignment of the consumption of vegetables in subjects of the Russian Federation // Vegetable crops of Russia. 2018. No. 6. P. 41–46. DOI: 10.18619/2072-9146-2018-6-41-46.

2. Borisov V. A., Romanova A. V., Yanchenko E. V., Maslovsky S. A., Andrianov S. A., Yanchenko A. V., Grenaderov N. V., Skripnik A. V. Technology of storage and terms of realization of table root crops. Moscow: All-Russian Research Institute of Vegetable Crops (VNIIO), 2010. 80 p.
3. Vetrova S. A., Kozar E. G., Engalycheva I. A., Mukhina K. S. Assessment of the resistance of the breeding material of table beet to storage diseases // *Biosfera*. 2022. Vol. 14. No. 4. P. 282–287. DOI: 10.24855/biosfera.v14i4.696.
4. Zakharenko V. A. Economics of assessing the manifestation of mycosis and anticipating epiphytotics of strategic crops // *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2020. Vol. 34. No. 12. P. 95–98. DOI: 10.24411/0235-2451-2020-11216.
5. Hanson L., Ting M., Goodwill T. Variability in *Phoma* species affecting sugar beet // *Phytopathology Supplement; APSnet (Plant Pathology Online)*. 2012. P. 50.
6. Pethybridge S., Kikkert J., Hanson L., Nelson S. Challenges and prospects for building resilient disease management strategies and tactics for the New York table beet industry // *Agronomy*. 2018. Vol. 8. No. 7. P. 112–167. DOI: 10.3390/agronomy8070112.
7. Vaghefi N., Silva A., Koenick L., Pethybridge S. Genome resource for *Neocamarosporium betae* (syn. *Pleospora betae*), the cause of *Phoma* leaf spot and root rot on *Beta vulgaris* // *Molecular Plant-Microbe Interactions*. 2019. Vol. 85. No. 32. P. 245–254. DOI: 10.1094/MPMI-12-18-0334-A.
8. Koenick L. B., Vaghefi N., Knight N. L., Du Toit L. J., Pethybridge S. J. Genetic diversity and differentiation in *Phoma betae* populations on table beet in New York and Washington states // *Plant Disease*. 2018. Vol. 10. No. 103. P. 9–18. DOI: 10.1094/PDIS-09-18-1675-RE.
9. Gomzhina M. M., Hannibal F. B. Modern systematics of fungi of the genus *Phoma* sensu lato // *Mikologiya i Fitopatologiya – Mycology and Phytopathology*. 2017. Vol. 51. No. 5. P. 268–275.
10. Zachow Ch., Tilcher R., Berg G. Sugar beet – associated bacterial and fungal communities show a high indigenous antagonistic potential against plant pathogens // *Microbial Ecology*. 2008. Vol. 55. No. 1. P. 119–129. DOI: 10.1007/s00248-007-9257-7.
11. Dyakov Yu. T., Dementieva M. I., Semenkova I. G., Uspenskaya G. D., Yakovleva N. P. General and agricultural phytopathology. Moscow: Kolos, 1984. 495 p.
12. Nitesh Ch, Eirian J., Seona C. Pathogenicity of *Phoma betae* isolates from red beet (*Beta vulgaris*) at seed farms in Canterbury, New Zealand // *New Zealand Plant Protection*. 2019. No. 72. P. 21–26. DOI: 10.30843/nzpp.2019.72.272.
13. Stognienko O. I. Peculiarities of pathogenic complex formation in sugar beet rhizosphere // *Agrarian science*. 2019. No. S2. P. 65–68. DOI: 10.32634/0869-8155-2019-326-2-65-68.
14. Korganova N. N. Diseases of the testes of vegetable crops // *Potato and vegetables*. 1968. No. 5. P. 40–43.
15. Edson H. A. Seedling diseases of sugar beets and their relation to root-rot and crown-rot // *Journal of Agricultural Research*. 1915. Vol. IV. No. 2. P. 135–168. DOI: 10.5962/bhl.title.37213.
16. Kidin V. V., Deryugin I. P., Kobzarenko V. I., Kulyukin A. N., Ladonin D. V. Practicum on agrochemistry. Moscow: Kolos, 2008. 599 p.
17. Burenin V. I., Pivovarova N. S., Vlasova E. A. Methodological guidelines for the study and maintenance of the world collection of root crops. Leningrad: w/o publisher, 1989. 88 p.
18. Methods of breeding and seed production of vegetable root crops (carrot, beetroot, radish, daikon, raphanus, turnip, rutabaga, parsnip) // Ed. by Pivovarova V. F., Bunina M. S. Moscow: Russian Academy of Agricultural Sciences (RASKhN), 2003. 284 p.
19. Levitin M. M. Updated specific names of the plant phytopathogenic fungi // *Plant Protection and Quarantine*. 2018. No. 8. P. 8–11.
20. Bilai V. I., Ellanskaya I. A. Basic mycological methods in phytopathology. Methods of experimental mycology. Kiev: Naukova dumka, 1982. 552 p.
21. Dospekhov B. A. Methods of field research. Moscow: Agropromizdat, 1985. 351 p.
22. Shevchenko V. N., Toporovskaya Yu. S. Resistance of sugar beet to pit-storage (*Botrytis cinerea*) rot in the initial phase of root crop growth // *Selektsyya i semenovodstvo*. 1975. No. 37. P. 80–86.

UDC 632.4:635.112

Vetrova S. A., Kozar E. G., Engalycheva I. A., Muhina K. S.

SCREENING OF BEETROOT BREEDING LINES FOR RESISTANCE TO PHOMOSIS

Summary. *One of the most widespread and damaging diseases of beet (*Beta vulgaris* L.) is phomosis (zonal spotting of beet), the causative agent of which affects plants at different stages of ontogenesis, leading to significant yield losses. The research was conducted in order to study the spread and level of harmfulness of the causative agent of phomosis in*

modern conditions of the Moscow region and to assess the resistance of linear material of beetroot to this disease *in vivo* and *in vitro*. The work was carried out in 2017–2023 in the Federal Scientific Vegetable Center (Moscow region, Odintsovo district). Phytomonitoring of the development of storage diseases has revealed an increase in the prevalence and aggressiveness of phomosis, especially in the period from 2020 to 2022, by 30 % and 20 %, respectively, compared to the previous years (2017–2019). Over the years of research, selection for resistance to phomosis under varying *in vivo* infectious loads resulted in reducing the number of susceptible lines from 14 to 4 %. Immunological assessment of *in vitro* resistance of individual genotypes of selected lines to the most aggressive isolates of *Ph. betae* showed a higher resistance compared to standard (susceptibility standard) – *Beta vulgaris* variety ‘Bordo odnosemiannaya’; the affected area of the discs averaged 73 and 165 mm³, respectively. In the offspring of resistant genotypes selected after immunological evaluation, a decrease in the prevalence of phomosis (no more than 10 %) and a change in the population structure, were observed: a shift of the main peak of the curves of distribution of root crops according to the intensity of disc damage by an aggressive isolate of *Ph. betae* towards resistant genotypes. Such integrated approach resulted in obtaining three isogenic pairs of *mf*- and *ms*-lines (A and B) and eight paternal (pollinator) lines (C) of beetroot with stable and high resistance to phomosis. These lines will be used to develop new hybrids based on cytoplasmic male sterility (CMS).

Keywords: beetroot (*Beta vulgaris* L.), phomosis (zonal spotting of beet), *Phoma betae* Frank, selection, line, infectious background, resistance.

Ветрова Светлана Александровна, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории молекулярно-иммунологических исследований, ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства»; 143180, Россия, Московская область, Одинцовский район, г. Звенигород, мкр. Супонево, 15; e-mail: lana-k2201@mail.ru.

Козарь Елена Георгиевна, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории молекулярно-иммунологических исследований, ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства»; 143072, Россия, Московская область, Одинцовский район, п. ВНИИССОК, ул. Березовая, 7; e-mail: kozar_eg@mail.ru.

Енгальчева Ирина Александровна, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, заведующая лабораторией молекулярно-иммунологических исследований, ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства»; 143072, Россия, Московская область, Одинцовский район, п. ВНИИССОК, ул. Дружбы, 1; e-mail: engirina1980@mail.ru.

Мухина Ксения Сергеевна, младший научный сотрудник лаборатории молекулярно-иммунологических исследований, ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства»; 143072, Россия, Московская область, Одинцовский район, п. ВНИИССОК, 25; e-mail: kseniyamukhina@yandex.ru.

Vetrova Svetlana Aleksandrovna, Cand. Sc. (Agr.), senior researcher of the Laboratory of molecular immunological research, FSBSI “Federal Scientific Vegetable Center”; mikrorayon Suponevo 15, Zvenigorod, Odintsovo district, Moscow oblast (region), 143180, Russia; e-mail: lana-k2201@mail.ru.

Kozar Elena Georgievna, Cand. Sc. (Agr.), leading researcher of the Laboratory of molecular immunological research, FSBSI “Federal Scientific Vegetable Center”; 7, Beryozovaya str., VNISSOK village, Odintsovo district, Moscow oblast (region); 143072, Russia; e-mail: kozar_eg@mail.ru.

Engalycheva Irina Aleksandrovna, Cand. Sc. (Agr.), leading researcher of the Laboratory of molecular immunological research, FSBSI “Federal Scientific Vegetable Center”; 1, Druzhba str., VNISSOK village, Odintsovo district, Moscow oblast (region); 143072, Russia; e-mail: engirina1980@mail.ru.

Mukhina Kseniya Sergeevna, junior researcher of the Laboratory of molecular immunological research, FSBSI “Federal Scientific Vegetable Center”; 25, VNISSOK village, Odintsovo district, Moscow oblast (region), 143072, Russia; e-mail: kseniyamukhina@yandex.ru.

Дата поступления в редакцию – 02.11.2023.

Дата принятия к печати – 23.11.2023.