

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2021-3-105-109>
УДК 632.4:635.262

М.А. Филюшин¹,
О.А. Данилова¹, Т.М. Середин²

¹Федеральный исследовательский центр «Фундаментальные основы биотехнологии» Российской академии наук 119071 Москва, Ленинский пр., д. 33, стр. 2

²Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр овощеводства» (ФГБНУ ФНЦО) 143072, Россия, Московская область, Одинцовский район, п. ВНИИССОК, ул. Селекционная, д. 14

Благодарности: Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Российского фонда фундаментальных исследований (№ 20-316-70009) и, частично, Министерства науки и высшего образования РФ.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов: молекулярно-генетическая идентификация патогенов, написание статьи – Филюшин М.А., растительный материал – Середин Т.М., морфология грибных изолятов – Данилова О.А.

Для цитирования: Филюшин М.А., Данилова О.А., Середин Т.М. Идентификация патогенных грибов в луковичах чеснока при хранении и в корневой сфере в период роста растений. *Овощи России*. 2021;(3):105-109. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2021-3-105-109>

Поступила в редакцию: 11.05.2021
Принята к печати: 19.05.2021
Опубликована: 25.06.2021

Mikhail A. Filyushin¹, Olga A. Danilova¹,
Timofey M. Seredin²

¹Federal Research Centre Fundamentals of Biotechnology of the Russian Academy of Sciences Moscow, 119071, Russia

²Federal State Budgetary Scientific Institution Federal Scientific Vegetable Center (FSBSI FSVC) 14, Selectionnaya str., VNISSOK, Odintsov district, Moscow region, Russia, 143072

Acknowledgment: This research was funded by the Russian Foundation of Basic Research (grant no. 20-316-70009) and the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation.

Conflict of interest. The author declare no conflict of interest.

Authors' Contribution: Identification of fungal pathogens, writing the article – Filyushin M.A., plant material – Seredin T.M., morphology of fungal isolates – Danilova O.A.

For citations: Filyushin M.A., Danilova O.A., Seredin T.M. Identification of pathogenic fungi in garlic bulbs during storage and in the root zone during plant growth. *Vegetable crops of Russia*. 2021;(3):105-109. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2021-3-105-109>

Received: 11.05.2021
Accepted for publication: 19.05.2021
Accepted: 25.06.2021

Идентификация патогенных грибов в луковичах чеснока при хранении и в корневой сфере в период роста растений



Резюме

Актуальность, материал и методика. Потери урожая сельскохозяйственных культур связаны не только с развитием болезней в процессе вегетации, но и при послеуборочном хранении. Чеснок является популярной овощной и пряно-ароматической культурой во многих странах мира. Значительные потери урожая чеснока при выращивании и хранении связаны с грибными патогенами, наиболее вредоносными из которых являются представители рода *Fusarium*. В Московской области поражение посевов чеснока фузариозом проявляется ежегодно, но с различной интенсивностью. В Федеральном научном центре овощеводства (ФНЦО) было показано, что гнили и увядание растений чеснока вызывается комплексом патогенных грибов, включающим преимущественно различные виды *Fusarium*. При этом соотношение видов *Fusarium* в патогенном комплексе изменяется от года к году, регистрируются новые виды *Fusarium* и их расы. Целью данной работы было определение грибных фитопатогенов, вызывающих сухую гниль зубков чеснока при послеуборочном хранении. Для проведения работы из хранилища ФНЦО были взяты луковича чеснока сортов Дубковский и Стрелец.

Результаты. В результате визуального осмотра были выявлены зубки с симптомами сухой гнили. Пораженные ткани зубков были помещены на картофельно-декстрозный агар для получения грибных колоний. Анализ морфолого-культуральных признаков грибных изолятов, а также нуклеотидных последовательностей четырех участков ДНК (спейсеры ITS, гены *EF1a*, *RPB1* и *RPB2*) показал, что возбудителем сухой гнили зубков чеснока является патогенный гриб *Fusarium proliferatum*. Дополнительно в полевых условиях была проведена идентификация на основе анализа последовательностей спейсеров ITS и гена *EF1a* фитопатогенных грибов, обитающих в корневой зоне растений чеснока. В результате в корневой сфере сортов чеснока были обнаружены два вида грибов рода *Fusarium* (*F. proliferatum* и *F. oxysporum* f. sp. *cepae*), а также виды *Rhizoctonia solani*, *Volutella rosea* и *Ceratobasidium* sp.

Ключевые слова: *Allium sativum*, чеснок, *Fusarium proliferatum*, фузариозная гниль, сухая гниль

Identification of pathogenic fungi in garlic bulbs during storage and in the root zone during plant growth

Abstract

Relevance and methods. Losses of agricultural crops are associated not only with the development of diseases during the growing season, but also during post-harvest storage. Garlic is a popular vegetable and aromatic crop in world. Significant losses in garlic yield during cultivation and storage are associated with fungal pathogens, the most harmful of which are representatives of the genus *Fusarium*. In the Moscow region, the defeat of garlic by *Fusarium* occurs annually, but with varying intensity. At the Federal Scientific Vegetable Center (FSVC), it was shown that rot and wilting of garlic plants is caused by a complex of pathogenic fungi, including mainly different species of *Fusarium*. At the same time, the ratio of *Fusarium* species in the pathogenic complex changes from year to year, new *Fusarium* species and their races are registered. The aim of this study was to identify fungal phytopathogens causing dry rot of garlic cloves during post-harvest storage. To carry out the work, garlic bulbs of cultivars Dubkovsky and Strelets were taken from the FSVC storage.

Results. As a result of visual examination, cloves with symptoms of dry rot were identified. The diseased cloves tissues were plated on potato dextrose agar to obtain fungal colonies. Analysis of the morphological and cultural characteristics of fungal isolates, as well as the nucleotide sequences of four DNA regions (ITS spacers, genes *EF1a*, *RPB1*, and *RPB2*) showed that the causative agent of dry rot of garlic cloves is the pathogenic fungus *Fusarium proliferatum*. In addition, in the field, identification was carried out based on the analysis of the sequences of spacers ITS and the *EF1a* gene of phytopathogenic fungi inhabiting the root zone of garlic plants. As a result, two species of fungi of the genus *Fusarium* (*F. proliferatum* and *F. oxysporum* f. sp. *cepae*), as well as the species *Rhizoctonia solani*, *Volutella rosea*, and *Ceratobasidium* sp. were found in the root zone of garlic cultivars.

Keywords: *Allium sativum*, garlic, *Fusarium proliferatum*, *Fusarium* rot, dry rot

Введение

Чеснок (*Allium sativum* L.) – одна из важнейших овощных культур рода *Allium* L. (сем. Amaryllidaceae). Ежегодное мировое производство чеснока составляет более 30 млн т, при этом большая часть чеснока (28 млн т) выращивается в Азии (<http://www.fao.org>). В России чеснок также является популярной овощной и пряно-ароматической культурой, ежегодно производится около 200 тыс. т (<https://rosstat.gov.ru/>).

Значительные потери урожая чеснока при выращивании и хранении связаны с грибными патогенами, наиболее вредоносными из которых являются грибы рода *Fusarium* Link. К роду *Fusarium* относятся разнообразные по типу питания виды грибов, способные поражать культурные и дикорастущие растения на любом этапе развития [1,2]. Эти грибы широко распространены в почвах во всех климатических зонах и вызывают гнили и/или увядание у многих сельскохозяйственных культур [3]. Также виды *Fusarium* продуцируют различные типы микотоксинов, представляющее опасность для здоровья человека [4].

Грибы рода *Fusarium* вызывают гниль лукович и/или увядание листьев чеснока [5]. Потери урожая от данных заболеваний могут составлять до 100% [6]. Ранее считалось, что у чеснока и других видов *Allium* гниль лукович и увядание вызывается специфичным изолятом *F. oxysporum* f. sp. *sepaе*. Однако в настоящее время известно, что данное заболевание могут вызывать и другие виды *Fusarium* – *F. acutatum*, *F. anthophilium* и *F. proliferatum* [2,7]. При послеуборочном хранении потери урожая чеснока связаны с развитием на зубках сухой гнили (dry rot), вызываемой патогенным грибом *F. proliferatum* [8,9].

В Московской области поражение посевов чеснока фузариозом проявляется ежегодно, но с различной интенсивностью [6]. Сотрудниками Федерального научного центра овощеводства (ФНЦО) было показано, что число и соотношение видов грибов рода *Fusarium* в патогенном комплексе изменяется от года к году, регистрируются новые виды и расы патогена, ранее не отмеченные в Московской области [6,10]. Наличие в фитопатогенном комплексе в посевах чеснока грибов других родов (*Botrytis*, *Alternaria* и др.) усиливает вредоносность видов *Fusarium* [6].

Сухая гниль зубков чеснока при послеуборочном хранении в ФНЦО отмечается ежегодно, однако видовая идентификация патогенов, вызывающих данное заболевание, ранее не проводилась. Поэтому целью работы была морфологическая и молекулярная идентификация грибных фитопатогенов, вызывающих гниль зубков чеснока при послеуборочном хранении в Федеральном научном центре овощеводства (Московская обл.).

Материалы и методы

Для проведения исследования в январе 2020 года из лукового хранилища Федерального научного центра овощеводства (55.654945, 37.200148; Московская обл.) были взяты по 4 луковицы чеснока озимого сорта Дубковский и Стрелец. Для идентификации грибных фитопатогенов в корневой зоне растений чеснока в июле 2020 года на опытном участке ФНЦО (55.654945, 37.200148) было выкопано по два растения чеснока сортов

Поднебесный, Сармат, Дубковский и Стрелец. По данным многолетних полевых наблюдений в ФНЦО, сорта чеснока Дубковский и Стрелец восприимчивы к фузариозной гнили в процессе вегетации, в годы эпифитотий гибель растений составляет 15-30%. При послеуборочном хранении на зубках чеснока сортов Дубковский и Стрелец отмечено развитие сухой гнили. Сорта чеснока Поднебесный и Сармат относятся к группе относительно устойчивых к фузариозной гнили сортов, при послеуборочном хранении развитие сухой гнили обнаруживается редко.

Для получения грибных колоний ткани с признаками гнили дезинфицировали 70% этанолом (3 мин), промывали стерильной водой, помещали в чашки Петри с картофельно-декстрозным агаром (PDA) с добавлением ампициллина (1 мг/мл) и инкубировали при 22°C в темноте; через 6 дней анализировали морфологию грибных колоний. Морфологическая характеристика грибных колоний и микрофотографии конидиеносцев и конидий выполнены на световом микроскопе Jenaval (Германия) с фотопроставкой CarlZeiss426126 сотрудниками Группы экспериментальной микологии ФИЦ Биотехнологии РАН. Тест на патогенность выделенного грибного изолята проводили согласно [11]. Эксперимент проводили в двух повторах. После инокуляции зубки инкубировали на чашках Петри с PDA в темноте при 23°C и относительной влажности 100%, через 5 дней проводили оценку состояния зубков чеснока.

Для оценки влияния выделенного грибного изолята на рост и развитие растений чеснока зубки чеснока сорта Стрелец были высажены в стерильный грунт и помещены в экспериментальную установку искусственного климата (ЭУИК, ФИЦ Биотехнологии РАН) со следующими условиями: день/ночь – 16/8 ч, 22/16°C, освещенность – 190 мкМ/(м² с).

Для определения видового состава грибных фитопатогенов на препаратах ДНК из грибных изолятов амплифицировали и секвенировали последовательности внутренних транскрибируемых рибосомальных спейсеров (ITS), генов фактора элонгации трансляции *1α* (*EF1α*) и субъединиц 1 и 2 ДНК-зависимой РНК полимеразы II (*RPB1* и *RPB2*). Для амплификации и секвенирования использовали стандартные праймеры ITS1/ITS4 [12], EF1/EF2 [13], RPB1-F5/RPB1-R8 [14] и fRPB2-5F/fRPB2-7cR [15]. Полученные ПЦР-продукты ожидаемой длины очищали с помощью QIAEX® II Gel Extraction kit (QIAGEN, Германия), клонировали в плазмидный вектор pAL2T (набор Quick-TA kit, ЗАО «Евроген») и секвенировали на капиллярном секвенаторе ABI Prism 3700 DNA Analyzer (ЦКП Биоинженерия, ФИЦ Биотехнологии РАН). Выравнивание и анализ полученных нуклеотидных последовательностей проводили в программе MEGA7.0 (<https://www.megasoftware.net/>). Видовую идентификацию грибных патогенов проводили на основе анализа нуклеотидных последовательностей в программе MLST (<http://fusarium.mycobank.org>).

Результаты и обсуждение

В результате визуального осмотра взятых из хранилища ФНЦО луковиц чеснока сортов Дубковский и Стрелец на отдельных зубках (1-4 зубка в каждой луковице) обоих сортов были обнаружены коричне-

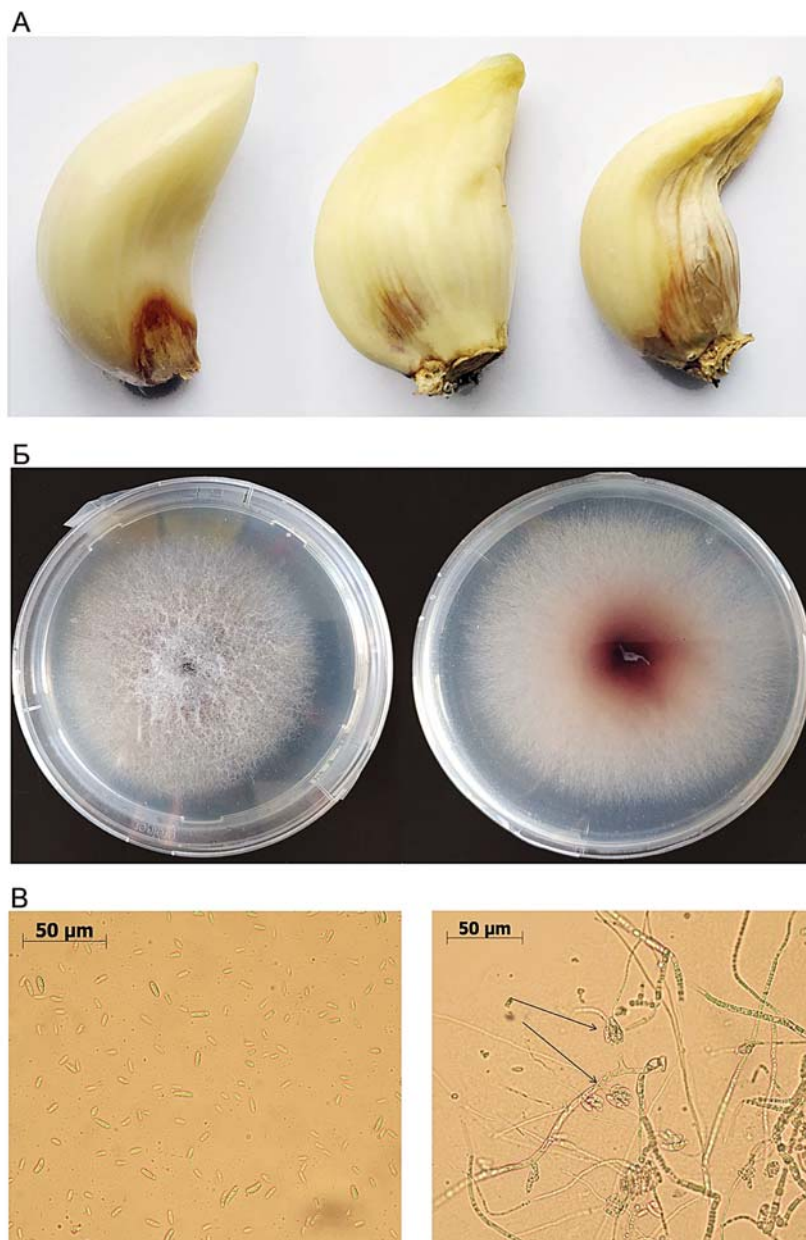


Рис. 1. А –Зубки чеснока признаками фузариозной гнили из хранилища Федерального научного центра овощеводства; Б – морфология колонии гриба *Fusarium proliferatum* на среде PDA (10 суток, слева – вид сверху, справа – вид снизу); В – микроконидии (слева) и конидиеносцы (справа) с собранными в ложные головки микроконидиями (указано стрелками).
Fig. 1. А –Garlic cloves exhibiting symptom caused by *Fusarium proliferatum* infection during storage in Federal Scientific Vegetable Center; Б – 10-days old *F. proliferatum* colony on PDA including upper (left) and reverse surface (on the right); В – The *F. proliferatum* microconidia (left) and hyphae with microconidia collected in false heads (indicated by arrows).



Рис.2. Внешний вид зубков чеснока (слева) сорта Стрелец после проведения теста на патогенность выделенного нами изолята гриба *F. proliferatum* из хранилища ФНЦО. Справа –зубок через 14 дней теста на патогенность с обильной колонизацией мицелием *F. proliferatum* на корнях.
Fig. 2. Garlic cv. Strelets cloves (left) after the pathogenicity test of the *F. proliferatum* isolate from FSVC storage. Right –a clove after 14 days of pathogenicity test with abundant colonization of *F. proliferatum* mycelium on the roots.



Рис. 3. Внешний вид растений чеснока сорта Стрелец, зараженных патогенным грибом *F. proliferatum* (слева) и продольный разрез нижней части растения (справа)
Fig. 3. Garlic plants cv. Strelets after infected the pathogenic fungus *F. proliferatum* (left) and a longitudinal section of the lower part of the garlic plant (right)

вые пятна (рис. 1А), характерные при поражении чеснока фузариозной сухой гнилью [8,11]. Ткани с признаками гнили были вырезаны с четырех зубков чеснока (2 – сорт Дубковский, 2 – сорт Стрелец) и помещены на среду PDA. После 6 дней инкубации все четыре изолята продуцировали обильный воздушный белый мицелий, выделяя в среду пурпурный пигмент (рис. 1Б). Грибные изоляты формировали многочисленные одноклеточные микроконидии (длина 4.1-11.6 мкм, ширина 1.3-3.4 мкм) (рис. 1С) и малочисленные макроконидии с 3-4 перегородками (длина 21-26 мкм, ширина 3-4 мкм). Культурально-морфологические признаки изолятов соответствуют представителям рода *Fusarium* [16].

Для точной видовой идентификации выделенных грибных патогенов на препаратах ДНК, выделенных из

всех четырех изолятов были амплифицированы и секвенированы последовательности спейсеров ITS, участки генов *EF1a*, *RPB1* и *RPB2*. Данные последовательности наиболее часто используются для молекулярной идентификации видов *Fusarium* [14]. Полученные первичные последовательности ДНК всех трех генов ITS спейсеров у анализируемых четырех изолятов были идентичны, что свидетельствует о том, что данные изоляты принадлежат одному виду. Проведенный последующий анализ полученных последовательностей в программе MLST (<http://fusarium.mycobank.org>) выявил высокое сходство (98.8-99.8%) с различными изолятами вида *Fusarium proliferatum* (NRRL 13582, 13598 и др.).

Был проведен тест на патогенность выделенного нами изолята *F. proliferatum*. Тест на патогенность проводили согласно [11] путем замачивания 10 здоровых зубков чеснока (сорт Стрелец) в суспензии конидий гриба в течение 24 ч. Через 5 дней инкубации у зубков, обработанных суспензией конидий, появились желто-коричневые пятна и белый мицелий (в области донца), что является характерными симптомами фузариозной гнили (рис. 2). На контрольных зубках симптомов фузариоза не наблюдалось.

Оставшиеся после теста на патогенность зубки чеснока сорта Стрелец, инфицированные конидиями *F. proliferatum*, были высажены в стерильный грунт и помещены в теплицу с целью оценки влияния *F. proliferatum* на рост и развитие растений чеснока. Через 30 дней наблюдали практически полное усыхание надземной части растений и значительное разрушение тканей луковицы и корней, донце имело рыхлую структуру и желто-коричневую окраску (рис. 3). На листьях больных растений было заметно развитие вторичных грибных инфекций. Ткани листьев были помещены на среду PDA. Выросшие из тканей листьев больных растений чеснока грибные колонии на основе анализа нуклеотидных последовательностей спейсеров ITS и гена *EF1a* были идентифицированы как *F. proliferatum*



Рис. 4. Колонии грибов, выросшие из тканей листа больных фузариозом растений чеснока сорта Стрелец
Fig. 4. Colonies of fungi grown from leaf tissues of *Fusarium* –infected garlic plants (cv. Strelets)

(белый мицелий, выделяющий красный пигмент в среду), *Aspergillus niger* (черные колонии) и *Penicillium* sp. (зеленые колонии) (рис. 4).

Дополнительно в полевых условиях была проведена идентификация фитопатогенных грибов, обитающих в корневой зоне растений чеснока. Для этого в июле 2020 года на опытном поле ФНЦО (55.654945, 37.200148) было выкопано по два растения чеснока сортов Поднебесный, Сармат, Дубковский и Стрелец.

Из корней растений каждого сорта были выделены препараты общей ДНК, на которых были амплифицированы, а затем клонированы спейсеры ITS и фрагмент гена *EF1a*. По пять клонов для каждого анализируемого локуса у всех четырех сортов были секвенированы. Анализ полученных последовательностей с помощью программы BLASTn (<https://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi>) позволил выявить в корневой сфере анализируемых сортов чеснока два вида *Fusarium* (*F. proliferatum* и *F. oxysporum* f. sp. serae), а также грибы *Rhizoctonia solani*, *Volutella rosea* и *Ceratobasidium* sp. Последовательности спейсеров ITS и гена *EF1a* гриба *F. proliferatum* из корневой зоны сортов чеснока были идентичны последовательностям изолята *F. proliferatum*, выделенного нами из больных зубков чеснока из хранилища ФНЦО.

Сухая гниль чеснока во всем мире является проблемой послеуборочного хранения, потери урожая от этого заболевания могут достигать 30% [9]. Патогенный гриб *F. proliferatum* идентифицирован как основной возбудитель сухой гнили зубков чеснока во многих странах мира [8,9]. Эффективных средств защиты чеснока против *F. proliferatum* к настоящему времени не существует [9]. В данной работе было определено, что гниль зубков чеснока при хранении в Федеральном научном центре овощеводства также вызывается грибом *F. proliferatum*. Нами была опубликована заметка о первой идентификации гриба *F. proliferatum* на культуре чеснока в России [17]. Анализ растений чеснока, собранных в период вегетации, позволил определить, что грибы *F. proliferatum* и *F. oxysporum* присутствует в растениях чеснока в процессе роста, а при послеуборочном хранении в очагах сухой гнили детектируется только *F. proliferatum*. Интересно отметить, что в чесночных хозяйствах в Италии также наблюдается сходная картина распространения видов *Fusarium*: в посевах были выявлены виды *F. proliferatum* и *F. oxysporum*, а при послеуборочном хранении возбудителем сухой гнили зубков является *F. proliferatum* [18].

Об авторах:

Михаил Александрович Филюшин – к.б.н., с.н.с. лаб. системной биологии растений, ФИЦ Биотехнологии РАН, michel7753@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3668-7601>

Ольга Александровна Данилова – к.б.н., с.н.с. группы экспериментальной микологии, ФИЦ Биотехнологии РАН; noitcelfer@mail.ru, Scopus ID 57209481974

Тимофей Михайлович Середин – кандидат с.-х. наук, с.н.с. лаб. селекции и семеноводства луковых культур, ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства», timofey-seredin@rambler.ru

About the authors:

Mikhail A. Filyushin – Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher lab. Systems Biology of Plants, Federal Research Center of Biotechnology RAS, michel7753@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3668-7601>

Olga A. Danilova – Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher group of experimental mycology, Federal Research Center of Biotechnology RAS; noitcelfer@mail.ru, Scopus ID 57209481974

Timofey M. Seredin – Cand. Sci. (Agriculture), Senior Researcher lab. breeding and seed production of onion crops, Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Vegetable Center", timofey-seredin@rambler.ru

• Литература / References

- Ma L.J., Geiser D.M., Proctor R.H., Rooney A.P., O'Donnell K., Trail F., Gardiner D.M., Manners J.M., Kazan K. *Fusarium* pathogenomics. *Annu Rev Microbiol.* 2013;(67):399-416. <https://doi.org/10.1146/annurev-micro-092412-155650>.
- Kalman B., Abraham D., Graph S., Perl-Treves R., Meller Harel Y., Degani O. Isolation and Identification of *Fusarium* spp., the Causal Agents of Onion (*Allium cepa*) Basal Rot in Northeastern Israel. *Biology* (Basel). 2020;9(4):69. <https://doi.org/10.3390/biology9040069>
- Summerell B.A. Resolving *Fusarium*: Current Status of the Genus. *Annu Rev Phytopathol.* 2019;(57):323-339. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-082718-100204>
- Gagkaeva T., Gavrilova O., Orina A., Lebedin Y., Shanin I., Petukhov P., Eremin S. Analysis of Toxigenic *Fusarium* Species Associated with Wheat Grain from Three Regions of Russia: Volga, Ural, and West Siberia. *Toxins* (Basel). 2019;11(5):252. <https://doi.org/10.3390/toxins11050252>.
- Rout E., Nanda S., Joshi R.K. Molecular characterization and heterologous expression of a pathogen induced *PR5* gene from garlic (*Allium sativum* L.) conferring enhanced resistance to necrotrophic fungi. *Eur J Plant Pathol.* 2016;(144):345-360. <https://doi.org/10.1007/s10658-015-0772-y>
- Середин Т.М., Герасимова Л.И., Козарь Е.Г., Енгальчева И.А., Баранова Е.В. Распространение и вредоносность микозов на культуре чеснока озимого в условиях Московской области. *Овощи России.* 2018;(6):84-90. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2018-6-84-90> [Seredin T.M., Gerasimova L.I., Kozar E.G., Engalicheva I.A., Baranova E.V. Harmfulness of mycosiss on culture of garlic winter-annual in the conditions of Moscow region. *Vegetable crops of Russia.* 2018;(6):84-90. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2018-6-84-90>]
- Gálvez L., Urbaniak M., Waśkiewicz A., Stepien L., Palmero D. *Fusarium proliferatum* – Causal agent of garlic bulb rot in Spain: Genetic variability and mycotoxin production. *Food Microbiology.* 2017;(67):41-48. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2017.05.006>
- Moharam M.H.A., Farrag E.S.H., Mohamed M.D.A. Pathogenic fungi in garlic seed cloves and first report of *Fusarium proliferatum* causing cloves rot of stored bulbs in upper Egypt. *Archives of Phytopathology and Plant Protection.* 2013;(46):2096-2103. <https://doi.org/10.1080/03235408.2013.785122>
- Mondani L., Chiusa G., Battilani P. Chemical and biological control of *Fusarium*

- species involved in garlic dry rot at early crop stages. *European Journal of Plant Pathology.* 2021;(7). <https://doi.org/10.1007/s10658-021-02265-0>
- Тимина Л.Т., Енгальчева И.А. Комплекс патогенов на овощных культурах в условиях Центрального региона РФ. *Овощи России.* 2015;(3-4):123-129. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2015-3-4-123-129> [Timina L.T., Engalicheva I.A. Complex of pathogenes 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>]
- Leyronas C., Chrétien P.L., Troulet C., Duffaud M., Villeneuve F., Morris C.E., Hunyadi H. First Report of *Fusarium proliferatum* Causing Garlic Clove Rot in France. *Plant Disease.* 2018;(102):2658 <https://doi.org/10.1094/PDIS-06-18-0962-PDN>
- White T.J., Bruns T., Lee S., Taylor J. Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal rDNA genes for phylogenetics, pp. 315-322 in M.A. Innis, D.H. Gelfand, J.J. Sninsky (Eds):PCR Protocols. A Guide to Methods and Applications. Academic Press, San Diego (USA) 1990.
- O'Donnell K., Kistler H.C., Cigelnik E., Ploetz R.C. Multiple evolutionary origins of the fungus causing Panama disease of banana: concordant evidence from nuclear and mitochondrial gene genealogies. *Proc Natl Acad Sci USA.* 1998;95(5):2044-2049. <https://doi.org/10.1073/pnas.95.5.2044>
- O'Donnell K., Sutton D.A., Rinaldi M.G., Sarver B.A., Balajee S.A., Schroers H.J., Summerbell R.C., Robert V.A., Crous P.W., Zhang N., Aoki T., Jung K., Park J., Lee Y.H., Kang S., Park B., Geiser D.M. Internet-accessible DNA sequence database for identifying fusaria from human and animal infections. *J Clin Microbiol.* 2010;48(10):3708-3718. <https://doi.org/10.1128/JCM.00989-10>.
- Liu Y.J., Whelen S., Hall B.D. Phylogenetic relationships among ascomycetes: evidence from an RNA polymerase II subunit. *Mol Biol Evol.* 1999;16(12):1799-808. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.molbev.a026092>
- Leslie J.F., Summerell B.A. *The Fusarium Laboratory Manual.* Blackwell Publishing, Oxford, UK. 2006. <https://doi.org/10.1002/9780470278376>
- Anisimova O.K., Seredin T.M., Danilova O.A., Filyushin M. First Report of *Fusarium proliferatum* Causing Garlic clove Rot in Russian Federation. *Plant Disease.* 2021. (In press) <https://doi.org/10.1094/PDIS-12-20-2743-PDN>
- Mondani L., Chiusa G., Battilani P. Fungi Associated with Garlic During the Cropping Season, with Focus on *Fusarium proliferatum* and *F. oxysporum*. *Plant Health Progress.* 2021;22(1):37-46. <https://doi.org/10.1094/PHP-06-20-0054-RS>