

СИСТЕМА СЕЛЕКЦИИ И СЕМЕНОВОДСТВА

PLANT BREEDING AND SEED PRODUCTION

DOI: 10.12731/2658-6649-2025-17-5-1232

EDN: TWDEPX

УДК 632.4.01/.08



Научная статья

**РАСШИРЕНИЕ СПЕЦИФИЧНОСТИ
К РАСТЕНИЮ-ХОЗЯИНУ ИЗОЛЯТОВ *FUSARIUM*
И ОЦЕНКА ИХ ФИТОТОКСИЧНОСТИ НА РАПСЕ
И КАПУСТЕ БЕЛОКОЧАННОЙ**

*А.В. Вишнякова, М.А. Никитин,
А.А. Александрова, Л.М. Соколова*

Аннотация

Обоснование. Патогены рода *Fusarium* являются возбудителями экономически значимых заболеваний капустных культур. У капусты белокочанной потери урожая от фузариозного увядания могут составлять до 70-80 %, для озимого рапса фузариозное увядание также в списке мониторинга. В связи с изменениями климата происходит увеличение вредоносности фузариоза, кроме того, в последние годы наблюдается расширение специфичности возбудителя к растениям-хозяевам.

Цель. Изучить расширение специфичности к растениям хозяевам у агрессивных изолятов *Fusarium* spp., выделенных с овощных культур и их фитотоксичность.

Материалы и методы. Исследования проводили в условиях *in vitro* с использованием 9 изолятов *Fusarium* spp., выделенных с растений капусты белокочанной, огурца, томата, моркови, и гороха с признаками фузариозного увядания, а также с корнеплодов моркови и свеклы во время хранения. Изучение патогенности изолятов проводили на 3 образцах устойчивой и восприимчивой капусты белокочанной и 4 образцах озимого рапса. Фитотоксичность изолятов изучали на восприимчивой капусте белокочанной трансфер и рапсе

Лексион. Патогенность определяли на проростках при совместном культивировании с патогеном на питательной среде. Фитотоксичность определяли методом биопробы на семенах.

Результаты. Показано, расширение специфичности к растению-хозяину изолятов, выделенных из свеклы столовой и гороха овощного и их высокой патогенности на капустных культурах. Все изоляты показывали высокую и умеренную токсичность для восприимчивой капусты белокочанной. Для озимого рапса высокую фитотоксичность имели изоляты, выделенные из свеклы столовой и гороха овощного, умеренную – с капусты белокочанной и огурца. В дальнейшем следует подтвердить полученные результаты при инокуляции рассады капусты белокочанной и рапса *ex vitro*.

Заключение. Данное исследование представляет новые данные о расширении специфичности к растению-хозяину изолятов *Fusarium* spp. Расширение специфичности к растениям-хозяевам у видов *Fusarium* усложнит селекционную работу и потребует более детальных оценок при изучении устойчивости к фузариозному увяданию.

Ключевые слова: фузариозное увядание; *Fusarium*; капуста белокочанная; рапс; фитотоксичность

Для цитирования. Вишнякова, А. В., Никитин, М. А., Александрова, А. А., & Соколова, Л. М. (2025). Расширение специфичности к растению-хозяину изолятов *Fusarium* и оценка их фитотоксичности на рапсе и капусте белокочанной. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 17(5), 315-340. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-5-1232>

Original article

EXTENDING THE HOST RANGE OF *FUSARIUM* ISOLATES AND EVALUATION OF THEIR PHYTOTOXICITY ON RAPE AND WHITE CABBAGE

*A.V. Vishnyakova, M.A. Nikitin,
A.A. Aleksandrova, L.M. Sokolova*

Abstract

Background. The *Fusarium* species are responsible for economically important diseases in cabbage crops. *Fusarium* wilt is a significant threat to white cabbage, with yield losses reaching up to 70-80%. Furthermore, this disease is also being

monitored in winter rapeseed. Climate change is increasing the virulence of *Fusarium*, and in recent years, there has been an observed expansion of the pathogen's specificity to host plants.

This study **aims** to investigate the expansion of host plant specificity in aggressive isolates of *Fusarium* spp. derived from vegetable crops, as well as their phytotoxicity

Materials and methods. Studies were carried out in vitro using 9 isolates of *Fusarium* spp. obtained from white cabbage, cucumber, tomato, carrot, and pea plants exhibiting symptoms of *Fusarium* wilt, as well as from carrot and red beet crops that had developed disease during storage. The pathogenicity of the isolates was evaluated using a panel of 3 white cabbage cultivars with varying levels of resistance and 4 winter rape cultivars. Pathogenicity was determined on seedlings by co-cultivation with the pathogen on nutrient media. The phytotoxicity of the samples was evaluated using a bioassay method on seeds.

Results. The results of the study demonstrated an expansion of host range in the *Fusarium* isolates obtained from red beet and pea, which exhibited high levels of pathogenicity on cabbage crops. All isolates exhibited high and moderate toxicity to susceptible white cabbage. In regard to winter rapeseed, high phytotoxicity was discerned in isolates procured from red beet and pea, while moderate toxicity was observed in isolates derived from white cabbage and cucumber. In the future, the results obtained should be confirmed by inoculating white cabbage and rapeseed seedlings ex vitro.

Conclusion. This study provides new data on the expansion of host plant specificity of isolates of *Fusarium* spp. The expansion of host plant specificity in *Fusarium* species will present challenges to breeding work and necessitate more detailed evaluations when studying resistance to *Fusarium* wilt.

Keywords: *Fusarium* wilt; *Fusarium*; cabbage; rapeseed; phytotoxicity

For citation. Vishnyakova, A. V., Nikitin, M. A., Aleksandrova, A. A., & Sokolova, L. M. (2025). Extending the host range of *Fusarium* isolates and evaluation of their phytotoxicity on rape and white cabbage. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 17(5), 315-340. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-5-1232>

Введение

Род *Fusarium* включает в себя ряд видов-возбудителей заболеваний сельскохозяйственных культур, которые вызывают значительные потери урожая при выращивании и хранении [24; 31; 35], кроме того, ряд видов *Fusarium* являются патогенными для человека. Например, *Fusarium oxysporum* и *Fusarium solani*, поражающие овощные культуры, часто явля-

ются возбудителями инвазионного фузариоза у людей [3; 8]. По прогнозам вредоносность заболеваний, вызванных патогенами *Fusarium* spp., будет возрастать с изменением климата из-за глобального потепления [28], о чем так же свидетельствуют данные последних исследований [1; 4; 11; 37]. Изменение климата уже оказало влияние на распространение фузариозного увядания в России, где эта проблема, ранее ограниченная южными регионами, стала актуальной для умеренной полосы [4]. Для эффективной борьбы с фузариозом рекомендуется применять интегрированные методы защиты, включая соблюдение севооборота [26], обработку семян [17; 19], применение микробиологических препаратов [24; 44], фунгицидов [39], а также использование устойчивых сортов и гибридов [7; 32; 33; 36].

Селекция на устойчивость к заболеваниям – сложное направление селекции, связанное с нестабильностью устойчивости, которая может быть утрачена из-за появления новых рас, изолятов и штаммов патогенов [34]. Патоген может приобретать гены вирулентности путем мутации, гибридизации или горизонтального переноса генов [30]. Изменения в генах вирулентности могут повышать патогенность, позволяя инфицировать нового хозяина, или придавать патогену устойчивость к мерам борьбы с болезнью [23; 27]. В последние годы появляются сообщения о патогенности разных видов рода *Fusarium* на культурах, которые данными патогенами ранее не поражались, например, исследователи начали сообщать о патогенности *Fusarium equiseti* на огурце [38], томате [25], капусте белокочанной [22]. Фузариозное увядание капустных культур, а также других овощных культур вызывается преимущественно патогеном *F. oxysporum*, у которого исследователи выделяют около 120 форм [43], которые различаются по своей специфичности к хозяину и патогенным механизмам. Например, *F. oxysporum* f. sp. *conglutinans*, поражает капусту белокочанную, *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici* – томат [40], *Fusarium oxysporum* f. sp. *cucumerinum* – огурец [42] и т.д. О расширении специфичности к растению хозяину *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-cucumerinum* и приобретении им способности поражать растения томата, при сохранении патогенности на огурце сообщают Afordoanyı с соавторами [21]. Вопрос о патогенности изолятов *Fusarium oxysporum*, выделенных с одной сельскохозяйственной культуры, в отношении других культур остается открытым, однако он является актуальным для выбора методов защиты, снижения вредоносности патогена и выбора стратегии для селекции на устойчивость к заболеванию.

Цель исследования – изучить происходит ли расширение специфичности у агрессивных изолятов *Fusarium* spp. выделенных сотрудиниками

ВНИИО-филиала ФГБНУ ФНЦО на овощных культурах в Московской области [13; 15; 16; 18; 20] и оценить их токсическую активность. Для исследования расширения специфичности к растению-хозяину были выбраны 2 культуры капуста белокочанная, как представитель овощных культур и рапс, культура, которая обычно не представлена в овощном севообороте. И для капусты белокочанной и для рапса, проблема устойчивости к фузариозному увяданию стоит достаточно остро и решается преимущественно созданием устойчивого сортимента [2; 6; 9; 37].

Результаты работы указывают на расширение специфичности к растению-хозяину ряда изолятов и необходимость проведения детальных оценок на устойчивость к фузариозному увяданию с использованием изолятов с разных культур севооборота при селекции на устойчивость капустных культур, т.к. патогенность в условиях *in vitro*, проявляют изоляты выделенные из других видов растений. Кроме того, использование только одного экспресс-метода оценки может приводить к ошибкам при отборе устойчивых генотипов *in vitro*.

Материалы и методы

Растительный материал. Семена образцов устойчивой к фузариозному увяданию капусты белокочанной (*Brassica oleracea* L.) Вал1, Дом3, семена восприимчивой к фузариозному увяданию капусты белокочанной F1 Трансфер, семена генотипов озимого рапса (*Brassica napus* L.) Виолин, Мерседес, Лексион, Дарко.

Контрольным вариантом в эксперименте выступал образец восприимчивой к фузариозному увяданию капусты белокочанной F1 Трансфер. Образцы капустных культур были получены от ООО «Селекционная станция имени Н.Н. Тимофеева».

Происхождение и морфологическая характеристика изолятов фузариоза. В предварительном исследовании на полях, расположенных на экспериментальной базе ВНИИО-филиала ФГБНУ ФНЦО в Московской области, Раменский район было выделено 120 изолятов *Fusarium* spp. [13; 15; 16; 18; 20], у которых изучена патогенность и агрессивность, классическими методами инокуляции рассады и частей корнеплодов растения-хозяина. Поля расположены в Центральной части поймы реки Москва – Быковского расширения. Структура почвы аллювиально-луговая, среднесуглинистая. Принадлежность изолятов к роду *Fusarium*, была определена цитологическими методами по определителю [10]. Среди изолятов было выделено 9 наиболее агрессивных, изолированных с растений

капусты белокочанной, огурца, томата, моркови, и гороха с признаками фузариозного увядания, а также с корнеплодов моркови и свеклы во время хранения.

Изоляты были введены в чистую культуру и поддерживались в режиме хранения на среде Чапека при температуре 5-8 °С с периодическими посевами и анализом чистоты фенотипических свойств после каждого посева. Далее приведены морфологические характеристики и происхождение каждого изолята.

Изолят №10 – выделен с пораженных листьев капусты белокочанной. Изолят мицелия бело-серого цвета, пушистый, край разрастания и поверхность ровные. Реверс мицелия белый. Структура колоний однородная, конидий много, серповидной формы. Размер макроконидий от 9 до 10 мкм, число перегородок от 2 до 8 штук.

Изолят №12 – выделен с корнеплода свеклы столовой в период хранения с признаками гниения. Данный изолят характеризуется бело-серым мицелием, неровным краем разрастания, не однородной крупяной поверхностью. Реверс мицелия белый. Конидий много, овальной формы. Размер макроконидий от 2 до 4 мкм, число перегородок от 1 до 3 штук.

Изолят №13 – выделен с корневой системы капусты белокочанной с признаками фузариозного увядания. Изолят серого цвета, край и поверхность ровные, пушистый. Реверс мицелия белый. Структура колоний однородная, конидий много, серповидной формы. Размер макроконидий от 10 до 16 мкм, число перегородок от 3 до 8 штук.

Изолят №16 – выделен с корневой системы огурца с признаками фузариозного увядания. Изолят бело-серого цвета, край разрастания ровный, пушистый, обладает бугристой неоднородной поверхностью мицелия. Реверс мицелия бело-серый. Структура колоний однородная, конидий много, овально – серповидной формы. Размер макроконидий от 4 до 11 мкм, число перегородок от 4 до 8 штук.

Изолят №19 – выделен с корневой системы томата с признаками фузариозного увядания. Изолят характеризуется белым цветом мицелия, пушистый, край и поверхность ровные. Реверс мицелия белый. Структура колоний однородная, конидий много, овально – серповидной формы. Размер макроконидий от 8 до 10 мкм, число перегородок от 3 до 12 штук.

Изолят №26 – выделен с вегетирующего растения (лист) моркови столовой первого года жизни с признаками фузариозного увядания. Данный изолят характеризуется бело-серым мицелием, неровным краем разрастания, не однородной поверхностью мицелия, профиль мицелия очень пу-

шистый. Реверс мицелия белый. Конидий много, овально – серповидные. Размер макроконидий от 2 до 11 мкм, число перегородок от 2 до 8 штук.

Изолят №30 – выделен во время хранения маточников (с корнеплода) моркови столовой первого года жизни с признаками гниения. Мицелий изолята белого цвета, ровный край разрастания, поверхность мицелия ровная, профиль мицелия войлочный (плотный). Реверс мицелия белый. Конидий много, овальной формы. Размер макроконидий от 8 до 10 мкм, число перегородок от 2 до 6 штук.

Изолят №53 – выделен с корневой системы гороха овощного с признаками фузариозного увядания. Изолят имеет серый цвет мицелия, не ровный край разрастанием, поверхность мицелия пористая, опушенная. Реверс мицелия белый. Структура колоний однородная, конидий много, овально – серповидной формы. Размер макроконидий от 3 до 9 мкм, число перегородок от 2 до 4 штук.

Изолят №54 – выделен с бобов гороха овощного, с признаками фузариозного увядания. Изолят характеризуется белым цветом мицелия, неровным (хаотичным) разрастанием, обладает не однородной точечной поверхностью мицелия. Реверс мицелия белый. Структура колоний неоднородная, конидий мало, овальной формы. Размер макроконидий от 2 до 4 мкм, число перегородок от 1 до 3 штук.

Оценка патогенных и токсикогенных свойств изолятов на капустных культурах. Оценку патогенности проводили *in vitro*, путем совместного культивированием проростков капустных культур и мицелия патогена в чашках Петри [41]. Семена стерилизовали в 3% гипохлорите натрия в течение 10 минут и трижды промывали в стерильной дистиллированной воде, после чего размещали в чашки Петри на среду Чапека. Семена культивировали без патогена в течение 3 дней в климатической камере при температуре 24 °C и фотопериоде 16 ч. – день, 8 ч. – ночь до появления проростков, после чего в чашку Петри переносили активно-растущий мицелий патогена. Чашки Петри размещали вертикально для правильной ориентации корневой системы. Через 7 дней после инокуляции патогеном производили учёт выживших и пораженных проростков, а также учитывали симптомы поражения по следующей шкале: 0 – отсутствие симптомов поражения, 1 – угнетение роста проростков, единичные некрозы, 2 – множественные некрозы, семядоли коричневеют, рост проростка угнетён, 3 – гибель проростка. Опыт с каждым изолятом заложен в 3 повторностях по 5-7 семян в каждой повторности. Интенсивность развития болезни определяли по формуле $M = \sum(a \times b) / N$, где $\sum(a \times b)$ – сумма произведений числа пораженных растений на соответству-

ющий балл поражения, N – общее число учетных растений в образце, M – интенсивность развития болезни [14].

Токсикогенные свойства изолятов определяли проращиванием семян на фильтровальной бумаге пропитанной фильтратом культуральной жидкости [15; 5] на образцах восприимчивой капусты белокочанной Трансфер и образце озимого рапса Лексион. Фильтрат культуральной жидкости (ф.к.ж.) получали путем выращивания изолятов гриба в 300 мл колбах в 100 мл питательной среды. Для получения ф.к.ж. в каждую колбу вносили кусочек агара с активнорастущим мицелием размером $0,5 \times 0,5$ см. Колбы помещали в термостат и инкубировали при температуре 25°C 30 дней при регулярном взбалтывании на качалке. Полученную суспензию фильтровали через 4 слоя марлевого отреза, после чего автоклавировали.

На первоначальном этапе работы для проращивания семян на ф.к.ж. осуществляли подбор концентраций от 35, 50, 75% до 100%. В качестве контрольного варианта было проращивание семян на фильтровальной бумаге, пропитанной стерильной дистиллированной водой. Семена стерилизовали в 3% гипохлорите натрия в течение 10 минут, промывали трижды в стерильной дистиллированной воде и раскладывали в чашки Петри на стерильную фильтровальную бумагу, пропитанную ф.к.ж. в соответствующей концентрации. Учеты проводили на 7 день после инокуляции. Отмечали всхожесть семян, длину проростка, длину главного корня, отношение длины главного корня в опытном варианте к контрольному. Для оценки токсичности ф.к.ж. использовали шкалу Коломиец и др. [5]: если длина проростков и корней в экспериментальном варианте составляла 0-30 % от длины в контроле, то это свидетельствовало о сильной токсической (Т) активности гриба; 31-50 % - умеренная токсичность (УТ); 51-70 % - слабая токсичность (СТ); 71-100 % - нетоксичность (НТ) изолятов. В результате проведенных исследований, выявлено, что при проращивании семян на ф.к.ж. изучаемых изолятов в концентрации 75% и 100% прорастание семян восприимчивого образца капусты белокочанной не наблюдали. При проращивании семян на ф.к.ж. в концентрации 35%, существенных различий по отношению к контролю не выявлено.

При проращивании семян на 50%-ном ф.к.ж., наблюдали существенное ингибирование прорастания и изменение длины корешка, поэтому эксперимент был заложен на 50%-ном ф.к.ж. в трех повторностях по 30 семян на чашку Петри.

Статистическую обработку экспериментальных данных проводили на персональном компьютере с помощью пакета прикладных программ Microsoft Excel. Существенность различий определяли с использовани-

ем критерия Фишера на уровне значимости $P=0.05$. При наличии существенной разницы между вариантами эксперимента рассчитывали НСР с использованием критерия Стьюдента на уровне значимости $P=0.05$.

Результаты

Патогенность разных изолятов фузариоза, выделенных на овощных культурах в Московской области была оценена в лабораторном опыте при совместном культивировании проростков *Brassica oleracea* и *Brassica napus* и патогена. Результаты оценки интенсивности развития болезни на проростках представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Средневзвешенный балл поражения проростков капусты белокочанной и рапса при совместном культивировании изолятов *Fusarium* spp., балл

№ изолята и его происхождение	<i>Brassica oleracea</i>			<i>Brassica napus</i>			
	Трансфер	Вал1	Дом3	Виолин	Месредес	Дарко	Лексион
№10 капуста с листьев	1.6	1.3	3.0	1.4	1.6	1.6	1.1
№12 свекла с корнеплода	2.9	2.8	2.1	1.8	2.1	1.2	2.8
№13 капуста с корневой системы	3.0	2.9	1.4	2.9	1.0	2.3	0.9
№16 огурец с корневой системы	1.8	2.3	0.6	1.9	1.6	1.8	2.0
№19 томат с корневой системы	2.9	2.2	2.3	2.9	2.3	1.6	2.3
№26 морковь с листьев	3.0	3.0	2.3	2.7	2.4	2.3	2.0
№30 морковь с корнеплода	3.0	2.7	2.8	1.8	1.8	1.9	2.6
№53 горох с корневой системы	2.7	3.0	3.0	2.7	2.6	2.4	-
№54 горох с бобов	3.0	2.1	2.0	1.0	1.5	2.1	2.1

У восприимчивого генотипа капусты белокочанной Трансфер, наблюдали угнетение роста и гибель всех или части проростков при их совместном культивировании со всеми изученными изолятами. Средневзвешенный балл поражения варьировал от 1.6 при культивировании совместно с изолятом №10 (рис. 1) до 3.0 при культивировании с изолятами №26, №30 и № 54.

Наименее агрессивными при инокуляции проростков капустных культур были изолят №10 и № 16, выделенные с листа пораженного растения капусты белокочанной и корневой системы огурца соответственно. При инокуляции изолятом №10 полную гибель проростков наблюдали только у образца капусты белокочанной Дом3 (рис. 2), а при инокуляции изолятом №16 гибель отдельных проростков образца Вал1 (рис. 3).

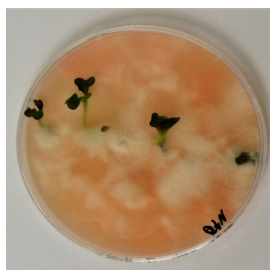


Рис. 1. Образец капусты белокочанной Трансфер через 7 дней совместного культивирования с изолятом №10



Рис. 2. Образец капусты белокочанной Дом3 через 7 дней совместного культивирования с изолятом №10

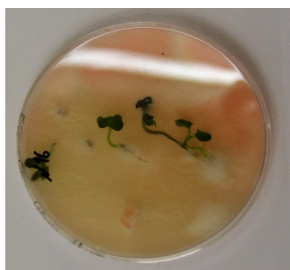


Рис. 3. Образец капусты белокочанной Вал1 через 7 дней совместного культивирования с изолятом №16

Изоляты под номерами 13, 19, 53, выделенные с корневой системы капусты белокочанной, томата и овощного гороха соответственно, вызывали гибель проростков ряда образцов капустных культур. При инокуляции изолятом №13 наблюдали гибель проростков капусты белокочанной Трансфер и Вал1, рапса Виолин и Дарко. Изолят № 19 вызывал гибель проростков всех изученных генотипов, кроме Дарко (рис. 4). Изолят № 53 был самым агрессивным и вызывал гибель проростков у всех изученных образцов.

При изучении патогенности изолятов №12 и №30, выделенных с корнеплодов свеклы и моркови во время хранения показана высокая патогенность изолятов для образцов капусты белокочанной. Среди изученных образцов рапса гибель проростков при инокуляции обоими изолятами наблюдали только у образца Лексион (рис. 5).

Изолят № 26, выделенный с листьев моркови с признаками фузариозного увядания, при совместном культивировании вызывал гибель проростков и множественные некрозы у всех изученных образцов.

Изолят № 54, выделенный с бобов гороха, вызвал полную гибель проростков только у образца Трансфер, у остальных образцов наблюдали некрозы разной степени и гибель единичных проростков (рис. 6).



Рис. 4. Образец рапса Дарко через 7 дней совместного культивирования с изолятом №19

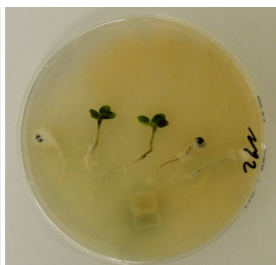


Рис. 5. Образец рапса Лексион через 7 дней совместного культивирования с изолятом №12

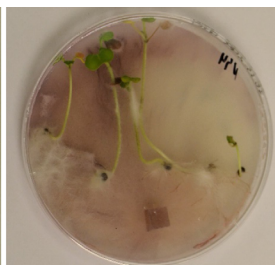


Рис. 6. Образец рапса Дарко через 7 дней совместного культивирования с изолятом №54

Характеристику фитотоксической активности изолятов определяли по влиянию ф.к.ж. на длину главного корешка и стебля в концентрации 50%. Устойчивость образцов определяли по всхожести и линейным параметрам проростков (рис. 3).

Таблица 1.

Результаты оценки токсикогенной активности видов *Fusarium* (50% ф.к.ж.) на растениях-тестерах

№ изолят и смеси изолятов	Средняя длина побега, см	Средняя длина корня, см	Отношение длины побега к контролю, %	Отношение длины корня к контролю, %	Степень токсичности**
Трансфер (<i>Brassica oleracea</i>)					
Вода	1.4±0,7	3.8±2.8	-	-	-
№10 капуста с листьев	-	-	0.0	0.0	Т
№12 свекла с корнеплода	-	-	0.0	0.0	Т
№13 капуста с корневой системы	0.6±0.1*	0.3±0.1*	42.3	6.5	Т
№16 огурец с корневой системы	-	-	0.0	0.0	Т
№19 томат с корневой системы	0.6±0.5*	0.5±0.4*	40.2	11.7	Т
№26 морковь с листьев	0.4±0.1*	0.2±0.1*	26.6	5.2	Т
№30 морковь с корнеплода	0.9±0.4	0.5±0.4*	62.1	12.4	УТ
№53 горох с корневой системы	0.9±0.0	0.3±0.1*	63.0	7.8	УТ
№54 горох с бобов	-	-	0.0	0.0	Т

НСП	0.6	2.2	-	-	-
Лексион (<i>Brassica napus</i>)					
Вода	1.7±0,8	5.7±3.5	-	-	-
№10 капуста с листьев	1.1±0.6	1.2±0.7*	65.8	20.0	УТ
№12 свекла с корнеплода	-	-	0,0	0,0	Т
№13 капуста с корневой системы	2.7±0.9*	2.8±1.2*	162.4	48.6	СТ
№16 огурец с корневой системы	0.7±0.5*	1.8±0.9*	42.1	30.7	УТ
№19 томат с корневой системы	2.8±1.5*	5.5±2.6	164.6	95.8	НТ
№26 морковь с листьев	1.9±1.0	3.1±2.3*	113.4	53.1	СТ
№30 морковь с корнеплода	2.4±1.0*	6.3±2.3	142.7	109.3	НТ
№53 горох с корневой системы	3.1±1.6*	4.0±2.4*	185.1	69.3	СТ
№54 горох с бобов	-	-	0.0	0.0	Т
НСП	0.7	1.6	-	-	-

Примечание: * - Статистически значимые различия по сравнению с контролем на уровне значимости $P=0.05$



Рис. 7. Внешний вид проростков капусты белокочанной Трансфер на 7 день при проращивании на фильтровальной бумаге смоченной водой (верхний ряд) и фильтрате культуральной жидкости изолята №30 (нижний ряд)

При исследовании влияния ф.к.ж. на прорастание восприимчивого к фузариозному увяданию образца капусты белокочанной Трансфер отсутствовало прорастание семян при культивировании на 50 % ф.к.ж. изоля-

тов №10, 12, 16, 54, что говорит о их высокой токсической активности. При проращивании семян на 50% ф.к.ж. изолятов № 13, 19, 26 наблюдали существенное уменьшения длины проростка и главного корешка, данные изоляты также характеризуются высокой токсической активностью. При проращивании семян на ф.к.ж. при использовании изолятов № 30 (рис.7) и 53 наблюдали существенное укорочение длины главного корешка по сравнению с контролем, при этом длина проростков снижалась на 37-38% поэтому данные изоляты отнесены к умеренно токсичным.



Рис. 8. Внешний вид проростков рапса Лексион на 7 день при проращивании на фильтровальной бумаге смоченной водой (верхний ряд) и фильтрате культуральной жидкости изолята №30



Рис. 9. Внешний вид проростков рапса Лексион на 7 день при проращивании на фильтровальной бумаге смоченной водой (верхний ряд) и фильтрате культуральной жидкости изолята №12

У образца озимого рапса Лексион зафиксировано существенное увеличение длины проростков при проращивании на 50% ф.к.ж. изолятов под номерами 13, 19, 30 (рис.8), 53. При проращивании на ф.к.ж. изолятов №10 и №26 длина проростка была на уровне контроля. Существенное снижение длины проростка наблюдали при культивировании на ф.к.ж. изолята №16. При проращивании семян на ф.к.ж. изолятов №12 (рис. 9) и №54 на 7 день наблюдали начало прорастания отдельных семян, данные изоляты являются высокотоксичными. При использовании изолятов №19 и №30, существенных различий в длине корешков по сравнению с контролем не выявлено, следовательно, данные изоляты не токсичны для образца озимого рапса Лексион. Проращивание на 50% ф.к.ж. изолятов под номерами 10, 13, 16, 26 и 53 приводило к существенному ингибированию и укорочению длины главного корешка. По результатам данных таблицы 6 изо-

ляты под №№ 10 и 16 были отнесены к умеренно токсичным, а № 13, 26 и 53 – к слаботоксичным.

Обсуждение

Okungbowa и Shittu [36] отмечают, что патогенные изоляты обладают высокой степенью специфичности к хозяину, что привело к развитию концепции «*formae specialis*». Однако сообщения разных исследователей по всему миру о поражении растений видами *Fusarium*, которые ранее не были зафиксированы, как патогены на данных культурах [22; 25; 38], может говорить о эволюции патогенов и приобретении способности поражать более широкий спектр культур. Что касается *F. oxysporum*, являющегося основным видом поражающего овощные культуры, то последние исследования указывают на то, что половина описанных в настоящее время *formae specialis* патогенна только для одного растения хозяина, в то время как другая половина включает штаммы, специфичность взаимодействия которых гораздо шире и иногда приводит к перекрестной патогенности [29]. Afordoanyi показал расширение специфичности к растению хозяину у *Fusarium oxysporum f. sp. radidis-cucumerinum* и приобретение им способности поражать томат [21].

В нашем исследовании проверка патогенности изолятов *in vitro* на капусте белокочанной и рапсе показала генотип-специфичную реакцию на разные изоляты. Высокую интенсивность развития болезни всех изученных генотипов капусты белокочанной и озимого рапса отмечали при совместном культивировании с изолятами №26 и 53, выделенными с моркови столовой и овощного гороха соответственно, что свидетельствует о приобретении ими способности поражать капусту белокочанную и рапс. Остальные изученные изоляты вызывали гибель проростков у отдельных генотипов рапса и капусты белокочанной, что так же говорит в поддержку гипотезы о приобретении изолятами фузариума большей вирулентности для разных культур. В дальнейшем планируется на специально отведенном участке создание искусственного инфекционного фона для тестирования изучаемых образцов в полевых условиях.

Токсикогенные свойства изолятов в нашем исследовании изучены на восприимчивой к фузариозному увяданию капусте белокочанной Трансфер и озимом рапсе Лексион. При проращивании на ф.к.ж. семян восприимчивой капусты белокочанной изоляты под номерами 30 и 53 проявили умеренную токсичность, остальные были высокотоксичными. При изучении на озимом рапсе изоляты под номерами 19, 26 – были нетоксичными,

номера 13, 30, 53 – слаботоксичными, изоляты №10 и №16 – умеренно токсичными, а под номерами 12 и 54 – высокотоксичными.

Соколова и Егорова показали, что проращивание семян на фильтрате культуральной жидкости (ф.к.ж.) *Alternaria* и *Fusarium* может являться экспресс оценкой устойчивости к грибным болезням и успешно применяться в селекции для быстрого скрининга коллекции селекционного материала моркови [15]. В нашем исследовании токсичность изолятов не всегда связана с их высокой патогенностью при оценке *in vitro*. Так №30, был патогенным как для капусты белокочанной Трансфер (средневзвешенный балл поражения 3.0), так и для рапса Лексион (средневзвешенный балл поражения 2.5) при этом его ф.к.ж. имел умеренную токсичность для капусты белокочанной и слабую токсичность для семян рапса. Высокой патогенностью и токсичностью на капусте белокочанной выделялся изолят №12, выделенный с корнеплода свеклы во время хранения и представленный видом *F. oxysporum*. Изолят №54, проявляющий высокую фитотоксичность на капусте белокочанной и рапсе, при инокуляции *in vitro* вызывал гибель всех проростков капусты белокочанной Трансфер, и гибель единичных проростков рапса Лексион.

Заключение

В результате проведенных исследований чистой культуры агрессивных изолятов фузариозного увядания выделенных с овощных культур при совместном культивировании в условиях *in vitro* с проростками капусты белокочанной и рапса установлено, что изучаемые изоляты были патогенны и вызывали гибель проростков хотя бы у одного генотипа капустных культур. Изоляты №26 и 53, выделенные с моркови столовой и овощного гороха, отличались высокой агрессивностью и патогенностью для капусты белокочанной и рапса вызывая гибель проростков всех изученных генотипов, в том числе устойчивых к фузариозному увяданию образцов Вал1 и Дом3, что свидетельствует о мутации изолятов и повышении их патогенности и агрессивности для других видов растений. Кроме того, появление новых агрессивных изолятов, которые способны поражать разные культуры будет снижать эффективность севооборота.

Фитотоксичность изученных изолятов, выделенных с овощных культур была выше для капусты белокочанной, чем для рапса. Для капусты белокочанной только изоляты №30 и 53 показывали умеренную токсичность, остальные были высокотоксичными. Для озимого рапса Лексион высокую фитотоксичность имели № 12 и № 54, умеренной токсичностью

характеризовались № 10 и 16, остальные изоляты были не токсичными или слаботоксичными.

Не выявлено строгой взаимосвязи между высокой патогенностью при совместном культивировании патогена и проростков и токсичностью фильтрата культуральной жидкости при проращивании семян, что может вносить ошибку в интерпретацию результатов лабораторных оценок селекционного материала при использовании только одного способа.

Информация о спонсорстве. Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (грант № 23-76-01085).

Список литературы

1. Акосах, Й. А., & Марданова, А. М. (2020). Характеристика микромицетов рода *Fusarium* – возбудителей увядания и сухой гнили картофеля. *Симбиоз-Россия*, 24–28. EDN: <https://elibrary.ru/QXMAFY>
2. Байдина, А. В., Монахос, Г. Ф., & Монахос, С. Г. (2017). Настя — новый гибрид капусты. *Картофель и овощи*, (11), 32–33. URL: http://potatoveg.ru/wp-content/uploads/2018/11/11_2017.pdf#page=34. EDN: <https://elibrary.ru/ZRQLGJ>
3. Батманова, Н. А., Багирова, Н. С., Григорьевская, З. В., Валиев, Т. Т., Белышева, Т. С., Киргизов, К. И., & Варфоломеева, С. Р. (2022). Успешная диагностика и лечение фузариоза у больной острым лейкозом. *Гематология и трансфузиология*, 67(1), 139–149. <https://doi.org/10.35754/0234-5730-2022-67-1-139-149>. EDN: <https://elibrary.ru/WONEPO>
4. Джалилов, Ф. С., & Ха, В. Т. (2014). Защита капусты от болезней в период вегетации. *Картофель и овощи*, (1), 20–23. URL: http://potatoveg.ru/wp-content/uploads/2015/01/kio_1_2014_sait.pdf#page=19. EDN: <https://elibrary.ru/RTGZCZ>
5. Коломиец, Т. М., Киселёва, М. И., Жемчужина, Н. С., Панкратова, Л. Ф., & Елизарова, С. А. (2022). Особенности видового состава патогенных грибов рода *Fusarium* в биоценозах кукурузы Воронежской области. *Вавиловский журнал генетики и селекции*, 26(6), 583–592. <https://doi.org/10.18699/VJGB-22-71>. EDN: <https://elibrary.ru/ETGXHZ>
6. Маслова, А. А., Ушаков, А. А., & Бондарева, Л. Л. (2014). Исходный материал для селекции капусты белокочанной с устойчивостью к болезням. *Селекция и семеноводство овощных культур*, (45), 399–405. EDN: <https://elibrary.ru/UKEQFJ>
7. Монахос, С. Г., Воронина, А. В., Байдина, А. В., & Зубко, О. Н. (2019). Селекция растений на устойчивость — основа защиты от болезней в органи-

- ческом земледелии. *Картофель и овощи*, (6), 38–40. <https://doi.org/10.25630/PAV.2019.92.83.009>. EDN: <https://elibrary.ru/YLREOA>
8. Мухаммадиев, Р. С., Бирюля, В., Мухаммадиев, Р., Тимербулатова, Л., & Скворцов, Е. (2022). Проблемы медицинской микологии. *Проблемы медицинской микологии*, 24(3), 43–47. <https://doi.org/10.24412/1999-6780-2022-3-43-47>. EDN: <https://elibrary.ru/НСКДИJ>
 9. Пивень, В. Т., Шуляк, И. И., Мурадасилова, Н. В., Алифирова, Т. П., Семеренко, С. А., & Бушнева, Н. А. (2012). Наиболее патогенные микозы и фитофаги на посевах озимого рапса в Краснодарском крае. *Масличные культуры*, (1(150)), 128–131. EDN: <https://elibrary.ru/PBMQVJ>
 10. Саттон, Д., Фотергилл, А., & Ринальди, М. (2001). *Определитель патогенных и условно патогенных грибов* (пер. с англ.). Москва: Мир. 486 с.
 11. Сибирная, Л. Н., & Постолов, В. Д. (2023). Поражённость образцов ярового рапса фузариозным увяданием на естественном и искусственном инфекционных фонах в условиях ЦЧР. *Вестник Воронежского государственного аграрного университета*, 16(4), 79. https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2023_4_50. EDN: <https://elibrary.ru/ANOXQK>
 12. Соколова, Л. М. (2019а). Анализ видового разнообразия грибов из рода *Fusarium*. *Аграрная наука*, (1), 118–122. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2019-326-1-118-122>. EDN: <https://elibrary.ru/AQRASN>
 13. Соколова, Л. М. (2019b). Проявление фузариоза на овощных культурах. *Агропромышленные технологии Центральной России*, (2(12)), 42–47. <https://doi.org/10.24888/2541-7835-2019-12-42-47>. EDN: <https://elibrary.ru/LZMNHU>
 14. Соколова, Л. М. (2022). Система комплексного применения селекционно-иммунологических методов для создания сортов и гибридов моркови столовой с групповой устойчивостью к *Alternaria sp.* и *Fusarium sp.* ВНИИО – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства». 64 с. EDN: <https://elibrary.ru/JVDKVS>
 15. Соколова, Л. М., & Егорова, А. А. (2019). Экспресс-оценка устойчивости моркови столовой к грибным болезням pp. *Alternaria* и *Fusarium* на фильтрат культуральной жидкости. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*, (3(173)), 36–42. EDN: <https://elibrary.ru/JKSBRP>
 16. Соколова, Л. М., Михайлов, В. В., Белошапкина, О. О., & Егорова, А. А. (2020). О методике создания инфекционного фона фузариоза гороха овощного. *Аграрная наука*, (7–8), 92–98. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2020-340-7-92-98>. EDN: <https://elibrary.ru/ZXFBDP>
 17. Соколова, Л. М., & Тимакова, Л. Н. (2023а). Комплекс патогенов на семенах свёклы столовой и методы снятия их вредоносности. *Известия Орен-*

- бургского государственного аграрного университета, (4(102)), 91–96. <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2023-102-4-91-96>. EDN: <https://elibrary.ru/TTZOSK>
18. Соколова, Л. М., & Тимакова, Л. Н. (2022b). Патокомплекс микромицетов на семенах свёклы столовой in vitro. *Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада*, (143), 132–138. <https://doi.org/10.36305/0513-1634-2022-143-132-138>. EDN: <https://elibrary.ru/SURIEW>
 19. Соколова, Л. М., Янченко, А. В., Федосов, А. Ю., Азопков, М. И., & Голубович, В. С. (2021). Термическое обеззараживание семян моркови и свёклы. *Картофель и овощи*, (8), 24–27. <https://doi.org/10.25630/PAV.2021.69.23.004>. EDN: <https://elibrary.ru/SVLJOC>
 20. Чистякова, Л. А., Соколова, Л. М., Бакланова, О. В., & Егорова, А. А. (2020). Оценка штаммов гриба рода *Fusarium* на поражение растений огурца. *Картофель и овощи*, (1), 49. <https://doi.org/10.25630/PAV.2020.76.39.005>. EDN: <https://elibrary.ru/HMGKHC>
 21. Afordoanyi, D. M., Diabankana, R. G. C., Akosah, Y. A., & Validov, S. Z. (2022). Are formae speciales pathogens really host specific? A broadened host specificity in *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-cucumerinum*. *Brazilian Journal of Microbiology*, 53(4), 1745–1759. <https://doi.org/10.1007/s42770-022-00793-3>. EDN: <https://elibrary.ru/JKTUNG>
 22. Afroz, T., Jee, S., Choi, H. W., Kim, J. H., Assefa, A. D., Aktaruzzaman, M., & Lee, H. S. (2021). First report of Fusarium wilt caused by *Fusarium equiseti* on cabbage (*Brassica oleracea* var. *capitata*) in Korea. *Plant Disease*, 105(4), 1198. <https://doi.org/10.1094/PDIS-06-20-1278-PDN>. EDN: <https://elibrary.ru/MWDNER>
 23. Ahmed, S., de Labrouhe, D. T., & Delmotte, F. (2012). Emerging virulence arising from hybridisation facilitated by multiple introductions of the sunflower downy mildew pathogen *Plasmopara halstedii*. *Fungal Genetics and Biology*, 49, 847–855. <https://doi.org/10.1016/j.fgb.2012.06.012>
 24. Bayoumy, S., Afify, A., El-Sayed, A., & Elshal, S. (2017). Antagonistic effect of *Bacillus* spp. against sugar beet pathogens: Fusarium wilt. *Journal of Agricultural Chemistry and Biotechnology*, 8(6), 177–181.
 25. Beltran, M., Delgado, J. C., Valdivia, A. G., Hernandez, A., & Garcia, A. M. (2023). First report of *Fusarium equiseti* causing root and crown rot in tomato in Mexico. *Plant Disease*, 107(8), 2542. <https://doi.org/10.1094/PDIS-10-22-2494-PDN>. EDN: <https://elibrary.ru/YVLGNO>
 26. Biju, C. N., Ishwara, B. A., Praveena, R., Senthil, K. C. M., & Suseela, B. R. (2019). Pests and diseases of black pepper. In *International Pepper Community* (pp. 11–13). Jakarta, Indonesia.

27. Corredor-Moreno, P., & Saunders, D. G. (2020). Expecting the unexpected: Factors influencing the emergence of fungal and oomycete plant pathogens. *New Phytologist*, 225(1), 118–125. <https://doi.org/10.1111/nph.16007>
28. Delgado-Baquerizo, M., Guerra, C. A., Cano-Díaz, C., Egidi, E., Wang, J. T., Eisenhauer, N., & Maestre, F. T. (2020). The proportion of soil-borne pathogens increases with warming at the global scale. *Nature Climate Change*, 10(6), 550–554. <https://doi.org/10.1038/s41558-020-0759-3>. EDN: <https://elibrary.ru/OUOIJ0>
29. Edel-Hermann, V., & Lecomte, C. (2019). Current status of *Fusarium oxysporum* formae speciales and races. *Phytopathology*, 109(4), 512–530. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-08-18-0320-RVW>
30. Fones, H. N., Bebbler, D. P., Chaloner, T. M., Kay, W. T., Steinberg, G., & Gurr, S. J. (2020). Threats to global food security from emerging fungal and oomycete crop pathogens. *Nature Food*, 1(6), 332–342. <https://doi.org/10.1038/s43016-020-0075-0>. EDN: <https://elibrary.ru/KJJOQY>
31. Khafagi, E. Y., El-Syed, A., & Elwan, S. E. (2020). Controlling cabbage fusarium wilt (yellows) using Topsin M and some commercial bio-fertilizer products. *Zagazig Journal of Agricultural Research*, 47(2), 519–530. <https://doi.org/10.21608/zjar.2020.94492>. EDN: <https://elibrary.ru/SUERNG>
32. Krupinsky, J. M., Bailey, K. L., McMullen, M. P., Gossen, B. D., & Turkington, T. K. (2002). Managing plant disease risk in diversified cropping systems. *Agronomy Journal*, 94, 198–209. <https://doi.org/10.2134/agronj2002.1980>
33. Lal, D., Dev, D., Kumari, S., Pandey, S., Aparna, Sharma, N., & Singh, A. (2024). Fusarium wilt pandemic: Current understanding and molecular perspectives. *Functional & Integrative Genomics*, 24(2), 41. <https://doi.org/10.1007/s10142-024-01319-w>. EDN: <https://elibrary.ru/XMLHTZ>
34. Leunov, V. I., Sokolova, L. M., Beloshapkina, O. O., & Khovrin, A. N. (2021). Resistance of carrots to *Alternaria* sp., *Fusarium* sp. and factors influencing it. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 624(1), 012010. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/624/1/012010>. EDN: <https://elibrary.ru/VASSKO>
35. Nazarov, P. A., Baleev, D. N., Ivanova, M. I., Sokolova, L. M., & Karakozova, M. V. (2020). Infectious plant diseases: Etiology, current status, problems and prospects in plant protection. *Acta Naturae*, 12(3), 46. <https://doi.org/10.32607/actanaturae.11026>. EDN: <https://elibrary.ru/VVRPWC>
36. Okungbowa, F. I., & Shittu, H. O. (2012). Fusarium wilts: An overview. *Environmental Research Journal*, 6(2), 83–102.
37. Serdyuk, O. A., Trubina, V. S., & Gorlova, L. A. (2021). The breeding of spring rapeseed and brown mustard for resistance to *Fusarium* blight. *IOP Confer-*

- ence Series: *Earth and Environmental Science*, 845(1), 012027. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/845/1/012027>. EDN: <https://elibrary.ru/JYTPSX>
38. Shukla, A., Sharma, D., Sharma, M., Tarafdar, A., & Gupta, M. (2022). First report of *Fusarium equiseti* causing crown and root rot of cucumber in India. *Journal of Plant Pathology*, 104(2), 875. <https://doi.org/10.1007/s42161-022-01075-5>. EDN: <https://elibrary.ru/COKSBT>
39. Song, W., Zhou, L., Yang, C., Cao, X., Zhang, L., & Liu, X. (2004). Tomato Fusarium wilt and its chemical control strategies in a hydroponic system. *Crop Protection*, 23(3), 243–247. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2003.08.007>
40. Srinivas, C., Devi, D. N., Murthy, K. N., Mohan, C. D., Lakshmeesha, T. R., Singh, B., & Srivastava, R. K. (2019). *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*: Causal agent of vascular wilt disease of tomato — biology to diversity: A review. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 26(7), 1315–1324. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2019.06.002>
41. Starzycki, M., Starzycka, E., Pszczola, J., & Solecka, D. (2007). Evaluation of chosen winter rapeseed genotypes resistance to *Fusarium* spp. using in vitro methods. In *The 12th International Rapeseed Congress* (pp. 165–166). Wuhan: Science Press USA Inc.
42. Sun, Y., Wang, M., Li, Y., Gu, Z., Ling, N., Shen, Q., & Guo, S. (2017). Wilted cucumber plants infected by *Fusarium oxysporum* f. sp. *cucumerinum* do not suffer from water shortage. *Annals of Botany*, 120(3), 427–436. <https://doi.org/10.1093/aob/mcx065>
43. Yu, F., Zhang, W., Wang, S., Wang, H., Yu, L., Zeng, X., & Li, J. (2021). Genome sequence of *Fusarium oxysporum* f. sp. *conglutinans*, the etiological agent of cabbage Fusarium wilt. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 34(2), 210–213. <https://doi.org/10.1094/MPMI-08-20-0245-A>. EDN: <https://elibrary.ru/ANCMER>
44. Zehra, A., Aamir, M., Dubey, M. K., Ansari, W. A., Meena, M., Swapnil, P., & Lee, J. (2023). Enhanced protection of tomato against Fusarium wilt through biopriming with *Trichoderma harzianum*. *Journal of King Saud University — Science*, 35(2), Article 102466. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2022.102466>. EDN: <https://elibrary.ru/UQQPBI>

References

1. Akosah, J. A., & Mardanov, A. M. (2020). Characteristics of micromycetes of the genus *Fusarium* — causative agents of potato wilt and dry rot. *Symbiosis Russia*, 24–28. EDN: <https://elibrary.ru/QXMAFY>
2. Baidina, A. V., Monakhos, G. F., & Monakhos, S. G. (2017). Nastya — a new cabbage hybrid. *Potato and Vegetables*, (11), 32–33. URL: <http://potatoveg.ru/>

- wp-content/uploads/2018/11/11_2017.pdf#page=34. EDN: <https://elibrary.ru/ZRQLGJ>
3. Batmanova, N. A., Bagirova, N. S., Grigorievskaya, Z. V., Valiev, T. T., Belysheva, T. S., Kirgizov, K. I., & Varfolomeeva, S. R. (2022). Successful diagnosis and treatment of fusariosis in a patient with acute leukemia. *Hematology and Transfusiology*, 67(1), 139–149. <https://doi.org/10.35754/0234-5730-2022-67-1-139-149>. EDN: <https://elibrary.ru/WONEPO>
 4. Dzhaliyov, F. S., & Ha, V. T. (2014). Protection of cabbage from diseases during the growing season. *Potato and Vegetables*, (1), 20–23. URL: http://potatoveg.ru/wp-content/uploads/2015/01/kio_1_2014_sait.pdf#page=19. EDN: <https://elibrary.ru/RTGZCZ>
 5. Kolomiets, T. M., Kiselyova, M. I., Zhemchuzhina, N. S., Pankratova, L. F., & Elizarova, S. A. (2022). Features of the species composition of pathogenic fungi of the genus *Fusarium* in maize biocenoses of the Voronezh region. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*, 26(6), 583–592. <https://doi.org/10.18699/VJGB-22-71>. EDN: <https://elibrary.ru/ETGXHZ>
 6. Maslova, A. A., Ushakov, A. A., & Bondareva, L. L. (2014). Starting material for breeding white cabbage with disease resistance. *Breeding and Seed Production of Vegetable Crops*, (45), 399–405. EDN: <https://elibrary.ru/UKEQFJ>
 7. Monakhos, S. G., Voronina, A. V., Baidina, A. V., & Zubko, O. N. (2019). Plant breeding for resistance — the basis of disease protection in organic farming. *Potato and Vegetables*, (6), 38–40. <https://doi.org/10.25630/PAV.2019.92.83.009>. EDN: <https://elibrary.ru/YLREOA>
 8. Mukhammadiyev, R. S., Biryulya, V., Mukhammadiyev, R., Timerbulatova, L., & Skvortsov, E. (2022). Problems of medical mycology. *Problems of Medical Mycology*, 24(3), 43–47. <https://doi.org/10.24412/1999-6780-2022-3-43-47>. EDN: <https://elibrary.ru/HCKDIJ>
 9. Piven, V. T., Shulyak, I. I., Muradasilova, N. V., Alifirova, T. P., Semerenko, S. A., & Bushneva, N. A. (2012). The most pathogenic mycoses and phytophages on winter rapeseed crops in the Krasnodar region. *Oil Crops*, (1(150)), 128–131. EDN: <https://elibrary.ru/PBMQVJ>
 10. Sutton, D., Fothergill, A., & Rinaldi, M. (2001). *A guide to pathogenic and opportunistic fungi* (Transl. from English). Moscow: Mir. 486 p.
 11. Sibimaya, L. N., & Postolov, V. D. (2023). Infection rate of spring rapeseed samples with *Fusarium* wilt on natural and artificial infectious backgrounds in the conditions of the Central Chernozem Region. *Bulletin of Voronezh State Agrarian University*, 16(4), 79. https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2023_4_50. EDN: <https://elibrary.ru/ANOXQK>

12. Sokolova, L. M. (2019a). Analysis of species diversity of fungi from the genus *Fusarium*. *Agrarian Science*, (1), 118–122. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2019-326-1-118-122>. EDN: <https://elibrary.ru/AQRASN>
13. Sokolova, L. M. (2019b). Manifestation of *Fusarium* disease on vegetable crops. *Agro-Industrial Technologies of Central Russia*, (2(12)), 42–47. <https://doi.org/10.24888/2541-7835-2019-12-42-47>. EDN: <https://elibrary.ru/LZMNHU>
14. Sokolova, L. M. (2022). *System of integrated application of breeding and immunological methods for creating varieties and hybrids of table carrots with group resistance to Alternaria sp. and Fusarium sp.* All-Russian Research Institute of Vegetable Growing — Branch of the Federal Scientific Center for Vegetable Growing. 64 p. EDN: <https://elibrary.ru/JVDKVS>
15. Sokolova, L. M., & Egorova, A. A. (2019). Rapid assessment of table carrot resistance to fungal diseases of the genera *Alternaria* and *Fusarium* using culture filtrate. *Bulletin of Altai State Agrarian University*, (3(173)), 36–42. EDN: <https://elibrary.ru/JKSBRP>
16. Sokolova, L. M., Mikhailov, V. V., Beloshapkina, O. O., & Egorova, A. A. (2020). On the methodology of creating an infectious background of *Fusarium* disease in vegetable peas. *Agrarian Science*, (7–8), 92–98. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2020-340-7-92-98>. EDN: <https://elibrary.ru/ZXFBDP>
17. Sokolova, L. M., & Timakova, L. N. (2023a). Pathogen complex on table beet seeds and methods to reduce their harmfulness. *Proceedings of Orenburg State Agrarian University*, (4(102)), 91–96. <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2023-102-4-91-96>. EDN: <https://elibrary.ru/TTZOSK>
18. Sokolova, L. M., & Timakova, L. N. (2022b). Pathocomplex of micromycetes on table beet seeds *in vitro*. *Bulletin of the State Nikitsky Botanical Garden*, (143), 132–138. <https://doi.org/10.36305/0513-1634-2022-143-132-138>. EDN: <https://elibrary.ru/SURIEW>
19. Sokolova, L. M., Yanchenko, A. V., Fedosov, A. Yu., Azopkov, M. I., & Golubovich, V. S. (2021). Thermal disinfection of carrot and beet seeds. *Potato and Vegetables*, (8), 24–27. <https://doi.org/10.25630/PAV.2021.69.23.004>. EDN: <https://elibrary.ru/SVLJOC>
20. Chistyakova, L. A., Sokolova, L. M., Baklanova, O. V., & Egorova, A. A. (2020). Evaluation of *Fusarium* fungal strains for infection of cucumber plants. *Potato and Vegetables*, (1), 49. <https://doi.org/10.25630/PAV.2020.76.39.005>. EDN: <https://elibrary.ru/HMGKHC>
21. Afordoanyi, D. M., Diabankana, R. G. C., Akosah, Y. A., & Validov, S. Z. (2022). Are formae speciales pathogens really host specific? A broadened host specificity in *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-cucumerinum*. *Brazilian Jour-*

- nal of Microbiology*, 53(4), 1745–1759. <https://doi.org/10.1007/s42770-022-00793-3>. EDN: <https://elibrary.ru/JKTUNG>
22. Afroz, T., Jee, S., Choi, H. W., Kim, J. H., Assefa, A. D., Aktaruzzaman, M., & Lee, H. S. (2021). First report of Fusarium wilt caused by *Fusarium equiseti* on cabbage (*Brassica oleracea* var. *capitata*) in Korea. *Plant Disease*, 105(4), 1198. <https://doi.org/10.1094/PDIS-06-20-1278-PDN>. EDN: <https://elibrary.ru/MWDNER>
 23. Ahmed, S., de Labrouhe, D. T., & Delmotte, F. (2012). Emerging virulence arising from hybridisation facilitated by multiple introductions of the sunflower downy mildew pathogen *Plasmopara halstedii*. *Fungal Genetics and Biology*, 49, 847–855. <https://doi.org/10.1016/j.fgb.2012.06.012>
 24. Bayoumy, S., Afify, A., El-Sayed, A., & Elshal, S. (2017). Antagonistic effect of *Bacillus* spp. against sugar beet pathogens: Fusarium wilt. *Journal of Agricultural Chemistry and Biotechnology*, 8(6), 177–181.
 25. Beltran, M., Delgado, J. C., Valdivia, A. G., Hernandez, A., & Garcia, A. M. (2023). First report of *Fusarium equiseti* causing root and crown rot in tomato in Mexico. *Plant Disease*, 107(8), 2542. <https://doi.org/10.1094/PDIS-10-22-2494-PDN>. EDN: <https://elibrary.ru/YVLGNO>
 26. Biju, C. N., Ishwara, B. A., Praveena, R., Senthil, K. C. M., & Suseela, B. R. (2019). Pests and diseases of black pepper. In *International Pepper Community* (pp. 11–13). Jakarta, Indonesia.
 27. Corredor-Moreno, P., & Saunders, D. G. (2020). Expecting the unexpected: Factors influencing the emergence of fungal and oomycete plant pathogens. *New Phytologist*, 225(1), 118–125. <https://doi.org/10.1111/nph.16007>
 28. Delgado-Baquerizo, M., Guerra, C. A., Cano-Diaz, C., Egidi, E., Wang, J. T., Eisenhauer, N., & Maestre, F. T. (2020). The proportion of soil-borne pathogens increases with warming at the global scale. *Nature Climate Change*, 10(6), 550–554. <https://doi.org/10.1038/s41558-020-0759-3>. EDN: <https://elibrary.ru/OUOIJ0>
 29. Edel-Hermann, V., & Lecomte, C. (2019). Current status of *Fusarium oxysporum* formae speciales and races. *Phytopathology*, 109(4), 512–530. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-08-18-0320-RVW>
 30. Fones, H. N., Beber, D. P., Chaloner, T. M., Kay, W. T., Steinberg, G., & Gurr, S. J. (2020). Threats to global food security from emerging fungal and oomycete crop pathogens. *Nature Food*, 1(6), 332–342. <https://doi.org/10.1038/s43016-020-0075-0>. EDN: <https://elibrary.ru/KJJOQY>
 31. Khafagi, E. Y., El-Syed, A., & Elwan, S. E. (2020). Controlling cabbage fusarium wilt (yellows) using Topsin M and some commercial bio-fertilizer products. *Zagazig Journal of Agricultural Research*, 47(2), 519–530. <https://doi.org/10.21608/zjar.2020.94492>. EDN: <https://elibrary.ru/SUERNG>

32. Krupinsky, J. M., Bailey, K. L., McMullen, M. P., Gossen, B. D., & Turkington, T. K. (2002). Managing plant disease risk in diversified cropping systems. *Agronomy Journal*, 94, 198–209. <https://doi.org/10.2134/agronj2002.1980>
33. Lal, D., Dev, D., Kumari, S., Pandey, S., Aparna, Sharma, N., & Singh, A. (2024). Fusarium wilt pandemic: Current understanding and molecular perspectives. *Functional & Integrative Genomics*, 24(2), 41. <https://doi.org/10.1007/s10142-024-01319-w>. EDN: <https://elibrary.ru/XMLHTZ>
34. Leunov, V. I., Sokolova, L. M., Beloshapkina, O. O., & Khovrin, A. N. (2021). Resistance of carrots to *Alternaria* sp., *Fusarium* sp. and factors influencing it. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 624(1), 012010. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/624/1/012010>. EDN: <https://elibrary.ru/VASSKO>
35. Nazarov, P. A., Baleev, D. N., Ivanova, M. I., Sokolova, L. M., & Karakozova, M. V. (2020). Infectious plant diseases: Etiology, current status, problems and prospects in plant protection. *Acta Naturae*, 12(3), 46. <https://doi.org/10.32607/actanaturae.11026>. EDN: <https://elibrary.ru/VVRPWC>
36. Okungbowa, F. I., & Shittu, H. O. (2012). Fusarium wilts: An overview. *Environmental Research Journal*, 6(2), 83–102.
37. Serdyuk, O. A., Trubina, V. S., & Gorlova, L. A. (2021). The breeding of spring rapeseed and brown mustard for resistance to *Fusarium* blight. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 845(1), 012027. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/845/1/012027>. EDN: <https://elibrary.ru/JYTPSX>
38. Shukla, A., Sharma, D., Sharma, M., Tarafdar, A., & Gupta, M. (2022). First report of *Fusarium equiseti* causing crown and root rot of cucumber in India. *Journal of Plant Pathology*, 104(2), 875. <https://doi.org/10.1007/s42161-022-01075-5>. EDN: <https://elibrary.ru/COKSBT>
39. Song, W., Zhou, L., Yang, C., Cao, X., Zhang, L., & Liu, X. (2004). Tomato Fusarium wilt and its chemical control strategies in a hydroponic system. *Crop Protection*, 23(3), 243–247. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2003.08.007>
40. Srinivas, C., Devi, D. N., Murthy, K. N., Mohan, C. D., Lakshmeesha, T. R., Singh, B., & Srivastava, R. K. (2019). *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*: Causal agent of vascular wilt disease of tomato — biology to diversity: A review. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 26(7), 1315–1324. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2019.06.002>
41. Starzycki, M., Starzycka, E., Pszczola, J., & Solecka, D. (2007). Evaluation of chosen winter rapeseed genotypes resistance to *Fusarium* spp. using in vitro methods. In *The 12th International Rapeseed Congress* (pp. 165–166). Wuhan: Science Press USA Inc.

42. Sun, Y., Wang, M., Li, Y., Gu, Z., Ling, N., Shen, Q., & Guo, S. (2017). Wilt-ed cucumber plants infected by *Fusarium oxysporum* f. sp. *cucumerinum* do not suffer from water shortage. *Annals of Botany*, 120(3), 427–436. <https://doi.org/10.1093/aob/mcx065>
43. Yu, F., Zhang, W., Wang, S., Wang, H., Yu, L., Zeng, X., & Li, J. (2021). Genome sequence of *Fusarium oxysporum* f. sp. *conglutinans*, the etiological agent of cabbage Fusarium wilt. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 34(2), 210–213. <https://doi.org/10.1094/MPMI-08-20-0245-A>. EDN: <https://elibrary.ru/ANCMER>
44. Zehra, A., Aamir, M., Dubey, M. K., Ansari, W. A., Meena, M., Swapnil, P., & Lee, J. (2023). Enhanced protection of tomato against Fusarium wilt through biopriming with *Trichoderma harzianum*. *Journal of King Saud University – Science*, 35(2), Article 102466. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2022.102466>. EDN: <https://elibrary.ru/UQQPBI>

ДААННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Вишнякова Анастасия Васильевна, канд. 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
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А.Тимирязева»
ул. Тимирязевская, 49, г. Москва, 127434, Российская Федерация
ser-mixail-nikitin@yandex.ru

Александрова Анастасия Алексеевна, младший научный сотрудник научно-образовательной лаборатории «Перспективных технологий»
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.alexandrova@rgau-msha.ru

Соколова Любовь Михайловна, д-р сельхоз. наук, ведущий научный сотрудник сектора селекции и семеноводства корнеплодных культур *Всероссийский научно-исследовательский институт овощеводства – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр овощеводства»* д. Веря, Московская область, 140153, Российская Федерация
lsokolova74@mail.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

Mikhail A. Nikitin, Research Engineer at the Selection and Seed Center for Vegetable Crops
Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy 49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127550, Russian Federation
ser-mixail-nikitin@yandex.ru

Anastasiya A. Aleksandrova, Postgraduate Student, Department of Botany, Plant Breeding and Seed Technology
Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy 49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127550, Russian Federation
a.alexandrova@rgau-msha.ru

Lyubov M. Sokolova, Doctor of Agricultural Sciences, Leading Researcher of the Breeding and Seed Center
All-Russian Scientific Research Institute of Vegetable Growing, branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution “Federal Scientific Center of Vegetable Growing”
Vereya village, Moscow region, 140153, Russian Federation
lsokolova74@mail.ru

Поступила 10.12.2024

После рецензирования 24.02.2025

Принята 01.03.2025

Received 10.12.2024

Revised 24.02.2025

Accepted 01.03.2025