

**СЕЛЕКЦИЯ, СЕМЕНОВОДСТВО
И БИОТЕХНОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ
(СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ)**

Естественные науки. 2024. № 2 (15). С. 56–65.

Yestestvennyye nauki = Natural Sciences. 2024; 2 (15): 56–65 (In Russ.).

Научная статья

УДК 631.527

**ИЗУЧЕНИЕ ИСХОДНОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ СЕЛЕКЦИИ
КАПУСТЫ БЕЛОКОЧАННОЙ *BRASSICA OLERACEA* L.
НА УСТОЙЧИВОСТЬ К СОСУДИСТОМУ БАКТЕРИОЗУ**

Румянцева Олеся Олеговна*[✉], *Монахос Сократ Григорьевич

Российский государственный аграрный университет — МСХА имени
К. А. Тимирязева», г. Москва, Россия

rumiantsewa.olesya@yandex.ru[✉]

Аннотация. Сосудистый бактериоз — одно из самых вредоносных и распространённых заболеваний капусты белокочанной. При этом на рынке отсутствуют высокоустойчивые сорта и гибриды капусты. У представителей *Brassica oleracea* нет доноров моногенной доминантной устойчивости к наиболее распространённым расам, поэтому необходимо передавать устойчивость из родственных видов *Brassica*. В данном исследовании приведены результаты оценки устойчивости / восприимчивости к сосудистому бактериозу беккроссного потомства от межвидовой гибридизации капусты белокочанной с горчицей эфиопской (*B. oleracea* × *B. carinata*), выявлено три генотипа, устойчивых к 1, 3 и 4 расам Хсс с числом хромосом в меристематических клетках корней $2n = 19$.

Ключевые слова: капуста белокочанная, сосудистый бактериоз, *Xanthomonas campestris* pv. *campestris*, устойчивость, восприимчивость, инокуляция

Для цитирования: Румянцева О. О., Монахос С. Г. Изучение исходного материала для селекции капусты белокочанной *Brassica oleracea* L. на устойчивость к сосудистому бактериозу // Естественные науки. 2024. № 2 (15). С. 56–65.

**THE STUDY OF WHITE CABBAGE *BRASSICA OLERACEA* L.
GERMPLASM FOR BLACK ROT RESISTANCE**

Rumiantseva Olesya O.*[✉], *Monakhos Sokrat G.

Russian State Agrarian University — MTAA named after K. A. Timiryazev,
Moscow, Russia

rumiantsewa.olesya@yandex.ru[✉]

© Румянцева О. О., Монахос С. Г., 2024.

Abstract. The urgency of problem is explained by the fact that black rot is one of the most harmful and widespread diseases of white cabbage. At the same time, there are no highly resistant cabbage varieties and hybrids on the market. Representatives of *Brassica oleracea* do not have donors of monogenic dominant resistance to the most common races, therefore, it is necessary to transfer resistance from related Brassica species. This study presents the results of assessing the resistance / susceptibility to black rot of backcross progeny from interspecific hybridization of white cabbage with Ethiopian mustard (*B. oleracea* × *B. carinata*), three resistant to 1, 3 and 4 races genotypes were identified with the number of chromosomes in the meristematic cells of the roots is $2n = 19$.

Keywords: white cabbage, black rot, *Xanthomonas campestris* pv. *campestris*, resistance, susceptibility, inoculation

For citation: Rumyantseva O. O., Monakhos S. G. Study of white cabbage *Brassica oleracea* L. germplasm for black rot resistance. *Yestestvennyye nauki = Natural Sciences*. 2024; 2 (15): 56–65.

Введение. Сосудистый бактериоз (возбудитель — бактерия *Xanthomonas campestris* pv. *campestris*, Xcc) — одно из самых вредоносных и широко распространённых заболеваний капустных культур в мире [6]. Для капусты белокочанной это заболевание не уступает по вредоносности киле и фузариозному увяданию [10].

Сосудистый бактериоз вызывает потери урожая, ухудшение пищевой ценности и резкое снижение лёжкости кочанов. При заболевании рассады масса формирующихся кочанов уменьшается в среднем 1,5 раза. В поражённых кочанах снижается содержание сухих растворимых веществ (на 8,2–30,0 %), аскорбиновой кислоты (на 11,0–44,1 %) и сахаров (в 1,5 раза) [2; 3]. Из-за сосудистого бактериоза резко (до 10 раз) усиливается развитие мокрой гнили во время хранения и транспортировки продукции. Бактерии Xcc, достигнув высокой численности в растении, выделяют пектолитические ферменты, «открывая ворота» вторичным фитопатогенам (*Pectobacterium* spp., *Erwinia* spp., *Pantoea* spp., *Alternaria* spp.) [6]. Сосудистый бактериоз опасен и для семенных растений, вызывая эпифитотии в регионах массового семеноводства [5]. При поражении семенников потери урожая семян могут быть существенными — до 58,7 % [3].

Заболевание вредоносно во всех фазах развития капусты — всходов, взрослых растений, но особенно быстро поражаются растения в фазу рассады [2; 6].

Бактерии Xcc, проникая в растение, образуют в сосудах ксилемы полисахаридную пробку, что приводит к водному стрессу в клетках паренхимы и появлению V-образных хлорозов на листьях, а также потемнению жилок [24]. Позднее поражённая часть листа отмирает [2]. Распространение бактерий в черешок и кочерыгу вызывает некротизацию сосудистого кольца [3]. Симптомы заболевания на проростках проявляются в осветлении краёв семядольных листьев, сеянцы замедляются в росте, искривляются и могут погибнуть.

Фитопатоген проникает в растение преимущественно через гидатоды при высокой влажности воздуха [2], а также через устьица, механические

травмы листьев и корней, повреждения насекомыми. Основным источником инфекции — зараженные семена [6], в которых фитопатоген способен к сохранению до трёх лет [14]. Распространяется возбудитель в поле через остатки поражённых растений, сорняки семейства капустных, поливную воду, инструменты при несоблюдении фитосанитарных норм [6], а также с дождём и порывистым ветром. При выращивании рассады бактерии могут распространиться с помощью верхнего полива в теплице [23]. В почве патоген сохраняется только в неразложившихся растительных остатках поражённых растений [7] до двух лет, а в южных регионах перезимовывает в озимом рапсе [2].

Заболевание развивается массово при тёплой и влажной погоде (при плюс 20...плюс 24 °С и влажности воздуха 80–100 %). В прохладную погоду симптомы заболевания на растениях могут быть незаметными, но при повышении температуры быстро проявляются [2; 7].

В настоящее время идентифицировано 11 физиологических рас *Xcc* на основе реакции с растениями-дифференциаторами. Изначально обнаружено пять рас патогена (0–4) [21]. Затем предложена новая классификация, состоящая из шести рас (1–6) [27], к которой позднее были добавлены 7–11 расы [16; 17; 20]. Самые распространённые в мире расы *Xcc* — 1 и 4 [28]. В России также наиболее распространены штаммы патогена, принадлежащие к 1 (31,8 %) и 4 (34,1 %), в меньшей степени — к 0 (13,6 %) и 3 (20,5 %) расам [4].

Для защиты от сосудистого бактериоза применяют превентивные мероприятия — использование здоровых семян и рассады, удаление сорняков и поражённых растительных остатков [25]. Для снижения запаса инфекции в поле необходимо соблюдение севооборота и возвращение капусты на прежнее место не ранее чем через два года. В поле при появлении симптомов заболевания используют биопрепараты на основе бактерий-антагонистов [2]. Перспективно применение бактериофаговых препаратов, надуксусной кислоты, эфирных масел (тимьяна, душицы, чабера) [1; 12; 13].

Создание и выращивание устойчивых гибридов — самый радикальный метод борьбы с сосудистым бактериозом [13]. Селекция — наиболее эффективная, относительно недорогая и безопасная для окружающей среды мера предотвращения потерь урожая от заболеваний при применении как органических, так и традиционных технологий. Использование устойчивых растений способствует не только снижению распространения развития заболеваний, но и уменьшению отрицательного воздействия химикатов на производителя и потребителя [9].

Существующие F_1 гибриды капусты белокочанной, позиционируемые как устойчивые, не обеспечивают полную защиту от сосудистого бактериоза, так как они устойчивы к одной – двум расам патогена и восприимчивы к четырём – пяти. На рынке нет высокоустойчивых сортов и гибридов капусты белокочанной по причине отсутствия генов в пределах вида *B. oleracea*, обеспечивающих устойчивость одновременно к нескольким расам патогена [10].

Большинство растений *B. oleracea* поражаются всеми расами патогена, а доноры генов устойчивости обладают рецессивной, количественной устойчивостью. При этом число задействованных генов зависит от метода инокуляции или пути проникновения *Xcc* в растение [11]. По этой причине в селекционный процесс вовлекают родственные виды рода *Brassica*.

В данный момент наиболее перспективные источники устойчивости к сосудистому бактериозу — аллотетраплоидные виды *Brassica*: эфиопская горчица *B. carinata* ($2n = 34$, BBCC) линия PI199947 и листовая горчица *B. juncea* ($2n = 36$, AABB) Florida Broad Leaf Mustard, обладающие моногенной доминантной устойчивостью к 1, 3–5 расам *Xcc* [19]. Осуществлялись попытки передачи генов устойчивости в *B. oleracea* с помощью межвидовой гибридизации [26], слиянием протопластов [17], однако устойчивость была нестабильной в потомствах. Ген устойчивости из линии PI199947 *B. carinata* передан только в капусту пекинскую *B. rapa* ($2n = 20$, AA) [8].

Зубко с соавторами использовали межвидовую гибридизацию для передачи *Rb*-гена устойчивости к 1, 3–5 расам *Xcc* из линии PI199947 *B. carinata* в *B. oleracea* [29] и в настоящее время в РГАУ – МСХА им. К. А. Тимирязева продолжается работа с полученным беккроссным потомством.

Цель работы — изучение исходного материала для селекции капусты белокочанной (*B. oleracea*) на устойчивость к сосудистому бактериозу. Для достижения этой цели были поставлены следующие задачи: проведение скрининга устойчивости / восприимчивости к *Xcc* беккроссного потомства (BC4SP) от межвидовой гибридизации *B. oleracea* × *B. carinata*; подсчёт числа хромосом в клетках меристематических тканей корней у растений, устойчивых к *Xcc*.

Материалы и методы исследования. Растительный материал: потомство от самоопыления удвоенных гаплоидов от линии, полученной отдалённой гибридизацией от межвидовых гибридов *B. oleracea* × *B. carinata* (BC4SP).

Семена высевали в кассеты (8×8 , сторона ячейки 5 см) с торфяным субстратом. Растения выращивали в рассадной теплице, по мере необходимости проводили полив. Растения пересаживали в 0,5 л горшки и после формирования 8–10 настоящих листьев инокулировали по методу [18]. Для инокуляции использовали штаммы 76PPD, 06PPD, 77PPD, которые относятся к 1, 3, 4 расам *Xcc* соответственно. Учёт симптомов проводили по двухбалльной шкале: 0 — нет симптомов поражения (устойчиво), 1 — есть симптомы поражения (восприимчиво).

Цитологические препараты для подсчёта числа хромосом в меристематических тканях корней готовили по методу “Steam Drop” [22].

Результаты исследования. На 21 день после инокуляции проведены учёт устойчивости / восприимчивости растений к 1, 3 и 4 расам *Xcc* (табл.).

Таблица — Оценка устойчивости / восприимчивости генотипов к трём расам *Xcc*

Генотип	Раса <i>Xcc</i>			Генотип	Раса <i>Xcc</i>		
	1	3	4		1	3	4
1p8p5 № 1	+	+	+	1p8p7 № 4	±	+	+
1p8p5 № 2	+	+	+	2p4p3 № 1	–	–	–
1p8p5 № 3	–	+	+	2p4p3 № 2	–	–	–
1p8p5 № 4	–	+	±	2p4p3 № 3	–	–	+
1p8p5 № 5	±	+	+	2p4p3 № 4	+	+	±
1p8p5 № 6	–	–	–	2p4p3 № 5	+	+	+
1p8p5 № 7	–	–	–	2p4p3 № 6	–	–	–
1p8p6 № 1	+	+	+	2p4p3 № 7	–	–	–
1p8p6 № 2	–	–	+	2p4p3 № 8	±	+	+
1p8p6 № 3	–	+	–	2p4p3 № 9	–	+	+
1p8p6 № 4	–	+	+	2p4p3 № 10	–	–	–
1p8p6 № 5	–	+	+	2p4p3 № 11	±	–	–
1p8p6 № 6	±	+	+	2p4p3 № 12	–	–	+
1p8p7 № 1	–	–	–	2p4p3 № 13	–	±	+
1p8p7 № 2	±	+	+	2p4p3 № 14	+	+	+
1p8p7 № 3	–	–	–				

Примечание: + восприимчивость;
– устойчивость к расе *Xcc*;
± единичное небольшое поражение.

Как видно из таблицы, обнаружено девять устойчивых к трём расам генотипов, остальные поразились одной, двумя или тремя расами.

Устойчивые девять образцов перенесли в теплицу, где их периодически опрыскивали надуксусной кислотой (10 мл/л) и повторно оценили на 49-й день после инокуляции. В результате оценки девяти растений обнаружили три устойчивых к трём расам генотипа — 1p8p5 № 6, 1p8p7 № 3, 2p4p3 № 1, у остальных шести растений появились симптомы поражения одной – двумя расами или произошло естественное вторичное поражение через гидатоды, при котором развитие симптомов заболевания происходит не от места прокола пинцетом, а от края листовой пластинки.

У отобранных трёх растений, устойчивых к 1, 3 и 4 расам *Xcc*, в митотических клетках содержится 19 хромосом (рис.). Предположительно, устойчивость к СБ отобранных растений определяется присутствием одной хромосомы из генома *B. carinata*.

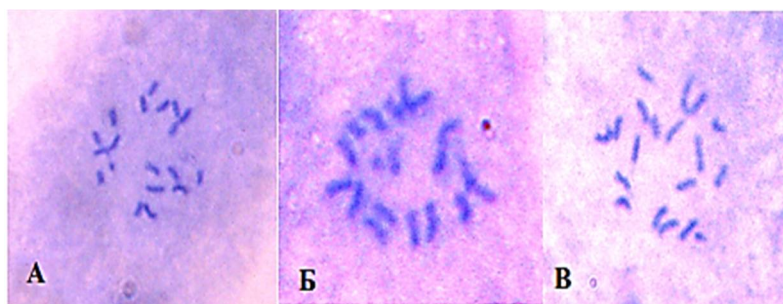


Рисунок — Число хромосом $2n = 19$ в метафазных пластинках клеток меристематических тканей корней растений: А — 1p8p5 № 6; Б — 1p8p7 № 3; В — 2p4p3 № 1

Заключение. В результате оценки устойчивости / восприимчивости потомства от отдалённой гибридизации *B. oleracea* × *B. carinata* (BC4SP) среди 31 генотипа обнаружены три образца, устойчивых к 1, 3 и 4 расам *Xcc*, в клетках меристематических тканей которых содержится $2n = 19$ хромосом. Таким образом, для дальнейшей успешной интрогрессии устойчивости из генома *B. carinata* в *B. oleracea* необходимо проводить беккроссные скрещивания, чтобы получить растение с 18 хромосомами, устойчивое к трём расам патогена.

Список литературы

1. Во Тхи Нгок Ха. Антибактериальная активность эфирных масел и их использование для обеззараживания семян капусты от сосудистого бактериоза / Во Тхи Нгок Ха, Ф. С. Джалилов // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. — 2014. — № 6. — С. 59–68.
2. Джалилов, Ф. С. Защита капусты от болезней в период вегетации / Ф. С. Джалилов, Во Тхи Нгок Ха // Картофель и овощи. — 2014. — № 1. — С. 20–23.
3. Джалилов, Ф. С. Вредоносность сосудистого бактериоза капусты / Ф. С. Джалилов, Г. Ф. Монахос, Р. Д. Тивари // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. — 1989. — Вып. 3. — С. 169–172.
4. Игнатов, А. Н. Анализ расового состава популяции *Xanthomonas campestris* sp. *campestris* (Pamm.) Dow в России и селекция на устойчивость к сосудистому бактериозу / А. Н. Игнатов, Ф. С. Джалилов, Г. Ф. Монахос // Генетические коллекции овощных растений / под ред. В. А. Драгавцева. — Санкт-Петербург : Всероссийский ин-т растениеводства, 2001. — Ч. 3. — С. 179–190.
5. Игнатов, А. Н. Происхождение устойчивости к сосудистому бактериозу у видов *Brassica* spp. / А. Н. Игнатов // Состояние и перспективы селекции семеноводства капустных культур. — Москва : Российский гос. аграрн. ун-т — Московская с.-х. акад. им. К. А. Тимирязева, 2016. — 64 с.
6. Игнатов, А. Н. *Xanthomonas campestris*: основные результаты и проблемы исследования возбудителя сосудистого бактериоза капустных / А. Н. Игнатов, Ф. С. Джалилов, К. А. Мирошников, П. В. Евсеев // Микробные биотехнологии: фундаментальные и прикладные аспекты. — Минск: Белорусская наука, 2021. — Т. 13. — С. 153–168.
7. Лазарев, А. М. Ареал и зона вредоносности сосудистого бактериоза капусты / А. М. Лазарев, Е. Н. Мыслик, А. Н. Игнатов. // Вестник защиты растений. — 2017. — Т. 1 (91). — С. 52–22.
8. Монахос, С. Г. Отдаленная гибридизация в селекции капусты пекинской на устойчивость к сосудистому бактериозу / С. Г. Монахос // Агротехнологии XXI века. — Москва : Российский гос. аграрн. ун-т — Московская с.-х. акад. им. К. А. Тимирязева, 2007. — С. 187–191.
9. Монахос, С. Г. Селекция растений на устойчивость — основа защиты от болезней в органическом земледелии / С. Г. Монахос, А. В. Воронина, А. В. Байдина, О. Н. Зубко // Картофель и овощи. — 2019. — Т. 6. — С. 38–40.
10. Монахос, С. Г. Устойчивость капусты к сосудистому бактериозу / С. Г. Монахос, Н. В. Елышко // Картофель и овощи. — 2015. — № 9. — С. 38–39.
11. Орынбаев, А. Т. Методы оценки и характер наследования стеблевой устойчивости к сосудистому бактериозу у белокочанной капусты / А. Т. Орынбаев, Ф. С. Джалилов, Г. Ф. Монахос // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. — 2019. — № 1. — С. 45–55.
12. Орынбаев, А. Т. Испытание эффективности бактериофагового препарата в защите капусты белокочанной от сосудистого бактериоза / А. Т. Орынбаев, К. А. Мирошников,

А. Н. Игнатов, Ф. С. У. Джалилов // Растениеводство и луговое хозяйство. — Москва : ЭЙПиСиПаблишинг, 2020. — С. 510–512. — doi: 10.26897/978-5-9675-1762-4-2020-113.

13. Орынбаев, А. Т. Обеззараживание семян от сосудистого бактериоза / А. Т. Орынбаев, Ф. С. Джалилов // Картофель и овощи. — 2018. — № 1. — С. 23–25.

14. Bazzi, C. Seed-transmission of phytopathogenic bacteria / C. Bazzi // *Petria*. — 1991. — Vol. 1. — P. 19–30.

15. Cruz, J. Assessment of the diversity of *Xanthomonas campestris* pathovars affecting Cruciferous plants in Portugal, and disclosure of two novel *X. campestris* pv. *campestris* races / J. Cruz, R. Tenreiro, L. Cruz // *Journal of Plant Pathology*. — 2017. — Vol. 99.2. — P. 403–414.

16. Fargier, E. Pathogenicity assizes the species of *Xanthomonas campestris* into *X. campestris* pv. *campestris* / E. Fargier, C. Manceau // *Plant Pathology*. — 2007. — Vol. 56. — P. 805–818.

17. Hansen L. N., Earle E. D. Transfer of resistance to *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* into *Brassica oleracea* L. by protoplast fusion / L. N. Hansen, E. D. Earle // *Theoretical and Applied Genetics*. — 1995. — Vol. 91. — P. 1293–1300.

18. Ignatov, A. Race-specific reaction of resistance to black rot in *Brassica oleracea* / A. Ignatov, Y. Kuginuki, K. Hida // *European Journal of Plant Pathology*. — 1998. — Vol. 104. — P. 821–827.

19. Ignatov, A. Identification of *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* races and sources of resistance / A. Ignatov, J. G. Vicente, J. Conway et al. / *ISHS Symposium on Brassicas. 10th Crucifer Genetics Workshop*. — 1997. — P. 215.

20. Jensen, B. D. Occurrence and diversity of *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* in vegetable Brassica fields in Nepal / B. D. Jensen, J. G. Vicente, H. K. Manandhar, S. J. Roberts // *Plant Disease*. — 2010. — Vol. 94, № 3. — P. 298–305.

21. Kamoun, S. Incompatible interactions between crucifers and *Xanthomonas campestris* do not include a vascular hypersensitive response: Role of the *hrpX* locus / S. Kamoun, H. V. Kamdar, E. Tola, C. I. Kado // *Molecular Plant — Microbe Interactions*. — 1992. — Vol. 5.1. — P. 22–33.

22. Kirov, I. An easy “SteamDrop” method for high quality plant chromosome preparation / I. Kirov, M. Divashuk, K. Van Laere et. al. // *Molecular Cytogenetics*. — 2014. — Vol. 7. — P. 21.

23. Roberts, S. J. Transmission from seed to seedling and secondary spread of *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* in brassica transplants: effects of dose and watering regime / S. J. Roberts, L. H. Hiltunen, P. J. Hunter, J. Brough // *European Journal of Plant Pathology*. — 1999. — Vol. 105. — P. 879–89.

24. Sutton, J. C. Relation of xylem plugging to black rot lesions development in cabbage / J. C. Sutton, P. H. Williams // *Canadian Journal of Botany*. — 1970. — Vol. 48 (2). — P. 391–401.

25. Taylor, J. D. Sources and origin of resistance to *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* in Brassica genomes / J. D. Taylor, J. Conway, S. J. Roberts et. al. // *Phytopathology*. — 2002. — Vol. 92. — P. 105–111.

26. Tonguc, M. Development of black rot resistant interspecific hybrids between *Brassica oleracea* L. cultivars and Brassica accession A 19482, using embryo rescue / M. Tonguc, P. D. Griffiths // *Euphytica*. — 2004. — Vol. 136. — P. 313–318.

27. Vicente, J. G. Identification and origin of *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* races and related pathovars / J. G. Vicente, J. Conway, S. J. Roberts, J. D. Taylor // *Phytopathology*. — 2001. — Vol. 91, № 5. — P. 492–499.

28. Vicente, J. G. *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* (cause of black rot of crucifers) in the genomic era is still a worldwide threat to brassica crops / J. G. Vicente, E. B. Holub // *Molecular Plant Pathology*. — 2013. — Vol. 14.1. — P. 2–18.

29. Zubko, O. Rb gene introgression from *Brassica carinata* to *Brassica oleracea* / O. Zubko, S. Monakhos, G. Monakhos // *Acta Horticulturae*. — 2018. — № 1202. — P. 107–112.

References

1. Vo Thi Ngok Ha, Dzhililov, F. S. Antibacterial activity of essential oils and their use for disinfection of cabbage seeds from vascular bacteriosis. *Izvestiya Timiryazevskoy selskokhozyaystvennoy akademii = News of the Timiryazev Agricultural Academy*. 2014; 6: 59–68.
2. Dzhililov, F. S., Vo Thi Ngok Ha. Protection of cabbage from diseases during the growing season. *Kartofel i ovoshchi = Potatoes and vegetables*. 2014; 1: 20–23.
3. Dzhililov, F. S., Monakhos, G. F., Tivari, R. D. The harmfulness of vascular bacteriosis of cabbage. *Izvestiya Timiryazevskoy selskokhozyaystvennoy akademii = News of the Timiryazev Agricultural Academy*. 1989; 3: 169–172.
4. Ignatov, A. N., Dzhililov, F. S., Monakhos, G. F. Analysis of the racial composition of the *Xanthomonas campestris* population. *campestris* (Pamm.) Dow in Russia and selection for resistance to vascular bacteriosis. *Geneticheskie kolleksii ovoshchnykh rasteniy = Genetic collections of vegetable plants*. Ed. by V. A. Dragavtsev. St. Petersburg: All-Russian Institute of Plant Growing; 2001; 3: 179–190.
5. Ignatov, A. N. Origin of resistance to vascular tuberculosis in *Brassica* spp. *Sostoyanie i perspektivy seleksii isemenovodstva kapustnykh kultur = State and prospects of selection and seed production of cabbage crops*. Moscow: Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 2016: 64 p.
6. Ignatov, A. N., Dzhililov, F. S., Miroshnikov, K. A., Evseev, P. V. *Xanthomonas campestris*: main results and problems of research into the causative agent of cabbage vascular bacteriosis. *Mikrobnye biotekhnologii: fundamentalnye i prikladnye aspekty = Microbial biotechnologies: fundamental and applied aspects*. Minsk: Belorusskaya nauka; 2021; 13: 153–168.
7. Lazarev, A. M., Mysnik, E. N., Ignatov, A. N. Area and zone of harmfulness of vascular bacteriosis of cabbage. *Vestnik zashchity rasteniy = Plant Protection Bulletin*. 2017; 1 (91): 52–22.
8. Monakhos, S. G. Distant hybridization in the selection of Chinese cabbage for resistance to vascular bacteriosis. *Agrotekhnologii XXI veka = Agricultural technologies of the century*. Moscow: Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 2007: 187–191.
9. Monakhos, S. G., Voronina, A. V., Baydina, A. V., Zubko, O. N. Plant breeding for resistance — the basis of protection against diseases in organic farming. *Kartofel i ovoshchi = Potatoes and Vegetables*. 2019; 6: 38–40.
10. Monakhos, S. G., Elyshko, N. V. Resistance of cabbage to vascular bacteriosis. *Kartofel i ovoshchi = Potatoes and Vegetables*. 2015; 9: 38–39.
11. Orynbaev, A. T., Dzhililov, F. S., Monakhos, G. F. Methods for assessing and the nature of inheritance of stem resistance to vascular bacteriosis in white cabbage. *Izvestiya Timiryazevskoy selskokhozyaystvennoy akademii = News of the Timiryazev Agricultural Academy*. 2019; 1: 45–55.
12. Orynbaev, A. T., Miroshnikov, K. A., Ignatov, A. N., Dzhililov, F. S. U. Testing the effectiveness of a bacteriophage preparation in protecting white cabbage from vascular bacteriosis. *Rasteniyevodstvo i lugovodstvo = Plant Growing and Meadow Farming*. Moscow: APC Publishing; 2020: 510–512. doi: 10.26897/978-5-9675-1762-4-2020-113.
13. Orynbaev, A. T., Dzhililov, F. S. Disinfection of seeds from vascular bacteriosis. *Kartofel i ovoshchi = Potatoes and Vegetables*. 2018; 1: 23–25.
14. Bazzi, C. Seed-transmission of phytopathogenic bacteria. *Petria*. 1991; 1: 19–30.

15. Cruz, J., Tenreiro, R., Cruz, L. Assessment of the diversity of *Xanthomonas campestris* pathovars affecting Cruciferous plants in Portugal, and disclosure of two novel *X.campestris* pv. *campestris* races. *Journal of Plant Pathology*. 2017; 99.2: 403–414.
16. Fargier, E., Manceau, C. Pathogenicity assigns the species of *Xanthomonas campestris* into *X. campestris* pv. *campestris*. *Plant Pathology*. 2007; 56: 805–818.
17. Hansen, L. N., Earle, E. D. Transfer of resistance to *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* into *Brassica oleracea* L. by protoplast fusion. *Theoretical and Applied Genetics*. 1995; 91: 1293–1300.
18. Ignatov, A., Kuginuki, Y., Hida, K. Race-specific reaction of resistance to black rot in *Brassica oleracea*. *European Journal of Plant Pathology*. 1998; 104: 821–827.
19. Ignatov, A., Vicente, J. G., Conway, J. et al. Identification of *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* races and sources of resistance. *ISHS Symposium on Brassicas. 10th Crucifer Genetics Workshop*. 1997: 215.
20. Jensen, B. D., Vicente, J. G., Manandhar, H. K., Roberts, S. J. Occurrence and diversity of *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* in vegetable *Brassica* fields in Nepal. *Plant Disease*. 2010; 94 (3): 298–305.
21. Kamoun, S., Kamdar, H. V., Tola, E., Kado, C. I. Incompatible interactions between crucifers and *Xanthomonas campestris* do not include a vascular hypersensitive response: Role of the *hrpX* locus. *Molecular Plant — Microbe Interactions*. 1992; 5.1: 22–33.
22. Kirov, I., Divashuk, M., Van Laere, K. et. al. An easy “SteamDrop” method for high quality plant chromosome preparation. *Molecular Cytogenetics*. 2014; 7: 21.
23. Roberts, S. J., Hiltunen, L. H., Hunter, P. J., Brough, J. Transmission from seed to seedling and secondary spread of *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* in brassica transplants: effects of dose and watering regime. *European Journal of Plant Pathology*. 1999; 105: 879–89.
24. Sutton, J. C., Williams, P. H. Relation of xylem plugging to black rot lesions development in cabbage. *Canadian Journal of Botany*. 1970; 48 (2): 391–401.
25. Taylor, J. D., Conway, J., Roberts, S. J. et. al. Sources and origin of resistance to *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* in *Brassica* genomes. *Phytopathology*. 2002; 92: 105–111.
26. Tonguc, M., Griffiths, P. D. Development of black rot resistant interspecific hybrids between *Brassica oleracea* L. cultivars and *Brassica* accession A 19482, using embryo rescue. *Euphytica*. 2004; 136: 313–318.
27. Vicente, J. G., Conway, J., Roberts, S. J., Taylor, J. D. Identification and origin of *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* races and related pathovars. *Phytopathology*. 2001; 91 (5): 492–499.
28. Vicente, J. G., Holub, E. B. *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* (cause of black rot of crucifers) in the genomic era is still a worldwide threat to brassica crops. *Molecular Plant Pathology*. 2013; 14.1: 2–18.
29. Zubko, O., Monakhos, S., Monakhos, G. *Rb* gene introgression from *Brassica carinata* to *Brassica oleracea*. *Acta Horticulturae*. 2018; 1202: 107–112.

Информация об авторах

Румянцева О. О. — магистрант;

Монахос С. Г. — доктор сельскохозяйственной наук, профессор, заведующий кафедрой.

Information about the authors

Rumyantseva O. O. — graduate student;

Monakhos S. G. — Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Head of the Department.

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article.
The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 08.04.2024; одобрена после рецензирования 15.04.2024;
принята к публикации 18.04.2024.

The article was submitted 08.04.2024; approved after reviewing 15.04.2024; accepted
for publication 18.04.2024.