
ЗЕМЛЕДЕЛИЕ, РАСТЕНИЕВОДСТВО, ЗАЩИТА РАСТЕНИЙ

Агрессивные изоляты *Fusarium spp.* на овощных культурах Московской области: видовой состав и фитотоксичность

Анастасия Васильевна Вишнякова[✉], Михаил Алексеевич Никитин¹, Анастасия Алексеевна Александрова¹, Любовь Михайловна Соколова²

¹Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия;

²Всероссийский научно-исследовательский институт овощеводства – филиал Федерального научного центра овощеводства, Московская область, Россия

[✉]Автор, ответственный за переписку: a.vishnyakova@rgau-msha.ru

Аннотация

В связи с потеплением климата заболевания, вызванные возбудителями *Fusarium spp.*, становятся более вредоносными для овощных культур. Наиболее эффективным способом борьбы с данными заболеваниями считается создание устойчивых сортов и гибридов. Одним из путей, обеспечивающих целенаправленное ведение селекции на устойчивость, является выделение местных изолятов и штаммов возбудителей заболеваний. Ранее на овощных культурах в Московской области были выделены более 120 изолятов *Fusarium*, у которых были изучены патогенность и агрессивность. Среди них выбрано 9, наиболее агрессивных, собранных с пораженных растений моркови, свеклы, гороха, капусты, огурца, томата. Цель работы – определить видовую принадлежность и дать характеристику токсикогенных свойств агрессивных изолятов фузариоза овощных культур. Определение видов *Fusarium* производили по морфологическим признакам и посредством молекулярно-генетического анализа. Токсикогенные свойства изучали при проращивании семян редьки Тамбовчанка на фильтрах культуральной жидкости изучаемых изолятов. В результате исследований показано, что все изученные изоляты представлены видом *Fusarium oxysporum*, дополнительно в трех изолятах обнаружен *Fusarium equiseti*, а еще в четырех – *Fusarium equiseti* и *Fusarium poae*. Таким образом, агрессивные изоляты фузариоза представлены преимущественно смесью видов *Fusarium*. Показано, что агрессивные изоляты фузариума значительно различаются по фитотоксической активности. Высокой фитотоксичностью обладали как изоляты, представленные одним видом (№ 12, № 54), так и изоляты, представленные двумя видами (№ 10, № 16). Слабой фитотоксичностью характеризовался изолят № 13, представленный смесью видов *Fusarium oxysporum* и *Fusarium equiseti*. Все изоляты (№ 19, № 26, № 30, № 53), представленные тремя видами *Fusarium*, проявляли умеренную токсичность.

Ключевые слова

Фузариоз, фузариозное увядание, *Fusarium oxysporum*, *Fusarium equiseti*, *Fusarium poae*, фитотоксичность, молекулярные маркеры

Благодарности

Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда (грант № 23–76–01085, <https://rscf.ru/project/23-76-01085/>)

Для цитирования:

Вишнякова А.В., Никитин М.А., Александрова А.А., Соколова Л.М. Агрессивные изоляты *Fusarium spp.* на овощных культурах Московской области: видовой состав и фитотоксичность // *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2025. № 1. С. 108–123.

Aggressive *Fusarium* spp. isolates on vegetables in the Moscow Region: species composition and phytotoxicity

Anastasia V. Vishnyakova¹✉, Mikhail A. Nikitin¹,
Anastasia A. Aleksandrova¹, Lyubov M. Sokolova²

¹Russian State Agrarian University –

Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia;

²All-Russian Research Institute of Vegetable Crop Production –

Branch of Federal Scientific Center of Vegetable Crop Production, Moscow Region, Russia

✉Corresponding author: a.vishnyakova@rgau-msha.ru

Abstract

As a result of global warming, diseases caused by *Fusarium* spp. pathogens are becoming increasingly harmful to vegetable crops. An effective way to control these diseases is to breed resistant varieties and hybrids. It is of paramount importance to obtain local pathogen isolates and strains for breeding efforts. In a previous study, over 120 *Fusarium* isolates were obtained from vegetable crops in the Moscow Region and their pathogenicity and aggressiveness were studied. Among them, nine of the most aggressive isolates collected from infected plants of carrot, beet, pea, cabbage, cucumber, and tomato were selected. The aim of the study was to determine the species identification and characterize the toxicogenic properties of aggressive *Fusarium* isolates affecting vegetable crops. The *Fusarium* species were identified by a combination of morphological features and molecular genetic analysis. Toxicogenic properties were studied by germination of Tambovchanka radish seeds on filtrates of culture liquids of the studied isolates. As a result of the research, it is shown that all studied isolates belong to the *Fusarium oxysporum* species. In addition, *Fusarium equiseti* was found in three isolates, and both *Fusarium equiseti* and *Fusarium poae* were identified in four others. Thus, aggressive *Fusarium* isolates are predominantly represented by a mixture of *Fusarium* species. Aggressive *Fusarium* isolates were shown to differ significantly in phytotoxic activity. Both isolates represented by one species (No. 12, No. 54) and isolates represented by two species (No. 10, No. 16) had high phytotoxicity. Isolate No. 13, represented by a mixture of *Fusarium oxysporum* and *Fusarium equiseti* species, was characterized by low phytotoxicity. All isolates (No. 19, 26, 30 and 53) represented by the three *Fusarium* species showed moderate toxicity.

Keywords

Fusarium, Fusarium wilt, *Fusarium oxysporum*, *Fusarium equiseti*, *Fusarium poae*, phytotoxicity, molecular markers

Acknowledgments

The research was supported by the Russian Science Foundation (grant No. 23–76–01085, <https://rscf.ru/project/23-76-01085/>).

For citation

Vishnyakova A.V., Nikitin M.A., Aleksandrova A.A., Sokolova L.M. Aggressive *Fusarium* spp. isolates on vegetables in the Moscow Region: species composition and phytotoxicity. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2025. No. 1. P. 108–123.

Введение Introduction

Род *Fusarium* (Ascomycota: Nectriaceae, сумчатая стадия – Giberella) включает в себя ряд видов-возбудителей заболеваний сельскохозяйственных культур, которые вызывают значительные потери урожая при выращивании и хранении [12]. Наиболее распространенными видами, поражающими овощные культуры, являются *Fusarium oxysporum* (Schlecht.) Snyd. et Hans., *Fusarium avenaceum* Fr. Sacc., *Fusarium solani* (Mart.) Appel. et Wollenw., *Fusarium culmorum* (W.G. Sm.) Sacc [5]. Методы защиты растений от фузариозного увядания являются преимущественно превентивными и включают в себя обработку семян, использование микробиологических препаратов [24], которые снижают потери урожая, но не защищают посевы полностью. Наиболее эффективным способом борьбы с заболеванием считается создание устойчивых сортов и гибридов [2].

Селекция на устойчивость к заболеваниям – одно из сложных направлений селекции, что обусловлено нестабильностью устойчивости, которая может быть потеряна в результате появления новых рас, штаммов, изолятов, и необходимостью прослеживания взаимодействия двух биологических систем (сельскохозяйственной культуры и патогена) [16]. Один из путей, обеспечивающих целенаправленное ведение селекции на устойчивость, – это выделение местных изолятов и штаммов возбудителей болезней. Из одного образца (к примеру, семян) можно выделить 10–15 разных видов грибов рода *Fusarium*, однако для каждой местности характерно доминирование только 1–4 видов, что определяется природно-климатическими особенностями региона, а распространенность видов зависит от ежегодных метеорологических флуктуаций [3].

В настоящее время фузариоз выходит на первый план среди наиболее вредоносных болезней на овощных культурах [5]. Это заболевание наносит серьезный ущерб при возделывании моркови, свеклы, капусты и т.д. *Fusarium* поражает растения от всходов до хранения урожая, вызывает фузариозное увядание, гниль корнеплодов и плодов. Симптомы могут как проявляться в поле в период вегетации, так и оставаться в латентной форме и вызывать гнили во время хранения корнеплодов. В связи с этим остро стоит вопрос о выделении местных изолятов рода *Fusarium spp.* с овощных культур, с которыми ведется селекционная работа, а также изучение наиболее агрессивных изолятов.

Цель исследований: определить видовой состав агрессивных изолятов *Fusarium* и изучить их токсикогенные свойства.

Методика исследований Research method

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Охарактеризовать видовой состав агрессивных изолятов фузариоза, выделенных с овощных культур в Московской области.
2. Изучить токсикогенные свойства агрессивных изолятов фузариоза, определить изоляты с высокой фитотоксичностью.

Изоляты патогенов рода *Fusarium* были выделены с 2014 по 2022 гг. с пораженных растений моркови, свеклы, гороха, капусты, огурца, томата [5, 9] с полей, расположенных на экспериментальной базе ВНИИО – филиала ФГБНУ ФНЦ Овощеводства (Московская область, Раменский район). Структура почвы – аллювиально-луговая, среднесуглинистая. Поля расположены в центральной части поймы

р. Москва Быковского расширения. За годы исследований было выделено более 120 изолятов с разных овощных культур. Определение агрессивности производили с использованием чистой культуры патогена следующими методами: на моркови и свекле столовой использовали инокуляцию фрагментов корнеплодов; на томатах, огурце, капусте применяли метод травмирования корешков с последующей напиткой суспензией спор патогенов. По результатам предварительного исследования были выделены 9 наиболее агрессивных изолятов, которые изучены в данных исследованиях.

Предварительную идентификацию видовой принадлежности изолятов проводили по морфологическим признакам и определителю [4] с использованием цифрового микроскопа «Биомед-6» с фотонасадкой (используемая программа для фиксации – «ScorePhoto-510»), искомое увеличение мицелия – 10/0.25, рабочее увеличение – 40/0.65.

Для выделения ДНК отбирали активно растущий мицелий чистой культуры из 3–5 точек в чашке Петри. Мицелий измельчали шариками в гомогенизаторе TissueLyser II (Retsch, Германия) с предварительной заморозкой жидким азотом. ДНК выделяли СТАБ-методом [19] с модификациями в виде использования 2% СТАБ. ДНК оценивали на спектрофотометре NanoPhotometer P 330 (Implen, Германия). Для проведения ПЦР реакцию концентрацию ДНК доводили до 60 нг/мкл.

ПЦР реакцию проводили в объеме 10 мкл со следующим составом реакционной смеси: 1 мкл 10X Taq Turbo буфер с MgCl₂ (Евроген, Россия); 0,4 мкл раствора нуклеотидов (dNTP, Евроген, Россия); 0,1 мкл HS Taq ДНК-полимеразы (Евроген, Россия); 0,4 мкл каждого праймера (табл. 1); 6,8 мкл стерильной дистиллированной воды и 1 мкл ДНК-матрицы. Амплификацию проводили на амплификаторе T100 Thermal Cycler. Продукты амплификации разделяли электрофорезом в 1,5%-ном агарозном геле. Визуализировали в проходящем УФ-свете трансиллюминатора при окрашивании ДНК флуоресцирующим красителем GelRed.

Токсикогенные свойства изолятов определяли проращиванием семян на фильтровальной бумаге, пропитанной фильтратом культуральной жидкости [1, 6]. Фильтрат культуральной жидкости (ф.к.ж.) получали путем выращивания изолятов гриба в колбах 300 мл в 100 мл питательной среды. Для получения ф.к.ж. в каждую колбу вносили кусочек агара с мицелием размером 0,5×0,5 см, содержащего около 10⁸ конидий гриба. Колбы помещали в термостат и инкубировали при температуре +25°C в течение 30 дней при регулярном взбалтывании на качалке. Выраженную суспензию (мутная жидкость со специфическим запахом) 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%-ном гипохлорите натрия в течение 10 мин, 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. [1]: если длина проростков и корней, мм, 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.

Видоспецифичные праймеры для идентификации видов *Fusarium*

Table 1

Species-specific primers for the identification of *Fusarium* species

Видовая принадлежность <i>Fusarium</i>	Название праймеров	Сиквенс олигонуклеотида 5'- 3'	Ожидаемый размер ампликона	Условия амплификации
<i>F. culmorum</i>	175F	TTTTAGTGGAAGTCTGAGTAT	245 bp	+95°C, 1 мин; 25 циклов: +94°C – 1 мин, +52°C – 30 с, +72°C – 1 мин; +72°C – 7 мин [18]
	430R	AGTGCAGCAGGACTGCAGC		
<i>F. sambucinum</i>	FSF1	ACATACCTTTATGTTGCCTCG	315 bp	
	FSR1	GGAGTGTCAGACGACAGCT		
<i>F. oxysporum</i>	FO1	ACATACCACTTGTTCCTCG	340 bp	
	FO2	CGCCAATCAATTTGAGGAACG		
<i>F. equiseti</i>	FEF1	CATACCTATACGTTGCCTCG	389 bp	
	FER1	TTACCAGTAACGAGGTGTATG		
<i>F. avenaceum</i>	FAF1	AACATACCTTAATGTTGCCTCGG	314 bp	
	FAR	ATCCCCAACACCAAACCCGAG		
<i>F. graminearum</i>	Fg16NF	ACAGATGACAAGATTCAGGCACA	280 bp	
	Fg16NR	TTCTTTGACATCTGTTCAACCCA		
<i>F. culmorum</i>	Fc01F	ATGGTGAAGTCTGTCGTGGC	570 bp	
	Fc01R	CCCTTCTTACGCCAATCTCG		
<i>F. poae</i>	Fp82F	CAAGCAAACAGGCTCTTCACC	220 bp	
	Fp82R	TGTTCCACCTCAGTGACAGGTT		
<i>F. sporotrichioides</i>	FsplTS2K	CTTGGTGTGGGATCTGTGTGCAA	288 bp	
	P28SL	ACAAATTACAAGTCTGGGCCGAGA		

В результате проведенных исследований выявлено, что при проращивании семян на ф.к.ж. гриба рода *Fusarium spp.* на ф.к.ж. в концентрации 75% всхожесть семян существенно снижалась, а при использовании ф.к.ж. без разбавления прорастания семян 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.

Статистическую обработку экспериментальных данных производили на персональном компьютере с помощью пакета прикладных программ Microsoft Office Excel 2019. Существенность различий определяли с использованием критерия Фишера на уровне значимости $P = 0,05$. При наличии существенной разницы между вариантами эксперимента рассчитывали наименьшую существенную разность (НСР) с использованием критерия Стьюдента на уровне значимости $P = 0,05$.

Результаты и их обсуждение

Results and discussion

В результате предварительных исследований с образцов вначале выделяли изоляты, определяли их агрессивность, а потом по результатам фитопатологической работы получали чистую культуру с наиболее агрессивных изолятов.

Морфологическая характеристика наиболее агрессивных изолятов рода *Fusarium*, выделенных с овощных культур, представлена в таблицах 2, 3.

Из данных таблиц 2, 3 следует, что все изоляты отличаются по культурально-морфологическим признакам и соответствуют видам рода *Fusarium*.

Молекулярно-генетический анализ проведен с использованием видоспецифичных маркеров, апробированных в работах других авторов [15, 18]. В таблице 4 представлены сводные данные ПЦР-анализа изолятов *Fusarium* с видоспецифичными молекулярными маркерами.

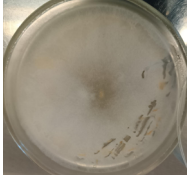
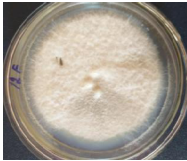
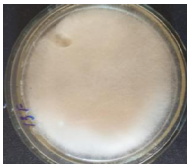
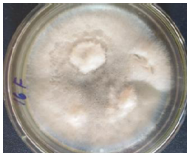
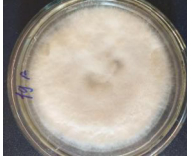

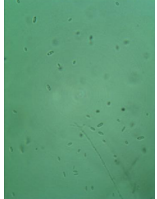


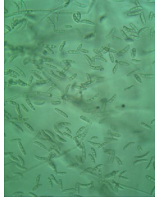
По результатам ПЦР-анализа (табл. 4) определено наличие во всех изученных изолятах маркера на *F. oxysporum*. В изолятах № 10, № 13, № 16, кроме маркера *F. oxysporum*, обнаружен маркер *F. equiseti* (рис. 1). В изолятах № 19, № 26, № 30, № 53, кроме *F. oxysporum*, присутствует примесь *F. equiseti* (рис. 1) и *F. poae* (рис. 2).

Токсикогенные свойства изолятов изучали, используя фильтрат культуральной жидкости (ф.к.ж.) в концентрации 50% на семенах редьки Тамбовчанка (табл. 5).

При проращивании семян редьки Тамбовчанка наблюдали некоторое снижение всхожести семян при проращивании на 50% ф.к.ж. по сравнению с контрольным вариантом (табл. 5). Длина проростков существенно уменьшилась по сравнению с контрольным вариантом при проращивании семян на ф.к.ж. всех изолятов, кроме № 13 (рис. 3), существенное сокращение длины корня наблюдали во всех вариантах. По результатам соотношения длины корня в контрольном варианте с длиной корней при проращивании на ф.к.ж. изолят № 13 идентифицирован как слаботоксичный. Высокую токсичность для образца Тамбовчанка имели изоляты № 10, № 12, № 16 (рис. 4) и № 54. Умеренной токсичностью характеризовались изоляты № 19, № 26, № 30, № 53.

Описание агрессивных изолятов рода *Fusarium*, выделенных с пораженных растений капусты белокачанной, свеклы столовой, огурца и томата


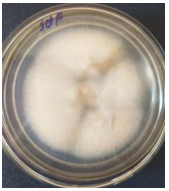

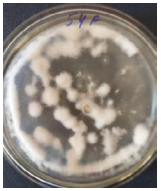


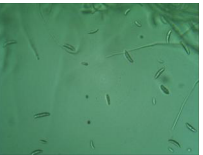
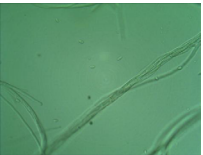
Table 2
Description of aggressive isolates of the genus *Fusarium* isolated from infected plants of white cabbage, red beet, cucumber, and tomato

Признак	Изолят 10 – Капуста лист	Изолят 12 – Свекла, корнеплод с хранения	Изолят 13 – Капуста с корневой системы	Изолят 16 – Огурец с корневой системы	Изолят 19 – Томат с корневой системы
Цвет мицелия	Бело-серый	Бело-серый	Серый	Бело-серый	Белый
Край мицелия	Ровные	Неровные	Ровные	Ровные	Ровный
Поверхность мицелия	Ровная	Крупяная, неоднородная	Ровная	Бугристая, неоднородная	Ровная
Профиль мицелия	Пушистый	Войлочный	Пушистый	Пушистый	Пушистый
Реверс	Белый	Белый	Белый	Бело-серый	Белый
Структура колонии	Однородная	Неоднородная	Однородная	Однородная	Однородная
Форма конидий	Серповидные	Овальные	Серповидные	Овально-серповидные	Овально-серповидные
Размер конидий	9–10 мкм	2–4 мкм	10–16 мкм	4–11 мкм	8–10 мкм
Число перегородок у конидии, шт.	От 2 до 8	От 1 до 3	От 3 до 8	От 4 до 8	От 3 до 12
Фото мицелия					
Фото макро- и микроконидий					

**Описание агрессивных изолятов рода *Fusarium*, выделенных
с моркови и овощного гороха**

Table 3

**Description of aggressive isolates of the genus *Fusarium* isolated
from infected plants of carrot and peas**

Признак	Изолят 26 – Морковь с листьев	Изолят 30 – Морковь с корнеплода во время хранения	Изолят 53 – Горох с корневой системы	Изолят 54 – Горох с бобов
Цвет мицелия	Бело-серый	Белый	Серый	Белый
Край мицелия	Неровные	Ровный	Неровный	Неровные
Поверхность мицелия	Неоднородная	Ровная	Пористая	Неоднородная, точечная
Профиль мицелия	Очень пушистый	Войлочный (плотный)	Опушенный	Войлочный (тугой)
Реверс	Белый	Белый	Белый	Белый
Структура колонии	Однородная	Однородная	Однородная	Неоднородная
Форма конидий	Овально- серповидные	Овальный	Овально- серповидные	Овальные
Размер конидий	2–11 мкм	8–10 мкм	3–9 мкм	2–4 мкм
Число перегородок у конидии, шт.	От 2 до 8	От 2 до 6	От 2 до 4	От 1 до 3
Фото мицелия				
Фото макро и микроконидий				

Результаты ПЦР-анализа с видоспецифичными маркерами в изолятах *Fusarium*

Table 4

Results of the PCR analysis of *Fusarium* isolates using species-specific markers

Вид фузариума	№ изолята и происхождение								
	10 Капуста лист	12 Свекла корнеплод	13 Капуста с корневой системы	16 Огурец с корневой системы	19 Томат с корневой системы	26 Морковь с листьев	30 Морковь корнеплода	53 Горох с корневой системы	54 Горох с бобов
<i>F. oxysporum</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>F. culmorum</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>F. sambucinum</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>F. equiseti</i>	+	-	+	+	+	+	+	+	-
<i>F. avenaceum</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>F. graminearum</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>F. poae</i>	-	-	-	-	+	+	+	+	-
<i>F. sporotrichioides</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-

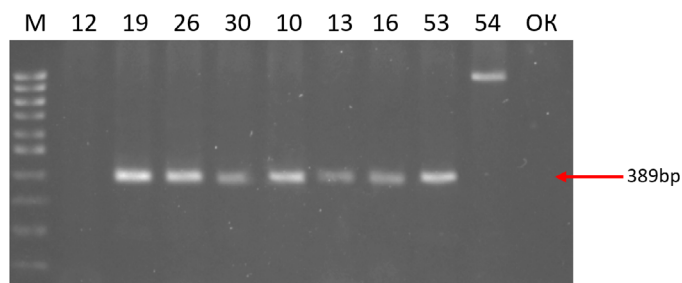


Рис. 1. Результаты амплификации с праймерами FEF1-FER1 на *F. equiseti*, длина целевого фрагмента – 389 бп.:

М – маркер молекулярного веса 100 бп.; номера изолята: 12 – свекла; 19 – томат; 26 – морковь; 30 – морковь; 10 – капуста белокочанная (лист); 13 – капуста белокочанная (корневая система); 16 – огурец; 53 – горох (корневая система); 54 – горох (бобы); ОК – отрицательный контроль

Figure 1. Results of amplification with primers FEF1 – FER1 on *F. equiseti*, target fragment length is 389bp.:

M – molecular weight marker, 100bp.; isolate numbers: 12 – red beet; 19 – tomato; 26 – carrot; 30 – carrot; 10 – white cabbage (leaf); 13 – white cabbage (root system); 16 – cucumber; 53 – pea (root system); 54 – pea (beans); ОК – negative control

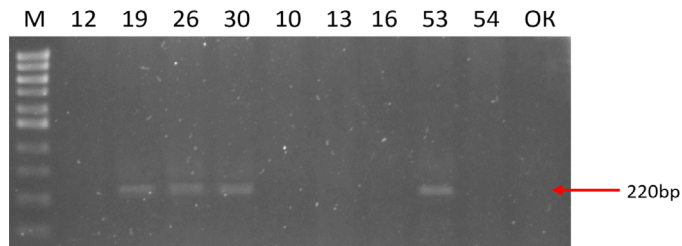


Рис. 2. Результаты амплификации с праймерами Fp82F-Fp82R на *F. poae*, длина ожидаемого фрагмента – 220 bp.:

M – маркер молекулярного веса 100 bp.; номера изолятов: 12 – свекла; 19 – томат; 26 – морковь; 30 – морковь; 10 – капуста белокочанная (лист); 13 – капуста белокочанная (корневая система); 16 – огурец; 53 – горох (корневая система); 54 – горох (бобы); ОК – отрицательный контроль

Figure 2. Results of amplification with primers Fp82F – Fp82R on *F. poae*, target fragment length is 220bp.:

M – molecular weight marker, 100bp.; isolate numbers: 12 – red beet; 19 – tomato; 26 – carrot; 30 – carrot; 10 – white cabbage (leaf); 13 – white cabbage (root system); 16 – cucumber; 53 – pea (root system); 54 – pea (beans); ОК – negative control

Таблица 5

Характеристика токсикогенной активности штаммов *Fusarium* при проращении семян редьки Тамбовчанка

Table 5

Characterization of toxicogenic activity of *Fusarium* strains during germination of Tambovchanka radish seeds

№ изолята	Всхожесть семян, %	Средняя длина побега, см	Средняя длина корня, см	Отношение длины побега к контролю, %	Отношение длины корня к контролю, %	Степень токсичности
Вода (контроль)	93	3,1±1,2	5,0±2,9	–	–	–
№ 10 <i>F. oxysporum</i> + <i>F. equiseti</i>	70	1,1±0,4*	1,0±0,8*	35,0	19,7	Т
№ 12 <i>F. oxysporum</i>	70	0,8±0,3*	0,4±0,1*	25,4	7,3	Т
№ 13 <i>F. oxysporum</i> + <i>F. equiseti</i>	90	3,1±1,0	3,1±0,8*	97,7	61,6	СТ
№ 16 <i>F. oxysporum</i> + <i>F. equiseti</i>	55	1,1±0,4*	0,9±0,6*	34,4	17,8	Т
№ 19 <i>F. oxysporum</i> + <i>F. equiseti</i> + <i>F. poae</i>	90	2,1±1,9*	2,2±1,2*	68,2	44,0	УТ
№ 26 <i>F. oxysporum</i> + <i>F. equiseti</i> + <i>F. poae</i>	90	1,5±0,6*	2,1±1,0*	47,7	41,7	УТ
№ 30 <i>F. oxysporum</i> + <i>F. equiseti</i> + <i>F. poae</i>	70	1,4±0,7*	1,8±0,7*	44,0	37,1	УТ
№ 53 <i>F. oxysporum</i> + <i>F. equiseti</i> + <i>F. poae</i>	85	1,9±1,1*	2,0±1,2*	61,6	39,9	УТ
№ 54 <i>F. oxysporum</i>	55	0,7±0,3*	0,3±0,2*	23,7	7,0	Т
НСР	–	0,7	1,2	–	–	–

*Статистически значимые различия по сравнению с контролем на уровне значимости P = 0.05.



Рис. 3. Проростки редьки Тамбовчанка при проращивании в воде (сверху) и на ф.к.ж. слаботоксичного изолята № 13 (снизу)

Figure. 3. Tambovchanka radish seedlings when germinated in water (top) and on culture liquid filtrate of weakly toxic isolate No. 13 (bottom)



Рис. 4. Проростки редьки Тамбовчанка при проращивании в воде (сверху) и на ф.к.ж. сильнотоксичного изолята № 16 (снизу)

Figure. 4. Tambovchanka radish seedlings when germinated in water (top) and on culture liquid filtrate of strong toxic isolate No 16 (bottom)

Т. Тилахун с соавт. (2024) отмечает, что кроме изменчивости под влиянием генетических и экологических факторов, даже изоляты одного вида, выделенные в пределах одной географической зоны, могут иметь разные морфологические характеристики, поэтому подтверждение видовой принадлежности с молекулярно-генетических методов является неотъемлемой частью современных исследований [22]. В наших исследованиях идентификация видов *Fusarium* в агрессивных изолятах, выделенных с овощных культур с помощью цитологических и молекулярно-генетических методов, показала, что в условиях Московской области во всех изученных изолятах присутствует *F. Oxysporum*. Кроме того, в 7 из 9 изученных изолятов присутствовал *F. equiseti*, в 4 изолятах обнаружен *F. poae*. О выделении *F. oxysporum*

из пораженных растений овощных культур сообщают многие исследователи из разных стран [14, 24]. В последние годы исследователи ряда стран сообщали о патогенности *F. equiseti* на огурце [20], томате [13], капусте белокочанной [10], моркови [8]. В наших исследованиях *F. equiseti* присутствовал в изолятах, полученных с пораженных растений огурца, томата, капусты белокочанной, моркови, а также в изоляте, выделенном с овощного гороха, о поражении которых *F. equiseti* не сообщалось. ДНК *F. poae* присутствовало в изолятах, выделенных с томата, моркови и гороха овощного. В мировой практике о поражении томата *F. poae* сообщали С.А. Стеглейн и соавт. [21], о поражении гороха овощного – Дж. Марцинковска [17], о поражении моркови – Л.М. Соколова [7].

Т.М. Коломиец и соавт. (2022) отмечают, что фитотоксические свойства могут отличаться как между видами патогенов, так и в пределах одного вида. В наших исследованиях при проращивании семян редьки масличной на ф.к.ж. слабую токсичность проявляли изолят № 13, изоляты № 19, № 26, № 30, № 53 были умеренно токсичными, изоляты № 10, № 12, № 16, № 54 – высокотоксичными. Высокотоксичными были как изоляты, представленные одним видом (№ 12 и № 54), так и изоляты, представленные двумя видами (№ 10 и № 16).

Выводы Conclusions

В условиях Московской области, Раменский район, где поля расположены в центральной части поймы реки Москва Быковского расширения, наибольший ущерб овощным культурам во все годы исследований наносили фузариозное увядание и гнили. В результате проведенных исследований наиболее агрессивных изолятов фузариозного увядания, выделенных за годы исследований, идентифицированы виды *F. oxysporum*, *F. equiseti*, *F. poae*. Показано, что агрессивные изоляты фузариума значительно различаются по фитотоксической активности. Высокой фитотоксичностью обладали как изоляты, представленные одним видом (№ 12, № 54), так и изоляты, представленные двумя видами (№ 10, № 16).

Список источников

1. Коломиец Т.М., Киселева М.И., Жемчужина Н.С., Панкратова Л.Ф. и др. Особенности видового состава патогенных грибов рода *Fusarium* в биоценозах кукурузы Воронежской области // *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2022. Т. 26, № 6. С. 583-592. <https://doi.org/10.18699/VJGB-22-71>
2. Монахос С.Г., Воронина А.В., Байдина А.В., Зубко О.Н. Селекция растений на устойчивость – основа защиты от болезней в органическом земледелии // *Картофель и овощи*. 2019. № 6. С. 38-40. <https://doi.org/10.25630/PAV.2019.92.83.009>
3. Назаров П.А., Балеев Д.Н., Иванова М.И., Соколова Л.М. и др. Инфекционные болезни растений: этиология, современное состояние, проблемы и перспективы в защите растений // *Acta Naturae*. 2020. Т. 12, № 3 (46). С. 46-59. <https://doi.org/10.32607/actanaturae.11026>
4. Сагтон Д., Фотергилл А., Ринальди М. *Определитель патогенных и условно патогенных грибов*: Пер. с англ. Москва: Мир, 2001. 486 с.
5. Соколова Л.М. Проявление фузариоза на овощных культурах // *Агропромышленные технологии Центральной России*. 2019. № 2 (12). С. 42-47. <https://doi.org/10.24888/2541-7835-2019-12-42-47>

6. Соколова Л.М., Егорова А.А. Экспресс-оценка устойчивости моркови столовой к грибным болезням рр. *Alternaria* и *Fusarium* на фильтрат культуральной жидкости // *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2019. № 3 (173). С. 36-42. EDN: JKSBPR.
7. Соколова Л.М., Егорова А.А., Ховрин А.Н. Определение видовой принадлежности грибов рода *Fusarium* молекулярным методом // *Аграрная наука*. 2021. № 9. С. 118-124. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2021-352-9-118-124>
8. Тимина Л.Т., Енгальчева И.А. Комплекс патогенов на овощных культурах в условиях Центрального региона РФ // *Овощи России*. 2015. № 3-4. С. 123-129. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2015-3-4-123-129>
9. Чистякова Л.А., Соколова Л.М., Бакланова О.В., Егорова А.А. Оценка штаммов гриба рода *Fusarium* на поражение растений огурца // *Картофель и овощи*. 2020. № 3. С. 32-36. <https://doi.org/10.25630/PAV.2020.76.39.005>
10. Afroz T., Jee S., Choi H. – W., Kim J.H. et al. First Report of *Fusarium* wilt Caused by *Fusarium equiseti* on Cabbage (*Brassica oleracea* var. capitata) in Korea // *Plant Disease*. 2021. Vol. 105, № 4. P. 1198. <https://doi.org/10.1094/pdis-06-20-1278-pdn>
11. Aslam S., Ghazanfar M.U., Munir N., Hamid M.I. Managing *Fusarium* wilt of Pea by Utilizing Different Application Methods of Fungicides // *Pakistan Journal of Phytopathology*. 2019. Vol. 31, № 1. Pp. 81-88. <https://doi.org/10.33866/phytopathol.031.01.0482>
12. Bahadur A. Current Status of *Fusarium* and Their Management Strategies // In: *Mirmajlessi S.-M.* (ed.). *Fusarium – An Overview of the Genus*. Belgium: IntechOpen, 2022. 110 p. <https://doi.org/10.5772/intechopen.95213>
13. Beltran Beache M., Delgado Ortiz J.C., Valdivia Flores A.G., Hernandez Juárez A. et al. First Report of *Fusarium equiseti* Causing Root and Crown Rot in Tomato in Mexico // *Plant Disease*. 2023. Vol. 107, № 8. Art. 2542. <https://doi.org/10.1094/PDIS-10-22-2494-PDN>
14. Cabral C.S., Gonçalves A.M., Fonseca M.E.N., Urben A.F. et al. First Detection of *Fusarium oxysporum* f. sp. *Radicis-lycopersici* across Major Tomato-producing Regions in Brazil // *Phytoparasitica*. 2020. Vol. 48, № 4. Pp. 545-553. <https://doi.org/10.1007/s12600-020-00824-5>
15. Kuzdraliński A., Szczerba H., Tofil K., Filipiak A. et al. Early PCR-based Detection of *Fusarium culmorum*, *F. graminearum*, *F. sporotrichioides* and *F. poae* on Stem Bases of Winter Wheat throughout Poland // *European Journal of Plant Pathology*. 2014. Vol. 140. Pp. 491-502. <https://doi.org/10.1007/s10658-014-0483-9>
16. Leunov V.I., Sokolova L.M., Beloshapkina O.O., Khovrin A.N. Resistance of Carrots to *Alternaria* sp., *Fusarium* sp. and Factors Influencing It // In: *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021. Vol. 624, № 1. P. 012010. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/624/1/012010>
17. Marcinkowska J. Micromycetes on *Pisum sativum* var. *arvense* // *Acta Mycologica*. 1997. Vol. 32, № 1. Pp. 31-39. DOI: <https://doi.org/10.5586/am.1997.004>
18. Mishra P.K., Fox R.T.V., Culham A. Development of a PCR-based assay for rapid and reliable identification of pathogenic *Fusaria* // *FEMS Microbiology Letters*. 2003. Vol. 218, № 2. Pp. 329-332. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6968.2003.tb11537.x>
19. Murray M.G., Thompson W. Rapid Isolation of High Molecular Weight Plant DNA // *Nucleic Acids Research*. 1980. Vol. 8, № 19. Pp. 4321-4326. <https://doi.org/10.1093/nar/8.19.4321>
20. Shukla A., Sharma D., Sharma M., Tarafdar A. et al. First Report of *Fusarium equiseti* Causing Crown and Root Rot of Cucumber in India // *Journal of Plant Pathology*. 2022. Vol. 104, № 2. Art. 875. <https://doi.org/10.1007/s42161-022-01075-5>

21. Stenglein S.A., Barreto D., Nicholson P., Chandler E. et al. First Report of *Fusarium poae* on Tomato in Argentina // *Plant Pathology*. 2009. Vol. 58. Art. 401. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2008.01973.x>
22. Tilahun T., Abate S., Tilahun T., Taye M. Morphological Variability of *Fusarium oxysporum* f. sp. *capsici* (FOC) Isolates Infecting Pepper (*Capsicum annum* L.) Landraces in West Gojjam Zone, Ethiopia // *Cogent Food & Agriculture*. 2024. Vol. 10, № 1. Art. 2322782. <https://doi.org/10.1080/23311932.2024.2322782>
23. Vetrova S., Alyokhina K., Engalycheva I., Kozar E. et al. Identification and Pathogenicity of *Fusarium* Species Associated with Onion Basal Rot in the Moscow Region of Russian Federation // *Journal of Fungi*. 2024. Vol. 10, № 5. P. 331. <https://doi.org/10.3390/jof10050331>
24. Yu F., Zhang C.-W., Wang S., Wang H. et al. Genome Sequence of *Fusarium oxysporum* f. sp. *conglutinans*, the Etiological Agent of Cabbage Fusarium wilt // *Molecular Plant-Microbe Interactions*. 2021. Vol. 34, № 2. Pp. 210-213. <https://doi.org/10.1094/MPMI-08-20-0245-A>
25. Zehra A., Aamir M., Dubey M.K., Ansari W.A. et al. Enhanced Protection of Tomato against *Fusarium* wilt through Biopriming with *Trichoderma harzianum* // *Journal of King Saud University-Science*. 2023. Vol. 35, № 2. Art. 102466. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2022.102466>

References

1. Kolomiets T.M., Kiseleva M.I., Zhemchuzhina N.S., Pankratova L.F., Elizarova S.A. A characteristic of the species composition of pathogenic fungi of the genus *Fusarium* in corn biocenoses of the Voronezh Region. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2022;26(6):583-592. (In Russ.) <https://doi.org/10.18699/VJGB-22-71>
2. Monakhos S.G., Voronina A.V., Baidina A.V., Zubko O.N. Plant breeding for disease resistance is a base of plant protection in organic farming. *Potato and Vegetables*. 2019;6:38-40. (In Russ.) <https://doi.org/10.25630/PAV.2019.92.83.009>
3. Nazarov P.A., Baleev D.N., Ivanova M.I., Sokolova L.M., Karakozova M.V. Infectious plant diseases: etiology, current status, problems and prospects in plant protection. *Acta Naturae*. 2020;12(3(46)):46-59. (In Russ.) <https://doi.org/10.32607/actanaturae.11026>
4. Sutton D., Fothergill A., Rinaldi M. *Identifier of pathogenic and opportunistic fungi*. Trans. from English. Moscow, Russia: Mir, 2001:486. (In Russ.)
5. Sokolova L.M. The manifestation of fusarium wilt on vegetable crops. *Agropromyshlennye tekhnologii Tsentralnoy Rossii*. 2019;2(12):42-47. (In Russ.) <https://doi.org/10.24888/2541-7835-2019-12-42-47>
6. Sokolova L.M., Egorova A.A. Rapid evaluation of garden carrot resistance to fungal diseases of genera *Alternaria* and *Fusarium* on culture liquid filtrate. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2019;3(173):36-42. (In Russ.)
7. Sokolova L.M., Egorova A.A., Hovrin A.N. Determination of the species of fungi of the genus *Fusarium* by molecular method. *Agrarian science*. 2021;(9):118-124. (In Russ.) <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2021-352-9-118-124>
8. Timina L.T., Engalicheva I.A. Complex of pathogens on vegetable crops in condition of Central Region of Russia. *Vegetable Crops of Russia*. 2015;3-4:123-129. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2015-3-4-123-129>
9. Chistyakova L.A., Sokolova L.M., Baklanova O.V., Egorova A.A. Evaluation of *Fusarium* fungus strains on affection of cucumber plants. *Potato and Vegetables*. 2020;3:32-36. (In Russ.) <https://doi.org/10.25630/PAV.2020.76.39.005>

10. Afroz T., Jee S., Choi H. – W., Kim J.H. et al. First Report of Fusarium wilt Caused by Fusarium equiseti on Cabbage (*Brassica oleracea* var. capitata) in Korea. *Plant Disease*. 2021;105(4):1198. <https://doi.org/10.1094/pdis-06-20-1278-pdn>
11. Aslam S., Ghazanfar M.U., Munir N., Hamid M.I. Managing Fusarium wilt of Pea by Utilizing Different Application Methods of Fungicides. *Pakistan Journal of Phytopathology*. 2019;31(1):81-88. <https://doi.org/10.33866/phytopathol.031.01.0482>
12. Bahadur A. Current Status of Fusarium and Their Management Strategies. In: *Mirmajlessi S.-M. (ed.). Fusarium – An Overview of the Genus*. Belgium: IntechOpen, 2022:110. <https://doi.org/10.5772/intechopen.95213>
13. Beltran Beache M., Delgado Ortiz J.C., Valdivia Flores A.G., Hernandez Juárez A. et al. First Report of Fusarium equiseti Causing Root and Crown Rot in Tomato in Mexico. *Plant Disease*. 2023;107(8):2542. <https://doi.org/10.1094/PDIS-10-22-2494-PDN>
14. Cabral C.S., Gonçalves A.M., Fonseca M.E.N., Urben A.F. et al. First Detection of Fusarium oxysporum f. sp. Radicis-lycopersici across Major Tomato-producing Regions in Brazil. *Phytoparasitica*. 2020;48(4):545-553. <https://doi.org/10.1007/s12600-020-00824-5>
15. Kuzdraliński A., Szczerba H., Tofil K., Filipiak A. et al. Early PCR-based Detection of Fusarium culmorum, F. graminearum, F. sporotrichioides and F. poae on stem bases of winter wheat throughout Poland. *European Journal of Plant Pathology*. 2014;140:491-502. <https://doi.org/10.1007/s10658-014-0483-9>
16. Leunov V.I., Sokolova L.M., Beloshapkina O.O., Khovrin A.N. Resistance of Carrots to Alternaria sp., Fusarium sp. and Factors Influencing It. In: *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021;624(1):012010. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/624/1/012010>
17. Marcinkowska J. Micromycetes on Pisum sativum var. arvense. *Acta Mycologica*. 1997;32(1):31-39. <https://doi.org/10.5586/am.1997.004>
18. Mishra P.K., Fox R.T.V., Culham A. Development of a PCR-based Assay for Rapid and Reliable Identification of Pathogenic Fusaria. *FEMS Microbiology Letters*. 2003;218(2):329-332. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6968.2003.tb11537.x>
19. Murray M.G., Thompson W. Rapid Isolation of High Molecular Weight Plant DNA. *Nucleic Acids Research*. 1980;8(19):4321-4326. <https://doi.org/10.1093/nar/8.19.4321>
20. Shukla A., Sharma D., Sharma M., Tarafdar A. et al. First Report of Fusarium equiseti Causing Crown and Root Rot of Cucumber in India. *Journal of Plant Pathology*. 2022;104(2):875. <https://doi.org/10.1007/s42161-022-01075-5>
21. Stenglein S.A., Barreto D., Nicholson P., Chandler E. et al. First Report of Fusarium poae on Tomato in Argentina. *Plant Pathology*. 2009;58:401. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2008.01973.x>
22. Tilahun T., Abate S., Tilahun T., Taye M. Morphological Variability of Fusarium oxysporum f. sp. capsici (FOC) Isolates Infecting Pepper (*Capsicum annum* L.) Landraces in West Gojjam Zone, Ethiopia. *Cogent Food & Agriculture*. 2024;10(1):2322782. <https://doi.org/10.1080/23311932.2024.2322782>
23. Vetrova S., Alyokhina K., Engalycheva I., Kozar E. et al. Identification and Pathogenicity of Fusarium Species Associated with Onion Basal Rot in the Moscow Region of Russian Federation. *Journal of Fungi*. 2024;10(5):331. <https://doi.org/10.3390/jof10050331>
24. Yu F., Zhang C.-W., Wang S., Wang H. et al. Genome Sequence of Fusarium oxysporum f. sp. conglutinans, the Etiological Agent of Cabbage Fusarium wilt. *Molecular Plant-Microbe Interactions*. 2021;34(2):210-213. <https://doi.org/10.1094/MPMI-08-20-0245-A>

25. Zehra A., Aamir M., Dubey M.K., Ansari W.A. et al. Enhanced Protection of Tomato against Fusarium wilt through Biopriming with *Trichoderma harzianum*. *Journal of King Saud University-Science*. 2023;35(2):102466. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2022.102466>

Сведения об авторах

Анастасия Васильевна Вишнякова, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры ботаники, селекции и семеноводства садовых растений, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: a.vishnyakova@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-9160-1164>

Михаил Алексеевич Никитин, инженер-исследователь, Селекционно-семеноводческий центр овощных культур, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Пасечная, 5; e-mail: ser-mixail-nikitin@yandex.ru; <https://orcid.org/0009-0007-5557-1192>

Анастасия Алексеевна Александрова, аспирант кафедры ботаники, селекции и семеноводства садовых растений, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: nastya445577@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0008-8802-6454>

Любовь Михайловна Соколова, доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник сектора селекции и семеноводства корнеплодных культур, д-р с.-х. наук, Всероссийский научно-исследовательский институт овощеводства – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр овощеводства»; 140153, Российская Федерация, Московская область, д. Верея; e-mail: lsokolova74@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-6223-4767>

Information about the authors

Anastasiia V. Vishnyakova, Csc (Ag), Associate Professor at the Department of Botany, Plant Breeding and Seed Technology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49 Timiryazevskaya st., Moscow, 127550, Russian Federation; e-mail: a.vishnyakova@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-9160-1164>

Mikhail A. Nikitin, Research Engineer at the Selection and Seed Center for Vegetable Crops, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49 Timiryazevskaya st., Moscow, 127550, Russian Federation; e-mail: ser-mixail-nikitin@yandex.ru; <https://orcid.org/0009-0007-5557-1192>

Anastasia A. Aleksandrova, postgraduate student of the Department of Botany, Plant Breeding and Seed Technology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49 Timiryazevskaya st., Moscow, 127550, Russian Federation; e-mail: nastya445577@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0008-8802-6454>

Lyubov M. Sokolova, DSc (Ag), Leading Research Associate at the Breeding and Seed Center, All-Russian Research Institute of Vegetable Production – Branch of Federal Scientific Vegetable Center; v. Vereya, Moscow Region, 140153, Russian Federation; e-mail: lsokolova74@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-6223-4767>