

Иммунологическая оценка коллекционного и селекционного материала редиса на устойчивость к слизистому бактериозу

А. А. УШАКОВ, Е. Г. КОЗАРЬ, В. А. СТЕПАНОВ, И. Э. ИЛЬИН, С. Л. ФРОЛОВА, Т. В. ЗАЯЧКОВСКАЯ

Федеральный научный центр овощеводства, ул. Селекционная, 14, пос. ВНИИССОК, Одинцовский р-н, Московская обл., 143080, Российская Федерация

Резюме. Исследования проводили с целью оценки устойчивости коллекционного и селекционного материала редиса к бактериальным гнилям. Работу выполняли в 2020–2023 гг. в Московской области. Материалом служили 5 коллекционных и 21 селекционный образец, а также 10 сортов селекции Федерального научного центра овощеводства; изоляты бактерий, выделенные из пораженных корнеплодов редьки, редиса, дайкона. Растения редиса выращивали в регулируемых условиях и открытом грунте. Искусственное заражение корнеплодов и отделенных листьев проводили 2-х суточными культурами возбудителей (среда LB). Учеты вели на 7 сутки после заражения по 5-и балльной шкале, измеряли объем и площадь зоны поражения и ранжировали образцы на группы устойчивости. Среди изолятов *Pectobacterium* spp. наиболее агрессивным в отношении корнеплодов редиса оказался изолят 1, выделенный из дайкона (средний балл поражения в 2...4 раза выше, чем у остальных). Доля относительно устойчивых образцов при заражении внешних покровов половинок составила 50 %, а при инфицировании паренхимы дисков – 21 %. К относительно устойчивым к бактериальной гнили корнеплодов отнесены линии С №86 и №89, гибрид *Cherriette* F₁, инбредные линии L-271 и L-270 и образец №203. Романс F₁ и Мавр проявили высокую устойчивость листьев с площадью поражения менее 5 %, что в 6 раз ниже, по сравнению с восприимчивыми образцами. Корнеплоды большинства изученных сортов и гибридов редиса из открытого грунта характеризовались более высокой степенью устойчивости (0,2...2,0 балла), по сравнению с корнеплодами, выращенными в теплице (0,6...3,0 балла). Стабильностью проявления признака на разных агрофонах отличились Моховский, Фея, Мавр и *Gloriette* F₁ со средним индексом поражения корнеплодов 0,7...1,0 балла, что ниже, чем у стандартного сорта Вариант (1,2 балла) и восприимчивого гибрида *Rordar* F₁ (1,9 балла).

Ключевые слова: редис (*Raphanus sativus*), *Pectobacterium*, устойчивость, иммунитет.

Сведения об авторах: А. А. Ушаков, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник (e-mail: usasa74@rambler.ru); Е. Г. Козарь, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник; В. А. Степанов, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник; И. Э. Ильин аспирант; С. Л. Фролова, аспирант; Т. В. Заячковская, кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник.

Для цитирования: Иммунологическая оценка коллекционного и селекционного материала редиса на устойчивость к слизистому бактериозу / А. А. Ушаков, Е. Г. Козарь, В. А. Степанов и др. // Достижения науки и техники АПК. 2024. Т. 38. № 10. С. 56–62. doi: 10.53859/02352451_2024_38_10_56

Immunological evaluation of collection and selection material of radish for resistance to the bacterial soft rot

A. A. Ushakov, E. G. Kozar', V. A. Stepanov, I. E. Il'in, S. L. Frolova, T. V. Zayachkovskaya

Federal Scientific Center of Vegetable-Growing, ul. Selektionnaya, 14, pos. VNISSOK, Odintsovskii r-n, Moskovskaya obl., 143080, Russian Federation

Abstract. The studies were conducted to assess the resistance of collection and selection material of radish to bacterial rot. The work was carried out in 2020–2023 in the Moscow Region. The material included 5 collection and 21 selection samples, as well as 10 varieties bred by the Federal Scientific Centre for Vegetable Growing; bacterial isolates isolated from affected root crops of radish, horseradish and daikon. The radish plants were grown under controlled conditions and in open ground. Artificial infection of root crops and isolated leaves was carried out with 2-day pathogen cultures (LB medium). Records were kept on the 7th day after infection on a 5-point scale, the volume and area of the affected zone were measured, and the samples were ranked into resistance groups. Among the isolates of *Pectobacterium* spp. The most aggressive towards radish root crops was isolate 1, obtained from daikon (the average damage score was 2–4 times higher than that of the others). The share of relatively resistant samples with infection of the outer covers of the halves was 50%, and with infection of the parenchyma of the disks – 21%. Lines C №86 and №89, hybrid *Cherriette* F₁, inbred lines L-271 and L-270 and sample №203 were classified as relatively resistant to bacterial rot of root crops. Romans F₁ and Mavr demonstrated high resistance of leaves with a damaged area of less than 5%, which is 6 times lower than that of susceptible samples. Root crops of most of the studied radish varieties and hybrids from open ground were characterised by a higher degree of resistance (0.2–2.0 points) compared to root crops grown in a greenhouse (0.6–3.0 points). Mokhovskiy, Feiya, Mavr and *Gloriette* F₁ were distinguished by the stability of the trait manifestation on different agricultural backgrounds with an average root crop damage index of 0.7–1.0 points, which is lower than that of the standard variety Variant (1.2 points) and the susceptible hybrid *Rordar* F₁ (1.9 points).

Keywords: radish; *Raphanus sativus*; *Pectobacterium*; resistance; immunity.

Author Details: A. A. Ushakov, Cand. Sc. (Agr.), senior research fellow (e-mail: usasa74@rambler.ru); E. G. Kozar', Cand. Sc. (Agr.), leading research fellow; V. A. Stepanov, Cand. Sc. (Agr.), leading research fellow; I. E. Il'in, post graduate student; S. L. Frolova, post graduate student; T. V. Zayachkovskaya, Cand. Sc. (Agr.), research fellow.

For citation: Ushakov AA, Kozar' EG, Stepanov VA, et al. [Immunological evaluation of collection and selection material of radish for resistance to the bacterial soft rot]. Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2024;38(10):56–62. Russian. doi: 10.53859/02352451_2024_38_10_56

Редис (*Raphanus sativus* L.) – одна из самых важных овощных культур в мире, семейства Brassicaceae. Корнеплоды редиса отличаются большим разнообразием по размеру и форме [1]. Эту культуру выращивают во многих частях мира в защищенном и открытом грунте. Редис имеет большое значение в питании человека из-за наличия в его составе аминокислот, витаминов, минеральных солей, а также ряда биологически активных веществ [2, 3, 4].

На протяжении всей вегетации капустные культуры поражают болезни различной этиологии, в результате чего нарушаются физиологические биохимические процессы обмена веществ растений, что приводит к снижению продуктивности и качества продукции [5].

Наиболее распространенными и вредоносными возбудителями болезней считают бактерии из родов *Pectobacterium*, *Pseudomonas*, *Xanthomonas*, *Agrobacterium* и *Corynebacterium*. Несмотря на то, что

число наиболее распространенных бактериозов на важнейших сельскохозяйственных культурах ограничивается несколькими десятками, их вредоносность очень велика. Фитопатогенные бактерии обладают огромным арсеналом факторов вирулентности – ферменты, разрушающие клетки и ткани растений-хозяев, фитотоксины, блокаторы сигнальных систем микроорганизмов и др. Для многих бактерий природа факторов вирулентности не установлена [6].

Бактериальные гнили часто сопутствуют другим заболеваниям и могут развиваться на основе предшествующей грибной инфекции. Научный интерес к фитопатогенным бактериям стремительно растет. Это связано с тем, что бактериозы по масштабам ущерба начинают вытеснять заболевания, вызываемые грибами [6].

К причинам широкого распространения, усиления вредоносности и появления новых бактериальных болезней относят климатические, экономические факторы, нарушения агротехники, отсутствия своевременной и достоверной диагностики фитопатогенных бактерий в посевном материале и растениях в процессе вегетации, а также неправильно разработанной системы земледелия и защитных мер [7, 8].

Возбудители бактериальной «каротоворной» мягкой гнили (bacterial soft rot) имеют широкий спектр хозяев – более 64 видов растений, в том числе и многочисленные сорта овощных и других сельскохозяйственных культур – морковь, салат, лук, перец, табак, томат, огурец, дыня, картофель, люпин, редис, репа, кактус, ананас, кукуруза, фасоль и др. Слизистый бактериоз может быть вызван комплексом гнилостных бактерий, наиболее активны из них *Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum* (Jones) Waldee [8]. Возбудитель в поле поражает чаще ослабленные, подмороженные или механически поврежденные растения, но для многих корнеплодных культур слизистый бактериоз – серьезная проблема при сохранности товарной продукции, особенно в процессе хранения. Возбудители могут входить в бактериальный ризосферный комплекс ряда овощных культур (капуста, морковь, картофель) и некоторых сорняков (лебеда, сурепка, мать и мачеха, одуванчики). Кроме того, возбудитель слизистого бактериоза постоянно находится на поверхности и внутри тела насекомых (репная и капустная белянка, весенняя и летняя мухи, галловый цветоед и др.), что способствует ускоренному распространению бактериальной инфекции на большие расстояния и приводит к сильному поражению семенников различных культур [5].

Победить фитопатогенные микроорганизмы практически невозможно. Основным препятствием на сегодняшний день считают то, что даже бессимптомное взаимодействие растений с фитопатогенами представляет собой серьезную угрозу, поскольку надежно прогнозировать и предотвращать переход латентной инфекции в острую фазу весьма проблематично. На сегодняшний день наиболее действенные меры защиты овощных культур от бактериальных болезней – обработка посевов химическими средствами защиты растений и селекция на устойчивость.

В Государственном реестре селекционных достижений, допущенных к использованию на 2020 г. включено 215 сортов и 51 гибрид F_1 редиса, однако в описании большинства из них отсутствуют сведения об устойчивости к бактериальным гнилям. Селекция на устойчивость – сложный непрерывный процесс, требующий постоянного поиска источников, отбора и создания ценных генотипов. Первым этапом служит оценка

существующего генофонда редиса на естественном фоне, где, однако, не всегда складывается инфекционная нагрузка, необходимая для ранжирования образцов по устойчивости. На втором более сложном этапе проводят поиск источников устойчивости на основе иммунологической оценки на искусственных инфекционных фонах, что значительно повышает объективность и эффективность селекционного процесса [1].

Цель исследования – оценка сортового и селекционного материала редиса на устойчивость к бактериальным гнилям в условиях открытого и защищенного грунта для выделения источников признака и ценных генотипов.

Условия, материалы и методы. Работу проводили на базе лабораторий иммунитета и защиты растений, селекции и семеноводства столовых корнеплодов ФГБНУ Федерального научного центра овощеводства (Московская обл.) в 2020–2023 гг.

Корнеплоды редиса выращивали в защищенном и открытом грунте, опыты закладывали согласно общепринятой методике (*Методические рекомендации по проведению опытов с овощными культурами в сооружениях защищенного грунта* / С.Ф. Ващенко, Т.А. Набатова. Москва: ВАСХНИЛ, 1976), агротехника выращивания – рекомендованная для культуры редиса (Ермаков Н.Ф., *Технология производства редиса. Рекомендации*. М.: Россельхозиздат. 1987 г. 30 с.) [9].

Почва опытного участка в открытом грунте – тяжелосуглинистая, дерново-подзолистая со следующей агрохимической характеристикой: pH_{KCl} (ГОСТ 58594-2019) – 5,6...6,1 ед.; содержание гумуса (по Тюрину, ГОСТ 26213-91) – 1,8...2,0 %; содержание подвижного фосфора и калия (по Кирсанову, ГОСТ Р 54650-2011) – 420...480 мг/кг и 165 мг/кг соответственно; сумма обменных оснований (по методу Каппена-Гильковица, ГОСТ 27821-88) – 18,9 мг-экв./100 г почвы. Почва грунтовых теплиц (обогреваемых и необогреваемых) представлены смесью низинного торфа и перегноя в равных долях (2,0 т/10 м²) с содержанием органического вещества (по Тюрину, ГОСТ 26213-91) 5,2 %, подвижного фосфора и калия (по Кирсанову, ГОСТ Р 54650-2011) – 184 мг/кг и 108 мг/кг соответственно, общего азота (ГОСТ Р 58596-2019) – 12 мг/кг, pH_{KCl} (ГОСТ 58594-2019) – 6,1...6,4 ед.

Наиболее благоприятными температурным режимом для развития корнеплодов редиса считают диапазон 15...25 °С при сумме активных температур 2000...2900 °С. При недостатке тепла большая доля растений оказывается с недоразвитыми корнеплодами. Оптимальная влажность почвы для выращивания редиса составляет 70...80 %. При низкой влажности во время нарастания ассимиляционного аппарата и образования корнеплодов в засушливые годы редис

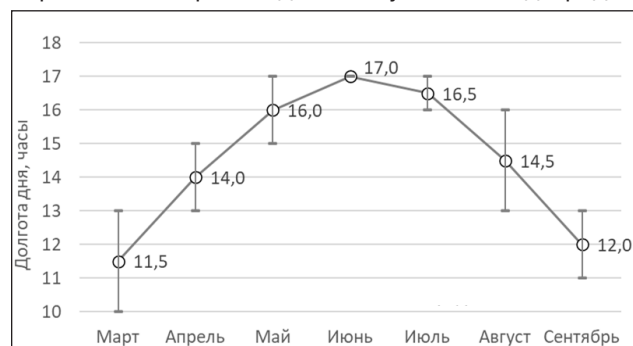


Рис. 1. Динамика изменения длины дня в разные периоды вегетационного периода в условиях Московской области: – min, – max, –O– средняя.

вырастает горьким, корнеплоды могут одревеснеть или увянуть. Недостаток влаги также приводит к преждевременному образованию цветоносных побегов. Редис – культура длинного светового дня. Оптимальная продолжительность светового периода для получения качественного урожая составляет 11...14 ч (рис. 1). При низкой освещенности подсемядольное колено растений вытягивается и редис полегает, при переизбытке света растения начинают преждевременно образовывать цветоносные побеги. В связи с этим, редис в открытом грунте или грунтовых теплицах обычно выращивают в весеннем (конец марта–середина июня) и летне-весеннем оборотах (август–сентябрь), когда продолжительность светового периода наиболее оптимальная для завязывания корнеплодов и получения качественной продукции редиса.

Наиболее влажным за период вегетации был 2020 г. (ГТК > 2), более засушливыми оказались сезоны 2022 и 2023 гг. (ГТК=1). Для развития растений редиса в весеннем обороте в открытом грунте самым благоприятным по сложившимся погодным условиям были 2021 и 2023 гг., характеризующиеся в мае–июне относительно высокими температурами (13...20 °С) и достаточным количеством осадков. Погодные условия осенне-летнего оборота наименее благоприятны для роста и формирования корнеплодов редиса сложились в 2022 г. Август был жарким и сухим, среднесуточная температура была выше нормы на 5,3 °С, также растения испытывали дефицит влаги, которую приходилось компенсировать поливами. В сентябре же, напротив, температура была ниже среднесуточной на 1,7 °С, а осадки почти в два раза превысили среднесуточные значения (табл. 1).

Таблица 1. Характеристика погодных условий вегетационных периодов в годы исследований (по данным метеостанции ФГБНУ ФНЦО)

Месяц	Среднесуточное	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.
Среднесуточная температура воздуха, °С					
Май	11,7	8,4	14,0	10,4	12,7
Июнь	15,4	14,9	20,2	19,0	16,6
Июль	17,6	15,5	22,2	20,6	18,3
Август	15,8	13,3	19,4	22,2	20,0
Сентябрь	10,5	15,4	9,1	9,9	15,1
Сумма эффективных температур за вегетацию	2264	2052	2601	2509	2540
Сумма осадков, мм					
Май	50	124	105	64	21
Июнь	65	100	62	31	68
Июль	80	110	40	51	120
Август	70	46	73	3	29
Сентябрь	55	63	95	100	9
ГТК	1,7	2,2	1,4	1,0	1,0

При выращивании редиса при естественном освещении в защищенном грунте необходимую влажность почвы поддерживали регулярными поливами. В необогреваемой грунтовой теплице среднесуточная температура воздуха превышала открытый грунт на 3...8 °С в зависимости от оборота (весенний, летний и летне-осенний), а в условиях обогреваемой грунтовой теплицы редис выращивали в марте–апреле при температурном режиме 20...25 °С днем и 15...17 °С ночью.

Выделение возбудителей из пораженных бактериальной гнилью корнеплодов редиса, дайкона, редьки проводили в лабораторных условиях согласно общепринятым методам фитопатологии (Самохвалов А. Н. Методы селекции овощных растений на устойчивость к болезням. М.: Изд-во Московской ордена Ленина и ордена трудового красного знамени сельскохозяйственная академия имени К. А. Тимирязева, 1997. 138 с.);

идентификацию изолятов – по морфолого-культуральным признакам с использованием определителя [10]. В работу были включены наиболее вирулентные изоляты *Pectobacterium spp.*, выделенные из дайкона – изолят 1, редьки – изолят 2 и редиса – изолят 3.

Перед проведением иммунологической оценки *in vitro* корнеплоды промывали в проточной воде, стерилизовали в 10 % растворе гипохлорида натрия в течение 10 минут, промывали стерильной водой, разрезали на половинки или полу-диски, которые помещали в контейнеры. Отделенные листья замачивали в мыльном растворе на пять минут, тщательно промывали в проточной и дистиллированной воде, подсушивали на воздухе в течении 10 минут, обматывали черешок увлажненным стерильной водой ватным диском и раскладывали в контейнеры тыльной стороной вверх.

Искусственное заражение внешне здоровых корнеплодов и листьев проводили двух-суточными чистыми культурами возбудителей, выращенных на питательной лизогенной среде LB (*Lysogeny Broth*), различными способами (контроль – стерильная вода):

1 вариант – метод прокола поверхности коры корнеплода кончиком препаровальной иглы, с нанесенной на него бактериальной культурой (повторность пятикратная); контейнеры с зараженными корнеплодами помещали в термостат при температуре 25 °С, ежедневно наблюдая за развитием болезни.

2 вариант – путем нанесения бактериальной суспензии ($KOE \times 10^{7...9}$) на поверхность среза полу-дисков (повторность 15-ти кратная); контейнеры с дисками инкубировали так же в термостате при температуре 25 °С.

3 вариант – путем инфильтрации бактериальной суспензией ($KOE \times 10^{7...9}$) в паренхиму листа между жилками с тыльной стороны листа (повторность пятикратная);

зараженные листья сутки инкубировали в темноте и далее на рассеянном свете в лабораторных условиях при температуре 22...23 °С. Наблюдения проводили в динамике и учет на седьмые сутки после заражения, измеряя площадь зоны поражения и выражая ее в процентах от общей площади листовой пластинки.

Иммунологические исследования проводили по соответствующим методам (Самохвалов А. Н. Методы селекции овощных растений на устойчивость к болезням. М.: Изд-во Московской ордена Ленина и ордена трудового красного знамени сельскохозяйственная академия имени К. А. Тимирязева, 1997. 138 с.) в нескольких независимых опытах с использованием сортов, селекционного и коллекционного материала лаборатории селекции и семеноводства столовых корнеплодов.

Материалом исследования в первом опыте (2020 г.) служили 13 образцов №№80-92, выращенные в необогреваемой теплице (весенний оборот): пять линий-С опылителей, пять гибридных комбинаций F₁ с их участием, два гибрида F₁ иностранной селекции и сортопопуляции (с/п) Мавр. Заражение корнеплодов проводили 1 и 2 способом всеми тремя изолятами. В качестве стандарта восприимчивости был взят сорт Вариант селекции ФГБНУ ФНЦО.

В 2021 г. была проведена иммунологическая оценка корнеплодов семи инбредных потомств разного происхождения (в скобках указана исходная популяция): L-271 и L-270 (с/п Моховский), L-25-1 и L-25-2 (Каспар F1), L-17 (с/п Соната), L-13 (с/п Софит), L-21 (образец из Японии) и стандарт – с/п Вариант; а в 2023 г. – двух новых гибридов F₁ с фиолетовыми корнеплодами (№200, №201), двух перспективных секционных образцов сортотипа красный округло-овальный (№202, №203), в сравнении с с/п Мавр (№204), выращенных в весеннем обороте (март–апрель) в обогреваемой теплице. Заражение проводили с использованием изолята 1: корнеплодов – первым способом, отделенных листьев – третьим способом.

Опыт по оценке влияния условий выращивания растений редиса на устойчивость корнеплодов к бактериальной гнили проводили в 2022 г. Материалом исследования служили 10 сортов селекции ФГБНУ ФНЦО (Ария, Софит, Моховский, Соната, Мавр, Королева Марго, МИФ, Тепличный грибовский, Фея, №270) и 4 гибрида F₁ иностранной селекции (Melito F1, Rordar F1, Cherriette F1, Gloriette F1); стандарт – сорт Вариант. Выращивание корнеплодов в весеннем (апрель–май) и летнем оборотах (июнь–июль) оборотах осуществляли в грунтовой необогреваемой теплице, а в летне–осеннем обороте (август–сентябрь) – одновременно в грунтовой теплице и открытом грунте. Заражение корнеплодов изолятом 1 проводили первым способом.

Учет степени поражения проводили на седьмые сутки по площади (S) или объему (V) зоны поражения, а также по интенсивности поражения (I, балл) с использованием модифицированной семибалльной шкалы (Самохвалов А. Н. Методы селекции овощных растений на устойчивость к болезням. М.: Изд-во Московская ордена Ленина и ордена трудового красного знамени сельскохозяйственной академии имени К. А. Тимирязева, 1997. 138 с.): 0 – отсутствие поражения; 0,1 – единичные светлые маслянистые пятна на поверхности; 0,5 – единичные темные пятна на поверхности d < 1 мм; 1 – площадь менее 25 %, глубина поражения < 1 мм (пятна расположены мозаично, без экссудата); 2 – площадь от 25 до 50 %, глубина поражения 1...2 мм (сливающиеся пятна, без экссудата); 3 – площадь 60...70 %, глубина поражения 3...4 мм (сливающиеся пятна, с экссудатом); 4 – площадь более 70 %, глубина поражения > 4 мм (полная гниль, с экссудатом). Оценку устойчивости в первом опыте проводили по двум критериям – средний балл поражения поверхности коры и паренхимной части корнеплодов (среднее по двум вариантам).

Ранжирование образцов на группы устойчивости выполняли согласно оригинальной методике по степени развития симптомов на основе среднего индекса поражения корнеплодов в баллах: У – устойчивые с индексом поражения 0 баллов; ОУ – относительно устойчивые с индексом поражения < 0,2 балла; СВ – средневосприимчивые, I = 0,2...1,0 балла; В – восприимчивые I > 1,0 балла. Дополнительным критерием степени устойчивости образцов при заражении корнеплодов служил так же объем зоны поражения, рассчитанный по формуле объема цилиндра, а при заражении листьев – площадь зоны поражения, рассчитанной по формуле площади круга. Ранжирование об-

разцов на группы устойчивости по этим показателям проводили относительно стандартов.

Обработку экспериментальных данных проводили с использованием программы пакета ANOVA программы EXEL 2010 по соответствующим методам математического и дисперсионного анализа, нормальность распределения подтверждена критериями эксцесса (Ex) и асимметрии (As), значения которых во всех экспериментах были ниже критических при $p \leq 0,05$ ($Ex_{\text{фактический}} - 0,36...0,92 < Ex_{\text{критический}} 0,94...1,43$; $As_{\text{фактический}} 0,06...1,07 < As_{\text{критический}} 0,52...1,13$); расчет НСР₀₅ и коэффициента корреляции Пирсона (r) по стандартным методикам (Доспехов Б. А. Методика полевого опыта: с основами статистической обработки результатов исследований. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.).

Результаты и обсуждение. Первым этапом исследования была оценка агрессивности изолятов и эффективности способа заражения корнеплодов при ранжировании образцов редиса на группы устойчивости к бактериальной гнили. Включенные в работу патогенные изоляты бактерий по степени агрессивности в отношении культуры редиса согласно среднему индексу поражения (вар1/вар2) расположились следующим образом: изолят 2 (I=0,66/0,55) < изолят 3 (I=0,97/1,05) < изолят 1 (I=1,02/2,28). То есть, наиболее агрессивным в отношении корнеплодов редиса оказался изолят 1, выделенный из пораженных корнеплодов дайкона, у которого между двумя способами заражения была отмечена наиболее высокая степень сопряженности по среднему индексу поражения корнеплодов разных образцов ($r_{\text{факт}} = 0,67$; $r_{\text{крит}} = 0,66$ при $p \leq 0,01$). В связи с чем, именно этот изолят возбудителя был взят во все последующие исследования.

По степени внутреннего поражения паренхимы большее число образцов были отнесены к группе восприимчивых, а доля относительно устойчивых составила лишь пятая часть от числа изученных. Устойчивость внешних покровов, наоборот, у половины образцов была высокой, а доля восприимчивых, у которых на момент учета были четко выражены симптомы поражения коры, составил 21 % (рис. 2). Тем не менее, для оценки устойчивости образцов к бактериальной гнили корнеплодов более объективным был первый вариант инфицирования половинок корнеплодов редиса. Этот способ наиболее близок к естественному пути заражения корнеплодов в поле, в условиях *in vitro* вызывает более типичные симптомы проявления болезни, менее трудоемок в исполнении и удобен для регистрации.

Выявлен полиморфизм изученных популяций по степени устойчивости индивидуальных корнеплодов, который определяет устойчивость образцов в целом. Во всех изученных популяциях присутствовали отдельные генотипы, проявившие высокую устойчивость ко всем изученным изолятам. Исключение составил только иностранный гибрид Дабел F₁ (№91), у которого,

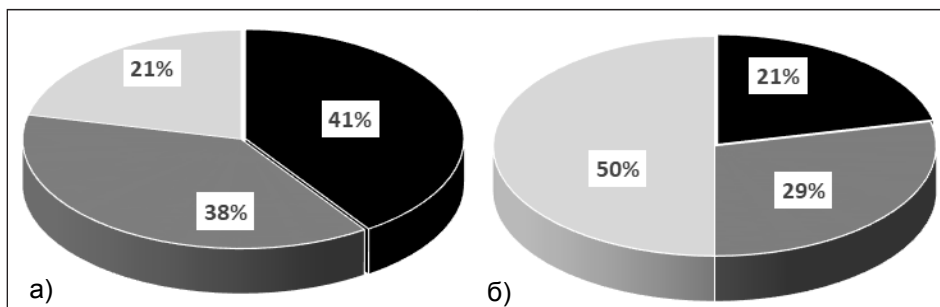


Рис. 2. Распределение образцов по группам устойчивости к внешнему (кора) (а) и внутреннему (паренхима) (б) поражению корнеплодов редиса (2020 г.): ■ – В, ■ – СВ, □ – ОУ.

Таблица 2. Характеристика образцов редиса различного происхождения по устойчивости к бактериальной гнили корнеплодов (2020 г.)

Образец *	Средний индекс поражения, балл								Доля генотипов с групповой устойчивостью, %
	внешних покровов				внутренней паренхимы				
	изоляция 1	изоляция 2	изоляция 3	группа устойчивости	изоляция 1	изоляция 2	изоляция 3	группа устойчивости	
Восприимчивые									
с/п Вариант, стандарт	1,9	0,5	0,9	В	2,7	1,4	1,4	В	0
№91 Дабел F ₁	1,2	0,4	0,8	В	2,8	1,6	1,3	В	0
№90 Линия-С 69mf	0,6	1,4	0,6	В	1,9	2,0	1,0	В	1
№82 F ₁ ms × 59 mf	0,2	0,3	0,2	ОУ	3,1	1,0	1,9	В	1
№84 F ₁ ms × 69 mf	0,3	0,5	0,4	СВ	2,0	1,6	1,1	В	4
Средневосприимчивые									
№88 Линия-С 59mf	1,0	0,1	0,4	СВ	2,7	0,8	0,8	СВ	7
№81 F ₁ ms × 55 mf	0,2	0,4	0,3	СВ	1,4	0,9	1,1	СВ	13
№83 F ₁ ms × 60 mf	0,3	0,6	0,4	СВ	1,1	0,2	0,2	СВ	13
№80 F ₁ ms × 54 mf	0,3	0,2	0,2	ОУ	1,3	0,7	0,4	СВ	13
№87 Линия-С 55 mf	0,1	0,5	0,1	ОУ	1,4	0,3	0,4	СВ	12
№85 с/п Мавр	0,4	0	0,2	ОУ	1,3	0,7	0,3	СВ	20
Относительно устойчивые									
№89 Линия-С 60mf	0,0	0,3	0,4	ОУ	0,8	0,2	0,2	ОУ	21
№92 Cherriette F ₁	0,0	0,3	0,4	ОУ	0,2	0,2	0,1	ОУ	22
№86 Линия-С 54 mf	0,2	0,0	0,2	ОУ	0,4	0,3	0,1	ОУ	29
НСР ₀₅	0,3	0,2	0,3		0,5	0,4	0,7		

* с/п – сортопопуляция; ms – стерильная материнская форма; mf – фертильная форма; линия С – опылитель.

как и у стандарта, все корнеплоды имели признаки поражения бактериальной гнилью с индексом поражения паренхимы от 1 до 4 баллов. Доля генотипов, устойчивых ко всем изолятам, в группе восприимчивых образцов не превысила 5 %, в средневосприимчивой группе составила 7...20 %, в группе относительно устойчивых – более 20 % (табл. 2). То есть, из изученных образцов, только три можно отнести к относительно устойчивым (ОУ) в отношении бактериальной гнили корнеплодов – две фертильные линии С-опылители (№86, №89) и иностранный гибрид Cherriette F₁ (№92). Среди средневосприимчивой (СВ) группы интерес представляет новый сорт Мавр (№85), который проявил высокую устойчивость при 1 способе заражения и в популяции которого присутствует около 20 % устойчивых генотипов, что близко к группе относительно устойчивых.

Гибридные комбинации №80 и №83 с участием относительно устойчивых опылителей фертильных линий С №86 и №89 вошли в группу средневосприимчивых (в среднем I=0,5...0,8 балла), а комбинация №82 и №84 с участием средневосприимчивой линии С №88 и восприимчивой линии С №69 – в группу восприимчивых образцов (в среднем I=1,6...2,0 балла). Это подтверждает необходимость иммунологической проверки родительских форм перед подбором пар для скрещивания, что даст возможность прогнозировать устойчивость гибридной комбинации и может повысить эффективность селекции на иммунитет.

По характеру поражения корнеплода бактериозом селекционные образцы в 2021 г. распределились по группам устойчивости следующим образом: в группу относительно устойчивых (ОУ) вошли инбредные линии L-271 и L-270 сортотипа красный округло-овальный с цельными листьями, полученные из с/п Моховский, у которых средний индекс поражения был 0,6...0,9 балла,

а объем зоны поражения не превышал 40 мм³, что почти в три раза меньше, чем у стандарта. В группу восприимчивых (В) – L-251-1 (I₄ из гибридной популяции Каспар F₁) и L-13 (отбор из сортопопуляции Софит), у которых объем зоны поражения, как и у стандарта составил более 120 мм³, а индекс поражения выше 1,2 балла. Остальные три номера оказались средневосприимчивыми (СВ) с индексом поражения от 1 до 1,2 балла и объемом зоны поражения 50...60 мм³ (рис. 3).

Иммунологическая оценка на устойчивость к бактериальной гнили новых гибридов F₁ с фиолетовыми корнеплодами (№200, №201) и двух линий сортотипа красный округло-овальный (№202, №203) в сравнении с сортом Мавр (№204) была проведена в 2023 г. не только на корнеплодах, но и на листьях. Ранжирование образцов по степени устойчивости более четко проявилась при заражении листьев, чем корнеплодов. Тем не менее, образец №202 оказался самым восприимчивым, как по корнеплодам, так и по листьям – объем зоны поражения корнеплодов превысил средневосприимчивый стандарт сорт Мавр (№204) на 38 %, а площадь поражения листьев в шесть раз. По устойчивости корнеплодов к бактериальной гнили можно выделить секционный образец №203 (объем зоны поражения в два раза ниже стандарта), а по листьям – гибрид F₁ Романс (№200), у которого, как и у с/п Мавр (№204), зона поражения не превышала 5 % от общей площади листовой пластики (рис. 4).

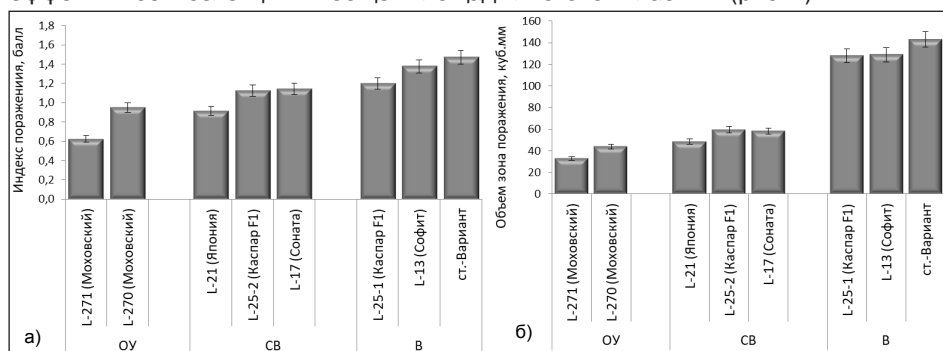


Рис. 3. Оценка пораженности корнеплодов селекционных образцов редиса столового возбудителем бактериальной гнили (в скобках указано название родительской популяции): а) по индексу поражения, балл; б) по объему зоны поражения, мм³ (2021 г.).

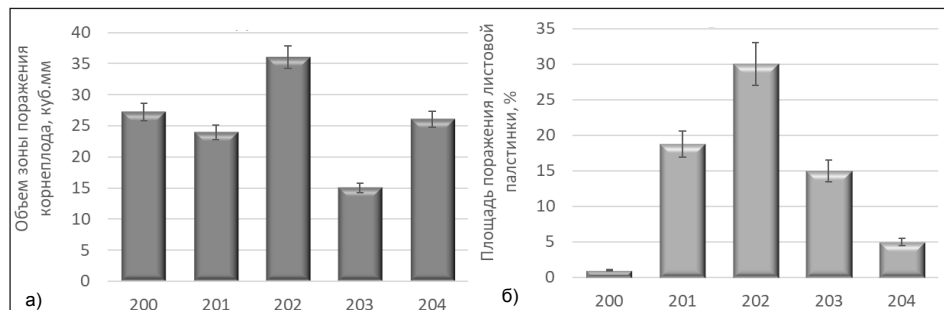


Рис. 4. Оценка пораженности корнеплодов и листовой розетки линий редиса возбудителем бактериальной гнили: а) по объему зоны поражения корнеплода, мм³; б) по площади поражения листовой пластинки, % (2023 г.).

В другой серии опытов было подтверждено, что агрофон выращивания, влияя на рост и развитие растений, иммунный статус, вызывает изменение их восприимчивости к возбудителям бактериоза и влияет на распределение анализируемых образцов по группам устойчивости. В открытом грунте образцы по устойчивости корнеплодов четко распределились на крайние группы, в отличие от защищенного грунта, где были представлены все группы устойчивости. Доля восприимчивых образцов составила от 27...33 % в защищенном грунте до 40 % в открытом

нем обороте отмечен сдвиг в сторону восприимчивости на обоих фонах, по сравнению с другими оборотами в защищенном грунте, где он проявил относительную устойчивость (см. табл. 2, рис. 5).

Смена группы устойчивости определяет общий уровень адаптивной способности образца к изменению внешних условий, но в целом более объективно характеризует генетически детерминированную степень его устойчивости к бактериальной гнили. Среди изученных образцов по этому критерию можно выделить

Таблица 3. Характеристика сортов и гибридов редиса по группам устойчивости к бактериальной гнили корнеплодов в зависимости от условий выращивания (2022 г.)

Образец	Период выращивания (оборот)			
	весенний (зимняя теплица)	летний (пленочная теплица)	летне-осенний	
			пленочная теплица	открытый грунт
Вариант, стандарт	В	В	ОУ	ОУ
Ария	В	ОУ	В	ОУ
Софит	СВ	ОУ	СВ	В
Моховский	ОУ	ОУ	ОУ	У
Соната	В	СВ	СВ	В
Мавр	У	У	СВ	ОУ
Королева Марго	СВ	В	СВ	ОУ
МИФ	ОУ	СВ	В	В
Тепличный грибовский	СВ	В	ОУ	У
Фея	ОУ	СВ	ОУ	ОУ
№270	СВ	СВ	У	В
Melito F ₁	В	В	В	В
Rordar F ₁	ОУ	В	В	В
Cherriette F ₁	В	СВ	ОУ	ОУ
Gloriette F ₁	ОУ	ОУ	У	У

грунте, тогда как доля устойчивых и относительно устойчивых, наоборот, была более высокой в открытом грунте – 20 % и 40 % соответственно, а в теплице она составила 7...13 % и 27...33 % в зависимости от оборота (табл. 3).

Сравнение среднего индекса поражения корнеплодов, выращенных в летне-осеннем обороте, показало,

в теплице (25...28 °С). Выращивание в условиях летнего оборота отрицательно сказалось и на устойчивости корнеплодов сорта Королева Марго. В результате этот сорт при ранжировании вошел в восприимчивую группу, тогда как при выращивании в открытом грунте – в группу относительно устойчивых к возбудителю бактериальной гнили образцов (средний индекс поражения 0,5 балла) (см. табл. 2, рис. 5).

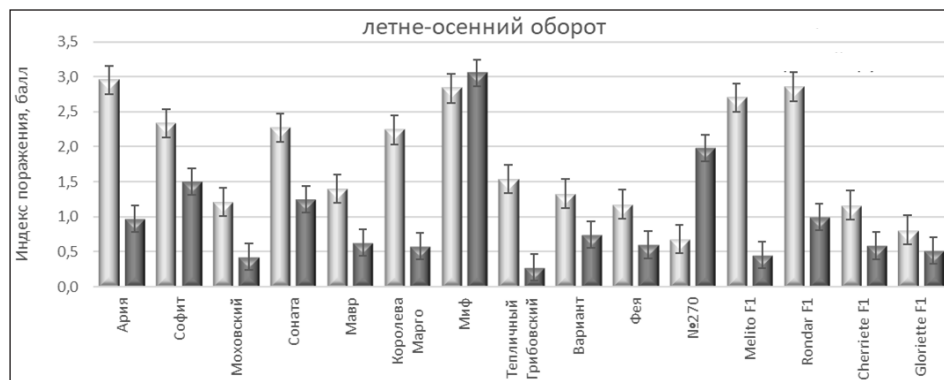


Рис. 5. Средний индекс поражения (балл) бактериальной гнилью корнеплодов сортов и гибридов редиса столового, выращенных в условиях защищенного и открытого грунта, при искусственном заражении *in vitro*: ■ – теплица, ■ – открытый грунт.

что у большинства сортов и гибридов корнеплоды с открытого грунта проявляют более высокую степень устойчивости. Средний балл их поражения был в 1,6...5,9 раза ниже, чем у корнеплодов, выращенных в теплице (рис. 5). Исключение составил только образец №270, у которого отмечена противоположная реакция, а также сорт Миф, у которого в летне-весен-

нем обороте отмечен сдвиг в сторону восприимчивости на обоих фонах, по сравнению с другими оборотами в защищенном грунте, где он проявил относительную устойчивость (см. табл. 2, рис. 5). Смена группы устойчивости определяет общий уровень адаптивной способности образца к изменению внешних условий, но в целом более объективно характеризует генетически детерминированную степень его устойчивости к бактериальной гнили. Среди изученных образцов по этому критерию можно выделить сорта Моховский, Мавр и Фея селекции ФГБНУ ФНЦО и гибрид Gloriette F₁, стабильно проявляющих относительную устойчивость к местным штаммам бактериальной гнили.

Два гибрида Melito F₁ и Rordar F₁ вошли в группу восприимчивых к бактериозу. У гибрида Cherriette F₁ в условиях летне-осеннего оборота, как и у сортов Тепличный грибовский и Вариант (стандарт), отмечено повышение уровня резистентности корнеплодов, особенно по сравнению с летним оборотом на фоне длинного светового дня (17 ч) и повышенной температуры

Выводы. Среди изученных изолятов *Pectobacterium* spp. наиболее агрессивным в отношении корнеплодов редиса оказался изолят 1, выделенный из пораженных корнеплодов дайкона, при инокуляции которым средний балл поражения был в 2...4 раза выше (1 – 1,02/2,28), чем у других изолятов, выделенных из больных растений редьки и

редиса. Доля относительно устойчивых селекционных образцов при заражении внешних покровов составила 50 %, а при инфицировании паренхимы – всего 21 %.

Из изученных образцов, к относительно устойчивым в отношении бактериальной гнили корнеплодов можно отнести две фертильные линии С-опылители (№86, №89) и иностранный гибрид Cherriette F₁ (№92), в популяции которых доля генотипов, устойчивых к трем изолятам *Pectobacterium* spp., превысила 20 %. Кроме того, селекционную ценность представляют полученные из сортопопуляции Моховский перспективные линии L-271 и L-270 сорто типа красный округло-овальный с цельными листьями, у которых объем зоны поражения при искусственном заражении корнеплодов был в 3 раза меньше, чем у восприимчивого стандарта.

При проведении комплексной оценки путем заражения корнеплодов и листьев по устойчивости корнеплодов к бактериальной гнили выделился секционный образец №203 с долей пораженных корнеплодов 15 %, по устойчивости листьев – гибрид F₁ Романс (№200) и сортопопуляция Мавр (№204), у которых было поражено 2 % и 5 % листьев соответственно.

У большинства сортов и гибридов редиса корнеплоды из открытого грунта проявляют более высокую степень устойчивости (от 0,2 до 2 баллов), чем корнеплоды, выращенные в теплице (от 0,6 до 3 балла).

По стабильности проявления признака на разных агрофонах выращивания (обороты, защищенный и открытый грунт) выделили сорта Моховский, Фея, Мавр и гибрид Gloriette F₁, проявившие устойчивость к местным штаммам возбудителя бактериальной гнили. Индекс поражения их корнеплодов при искусственном заражении в среднем по всем вариантам опыта составил 0,7...1,0 балла, что ниже, чем у стандартного сорта Вариант (1,2 балла) и восприимчивого гибрида Rordar F₁ (1,9 балла).

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ.

Работа выполнена по Государственному заданию FGGF-2022-0016 «Разработка эффективных технологий предбридингового скрининга и выделения ген-источников для создания сортов и гибридов овощных и бахчевых культур с групповой устойчивостью к доминирующим фитопатогенам на основе иммунологических и молекулярно-генетических методов».

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ.

В работе отсутствуют исследования человека или животных.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ.

Авторы работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

Литература.

1. Технологические свойства растений редиса / А. А. Ашитко, Е. А. Гавриш, А. Ю. Несмиян и др. // *Инженерные технологии и системы*. 2019. Т. 29. № 2. С. 265–278.
2. Lin L. Intercropping different varieties of radish can increase cadmium accumulation in radish // *Environmental toxicology and chemistry*. 2014. Vol. 33. No. 9. P. 1950–1955.
3. Root vegetables – Composition, health effects, and contaminants / E. Knez, K. Kadac-Czapska, K. Dmochowska-Slezak, et al. // *International journal of environmental research and public health*. 2022. Vol. 19. No. 23. Article 15531. URL: <https://www.mdpi.com/1660-4601/19/23/15531> (дата обращения: 13.07.2024). doi: 10.3390/ijerph192315531.
4. Кочетов А. А., Синявина Н. Г. Стратегия создания высокопродуктивных форм редиса, адаптированных для выращивания в светокультуре // *Российская сельскохозяйственная наука*. 2019. № 1. С. 29–33. doi: 10.31857/S2500-26272019129-33.
5. Матвеева Е. В., Пехтерева Э. Ш., Одинцова М. А. О распространении возбудителей бактериозов капусты // *Картофель и овощи*. 1982. № 7. С. 27–28.
6. Горобей И. М., Осипова Г. М. Проблема бактериозов растений и подходы к ее решению // *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*. 2017. Т. 47. № 4. С. 94–102.
7. Responses of radish (*Raphanus sativus*) to drought stress / F. Stagnari, A. Galieni, S. D'Egidio, et al. // *Annals of Applied Biology*. 2018. Vol. 172. No. 2. P. 170–186. doi: 10.1111/aab.12409.
8. Dadasoglu F., Kotan R. Identification and characterization of *Pectobacterium carotovorum* // *The Journal of Animal & Plant Sciences*. 2017. Vol. 23. No. 2. P. 647–654.
9. Федорова М. И., Заячковская Т. В. Сорта редиса селекции ВНИИССОК и их использование // *Овощи России*. 2016. № 3. С. 54–61. doi: 10.18619/2072-9146-2016-3-54-61.
10. Хоулт Дж., Криг Н. *Определитель бактерий Берджи* / пер. с англ. Изд. 9-е. под ред. акад. РАН Г. А. Заварзина. М.: Мир, 1997. Т. 1. 429 с.

References

1. Ashitko AA, Gavriush EA, Nesmiyan AYU, et al. [Technological properties of radish plants]. *Inzhenernye tekhnologii i sistemy*. 2019;29(2):265-78. Russian.
2. Lin L. Intercropping different varieties of radish can increase cadmium accumulation in radish. *Environmental toxicology and chemistry*. 2014;33(9):1950-5.
3. Knez E, Kadac-Czapska K, Dmochowska-Slezak K, et al. Root vegetables – Composition, health effects, and contaminants. *International journal of environmental research and public health* [Internet]. 2022 [cited 2024 Jul 13];19(23): Article 15531. Available from: <https://www.mdpi.com/1660-4601/19/23/15531>. doi: 10.3390/ijerph192315531.
4. Kochetov AA, Sinyavina NG. [Strategy for developing highly productive radish forms adapted for cultivation under light culture]. *Rossiiskaya sel'skokhozyaistvennaya nauka*. 2019;(1):29-33. Russian. doi: 10.31857/S2500-26272019129-33.
5. Matveeva EV, Pekhtereva ESh, Odintsova MA. [On the spread of pathogens causing cabbage bacterial diseases]. *Kartofel' i ovoshchi*. 1982;(7):27-8. Russian.
6. Gorobei IM, Osipova GM. [The problem of plant bacterial diseases and approaches to its solution]. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki*. 2017;47(4):94-102. Russian.
7. Stagnari F, Galieni A, D'Egidio S, et al. Responses of radish (*Raphanus sativus*) to drought stress. *Annals of Applied Biology*. 2018;172(2):170-86. doi: 10.1111/aab.12409.
8. Dadasoglu F, Kotan R. Identification and characterization of *Pectobacterium carotovorum*. *The Journal of Animal & Plant Sciences*. 2017;23(2):647-54.
9. Fedorova MI, Zayachkovskaya TV. [Radish varieties bred by VNISSOK and their use]. *Ovoshchi Rossii*. 2016;(3):54-61. Russian. doi: 10.18619/2072-9146-2016-3-54-61.
10. Hoult G, Krig N. *Opredelitel' bakterii Berdzhii* [Bergey's bacteria identifier]. 9th ed. Moscow: Mir; 1997. vol. 1; 429 p. Russian.

Поступила в редакцию 25.07.2024 После доработки 04.09.2024 Принята к публикации 10.10.2024