

Оригинальная статья / Original article

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-4-15-22>
УДК 635.656:632.484.21

С.П. Кузьмина*, Н.Г. Казыдуб,
Л.Я. Плотникова, М.Ю. Куколева

ФГБОУ ВО «Омский государственный
аграрный университет имени П.А. Столыпина»
644008, г. Омск-8,
ул. Институтская площадь, 1

*Автор для переписки: sp.kuzmina@omgau.org

Конфликт интересов. Авторы данной статьи
указывают на отсутствие финансовой поддерж-
ки/конфликта интересов, о которых необходи-
мо сообщить.

Вклад авторов: Кузьмина С.П.: проведение
полевых опытов по оценке устойчивости к ржа-
вчине, обработка и анализ экспериментальных
данных, написание и редактирование рукопи-
си. Казыдуб Н.Г.: научное руководство исследо-
ваниями, методология, написание и редактиро-
вание рукописи. Плотникова Л.Я.: редактирова-
ние рукописи. Куколева М.Ю.: проведение
полевых исследований.

Для цитирования: Кузьмина С.П., Казыдуб
Н.Г., Плотникова Л.Я., Куколева М.Ю. Скрининг
селекционного материала гороха овощного по
устойчивости к ржавчине в Омском ГАУ. *Овощи
России*. 2024;(4):15-22.
<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-4-15-22>

Поступила в редакцию: 24.04.2024

Принята к печати: 07.06.2024

Опубликована: 08.07.2024

Svetlana P. Kuzmina*, Nina G. Kazydub,
Lyudmila Y. Plotnikova, Marina Yu. Kukoleva

Federal State Budgetary Educational Institution
of Higher Education
"Omsk State Agrarian University"
1, Institutskaya square St.,
Omsk-8, 644008, Russia

*Corresponding Author: sp.kuzmina@omgau.org

Conflict of interest. The authors declare that there
are no conflicts of interest.

Authors' contributions: Kuzmina S.P.: conducting
field experiments to assess rust resistance, pro-
cessing and analysis of experimental data, writing
and editing the manuscript. Kazydub N.G.: scientif-
ic supervision of research, methodology, writing
and editing the manuscript. Plotnikova L.Ya.: edit-
ing the manuscript. Kukoleva M.Yu.: conducting
field research.

For citation: Kuzmina S.P., Kazydub N.G.,
Plotnikova L.Y., Kukoleva M.Yu. Screening of veg-
etable pea breeding material on rust resistance at
Omsk State Agrarian University. *Vegetable crops
of Russia*. 2024;(4):15-22. (In Russ.)
<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-4-15-22>

Received: 24.04.2024

Accepted for publication: 07.06.2024

Published: 08.07.2024

Скрининг селекционного материала гороха овощного по устойчивости к ржавчине в Омском ГАУ

Check for updates



РЕЗЮМЕ

Актуальность. Ржавчина гороха регулярно наносит ущерб урожаю гороха овощного в Омской области. Вредоносность заболевания в последние годы стала усиливаться, в благоприятные для развития болезни годы поражение восприимчивых сортов может составлять 100 %. В связи с чем селекционеры вынуждены постоянно искать новые источники генов устойчивости из-за быстрой эволюции возбудителей ржавчины.

Цель наших исследований – провести скрининг образцов коллекции гороха овощного в поле-
вых условиях в южной лесостепи Западной Сибири и выделить источники устойчивости.

Материал и методика. В качестве объекта для изучения были взяты 72 образца гороха овощного из «Федерального государственного бюджетного научного центра овощеводства» (ФГБНУ ФНЦО) и «Федерального исследовательского центра Всероссийского института генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова» (ВИР). Исследования проводились в течение четырех лет с 2020 по 2023 гг. в условиях южной лесостепи Омской области. Учеты вели в соответствии с «Методическими указаниями по изучению коллекции зерновых бобовых культур».

Результаты и обсуждение. В результате проведенных исследований установлено, что устой-
чивость гороха овощного к ржавчине зависит как от генотипа, так и погодных условий. Наибольшее влияние на развитие заболевания оказывали погодные условия (доля фактора составила 51,5%), вклад генотипа также достоверный и составляет 44,8%. Устойчивость кол-
лекционных образцов к ржавчине в условиях Омской области варьировала от низкой (2,8 балла) при теплой и влажной погоде до очень высокой (7,8 баллов) при сухой и жаркой. Основное влияние на распространение ржавчины оказывают гидротермические условия периода «цветение – созревание» ($r = -0,98 \pm 0,11$). Устойчивость растений к ржавчине характери-
зуется сильным варьированием в зависимости от условий выращивания ($Cve = 20,2-54,6\%$). Наименьшую изменчивость признака по годам имел сорт Дарунок ($Cve = 20,2\%$), который будет
наиболее стабильно сохранять устойчивость при усилении инфекционной нагрузки. В резуль-
тате скрининга коллекционного материала гороха овощного выделены источники частичной
устойчивости к ржавчине для селекции в Западной Сибири: сорта Дарунок, Самородок (ФГБНУ
"Федеральный научный центр овощеводства" (ФГБНУ ФНЦО)), Орел, Крейсер, Витязь,
Флагман-8, Немчиновский 46, В-579, Памяти Хангильдина (коллекция ВИР).

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

ржавчина гороха, источники устойчивости, горох овощной, селекция.

Screening of vegetable pea breeding material on rust resistance at Omsk State Agrarian University

ABSTRACT

Relevance. Pea rust regularly damages the vegetable pea crop in the Omsk region. The harmfulness
of the disease has begun to intensify in recent years; in years favorable for the development of the
disease, the damage to susceptible varieties can be 100%. Therefore, breeders are forced to con-
stantly search for new sources of resistance genes due to the rapidly developing rust pathogens.

The goal of our research is to screen samples of a vegetable pea collection under field conditions in
the southern forest-steppe of Western Siberia and identify sources of resistance.

Material and Methodology. As an object for study, 72 samples of vegetable peas were taken from the
Federal State Budgetary Scientific Institution Federal Scientific Vegetable Center (FSBSI FSVS) and the
"Federal Research Center of the All-Russian Institute of Plant Genetic Resources named after
N.I. Vavilov" (VIR). The research was conducted over four years from 2020 to 2023. in the conditions
of the southern forest-steppe of the Omsk region. The records were carried out in accordance with
the "Methodological instructions for studying the collection of grain legumes".

Results and Discussion. As a result of the studies, it was established that the resistance of vegetable
peas to rust depends on both the genotype and weather conditions. Weather conditions had the
greatest influence on the development of the disease (the factor's share was 51.5%), the contribution
of the genotype was also significant and amounted to 44.8%. The resistance of collection samples to
rust in the conditions of the Omsk region varied from low (2.8 points) in warm and humid weather to
very high (7.8 points) in dry and hot weather. The main influence on the spread of rust is exerted by
the hydrothermal conditions of the "flowering – ripening" period ($r = -0.98 \pm 0.11$). Plant resistance to
rust varies greatly depending on growing conditions ($Cve = 20.2-54.6\%$). The variety Darunok had the
least variability of the trait over the years ($Cve = 20.2\%$), which will most consistently maintain resist-
ance when the infectious load increases. As a result of screening of collection material of vegetable
peas, sources of partial resistance to rust were identified for breeding in Western Siberia: varieties
Darunok, Namorodok (Federal Scientific Vegetable Center (FSBSI FSVS)), Orel, Cruiser, Vityaz,
Flagman-8, Nemchinovsky 46, B-579, In Memory of Khangildin (VIR collection).

KEYWORDS:

pea rust, sources of resistance, vegetable peas, selection

Введение

Овощной горох широко распространен в мире, его ценят за высокое содержание витаминов, клетчатки и белка, что делает его ценным диетическим продуктом для здорового питания [1-5].

Горох овощной поражается чаще всего ржавчиной, аскохитозом, корневыми гнилями и мучнистой росой. Ржавчина гороха стала серьезным возбудителем для культуры во всем мире с середины 1980-х годов [6, 7]. В последнее время зафиксировано повышение вредности ржавчины на горохе также в разных регионах РФ, в том числе и в Омской области [8-12].

Создание высокоурожайных и устойчивых к стрессовым биотическим и абиотическим факторам среды сортов гороха овощного является приоритетным направлением в селекции, что обеспечивает конкурентоспособность и продовольственную безопасность РФ [13-17].

Селекция на устойчивость остается одним из наиболее экономичным и экологичным методом борьбы с ржавчиной. В связи с чем необходимо изучение устойчивости растений к данному патогену и поиск источников устойчивости к ржавчине.

Возбудителями ржавчины гороха являются виды – *Uromyces pisi* и *Uromyces viciae-fabae* [7]. *U. viciae-fabae* основной возбудитель ржавчины гороха в тропических и субтропических регионах, для распространения которого нужны теплые влажные погодные условия [18-20], *U. pisi* вызывает ржавчину гороха в регионах с умеренным климатом [21]. Оба гриба микроскопически идентичны на уредальной стадии, но их можно отличить по морфологии телейтостадии [22]. Известно, что *U. viciae-fabae* вызывает потери урожая от 57 до 100% [23], тогда как снижение урожая гороха из-за *U. pisi* достигает 30 % [6]. Основные различия между этими двумя видами ржавчины представлены в таблице 1.

У *U. pisi* инфицирование растений происходит на уредальной стадии, тогда как у *U. viciae-fabae* инфицирование может происходить как на уредальной, так и эцидиальной стадии. Генетика устойчивости гороха к ржавчине до сих пор недостаточно изучена. Известно, что устойчивость к патогену может контролироваться олигогенами [24-26] и полигенно [19, 27]. Современные исследования о генетике устойчивости к ржавчине расширяются, у гороха идентифицированы

молекулярные маркеры, связанные с генами устойчивости QTL. Это дает возможность эффективного их использования в селекционных программах и ускорить выведение новых сортов [28-31]. Идентифицированы гены устойчивости к возбудителю ржавчины гороха *U. Pisi*: Uvf-1, Uvf-2, Uvf-3, Uf2, Ur-3, Ur-4, Ur-5, Ur-6, Ur-7, Ur-9, Ur-11, Ur-12 [7].

В разных исследованиях олигогены проявляли как полное, так и частичное доминирование устойчивости; полигены, контролирующие частичную устойчивость к ржавчине, имели небольшие индивидуальные эффекты [32,33].

Частичная устойчивость к ржавчине обеспечивает средний уровень поражения ко всем расам патогена [34], при этом отмечается снижение скорости развития заболевания в течение сезона [35]. Частичная устойчивость может вызывать отставание в развитии гаусторий и сокращение их количества, что влияет на развитие колоний ржавчины [36]. Такое взаимодействие связано с образованием лигнина и каллозы [37-39]. Более высокое накопление лигнина наблюдается у частично устойчивых сортов гороха по сравнению с восприимчивыми формами. По мнению ученых, лигнификация может считаться индикатором частичной устойчивости гороха к ржавчине [40].

Количественный характер устойчивости гороха к ржавчине затрудняет полевую селекционную оценку. Однако площадь под кривой развития заболевания может являться эффективным инструментом для оценки частичной устойчивости к ржавчине [41].

Сорта с неполной устойчивостью сдерживают развитие болезни за счет сохранения листового аппарата и, как следствие, формированию более высокой продуктивности по сравнению с восприимчивыми растениями [32].

Учитывая высокую востребованность гороха необходимо изучение генетического материала культуры по устойчивости к ржавчине, что является серьезной задачей, которую необходимо решать в приоритетном порядке.

Цель исследований – провести скрининг образцов коллекции гороха овощного в полевых условиях в южной лесостепи Западной Сибири и выделить источники устойчивости.

Таблица 1. Отличительные особенности возбудителей ржавчины гороха (по А.К. Singh, 2023)
Table 1. Distinctive features of pea rust pathogens (according to A.K. Singh, 2023)

Характеристика	<i>Uromyces pisi</i>	<i>Uromyces viciae-fabae</i>
Распространение	Регионы Европы, Австралии, Канады и России с умеренным климатом	Тропические и субтропические регионы юго-восточной Азии
Условия развития	Сравнительно прохладная и менее влажная погода	Теплая и влажная погода
Гриб	Двудомный макроциклический гриб, завершает жизненный цикл на молочае кипарисовом (<i>Euphorbia cyparissias</i> L.).	Аутогенный макроциклический
Стадия инфицирования	Уредальная	Уредальная и эцидиальная
Гены устойчивости	Uvf-1, Uvf-2, Uvf-3, Uf2, Ur-3, Ur-4, Ur-5, Ur-6, Ur-7, Ur-9, Ur-11, Ur-12	Не идентифицированы
Контроль устойчивости	Полигенный	Моногенный, полигенный

Материал и методы проведения исследований

В качестве объекта для скрининга устойчивости растений гороха овощного к ржавчине были использованы 72 образца из Федерального государственного бюджетного научного учреждения "Федеральный научный центр овощеводства" (ФГБНУ ФНЦО) и Федерального исследовательского центра Всероссийского института генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (ВИР). Набор сортов по годам не изменялся. Стандарт – сорт Неистошмий 195. Полевые испытания проводились в течение четырех лет с 2020 по 2023 годы в условиях южной лесостепи Омской области. Посев проводили вручную на делянках 2 м². Повторность трехкратная. Учеты велись в соответствии с «Методическими указаниями по изучению коллекции зерновых бобовых культур». Устойчивость гороха овощного к ржавчине определяли по методике ВИР, где 1 балл соответствует очень низкой устойчивости, 9 баллов – очень высокой устойчивости [42].

Результаты исследований

Погодные условия в годы проведения опытов были контрастными и, в целом, способствовали развитию ржавчины гороха: 2020 и 2021 годы были очень засушливыми (ГТК=0,51-0,56); 2022 год –

слабо засушливым (ГТК=1,2); 2023 год – засушливым (ГТК= 0,89).

Условия второй половины вегетации (период «цветение-созревание») растений гороха овощного в 2022 и 2023 годах способствовали массовому развитию ржавчины и позволили провести достоверную оценку селекционного материала (ГТК соответственно 1,91 (избыточно влажные условия) и 1,22 (слабо засушливые условия)), худшие условия для развития болезни сложились в 2021 году (ГТК=0,61 (очень засушливые условия)), в 2020 году условия были засушливые (ГТК=0,72), рисунок 1.

Проведенный нами однофакторный дисперсионный анализ показал, что между изученными образцами гороха овощного имеются достоверные различия по устойчивости к ржавчине (табл. 2). Установлено, что наибольшее влияние на развитие заболевания в условиях Омской области оказывали погодные условия – 51,5%, доля генотипа в общем варьировании признака составила 44,8%. Ряд исследований также указывает на то, что факторы окружающей среды оказывают сильное влияние на изменчивость признака [5, 10, 33, 35].

В условиях Омской области заболевание особенно интенсивно развивается в теплую и влажную погоду, которая наблюдается во второй половине вегетации растений, когда растения находятся на стадии цветения или образования бобов [3], рис. 2.

Таблица 2. Результаты дисперсионного анализа по устойчивости гороха овощного к ржавчине
Table 2. Results of analysis of variance for stability vegetable peas to rust

Варьирование	Суммы квадратов, С	Число степеней свободы, df	Средний квадрат (дисперсия), S ²	Значение критерия F		Доля влияния фактора, %
				F _{факт}	F ₀₅	
Общее, С _y	183,89	35,00				100
Условия, С _p	94,78	3,00				51,5
Генотип, С _v	82,39	8,00	10,30	36,77	2,36	44,8
Ошибка, С _z	6,72	24,00	0,28			3,7

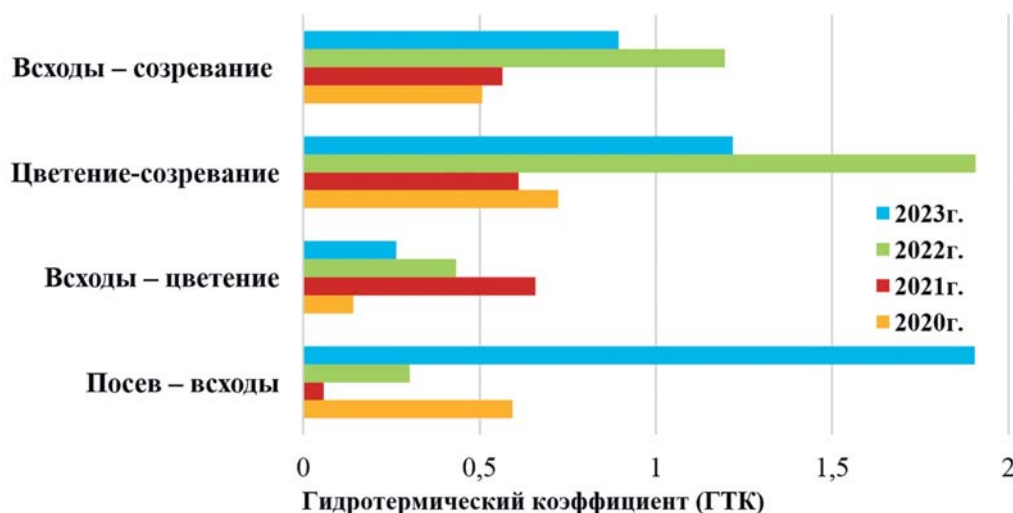


Рис. 1. Гидротермические условия в годы проведения опытов
Fig. 1. Hydrothermal conditions during the years of experiments



Рис. 2. Проявление ржавчины на горохе
Fig. 2. Rust on peas

В период исследований ржавчина гороха в Омской области проявлялась с разной интенсивностью: от низкой в 2022 году до очень высокой в 2021 году (табл. 3). Степень поражения листьев у восприимчивого стандарта Неистоцкий 195 за время исследований варь-

ировала от 35-75%, что указывает на низкую устойчивость к патогену и свидетельствует о высоком естественном инфекционном фоне болезни.

Скрининг образцов коллекции гороха овощного в полевых условиях позволил установить, что большая часть образцов по результатам четырёхлетних данных имела очень высокую устойчивость к ржавчине – 45%, высокая устойчивость проявлялась у 16% образцов коллекции, средняя устойчивость – у 15%, низкая устойчивость – у 20% и очень низкая устойчивость – у 4% (рис. 3).

Максимальное поражение растений ржавчиной было зафиксировано при влажной и теплой погоде в период «цветение – созревание» гороха овощного в 2022 году (в среднем 2,8 балла). При этом большая часть образцов гороха овощного имела низкую (2-3 балла) устойчивость к патогену (67% образцов), среднюю устойчивость (4-5 баллов) показали 23% растений, доля образцов с очень низкой устойчивостью увеличилась до 9%.

Минимальное поражение гороха ржавчиной отмечено в сухом и жарком 2021 году (в среднем 7,8 баллов). Причем, большая часть образцов проявила очень высокую устойчивость к болезни – 8-9 баллов (74% коллекционных образцов), 15% образцов были высокоустойчивыми, 6% – среднеустойчивыми и 4% – низко устойчивыми.

Таблица 3. Распределение образцов коллекции гороха овощного по устойчивости к ржавчине, шт.
Table 3. Distribution of vegetable pea collection samples by rust resistance, pcs.

Год	Тип устойчивости									
	очень низкая	низкая		средняя		высокая		очень высокая		среднее, балл
	1 балл	2 балла	3 балла	4 балла	5 баллов	6 баллов	7 баллов	8 баллов	9 баллов	
2020	2	3	3	4	4	3	10	23	13	6,9
2021	0	1	2	2	2	4	7	19	31	7,8
2022	4	16	13	7	5	0	0	0	0	2,8
2023	1	2	5	3	6	6	6	5	6	4,7
Среднее	1,8	5,5	5,8	4,0	3,8	3,3	5,8	12,5	12,8	6,2

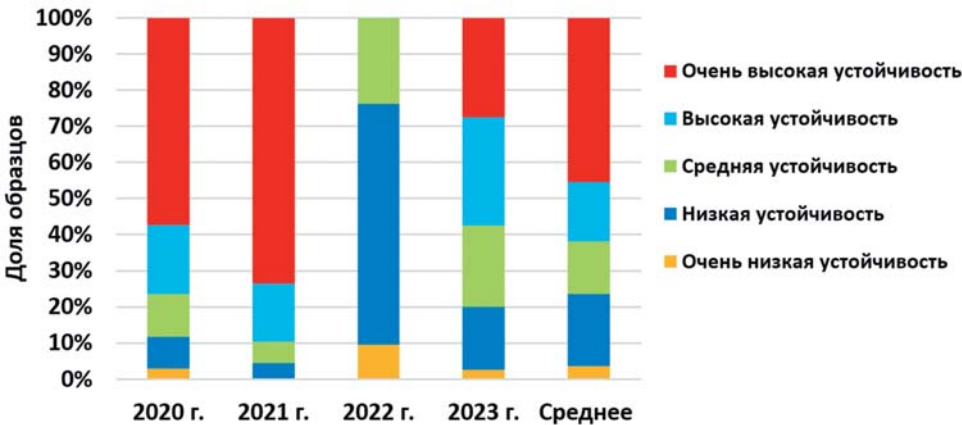


Рис. 3. Распределение образцов гороха овощного по устойчивости к ржавчине, 2020-2023 годы
Fig. 3. Distribution of vegetable pea samples by rust resistance, 2020-2023

Таблица 4. Источники устойчивости к ржавчине у гороха овощного
Table 4. Sources of rust resistance in pea

Сорт, образец	Происхождение	Устойчивость к ржавчине, балл					Коэффициент экологической изменчивости (Cve, %)
		2020 год	2021 год	2022 год	2023 год	Среднее	
Неистошимый 195, стандарт	ФГБНУ ФНЦО	4	4	1	2	2,8	54,6
Дарунок	ФГБНУ ФНЦО	8	8	5	7	7,0	20,2
Самородок	ФГБНУ ФНЦО	9	9	5	8	7,8	24,4
Флагман-8	ВИР, (К-8767, Орловская область)	9	9	5	8	7,8	24,4
Орел	ВИР (К-9039, Орловская область)	8	9	4	8	7,3	30,6
Крейсер	ВИР (К-9589, Московская область)	9	9	5	8	7,8	24,4
Витязь	ВИР (К-6631)	7	9	4	8	7,0	30,9
Немчиновский 46	ВИР (К-9518, Московская область)	9	9	5	8	7,8	24,4
В-579	ВИР (К-113, Московская область)	9	9	4	8	7,5	31,7
Памяти Хангильдина	ВИР (К-9420, Башкортостан)	8	8	4	7	6,8	28,0
В среднем по коллекции		6,9	7,8	2,8	4,7	5,6	29,4

В 2020 году зафиксировано снижение устойчивости растений к ржавчине. У изученных образцов наблюдалась высокая устойчивость в среднем по коллекции (6,9 баллов), причем, большая часть образцов (57% образцов) сохраняли очень высокую устойчивость. Доля высокоустойчивых образцов в коллекции составила 19%, среднеустойчивых – 12%, увеличилась доля образцов с низкой и очень низкой устойчивостью (9 и 3% образцов соответственно).

В условиях 2023 года растения имели среднюю устойчивость к ржавчине (в среднем по коллекции 4,7 баллов). Большая часть образцов коллекции гороха овощного имела высокую устойчивость – 30% образцов, доля очень высокоустойчивых форм составила 18%, среднеустойчивых – 23%, низко устойчивых – 17%, очень низко устойчивых – 3%.

В ходе исследований нами выделены образцы гороха овощного демонстрирующие устойчивость к ржавчине, которые могут служить источниками ценного признака и рекомендованы для включения в гибридизацию: сорта Федерального научного центра овощеводства – Дарунок, Самородок; образцы из коллекции Федерального исследовательского центра Всероссийского института генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова – Орел (К-9039, Орловская область), Крейсер (К-9589, Московская область), Витязь (К-6631), Флагман-8 (К-8767, Орловская область), Немчиновский 46 (К-9518, Московская область), В-579 (К-113, Московская область), Памяти Хангильдина (К-9420, Башкортостан) (табл. 4).

На выделенных сортах отмечалось снижение скорости развития заболевания в течение сезона по сравнению с восприимчивыми образцами из коллекции горо-

ха овощного. Частичная устойчивость к ржавчине у выделенных сортов свидетельствует, вероятно, о полигенном контроле признака с небольшими индивидуальными эффектами генов.

Коэффициент экологической изменчивости устойчивости растений к ржавчине у выделенных сортов варьировал от 20,2 до 31,7% и в среднем составил 26,6%, тогда как у восприимчивого стандарта Неистошимый 195 составил 54,6%, что указывает на сильную изменчивость признака в разных погодных условиях. Следовательно, устойчивость растений к ржавчине может быть сильно модифицирована условиями выращивания и в благоприятных для развития патогена условиях выделенные сорта и образцы могут поражаться (иметь частичную устойчивость). Однако при равных условиях их поражение будет меньше, чем у остальных образцов в среднем по коллекции. Сорта, стабильно сохраняющих высокую устойчивость к ржавчине при высокой инфекционной нагрузке или меняющихся погодных условиях не обнаружено. Таким образом, высокоэффективных генов к имеющимся местным расам патогена изученные сорта не имеют.

Коэффициент экологической изменчивости у выделенных образцов существенно отличался в зависимости от генотипа. Наименьшую изменчивость признака по годам имел сорт Дарунок (Cve=20,2%), следовательно, он наиболее стабильно будет сохранять устойчивость при усилении инфекционной нагрузки, наибольшую – стандарт Неистошимый 195 (Cve=54,6 %).

Определение коэффициента корреляции между устойчивостью образцов гороха овощного к ржавчине и гидротермическими показателями в разные фазы

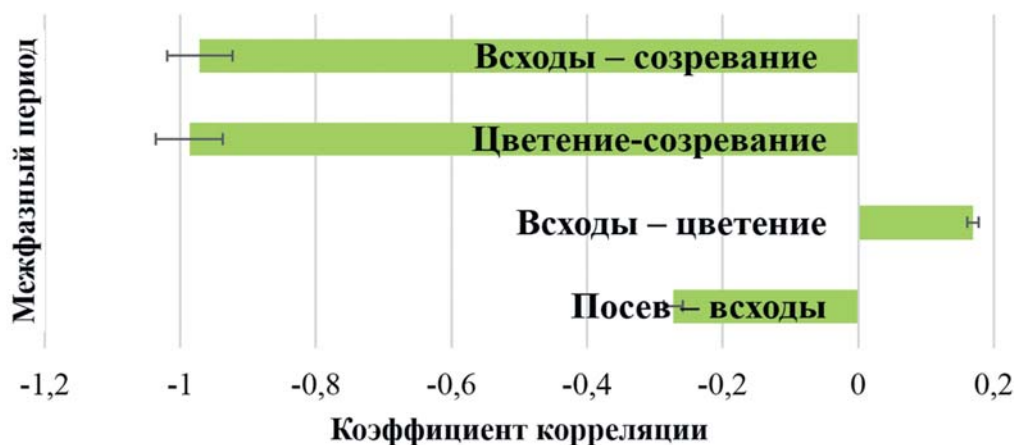


Рис. 4. Зависимость между устойчивостью образцов гороха овощного к ржавчине и показателем ГТК в разные межфазные периоды

Fig. 4. Dependence between the resistance of vegetable pea samples to rust and the HTC index in different interphase periods

развития растений показало, что основное влияние в условиях южной лесостепи Западной Сибири имеют погодные условия межфазного периода «цветение – созревание» (рис. 4).

Между устойчивостью растений к ржавчине и показателем ГТК в период «цветение – созревание» установлено наличие достоверной сильной отрицательной связи ($r=-0,98\pm0,11$). Зависимость между устойчивостью растений гороха овощного к ржавчине в период «всходы-цветение» и погодными условиями была не достоверна.

Выводы

1. В условиях южной лесостепи Западной Сибири установлено, что устойчивость гороха овощного к ржавчине зависит как от генотипа, так и погодных условий. Наибольшее влияние на развитие заболевания оказывают погодные условия (доля фактора составила 51,5%), вклад генотипа в общее варьирование признака составил 44,8%.

2. Устойчивость коллекционных образцов к ржавчине в условиях Омской области варьировала от низкой

(2,8 балла) при теплой и влажной погоде до очень высокой (7,8 баллов) при сухой и жаркой.

3. Основное влияние на распространение ржавчины на горохе овощном оказывают гидротермические условия периода «цветение – созревание». Коэффициент корреляции между показателем ГТК и устойчивостью растений к ржавчине сильный отрицательный ($r=-0,98\pm0,11$).

4. Устойчивость растений к ржавчине характеризуется сильным варьированием в зависимости от условий выращивания (коэффициент экологической изменчивости, C_{ve} от 20,2 до 54,6%. Наименьшую изменчивость признака по годам имел сорт Дарунок ($C_{ve}=20,2\%$), который будет наиболее стабильно сохранять устойчивость при усилении инфекционной нагрузки.

5. В результате скрининга коллекционного материала гороха овощного выделены источники частичной устойчивости к ржавчине для селекции в Западной Сибири: сорта Дарунок, Самородок (ФГБНУ ФНЦО), Орел, Крейсер, Витязь, Флагман-8, Немчиновский 46, В-579, Памяти Хангильдина (коллекция ВИР).

Литература

- Семенова Е.В., Проскурякова Г.И. Результаты изучения образцов гороха (*Pisum sativum* L.) из коллекции ВИР в Тамбовской области в 1995–2017 гг. *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2021;1(37):5-13. <https://doi.org/10.24412/2309-348X-2021-1-5-13>
<https://www.elibrary.ru/kzveub>
- Вишнякова М.А., Александрова Т.Г., Буравцева Т.В., Бурляева М.О., Егорова Г.П., Семенова Е.В., Сеферова И.В., Суворова Г.Н. Видовое разнообразие коллекции генетических ресурсов зернобобовых вир и его использование в отечественной селекции (Обзор). *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2019;180(2):109-123. <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2019-2-109-123>
<https://www.elibrary.ru/kneohg>
- Путина О.В., Беседин А.Г. Адаптивная способность и стабильность генотипов овощного гороха разных групп спелости. *Овощи России*. 2020;(4):45-49. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2020-4-45-49>
<https://www.elibrary.ru/qyftm>
- Kazydub N., Kuzmina S., Yfimceva S. Leguminous Crops as a Valuable Product in Functional Nutrition. *The Fifth Technological Order: Prospects for the Development and Modernization of the Russian Agro-Industrial Sector* (TFTS). 2019. P. 199–203. <https://doi.org/10.2991/assehr.k.200113.168>
- Кайгородова И.М., Ушаков В.А., Голубкина Н.А., Котляр И.П., Пронина

Е.П., Антошкина М.С. Пищевая ценность, качество сырья и продовольственное значение культуры гороха овощного (*Pisum sativum* L.). *Овощи России*. 2022;(3):16-32.

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2022-3-16-32>

<https://www.elibrary.ru/wlxvhj>

6. EPPO Standards Pea.

http://archives.eppo.org/EPPOStandards/PP2_GPP/pp2-14-e.doc.

7. Singh A.K., Kushwaha C., Singh A.K. et al. Rust (*Uromyces viciaefabae* Pers. de-Bary) of Pea (*Pisum sativum* L.): Present Status and Future Resistance Breeding Opportunities. *Genes*. 2023;14(2):374. <https://doi.org/10.3390/genes14020374>

8. Кузьмина С.П., Казыдуб Н.Г. Изучение образцов коллекции гороха овощного на устойчивость к аскохитозу в условиях южной лесостепи Западной Сибири. *Овощи России*. 2019;(1):94-97. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2019-1-94-97>

<https://www.elibrary.ru/yohxcp>

9. Борзенкова Г.А. Система рационального применения протравителей и оптимизация их совместного использования с биопрепаратами и ФАВ в защите гороха от болезней в условиях нечерноземной зоны России. *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2012;(1):90-98. <https://www.elibrary.ru/qcraavp>

10. Бударина Г.А., Соболева Г.В. Источники устойчивости гороха к болезням и вредителям для практической селекции. *Земледелие*. 2017;(3):43-45. <https://www.elibrary.ru/ynauv>

11. Обзор фитосанитарного состояния посевов сельскохозяйственных культур в Омской области в 2017 году и прогноз появления вредителей, болезней и сорняков на 2023 год. 2023. 172 с.
12. Зотиков В.И., Бударина Г.А. Болезни гороха и основные приемы защиты культуры в условиях средней полосы России. *Защита и карантин растений*. 2015;(5):11-15. <https://www.elibrary.ru/trkkdz>
13. Кайгородова И.М., Котляр И.П., Ушаков В.А., Енгальцева И.А., Козарь Е.Г. Приоритетные направления современной селекции гороха овощного (*Pisum sativum* L.). *Овощи России*. 2023;(4):5-12. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-4-5-12>
<https://www.elibrary.ru/aegaad>
14. Семенова Е.В., Бойко А.П., Новикова Л.Ю., Вишнякова М.А. Фенотипические признаки, определяющие дифференциацию генофонда гороха (*Pisum sativum* L.) по направлениям использования. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2022;26(7):599-608. <https://doi.org/10.18699/VJGB-22-74> <https://www.elibrary.ru/jktgfl>
15. Давлетов Ф.А., Гайнуллина К.П., Магафурова Ф.Ф. Сравнительное изучение хозяйственно-биологических признаков у сортов гороха, созданных в Республике Башкортостан за последние 30 лет. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2020;4(84):72-77. <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2020-84-4-72-77>
<https://www.elibrary.ru/skdyfb>
16. Зеленов А.А., Задорин А.М., Зеленов А.Н., Кононова М.Е. Селекция усатых сортов гороха в ФНЦ зернобобовых и крупяных культур. *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2020;1(33):4-10. <https://doi.org/10.24411/2309-348X-2020-11147>
<https://www.elibrary.ru/bzyuw>
17. Плотникова Л.Я. Иммуитет растений и селекция на устойчивость к болезням и вредителям. 2007. 359 с. ISBN 978-5-9532-0356-2. <https://www.elibrary.ru/qkykhr>
18. Xue A.G., Warkentin T.D. Reactions of field pea varieties to three isolates of *Uromyces fabae*. *Can. J. Plant Sci.* 2002;(82):253-255. <https://doi.org/10.4141/P01-105>
19. Vijayalakshmi S., Yadav K., Kushwaha C., Sarode S.B., Srivastava C.P., Chand R., Singh, B.D. Identification of RAPD markers linked to the rust (*Uromyces fabae*) resistance gene in pea (*Pisum sativum*). *Euphytica*. 2005;(144):265-274. <https://doi.org/10.1007/s10681-005-6823-2>
20. Kushwaha C., Chand R., Srivastava C.P. Role of aeciospores in outbreak of pea (*Pisum sativum* L.) rust (*Uromyces fabae*). *Eur. J. Plant Pathol.* 2006;(115):323-330. <https://doi.org/10.1007/s10658-006-9017-4>
21. Barilli E., Sillero J.C., Moral A., Rubiales D. Characterization of resistance response of pea (*Pisum* spp.) against rust (*Uromyces pisi*). *Plant Breed.* 2009;(128):665-670. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0523.2008.01622.x>
22. Emeran A.A., Sillero J.C., Niks R.E., Rubiales D. Infection structures of host-specialized isolates of *Uromyces viciae-fabae* and of others *Uromyces* infecting leguminous crops. *Plant Dis.* 2005;(89):17-22. <https://doi.org/10.1094/PD-89-0017>
23. Upadhyay A.L., Singh V.K. Performance of pea varieties/ lines against powdery mildew and rust. *Indian J. Pulses Res.* 1994;(7):92-93.
24. Pal A.B., Brahmappa B., Sohi H.S., Rawal R.D. Studies on inheritance of resistance to rust (*Uromyces fabae* Pers. de Bary) on pea. *SABRAO J.* 1979;(11):101-103.
25. Katiyar R.P., Ram R.S. Genetics of rust resistance in pea. *Ind. J. Genet. Plant Breed.* 1987;(47):46-48.
26. Tyagi M.K., Srivastava C.P. Inheritance of powdery mildew and rust resistance in pea. *Ann. Biol.* 1999;(15):13-16.
27. Singh R., Ram H. Inheritance of days to flowering and rust resistance in peas. *Res. Crops.* 2001;(2):414-418. <https://doi.org/10.3390/genes14020374>
28. Singh J., Sirari A., Singh H. et al. Identifying and validating SSR markers linked with rust resistance in lentil (*Lens culinaris*). *Plant Breed.* 2021;(140):477-485. <https://doi.org/10.1111/pbr.12917>
29. Wu X., Wang B., Xin Y. et al. Unravelling the genetic architecture of rust resistance in the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) by combining QTL-Seq and GWAS analysis. *Plants*. 2022;11(7):953. <https://doi.org/10.3390/plants11070953>
30. Devi J., Mishra G.P., Sagar V. et al. Gene-based resistance to erysiphe species causing powdery mildew disease in peas (*Pisum sativum* L.). *Genes*. 2022;(13):316. <https://doi.org/10.3390/genes13020316>
31. Yan J., Chen J., Lin Y. et al. Mapping of quantitative trait locus reveals PsXl gene encoding xylanase inhibitor as the candidate gene for bruchid (*Callosobruchus* spp.) resistance in pea (*Pisum sativum* L.). *Front. Plant Sci.* 2023;(14):1057577. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1057577>
32. Chand R., Srivastava C.P., Singh B.D., Sarode S.B. Identification and characterization of slow rusting components in pea (*Pisum sativum* L.). *Genet. Resour. Crop Evol.* 2006;(53):219-224. <https://doi.org/10.1007/s10722-004-6149-2>
33. Kumar T.B.A., Rangaswamy K.T., Ravi K. Assessment of tall field pea genotypes for slow rusting resistance. *Leg. Res.* 1994;(17):79-82.
34. Caldwell R.M. Breeding for general and/or specific plant disease resistance. In *Proceedings of the 3rd International Wheat Genetic Symposium*, Canberra, Australia, 5–9 August 1968. P. 263–272.
35. Rubiales D., Niks R.E. Characterization of Lr34, a major gene conferring nonhypersensitive resistance to wheat leaf rust. *Plant Dis.* 1995;(79):1208-1212. <https://doi.org/10.1094/PD-79-1208>
36. Rubiales D., Sillero J.C. *Uromyces viciae-fabae* haustorium formation in susceptible and resistant faba bean lines. *Eur. J. Plant Pathol.* 2003;(109):71-73. <https://doi.org/10.1023/A:1022041106262>
37. Moldenhauer J.B.M., Moerschbacher W., van derWesthuizen A.J. Histological investigation of stripe rust (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*) development in resistant and susceptible wheat cultivars. *Plant Pathol.* 2006;(55):469-474. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2006.01385.x>
38. Habtu A., Zadoks J.C. Components of partial resistance in Phaseolus beans against Ethiopian isolates of bean rust. *Euphytica*. 1995;(85):95-102. <https://doi.org/10.1007/BF01678035>
39. Conner R.L., Bernier C.C. Slow rusting resistance in *Vicia fabae*. *Can. J. Plant Pathol.* 1982;(4):263-265. <https://doi.org/10.1080/07060668209501293>
40. Kushwaha C., Chand R., Singh A.K., Rai R., Srivastava C.P., Singh B.D., Mohapatra C. Lignification and early abortive colonies as indicators of partial resistance to rust in pea. *Trop. Plant Pathol.* 2016;(41):91-97. <https://doi.org/10.1007/s40858-016-0071-y>
41. Jeger M.J., Viljanen-Rollinson S.L.H. The use of area under disease progress curve (AUDPC) to assess quantitative disease resistance in crop cultivars. *Theor. Appl. Genet.* 2001;(102):32-40. <https://doi.org/10.1007/s001220051615>
42. Корсаков Н.И., Адамова О.А., Будакова В.И. Методические указания по изучению коллекции зерновых бобовых культур. Л.: ВИР. 1975. 59 с.

• References

1. Semenova E.V., Proskuryakova G.I. Results of the assessment of pea accessions (*Pisum sativum* L.) from VIR collection in Tambov region in 1995-2017. *Legumes and groat crops*. 2021;1(37):5-13. <https://doi.org/10.24412/2309-348X-2021-1-5-13>
<https://www.elibrary.ru/kzveub>
2. Vishnyakova M.A., Aleksandrova T.G., Buravtseva T.V., Burlyayeva M.O., Egorova G.P., Semenova E.V., Seferova I.V., Suvorova G.N. Species diversity of the VIR collection of grain legume genetic resources and its use in domestic breeding. *Proceedings on applied botany, genetics and breeding*. 2019;180(2):109-123. (In Russ.) <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2019-2-109-123>
<https://www.elibrary.ru/kneohg>
3. Putina O.V., Besedin A.G. Adaptive ability and stability genotypes of vegetable peas of different ripeness groups. *Vegetable crops of Russia*. 2020;(4):45-49. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2020-4-45-49>
<https://www.elibrary.ru/qyftm>
4. Kazydub N., Kuzmina S., Yfimceva S. Leguminous Crops as a Valuable Product in Functional Nutrition. *The Fifth Technological Order: Prospects for the Development and Modernization of the Russian Agro-Industrial Sector* (TFTS). 2019. P. 199–203. <https://doi.org/10.2991/assehr.k.200113.168>
5. Kaigorodova I.M., Ushakov V.A., Golubkina N.A., Kotlyar I.P., Pronina E.P., Antoshkina M.S. Nutritional value, quality of raw materials and food value of vegetable pea culture (*Pisum sativum* L.). *Vegetable crops of Russia*. 2022;(3):16-32. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2022-3-16-32>
<https://www.elibrary.ru/wlxvhj>
6. EPPO Standards Pea. http://archives.eppo.org/EPPOStandards/PP2_GPP/pp2-14-e.doc
7. Singh A.K., Kushwaha C., Singh A.K. et al. Rust (*Uromyces viciaefabae* Pers. de-Bary) of Pea (*Pisum sativum* L.): Present Status and Future Resistance Breeding Opportunities. *Genes*. 2023;14(2):374. <https://doi.org/10.3390/genes14020374>

8. Kuzmina S.P., Kazydub N.G. Study of samples of vegetable pea collection to resistance of ascochyta in the conditions of southern wood steppe of Western Siberia. *Vegetable crops of Russia*. 2019;(1):94-97. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2019-1-94-97> <https://www.elibrary.ru/yohxcp>
9. Borzenkova G.A. System of rational application of seed dressers and optimization of their sharing with biological preparations and physiologically active substances in protection of peas against diseases in conditions of south of the Non-Chernozem zone of Russia. *Legumes and groat crops*. 2012;(1):90-98. <https://www.elibrary.ru/qcpavp> (In Russ.)
10. Budarina G.A., Soboleva G.V. Sources of pea resistance to diseases and pests for practical breeding. *Zemledelie*. 2017;(3):43-45. <https://www.elibrary.ru/ylnauv> (In Russ.)
11. Review of the phytosanitary state of agricultural crops in the Omsk region in 2017 and forecast of the appearance of pests, diseases and weeds for 2023. 2023. 172 p. (In Russ.)
12. Zotikov V.I., Budarina G.A. Diseases of peas and the basic techniques of protecting the crop in central Russia. *Plant protection and quarantine*. 2015;(5):11-15. <https://www.elibrary.ru/trkkdz> (In Russ.)
13. Kaigorodova I.M., Kotlyar I.P., Ushakov V.A., Engalycheva I.A., Kozar E.G. Priority directions of modern breeding of vegetable peas (*Pisum sativum* L.). *Vegetable crops of Russia*. 2023;(4):5-12. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-4-5-12> <https://www.elibrary.ru/aegaad>
14. Semenova E.V., Boyko A.P., Novikova L.Y., Vishnyakova M.A. Phenotypic traits differentiating the genetic resources of pea (*Pisum sativum* L.) by the type of use. *Vavilov journal of genetics and breeding*. 2022;26(7):599-608. <https://doi.org/10.18699/VJGB-22-74> <https://www.elibrary.ru/jktgfl> (In Russ.)
15. Davletov F.A., Gainullina K.P., Magafurova F.F. A comparative study of economic and biological characters of pea varieties developed in the Republic of Bashkortostan over the past 30 years. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agramogo universiteta*. 2020;4(84):72-77. <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2020-84-4-72-77> <https://www.elibrary.ru/skdyfb> (In Russ.)
16. Zelenov A.A., Zadorin A.M., Zelenov A.N., Kononova M.E. Selection of leafletless pea varieties at FSC Federal Scientific Center of legumes and groat crops. *Legumes and groat crops*. 2020;1(33):4-10. <https://doi.org/10.24411/2309-348X-2020-11147> <https://www.elibrary.ru/bzyuw> (In Russ.)
17. Plotnikova L.Ya. Plant immunity and selection for resistance to diseases and pests. 2007. 359 p. ISBN 978-5-9532-0356-2. <https://www.elibrary.ru/qkykhr> (In Russ.)
18. Xue A.G., Warkentin T.D. Reactions of field pea varieties to three isolates of *Uromyces fabae*. *Can. J. Plant Sci.* 2002;(82):253-255. <https://doi.org/10.4141/P01-105>
19. Vijayalakshmi S., Yadav K., Kushwaha C., Sarode S.B., Srivastava C.P., Chand R., Singh, B.D. Identification of RAPD markers linked to the rust (*Uromyces fabae*) resistance gene in pea (*Pisum sativum*). *Euphytica*. 2005;(144):265-274. <https://doi.org/10.1007/s10681-005-6823-2>
20. Kushwaha C., Chand R., Srivastava C.P. Role of aeciospores in outbreak of pea (*Pisum sativum* L.) rust (*Uromyces fabae*). *Eur. J. Plant Pathol.* 2006;(115):323-330. <https://doi.org/10.1007/s10658-006-9017-4>
21. Barilli E., Sillero J.C., Moral A., Rubiales D. Characterization of resistance response of pea (*Pisum* spp.) against rust (*Uromyces pisi*). *Plant Breed.* 2009;(128):665-670. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0523.2008.01622.x>
22. Emeran A.A., Sillero J.C., Niks R.E., Rubiales D. Infection structures of host-specialized isolates of *Uromyces viciae-fabae* and of others *Uromyces* infecting leguminous crops. *Plant Dis.* 2005;(89):17-22. <https://doi.org/10.1094/PD-89-0017>
23. Upadhyay A.L., Singh V.K. Performance of pea varieties/ lines against powdery mildew and rust. *Indian J. Pulses Res.* 1994;(7):92-93.
24. Pal A.B., Brahmappa B., Sohi H.S., Rawal R.D. Studies on inheritance of resistance to rust (*Uromyces fabae* Pers. de Bary) on pea. *SABRAO J.* 1979;(11):101-103.
25. Katiyar R.P., Ram R.S. Genetics of rust resistance in pea. *Ind. J. Genet. Plant Breed.* 1987;(47):46-48.
26. Tyagi M.K., Srivastava C.P. Inheritance of powdery mildew and rust resistance in pea. *Ann. Biol.* 1999;(15):13-16.
27. Singh R., Ram H. Inheritance of days to flowering and rust resistance in peas. *Res. Crops*. 2001;(2):414-418. <https://doi.org/10.3390/genes14020374>
28. Singh J., Sirari A., Singh H. et al. Identifying and validating SSR markers linked with rust resistance in lentil (*Lens culinaris*). *Plant Breed.* 2021;(140):477-485. <https://doi.org/10.1111/pbr.12917>
29. Wu X., Wang B., Xin Y. et al. Unravelling the genetic architecture of rust resistance in the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) by combining QTL-Seq and GWAS analysis. *Plants*. 2022;11(7):953. <https://doi.org/10.3390/plants11070953>
30. Devi J., Mishra G.P., Sagar V. et al. Gene-based resistance to erysiphe species causing powdery mildew disease in peas (*Pisum sativum* L.). *Genes*. 2022;(13):316. <https://doi.org/10.3390/genes13020316>
31. Yan J., Chen J., Lin Y. et al. Mapping of quantitative trait locus reveals PsXl gene encoding xylanase inhibitor as the candidate gene for bruchid (*Callosobruchus* spp.) resistance in pea (*Pisum sativum* L.). *Front. Plant Sci.* 2023;(14):1057577. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1057577>
32. Chand R., Srivastava C.P., Singh B.D., Sarode S.B. Identification and characterization of slow rusting components in pea (*Pisum sativum* L.). *Genet. Resour. Crop Evol.* 2006;(53):219-224. <https://doi.org/10.1007/s10722-004-6149-2>
33. Kumar T.B.A., Rangaswamy K.T., Ravi K. Assessment of tall field pea genotypes for slow rusting resistance. *Leg. Res.* 1994;(17):79-82.
34. Caldwell R.M. Breeding for general and/or specific plant disease resistance. In Proceedings of the 3rd International Wheat Genetic Symposium, Canberra, Australia, 5–9 August 1968. P. 263–272.
35. Rubiales D., Niks R.E. Characterization of Lr34, a major gene conferring nonhypersensitive resistance to wheat leaf rust. *Plant Dis.* 1995;(79):1208-1212. <https://doi.org/10.1094/PD-79-1208>
36. Rubiales D., Sillero J.C. *Uromyces viciae-fabae* haustorium formation in susceptible and resistant faba bean lines. *Eur. J. Plant Pathol.* 2003;(109):71-73. <https://doi.org/10.1023/A:1022041106262>
37. Moldenhauer J.B.M., Moerschbacher W., van derWesthuizen A.J. Histological investigation of stripe rust (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*) development in resistant and susceptible wheat cultivars. *Plant Pathol.* 2006;(55):469-474. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2006.01385.x>
38. Habtu A., Zadoks J.C. Components of partial resistance in Phaseolus beans against Ethiopian isolates of bean rust. *Euphytica*. 1995;(85):95-102. <https://doi.org/10.1007/BF01678035>
39. Conner R.L., Bernier C.C. Slow rusting resistance in *Vicia fabae*. *Can. J. Plant Pathol.* 1982;(4):263-265. <https://doi.org/10.1080/07060668209501293>
40. Kushwaha C., Chand R., Singh A.K., Rai R., Srivastava C.P., Singh B.D., Mohapatra C. Lignification and early abortive colonies as indicators of partial resistance to rust in pea. *Trop. Plant Pathol.* 2016;(41):91-97. <https://doi.org/10.1007/s40858-016-0071-y>
41. Jeger M.J., Viljanen-Rollinson S.L.H. The use of area under disease progress curve (AUDPC) to assess quantitative disease resistance in crop cultivars. *Theor. Appl. Genet.* 2001;(102):32-40. <https://doi.org/10.1007/s001220051615>
42. Korsakov N.I., Adamova O.A., Budakova V.I. Guidelines for studying the collection of grain legumes. L.: VIR. 1975:59. (In Russ.)

Об авторе:

Светлана Петровна Кузьмина – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры агрономии, селекции и семеноводства, автор для переписки, sp.kuzmina@omgau.org, SPIN-код: 8745-1928, <http://orcid.org/0000-0002-2256-0434>

Нина Григорьевна Казыдуб – доктор с.-х. наук, профессор кафедры садоводства, лесного хозяйства и защиты растений, <https://orcid.org/0000-0002-2234-9647>, Scopus ID571962559502, SPIN-код: 8100-7068, ng-kazydub@yandex.ru

Людмила Яковлевна Плотникова – доктор биологических наук, профессор кафедры агрономии, селекции и семеноводства, SPIN-код: 1577-3971, <https://orcid.org/0000-0002-9287-9870>, lplotnikova2010@yandex.ru

Марина Юрьевна Куколева – бакалавр 3 курса

About the Author:

Svetlana P. Kuzmina – Cand. Sci. (Agriculture), Associate Professor of the Department of Agronomy, Selection and Seed Production, Corresponding Author, sp.kuzmina@omgau.org, SPIN code: 8745-1928, <http://orcid.org/0000-0002-2256-0434>

Nina G. Kazydub – Dr. Sci. (Agriculture), Professor of Horticulture, Forestry and Plant Protection Department, <https://orcid.org/0000-0002-2234-9647>, Scopus ID571962559502, SPIN-code: 8100-7068, ng-kazydub@yandex.ru

Lyudmila Ya. Plotnikova – Dr. Sci. (Biology), Professor of the Department of Agronomy, Selection and Seed Production, SPIN code: 1577-3971, <https://orcid.org/0000-0002-9287-9870>, lplotnikova2010@yandex.ru

Marina Yu. Kukoleva – 3rd year bachelor