Микобиота зерна селекционных линий овса ФИЦ «Немчиновка» конкурсного сортоиспытания на полях в Московской области в 2019 году

DOI: 10.30901/2227-8834-2020-2-134-144
CC BY
УДК [633.13:632.4]:631.421
Поступление/Received: 10.03.2020
Принято/Accepted: 09.06.2020

О. П. ГАВРИЛОВА [1], Т. Ю. ГАГКАЕВА [1], А. С. ОРИНА [1], А. С. МАРКОВА [2], А. Д. КАБАШОВ [2], И. Г. ЛОСКУТОВ [3]*

[1] Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений,
196608 Россия, г. Санкт-Петербург, Пушкин, ш. Подбельского, 3
olgavrilova1@yandex.ru

[2] Федеральный исследовательский центр «Немчиновка»,
143026 Россия, Московская обл., Одинцовский р-н, пос. Новоивановское, ул. Калинина, 1
ovesmoskov@yandex.ru

[3] Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова,
190000 Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44
** i.loskutov@vir.nw.ru;*

Mycobiota in the grain of the oat breeding lines produced in 2019 in competitive variety trials on the fields of Nemchinovka Federal Research Center, Moscow Province

O. P. GAVRILOVA [1], T. YU. GAGKAEVA [1], A. S. ORINA [1], A. S. MARKOVA [2], A. D. KABASHOV [2], I. G. LOSKUTOV [3]*

[1] All-Russian Institute of Plant Protection,
3 Podbelskogo Street, Pushkin,
St. Petersburg 196608, Russia
olgavrilova1@yandex.ru

[2] Nemchinovka Federal Research Center,
1 Kalinina St., Novoivanovskoye, Odintsovo,
Moscow Province 143026, Russia
ovesmoskov@yandex.ru

[3] N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources,
42, 44 Bolshaya Morskaya Street,
St. Petersburg 190000, Russia
** i.loskutov@vir.nw.ru*

Актуальность. Высокий спрос на качественное зерно овса для производства продуктов питания приводит к необходимости исследований устойчивости этой зерновой культуры к вредоносным заболеваниям и созданию новых высокопродуктивных сортов. **Материалы и методы.** Материалом исследования являлись селекционные линии голозерной формы и сорта овса из Федерального исследовательского центра «Немчиновка», которые охарактеризовали по показателям микробиологической чистоты зерна. Анализ зараженности грибами и установление видового состава микобиоты зерна овса проводили с помощью микологического метода, количество ДНК токсинопродуцирующих видов рода *Fusarium* Link в зерне выявляли с помощью реал-тайм ПЦР, а количество образуемых ими микотоксинов определяли иммуноферментным методом. **Результаты.** В составе микобиоты выявлены представители родов *Alternaria* Nees, *Fusarium*, *Cladosporium* Link, *Cochliobolus* Drechsler, *Epicoccum* Link. Установлена уникально высокая зараженность грибом *F. langsethiae* Torp & Nirenberg зерна овса в естественных условиях Центрального региона России (14% у пленчатого сорта 'Яков'). Оценка содержания биомассы токсинопродуцирующих грибов *Fusarium* и их микотоксинов в зерне выявила различия анализируемых селекционных линий и сортов по количествам ДНК *F. langsethiae* и *F. sporotrichioides* Sherb. – от $1{,}3\times10^{-4}$ до $7{,}2\times10^{-3}$ пг/нг общей ДНК и Т-2/НТ-2-токсинов – от 5 до 1230 мкг/кг. **Заключение.** По сумме показателей оценки зараженности зерна, биомассы грибов *Fusarium* и микотоксинов все селекционные линии являлись лучшими относительно стандартного пленчатого сорта 'Яков'. Три из них – 66h2618, 54h2476 и 70h2613 – являлись лучшими относительно голозерного сорта-стандарта 'Вятский голозерный' в условиях проведения эксперимента.

Ключевые слова: *Avena sativa*, грибы, ДНК, *Fusarium*, Т-2/НТ-2 токсины.

Background. The requirement for high-quality oat grain for food production leads to the need for studying the resistance of this cereal crop to harmful diseases and for the development of new productive cultivars. **Materials and methods.** A comparative characterization was performed among the breeding lines of naked oats from Nemchinovka Federal Research Center according to the parameters of microbiological purity of grain. The mycological method was applied for the analysis of infection in the oat grain, and fungal species composition was identified. The DNA amount of toxin-producing species from genus *Fusarium* Link in the grain was detected using the real-time PCR, and the amount of mycotoxins was measured by the enzyme immunoassay. **Results.** The fungi of *Alternaria* Nees, *Fusarium*, *Cladosporium* Link, *Cochliobolus* Drechsler, *Epicoccum* Link were associated with oat grain. Uniquely high infection of the grain by *F. langsethiae* Torp & Nirenberg (14%) was found under the natural conditions of the Central Region of Russia. The differences revealed among the analyzed breeding lines and cultivars in the DNA amount of *F. langsethiae* and *F. sporotrichioides* Sherb. were from 1.3×10^{-4} to 7.2×10^{-3} pg/ng in the total DNA, and from 5 to 1230 μg/kg in the content of T-2/ HT-2 toxins. **Conclusion.** All naked oat breeding lines were relatively resistant to *Fusarium* infection and proved the best as regards the mycotoxin contamination of the grain against the reference hulled cultivar 'Yakov'. In the competitive variety trials, three lines – 66h2618, 54h2476 and 70h2613 – were characterized as relatively resistant to *Fusarium* disease, compared with the naked oat reference 'Vyatsky golozerny'.

Key words: *Avena sativa*, DNA, *Fusarium*, fungi, T-2/HT-2 toxins.

Введение

Овес – это незаменимая по питательной ценности зерновая культура, имеющая огромные преимущества при получении качественных продуктов питания для людей и кормов для животных. Главным направлением селекции овса является создание сортов с высоким потенциалом продуктивности и качества, устойчивых к биотическим и абиотическим факторам среды. Успешным решением проблем может стать наличие соответствующего исходного материала. В научных центрах России ученые много лет занимаются изучением генетического разнообразия овса, оценкой его различных признаков, перспективных генотипов и в конечном итоге – созданием новых сортов овса, в том числе голозерной формы (Isachkova, Ganichev, 2013; Kabashov et al., 2013; Batalova, 2014; Loskutov et al., 2016; Ivanova, Fomina, 2017).

Федеральный исследовательский центр (ФИЦ) «Немчиновка» является одним из ведущих селекционных центров России по созданию новых сортов сельскохозяйственных культур, которые получают широкое распространение в различных регионах нашей страны (Goncharenko, 2005). В настоящее время в Госреестр селекционных достижений включены 18 сортов пленчатого ярового овса (*Avena sativa* L.), оригинатором/патентообладателем которых является ФИЦ «Немчиновка»: ‘Борец’, ‘Буланый’, ‘Всадник’, ‘Грум’, ‘Дерби’, ‘Друг’, ‘Залп’, ‘Кентер’, ‘Козырь’, ‘Конкур’, ‘Лев’, ‘Метис’, ‘Привет’, ‘Рысак’, ‘Скакун’, ‘Стиплер’, ‘Улов’ и ‘Яков’. В 2017 г. сорта овса, созданные при участии сотрудников ФИЦ «Немчиновка», вошли в десятку лидеров по объемам высева на территории России: ‘Скакун’ (40,8 тыс. га) и ‘Конкур’ (40,1 тыс. га) – второе и третье места в рейтинге, а также ‘Яков’ и ‘Лев’, которые занимали площади 18,1 тыс. га и 14,4 тыс. га соответственно (Nikolaev, Androsova, 2018).

Одним из наиболее перспективных методов создания сортов голозерного овса является скрещивание лучших пленчатых сортов и линий с голозерными сортообразцами из местной популяции (Kabashov et al., 2018). На основе этой методики был выведен сорт голозерного овса ‘Немчиновский 61’, допущенный в 2020 г. к использованию в Северо-Западном, Центральном и Центрально-Черноземном регионах России.

Высокий спрос на качественное зерно овса для производства продуктов питания вызвал всплеск исследований по устойчивости этой культуры к вредоносным заболеваниям. Микробиологическое состояние зерна во многом определяют спектр и активность разнообразных микроорганизмов, ассоциированных с растениями; при этом развитие этих взаимоотношений в значительной степени зависит от условий окружающей среды и генотипа хозяина. Сосуществование микроорганизмов и их постоянный контакт с растением привели к появлению различных симбиотических отношений между ними (Tihonovich, Provorov, 2011). Многие грибы в процессе жизнедеятельности продуцируют различные вторичные метаболиты, как благоприятно влияющие на развитие растения, так и оказывающие на него угнетающее действие. Некоторые виды грибов способны образовывать микотоксины, негативно влияющие на здоровье людей и животных при употреблении ими продуктов и кормов на основе зерна. Конечное качество зерна, как правило, напрямую зависит от представленности и численности токсинопродуцирующих видов грибов в микобиоте. Зерно, зараженное в высокой степени грибами рода *Fusarium* Link, обязательно должно проверяться на присутствие и количество токсичных вторичных метаболитов, образуемых этими грибами. В России, согласно нормативным документам, установлены предельно допустимые количества (ПДК) для четырех микотоксинов, образуемых фузариевыми грибами, в том числе количество Т-2-токсина в зерне овса на кормовые цели и зерновой продукции не должно превышать 100 мкг/кг, а дезоксиниваленола (ДОН) – 700–1000 мкг/кг (SanPiN 2.3.2.1078-01; TR CU 015/2011, TR CU 021/2011).

Накопленный к настоящему времени мировой опыт изучения проблемы фузариоза овса показывает, что визуальная оценка, опирающаяся на видимые признаки заболевания, редко связана с реальной зараженностью зерна, последующим заболеванием проростков, а также количеством обнаруживаемых микотоксинов (Šliková et al., 2010; Gagkaeva et al., 2013; Tekle et al., 2018). В первую очередь эта связь определяется составом доминирующих видов фузариевых грибов, зависит от условий, складывающихся в период вегетации культуры в конкретном регионе.

Бессимптомность фузариоза метелки овса не позволяет селекционерам проводить достоверную оценку распространения заболевания в поле и судить о конечной зараженности зерна (Zhuikova, Batalova, 2019). Оценка устойчивости овса к заражению грибами *Fusarium* и накоплению микотоксинов должна основываться в большей степени на данных, полученных в лабораторных исследованиях, чем полевых. Полученная информация о зараженности зерна и спектре доминирующих видов позволяет выбрать наиболее перспективный материал для селекционной работы и сконцентрировать усилия для получения сорта с ценными качественными характеристиками, не накапливающего микотоксины.

Целью исследования являлось определение количественных характеристик микробиологического состояния зерна перспективных голозерных линий овса из конкурсного испытания в ФИЦ «Немчиновка» в 2019 г.

Материалы и методы

Материалом исследования являлись 10 селекционных линий голозерного овса и сорт ‘Немчиновский 61’ селекции ФИЦ «Немчиновка» (табл. 1). В качестве стандартов сравнения были выбраны сорта ‘Вятский голозерный’ (Зональный НИИ сельского хозяйства Северо-Востока), а также пленчатый сорт ‘Яков’ (ФИЦ «Немчиновка»).

Растения выращивали в питомнике «Конкурсное сортоиспытание» на полях ФИЦ «Немчиновка» Московской области на делянках размером 10 м^2 по предшественнику яровой ячмень согласно методике государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур (Methodology…, 1989). Уборка урожая была произведена в оптимальные сроки.

Погодные условия вегетационного периода 2019 г. характеризовались повышенным температурным режимом и дефицитом осадков в мае – июне. В мае средняя температура воздуха превысила средние многолетние показатели в течение всего месяца, осадки преобладали над среднемноголетними в 2,5 раза только в первую декаду. В остальные дни наблюдался острый дефицит влаги, что на фоне повышенной температуры воздуха привело к весенней засухе. В течение всего июня температура воздуха превышала средние многолетние показатели, приблизившись к ним только к концу месяца. Осадки в первую декаду практически отсутствовали, во вторую

Таблица 1. Сорта и линии ярового овса конкурсного сортоиспытания (ФИЦ «Немчиновка», 2019 г.)

Table 1. Oat cultivars and breeding lines in the competitive variety trials (Nemchinovka FRC, 2019)

№ п/п	Линия / сорт	Родословная
1	57h2396	Крестьянский местный × ЗАЛП
2	2h2348	Крестьянский местный × Рысак
3	16h2476	32h1962 × AC Lotta
4	54h2476	32h1962 × AC Lotta
5	2h2532	AC Batton × 53h2035
6	52h2467	28h1827 × Abel
7	50h2613	ЗАЛП × Bullion
8	70h2613	15h1946 × Bullion
9	55h2618	55h2106 × Pennline 2005
10	66h2618	55h2106 × Pennline 2005
11	Немчиновский 61	Крестьянский местный × 15h1880
12	Вятский голозерный	индивидуальный отбор из образца коллекции ВИР Adam (Чехия) с последующим многократным отбором по признаку пленчатости
13	Яков	Soroca × 36h1127

их количество составило 68% от средних многолетних, а в третью – в 1,5 раза превысило среднемноголетние показатели (44,8 мм против 29,8 мм). В июле средняя температура воздуха была незначительно ниже среднемноголетней и практически сравнялась с ней к концу месяца. Сумма выпавших осадков только в середине месяца была на уровне среднемноголетней, тогда как в начале и конце июля наблюдался острый дефицит влаги. В первой декаде августа были зафиксированы обильные осадки в совокупности с пониженным температурным режимом – на 3,4°С ниже относительно среднемноголетней.

Для оценки зараженности зерна грибами и выявления видового состава микобиоты поверхность зерен каждого среднего образца стерилизовали 5-процентным гипохлоритом натрия, затем отмывали стерильной водой. В чашки Петри на поверхность картофельно-сахарозной агаризованной среды (КСА) раскладывали не менее 100 зерен каждого образца. Чашки Петри инкубировали в темноте при 24°С в термостате MIR-254 (Sanyo, Великобритания); через 7 суток проводили учет всхожести зерна на питательной среде, а также численности и видового разнообразия микобиоты.

Таксономическую принадлежность грибов определяли по сумме макро- и микроморфологических признаков с использованием определителей и специализированной литературы (Gerlach, Nirenberg, 1982; Samson et al., 2002; Ellis, 1971; Torp, Nirenberg, 2004).

Зараженность зерна грибами рассчитывали как процентное отношение числа зерен, из которых были выделены грибы определенной таксономической группы, к общему числу анализируемых зерен. Долю вида или представителя секции в комплексе грибов *Fusarium* и *Alternaria* Nees рассчитывали как процентное отношение числа зерен, зараженных этим видом или представителями секции, к общему числу зерен, зараженных грибами рода.

Зерно каждого образца (10 г) гомогенизировали в стерильных размольных стаканах на мельнице Tube Mill Control (IKA, Германия) при 25000 об/мин в течение 30 с для голозерных образцов и 45 с для пленчатого. Выделение ДНК проводили из 200 мг полученной зерновой муки с помощью адаптированной методики (Mazzara et al., 2005). Типовые штаммы *Fusarium* spp. из коллекции микроорганизмов лаборатории микологии и фитопатологии Всероссийского научно-исследовательского института защиты растений (ВИЗР) культивировали на КСА, а затем из мицелия грибов выделяли ДНК, используя набор реагентов Genomic DNA Purification Kit (Thermo Fisher Scientific, Литва).

Концентрации полученной ДНК из муки и мицелия штаммов оценивали используя флуориметр Qubit 2.0 с набором реагентов Quant–iT dsDNA HS Assay Kit (Thermo Fisher Scientific, США) и выравнивали до рабочих значений 2–50 нг/мл.

Определение содержания в зерне ДНК грибов *F. sporotrichioides* Sherb. и *F. langsethiae* Torp & Nirenberg, способных продуцировать Т-2/НТ-2-токсины, оценивали методом реал-тайм ПЦР с помощью праймеров TMLAN и пробы, меченной красителем Cy5 и гасителем флуоресценции BHQ-2 (Yli-Mattila et al., 2008). Амплификацию проводили с использованием CFX 96 Real-Time PCR Detection System (Bio-Rad, США). Протокол амплификации включал: 1 цикл [95°, 3 мин] и 40 циклов [95°, 10 с; 60°С, 10 с; 72°С, 20 с]. Количество ДНК грибов в каждом образце представляли в виде доли от общей выделенной ДНК (сокращенно: пг/нг).

Микотоксины из 1 г муки экстрагировали 5 мл водного раствора ацетонитрила (84:16, v/v) в течение 14–16 ч в условиях постоянного перемешивания при 300 об/мин на орбитальном шейкере S-3M (ELMI, Латвия). Суммарное количество Т-2/НТ-2-токсинов в полученных экстрактах определяли с помощью иммуноферментного метода. Использовали тест-систему «Т-2-токсин – ИФА» (ВНИИВСГЭ, Россия) с нижним пределом определения микотоксинов 4 мкг/кг. Анализ выполняли в наборных полистироловых планшетах (Медполимер, Россия), из-

мерение оптической плотности растворов проводили на спектрофотометре LEDETECT 96 (Biomed, Австрия) при длине волны 492 нм.

Все лабораторные анализы выполняли как минимум двукратно. Для статистической обработки и визуализации полученных данных использовали программы Microsoft Excel 2010 и STATISTICA 10.0. Связь между количественными признаками оценивали с использованием линейного коэффициента корреляции Пирсона.

Результаты

В зерне анализированных генотипов овса выявлены разнообразные представители микобиоты, среди которых основную долю составляли виды родов *Alternaria*, *Fusarium*, *Cladosporium* Link, *Cochliobolus* Drechsler, *Epicoccum* Link и другие (рис. 1). Единично из зерна были выделены грибы родов *Acremonium* Link, *Arthrinium* Kunze, *Gliocladium* Corda, *Microdochium* Syd. & P. Syd., *Mucor* P. Micheli ex L., *Nigrospora* Zimm., *Penicillium* Link, *Phoma* Fr. и *Trichothecium* Link.

Известно, что состав микобиоты, развивающейся на зерне, непосредственно влияет на его всхожесть. Определение всхожести зерна анализированных образцов на питательной среде позволило установить варьирование этого показателя от 59 до 90% (табл. 2). Лучшая всхожесть зерна выявлена у линий 57h2396 и 66h2618; она превышала всхожесть сортов-стандартов ‘Яков’ (71%) и ‘Вятский голозерный’ (79%). Однако представители микобиоты, выявленной в зерне овсов, не оказывали достоверного влияния на показатель всхожести.

Рис. 1. Чашки Петри с образцами зерна овса, зараженными грибами (КСА, 24°C, 7 суток)
Fig. 1. Petri dishes with oat grain samples infected with fungi (potato sucrose agar, 24°C, 7 days)

Таблица 2. Микобиота зерна образцов овса, выращенных в ФИЦ «Немчиновка», 2019 г.
Table 2. Mycobiota in the grain of oat accessions grown at Nemchinovka Federal Research Center, 2019

Линия / сорт	Всхожесть зерна, %	Зараженность зерна грибами, %						
		Alternaria		*Cladosporium*	*Cochliobolus*	*Epicoccum*	*Fusarium*	Другие / Others
		section *Alternaria*	section *Infectoriae*					
57h2396	90	53	6	9	4	0	9	4
2h2348	67	43	11	17	7	4	12	2
16h2476	81	39	7	10	2	2	9	10
54h2476	77	39	7	10	5	2	4	5
2h2532	84	21	3	9	1	2	7	8
52h2467	75	20	6	19	0	4	12	7
50h2613	73	39	8	8	4	0	8	8
70h2613	59	36	3	7	8	2	7	8
66h2618	90	46	4	16	13	0	5	2
55h2618	86	61	3	11	1	6	17	0
Немчиновский 61	81	43	3	12	5	0	16	6
Вятский голозерный	79	51	9	13	5	4	5	2
Яков	71	87	3	1	2	6	29	1

Грибы *Alternaria* являлись наиболее обильными представителями микобиоты зерна. Анализ морфологических признаков показал, что подавляющая доля представителей рода в микобиоте зерна относится к секции *Alternaria* Lawrence, Gannibal, Peever & Pryor (89%), остальные относились к видам секции *Infectoriae* Woudenb. & Crous. Установлены существенные различия суммарной зараженности зерна альтернариевыми грибами (24–64%). Наибольшую зараженность выявили у пленчатого сорта 'Яков' (90%). По сравнению с голозерным стандартом, сорт 'Немчиновский 61' характеризовался относительно низкой зараженностью грибами *Alternaria* (46%). Линии 2h2532, 52h2467 и 70h2613 имели самую низкую относительную зараженность зерна.

Грибы рода *Cladosporium* в зерне голозерных линий встречались с частотой 7–19%, тогда как зараженность зерна пленчатого сорта 'Яков' составила всего 1%.

Средняя зараженность зерна овса грибами рода *Cochliobolus*, среди которых могут встречаться виды *C. sativus* (S. Ito & Kurib.) Drechsler ex Dastur (= *Bipolaris sorokiniana* Shoemaker), *Drechslera avenae* (Eidam) Scharif и другие, характеризующиеся различными патогенными свойствами, не была высокой и варьировала в диапазоне 1–13%. Только в микобиоте зерна линии 52h2467 грибы *Cochliobolus* не выявлены.

Грибы *Epicoccum* встречались в 67% анализированных образцов овса голозерной формы. Зараженность зерна этими грибами была низкой, в среднем составила 2,2%. В зерне линии 55h2618 так же, как и у пленчатого стандарта, встречаемость грибов *Epicoccum* была выше (до 6%), по сравнению с другими анализированными образцами. Представители *Epicoccum* относятся к слабопатогенным грибам и рассматриваются как возможные агенты биоконтроля, защищающие растения от поражения патогенами (Jensen et al., 2016).

Зараженность зерна овса грибами рода *Fusarium* составила 26% у пленчатого сорта 'Яков' и 5% у сорта 'Вятский голозерный'. Зараженность зерна голозерных линий в среднем составила 8,1%. Выявленное разнообразие представителей рода *Fusarium* насчитывало девять видов: *F. anguioides* Sherb., *F. avenaceum* (Fr.) Sacc., *F. culmorum* (Wm.G. Sm.) Sacc., *F. equiseti* (Corda) Sacc., *F. graminearum* Schwabe, *F. langsethiae*, *F. poae* (Peck) Wollenw., *F. semitectum* Berk. & Ravenel и *F. sporotrichioides*. Наиболее агрессивные по отношению к растениям виды грибов *Fusarium* отмечены единично: *F. graminearum* выявлен в зерне линий 57h2396 (зараженность зерна – 1%) и 50h261 (2%), а *F. culmorum* – в зерне сорта 'Яков' (1%).

Основными представителями фузариевых грибов в микобиоте овса являлись *F. poae*, *F. langsethiae* и *F. sporotrichioides* (рис. 2).

Зараженность зерна голозерных линий и сорта 'Немчиновский 61' грибом *F. poae* варьировала от 1% (линии 54h2476 и 66h2618) до 16% (линия 55h2618), а зараженность этим видом зерна 'Вятского голозерного' составила 5%.

В зерне пленчатого овса сорта 'Яков' среди фузариевых грибов доминировали *F. langsethiae* и *F. sporotrichioides*, их доли составили соответственно 17,1% и 8,3% от общего числа изолятов *Fusarium*, в то время как доля *F. poae* была ниже – всего 5%. Грибы *F. langsethiae* и *F. sporotrichioides* в зерне голозерного стандарта и линии 70h2613 не выявлены, а в зерне остальных голозерных образцов суммарная зараженность этими видами варьировала от 1 до 8%.

Грибы *F. sporotrichioides* и *F. langsethiae* являются продуцентами Т-2-токсина, содержание которого нормировано для зерна овса, кормов и продуктов на его основе. Поэтому представлялось интересным проанализировать селекционный материал с точки зрения накопления в зерне биомассы грибов *F. sporotrichioides* и *F. langsethiae*, выявленной через количества их ДНК, и по количеству микотоксинов – Т-2-токсина и его производного НТ-2-токсина.

Результаты реал-тайм ПЦР установили, что количество ДНК грибов *Fusarium* в зерне сорта 'Вятский голозерный' составило (11,0 ± 1,8) × 10^{-4} пг/нг и пленчатого сор-

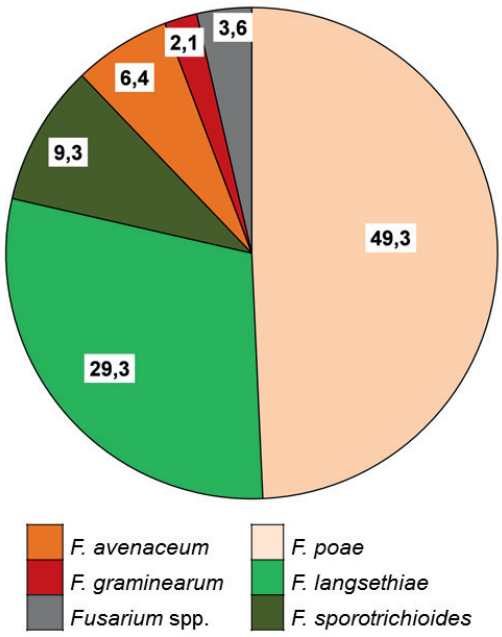

Рис. 2. Видовой состав грибов рода *Fusarium*, выделенных из зерна овса
(ФИЦ «Немчиновка», Московская обл., 2019 г.)

Fig. 2. The species composition of *Fusarium* fungi isolated from oat grain
(Nemchinovka FRC, Moscow Province, 2019)

та 'Яков' – (71,9 ± 6,3) × 10^{-4} пг/нг (выявленный максимум). Только три селекционные линии – 2h2532, 52h2467 и 50h2613 – содержали ДНК грибов в количествах выше, чем у голозерного стандарта (рис. 3).

Количество Т-2/НТ-2-токсинов, выявленное в зерне пленчатого сорта 'Яков', было максимальным – 1230 мкг/кг. В зерне сорта 'Вятский голозерный' эти микотоксины были выявлены в низком количестве 71 мкг/кг. Содержание микотоксинов в зерне голозерных линий варьировало от 5 мкг/кг (линия 70h2613) до 230 мкг/кг (линия 50h2613). Только у пяти селекционных линий и сорта 'Немчиновский 61' так же, как и у стандарта 'Вятский голозерный', содержание Т-2/НТ-2-микотоксинов в зерне оказалось ниже ПДК (рис. 4).

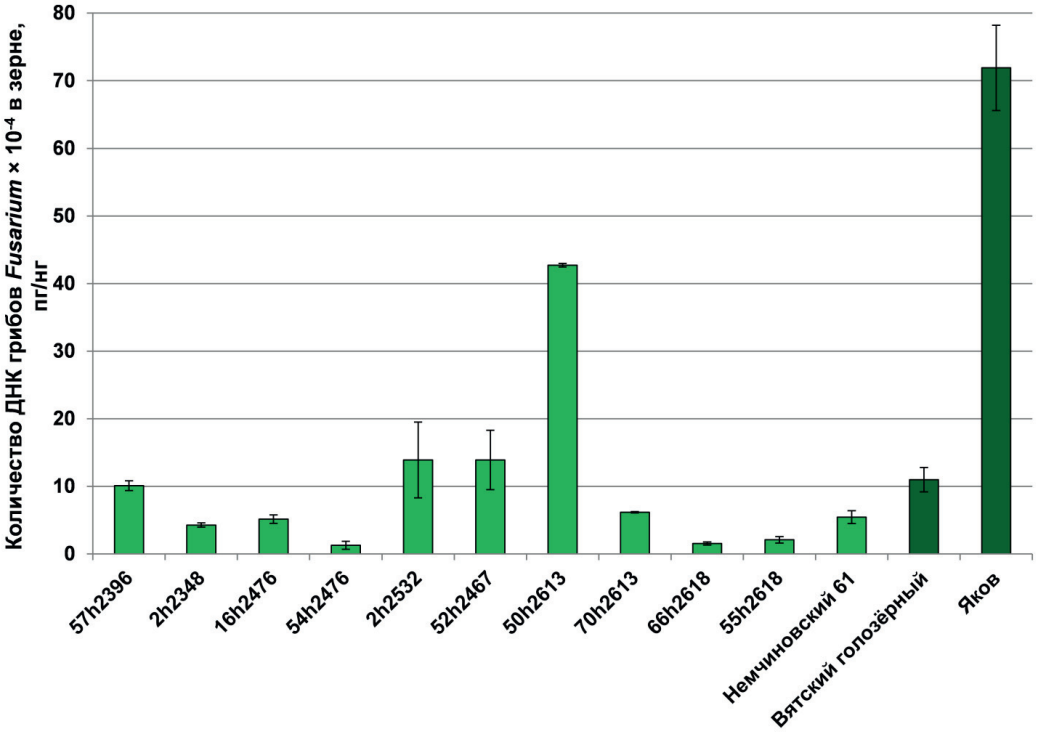

Рис. 3. Суммарное содержание ДНК *Fusarium langsethiae* и *F. sporotrichioides* в зерне линий и сортов овса (ФИЦ «Немчиновка», Московская обл., 2019 г.)

Fig. 3. The total DNA content of *Fusarium langsethiae* and *F. sporotrichioides* in the grain of oat breeding lines and cultivars (Nemchinovka FRC, Moscow Province, 2019)

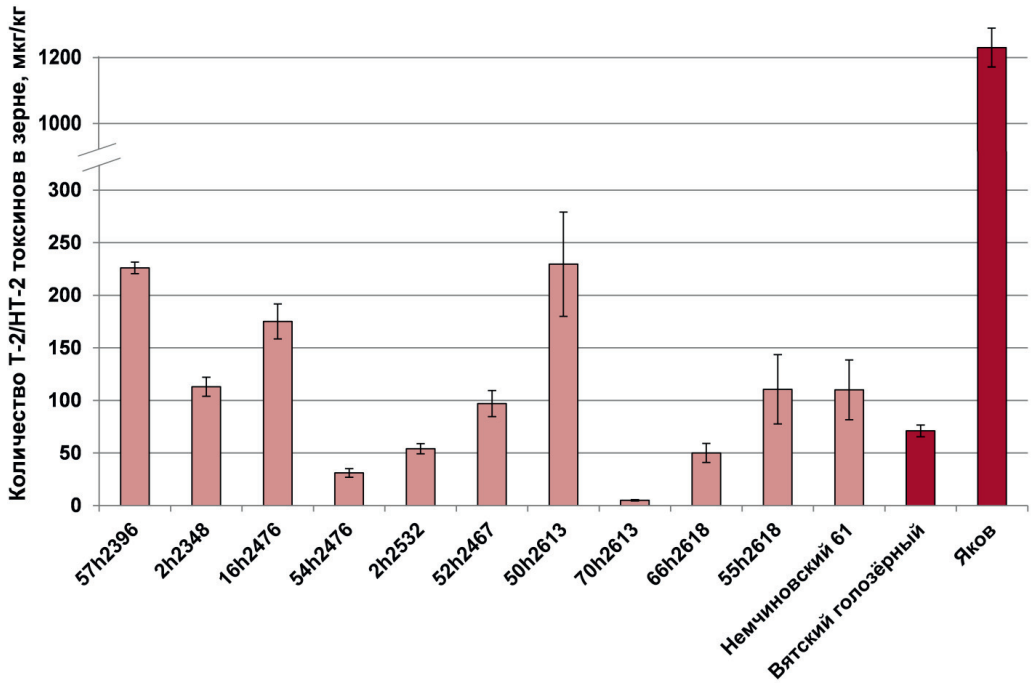

Рис. 4. Содержание Т-2/НТ-2-токсинов в зерне линий и сортов овса (ФИЦ «Немчиновка», Московская обл., 2019 г.)

Fig. 4. The content of T-2/HT-2 toxins in the grain of oat breeding lines and cultivars (Nemchinovka FRC, Moscow Province, 2019)

Обсуждение

Микробиологическое сообщество зерна является многокомпонентным и чрезвычайно разнообразным по степени функциональных особенностей его составляющих. Проведенный микологический анализ показал, что зерно всех образцов овса было заражено грибами *Alternaria*, *Cladosporium* и *Fusarium*, однако численность и видовое разнообразие выявленных микромицетов варьировало в зависимости от анализируемого генотипа.

Виды грибов *Alternaria* хорошо адаптированы и занимают свою определенную нишу в микобиоте зерновых культур, взаимодействуя с другими участниками сообщества. Соотношение видов секций *Alternaria* и *Infectoriae* в микобиоте зерновых культур во многом зависит от погодно-климатических факторов и может существенно варьировать в разные вегетационные сезоны (Kosiak et al., 2004; Gannibal, 2018). О токсичности вторичных метаболитов этих грибов существуют противоречивые мнения, однако представители рода *Alternaria* могут продуцировать микотоксины, опасные для человека и животных (Lee et al., 2015). Известно, что виды *Alternaria* sect. *Alternaria* продуцируют альтернариол (АОЛ) в значительных количествах, тогда как о потенциале образования АОЛ видами *Alternaria* sect. *Infectoriae* нет единого мнения среди исследователей этой группы грибов (Andersen et al., 2002; Oviedo et al., 2013). В нашей работе показано, что 89% изолятов *Alternaria*, выделенных из анализированного зерна овса, относились к секции *Alternaria*. В 2014 г. значительные количества АОЛ (1159–1545 мкг/кг) были обнаружены в зерне овса из Северо-Западного региона России, но достоверной связи между зараженностью видами *Alternaria* и контаминацией зерна этим метаболитом не выявили (Gavrilova et al., 2016).

Грибы *Cladosporium*, широко встречающиеся на вегетирующих злаковых растениях, характеризуются как сапротрофы (Bensch et al., 2012). Зараженность этими грибами выявлена в пределах 1–19%, но так же, как и в случае с зараженностью грибами *Alternaria*, она не оказывала влияние на всхожесть зерна. В результате наших многолетних наблюдений установлено, что на питательной агаризованной среде всхожесть зерновок, из внутренних тканей которых выделяются разные виды грибов рода *Alternaria*, достоверно не отличается от незараженных зерен и из них формируются здоровые первичные корешки и проростки (Gannibal, 2014).

Условия вегетационного периода сложились таким образом, что частота встречаемости патогенных видов грибов, таких как *Cochliobolus* spp., *Fusarium graminearum* и *F. culmorum*, была низкой. Их присутствие в зерне никак не сказалось на его всхожести несмотря на то, что основная вредоносность грибов *Cochliobolus* проявляется в виде корневых гнилей и пятнистостей листьев (Condon et al., 2013). Зерно линии 55h2618, характеризующейся самой низкой урожайностью среди всех анализированных линий, имело максимальную зараженность (13%) грибами *Cochliobolus*. Низкая зараженность зерна (не более 2%) агрессивными видами *Fusarium graminearum* и *F. culmorum*, продуцирующими ДОН, не предполагает существенного загрязнения зерна этим микотоксином. Основными токсинопродуцирующими видами в микобиоте анализированных генотипов овса являлись *F. poae* – продуцент ниваленола (НИВ), а также *F. langsethiae* и *F. sporotrichioides*, образующие Т-2/НТ-2-токсины. Грибы *F. poae* и *F. langsethiae* не вызывают видимых симптомов фузариоза на метелках овса даже в условиях искусственной инокуляции (Imathiu et al., 2013; Martin et al., 2018), однако заражение ими приводит не только к загрязнению зерна микотоксинами, но и к изменению содержания в нем ценных полисахаридов – бета-глюканов.

В России массовый скрининг зараженности грибами зерна овса, выращенного в Северо-Западном регионе РФ, был проведен в 2007–2009 гг. (Gavrilova et al., 2009a), а затем в 2014 г. (Gagkaeva, Gavrilova, 2015). В результате значительных различий по числу и спектру видов *Fusarium* не выявлено: основную долю занимали *F. poae* и *F. sporotrichioides*. Вид *F. langsethiae* являлся относительно редким, зараженность зерна этим видом не превышала 6% (Архангельская обл.). Исследование микобиоты зерна 41 образца овса из коллекции ВИР, выращенного в 2016–2018 гг. в Ступинском районе Московской области, выявило девять видов *Fusarium*, из которых *F. avenaceum* и *F. poae* относились к часто встречающимся видам (Vargach et al., 2019).

Как показывают многочисленные исследования, слабопатогенный гриб *F. poae* повсеместно присутствует и часто доминирует в комплексе фузариевых грибов на зерне овса, что является одной из особенностей микобиоты этой зерновой культуры (Stenglein et al., 2009, Gavrilova et al., 2015; Gagkaeva et al., 2017). *F. poae* продуцирует НИВ, однако его содержание в зерне не нормируется, а свойства данного метаболита находятся в стадии изучения. Высокая зараженность зерна *F. poae* может приводить к содержанию в зерне значительных количеств НИВ, который предположительно играет важную роль в патогенезе *F. poae* (Vogelgsang et al., 2012).

Филогенетически близкие виды *F. langsethiae* и *F. sporotrichioides*, несмотря на сходство по профилю продуцируемых ими микотоксинов, характеризуются разными жизненными стратегиями и трофическими связями. Вид *F. sporotrichioides* – относительно патогенный гриб, способный поражать различные растения (Gagkaeva et al., 2014), тогда как *F. langsethiae* – эндофит, выявленный только на зерновых культурах, слабо растущий на искусственных питательных средах. Механизм заражения растений, жизненный цикл, ареал этого вида гриба, а также влияние различных факторов на его адаптивные признаки активно исследуются (Imathiu et al., 2016; Gavrilova et al., 2017; Divon et al., 2019; Schöneberg et al., 2019). Начиная с 2003 г. *F. langsethiae* выявляют на зерновых культурах, выращенных на территории России (Gagkaeva et al., 2014). Однако до настоящего исследования заражение зерна этим видом на уровне 14% в естественных условиях является максимальным выявленным значением. По всей видимости, условия вегетационного периода 2019 г., сложившиеся на экспериментальном поле в Московской области, способствовали заражению овса *F. langsethiae* и накоплению микотоксинов в зерне.

Т-2/НТ-2-токсины, продуцируемые *F. langsethiae* и *F. sporotrichioides*, являются одними из наиболее опасных микотоксинов для теплокровных организмов (Ueno, 1984; Schuhmacher-Wolz, 2010; Li et al., 2011). В нашей работе максимальное количество этих вторичных метаболитов выявлено в зерне пленчатого сорта ‘Яков’, которое превысило установленную для Т-2-токсина ПДК в 11 раз. Зараженность *F. langsethiae*, содержание в зерне ДНК *F. langsethiae* и *F. sporotrichioides* у этого сорта также были максимальными из всех анализированных генотипов. Ранее неоднократно отмечалось значительное превышение показателей зараженности и контаминации микотоксинами зерна пленчатых овсов по

сравнению с голозерными (Tekauz et al., 2008; Gavrilova et al., 2009b; Yan et al. 2010; Gagkaeva et al., 2013; Martin et al., 2018). В нашем исследовании образцы зерна голозерных овсов характеризовались значительно меньшими содержаниями микотоксинов ($p = 1{,}2\times10^{-8}$) и биомассы грибов ($p = 2{,}6\times10^{-4}$) по сравнению с пленчатым сортом 'Яков'.

В зерне голозерных линий, у которых количество микотоксинов было выше ПДК в 1,1–2,3 раза, суммарная зараженность зерна продуцентами варьировала от 1 до 8% так же, как и количество их ДНК – от $2{,}1\times10^{-4}$ до $42{,}7\times10^{-4}$ пг/нг. Корреляционный анализ связей между показателями, определенными для голозерных образцов овса без учета пленчатого сорта 'Яков', выявил невысокую достоверную связь между зараженностью зерна видами *F. langsethiae* и *F. sporotrichioides* ($r = 0{,}62$ при $p = 0{,}032$), а также содержанием ДНК этих грибов и количествами Т-2/НТ-2-токсинов в зерне ($r = 0{,}54$ при $p = 0{,}069$). При равных условиях ключевую роль в устойчивости селекционного материала к фузариозу играет «генетический бэкграунд» созданных линий. Нами установлено, что две голозерные линии, имеющие в родословной сорт 'Залп', характеризовались более высоким содержанием микотоксинов ($p = 0{,}0024$) и ДНК грибов ($p = 0{,}014$). По всей видимости, скрещивание с данным сортом увеличивает восприимчивость к фузариозу зерна.

Обобщая данные, полученные современными аналитическими методами анализа, по сумме встречаемости токсинопродуцирующих грибов *F. langsethiae* и *F. sporotrichioides* и количеству их метаболитов к наиболее перспективным генотипам, выращенным в условиях проведения эксперимента, можно отнести три линии голозерного овса – 66h2618, 54h2476 и 70h2613.

Необходимы дальнейшие исследования взаимоотношений представителей микобиоты зерна овса и влияния их на генетические механизмы устойчивости растений, многообразие которых в конечном итоге сказывается на получении высокого и качественного урожая.

Заключение

Созданные в ведущем селекционном центре ФИЦ «Немчиновка» голозерные линии овса охарактеризовали по сумме признаков, отражающих микотоксикологическое качество зерна: видовой состав микобиоты зерна, количество ДНК наиболее значимых представителей грибов рода *Fusarium* и образуемых ими микотоксинов.

Состав растительно-микробных ассоциаций зависит от генотипа растения и окружающей среды. Условия вегетационного периода 2019 г. в Московской области способствовали значительной инфицированности зерна овса грибом *F. langsethiae* и загрязнению Т-2/НТ-2-токсинами. Показано, что голозерные линии овса были значительно более устойчивы к фузариозу зерна и накоплению микотоксинов, чем пленчатый сорт 'Яков'. По результатам настоящего исследования, к наиболее устойчивым к фузариозу зерна генотипам овса относились голозерные линии 66h2618, 54h2476 и 70h2613.

Исследование выполнено при поддержке РНФ (проект № 19-76-30005).

The research was performed with a support of the Russian Scientific Foundation (Project No. 19-76-30005).

References/Литература

Andersen B., Krøger E., Roberts R.G. Chemical and morphological segregation of *Alternaria arborescens*, *A. infectoria* and *A. tenuissima* species-groups. *Mycological Research*. 2002;106(2):170-182. DOI: 10.1017/S0953756201005263

Batalova G.A. Perspectives and results of naked oats breeding. *Legumes and Groat Crops.* 2014;2(10):64-69. [in Russian] (Баталова Г.А. Перспективы и результаты селекции голозерного овса. *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2014;2(10):64-69).

Bensch K., Braun U., Groenewald J.Z., Crous P.W. The genus *Cladosporium. Studies in Mycology*. 2012;72(1):1-401. DOI: 10.3114/sim0003

Condon B.J., Leng Y., Wu D., Bushley K.E., Ohm R.A., Otillar R. et al. Comparative genome structure, secondary metabolite, and effector coding capacity across *Cochliobolus* pathogens. *PLOS Genetics*. 2013;9(1):e1003233. DOI: 10.1371/journal.pgen.1003233

Divon H.H., Bøe L., Tveit M.M.N., Klemsdal S.S. Infection pathways and penetration modes of *Fusarium langsethiae*. *European Journal of Plant Pathology*. 2019;154(2):259-271. DOI: 10.1007/s10658-018-01653-3

Ellis M.B. Dematiaceous Hyphomycetes. Kew, Surrey: Commonwealth Mycological Institute; 1971.

Gagkaeva T.Yu., Gavrilova O.P. Contamination of oats grain by fungi and pollution by mycotoxins in the northwest of Russia in 2014. *Zashchita i karantin rasteniy = Plant Protection and Quarantine*. 2015;(8):10-12. [in Russian] (Гагкаева Т.Ю., Гаврилова О.П. Зараженность грибами и загрязнение микотоксинами зерна овса на Северо-Западе России в 2014 г. *Защита и карантин растений*. 2015;(8):10-12).

Gagkaeva T.Yu., Gavrilova O.P., Levitin M.M. Biodiversity and distribution of the main toxigenic *Fusarium* fungi. *Biosfera = Biosphere*. 2014;6(1):36-45. [in Russian] (Гагкаева Т.Ю., Гаврилова О.П., Левитин М.М. Биоразнообразие и ареалы основных токсинопродуцирующих грибов рода *Fusarium. Биосфера*. 2014;6(1):36-45).

Gagkaeva T.Yu., Gavrilova O.P. Orina A.S., Blinova E.B., Loskutov I.G. Diversity of the species of genus *Avena* revealed by morphological characters and resistance to *Fusarium* infection of grain. *Ecological Genetics*. 2017:15(1):20-29. [in Russian] (Гагкаева Т.Ю., Гаврилова О.П., Орина А.С., Блинова Е.В., Лоскутов И.Г. Разнообразие видов рода *Avena* по морфологическим признакам и устойчивости к фузариозу зерна. *Экологическая генетика*. 2017:15(1):20-29). DOI: 10.17816/ecogen15120-29

Gagkaeva T.Yu., Gavrilova O.P., Yli-Mattila T., Loskutov I.G. Sources of resistance to *Fusarium* head blight in VIR oat collection. *Euphytica*. 2013;191(3):355-364. DOI: 10.1007/s10681-013-0865-7

Gannibal F.B. *Alternaria* disease of grain – modern view of the problem. *Zashchita i karantin rasteniy = Plant Protection and Quarantine*. 2014;(6):11-15. [in Russian] (Ганнибал Ф.Б. Альтернариоз зерна – современный взгляд на проблему. *Защита и карантин растений*. 2014;(6):11-15).

Gannibal Ph.B. Factors affected *Alternaria* appearance in grains in European Russia. *Agricultural Biology.* 2018:53(3):605-615. [in Russian] (Ганнибал Ф.Б. Изучение факторов, влияющих на развитие альтернариоза зерна у злаков, возделываемых в европейской части России. *Сельскохозяйственная*

биология. 2018:53(3):605-615). DOI: 10.15389/agrobiology.2018.3.605rus

Gavrilova O.P., Gagkaeva T.Yu., Burkin A.A., Kononenko G.P. Mycological infection by *Fusarium* strains and mycotoxins contamination of oats and barley in the north of Nonchernozem'e. *Agricultural Biology.* 2009a;6:89-93. [in Russian] (Гаврилова О.П., Гагкаева Т.Ю., Буркин А.А., Кононенко Г.П. Зараженность грибами рода *Fusarium* и контаминация микотоксинами зерна овса и ячменя на севере Нечерноземья. *Сельскохозяйственная биология.* 2009a;6:89-93).

Gavrilova O.P., Gagkaeva T.Yu., Loskutov I.G. Evaluation of oat accessions from the VIR collection for fusarial head blight resistance *Bulletin of Applied Botany, Genetics and Plant Breeding.* 2009b;165:182-186. [in Russian] (Гаврилова О.П., Гагкаева Т.Ю., Лоскутов И.Г. Характеристика устойчивости образцов овса из коллекции ВИР к фузариозу зерна. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2009b; 165:182-186).

Gavrilova O.P., Gannibal Ph.B., Gagkaeva T.Yu. *Fusarium* and *Alternaria* fungi in grain of oats grown in the North-Western Russia regarding cultivar specificity. *Agricultural Biology.* 2016;51(1):111-118. [in Russian] (Гаврилова О.П., Ганнибал Ф.Б., Гагкаева Т.Ю. Зараженность зерна овса грибами *Fusarium* и *Alternaria* и ее сортовая специфика в условиях Северо-Запада России. *Сельскохозяйственная биология*. 2016;51(1):111-118). DOI: 10.15389/agrobiology.2016.1.111rus

Gavrilova O.P., Gribchenko E.S., Loskutov I.G., Gagkaeva T. Yu. Influence of a flower film on the mycobiota of oat genotypes (Vlianiye tsvetkovoy plenki na mikobiotu genotipov ovsa). In: Yu.T. Dyakov (ed.). *Current Mycology in Russia. Vol. 5. Proceedings of the III International Mycological Forum; April 14–15, 2015; Moscow, Russia*. Moscow: National Academy of Mycology; 2015. p.44-46. [in Russian] (Гаврилова О.П., Грибченко Э.С., Лоскутов И.Г., Гагкаева Т.Ю. Влияние цветковой пленки на микобиоту генотипов овса. В кн.: *Современная микология в России Т. 5. Материалы III Международного микологического форума; 14–15 апреля 2015 г., Москва, Россия* / под ред. Ю.Е. Дьякова. Москва: Национальная академия микологии; 2015. С.44-46). URL: http://www.mycology.ru/files/cmr2015vol5.pdf [дата обращения: 05.03.2020].

Gavrilova O.P., Skritnika A., Gagkaeva T.Yu. Identification and characterization of spontaneous auxotrophic mutants in *Fusarium langsethiae*. *Microorganisms*. 2017;5(2):E14. DOI: 10.3390/microorganisms5020014

Gerlach W., Nirenberg H.I. The genus *Fusarium* – a pictorial atlas. *Mitteilungen der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft.* 1982;209:1-406.

Methodology of state crop variety trials. Second issue. Cereals, groats, legumes, maize, and fodder crops (Metodika gosudarstvennogo sortoispytaniya selskokhozyaystvennykh kultur. Vypusk vtoroy. Zernovye, krupyanye, zernobobovye, kukuruza i kormovye kultury). Moscow: Gosagroprom SSSR; 1989. [in Russian] (Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Выпуск второй. Зерновые, крупяные, зернобобовые, кукуруза и кормовые культуры. Москва: Госагропром СССР; 1989). URL: https://docplayer.ru/28203913-Metodika-gosudarstvennogo-sortoispytaniya-selskohozyaystvennyh-kultur.html [дата обращения: 05.03.2020].

Goncharenko A.A. Moscow Breeding Center for Cereals: history, achievements, problems and prospects (Moskovskiy selektsionny tsentr po zernovym kulturam: istoria, dostizheniya, problemy i perspektivy). *Informatsionny vestnik VOGiS = Bulletin of the Vavilov Society of Geneticists and Plant Breeders*. 2005;9(3):324-332. [in Russian] (Гончаренко А.А. Московский селекционный центр по зерновым культурам: история, достижения, проблемы и перспективы. *Информационный вестник ВОГиС*. 2005;9(3): 324-332).

Imathiu S.M., Ray R.V., Back M., Hare M., Edwards S.G. *In vitro* growth characteristics of *Fusarium langsethiae* isolates recovered from oats and wheat grain in the UK. *Acta Phytopathologica et Entomologica Hungarica*. 2016;51(2):159-170. DOI: 10.1556/038.51.2016.2.1

Imathiu S.M., Ray R.V., Back M.I., Hare M.C., Edwards S.G. A survey investigating the infection of *Fusarium langsethiae* and production of HT-2 and T-2 mycotoxins in UK oat fields. *Journal of Phytopathology*. 2013;161(7-8):553-561. DOI: 10.1111/jph.12105

Isachkova O.A., Ganichev B.L. Sources of economically valuable signs and their combination for breeding naked oat in Western Siberia. *Mezhdunarodny nauchno-issledovatelskiy zhurnal = International Research Journal*. 2013;4-1(11):127-131. [in Russian] (Исачкова О.А., Ганичев Б.Л. Источники хозяйственно ценных признаков и их комплекса для селекции голозерного овса в Западной Сибири. *Международный научно-исследовательский журнал*. 2013;4-1(11):127-131).

Ivanova Y.S., Fomina M.N. Technological evaluation of grain in collection samples of naked oat in the conditions of Northern forest-steppe of the Tyumen region. *Agricultural Science Euro-North-East*. 2017;5(60):4-9. [in Russian] (Иванова Ю.С., Фомина М.Н. Технологическая оценка зерна коллекционных образцов овса голозерного в условиях северной лесостепи Тюменской области. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2017;5(60):4-9).

Jensen B.D., Knorr K., Nicolaisen M. *In vitro* competition between *Fusarium graminearum* and *Epicoccum nigrum* on media and wheat grains. *European Journal of Plant Pathology*. 2016;146(3):657-670. DOI: 10.1007/s10658-016-0950-6

Kabashov A.D., Kolupaeva A.S., Leybovich Y.G., Razumovskaya L.G., Filonenko Z.V. Preliminary results of hull-less oats breeding. *Selektsiya, semenovodstvo i genetika = Breeding, Seed Production and Genetics*. 2018;4(4):20-24. [in Russian] (Кабашов А.Д., Колупаева А.С., Лейбович Я.Г., Разумовская Л.Г., Филоненко З.В. Предварительные итоги селекции голозерного овса. *Селекция, семеноводство и генетика*. 2018;4(4):20-24). DOI: 10.24411/2413-4112-2018-10003

Kabashov A.D., Mamedov R.Z., Leybovich Ya.G. The actual directions in oats selection at the present stage. *The Bulletin of Izhevsk State Agricultural Academy.* 2013;1(34):25-28. [in Russian] (Кабашов А.Д., Мамедов Р.З., Лейбович Я.П. Актуальные направления в селекции овса на современном этапе. *Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии*. 2013;1(34):25-28).

Kosiak B, Torp M, Skjerve E, Andersen B. *Alternaria* and *Fusarium* in Norwegian grains of reduced quality – a matched pair sample study. *International Journal of Food Microbiology.* 2004;93(1):51-62. DOI: 10.1016/j.ijfoodmicro.2003.10.006

Lee H.B., Patriarca A., Magan N. *Alternaria* in food: ecophysiology, mycotoxin production and toxicology. *Mycobiology*. 2015;43(2):93-106. DOI: 10.5941/MYCO.2015.43.2.93

Li Y., Wang Z., Beier R.C., Shen J., De Smet D., De Saeger S. et al.. T-2 toxin, a trichothecene mycotoxin: review of toxicity, metabolism, and analytical methods. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2011;59(8):3441-3453. DOI: 10.1021/jf200767q

Loskutov I.G., Blinova E.B., Gavrilova O.P., Gagkaeva T. Yu. The valuable characteristics of oats genotypes and resistance to *Fusarium* disease. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2016;20(3):286-294. [in Russian] (Лоскутов И.Г., Блинова Е.В., Гаврилова О.П., Гагкаева Т.Ю. Разнообразие культурного овса по хозяйственно ценным признакам и их связь с устойчивостью к фузариозу. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2016;20(3):286-294). DOI: 10.18699/VJ16.151

Martin C., Schöneberg T., Vogelgsang S., Mendes Ferreira C.S., Morisoli R., Bertossa M. et al. Responses of oat grains to *Fusarium poae* and *F. langsethiae* infections and mycotoxin contaminations. *Toxins*. 2018;10(1):E47. DOI: 10.3390/toxins10010047

Mazzara M., Paoletti C., Puumalaainen J., Rasulo D., Van Den Eede G. Event-Specific Method for the Quantitation of Maize Line NK603 Using Real-Time PCR –Validation Report and Protocol. EUR 21825. JRC32103. Ispra: European Commission; 2005.

Nikolaev Yu.N., Androsova O.V. Seed production and nurseries in the Russian Federation: analytical statistics (Semenovodstvo i pitomnikovodstvo RF: analiticheskaya statistika). *Vestnik Rosselhozcentra = Bulletin of the Russian Agricultural Center*. 2018;(1):13-16. [in Russian] (Николаев Ю.Н., Андросова О.В. Семеноводство и питомниководство РФ: аналитическая статистика. *Вестник Россельхозцентра*. 2018;(1):13-16).

Oviedo M.S., Sturm M.E., Reynoso M.M., Chulze S.N., Ramirez M.L. Toxigenic profile and AFLP variability of *Alternaria alternata* and *Alternaria infectoria* occurring on wheat. *Brazilian Journal of Microbiology*. 2013;44(2):447-455. DOI: 10.1590/S1517-83822013000200017

Samson R.A., Hoekstra E.S., Frisvad J.C., Filtenborg O. (eds). Introduction to Food- and Airborne Fungi (revised 6th edition). Utrecht: Centraalbureau voor Schimmelcultures; 2002.

SanPiN 2.3.2.1078-01. Hygienic requirements for safety and nutritional value of food products. Chief Sanitary Inspector of the Russian Federation. Resolution of November 14, 2001, No. 36 "Concerning the introduction of sanitary regulations" (with amendments of July 6, 2011. [in Russian] (СанПиН 2.3.2.1078-01. Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов. Главный санитарный врач Российской Федерации. Постановление от 14 ноября 2001 года № 36 «О введении в действие санитарных правил» (с изменениями на 6 июля 2011 года). URL: http://docs.cntd.ru/document/901806306 [дата обращения: 12.02.2020].

Schöneberg T., Kibler K., Wettstein F.E., Bucheli T.D., Forrer H.R., Musa T. et al. Influence of temperature, humidity duration and growth stage on the infection and mycotoxin production by *Fusarium langsethiae* and *Fusarium poae* in oats. *Plant Pathology*. 2019;68(1):173-184. DOI: 10.1111/ppa.12922

Schuhmacher-Wolz U., Heine K., Schneider K. Report on toxicity data on trichothecene mycotoxins HT-2 and T-2 toxins. *EFSA Supporting Publications*. 2010;7(7):65E. DOI: 10.2903/sp.efsa.2010.EN-65

Šliková S., Šrobárová A., Šudyová V., Polišenská I., Gregová E., Mihálik D. Response of oat cultivars to *Fusarium* infection with a view to their suitability for food use. *Biologia.* 2010;65(4):609-614. DOI: 10.2478/s11756-010-0055-1

Stenglein S.A. *Fusarium poae*: a pathogen that needs more attention. *Journal of Plant Pathology.* 2009;91(1):25-36. DOI: 10.4454/jpp.v91i1.621

Tekauz A.B., Mitchell Fetch J.W., Rossnagel B.G., Savard M.E. Progress in assessing the impact of *Fusarium* head blight on oat in western Canada and screening of *Avena* germplasm for resistance. *Cereal Research Communications*. 2008;36:49-56. DOI: 10.1556/CRC.36.2008.Suppl.B.8

Tekle S., Lillemo M., Skinnes H., Reitan L., Buraas T., Bjørnstad Å. Screening of oat accessions for *Fusarium* head blight resistance using spawn-inoculated field experiments. *Crop Science*. 2018;58(1):143-151. DOI: 10.2135/cropsci2017.04.0264

Tihonovich I.A., Provorov N.A. Agricultural microbiology as the basis of ecologically sustainable agriculture: fundamental and applied aspects. *Agricultural Biology.* 2011;46(3):3-9. [in Russian] (Тихонович И.А., Проворов Н.А. Сельскохозяйственная микробиология как основа экологически устойчивого агропроизводства: фундаментальные и прикладные аспекты. *Сельскохозяйственная биология*. 2011;46(3):3-9).

Torp M., Nirenberg H.I. *Fusarium langsethiae* sp. nov. on cereals in Europe. *International Journal of Food Microbiology*. 2004;95(3):247-256. DOI: 10.1016/j.ijfoodmicro.2003.12.014

TR CU 015/2011. Technical Regulations of the Customs Union "On grain safety" with the changes of September 15, 2017. [in Russian] (ТР ТС 015/2011. Технический регламент Таможенного союза «О безопасности зерна» с изменениями на 15 сентября 2017 г.). URL: http://docs.cntd.ru/document/902320395 [дата обращения: 12.02.2020].

TR CU 021/2011. Council of the Eurasian Economic Commission. Resolution of August 8, 2019, No. 115. Amendments to the Technical Regulations of the Customs Union "On food safety" (TR CU 021/2011). [in Russian] (ТР ТС 021/2011. Совет Евразийской экономической комиссии. Решение от 8 августа 2019 года № 115 «О внесении изменений в технический регламент Таможенного союза "О безопасности пищевой продукции" [ТР ТС 021/2011]). URL: http://docs.cntd.ru/document/564134628 [дата обращения: 12.02.2020].

Ueno Y. Toxicological features of T-2 toxin and related trichothecenes. *Fundamental and Applied Toxicology*. 1984;4(2, Pt 2):S124-S132. DOI: 10.1016/0272-0590(84)90144-1

Vargach J.I., Golovin S.E., Loskutov I.G. Research on micromycetes in oats (*Avena sativa* L.) under the conditions of Stupino District, Moscow Province. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2019;180(3):96-105. [in Russian] (Варгач Ю.И., Головин С.Е., Лоскутов И.Г. Изучение микромицетов на овсе посевном (*Avena sativa* L.) в условиях Ступинского района Московской области. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2019;180(3):96-105). DOI: 10.30901/2227-8834-2019-3-96-105

Vogelgsang S., Sulyok M., Hecker A., Jenny E., Krska R., Schuhmacher R. et al. Toxigenicity and pathogenicity of *Fusarium poae* and *Fusarium avenaceum* on wheat.

European Journal of Plant Pathology. 2008;122(2):265-276. DOI: 10.1007/s10658-008-9279-0

Yan W., Fregeau-Reid J., Rioux S., Pageau D., Xue A., Martin R. et al. Response of oat genotypes to *Fusarium* head blight in Eastern Canada. *Crop Science*. 2010;50(1):134-142. DOI: 10.2135/cropsci2009.03.0129

Yli-Mattila T., Paavanen-Huhtala S., Jestoi M., Parikka P., Hietaniemi V., Gagkaeva T. et al. Real-time PCR detection and quantification of *Fusarium poae*, *F. graminearum*, *F. sporotrichioides* and *F. langsethiae* in cereal grains in Finland and Russia. *Archives of Phytopathology and Plant Protection*. 2008;41(4):243-260. DOI: 10.1080/03235400600680659

Zhuikova O.A., Batalova G.A. Analysis of the development of main diseases in naked oat varieties in the filmed nursery of the competitive trials at the North-Eastern FASC (Analiz proyavleniya osnovnykh bolezney sortov ovsa plenchatogo pitomnika konkursnogo ispytaniya FANTs Severo-Vostoka). In: G.A. Batalova, E.M. Lisitsyn, T.K. Sheshegova, I.N. Shchennikova, E.I. Utkina (eds). *Proceedings of the V Scientific and Practical Conference "Methods and Technologies in Plant Breeding and Plant Growing"* (*Materialy V Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Metody i tekhnologii v selektsii rasteniy i rasteniyevodstve"*). Kirov: North-Eastern FASC; 2019. p.21-24. [in Russian] (Жуйкова О.А., Баталова Г.А. Анализ проявления основных болезней сортов овса пленчатого питомника конкурсного испытания ФАНЦ Северо-Востока. В кн: *Материалы V Международной научно-практической конференции «Методы и технологии в селекции растений и растениеводстве»* / под ред. Г.А. Баталовой, Е.М. Лисицына, Т.К. Шешеговой, И.Н. Щенникова, Е.И. Уткиной. Киров: ФАНЦ Северо-Востока; 2019. С.21-24). URL: http://fanc-sv.ru/uploads/docs/2019/Konferenciya-Batalova-2019.pdf [дата обращения: 05.03.2020].

Прозрачность финансовой деятельности / The transparency of financial activities

Авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

The authors declare the absence of any financial interest in the materials or methods presented.

Для цитирования / How to cite this article

Гаврилова О.П., Гагкаева Т.Ю., Орина А.С., Маркова А.С., Кабашов А.Д., Лоскутов И.Г. Микобиота зерна селекционных линий овса ФИЦ «Немчиновка» конкурсного сортоиспытания на полях в Московской области в 2019 году. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2020;181(2):134-144. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-2-134-144

Gavrilova O.P., Gagkaeva T.Yu., Orina A.S., Markova A.S., Kabashov A.D., Loskutov I.G. Mycobiota in the grain of the oat breeding lines produced in 2019 in competitive variety trials on the fields of Nemchinovka Federal Research Center, Moscow Province. Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding. 2020;181(2):134-144. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-2-134-144

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы / The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work

Дополнительная информация / Additional information

Полные данные этой статьи доступны / Extended data is available for this paper at https://doi.org/10.30901/2227-8834-2020-2-134-144

Мнение журнала нейтрально к изложенным материалам, авторам и их месту работы / The journal's opinion is neutral to the presented materials, the authors, and their employer

Все авторы одобрили рукопись / All authors approved the manuscript

Конфликт интересов отсутствует / No conflict of interest

ORCID
Gavrilova O.P. https://orcid.org/0000-0002-5350-3221
Gagkaeva T.Yu. https://orcid.org/0000-0002-3276-561X
Orina A.S. https://orcid.org/0000-0002-7657-6618
Markova A.S. https://orcid.org/0000-0002-2528-1422
Kabashov A.D. https://orcid.org/0000-0002-7450-3845
Loskutov I.G. https://orcid.org/0000-0002-9250-7225