

СИСТЕМА СЕЛЕКЦИИ И СЕМЕНОВОДСТВА

PLANT BREEDING AND SEED PRODUCTION

DOI: 10.12731/2658-6649-2025-17-2-1043

EDN: KKBWWM

УДК 631.527



Научная статья

**РАСОСПЕЦИФИЧЕСКАЯ ЛИСТОВАЯ И КОРНЕВАЯ
УСТОЙЧИВОСТЬ РАПСА (*BRASSICA NAPUS* L.)
К *XANTHOMONAS CAMPESTRIS* PV. *CAMPESTRIS***

*А.В. Вишнякова, М.А. Никитин, О.О. Румянцева,
А.А. Миронов, С.Г. Монахов*

Аннотация

Обоснование. О распространении сосудистого бактериоза в посевах озимого рапса сообщают исследователи из Франции, Сербии, России. Выращивание устойчивых сортов и гибридов считается наиболее эффективным методом снижения экономического ущерба от болезни. Сложность селекции на устойчивость к сосудистому бактериозу заключается в наличии не менее 11 рас патогена, к каждой из которых необходим свой ген устойчивости. Исследования расоспецифической устойчивости озимого рапса на искусственном инфекционном фоне ограничены изучением устойчивости к 1 и 4 расам *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* методом прокола листовой пластинки.

Цель. Изучить проявление листовой и корневой устойчивости рапса (*Brassica napus* L.) к сосудистому бактериозу, выявить источники высокой расоспецифической устойчивости к 1, 3, 4 и 6 расам *Xanthomonas campestris* pv. *campestris*.

Материалы и методы. Скрининг устойчивости к сосудистому бактериозу на искусственном инфекционном фоне проводили с использованием генетической коллекции озимого рапса, представленной 30 образцами. Инокуляцию суспензией бактерий 1, 3, 4 и 6 рас *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* проводили в контролируемых условиях климатической камеры методами прокола листовой пластинки и травмированием корней. Оценка симптомов поражения сосудистым бактериозом проводили по двухбалльной шкале.

Результаты. В генетической коллекции озимого рапса выявлен 1 источник листовой устойчивости к 4 расе *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* Тегг. При инокуляции растений рапса травмированием корневой системы выделены образцы Дагг с корневой устойчивостью к 4 расе *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* и Фагг с корневой устойчивостью к 3 расе.

Заключение. У озимого рапса выявлены две независимые расоспецифические системы устойчивости к сосудистому бактериозу, которые проявляются при разных методах инокуляции возбудителем сосудистого бактериоза. Выявленные источники устойчивости могут быть использованы в селекционных программах рапса на устойчивость. Требуется проведение гибридологического и молекулярно-генетического анализа каждой из выявленных систем устойчивости.

Ключевые слова: расоспецифическая реакция; сосудистый бактериоз; корневая устойчивость; листовая устойчивость; озимый рапс; *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* (Хсс)

Для цитирования. Вишнякова, А. В., Никитин, М. А., Румянцева, О. О., Миронов, А. А., & Монахос, С. Г. (2025). Расоспецифическая листовая и корневая устойчивость рапса (*Brassica napus* L.) к *Xanthomonas campestris* pv. *campestris*. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 17(2), 434-455. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-2-1043>

Original article

RACE-SPECIFIC LEAF AND ROOT RESISTANCE OF WINTER OILSEED RAPE (*BRASSICA NAPUS* L.) TO *XANTHOMONAS CAMPESTRIS* PV. *CAMPESTRIS*

A.V. Vishnyakova, M.A. Nikitin, O.O. Rumiantseva,
A.A. Mironov, S.G. Monakhos

Abstract

Background. Researchers from France, Serbia, and Russia have reported the spread of Black Rot in winter rape crop. The cultivation of resistant varieties and hybrids is considered to be the most effective method of reducing the economic damage caused by the disease. The complexity of breeding for resistance to Black Rot lies in the presence of at least 11 races of the pathogen *Xanthomonas campestris* pv. *campestris*, each of which requires its own resistance gene. Studies of race-specific resistance of winter rapeseed are limited to the study of resistance to 1 and 4 races of *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* using leaf-piercing technique.

Purpose. The objective of this research is to study the manifestation of leaf and root resistance of rapeseed to Black Rot and to identify sources of high race-specific resistance to 1, 3, 4, and 6 races of *Xanthomonas campestris* pv. *campestris*.

Materials and methods. Artificial screening of resistance to black rot was carried out using a genetic collection of winter rapeseed, represented by 30 accessions. Inoculation using bacterial suspensions of *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* was conducted under controlled conditions of a climate chamber. The inoculation process involved leaf-piercing technique by clipping the leaf edges near the veins using forceps or root traumatization. Black rot resistance or susceptibility were estimated on a two-point scale.

Results. One source of leaf resistance to race 4 of *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* “Tegg” was identified in the genetic collection of winter rapeseed. When plants were inoculated using the root traumatization system, the samples Dagg with root resistance to *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* race 4 and Fagg with root resistance to race 3 were identified.

Conclusion. Two independent race-specific systems of resistance to black rot have been identified in winter rapeseed, which are manifested using different methods of inoculation with *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* pathogen. The identified sources of resistance can be used in rapeseed breeding programs for resistance. Hybridologic and molecular genetic analysis of each of the identified resistance systems is required.

Keywords: winter oilseed rape; *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* (Xcc); root resistance; leaf resistance; races; disease resistance

For citation. Vishnyakova, A. V., Nikitin, M. A., Rumiantseva, O. O., Mironov, A. A., & Monakhos, S. G. (2025). Race-specific leaf and root resistance of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) to *Xanthomonas campestris* pv. *campestris*. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 17(2), 434-455. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-2-1043>

Введение

Сосудистый бактериоз (СБ) – широко распространённое бактериальное заболевание капустных культур (возбудитель – *Xanthomonas campestris* pv. *campestris*), несущее значительный экономический ущерб сельскохозяйственным культурам во всем мире [17]. В отдельные годы поражение посевов капустных культур может достигать 80% [1]. О распространении сосудистого бактериоза в посевах озимого рапса в последнее время сообщают исследователи в разных странах [14; 18; 19]. В России о наличии в посевах рапса сосудистого бактериоза писали Е.В. Матвеева с соавт. [8],

которые отмечают специфику проявления заболевания в виде бактериоза корней. Заболевание осенью протекает практически бессимптомно, при этом вызывает гибель растений во время перезимовки и характерные симптомы V-образного хлороза на листьях [8].

Меры борьбы с сосудистым бактериозом преимущественно превентивные и ограничены контролем зараженности семян, обязательным севооборотом, ограничением распространения крестоцветных сорняков и насекомых вредителей [6]. Выращивание устойчивых сортов и гибридов считается наиболее эффективным методом снижения экономического ущерба от болезни [6; 7]. Сложность создания устойчивых сортов и гибридов к сосудистому бактериозу обусловлена расоспецифической реакцией устойчивости и необходимостью комбинирования нескольких генов устойчивости в одном генотипе для надежной защиты. Известно не менее 11 рас патогена, из которых в России наиболее распространены пять 1, 3, 4, 5 и 6 и для эффективной защиты растений против каждого потенциального гена авирулентности патогена нужен комплементарный ген устойчивости растения [2; 4].

В настоящее время изучение расоспецифической устойчивости к сосудистому бактериозу сосредоточено на капусте белокочанной [9; 16; 23]. С. Г. Монахов и Н. В. Елышко [9] при изучении коллекции белокочанной капусты обнаружили 10 образцов с устойчивостью к 4 и 6 расам, при этом устойчивых образцов к 3 расе не было. О. N. Zubko с соавторами сообщают о применении отдаленной гибридизации для расширения генетического разнообразия капусты белокочанной (*B.oleracea* L.) интрогрессией из эфиопской горчицы (*B.carinata* L.) *Rb*-гена устойчивости к четырем наиболее распространенным расам *Xcc* [23]. L. Lu с соавторами проводят исследование механизма ответной реакции растений капусты на ранней биотрофной стадии инфицирования патогеном [16].

Стеблевую устойчивость к сосудистому бактериозу на капусте белокочанной исследуют путем инокуляции в пазуху листа [10]. Кроме того исследователи оценивают устойчивость к сосудистому бактериозу методами инокуляции в жилку листа, опрыскиванием листьев, травмированием корней [3; 10]. Разнообразие методов оценки устойчивости к заболеванию связано с многообразием источников распространения патогена [22]. В работе Ф.С. Джалилова с соавторами [5] было показано, что корреляция оценки устойчивости в полевых условиях и при инокуляции опрыскиванием суспензией патогена была выше по сравнению со степенью связи полевой оценки с оценкой при инокуляции травмированных жилок. В

тоже время при массовом развитии в поле вредителей и наличии других повреждающих факторов имеет место преимущественного проникновения патогена через травмы [3].

У рапса для оценки устойчивости к сосудистому бактериозу используют инокуляцию проколом листовой пластинки, что дает возможность на одном растении оценить устойчивость к нескольким расам патогена [13; 15; 21]. Учитывая преимущественный путь заражения растений озимого рапса через инфицированные растительные остатки в почве, мы считаем необходимым изучение наличия феномена корневой устойчивости у озимого рапса, показанного в работах В.Т.Н. Ха и А.Т. Орынбаева [3; 10] на капусте белокочанной.

Цель нашего исследования – изучить проявление листовой и корневой устойчивости рапса (*Brassica napus* L.) к сосудистому бактериозу, выявить источники высокой расоспецифической устойчивости к 1, 3, 4 и 6 расам *Xanthomonas campestris* pv. *campestris*.

Задачи исследования:

1. Скрининг листовой устойчивости генетической коллекции озимого рапса (*B. napus* L.) к 1, 3, 4 и 6 расам *Xcc* при инокуляции проколом листовой пластинки и выявление источников расоспецифической листовой устойчивости к сосудистому бактериозу.

2. Скрининг корневой устойчивости генетической коллекции озимого рапса (*B. napus* L.) к 1, 3, 4 и 6 расам *Xcc* при инокуляции травмированием корневой системы и выявление источников расоспецифической корневой устойчивости к СБ.

Материалы и методы

Растительный материал. Генетическая коллекция озимого рапса включала 30 генетически гомогенных образцов, из которых 3 – гомозиготные линии удвоенных гаплоидов и 27 – гетерозиготных F1-гибридов (табл. 1). Посев и выращивание растений проводили в стандартных 8×8 ячеистых кассетах, в торфяной субстрат Агробалт С, в контролируемых условиях климатической камеры. Полив и подкормки растений проводили по мере необходимости. В качестве контроля восприимчивости к *Xcc* использовали высоко восприимчивый образец F1-гибрид Эдгг.

Подготовка инокулюма. Для инокуляции растений использовали штаммы *Xcc*: 76PPD, 06PPD, 77PPD и Ху2-1, которые относятся к 1, 3, 4 и 6 расам соответственно, из коллекции Станции защиты растений РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. Посев и культивирование бактерий *Xcc* проводили на

питательной среде YDC в чашках Петри диаметром 9 см. Чашки Петри с бактериями помещали в термостат BD 115 (Binder, Германия) и инкубировали при температуре +28 °C в течение 48 часов, после чего готовили инокулом. Колонии бактерий отбирали с поверхности питательной среды и суспендировали в очищенной фильтрованием воде. Для определения оптической плотности суспензии бактерий использовали спектрофотометр Biophotometer Plus (Eppendorf, Германия) при длине волны 600 нм. Плотность бактериальной суспензии доводили до 1×10^6 КОЕ/мл.

Инокуляция растительного материала. Растения культивировали и инокулировали в контролируемых условиях фитопатологической камеры при температуре воздуха +27°C, влажности воздуха 80%, при интенсивности освещенности 4500 люкс, с фотопериодом 16/8 часов день/ночь.

Инокуляцию методом прокола по краю листовой пластинки (10 проколов на лист) проводили хирургическим пинцетом «tissue» 200×2,5 мм, кончики которого предварительно обматывали ватой и смачивали в суспензии бактерий [12]. Для работы использовали обеззараженные в электрическом прожигателе пинцеты, при переходе к инокуляции следующей расой руки дезинфицировали 70% спиртом. Каждое растение инокулировали четырьмя расами патогена, одна раса на один настоящий лист. Оценку проявления листовой устойчивости/восприимчивости проводили в двух повторениях при инокуляции растений в возрасте 4 недель и учете симптомов поражения через 14 дней после инокуляции (ДПИ), по 4 растения каждого образца.

Оценку корневой устойчивости проводили при инокуляции корневой системы растений рапса методом, описанным А.Т. Орынбаевым с соавт. [10] с модификациями: 4-х недельные сеянцы вынимали из кассеты вместе с субстратом, затем корни отмывали от торфяного субстрата под проточной водой, травмированную и промытую корневую систему помещали в суспензию бактерий *Xcc* (расы 1, 3, 4 и 6) с плотностью 1×10^6 КОЕ/мл на 15 минут, далее растения высаживали в горшки объемом 0,7 литра наполненные торфяным субстратом Агробалт С.

Оценка проявления симптомов СБ. Через 14 дней после инокуляции (ДПИ) проколом листовой пластинки проводили оценку проявления симптомов поражения сосудистым бактериозом. Растения без симптомов поражения СБ считали устойчивыми, растения с типичными симптомами, имеющие V-образные хлорозы и некроз, принимали за восприимчивые.

При проведении повторной инокуляции коллекции рапса проколом листовой пластинки развитие симптомов сосудистого бактериоза также

отмечали через 14 ДПИ. Растения, не проявившие симптомы поражения СБ на 14 ДПИ дополнительно оценивали на 20 и 30 ДПИ. Анатомическое исследование распространения бактерий *Хсс* проводили на срезе стебля в поперечной плоскости с оценкой наличия/отсутствия потемнения пучков проводящей системы. Подтверждение распространения и наблюдаемого поражения сосудистой системы стебля бактериями *Хсс*, в том числе определение расы патогена проводили молекулярным генотипированием. Для молекулярного генотипирования бактерии патогена изолировали из стебля и культивировали *in vitro*.

Оценку симптомов системного поражения растений СБ при инокуляции травмированной корневой системы проводили через 20 ДПИ оценкой симптомов поражения листьев по двухбалльной шкале, где 0 – лист без признаков хлороза и некроза и 1 – наличие характерного для СБ V-образного хлороза и некроза. Далее через 40 ДПИ для анатомической оценки распространения бактерий патогена по сосудистой системе производили поперечный срез стебля и проводили качественную оценку наличия/отсутствия потемнения пучков проводящей системы.

Изоляция и культивирование бактерий *in vitro* из пораженных растений. После инокуляции растений проколом листовой пластинки стебли с потемневшими сосудистыми пучками отделяли от листовой и корневой системы и поверхностно стерилизовали в 70% этаноле в течение 30 секунд, а затем в 2% гипохлорите натрия в течение 10 минут, ополаскивали в стерильной воде, после чего обновляли срез стебля и прикладывали его к питательной среде YDC в чашках Петри, делая отпечаток, после 2-3 отпечатков срез обновляли. Один образец размещали в одной Чашке Петри диаметром 9 см, в каждой чашке делали 8-10 отпечатков с одного стебля. Чашки Петри накрывали, обматывали по краям лентой из пищевой пленки, далее инкубировали в темноте при температуре 28 °C в течение 24 часов. Характерные для *Хсс* круглые бледные желтоватые выпуклые и мукоидные бактериальные колонии использовали для молекулярного генотипирования.

Молекулярное генотипирование рас *Хсс*. Из 5 случайных колоний бактерий отбирали объединенную пробу, которую помещали в пробирку с реакционной смесью следующего состава 14,7 мкл H_2O , 1,0 мкл каждого праймера (10 пМ), 1,5 мкл 10x SuperTaq-буфера, 0,2 мкл SuperTaq-полимеразы, 0,6 мкл смеси dNTP и 1 мкл бактерий. Для ДНК-идентификации рас *Хсс* использовали маркер *Хсс_85R1* для 1 расы [20], *Хсс_49R3* – для 3 расы [11], *Хсс1_46R4* – для 4 расы [20]. Продукты амплификации визуализировали путем разделения в 1,5 % агарозном геле с окрашиванием GelRed

Nucleic Acid Gel Stain 10X, размер продуктов амплификации оценивали с помощью маркера молекулярной массы DNA Ladder 100+ bp. Ожидаемый размер ампликонов маркера Хсс_85R1 – 500 п.н., Хсс_49R3 – 900 п.н. и Хсс1_46R4 -500 п.н.

Результаты

Скрининг и выявление источников листовой устойчивости к сосудистому бактериозу в генетической коллекции озимого рапса на искусственном инфекционном фоне

Изучение листовой устойчивости к сосудистому бактериозу в генетической коллекции озимого рапса проводили при инокуляции образцов 1, 3, 4 и 6 расами возбудителя СБ, *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* (Хсс). При оценке проявления (наличия/отсутствия) симптомов поражения сосудистым бактериозом через 14 дней после инокуляции у отдельных образцов наблюдали частичное расхождение в реакции образцов на инокуляцию в первом и втором повторении инокуляции (табл. 1). Устойчивыми к отдельной расе Хсс принимали образцы с отсутствием симптомов поражения сосудистым бактериозом при инокуляции в возрасте 4 недель. У контроля восприимчивости, образца Эдгг, симптомы поражения сосудистым бактериозом при инокуляции всеми четырьмя, 1, 3, 4 и 6, расами Хсс проявились в оба срока инокуляции.

Таблица 1.

Результаты скрининга листовой устойчивости образцов генетической коллекции озимого рапса к 1, 3, 4 и 6 расам Хсс

№	Наименование образца	генетический статус	1 раса (штамм 76ppd)		3 раса (штамм 06ppd)		4 раса (штамм 77ppd)		6 раса (штамм ху2-1)	
			1 повт.	2 повт.	1 повт.	2 повт.	1 повт.	2 повт.	1 повт.	2 повт.
1	Вигг	F1	+	+	+	+	+	-	+	+
2	Тегг	F1	+	+	+	-	-	-	+	+
3	Алгг	F1	+	+	+	+	+	-	+	+
4	Кегг	F1	+	+	+	+	+	+	+	+
5	Дг15мс×Фдг12	F1	+	+	+	+	+	-	+	+
6	Клгг	F1	+	+	+	-	+	-	+	+
7	Эдгг	F1	+	+	+	+	+	+	+	+
8	Дагг	F1	+	+	+	-	-	-	+	+
9	Кргг	F1	+	+	+	+	+	+	+	+
10	Легг	F1	+	+	+	+	+	+	-	+
11	Дг15мс×Фдг7	F1	+	+	+	+	-	-	+	+
12	Мегг	F1	-	+	+	-	+	+	-	+

13	Гогг	F1	+	+	+	+	+	+	-	+
14	Эйгг	F1	+	+	+	+	+	-	-	+
15	Дг15мс×Дг5	F1	+	+	+	+	+	+	+	+
16	Дг15мс×Фдг1	F1	+	+	+	+	+	+	+	+
17	Дг15мс×Фдг4-2	F1	+	+	+	+	-	+	+	+
18	Дг15мс×Фдг16	F1	+	+	+	+	+	+	+	+
19	Дг15мс×Фдг18	F1	+	+	+	+	-	+	+	+
20	Кигг	F1	+	+	+	+	-	-	+	+
21	Кугг	F1	+	+	+	+	+	+	-	+
22	Дг15мс×Фдг4	F1	+	+	+	+	-	+	+	+
23	Дг15мс×Фдг11	F1	+	+	+	+	-	+	+	+
24	Дг15мс×Фдг10	F1	+	+	+	+	+	+	+	+
25	Дг15мс×Фдг3	F1	+	+	+	+	+	+	+	+
26	Дг15мс×Фдг2	F1	+	+	+	+	+	+	+	+
27	Фагг	F1	+	+	+	+	+	+	+	+
28	Фдг15	DH	+	+	+	+	+	+	+	+
29	Фдг10	DH	+	+	+	+	+	+	+	+
30	Дг15	DH	-	+	+	+	+	-	+	+

Примечание: + – реакция восприимчивости, растения образцов имеют характерные V-образные хлорозы и некрозы на листьях; - – реакция устойчивости, отсутствие характерных симптомов поражения листьев всех растений образца

У всех 30 изученных образцов озимого рапса проявились симптомы поражения сосудистым бактериозом на листьях при инокуляции расами 1, 3 и 6. При анализе симптомов поражения на листьях через 14 ДПИ при инокуляции 4 расой выделили 4 устойчивых образца Тегг (№2), Дагг (№8), Дг15мс×Фдг7 (№11), Кигг (№20).

Для анализа стабильности проявления устойчивости к 4 расе при втором повторении инокуляции провели дополнительные оценки симптомов поражения на листьях на 20 и 30 день после инокуляции у образцов, которые были отнесены к устойчивым (таблица 2).

Таблица 2.

Оценка проявления симптомов сосудистого бактериоза устойчивых образцов рапса при инокуляции 4 расой *Xsc* (штамм 77ppd) на 20 и 30 ДПИ

№	название образца	генетический статус	наличие симптомов поражения СБ, дней после инокуляции (ДПИ)		
			15 ДПИ	20 ДПИ	30 ДПИ
2	Тегг	F1	-	-	-
8	Дагг	F1	-	+	+
11	Дг15мс×Фдг7	F1	-	+	+
20	Кигг	F1	-	-	+

Примечание: + – реакция восприимчивости, растения образцов имеют характерные V-образные хлорозы и некрозы на листьях; - – реакция устойчивости, отсутствие характерных симптомов поражения листьев всех растений образца

При оценке на 20 день после инокуляции симптомы поражения сосудистым бактериозом появились у образцов Дагг и Дг15мс×Фдг7, при оценке на 30 ДПИ – у Кигг. Единственный образец у которого отсутствовали симптомы поражения весь период наблюдения был Тегг.

У всех образцов на 41 ДПИ был сделан поперечный срез стебля, на котором видно потемнение сосудов и некроз сосудистых пучков у пораженных образцов (рис.1). Отсутствовало потемнение сосудистого кольца стебля при инокуляции проколом листовой пластинки у образцов Кегг, Клгг, Дагг, что может быть связано с реализацией защитного механизма, повлекшего опадение пораженных листьев при распространении бактерий по жилке листа.

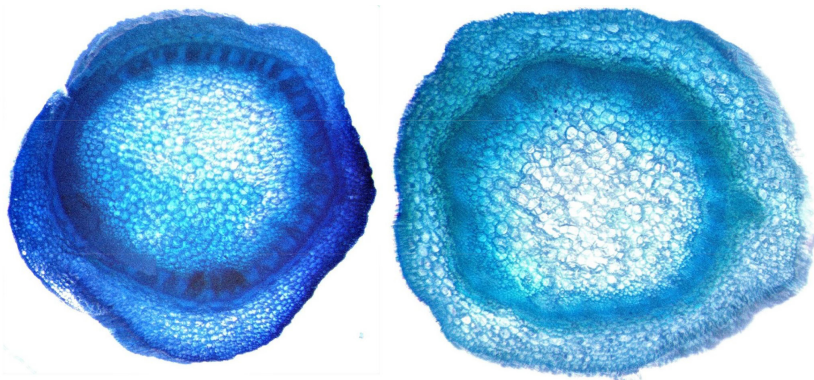


Рис. 1. Срез стебля с потемнением сосудистых пучков и признаками некроза (слева) и без признаков поражения сосудистых пучков (справа).

Из растений с потемневшими сосудами проводили изоляцию возбудителя, для изучения состава рас, которые поражают сосуды при инокуляции растений проколом листовой пластинки. Через 48 ч. инкубирования при температуре +28 °С после посева наблюдали формирование характерных для *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* округлых бледно-желтых выпуклых и мукоидных бактериальных колоний у всех изученных образцов. Морфология колоний совпадала с морфологией исходных штаммов Хсс.

Молекулярно-генетический анализ с использованием расоспецифических маркеров установил, что у образцов Клгг, Дг15, Дг15см х Фрг18, Дг15см х Фрг16, Легг в сосудистой системе обнаружены бактерии *Хсс* которые принадлежат 3 расе (рис.2). У образцов Клгг, Дг15см х Фрг18,

Гогг, Дг15, Фдг15, Вигг, Алгг в сосудистой системе были обнаружены бактерии, принадлежащие к 1 расе (рис. 3). Характерные ампликоны для 4 расы не выявлены при анализе расового состава бактерий ни у одного образца (рис.4). Остальные бактериальные колонии вероятно относятся к 6 расе сосудистого бактериоза.

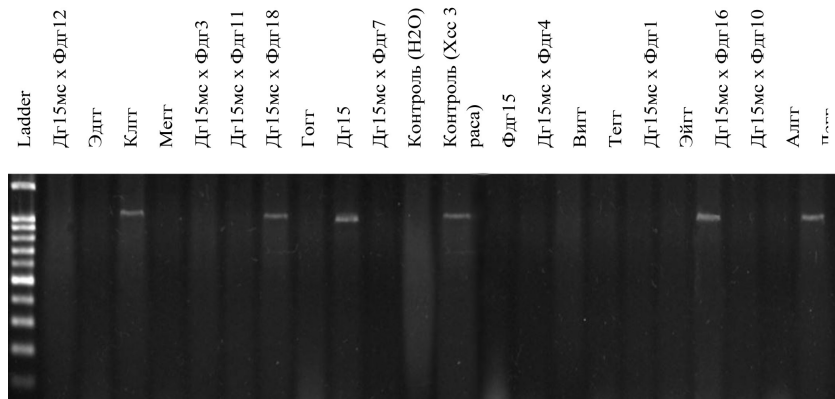


Рис. 2. Электрофореграмма ПЦР анализа с маркером Хсс_49 3 расы Хсс. Размер ожидаемого амплифицируемого фрагмента – 900 п.н. Ladder – маркер размеров ДНК-фрагментов 100 п.н.

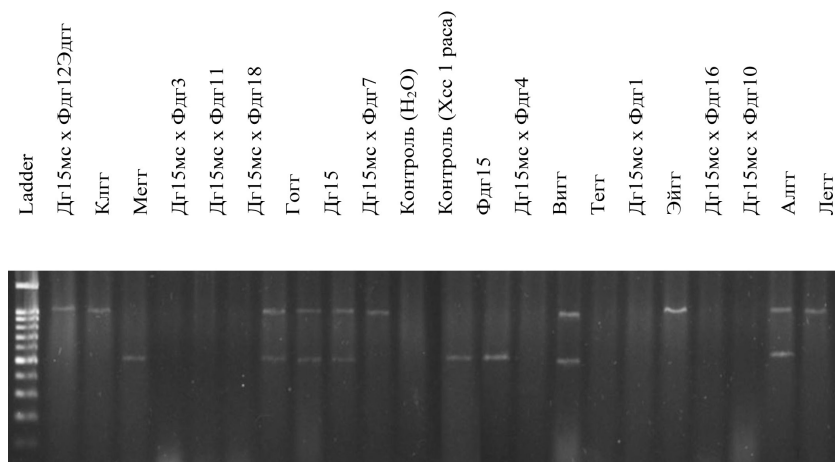


Рис. 3. Электрофореграмма ПЦР анализа с маркером Хсс_85 1 расы Хсс. Размер ожидаемого амплифицируемого фрагмента – 500 п.н. Ladder – маркер размеров ДНК-фрагментов 100 п.н.

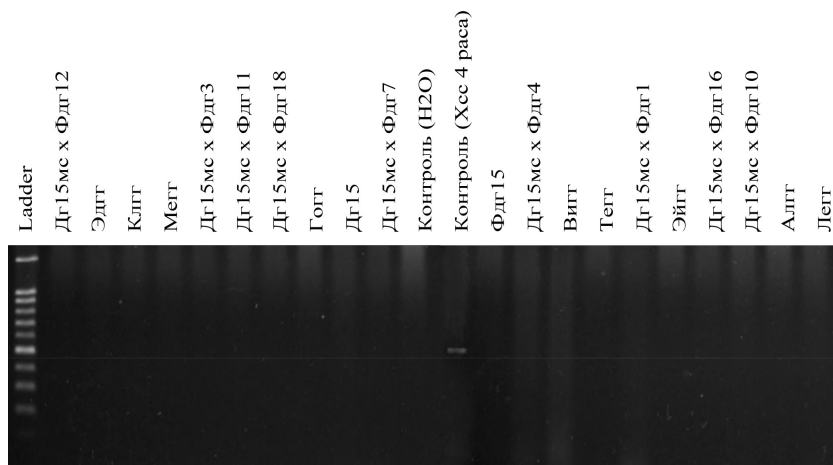


Рис. 4. Электрофореграмма ПЦР анализа с маркером Хсс1_46 4 расы Хсс, размер ожидаемого амплифицируемого фрагмента – 500 п.н. Ladder – маркер размеров ДНК-фрагментов 100 п.н.

Скрининг и выявление источников корневой устойчивости к сосудистому бактериозу в генетической коллекции озимого рапса

При инокуляции повреждением корневой системы у ряда образцов наблюдали проявление характерных V-образные хлорозов и некрозов на листьях на 20 ДПИ. На 40 ДПИ производили поперечный срез стебля для оценки симптомов поражения сосудистой системы СБ (табл. 3).

При инокуляции 1 расой Хсс травмированием корней отмечали потемнение сосудов стебля у всех изученных образцов, однако проявления симптомов заболевания на листьях у 6 образцов не наблюдали.

При инокуляции 3 расой у линии Фагг отсутствовали потемнение сосудов стебля и симптомы поражения листьев, ещё у 9 образцов симптомы на листьях отсутствовали, но наблюдали потемнение сосудов стебля.

При инокуляции 4 расой Хсс у 7 образцов отсутствовали симптомы поражения на листьях, однако потемнения сосудов стебля не было только у Дагг.

При оценке симптомов заболевания при инокуляции 6 расой наблюдали потемнение сосудов стебля у всех изученных образцов, отсутствовали характерные хлорозы и некрозы на листьях у Дг15мс×Фдг4-2, Дг15мс×Фдг16.

Таблица 3.

Результаты скрининга корневой устойчивости образцов генетической коллекции озимого рапса к 1, 3, 4 и 6 расам Хсс при оценке проявления симптомов СБ на листьях (20 ДПИ) и срезе стебля (40 ДПИ)

№	Наименование образца	генетический статус	1 раса (штамм 76ppd)		3 раса (штамм 06ppd)		4 раса (штамм 77ppd)		6 раса (штамм ху2-1)	
			проявление симптомов							
			лист	срез стебля	лист	срез стебля	лист	срез стебля	лист	срез стебля
1	Вигг	F1	-	+	-	+	+	+	+	+
2	Тегг	F1	+	+	-	+	+	+	+	+
3	Алгг	F1	+	+	+	+	+	+	+	+
4	Кегг	F1	+	+	+	+	-	+	+	+
5	Дг15мс×Фдг12	F1	+	+	+	+	+	+	+	+
6	Клгг	F1	+	+	+	+	+	+	+	+
7	Эдгг	F1	+	+	+	+	+	+	+	+
8	Дагг	F1	+	+	+	+	-	-	+	+
9	Кргг	F1	+	+	+	+	+	+	+	+
10	Легг	F1	-	+	+	+	+	+	+	+
11	Дг15мс×Фдг7	F1	+	+	-	+	+	+	+	+
12	Мегг	F1	+	+	+	+	+	+	+	+
13	Гогг	F1	+	+	-	+	-	+	+	+
14	Эйгг	F1	+	+	+	+	-	+	+	+
15	Дг15мс×Дг5	F1	-	+	+	+	-	+	+	+
16	Дг15мс×Фдг1	F1	-	+	+	+	+	+	+	+
17	Дг15мс×Фдг4-2	F1	+	+	+	-	+	+	-	+
18	Дг15мс×Фдг16	F1	+	+	-	+	-	-	-	+
19	Дг15мс×Фдг18	F1	+	+	+	+	-	+	+	+
20	Кигг	F1	+	+	-	+	+	+	+	+
21	Кугг	F1	+	+	-	+	-	+	+	+
22	Дг15мс×Фдг4	F1	-	+	+	+	+	+	+	+
23	Дг15мс×Фдг11	F1	+	+	+	+	+	+	+	+
24	Дг15мс×Фдг10	F1	+	+	+	+	+	+	+	+
25	Дг15мс×Фдг3	F1	-	+	+	+	+	+	+	+
26	Дг15мс×Фдг2	F1	+	+	+	+	+	+	+	+
27	Фагг	F1	+	+	-	-	+	+	+	+
28	УМРх-дг15)3×Дг5	F1	+	+	-	+	-	+	+	+
27	Фдг15	DH	+	+	-	+	+	+	+	+
29	Дг15	DH	+	+	+	+	+	+	+	+

Примечание: + – реакция восприимчивости, растения образцов имеют характерные V-образные хлорозы и некрозы на листьях; - – реакция устойчивости, отсутствие характерных симптомов поражения листьев всех растений образца

Обсуждение

Исследования расоспецифической устойчивости озимого рапса на искусственном инфекционном фоне ограничены изучением устойчивости к

1 и 4 расам *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* [15; 21] либо изучением состава полевых изолятов *Xcc*, собранных с посевов озимого рапса [14]. В нашем исследовании мы расширили состав изучаемых рас *Xcc*, выбрав наиболее распространенные в России 1, 3, 4 и 6 расы *Xcc*, однако не выявили источники листовой устойчивости в коллекции озимого рапса к расам 1, 3 и 6 при инокуляции проколом листовой пластинки, что может объясняться отсутствием целенаправленной селекции на устойчивость к сосудистому бактериозу у озимого рапса. Устойчивостью к 4 расе патогена обладал только один образец Тегг. Наличие в образцах рапса гена устойчивости к 4 расе ожидаемо и подтверждается рядом исследований [13; 21].

Для изучения распространения патогена по сосудистой системе стебля при инокуляции проколом листовой пластинки были сделаны поперечные срезы стебля. На срезах стебля отмечали потемнение сосудистых пучков, а при изоляции и инокуляции бактерий на питательную среду YDC - формирование характерных для *Xcc* бактериальных колоний. При молекулярно-генетическом анализе принадлежности к расовому составу выделенных бактерий *Xcc* у ряда образцов обнаруживали присутствие в сосудах стебля нескольких рас *Xcc* одновременно. При этом колоний бактерий, принадлежащих к 4 расе, не было обнаружено ни в одном из изолятов из изученных образцов стебля озимого рапса, что может свидетельствовать о меньшей конкурентности 4 расы по отношению к 1, 3 и 6 расам.

При анализе корневой устойчивости рапса выделены образцы Дагг с устойчивостью к 4 расе *Xcc* и Фагг с корневой устойчивостью к 3 расе. Образец Тегг, проявивший устойчивость к 4 расе при инокуляции проколом листовой пластинки, был восприимчив ко всем расам *Xcc* при инокуляции корней. Отсутствие сильной корреляции между корневой и листовой устойчивостью отмечают в своих исследованиях на капусте белокочанной В.Т.Н. Ха и А.Т. Орынбаев [3; 10]. В.Т.Н. Ха с соавт. [3], изучая устойчивость к сосудистому бактериозу у капусты белокочанной, отмечали среднюю корреляционную связь в проявлении устойчивости при инокуляции проколом листовой пластинки и травмированием корней.

Заключение

Скрининг генетической коллекции (30 ед. образцов) озимого рапса на устойчивость к 1, 3, 4 и 6 расам *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* при использовании двух методов инокуляции, инокуляции корней и инокуляции листовой пластинки, выявил независимость генетических систем, контролирующих листовую и корневую расоспецифическую устойчивость к сосу-

дистому бактериозу. Вместе с этим впервые показано проявление корневой устойчивости к сосудистому бактериозу у образцов озимого рапса.

Морфологический, анатомический и молекулярно-генетический анализ проявления симптомов сосудистого бактериоза при инокуляции 1, 3, 4 и 6 расами *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* позволил выделить источники корневой устойчивости к 4 расе (образец Дагг) и к 3 расе (образец Фагг) Хсс, и источник листовой устойчивости к 4 расе (образец Тегг) Хсс.

Выявленные источники корневой и листовой устойчивости могут быть использованы в селекционных программах для пирамидирования генов устойчивости и создания F1-гибридов озимого рапса с разными типами устойчивости к сосудистому бактериозу, вызываемому двумя распространенными в России 3 и 4 расами Хсс. Отсутствие устойчивости к сосудистому бактериозу может стать проблемой при выращивании озимого рапса в ближайшем будущем, о чем уже сообщают исследователи Франции и Сербии.

Информация о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Информация о спонсорстве. Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в соответствии с соглашением 075-15-2023-220 на поддержку программы развития университета «Приоритет-2030».

Список литературы

1. Артемьева, А. М., Игнатов, А. Н., Волкова, А. И., Кочерина, Н. В., Коноплева, М. Н., & Чесноков, Ю. В. (2018). Физиолого-генетические компоненты устойчивости к сосудистому бактериозу у линий удвоенных гаплоидов *Brassica rapa* L. *Сельскохозяйственная биология*, 53(1), 157-169. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2018.1.157rus> EDN: <https://elibrary.ru/vzwyix>
2. Во Тхи Нгок Ха, Джалилов, Ф. С., Виноградова, С. В., Кырова, Е. И., & Игнатов, А. Н. (2014). Генетическое разнообразие возбудителя сосудистого бактериоза в России: полиморфизм пцр фрагментов. *Защита картофеля*, (2), 21-25.
3. Во Тхи Нгок Ха, Джалилов, Ф. С., & Игнатов, А. Н. (2015). Оценка устойчивости различных гибридов белокочанной капусты к сосудистому бактериозу. *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство*, (2), 7-15.
4. Во Тхи Нгок Ха, Джалилов, Ф. С., Мазурин, Е. С., Кырова, Е. И., Виноградова, С. В., Шаад, Н. В., Ластер, Д., & Игнатов, А. Н. (2014). Распростра-

- нение нового генотипа *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* в России в 2012 гг. *Защита картофеля*, (2), 26-28.
5. Джалилов, Ф. С., Корсак, И. В., & Монахос, Г. Ф. (1995). Сравнение методов оценки устойчивости капусты к сосудистому бактериозу. *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*, (2), 147-153.
 6. Игнатов, А. Н., Джалилов, Ф. С., Мирошников, К. А., & Евсеев, П. В. (2021). *Xanthomonas campestris*: основные результаты и проблемы исследования возбудителя сосудистого бактериоза капустных. *Микробные биотехнологии: фундаментальные и прикладные аспекты*, 13, 153-168. <https://doi.org/10.47612/2226-3136-2021-13-153-168> EDN: <https://elibrary.ru/qppqt>
 7. Лазарев, А. М., Мысник, Е. Н., & Игнатов, А. Н. (2017). Ареал и зона вредоносности сосудистого бактериоза капусты. *Вестник защиты растений*, 1(91), 52-55.
 8. Матвеева, Е. В., Игнатов, А. Н., Политыко, В. А., & Фокина, В. Г. (2008). Бактериальные болезни рапса. *Защита и карантин растений*, (12), 23-24.
 9. Монахос, С. Г., & Елышко, Н. В. (2015). Устойчивость капусты к сосудистому бактериозу. *Картофель и овощи*, (9), 38-39.
 10. Орынбаев, А. Т., Джалилов, Ф. С., & Монахос, Г. Ф. (2019). Методы оценки и характер наследования стеблевой устойчивости к сосудистому бактериозу у белокочанной капусты. *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*, (1), 45-55.
 11. Afrin, K. S., Rahim, M. A., Rubel, M. H., Natarajan, S., Song, J., Kim, H., Park, J., & Nou, I. (2018). Development of race-specific molecular marker for *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* race 3, the causal agent of black rot of crucifers. *Canadian Journal of Plant Science*, 98(5), 1119-1125. <https://doi.org/10.1139/cjps-2018-0035>
 12. Ignatov, A., Kuginuki, Y., & Hida, K. (1998). Race-specific reaction of resistance to black rot in *Brassica oleracea*. *European Journal of Plant Pathology*, 104(8), 821-827. <https://doi.org/10.1023/A:1008642829156>
 13. Ignatov, A., Kuginuki, Y., & Hida, K. (2000). Distribution and inheritance of race-specific resistance to *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* in *Brassica rapa* and *B. napus*. *Journal of Russian Phytopathology*, 1, 89-94.
 14. Jelušić, A., Berić, T., Mitrović, P., Dimkić, I., Stanković, S., Marjanović-Jeromela, A., & Popović, T. (2020). New insights into the genetic diversity of *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* isolates from winter oilseed rape in Serbia. *Plant Pathology*, 70(1), 35-49. <https://doi.org/10.1111/ppa.13273> EDN: <https://elibrary.ru/cpiysj>
 15. Lema, M., Soengas, P., Velasco, P., Francisco, M., & Cartea, M. E. (2011). Identification of Sources of Resistance to *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* in

- Brassica napus* Crops. *Plant Disease*, 95(3), 292-297. <https://doi.org/10.1094/PDIS-06-10-0428> EDN: <https://elibrary.ru/okxkzr>
16. Lu, L., Monakhos, S. G., Lim, Y. P., & Yi, S. Y. (2021). Early defense mechanisms of *Brassica oleracea* in response to attack by *Xanthomonas campestris* pv. *campestris*. *Plants*, 10(12), 2705. <https://doi.org/10.3390/plants10122705> EDN: <https://elibrary.ru/kvcjgg>
17. Mansfield, J., Genin, S., Magori, S., Citovsky, V., Sriariyanum, M., Ronald, P., Dow, M., Verdier, V., Beer, S. V., Machado, M. A., Toth, I., Salmond, G., & Foster, G. D. (2012). Top 10 plant pathogenic bacteria in molecular plant pathology. *Molecular Plant Pathology*, 13(6), 614-629. <https://doi.org/10.1111/j.1364-3703.2012.00804.x> EDN: <https://elibrary.ru/rntqyz>
18. Popović, T., Balaž, J., Starović, M., Trkulja, N., Ivanović, Ž., Ignjatov, M., & Jošić, D. (2013). First Report of *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* as the Causal Agent of Black Rot on Oilseed Rape (*Brassica napus*) in Serbia. *Plant Disease*, 97(3), 418. <https://doi.org/10.1094/PDIS-07-22-1389-PDN>
19. Popović, T., Mitrović, P., Jelušić, A., Dimkić, I., Marjanović-Jeromela, A., Nikolić, I., & Stanković, S. (2019). Genetic diversity and virulence of *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* isolates from *Brassica napus* and six *Brassica oleracea* crops in Serbia. *Plant Pathology*, 68(8), 1448-1457. <https://doi.org/10.1111/ppa.13064> EDN: <https://elibrary.ru/vnoukw>
20. Rubel, M. H., Robin, A. H. K., Natarajan, S., Vicente, J. G., Kim, H., Park, J., & Nou, I. (2017). Whole-Genome Re-Alignment Facilitates Development of Specific Molecular Markers for Races 1 and 4 of *Xanthomonas campestris* pv. *campestris*, the Cause of Black Rot Disease in *Brassica oleracea*. *International Journal of Molecular Sciences*, 18(12), 2523. <https://doi.org/10.3390/ijms18122523> EDN: <https://elibrary.ru/ykarre>
21. Vicente, J. G., Taylor, J. D., Sharpe, A. G., Parkin, I. A. P., Lydiate, D. J., & King, G. J. (2002). Inheritance of race-specific resistance to *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* in *Brassica* Genomes. *Phytopathology*, 92(10), 1032-1148. <https://doi.org/10.1094/PHTO.2002.92.10.113> EDN: <https://elibrary.ru/lzvbmj>
22. Vicente, J. G., & Holub, E. B. (2012). *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*, 14(1), 2-18. <https://doi.org/10.1111/j.1364-3703.2012.00833.x> EDN: <https://elibrary.ru/rouenv>
23. Zubko, O., Monakhos, S., & Monakhos, G. (2018). Rb gene introgression from *Brassica carinata* to *Brassica oleracea*. *Acta Horti*, 1202, 107-112. <https://doi.org/10.17660/ActaHorti.2018.1202.16> EDN: <https://elibrary.ru/aeuuxk>

References

1. Artemyeva, A. M., Ignatov, A. N., Volkova, A. I., Kocherina, N. V., Konopleva, M. N., & Chesnokov, Yu. V. (2018). Physiological and genetic components of resistance to black rot in doubled haploid lines of *Brassica rapa* L. *Agricultural Biology*, 53(1), 157-169. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2018.1.157rus> EDN: <https://elibrary.ru/vzwyix>
2. Vo Thi Ngoc Ha, Dzhililov, F. S., Vinogradova, S. V., Kirova, E. I., & Ignatov, A. N. (2014). Genetic diversity of the black rot pathogen in Russia: PCR fragment polymorphism. *Potato Protection*, (2), 21-25.
3. Vo Thi Ngoc Ha, Dzhililov, F. S., & Ignatov, A. N. (2015). Evaluation of resistance of different white cabbage hybrids to black rot. *Bulletin of the Peoples' Friendship University of Russia. Series: Agronomy and Animal Husbandry*, (2), 7-15.
4. Vo Thi Ngoc Ha, Dzhililov, F. S., Mazurin, E. S., Kirova, E. I., Vinogradova, S. V., Shaad, N. V., Laster, D., & Ignatov, A. N. (2014). Spread of a new genotype of *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* in Russia in 2012. *Potato Protection*, (2), 26-28.
5. Dzhililov, F. S., Korsak, I. V., & Monakhos, G. F. (1995). Comparison of methods for assessing the resistance of cabbage to black rot. *Izvestiya Timiryazevskaya Agricultural Academy*, (2), 147-153.
6. Ignatov, A. N., Dzhililov, F. S., Miroshnikov, K. A., & Evseev, P. V. (2021). *Xanthomonas campestris*: main results and problems of research of the black rot pathogen of cabbage. *Microbial Biotechnology: Fundamental and Applied Aspects*, 13, 153-168. <https://doi.org/10.47612/2226-3136-2021-13-153-168> EDN: <https://elibrary.ru/qpqqqt>
7. Lazarev, A. M., Mysnik, E. N., & Ignatov, A. N. (2017). Range and damage zone of cabbage black rot. *Plant Protection Bulletin*, 1(91), 52-55.
8. Matveeva, E. V., Ignatov, A. N., Polityko, V. A., & Fokina, V. G. (2008). Bacterial diseases of rapeseed. *Protection and Quarantine of Plants*, (12), 23-24.
9. Monakhos, S. G., & Elyshko, N. V. (2015). Resistance of cabbage to black rot. *Potato and Vegetables*, (9), 38-39.
10. Orynbaev, A. T., Dzhililov, F. S., & Monakhos, G. F. (2019). Methods of assessment and inheritance of stem resistance to black rot in white cabbage. *Izvestiya Timiryazevskaya Agricultural Academy*, (1), 45-55.
11. Afrin, K. S., Rahim, M. A., Rubel, M. H., Natarajan, S., Song, J., Kim, H., Park, J., & Nou, I. (2018). Development of race-specific molecular marker for *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* race 3, the causal agent of black rot of crucifers. *Canadian Journal of Plant Science*, 98(5), 1119-1125. <https://doi.org/10.1139/cjps-2018-0035>

12. Ignatov, A., Kuginuki, Y., & Hida, K. (1998). Race-specific reaction of resistance to black rot in *Brassica oleracea*. *European Journal of Plant Pathology*, 104(8), 821-827. <https://doi.org/10.1023/A:1008642829156>
13. Ignatov, A., Kuginuki, Y., & Hida, K. (2000). Distribution and inheritance of race-specific resistance to *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* in *Brassica rapa* and *B. napus*. *Journal of Russian Phytopathology*, 1, 89-94.
14. Jelušić, A., Berić, T., Mitrović, P., Dimkić, I., Stanković, S., Marjanović-Jeromela, A., & Popović, T. (2020). New insights into the genetic diversity of *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* isolates from winter oilseed rape in Serbia. *Plant Pathology*, 70(1), 35-49. <https://doi.org/10.1111/ppa.13273> EDN: <https://elibrary.ru/cpiysj>
15. Lema, M., Soengas, P., Velasco, P., Francisco, M., & Cartea, M. E. (2011). Identification of Sources of Resistance to *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* in *Brassica napus* Crops. *Plant Disease*, 95(3), 292-297. <https://doi.org/10.1094/PDIS-06-10-0428> EDN: <https://elibrary.ru/okxkzr>
16. Lu, L., Monakhos, S. G., Lim, Y. P., & Yi, S. Y. (2021). Early defense mechanisms of *Brassica oleracea* in response to attack by *Xanthomonas campestris* pv. *campestris*. *Plants*, 10(12), 2705. <https://doi.org/10.3390/plants10122705> EDN: <https://elibrary.ru/kvcjgg>
17. Mansfield, J., Genin, S., Magori, S., Citovsky, V., Sriariyanum, M., Ronald, P., Dow, M., Verdier, V., Beer, S. V., Machado, M. A., Toth, I., Salmond, G., & Foster, G. D. (2012). Top 10 plant pathogenic bacteria in molecular plant pathology. *Molecular Plant Pathology*, 13(6), 614-629. <https://doi.org/10.1111/j.1364-3703.2012.00804.x> EDN: <https://elibrary.ru/rntqyz>
18. Popović, T., Balaž, J., Starović, M., Trkulja, N., Ivanović, Ž., Ignjatov, M., & Jošić, D. (2013). First Report of *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* as the Causal Agent of Black Rot on Oilseed Rape (*Brassica napus*) in Serbia. *Plant Disease*, 97(3), 418. <https://doi.org/10.1094/PDIS-07-22-1389-PDN>
19. Popović, T., Mitrović, P., Jelušić, A., Dimkić, I., Marjanović-Jeromela, A., Nikolić, I., & Stanković, S. (2019). Genetic diversity and virulence of *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* isolates from *Brassica napus* and six *Brassica oleracea* crops in Serbia. *Plant Pathology*, 68(8), 1448-1457. <https://doi.org/10.1111/ppa.13064> EDN: <https://elibrary.ru/vnoukw>
20. Rubel, M. H., Robin, A. H. K., Natarajan, S., Vicente, J. G., Kim, H., Park, J., & Nou, I. (2017). Whole-Genome Re-Alignment Facilitates Development of Specific Molecular Markers for Races 1 and 4 of *Xanthomonas campestris* pv. *campestris*, the Cause of Black Rot Disease in *Brassica oleracea*. *International Journal of Molecular Sciences*, 18(12), 2523. <https://doi.org/10.3390/ijms18122523> EDN: <https://elibrary.ru/ykarre>

21. Vicente, J. G., Taylor, J. D., Sharpe, A. G., Parkin, I. A. P., Lydiate, D. J., & King, G. J. (2002). Inheritance of race-specific resistance to *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* in *Brassica* Genomes. *Phytopathology*, 92(10), 1032-1148. <https://doi.org/10.1094/PHYTO.2002.92.10.113> EDN: <https://elibrary.ru/lzvbmj>
22. Vicente, J. G., & Holub, E. B. (2012). *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*, 14(1), 2-18. <https://doi.org/10.1111/j.1364-3703.2012.00833.x> EDN: <https://elibrary.ru/rouenv>
23. Zubko, O., Monakhos, S., & Monakhos, G. (2018). Rb gene introgression from *Brassica carinata* to *Brassica oleracea*. *Acta Horti*, 1202, 107-112. <https://doi.org/10.17660/ActaHort.2018.1202.16> EDN: <https://elibrary.ru/aeuuxk>

ВКЛАД АВТОРОВ

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку статьи для публикации

AUTHOR CONTRIBUTIONS

The authors contributed equally to this article.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Вишнякова Анастасия Васильевна, к-т сельхоз. наук, доцент кафедры ботаники, селекции и семеноводства садовых растений
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А.Тимирязева»
ул. Тимирязевская, 49, г. Москва, 127434, Российская Федерация
a.vishnyakova@rgau-msha.ru

Никитин Михаил Алексеевич, инженер-исследователь
Селекционно-семеноводческий центр овощных культур РГАУ-МСХА им. К. А. Тимирязева
ул. Пасечная, 5, г. Москва, 127550, Российская Федерация
ser-mixail-nikitin@yandex.ru

Румянцева Олеся Олеговна, магистрант 1 года обучения
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А.Тимирязева»

*ул. Тимирязевская, 49, г. Москва, 127434, Российская Федерация
rumiantsewa.olesya@yandex.ru*

Миронов Алексей Александрович, к-т сельхоз. наук, доцент, доцент кафедры ботаники, селекции и семеноводства садовых растений
*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А.Тимирязева»
ул. Тимирязевская, 49, г. Москва, 127434, Российская Федерация
a.mironov@rgau-msha.ru*

Монахос Сократ Григорьевич, д-р сельхоз. наук, профессор, заведующий кафедры ботаники, селекции и семеноводства садовых растений
*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А.Тимирязева»
ул. Тимирязевская, 49, г. Москва, 127434, Российская Федерация
s.monakhos@rgau-msha.ru*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Anastasiia V. Vishnyakova, Cand. Sc. (Agricultural), Associate Professor of the Department of Botany, Selection and Seed Production of Garden Plants

Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy

49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127550, Russian Federation

a.vishnyakova@rgau-msha.ru

SPIN-code: 7025-5592

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9160-1164>

ResearcherID: AAX-8791-2021

Scopus Author ID: 57302370100

Mikhail A. Nikitin, research engineer

Selection and Seed Center for Vegetable Crops Russian State Agrarian University - Timiryazev Moscow Agricultural Academy

5, Pasechnaya Str., 5, Moscow, 127550, Russian Federation

ser-mixail-nikitin@yandex.ru

SPIN-code: 7660-7226

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-5557-1192>

ResearcherID: HKM-7818-2023

Olesya O. Rumiantseva, 1st year Master Student of the Department of Botany,
Selection and Seed Production of Garden Plants

*Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural
Academy*

49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127550, Russian Federation

rumiantsewa.olesya@yandex.ru

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-3248-7514>

ResearcherID: GSE-5435-2022

Aleksei A. Mironov, Cand. Sc. (Agricultural), Assistant professor, Associate
Professor of the Department of Botany, Selection and Seed Production
of Garden Plants

*Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural
Academy*

49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127550, Russian Federation

a.mironov@rgau-msha.ru

SPIN-code: 5098-6375

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0297-500X>

ResearcherID: AAD-1773-2022

Scopus Author ID: 57214231613

Sokrat G. Monakhos, Dr. Sc. (Agricultural), Professor, Head of the Head of the
Department of Botany, Selection and Seed Production of Garden Plants

*Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural
Academy*

49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127550, Russian Federation

s.monakhos@rgau-msha.ru

SPIN-code: 7130-9663

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9404-8862>

ResearcherID: I-7729-2017

Scopus Author ID: 56052882900

Поступила 15.05.2024

После рецензирования 14.09.2024

Принята 16.10.2024

Received 15.05.2024

Revised 14.09.2024

Accepted 16.10.2024