

ВЛИЯНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ТОКСИНОВ *FUSARIUM CULMORUM* НА МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИЗНАКИ ПРОРОСТКОВ ТРИТИКАЛЕ (× *Triticosecale* Wittm.)

И.Н. ВОРОНЧИХИНА, В.С. РУБЕЦ

(РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева)

Тритикале имеет ряд нерешенных селекционно-генетических проблем, одной из которых является восприимчивость к фузариозу колоса, который в условиях Нечерноземной зоны приводит к формированию токсичного зерна. Грибы рода Fusarium являются факультативными паразитами, в связи с чем создание устойчивых сортов является трудной задачей. Наличие в селекционном процессе большого числа образцов предполагает использование экспресс-методов, позволяющих быстро и объективно дифференцировать генотипы по устойчивости. Полевые методы длительны, трудоемки и проводятся только летом. Поэтому важно разработать косвенный метод лабораторной оценки, чтобы проводить анализ образцов в зимний период, используя резерв семян.

Экспресс-метод основан на сравнении длины различных частей проростков тритикале, полученных при проращивании семян в контроле (вода) и на растворах с разной концентрацией фузариевых токсинов. Материалом служили семена неустойчивых сортов Виктор и Кастусь и устойчивого сорта Дон. Фузариевые токсины получали, выращивая мицелий изолята С 99 гриба Fusarium culmorum в жидкой питательной среде.

Рост проростков тритикале и их частей находится в отрицательной зависимости от концентрации фузариевых токсинов. Максимальное подавление роста происходит при максимальной концентрации токсинов. Разведения 1:3, 1:4 и 1:5 оказались непригодными для сравнительной оценки генотипов. Отличие устойчивых сортов тритикале заключается в отсутствии достоверных различий между значением признака в контроле и при максимальной концентрации токсинов.

Корни наиболее чувствительны к действию фузариевых токсинов. Поэтому для сравнительной оценки генотипов наиболее пригодно сравнение длины корней в контроле и при максимальной концентрации токсинов. Наличие достоверных различий является критерием отсутствия устойчивости у генотипа. Для выделения устойчивых растений тритикале из популяции лучше всего подходит вариант с разведением 1:2. В этом варианте отмечено максимальное варьирование признаков.

Ключевые слова: тритикале, фузариоз колоса, устойчивость, фузариотоксин

Введение

Искусственно созданная культура тритикале объединяет геномы родительских видов – пшеницы и ржи. Она позволяет значительно увеличивать генетический потенциал урожайности по сравнению с исходными видами. Являясь эволюционно очень молодой культурой, тритикале имеет ряд нерешенных селекционно-генетических проблем, которые ограничивают ее посевные площади [1]. Среди прочих у тритикале все большее значение приобретает проблема устойчивости к болезням. В целом, в сравнении с исходными видами, тритикале обладает повышенной устойчивостью к большинству болезней. Из грибных

болезней она восприимчива к мучнистой росе, бурой ржавчине и фузариозу колоса [10, 14].

Фузариоз колоса – болезнь, вызываемая несовершенными грибами (класс *Hyphomycetes*) из рода *Fusarium*. Эпифитии фузариоза колоса наносят существенный урон урожайности и качеству продукции большинства зерновых культур [2, 3, 12]. Фузариоз колоса проявляется на колосковых чешуях и зерне, в явной и скрытой форме. Он особенно опасен вследствие формирования скрытой зараженности, когда нормальные по внешнему виду зерна содержат фузариотоксины, вызывающие различные отравления у человека и животных [6, 12, 15]. Наиболее часто эпифитии фузариоза колоса возникают на Юге РФ, в Амурской области и Приморском крае. Создание сортов, устойчивых к этому опасному заболеванию, является чрезвычайно актуальным для этих регионов. Центральный регион относят к зоне слабой и умеренной зараженности семян, поэтому проблеме фузариоза колоса тритикале уделяется недостаточное внимание в селекционных учреждениях этой зоны [6, 16].

Проблема фузариозов очень сложна для решения вследствие их большой распространенности и вредоносности, вызывающей социальные, гигиенические и экономические последствия. В России с 1990 г. проблема фузариоза колоса стала общегосударственной [6, 9].

Различные по климатическим условиям регионы имеют различный набор видов *Fusarium*, в зависимости от требований этих видов к температуре и влажности. В Центральном регионе встречается около 10 видов фузариев, заражающих семена зерновых культур. Однако максимальную частоту распространения имеют 4 вида: *F. sporotrichoides*, *F. poae*, *F. avenaceum* и *F. culmorum*. Все они являются токсинообразующими, но наиболее активными токсинообразователями являются *F. avenaceum* и *F. culmorum* [5, 6, 16].

Токсины фузариев вызывают некрозы растительных тканей. Они включают в себя около 148 токсичных соединений, из которых наиболее распространен DON (дезоксиниваленол). Часть токсинов (фумонизины) являются канцерогенами. Сапонин, спорофузарин и др. являются токсическими стеролами. Фузариевая кислота обладает общеплазматическим токсическим действием на клетки животных и растений [2, 3, 6, 18].

Виды рода *Fusarium* не имеют строгой приуроченности к определенной культуре, поскольку являются широко специализированными факультативными паразитами, способными жить на растительных остатках, что обеспечивает постоянное наличие инфекционного начала в почве. Факультативный характер паразитирования фузариев определяет отсутствие отношения ген-на-ген с растениями-хозяевами, свойственного облигатным паразитам. Кроме того, эти грибы принадлежат к одной из наиболее вариабельных и подвижных в эволюционном отношении групп грибов, имеющих гетерокариотичный мицелий. При отсутствии половой стадии гетерокариоз является основным механизмом изменчивости у дейтеромицетов, выражающейся в изменении в мицелии грибов числа генетически различных ядер, а также в рекомбинации признаков. Рекомбинация у данных грибов происходит не при мейозе, а при митозе (парасексуальный процесс). Это обуславливает трудности в изучении наследования устойчивости растений к фузариам и в создании устойчивых сортов. Для многих зерновых культур показано отсутствие иммунитета к фузариам, имеется лишь некоторая устойчивость [12, 13, 20].

У пшеницы устойчивость к фузариозу наследуется как количественный признак и обусловлена аддитивным действием генов [20]. У тритикале наследование устойчивости к фузариозу колоса изучено слабо. Показано, что признак контролируется большим числом генов и характеризуется широким спектром изменчивости под влиянием условий вегетации [11]. Известно 17 QTL (*Quantitative Trait Loci*), 6 из

которых локализованы в ржаной части генома тритикале (хромосомы 4R, 5R, 7R), остальные – на хромосомах пшеницы [18]. Низкостебельные сорта тритикале, имеющие ген *dw1* на ржаной хромосоме 5R, обладают повышенной восприимчивостью к фузариозу колоса, что затрудняет создание неполегающих и устойчивых к фузариозу колоса сортов [17, 18]. Устойчивые формы тритикале обладают ингибиторами α -амилазы, неустойчивые – большим разнообразием β -амилазы в зерне, что рассматривается как часть молекулярного механизма взаимодействия, связанного с устойчивостью к фузариозу колоса [19].

Все вышеизложенное показывает, насколько важна и неоднозначна задача создания сортов зерновых, устойчивых к фузариозу колоса, способных давать зерно, свободное от токсинов, что является основой продовольственной безопасности для людей и животных.

Создание сортов зерновых культур, устойчивых к фузариозу, предполагает отбор устойчивых генотипов под воздействием дифференцирующей среды и последующую их оценку [13]. В качестве дифференцирующей среды можно использовать инфекционный фон (естественный или искусственный) с живыми возбудителями болезни, а также воздействие продуктов метаболизма патогена на растение или его части. Оценка можно проводить как в полевых, так и в лабораторных условиях.

Наиболее полную характеристику взаимодействия растения с популяцией патогенов дает полевая оценка на инфекционном фоне, при которой выявляется весь комплекс пассивных и активных факторов иммунитета. Однако полевую оценку можно проводить только один раз в год, ее успешность зависит от наличия условий для развития болезни. Поэтому в селекции часто полевую оценку устойчивости к болезням дополняют лабораторной, которую можно проводить в межсезонный период в контролируемых условиях [13].

Поскольку фузариоз являются токсинообразующими некротрофными патогенами, то при лабораторной оценке в качестве теста используют устойчивость растений к основному фактору патогенности – токсинам. Известно, что устойчивость к токсинам клеток и молодых растений коррелирует с устойчивостью взрослых растений, поэтому для анализа используют проростки, полученные на культуральной среде, содержащей токсины. Устойчивость образцов оценивают по степени ингибирования роста растений или их частей в сравнении с контрольными растениями, полученными на воде. Такой метод широко используют для оценки устойчивости растений к грибам, являющимся факультативными паразитами, в том числе и фузариям [2, 13]. Для его успешного применения при оценке большого количества селекционных образцов важно выявить, как изменяются морфологические признаки проростков конкретной культуры, полученные при проращивании семян на среде, содержащей токсин различной концентрации, в сравнении с контролем.

Цель данной работы состояла в том, чтобы установить влияние концентрации токсина изолята С 99 гриба *Fusarium culmorum* на развитие морфологических признаков проростков тритикале для разработки экспресс-метода лабораторной оценки устойчивости селекционных образцов к фузариозу колоса. Под морфологическими признаками проростков подразумевается длина надземной части, корней и целых растений.

Материал и методика

Работа выполнена в 2014–2015 гг. на кафедре генетики, биотехнологии, селекции и семеноводства и Полевой опытной и Селекционной станциях им. П.И. Лисицына РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева, которые находятся в типичных для Центрального региона России условиях Нечерноземной зоны.

В качестве объектов исследования были использованы семена трех сортов озимой гексаплоидной тритикале – Дон (Донской зональный НИИСХ), Виктор (Московский НИИСХ «Немчиновка») и Кастусь (Беларусь), предварительная оценка которых позволила считать Дон устойчивым к фузариозу колоса, а два других сорта – нет. По описанию, сорт Дон характеризуется слабой восприимчивостью к фузариозу колоса, в его геноме присутствует хромосома 6D, отвечающая за устойчивость к этому заболеванию [7].

Для исследований были использованы семена тритикале урожая 2011 и 2014 гг. В эти годы были отмечены контрастные метеорологические условия в период формирования семян. Таким способом можно было бы вычленить влияние условий формирования семян на способность выросших из них растений сопротивляться стрессовым факторам (отравлению фузариевыми токсинами).

В 2011 г. формирование семян (первая декада июня) проходило в условиях повышенной температуры и засухи, что привело к мелкосемянности. Дальнейшее развитие семян шло при умеренных температурах и повышенной влажности, что способствовало хорошей выполненности семян и развитию в них скрытого прорастания вследствие повышенной амилолитической активности. Созревание семян (первая половина июля) проходило при повышенной температуре и нормальных условиях увлажнения. Таким образом, семена тритикале, полученные в 2011 г., формировались при относительно неблагоприятных метеорологических условиях, что в дальнейшем могло сказаться на результатах исследований, поскольку повышенная активность амилаз является признаком пониженной устойчивости к фузариозу [19].

В 2014 г. формирование семян и фаза молочной спелости проходили в благоприятных условиях (температура и количество осадков были близки к среднегодовым значениям). Это позволило сформироваться крупным зерновкам. Однако наливы и созревание проходили при высокой температуре и дефиците осадков. Такие условия способствуют недостаточной выполненности эндосперма семян при их высоких посевных и технологических качествах.

Данные по метеорологическим условиям были любезно предоставлены Метеорологической обсерваторией имени В.А. Михельсона.

Ранее проведенные исследования [15] показали, что из местных популяций грибов Полевой опытной и Селекционной станций, расположенных на севере Москвы, фузариоз колоса тритикале чаще всего вызывает вид *Fusarium culmorum*. Наиболее агрессивный изолят С 99 этого гриба был любезно предоставлен нам для исследований А.А. Соловьевым и др. (2012).

Токсиносодержащий культуральный фильтрат получали путем выращивания гриба в течение 30 дней в жидкой питательной среде Мурасиге-Скуга, разбавленной в два раза дистиллированной водой, с добавлением 20 г сахара на 1 л [8]. Полученную суспензию дважды фильтровали. Культуральный фильтрат, полученный непосредственно после фильтрации, использовали в чистом виде и с разбавлением дистиллированной водой (фильтрат : вода) 1:1, 1:2, 1:3, 1:4 и 1:5. Контролем служила дистиллированная вода. Таким образом, в опыте было использовано 6 вариантов концентрации токсина гриба. Для каждого варианта брали по 5 дезинфицированных спиртом чашек Петри, раскладывали на дно по 2 кружка фильтровальной бумаги, стерилизованной в сушильном шкафу в течение 1 часа при температуре 130 °С [4]. В каждую чашку помещали по 20 зерен тритикале, предварительно продезинфицированных в 0,5 %-ном растворе марганцовокислого калия в течение 5 минут [4], и добавляли 10 мл культурального фильтрата определенной концентрации или дистиллированной воды. Через 3 суток в каждую чашку доливали по 3 мл соответствующей жидкости. Через 7 суток проводили измерение длины корешков и надземной

части растений. Устойчивыми считали образцы, которые не испытывали угнетения на токсиносодержащем культуральном фильтрате гриба в сравнении с контролем. Всего было проанализировано по 2100 растений за каждый год.

При статистической обработке данных использовали электронные таблицы программы «Microsoft Excel». На диаграммах в качестве статистического критерия достоверности различий приведены значения наименьшей существенной разности для каждого сорта отдельно.

Результаты и их обсуждение

Лабораторный метод оценки генотипов по их устойчивости к патогену является косвенным. Он основан на том, что молодые растения устойчивых и неустойчивых форм по-разному реагируют на отравление токсином гриба. При наличии корреляции со взрослыми растениями таким способом можно проводить анализ высейных селекционных номеров озимой тритикале в зимний период, используя резерв семян. Предполагается, что устойчивые к патогену генотипы будут реагировать слабее, чем неустойчивые.

Ниже представлены результаты анализа развития морфологических признаков проростков (длины корней, надземной части, длины целых проростков), полученных на разных концентрациях токсина фузариума для того, чтобы определить параметры эксперимента, при которых различия между устойчивыми и неустойчивыми генотипами будут наиболее заметны. Кроме того, представлены результаты оценки влияния метеорологических условий, сложившихся в период формирования семян, на их способность прорасти при различных концентрациях фузариевых токсинов.

Влияние концентрации фузариевых токсинов на формирование корневой системы проростков тритикале

Различия в развитии корней при прорастании зерен тритикале в различных вариантах разведения фузариевых токсинов было заметно уже на второй и третий дни проращивания. В контрольном варианте наблюдалось очень быстрое прорастание, характерное для семян тритикале. Задержка прорастания зерен особенно сильно проявилась в варианте с чистым культуральным фильтратом. В вариантах с разведениями также было отмечено подавление прорастания соответственно концентрации токсинов.



Рис. 1. Трехдневные проростки сорта Виктор на неразбавленном культуральном фильтрате (а) и в контроле (б). Стрелками показаны черные кончики корней

При развитии корневой системы проростков различных сортов тритикале на разных концентрациях токсинов были отмечены следующие особенности. В контрольном варианте корешки были тонкие, эластичные, росли по поверхности фильтровальной бумаги, пронизывали ее, создавая довольно трудно разделяемое переплетение (рис. 1б). Корни на чистом культуральном фильтрате отличались не только размерами. Они были более толстыми, упругими, часто направление их роста не соответствовало геотропизму – они торчали вверх, как бы избегая прикосновения с фильтровальной бумагой. Часто их кончики выглядели как бы обожженными (рис. 1а). Такие корешки почти не переплетались, и были относительно легко разделяемы при анализе.

У неустойчивых к фузариозу сортов тритикале Виктор и Кастусь развитие корней проростков соответствовало ожидаемому – самые длинные корни развились в контроле (на воде), самое сильное подавление роста наблюдалось на чистом культуральном фильтрате (рис. 2, 3, 4).

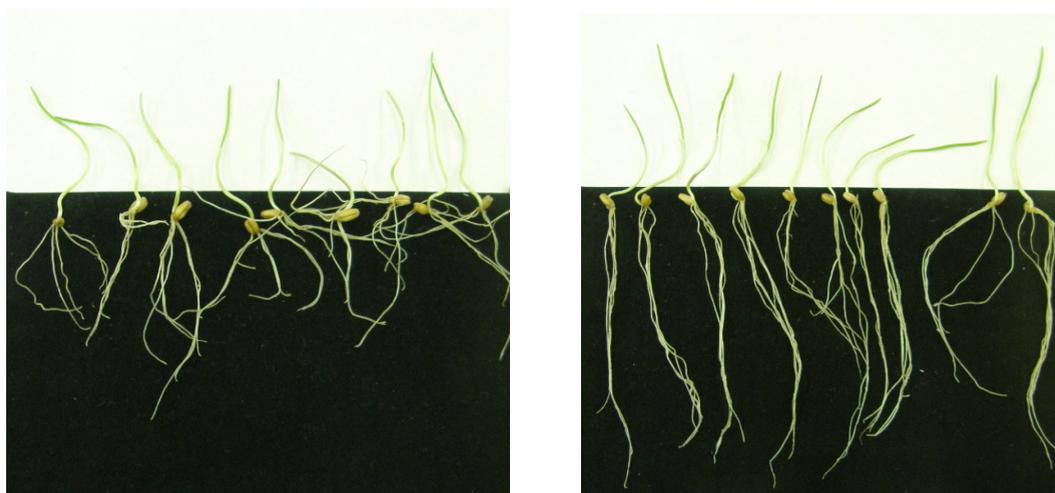


Рис. 2. Семидневные проростки сорта Виктор на неразбавленном культуральном фильтрате (а) и в контроле (б)

Варьирование признака в контрольном варианте опыта у обоих сортов в 2011 и в 2014 гг. слабое, тогда как на чистом фильтрате у сорта Виктор также слабое, а у сорта Кастусь варьируется от слабого (для проростков, полученных из семян 2011 г.) до сильного (для проростков, полученных из семян 2014 г.) (табл.). Одинаковые величины коэффициентов вариации в контроле и при самой высокой концентрации токсина, возможно, означает одинаковую реакцию изучаемых растений на условия среды (высокая концентрация токсинов одинаково подавляет рост клеток корней).

Таблица 4

Коэффициенты вариации для различных частей проростков в зависимости от концентрации фузариевых токсинов, %

Сорт	Разведение (культуральный фильтрат: вода)	Длина корешков		Длина надземной части проростков		Длина целых проростков	
		2011	2014	2011	2014	2011	2014
Виктор	Контроль (вода)	10	12	14	12	11	10

Сорт	Разведение (культуральный фильтрат: вода)	Длина корешков		Длина надземной части проростков		Длина целых проростков	
		2011	2014	2011	2014	2011	2014
	Чистый фильтрат	11	14	11	13	6	11
	1:1	16	21	15	12	15	17
	1:2	26	28	20	16	40	23
	1:3	30	7	20	10	26	8
	1:4	8	6	10	13	9	8
	1:5	17	6	20	5	18	5
Кастусь	Контроль (вода)	2	11	3	9	2	10
	Чистый фильтрат	27	7	24	7	25	11
	1:1	9	5	9	5	8	10
	1:2	22	34	9	13	16	13
	1:3	19	5	10	9	15	10
	1:4	6	23	5	20	6	12
Дон	Контроль (вода)	24	15	11	14	18	14
	Чистый фильтрат	24	11	19	22	22	15
	1:1	32	18	22	19	27	17
	1:2	24	24	21	22	22	23
	1:3	45	15	35	15	40	14
	1:4	34	12	13	17	24	12
	1:5	25	19	12	16	19	17

Далее подавление роста корней соответствовало разведению – чем меньше разведение, тем длиннее корни. Особенно характерная картина наблюдалась у сорта Кастусь для проростков, полученных из семян 2011 г. (рис. 3), и у сорта Виктор для проростков, полученных из семян 2014 г. (рис. 4). Однако наличие постоянных достоверных различий наблюдалось только в варианте с чистым культуральным фильтратом у обоих сортов.

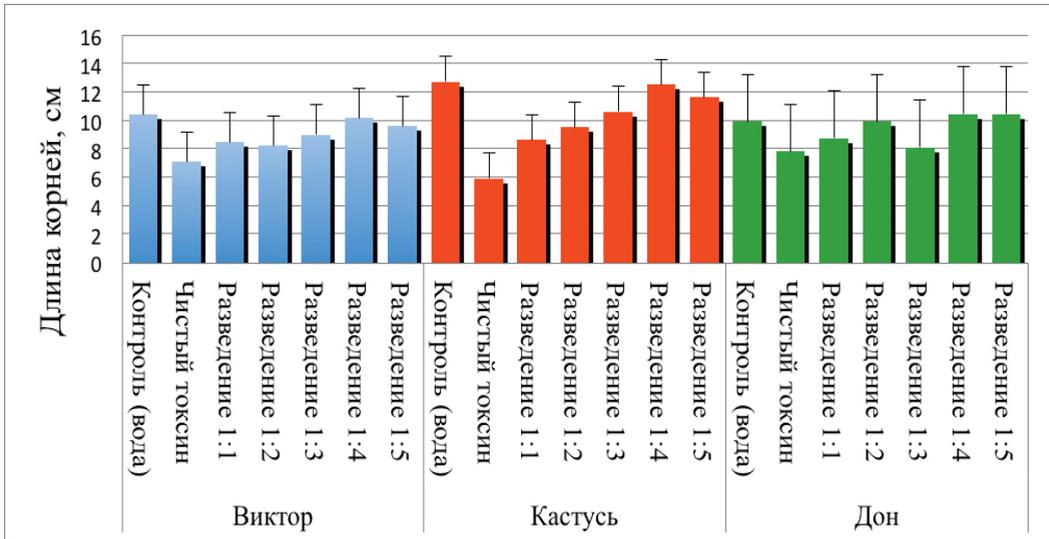


Рис. 3. Длина корней проростков тритикале, полученных из семян урожая 2011 г., в зависимости от концентрации фузаревых токсинов

В варианте с разведением 1:1 у проростков сорта Виктор, полученных из семян 2011 г., различие с контролем было на грани достоверного, в 2014 г. – достоверно. Для этого варианта коэффициенты вариации в 2011 и в 2014 гг. были уже высокими (табл.). Это говорит о популятивности сорта Виктор, о неодинаковой реакции на данную концентрацию токсина различающихся генотипов.

В варианте с разведением 1:2 достоверные различия с контролем наблюдались только у проростков, полученных из семян 2011 г. При этом в оба года варьирование признака было максимальным (табл.). Возможно, что варианты разведения фузариевых токсинов 1:1 и 1:2 можно использовать в дальнейшем в качестве дифференцирующего фона для отбора устойчивых генотипов с последующей высадкой относительно устойчивых проростков в стаканы с грунтом и доращиванием их в теплице до высадки в поле.

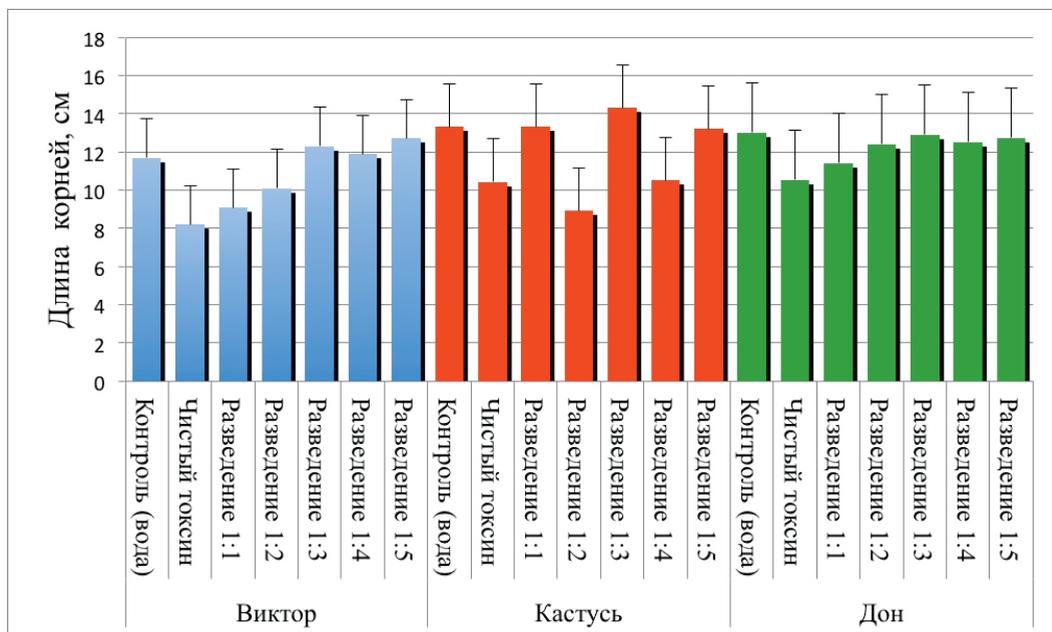


Рис. 4. Длина корней проростков тритикале, полученных из семян урожая 2014 г., в зависимости от концентрации фузариевых токсинов

Вариант с разведением 1:3 показывает некоторое подавление роста корней только у проростков, полученных из семян 2011 г. Дальнейшие концентрации фузариевых токсинов не оказывали влияния на рост корней проростков сорта Виктор.

У сорта Кастусь достоверное различие варианта разведения 1:1 от контроля наблюдается лишь для проростков, полученных из семян 2011 г., варианта 1:2 – в оба года, варианта 1:3 – только 2011 г. (рис. 3, 4) Возможно, такие результаты были получены вследствие наличия среди проростков отдельных растений с очень сильными отклонениями в росте от всех остальных. Поскольку при расчетах были использованы все полученные растения, то, возможно, именно эти случаи привели к несколько искаженным результатам. У сорта Кастусь также отмечены максимальные коэффициенты вариации в варианте с разведением 1:2 (табл.).

Формирование длины корешков проростков сорта Дон в целом идет аналогично рассмотренным сортам – максимальное подавление роста отмечено в варианте с чистым культуральным фильтратом. При снижении концентрации токсинов наблюдается соответствующее увеличение длины корней (рис. 3, 4). Однако, в отличие от других

сортов, ни в одном случае не выявлено достоверных различий с контролем. Во всех вариантах проращивания отмечено от среднего до сильного варьирование признака.

Анализ длины корней проростков, полученных в вариантах с различной концентрацией фузариевых токсинов, позволяет сказать, что вариант с чистым культуральным фильтратом является наилучшим для сравнительной оценки генотипов тритикале по устойчивости к фузариозу колоса, а вариант с разведением 1:2 – для выделения устойчивых растений из популяции.

Влияние концентрации фузариевых токсинов на формирование надземной части проростков тритикале

Результаты наших исследований показали, что надземная часть проростков, полученных в вариантах с различной концентрацией фузариевых токсинов, менее информативна в сравнении с корнями (рис. 5, 6).

У сорта Виктор длина надземной части проростков, полученных из семян 2011 г., во всех вариантах опыта была примерно одинаковой (рис. 5).

У проростков, полученных из семян 2014 г., развитие надземной части соответствовало ожидаемому: в контроле – самые длинные, в варианте с чистым культуральным фильтратом – самые короткие. Далее длина увеличивалась соответственно снижению концентрации токсинов (рис. 6). Однако достоверные различия со стандартом были отмечены только в варианте с чистым культуральным фильтратом.

Варьирование размеров надземной части проростков сорта Виктор оказалось ниже, чем их корней (табл.). Возможно, это говорит о меньшей чувствительности побегов к действию ядовитых веществ. В варианте с разведением 1:2 отмечено максимальное варьирование признака, что совпадает с результатами, полученными для корней.

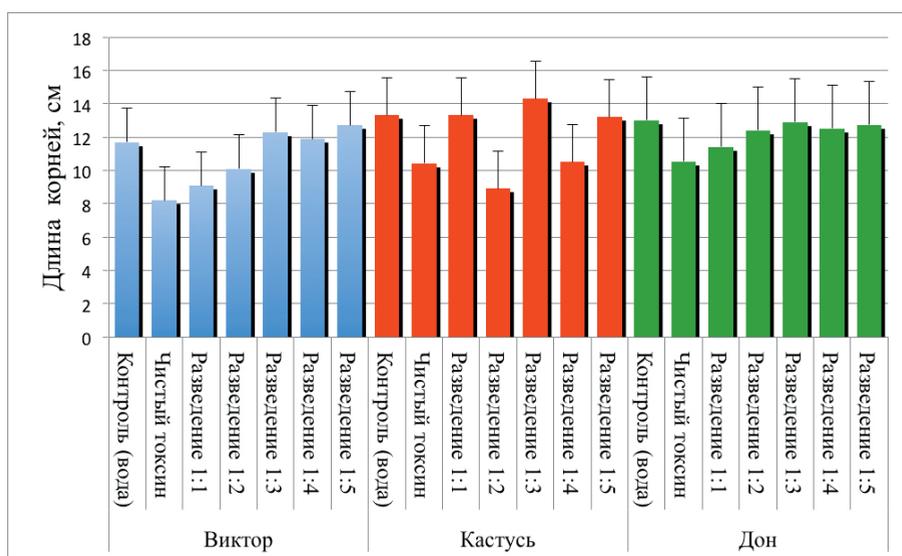


Рис. 5. Длина надземной части проростков тритикале, полученных из семян урожая 2011 г., в зависимости от концентрации фузариевых токсинов

У сорта Кастусь длина надземной части проростков, полученных из семян 2011 г., соответствует ожидаемому – подавление роста соответствует концентрации фузариевых токсинов (рис. 5). Видно, что только надземные части проростков в варианте с неразбавленным культуральным фильтратом достоверно короче стандарта. В этом варианте отмечено максимальное варьирование признака ($V = 24\%$), что свидетельствует о гетерогенности растений, полученных из семян, сформированных в неблагоприятных условиях (табл.).

Проростки, полученные из семян 2014 г., не показали ясной зависимости их длины от концентрации токсинов (рис. 6). Достоверные отличия от контроля были отмечены в вариантах с разведениями 1:2 и 1:4, что, возможно, является следствием включения в расчеты отдельных, сильно отклоняющихся по размерам, растений.

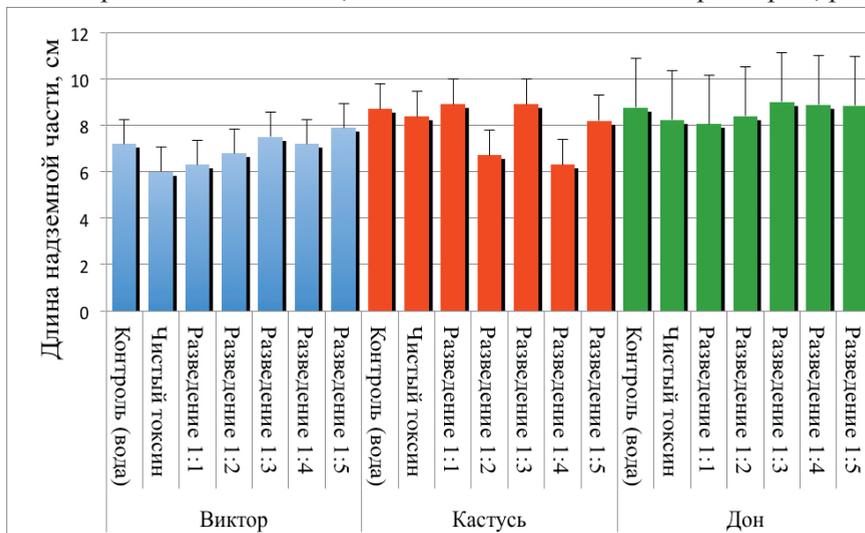


Рис. 6. Длина надземной части проростков тритикале, полученных из семян урожая 2014 г., в зависимости от концентрации фузариевых токсинов

В целом варьирование размеров надземной части проростков сорта Кастусь было ниже, чем корней. В большинстве случаев коэффициенты вариации были невысокими (табл.).

Проростки сорта Дон во всех вариантах опыта не различались достоверно по длине надземной части (рис. 5, 6). Некоторое подавление роста было отмечено в вариантах с высокой концентрацией фузариевых токсинов (неразбавленный культуральный фильтрат, разведения 1:1, 1:2). Однако отсутствие достоверных различий с контролем свидетельствует об относительной устойчивости сорта Дон к токсинам использованного штамма фузариума.

У сорта Дон, аналогично предыдущим сортам, вариабельность размеров надземной части проростков была ниже, чем корней, при этом достаточно высокой во всех вариантах (табл.).

Подводя итог анализу влияния концентрации фузариевых токсинов на развитие надземной части проростков тритикале, можно сказать, что длина побегов меньше подвержена негативному воздействию токсинов фузариума. У неустойчивых сортов Виктор и Кастусь подавление роста надземной части проростков наблюдалось в половине случаев только в варианте с максимальной концентрацией токсинов. Заметного влияния фузариевых токсинов на развитие побегов устойчивого сорта Дон отмечено не было.

Влияние концентрации фузариевых токсинов на формирование целых проростков тритикале

Длина целых проростков включает в себя длину корней и побегов. Исследования показали, что в целом влияние концентрации фузариевых токсинов на общую длину проростков аналогично ее влиянию на развитие корней (рис. 7, 8).

У неустойчивых сортов в большинстве случаев максимальное подавление роста растений, достоверно отличающееся от контроля, наблюдалось в варианте с неразбавленным культуральным фильтратом. Снижение концентрации токсинов приводило к постепенному увеличению длины растений. Варианты с разбавлением 1:3, 1:4 и 1:5 не отличались от контроля.

Влияние концентрации фузариевых токсинов на рост растений устойчивого сорта Дон в целом было аналогично другим сортам. Однако достоверных различий с контролем не было обнаружено ни для одного варианта.

Влияние метеорологических условий формирования семян в наших исследованиях проявилось в наличии различий во всхожести семян урожаев разных лет, а также в различном уровне варьирования изученных признаков у проростков, полученных из семян урожаев разных лет (табл.).

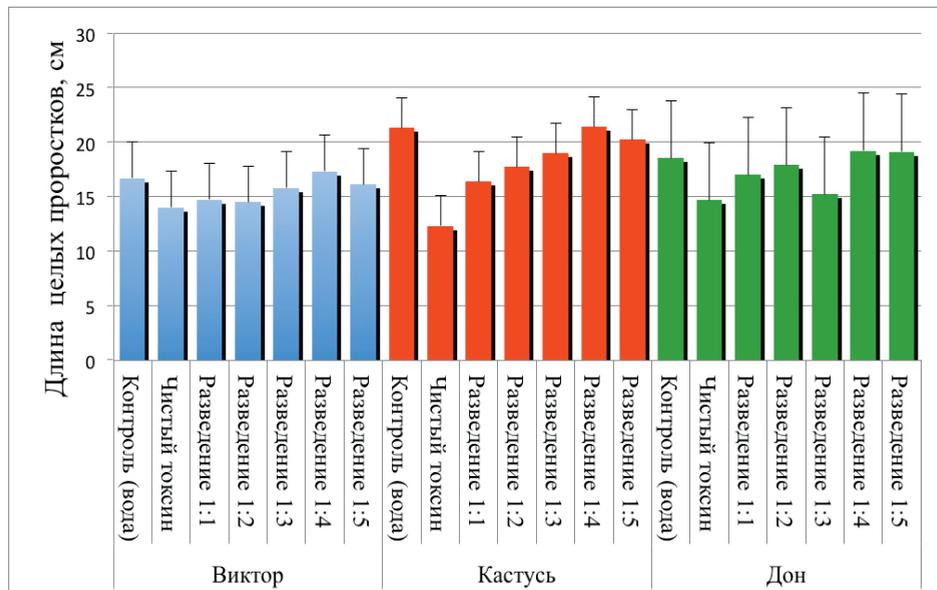


Рис. 7. Длина целых проростков тритикале, полученных из семян урожая 2011 г., в зависимости от концентрации фузариевых токсинов

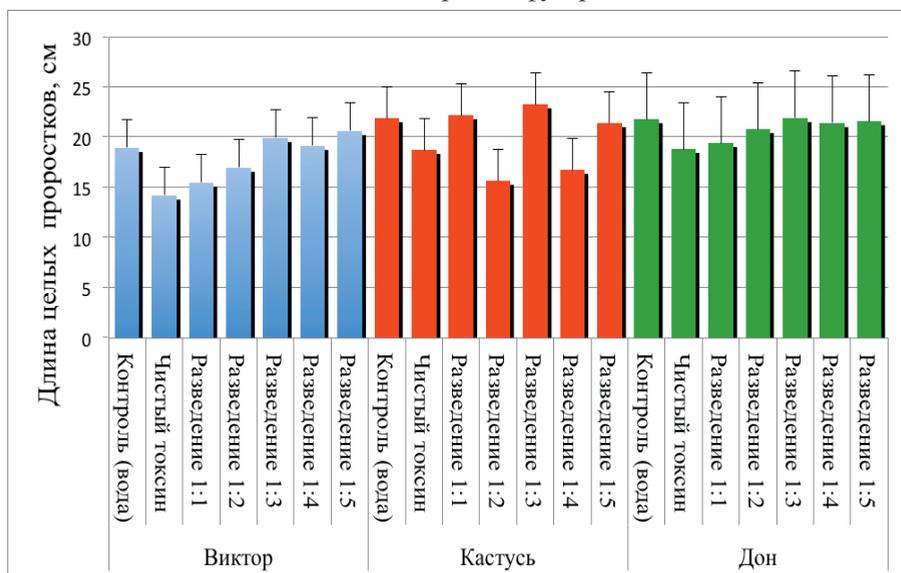


Рис. 8. Длина целых проростков тритикале, полученных из семян урожая 2014 г., в зависимости от концентрации фузариевых токсинов

Процент непроросших зерен урожая 2011 г. был выше, чем урожая 2014 г. Рассмотрим только два контрастных варианта – контроль и неразбавленный культуральный фильтрат. В варианте на воде в среднем по трем сортам процент непроросших зерен урожая 2011 г. был выше в 1,5 раза в сравнении с 2014 г., в варианте с неразбавленным культуральным фильтратом – в 2,3 раза. Возможно, семена, сформировавшиеся при относительно неблагоприятных метеорологических условиях, могут быть ослабленными и способными отреагировать на отравление раньше, чем семена, сформированные при благоприятном режиме.

Возможно, причиной более высокой вариабельности изученных признаков проростков тритикале, полученных из семян урожая 2011 г., послужила более высокая неоднородность посевных качеств семян, сформированных в неблагоприятных условиях.

И последнее, о чем хотелось бы сказать. Приведенные исследования призваны уточнить параметры лабораторной оценки генотипов тритикале по их устойчивости к фузариозу колоса. Однако практические наблюдения за наличием заболевания в полевых условиях часто не соответствуют лабораторным. Наши наблюдения за развитием эпифитотии фузариоза колоса на селекционных посевах озимой тритикале в 2017 г. показали, что относительно устойчивым был сорт Виктор. Дальнейшая работа в этом направлении должна привести к выявлению соответствий между лабораторными и полевыми оценками.

Выводы

1. Рост проростков тритикале и их частей находится в отрицательной зависимости от концентрации фузариевых токсинов. Максимальное подавление роста происходит при максимальной концентрации токсинов. Разведения 1:3, 1:4 и 1:5 непригодны для сравнительной оценки генотипов.

2. Отличие устойчивых сортов тритикале заключается в отсутствии достоверных различий между значением признака в контроле и при максимальной концентрации токсинов.

3. Корни наиболее чувствительны к действию фузариевых токсинов. Поэтому для сравнительной оценки генотипов наиболее пригодно сравнение длины корней в контроле и при максимальной концентрации токсинов. Наличие достоверных различий является критерием отсутствия устойчивости у генотипа.

4. Для выделения устойчивых растений тритикале из популяции лучше всего подходит вариант с разведением 1:2. В этом варианте отмечено максимальное варьирование признаков.

5. Неблагоприятные метеорологические условия в период формирования семян приводят к развитию проростков с более высокой вариабельностью признаков.

Библиографический список

1. *Бекиш Л.П., Успенская В.А., Чикида Н.Н.* Использование отечественных генетических ресурсов в селекции озимой тритикале в Северо-Западной зоне РФ / Труды Кубанского государственного аграрного университета, Краснодар, 2016. № 3 (60). С. 26–30.
2. *Билай В.И.* Основы общей микологии: Учеб. Пособие для вузов. Киев: Виша школа, 1980. 360 с.
3. *Билай В.И.* Фузариоз. К.: Наукова думка, 1977. 441 с.
4. Государственные стандарты Союза ССР. Семена сельскохозяйственных

культур. Методы определения качества. Часть 2. / Под ред. Т.И. Василенко. М.: Изд-во стандартов, 1991. 416 с.

5. *Заболотняя В.А., Гирко В.С.* Видовой состав возбудителей фузариоза колоса озимой тритикале в лесостепной зоне Украины / Тритикале России. Материалы заседания секции тритикале РАСХН, Ростов-на-Дону, 2008. С. 215–216.

6. *Иващенко В.Г., Шипилова Н.П.* Грибы рода *Fusarium* на семенах хлебных злаков в основных зерновых регионах России (ареалы, частота встречаемости, соотношение) / Монография, Санкт-Петербург, Пушкин: ВНИИЗР РАСХН, 2004. 190 с.

7. Лабораторный практикум по сельскохозяйственной биотехнологии. Изд. 2-е. / Е. А. Калашникова, О. Ю. Миронова, Н. В. Лаврова, Е. З. Кочиева и др. М.: Изд-во МСХА, 2004. 116 с.

8. Каталог сортов тритикале России / Отв. ред. А.И. Грабовец. Ростов-на-Дону, 2003. 159 с.

9. *Левитин М.М., Иващенко Н.П., Шипилова Н.П.* Фузариоз колоса пшеницы / Микология и фитопатология, Санкт – Петербург: Наука, 1997. Т. 24. Вып. 3. С. 446–453.

10. *Лунашку Г.А.* Иммунологические основы устойчивости культуры тритикале к фузариозу: Дис. ... д-ра биол. наук. Кишинев, 1999. 20–26 с.

11. *Мепаришвили Г.В.* Использование соматональной изменчивости в создании форм пшеницы, устойчивых к фузариозу: Дис. ... канд. биол. наук. М., 2003. С. 9–14.

12. Мир растений. В 7 т. / Редкол. А.Л. Тахтаджян (гл. ред.) и др. Т.2 Грибы / Под ред. М.В. Горленко. 2-е изд., перераб. М.: Просвещение, 1991. 475 с.

13. *Плотникова Л.Я.* Иммуниет растений и селекция на устойчивость к болезням и вредителям / Под ред. Ю.Т. Дьякова. М. КолосС, 2007. 359 с.

14. Рекомендации по технологии возделывания и использования тритикале в Краснодарском крае / А.А. Романенко, Л.А. Беспалова, В.Я. Ковтуненко и др., РАСХН, КНИИСХ. Краснодар, 2009. 60 с.

15. *Соловьев А.А., Дудников М.В., Шанин М.С.* Полиморфизм яровой тритикале по устойчивости к фузариозу колоса / Вестник Саратовского госагроуниверситета имени Н.И. Вавилова. № 10. 2012. С. 88–89.

16. *Шахназаров В.Ю., Струнников О.К., Вишневецкая Н.А., Стефанов Н.А.* Структура и динамика популяции гриба *Fusarium culmorum* в почвах разного гранулометрического состава / Почвоведение. Москва, 2000. № 1. С. 86–91.

17. *Kalih R., Maurer H.P., Miedaner T.* Genetic Architecture of Fusarium Head Blight Resistance in Four Winter Triticale Populations / Phytopathology. Vol. 105 (3). 2015. P. 334–341. doi: 10.1094/PHYTO-04-14-0124-R.

18. *Kalih R., Maurer H.P., Hackauf B., Miedaner T.* Effect of a rye dwarfing gene on plant height, heading stage, and Fusarium head blight in triticale (x *Triticosecale* Wittmack) / Theor. Appl. Genet., 2014. Vol. 127 (7). Pp. 1527–1536. doi: 10.1007/s00122-014-2316-9.

19. *Perlikowski D., Wisniewska H., Kaczmarek J., Goral T., Ochodzki P., Kwiatek M., Majka M., Augustyniak A., Kosmala A.* Alternations in Kernel Proteome after Infection with *Fusarium culmorum* in Two Triticale Cultivars with Contrasting Resistance to Fusarium Head Blight / Frontiers in Plant Science, 2016. Vol. 7. A. 1217. doi: 10.3389/fpls.2016.01217.

20. *Snijders G.H.A.* Genetic variation for resistance Fusarium head blight in bread wheat / Euphytica, 1990. № 50. Pp. 171–179.

EFFECT OF *FUSARIUM CULMORUM* TOXIN CONCENTRATION ON
MORPHOLOGICAL TRAITS OF TRITICALE SEEDLINGS
(×*TRITICOSECALE* WITTM.)

I.N. VORONCHIKHINA, V.S. RUBETS

(Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy)

Triticale has a number of acute breeding and genetic challenges; one of them is its susceptibility to Fusarium head blight. This disease leads to grain toxicity in the Non-Chernozem zone. Fusarium fungi are facultative parasites, therefore developing resistant varieties is a difficult task. The presence of many samples in a breeding process involves the use of express methods, which allow fast and precise differentiation of genotypes by their resistance. Field methods are long-term and labour-consuming, so they are carried out only in summer. The development of a laboratory indirect method is especially important for analyzing triticale samples in winter by using a reserve of seeds. An express method is based on a comparison of the length of different parts of triticale seedlings, which were germinated in the control substance (water) and with different concentrations of fusarium toxins (FTC). Seeds of the susceptible varieties 'Viktor' and 'Kastus', and the resistant variety 'Don' have served as research materials. Fusarium toxins have been obtained by cultivating the isolate C 99 of Fusarium culmorum in a fluid medium.

The growth of triticale seedlings and their parts correlated negatively with FTC. The supreme growth inhibition occurred under the maximum FTC. The dilutions 1:3, 1:4, 1:5 have been found inadequate for making comparison among genotypes. The resistant triticale varieties do not feature any significant differences between characteristic values in control and under the maximum FTC.

Roots are the most susceptible to fusarium toxins. Therefore, making comparison of roots length in control and under the maximum FTC is preferable for genotype testing. The presence of significant differences suggests susceptible genotypes. The variant with the dilution 1:2 is adequate for selecting resistant triticale plants from the population. The maximal variation of traits has been observed in this variant.

Key words: *triticale, fusarium head blight, resistance, fusarium toxin.*

References

1. Bekish L.P., Uspenskaya V.A., Chikida N.N. Ispol'zovaniye otechestvennykh geneticheskikh resursov v selektsii ozimoy tritikale v Severo-Zapadnoy zone RF [Using domestic genetic resources in the selection of winter triticale in the North-West zone of Russia] / Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta, Krasnodar, 2016. No.3 (60). Pp. 26–30.
2. Bilay V.I. Osnovy obshchey mikologii: Ucheb. Posobiye dlya vuzov [Fundamentals of general mycology: Study manual for universities]. Kiyev: Visha shkola, 1980. 360 p.
3. Bilay V.I. Fuzarii [Fusariums]. K.: Naukova dumka, 1977. 441 p.
4. Gosudarstvennyye standarty Soyuza SSR. Semena sel'skokhozyaystvennykh kul'tur. Metody opredeleniya kachestva. Chast' 2 [State standards of the USSR. Seeds of agricultural crops. Methods for determining quality. Part 2]. / Ed. by T.I. Vasilenko. M.: Izdvo standartov, 1991. 416 p.
5. Zabolotnyaya V.A., Girko V.S. Vidovoy sostav vzbuditeley fuzarioza kolosa ozimoy tritikale v lesostepnoy zone Ukrainy [Species composition of Fusarium head blight pathogens in winter triticale in the forest-steppe zone of Ukraine] / Tritikale Rossii. Materialy zasedaniya sektsii tritikale RASKhN, Rostov-na-Donu, 2008. Pp. 215–216.

6. *Ivashchenko V.G., Shipilova N.P.* Griby roda *Fusarium* na semenakh khlebnykh zlakov v osnovnykh zernovykh regionakh Rossii (arealy, chastota vstrechayemosti, sootnosheniye) [Fungi of the *Fusarium* genus on cereal seeds in the main grain regions of Russia (areas, frequency, ratio)] / Monograph, St.-Petersburg, Pushkin: VNIIZR RASKhN, 2004. 190 p.
7. *Laboratornyy praktikum po sel'skokhozyaystvennoy biotekhnologii.* Izd. 2-ye. [Laboratory workshop on agricultural biotechnology. The 2nd ed.] / Ye. A. Kalashnikova, O. Yu. Mironova, N. V. Lavrova, Ye. Z. Kochiyeva et al. M.: Izd-vo MSKHA, 2004. 116 p.
8. *Katalog sortov tritikale Rossii* [Catalogue of triticale varieties in Russia] / Ed. by A.I. Grabovets. Rostov-na-Donu, 2003. 159 p.
9. *Levitin M.M., Ivashchenko N.P., Shipilova N.P.* Fuzarioz kolosa pshenitsy [*Fusarium* head blight of wheat] / *Mikologiya i fitopatologiya*, Sankt – Peterburg: Nauka, 1997. Vol. 24. Issue 3. Pp. 446–453.
10. *Lupashku G.A.* Immunologicheskiye osnovy ustoychivosti kul'tury tritikale k fuzariozu: Dis...d-ra biol. Nauk [Immunological foundations of the stability of triticale to fusariosis. DSc (Bio) thesis]. Kishinev, 1999. Pp. 20–26.
11. *Meparishvili G.V.* Ispol'zovaniye somaklonal'noy izmenchivosti v sozdanii form pshenitsy, ustoychivyykh k fuzariozu: Dis. ... kand. biol. Nauk [The use of somaclonal variability in breeding of wheat forms resistant to fusariosis. PhD (Bio) thesis]. M., 2003. Pp. 9–14.
12. *Mir rasteniy.* V 7 t. [The world of plants. In 7 volumes]. / Editorial board - A.L. Takhtadzhyan (Editor-in-Chief) et al. Vol. 2 Griby [Fungi] / Ed. by M.V. Gorlenko. 2nd ed., reviewed. M.: Prosveshcheniye, 1991. 475 p.
13. *Plotnikova L.Ya.* Immunitet rasteniy i selektsiya na ustoychivost' k bolezniam i vreditelyam [Plant immunity and the selection for resistance to diseases and pests] / Ed. by Yu.T. D'yakova. M. KolosS, 2007. 359 p.
14. *Rekomendatsii po tekhnologii vozdeleyvaniya i ispol'zovaniya tritikale v Krasnodarskom krae* [Recommendations on implementing the technology of cultivation and use of triticale in the Krasnodar Krai] / A.A. Romanenko, L.A. Bupalova, V.Ya. Kovtunenkov et al., RASKhN, KNIISKh. Krasnodar, 2009. 60 p.
15. *Solov'yev A.A., Dudnikov M.V., Shanin M.S.* Polimorfizm yarovoy tritikale po ustoychivosti k fuzariozu kolosa [Polymorphism of the spring triticale in terms of resistance to *Fusarium* head blight] / *Vestnik Saratovskogo gosagrouniversiteta imeni N.I. Vavilova.* No. 10. 2012. Pp. 88–89.
16. *Shakhnazarov V.Yu., Strunnikov O.K., Vishnevskaya N.A., Stefanov N.A.* Struktura i dinamika populyatsii griba *Fusarium culmorum* v pochvakh raznogo granulometricheskogo sostava [Structure and dynamics of the *Fusarium culmorum* fungus population in soils of different granulometric composition] / *Pochvovedeniye.* Moskva, 2000. No. 1. Pp. 86–91.
17. *Kalih R., Maurer H.P., Miedaner T.* Genetic Architecture of *Fusarium* Head Blight Resistance in Four Winter Triticale Populations / *Phytopathology.* Vol. 105 (3). 2015. Pp. 334–341. Doi: 10.1094/PHYTO-04-14-0124-R.
18. *Kalih R., Maurer H.P., Hackauf B., Miedaner T.* Effect of a rye dwarfing gene on plant height, heading stage, and *Fusarium* head blight in triticale (x *Triticosecale* Wittmack) / *Theor. Appl. Genet.,* 2014. Vol. 127 (7). Pp. 1527–1536. Doi: 10.1007/s00122-014-2316-9.
19. *Perlikowski D., Wisniewska H., Kaczmarek J., Goral T., Ochodzki P., Kwiatek M., Majka M., Augustyniak A., Kosmala A.* Alternations in Kernel Proteome after Infection with *Fusarium culmorum* in Two Triticale Cultivars with Contrasting Resistance to *Fusarium* Head Blight / *Frontiers in Plant Science,* 2016. Vol. 7. A. 1217. doi: 10.3389/fpls.2016.01217.
20. *Snijders G.H.A.* Genetic variation for resistance *Fusarium* head blight in bread wheat / *Euphytica,* 1990. No. 50. Pp. 171–179.

Ворончихина Ирина Николаевна – асс. кафедры генетики, биотехнологии, селекции и семеноводства РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; тел.: (499) 976-12-72, e-mail: selection@timacad.ru).

Рубец Валентина Сергеевна – д. б. н., проф. кафедры генетики, биотехнологии, селекции и семеноводства РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; тел.: (499) 976-12-72; e-mail: selection@timacad.ru).

Irina N. Voronchikhina – Assisstant, the Department of Genetics, Biotechnology, Selection and Seed Growing, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (127550, Moscow, Timiryazevskaya Str., 49; phone: +7 (499) 976-12-72, e-mail: selection@timacad.ru).

Valentina S. Rubets – DSc (Bio), Professor, the Department of Genetics, Biotechnology, Selection and Seed Growing, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (127550, Moscow, Timiryazevskaya Str., 49; phone: +7 (499) 976-12-72; e-mail: selection@timacad.ru).