

Оригинальная статья / Original article

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2025-4-132-139>
УДК: 635.345:631.524.86

Г.С. Огудин*, Д.Л. Корнюхин,
А.М. Артемьева

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н. И. Вавилова (ВИР)»
190000 Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, д. 42, 44

*Автор для переписки:
gregory.oogudin@gmail.com

Финансирование. Работа выполнена в рамках государственного задания FGEM-2022-0003 «Мировые ресурсы овощных и бахчевых культур коллекции ВИР: эффективные пути раскрытия эколого-генетических закономерностей формирования разнообразия и использования селекционного потенциала».

Благодарности. Авторы выражают благодарность д.б.н. Игнатову А. Н. за предоставление бактериальных рас для инокуляции растений и за методическую помощь в проведении исследования.

Вклад авторов: Огудин Г.С.: проведение исследований, сбор и формальный анализ данных, визуализация, написание рукописи; Корнюхин Д.Л.: методология, курирование данных; Артемьева А.М.: концептуализация, ресурсы, руководство исследованием, редактирование рукописи.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Огудин Г.С., Корнюхин Д.Л., Артемьева А.М. Оценка реакции капусты пекинской на заражение сосудистым бактериозом *Xanthomonas campestris* (Pammel) Dowson. *Овощи России*. 2025;(4):132-139. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2025-4-132-139>

Поступила в редакцию: 22.04.2025

Принята к печати: 07.07.2025

Опубликована: 29.08.2025

Grigory S. Ogudin*,
Dmitry L. Kornukhin, Anna M. Artemyeva

Federal Research Center N. I. Vavilov All-Russian
Institute of Plant Genetic Resources (VIR)
St. Petersburg, Russia

*Correspondence Author:
gregory.oogudin@gmail.com

Authors' Contribution: Ogudin G.S.: conducting research, collecting and formal analysis data, visualization, manuscript writing. Kornukhin D.L.: methodology, data curation. Artemyeva A.M.: conceptualization, resources, research management, manuscript editing.

Funding. The work was carried out within the framework of the state assignment FGEM-2022-0003 «World resources of vegetable and melon crops of the VIR collection: effective ways to reveal the ecological and genetic patterns of the formation of diversity and the use of breeding potential».

Acknowledgments. Authors express their gratitude to Dr. Sci. (Biol.) A.N. Ignatov for providing bacterial races for plant inoculation and for his methodological assistance in conducting the research.

Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interests.

For citation: Ogudin G.S., Kornukhin D.L., Artemyeva A.M. Chinese cabbage assessment reaction to black rot *Xanthomonas campestris* (Pammel) Dowson infection. *Vegetable crops of Russia*. 2025;(4):132-139. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2025-4-132-139>

Received: 22.04.2025

Accepted for publication: 07.07.2025

Published: 29.08.2025

Оценка реакции капусты пекинской на заражение сосудистым бактериозом *Xanthomonas campestris* (Pammel) Dowson

Check for updates



РЕЗЮМЕ

Актуальность. Капуста пекинская *Brassica rapa* subsp. *pekinensis* (Lour.) Hanelt – одна из ценнейших овощных культур семейства Крестоцветные Brassicaceae Burnett. Сфера использования в пищевых целях достаточно велика: ее употребляют в свежем, вареном, тушеном, соленом виде. По питательным и лечебным свойствам она не только не уступает другим капустным культурам, но и превосходит их. Главной проблемой при ее возделывании являются болезни, вызываемые грибными, бактериальными, вирусными патогенами. Сосудистый бактериоз (возб. *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* (Pammel) Dowson) в настоящее время представляет серьезную опасность. При благоприятных условиях болезнь способна привести к полной гибели растений и серьезным экономическим потерям. В условиях экологизации овощеводства ключевым методом защиты является создание устойчивых сортов и гибридов, что делает актуальным поиск источников устойчивости. Цель исследования: выделить источники устойчивости в коллекции пекинской капусты ВИР с помощью искусственного заражения набором рас сосудистого бактериоза.

Методы. Искусственное заражение четырьмя расами сосудистого бактериоза 50-ти образцов пекинской капусты, принадлежащих 16 сортотипам, проводили в НПБ «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР» (Санкт-Петербург) в 2024-2025 годах по методике А. Н. Игнатова. Каждый образец выращивали в трехкратной повторности по 6 растений в повторности и подвергали заражению в стадии трех настоящих листьев.

Результаты. Выделено 3 образца пекинской капусты с комплексной высокой устойчивостью к 4 расам сосудистого бактериоза. Установлены сортотипы с высокой устойчивостью и географическое распределение степени поражения каждой расой.

Заключение. Выделенные устойчивые образцы пекинской капусты могут быть вовлечены в селекционный процесс, направленный на создание сортов и гибридов с комплексной устойчивостью к сосудистому бактериозу.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

капуста пекинская, сосудистый бактериоз *Xanthomonas campestris*, расово-специфичная устойчивость, источники устойчивости

Chinese cabbage assessment reaction to black rot *Xanthomonas campestris* (Pammel) Dowson infection

ABSTRACT

Relevance. Chinese cabbage *Brassica rapa* subsp. *pekinensis* (Lour.) Hanelt is one of the most valuable vegetable crops of the cruciferous family Brassicaceae Burnett. The sphere of use for food purposes is quite large: it is consumed fresh, boiled, stewed, and salted. In terms of nutritional and medicinal properties it is not inferior to other brassicas crops, but even surpasses them. The main problems in its cultivation are diseases caused by fungal, bacterial and viral pathogens. Black rot (caus. agent *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* (Pammel) Dowson) currently poses a serious threat. Under favorable conditions, the disease can lead to complete plant death and serious economic losses. In the conditions of greening of agriculture, the key method of protection is the creation of resistant cultivars and hybrids, which makes it relevant to search for resistance donors. The aim of the study: to identify sources of resistance in the Chinese cabbage collection of VIR using artificial infection with a set of races of black rot.

Methods. Artificial infection with four races of black rot of 50 accessions of Chinese cabbage belonging to 16 cultivar types was carried out in the NPB «Pushkin and Pavlovsk laboratories of VIR» (St. Petersburg) in 2024-2025 according to the method of A. N. Ignatov. Each accession was grown in three replications 6 plant in replication and infected.

Results. Three accessions of Chinese cabbage with complex high resistance to 4 races of black rot were identified. Cultivar types with high resistance and the geographical distribution of the degree of infection by each race were established.

Conclusion. The determined accessions of Chinese cabbage can be involved in the breeding process aimed at creating cultivars and hybrids with complex resistance to black rot.

KEYWORDS:

Chinese cabbage, black rot *Xanthomonas campestris*, race-specific resistance, sources of resistance

Введение

Капуста пекинская *Brassica rapa* subsp. *pekinensis* (Lour.) Hanelt экономически важная культура семейства Крестоцветные – Brassicaceae Burnett (Cruciferae Juss.). Её широко возделывают в странах Восточной Азии, в т.ч. в Китае, Корее и Японии, которые являются мировыми лидерами по объему производства. Население этих стран с древнейших времен включает в свой ежедневный рацион пекинскую капусту, которая стала неотъемлемой частью блюд национальной кухни [1].

В России капуста пекинская относится к малораспространенным овощным культурам, преимущественно защищенного грунта, выращивать ее в товарных объемах в открытом грунте начали сравнительно недавно на юге страны. Основное производство продолжает оставаться в мелкотоварном секторе, объединяющим фермерские хозяйства и личные подсобные хозяйства населения. Процесс ее распространения длительное время сдерживался по причине отсутствия сортов и гибридов с устойчивостью к стеблеванию, но мировая и отечественная селекция успешно решает данную проблему, что дает возможность выращивать данную культуру в условиях длинного светового дня [2].

Капуста пекинская является продуктом диетического питания. Она обладает низким содержанием жиров – 0,17-0,20 г на 100 г свежих листьев. Высокая пищевая ценность обусловлена повышенным содержанием аскорбиновой кислоты – 10-27 мг, белков – 1-1,5 г, клетчатки – 1,0-1,2 г, незаменимых аминокислот: лизин – 0,071-0,089 г, лейцин – 0,067-0,088 г, валин – 0,050-0,066 г, а также содержанием аспарагиновой (0,086-0,108 г) и глутаминовой (0,288-0,360 г) аминокислот. Витаминный комплекс представлен β -каротином – про-витамином А, витаминами С, В1, В2, В3, В4, В5, В6 и В9. Из минеральных веществ пекинская капуста обладает повышенным содержанием калия (238-252 мг), кальция (77-105 мг), натрия (40-65 мг), фосфора (26-37 мг), магния (10-19 мг) [3-5].

Благодаря ценному биохимическому составу, скороспелости, относительной простоте выращивания, капуста пекинская вызывает интерес у населения страны, что обуславливает высокий спрос на ее свежую витаминную продукцию.

Одним из главных лимитирующих факторов, который сдерживает рост и развитие растений капусты пекинской и является причиной невозможности получения высокой товарной продукции во всех зонах России, является сосудистый бактериоз.

Сосудистый бактериоз капустных культур вызывает грамотрицательная бактерия *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* (Pammel, 1895; Dowson, 1939), которая является космополитом. Заболевание обладает высокой вредоносностью, так как поражает растения на всех этапах развития. У рассады поражаются семядольные листья, на них образуются водянистые бурые пятна, в дальнейшем происходит некротизация сосудов и гибель всходов. При этом патоген стремительно распространяется на соседние растения, и от единичного поражения до массовой инфекции в проходит всего несколько недель [6]. При кассетной технологии выращивания рассады даже одно зараженное растение может привести к скрытой инфекции от

60 до 70% растений всего через 3 недели после появления всходов. Симптомы поражения взрослых растений наблюдаются у краев листовой пластины в виде характерных V-образных хлоротичных пятен и бурых некрозов. Листья желтеют и отмирают, на срезе черешка отчетливо видно поражение сосудов. Попадая в сосудистую систему растения через гидатоды или механические повреждения, патоген вызывает блокировку движения воды, нарушая физиологические процессы в растении, что приводит к задержке в росте и развитии, а затем при системном инфицировании – к гибели растения. При хранении продукции патоген до 10 раз увеличивает развитие бактериальной мокрой гнили. Таким образом, значительно снижается товарная урожайность (до 50-80%), и резко повышаются потери при хранении, что ведет к значительному экономическому ущербу. При производстве семян, бактерия часто поражает маточные растения в латентной форме, и получение здорового семенного материала становится невозможным [7-11].

Заболевание распространено повсеместно в России и в мире, где выращивают капустные культуры. Патоген легко адаптируется к различным климатическим условиям и активно распространяется в северные регионы. Использование антибактериальных препаратов не всегда дает ожидаемый результат, так как со временем возбудитель приобретает резистентность.

Одним из ключевых и экономически выгодных методов борьбы является создание устойчивых сортов и гибридов, что ведет к поиску источников устойчивости среди естественных сортовых популяций. Данный процесс осложнен наличием у патогена не менее 11 специфических рас, к каждой из которых необходима устойчивость. Наиболее распространенными и агрессивными в мире являются расы 1, 4 и 3, при этом в РФ возрастает доля поражения растений более вирулентной расой 6 [12-15].

Задача оценки широкого спектра исходного материала и выделение источников устойчивости к сосудистому бактериозу для селекции капустных культур является актуальной, и большая роль отводится изучению генофонда мировой коллекции капусты ВИР.

Материал и методика проведения исследований

Искусственное заражение сосудистым бактериозом проводили в период с марта по июль 2024 года и с февраля по апрель 2025 года. В качестве материала для заражения были использованы 50 образцов пекинской капусты различного эколого-географического происхождения из коллекции ВИР (табл. 1). С целью исследования устойчивости растений применяли четыре расы *Xanthomonas campestris* pv. *campestris*: раса 1 – штамм РНВ 231 (Проф. П. Виллиямс, Университет Висконсина, США), раса 3 – NZ 306 (С.Г. Монахос, РГАУ-МСХА, Россия), раса 4 – WHRI 1279a (Университет Варвика, Великобритания) и раса 6 – XY-1-1 (Ф.С. Джалилов, РГАУ-МСХА, Россия). Идентичность всех штаммов была подтверждена ПЦР анализом со специфическими для *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* праймерами [16], и реакцией сортов дифференциаторов для рас патогена [15].

Каждый образец выращивали в 3-х кратной повторности, по 6 растений в каждой, в зимней отапливаемой

теплице при температуре +20°C днем, +16°C ночью и 16-часовом фотопериоде до стадии трех настоящих листьев. Бактерии хранили в холодильной камере при температуре -84°C. В качестве материала для заражения использовали трехдневную бактериальную культуру, которая предварительно высевалась на модифицированную среду Кинга Б и содержалась в термостате при температуре +25°C.

Заражение проводили по методике А. Н. Игнатова [16] в лаборатории в асептических условиях. На растении инокулировали лист при помощи хирургического пинцета, обмотанного ватой, смоченной в бактериальной суспензии концентрацией 1×10^6 КоЕ/мл, методом прищипывания в 3 мм от границы листа. В зависимости от размера листьев наносили от 7 и более точек инокуляции на разные половины (разделенные центральной жилкой) листовой пластинки (рис. 1). Далее растения помещались в отдельное помещение с контролируемыми условиями и содержались при температуре +24°C днем и +18°C и 16-часовом фотопериоде. Первые признаки сосудистого бактериоза начинали проявляться через 7-8 дней. Учет поражения проводили спустя 21 день по 4-балльной шкале: 0 – нет реакции, 1 – некроз вокруг точки инокуляции, 2 – некроз вокруг точки инокуляции и хлороз вокруг до 0,5 см в диаметре, 3 – развитие типичного V-образного некроза. В процессе оценки степени поражения образцов коллекции сосудистым бактериозом нами была принята следующая градация степени устойчивости: от 0 до 1 балла – относительно устойчивые, от 1 до 2 баллов – со средней устойчивостью, свыше 2 баллов – неустойчивые. Статистический анализ проводили с использованием программного обеспечения STATISTICA v. 12.0 (StatSoft Inc., США).

Результаты исследований и их обсуждение

По результатам исследования устойчивости репрезентативной выборки 50-ти образцов капусты пекин-

ской из коллекции ВИР к 4 расам сосудистого бактериоза (табл. 2 и рис. 2) при искусственном заражении было выявлено следующее количество относительно устойчивых образцов: девять к 1 расе (PHW 231), двенадцать к 3 расе (NZ 306), девять к 4 расе (WHRI1279a), и восемнадцать к 6 расе (XY-1-1). Большинство изученных образцов показали среднюю устойчивость к первой, четвертой и шестой расе. Наибольшая восприимчивость была выявлена к 3 расе – штамм NZ 306 и составила 30% образцов. Средний балл поражения 1 расой составил – 1,33, 3 расой – 1,56, 4 расой – 1,43, и 6 расой – 1,19 (рис. 3). Максимальный балл поражения наблюдался у 1 расы – 2,76. Минимальный балл поражения был отмечен у 6 расы – 0,27 и у 4 расы – 0,28.

Эколого-географические условия формирования сортоформ пекинской капусты оказывают влияние на степень устойчивости к болезням. В нашем исследовании учитывались сортоформы с количеством образцов от 4 и более (табл. 3). Наибольший средний балл поражения 1 расой показал сортоформ Шантунг (1,65 балла), наименьший – сортоформ Гранат (0,85 балла); 3 расой (штамм NZ 306) – сортоформы Сю (1,76 балла) и Мацусима (1,31 балла); 4 расой (WHRI1279a) – сортоформы Шантунг (1,69 балла) и Гранат (0,95 балла), 6 расой – сортоформы Сю (1,37 балла) и Мацусима (1,00 балла) соответственно. Таким образом, по комплексной устойчивости к изучаемым расам можно выделить сортоформы кочанной капусты, происходящие из северо-восточного Китая: Мацусима (распространен преимущественно в Японии) и Гранат. Наименее устойчивыми оказались сорта широко распространенных полукочанных сортоформ северокайского происхождения Шантунг и Сю.

Распределение поражения сосудистым бактериозом по географическому признаку (табл. 4) позволяет предположительно выделить регионы, в которых формировались источники устойчивости. В нашем исследовании учитывались регионы с количеством образцов

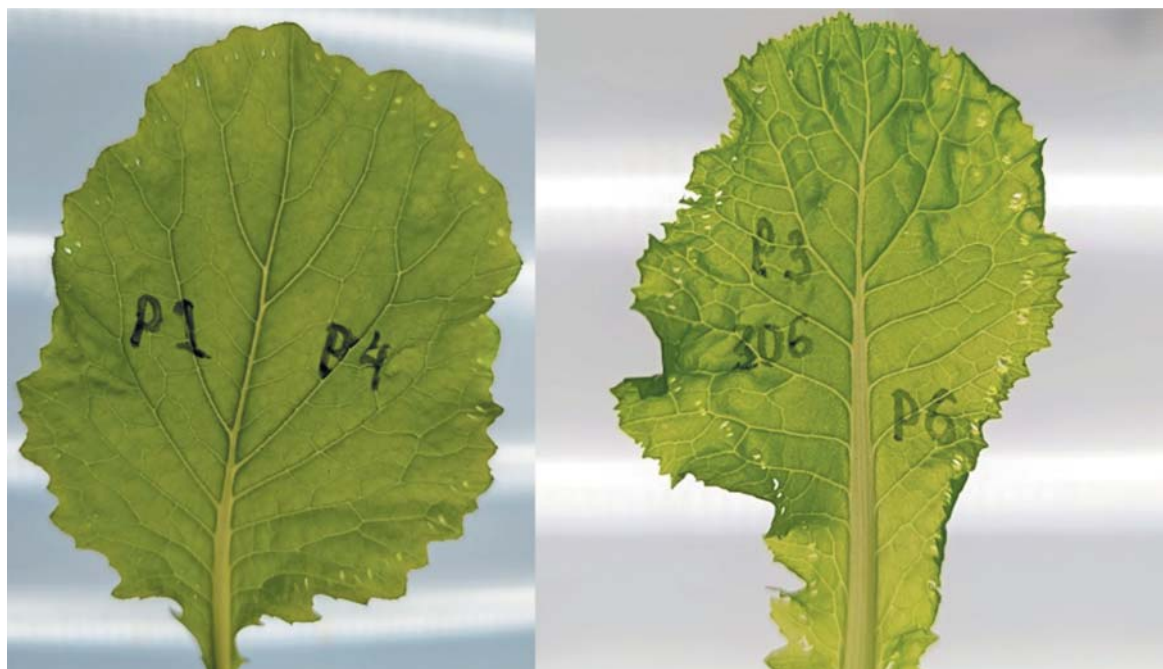


Рис. 1. Инокуляция листьев пекинской капусты различными расами сосудистого бактериоза *Xanthomonas campestris* pv. *campestris*

Fig 1. Inoculation of Chinese cabbage leaves with different races of black rot *Xanthomonas campestris* pv. *campestris*

Таблица 1. Реакция исследованных образцов капусты пекинской из коллекции ВИР на заражения 4 расами *Xanthomonas campestris* pv. *campestris*
 Table 1. Reaction of the tested Chinese cabbage accessions from the VIR collection *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* to 4 races of *Xanthomonas campestris* pv. *campestris*

Сортотип	№ каталога ВИР	Название, генотип	Происхождение	Средний балл поражения сосудистым бактериозом			
				Раса 1	Раса 3	Раса 4	Раса 6
Дифференциаторы для рас <i>Xanthomonas campestris</i> pv. <i>campestris</i>							
Just Right Turnip F1	-	Ген устойчивости Rxc4	Япония	2,0	2,0	0,0	2,0
Seven Top Green Turnip	-	Rxc2, 4	Япония	2,0	2,0	0,0	2,0
Miracle F ₁	-	Rxc3	Нидерланды	2,0	0,0	2,0	2,0
Florida Broad Leaf Mustard	-	Rxc1, 4, 5	США	0,0	0,0	0,0	2,0
Wirosa F ₁	-	нет	Нидерланды	3,0	3,0	3,0	3,0
var. <i>dissoluta</i> Li							
Дунганская	672	IT 104056	Корея	1,3	1,65	1,17	1,47
var. <i>infarcta</i> Li							
Шантунг	58	Бице	Киргизия	2,76	1,38	2,5	1,0
	108	Местный	Китай	1,4	0,73	1,6	0,46
	Вр 1376	Бице	Киргизия	0,46	0,5	0,6	0,43
	406	Shantung Tropical Round F ₁	Япония	1,35	1,88	1,55	1,67
	73	Petsai	Нидерланды	1,71	2,61	1,4	2,51
	133	Пходуран	Корея	1,96	1,41	2	1,11
Сяо	204	Fu-min	Китай	1,92	2,05	2,2	1,83
	53	Местный	Казахстан	2,24	0,72	2,35	0,47
	74	Сяо-бай-коу	Китай	1,2	1,68	1,38	1,37
	89	Доу-образная раннеспелая	Китай	1,44	1,03	1,74	0,71
	230	Digeson	Корея	1,56	1,8	1,8	1,66
	64	Местный	Китай	0,57	2,3	0,49	1,91
Санто	66	Местный	Китай	0,37	2,36	0,28	1,89
	292	Ju Zhu	Китай	1,06	2,44	1,36	1,63
	270	Harumaki Shin Santousai	Япония	1,2	2,16	1,21	1,56
Касин	329	Maruba Santo	Япония	1,49	2,11	1,35	1,55
	36	Хибинская	Россия	0,28	0,87	0,31	0,61
	var. <i>laxa</i> Tsen et Lee						
Касин	247	Хасинбечу	Корея	1,6	1,55	1,83	1,61
	255	Сочебан	Корея	1,51	1,97	1,61	1,30
	690	-	Таджикистан	1,11	1,41	1,35	0,86
var. <i>cephalata</i> Tsen et Lee							
Да-цин-коу	691	-	Казахстан	1,17	1,66	1,33	0,87
	198	Местный	Китай	1,23	1	1,61	0,85
Нозаки	101	Nozaki 1	Япония	1,36	0,97	1,54	0,5
	111	Nozaki early	Япония	2,25	2,21	1,91	1,35
	327	Nozaki Harumaki	Япония	1,3	1,36	1,65	1,27
	405	Spring sun 60 F ₁	Япония	1,0	2,48	1,21	1,69
Кага	103	Kaga	Япония	2,3	1,83	2,23	1,0
	88	Цзюй-син-бао-тоу-бай-цай	Китай	1,13	1,44	1,26	1,0
	400	CR-Kanki F ₁	Япония	1,16	1,58	1,3	1,14
	Вр 1574	Мерополис F ₁	Россия	1,83	1,85	1,87	1,41
	Вр 1575	Элеганс F ₁	Россия	1,64	2,36	1,9	2,0
	Вр 1576	Бестия	Россия	0,34	1,11	0,49	1,0
Хоторен	127	Hotoren	Япония	2,03	0,68	2,19	0,51
	404	Hatsubaru F ₁	Япония	1,93	2,33	1,86	1,8
	611	Весенний 11	Китай	1,53	1,75	1,6	0,92
Чи-фу	110	Matsushima	Япония	1,76	0,72	1,79	0,53
	401	CR-Kanki F ₁ 100	Япония	1,1	2,3	1,04	1,73
Кенсин	222	Kensin	Япония	1,72	0,85	1,79	0,47
Аити	570	WR 75 days F ₁	Япония	1,24	1,38	1,46	0,91
Гранат	164	Michihli	Канада	1,31	1,88	1,56	1,52
	296	-	Эквадор	1,23	2,36	1,06	2,02
	449	Hooyo F ₁	Нидерланды	0,3	0,63	0,4	0,61
	Вр 1556	Капелла	Россия	0,56	1,34	0,81	1
Мацусима	Вр 1557	Mini raioh 50 F ₁	Япония	1,25	2,09	1,42	1,46
	Вр 1558	Raioh 90 F ₁	Япония	0,41	0,35	0,62	0,37
	398	Udзи M70	Япония	2,25	0,41	2,18	0,27
	399	Udзи M80	Япония	0,47	2,4	0,56	1,9
Нозаки × Касин	698	91-8 F1 KT-19	Китай	1,26	0,42	1,41	0,46
	692	-	Китай	1,15	1,93	1,29	1,21
Среднее значение				1,33	1,56	1,43	1,19
Стандартное отклонение средней величины				0,57	0,65	0,55	0,54

Таблица 2. Данные степени поражения капусты пекинской сосудистым бактериозом *Xanthomonas campestris* (Pammel) Dowson
 Table 2. The degree of damage of black rot by *Xanthomonas campestris* (Pammel) Dowson

Показатель	1 раса PWI231	3 раса NZ 306	4 раса WHRI1279a	6 раса XY-1-1
Количество относительно устойчивых образцов	9	12	9	18
Количество образцов со средней устойчивостью	35	23	34	29
Количество неустойчивых образцов	6	15	7	3
Mean	1,33	1,56	1,43	1,19
Median	1,3	1,65	1,44	1,17
Mode	- (not defined)	2,36	-	1,0
Max	2,76	2,61	2,5	2,51
Min	0,28	0,35	0,28	0,27
Range	2,48	2,26	2,22	2,24
Std. Dev	0,57	0,65	0,55	0,54
CV, %	43,1	41,6	38,7	45,9

Примечание:

Mean – арифметик. среднее, Median – медиана, Mode – мода, Max – максимальное значение, Min – минимальное значение, Range – интервал, Std. Dev – ст. отклонение, CV, % – коэффициент вариации

от 4 и более. Наибольший средний балл поражения 1 расой показали образцы из Кореи (1,58 балла), наименьший – из России (0,93 балла), 3 расой (штамм NZ 306) – из Кореи (1,67 балла) и Средней Азии (1,13 балла); 4 расой (WHRI1279a) – из Кореи (1,68 балла) и России (1,07 балла) и Китая (1,23 балла), 6 расой – из Кореи (1,43 балла) и Средней Азии (0,72 балла) соот-

ветственно. Выявлено, что образцы из России устойчивы к 1 и 4 расе, но обладают средней устойчивостью к 3 и 6 расам. Образцы из Средней Азии устойчивы к 3 и 6 расам, обладают средней устойчивостью к 1 и 4 расам, но имеют и единичные источники устойчивости к этим расам. Образцы из Кореи показали наименьшую устойчивость ко всем изучаемым расам. Образцы из



Рис. 2. Образцы пекинской капусты: №21 – к-405 (Япония), №16 – к-398 (Япония); расы 3 и 6
 Fig. 2. Chinese cabbage accessions: №21 – k-405 (Japan); №16 – k-398 (Japan); races 3 and 6

Японии в большинстве имели средние показатели устойчивости к изучаемым расам. Образцы из Китая также в большинстве показали среднюю устойчивость, но есть образцы с устойчивостью к отдельным расам (в большей степени к 6 расе).

В результате исследования из 50 образцов пекинской капусты было выделено 3 образца (табл. 5), обладающих высокой устойчивостью к изучаемым расам сосудистого бактериоза, которые могут быть использованы в качестве источников устойчивости в селекционном процессе.

В сравнении с ранее проведенными исследованиями устойчивости к сосудистому бактериозу культур вида *Brassica rapa* L. [7] выявились некоторые общие закономерности. Подтвердилась гипотеза о наличии в центральноазиатской субпопуляции источников устойчивости к сосудистому бактериозу. В то же время в настоящем исследовании стойкой устойчивости образ-

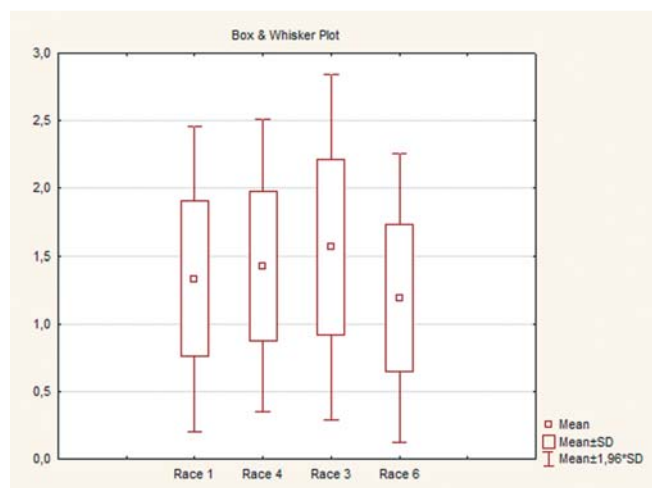


Рис. 3. Степень поражения (по расам) пекинской капусты сосудистым бактериозом
Fig. 3. Degree of infestation (by races) of Chinese cabbage by black rot

Таблица 3. Распределение степени поражения сосудистым бактериозом пекинской капусты по сортотипам
Table 3. Distribution of the degree of black rot on Chinese cabbage by cultivar types

Сортотип	Количество образцов	Средний балл поражения			
		1 раса PW1231	3 раса NZ 306	4 раса WHRI1279a	6 раса WHRI1279a
Сяо	7	1,20	1,76	1,33	1,37
Шантунг	7	1,65	1,50	1,69	1,28
Кага	6	1,4	1,69	1,50	1,25
Нозаки	4	1,47	1,75	1,57	1,20
Гранат	4	0,85	1,55	0,95	1,28
Мацусима	4	1,09	1,31	1,19	1,00

Таблица 4. Распределение степени поражения сосудистым бактериозом капусты пекинской по географическому признаку
Table 4. Distribution of the degree of black rot on Chinese cabbage by geographical area

Регион, страна	Количество образцов	Средний балл поражения			
		1 раса PW1231	3 раса NZ 306	4 раса WHRI1279a	6 раса XY-1-1
Япония	19	1,45	1,58	1,52	1,14
Китай	12	1,18	1,59	1,23	1,18
Корея	5	1,58	1,67	1,68	1,43
Средняя Азия	5	1,53	1,13	1,62	0,72
Россия	5	0,93	1,50	1,07	1,20
Другое*	4	1,13	1,87	1,10	1,66

*По 1 образцу из Канады, Эквадора и 2 из Нидерландов

Таблица 5. Выделившиеся образцы капусты пекинской с высокой комплексной устойчивостью к сосудистому бактериозу
Table 5. Selected accessions of Chinese cabbage with high complex resistance to black rot

№ кат. ВИР	Образец	Происхождение	Степень поражения, ср. балл			
			1 раса PW1231	3 раса NZ 306	4 раса WHRI1279a	6 раса XY-1-1
К-36	Хибинская	Россия	0,28±0,13	0,87±0,14	0,31±0,14	0,61±0,11
Вр 1376	Бице	Киргизия	0,46±0,17	0,5±0,12	0,6±0,15	0,43±0,12
Вр 1558	Raioh 90 F ₁	Япония	0,41±0,15	0,35±0,11	0,62±0,13	0,37±0,13

цов японского происхождения к изучаемым расам сосудистого бактериоза не наблюдалось, большинство образцов показывали среднюю устойчивость, но были обнаружены и устойчивые образцы. Наибольшее количество устойчивых образцов (7) было обнаружено к 6 расе, 12 образцов со средней устойчивостью, при этом неустойчивых к этой расе образцов не обнаружено, а также 6 образцов к 3 расе (NZ 306). Наибольшее количество неустойчивых образцов из Японии (8) было обнаружено при заражении 3 расой (NZ 306). К 1 и 4 расам было обнаружено по 2 устойчивых образца, по 13 и 14 – со средней устойчивостью и по 4 и 3 неустойчивых образцов японского происхождения. Данное различие может быть связано с количественно различающимся набором изучаемых образцов, а также изучением образцов современной селекции – 25% образцов из изученного набора были включены в коллекцию в последние 10 лет. Нами подтверждена высокая вирулентность 6 расы. При этом, ее способность поражать образцы различного эколого-географического происхождения значительно варьирует: у образцов японского и китайского происхождения не обнаружено неустойчивых образцов. Все образцы из Кореи показали среднюю устойчивость. У образцов из остальных регионов обнаружены единичные примеры каждой из степеней устойчивости. Также нами была выявлена высокая агрессивность штамма NZ 306 3 расы, способного активно поражать образцы пекинской капусты различного эколого-географического происхождения.

В настоящем исследовании впервые выявлена корреляционная связь высокой степени между реакцией

образцов пекинской капусты (вид *B. rapa*) на заражение 1 и 4 расами сосудистого бактериоза ($r=0,95$).

Впервые в репрезентативном наборе коллекционных образцов пекинской капусты выявлена расово-специфичная реакция к расе 6, что подтверждает предположение Игнатова А.Н. [16] об адаптации расы 6 к заражению *B. rapa* и дикорастущих капустных растений. Установлена высокая корреляция ($r=0,92$) между реакцией образцов на заражение 3 и 6 расами, что поддерживает гипотезу об активной сопряженной эволюции устойчивости растений с геномом А (*Brassica rapa*) к расе 6 [17].

Заключение.

В результате проведенных исследований изучена устойчивость репрезентативной выборки коллекции капусты пекинской *Brassica rapa* subsp. *pekinensis* (Lour.) Hanelt ВИР к различным расам сосудистого бактериоза *Xanthomonas campestris* (Pammel) Dowson. Выявлено широкое разнообразие проявления признака устойчивости от высокой восприимчивости до иммунности растений. Установлено, что растения сильнее поражались 3 расой (NZ 306). Наибольшая степень варьирования признака устойчивости была выявлена при заражении 6 расой XY-1-1 (CV 45,9%). Установлены сортоотипы с расо-специфической устойчивостью. Географическое распределение образцов позволило выявить регионы, в которых может формироваться расоспецифическая устойчивость.

Выделено 3 образца капусты пекинской, которые могут быть использованы в качестве исходного материала в селекции на комплексную устойчивость к сосудистому бактериозу.

• Литература

1. Чинилова В.А. Пекинская капуста в Сибири. *Сад и огород*. 2008;(4):4-5.
2. Андреев Ю.М., Осипова А.В. Пекинская капуста. *Новый садовод и фермер*. 2004;(6):18-19.
3. Zhang Y., Wang F., Gao J., Li C., Li J. Exploiting *Brassica rapa* L. subsp. *pekinensis* Genome Research. *Plants*. 2024;13(19):2823. <https://doi.org/10.3390/plants13192823>
4. Quan J., Zheng W., Wu M., Shen Z., Tan J. et al. Glycine Betaine and β -Aminobutyric Acid Mitigate the Detrimental Effects of Heat Stress on Chinese Cabbage (*Brassica rapa* L. ssp. *pekinensis*) Seedlings with Improved Photosynthetic Performance and Antioxidant System. *Plants*. 2022;(11):1213. <https://doi.org/10.3390/plants11091213>
5. Rubab M., Chellia R., Saravanakumar K., Mandava S., Khan I., et al. Preservative effect of Chinese cabbage (*Brassica rapa* subsp. *pekinensis*) extract on their molecular docking, antioxidant and antimicrobial properties. *PLOS ONE*. 2018;13(10):e0203306. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0203306>
6. Ignatov A.N., Panchuk S.V., Vo Thi Ngok Ha, Mazurin E.S., Kromina K.A., Dzhaliilov F.S. Black rot of brassicas in Russia - epidemics, protection, and sources for resistant plants breeding. *Potato and vegetables*. 2016;(2):15-16.
7. Игнатов А.Н., Артемьева А.М., Чесноков Ю.В. Устойчивость к возбудителю сосудистого бактериоза и листовой пятнистости у *Brassica rapa* L. и *B. napus* L. *Сельскохозяйственная биология*. 2011;46(1):85-92. <https://elibrary.ru/nnafif>
8. Артемьева А.М., Игнатов А.Н., Волкова А.И. и др. Физиолого-генетические компоненты устойчивости к сосудистому бактериозу у линий удвоенных гаплоидов *Brassica rapa* L. *Сельскохозяйственная биология*. 2018;53(1):157-169. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2018.1.157rus> <https://elibrary.ru/vzwyix>
9. Cruz J., Tenreiro R., Cruz L. Assessment of 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. <https://doi.org/10.4454/JPP.V99I2.3890>
10. Ha Vo Thi Ngoc, Dzhaliilov F.S., Ignatov A.N. Biological properties of bacteriophages specific to black rot pathogen of brassicas *Xanthomonas campestris* pv. *campestris*. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2015;(6):28-36. <https://elibrary.ru/vdoupv>
11. Jensen B., Vicente J., Manandhar H., Roberts S. Occurrence and diversity of *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* in vegetable Brassica fields in Nepal. *Plant Disease*. 2010;94(3):298-305. <https://doi.org/10.1094/PDIS-94-3-0298>
12. Игнатов А.Н., Джаллилов Ф.С., Монахос Г.Ф. Анализ расового состава популяции *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* (Pamm.) Dow в России и селекция на устойчивость к сосудистому бактериозу. *Генетические коллекции овощных растений*. СПб: ВИР, 2001. С. 179-190.
13. Монахос Г.Ф., Монахос С.Г., Костенко Г.А. Селекция капусты на устойчивость: состояние и перспективы. *Картофель и овощи*. 2016;(12):31-35. <https://elibrary.ru/xdener>
14. Ha Vo Thi Ngoc, Dzhaliilov F.S., Mazurin E.S., Kyrova E.I., Vinogradova

S.V., Schaad N.In., Laster D., Ignatov A.N. Spreading of a new genotype of *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* in Russia in 2012. *Potato Protection*. 2014;(2):28-30.

15. Лазарев А.М., Мысник Е.Н., Игнатов А.Н. Ареал и зона вредоносности сосудистого бактериоза капусты. *Вестник защиты растений*. 2017;1(91):52-55. <https://elibrary.ru/wfqynd>

16. Игнатов А.Н. Генетическое разнообразие фитопатогенных бактерий *Xanthomonas campestris* и устойчивость к ним растений семейства Brassicaceae. Москва. 2006. 307 с.

17. Dubrow Z.E., Carpenter S.C., Carter M.E., Grinage A., Gris C., Lauber E., Butchachas J., Jacobs J.M., Smart C.D., Tancos M.A., Noël L.D. Cruciferous weed isolates of *Xanthomonas campestris* yield insight into pathovar genomic relationships and genetic determinants of host and tissue specificity. *Molecular Plant-Microbe Interactions*. 2022;35(9):791-802.

<https://doi.org/10.1094/MPMI-01-22-0024-R>

• References

1. Chinilova V.A. Chinese cabbage in Siberia. *Garden and orchard*. 2008. 4: 4-5.

2. Andreyev Yu.M., Osipova A.V. Chinese cabbage. *New gardener and farmer*. 2004. 6: 18-19.

3. Zhang Y., Wang F., Gao J., Li C., Li J. Exploiting *Brassica rapa* L. subsp. *pekinensis* Genome Research. *Plants*. 2024;13(19):2823.

<https://doi.org/10.3390/plants13192823>

4. Quan J., Zheng W., Wu M., Shen Z., Tan J. et al. Glycine Betaine and β -Aminobutyric Acid Mitigate the Detrimental Effects of Heat Stress on Chinese Cabbage (*Brassica rapa* L. ssp. *pekinensis*) Seedlings with Improved Photosynthetic Performance and Antioxidant System. *Plants*. 2022;(11):1213. <https://doi.org/10.3390/plants11091213>

5. Rubab M., Chellia R., Saravanakumar K., Mandava S., Khan I., et al. Preservative effect of Chinese cabbage (*Brassica rapa* subsp. *pekinensis*) extract on their molecular docking, antioxidant and antimicrobial properties. *PLOS ONE*. 2018;13(10):e0203306.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0203306>

6. Ignatov A.N., Panchuk S.V., Vo Thi Ngok Ha, Mazurin E.S., Kromina K.A., Dzhailov F.S. Black rot of brassicas in Russia - epidemics, protection, and sources for resistant plants breeding. *Potato and vegetables*. 2016;(2):15-16.

7. Ignatov A.N., Artemieva A.M., Chesnokov Y.V. Resistance to the causative agent of black rot and leaf spot in *Brassica rapa* L. and *B. napus* L. *Agricultural biology*. 2011;46(1):85-92. <https://elibrary.ru/nnaff>

8. Artemieva, A.M., Ignatov, A.N., Volkova et al. Physiological and genetic components of black rot resistance in double haploid lines of *Brassica rapa* L. *Agricultural Biology*. 2018;53(1):157-169. (In Russ.)

<https://doi.org/10.15389/agrobiology.2018.1.157rus> <https://elibrary.ru/vzwyix>

9. Cruz J., Tenreiro R., Cruz L. Assessment of 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.

<https://doi.org/10.4454/JPP.V99I2.3890>

10. Ha Vo Thi Ngoc, Dzhailov F.S., Ignatov A.N. Biological properties of bacteriophages specific to black rot pathogen of brassicas *Xanthomonas campestris* pv. *campestris*. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2015;(6):28-36.

<https://elibrary.ru/vdoupv>

11. Jensen B., Vicente J., Manandhar H., Roberts S. Occurrence and diversity of *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* in vegetable Brassica fields in Nepal. *Plant Disease*. 2010;94(3):298-305.

<https://doi.org/10.1094/PDIS-94-3-0298>

12. Ignatov A.N., Jaillov F.S., Monakhos G.F. Analysis of racial composition of the population of *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* (Pamm.) Dow in Russia and selection for resistance to black rot. *Genetic collections of vegetable plants*. SPb: VIR, 2001. P. 179-190.

13. Monakhos G.F., Monakhos S.G., Kostenko G.A. Cabbage selection for resistance: status and prospects. *Potato and vegetables*. 2016;(12):31-35. (In Russ.) <https://elibrary.ru/xdener>

14. Ha Vo Thi Ngoc, Dzhailov F.S., Mazurin E.S., Kyrova E.I., Vinogradova S.V., Schaad N.In., Laster D., Ignatov A.N. Spreading of a new genotype of *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* in Russia in 2012. *Potato Protection*. 2014;(2):28-30.

15. Lazarev A.M., Mysnik E.N., Ignatov A.N. Areal and zone of harmfulness of cabbage black rot. *Plant Protection Bulletin*. 2017;1(91):52-55. (In Russ.) <https://elibrary.ru/wfqynd>

16. Ignatov A.N. Genetic diversity of phytopathogenic bacteria *Xanthomonas campestris* and resistance to them of plants of the Brassicaceae family. Doctoral dissertation: 06.01.11 Moscow, 2006, 307 p. (In Russ.)

17. Dubrow Z.E., Carpenter S.C., Carter M.E., Grinage A., Gris C., Lauber E., Butchachas J., Jacobs J.M., Smart C.D., Tancos M.A., Noël L.D. Cruciferous weed isolates of *Xanthomonas campestris* yield insight into pathovar genomic relationships and genetic determinants of host and tissue specificity. *Molecular Plant-Microbe Interactions*. 2022;35(9):791-802.

<https://doi.org/10.1094/MPMI-01-22-0024-R>

Об авторах:

Григорий Сергеевич Огудин – аспирант, Отдел ГР овощных и бахчевых культур, <https://orcid.org/0009-0001-0364-5715>, автор для переписки, gregory.oogudin@gmail.com

Дмитрий Львович Корнюхин – научный сотрудник, Отдел ГР овощных и бахчевых культур, <https://orcid.org/0000-0001-9181-5368>, Scopus ID 8256620600, Researcher ID S-7401-2016, SPIN-код: 3811-7673

Анна Майевна Артемьева – ведущий научный сотрудник, Отдел ГР овощных и бахчевых культур, <https://orcid.org/0000-0002-6551-5203>, Scopus ID 14014607500, Researcher ID I-5319-2018, SPIN-код: 8776-7367

About the Authors:

Grigory S. Ogudin – Postgraduate Student of the Department of Genetic Resources of Vegetables and Melons, Correspondence Author, gregory.oogudin@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0001-0364-5715>

Dmitry L. Korniyukhin – Researcher, Department of Genetic Resources of Vegetables and Melons, <https://orcid.org/0000-0001-9181-5368>, Scopus ID 8256620600, Researcher ID S-7401-2016, SPIN-code: 3811-7673

Anna M. Artemyeva – Cand. Sci. (Agriculture), Lieder Researcher, Department of Genetic Resources of Vegetables and Melons, <https://orcid.org/0000-0002-6551-5203>, Scopus ID 14014607500, Researcher ID I-5319-2018, SPIN-code: 8776-7367