СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ БИОЛОГИЯ, 2016, том 51, № 6, с. 937-945

## Микотоксикология кормов, кормовые культуры

*УДК 636.085.19:636.086.1/.3:632.4(470)* doi: 10.15389/agrobiology.2016.6.937rus

# ПОРАЖЕННОСТЬ ГРУБЫХ КОРМОВ ТОКСИНООБРАЗУЮЩИМИ ГРИБАМИ РОДА *Fusarium*

**Е.А. ПИРЯЗЕВА, Г.П. КОНОНЕНКО, А.А. БУРКИН**

**Недостаток сведений о характере загрязненности токсинообразующими грибами сена, а также соломы злаков, которая используется на подстилку и для скармливания животным, сдерживает введение профилактических защитных мер против фузариотоксикозов. Расширенные микотоксикологические обследования производственных партий сена из хозяйств Европейской части России свидетельствуют о множественной сочетанной загрязненности их фузариотоксинами (Г.П. Кононенко, А.А. Буркин, 2014). Целью настоящей работы было изучение видового состава фузариевых грибов в грубых кормах из Челябинской, Брянской и Московской областей РФ в разные годы и оценка токсинообразующей способности их популяций. Во всех 60 пробах сена и соломы из Челябинской области (1992 год) были выявлены фузариевые грибы, среди которых идентифицировано 6 видов — *F. sporotrichioides* Sherb., *F. avenaceum* (Corda ex Fr.) Sacc., *F. poae* (Peck) Wr., *F. tricinctum* (Corda) Sacc., *F. culmorum* (W.G. Smith) Sacc. и *F. sambucinum* Fuckel. Фузарии неустановленной видовой принадлежности были отмечены в сене из костра, козлятника, однолетних (смесь пшеницы, овса, гороха) и многолетних трав, а также комплекс этих грибов — в ржаной соломе. В 90 % проб обнаруживали *F. sporotrichioides* (либо только этот вид, либо в комплексе с другими, но чаще всего он доминировал). Из 19 проб сена и соломы, заготовленных в Брянской области (2011 год), 16 оказались поражены фузариевыми грибами, относящимися к 8 видам. Наибольшую распространенность имел *F. sporotrichioides* (11 проб), остальные выявлялись реже — *F. tricinctum* (4 пробы), *F. equiseti* (Corda) Sacc. (3 пробы), *F. poae* (2 пробы), *F. solani* (Mart.) Sacc. (2 пробы), *F. culmorum* (1 проба), *F. graminearum* Schw. (1 проба) и *F. semitectum* Berk. et Rav. (1 проба). В образцах из Московской области (2013 год) грибы *Fusarium* были обнаружены в 171 пробе из 239 (71,5 %), при этом пораженность часто была весьма значительной. Выделенные грибы принадлежали 8 видам, которые обнаруживали и в обоих предыдущих сборах. По частоте встречаемости они располагались в следующем порядке: *F. sporotrichioides*, *F. tricinctum*, *F. avenaceum*, *F. poae*, *F. culmorum*, *F. graminearum*, *F. semitectum*, *F. solani*, при этом *F. sporotrichioides* был обнаружен в 85,7 % проб. Кроме того, три изолята были идентифицированы как *F. cerealis* (Cooke) Sacc., *F. sambucinum* и *F. torulosum* (Berk. & M.A. Curtis). Для тестирования токсинообразования грибов нами впервые было использовано 7-суточное выращивание при 23 °С на рисовом субстрате. Для *F. sporotrichioides* установлен 100 % потенциал биосинтеза Т-2 токсина (122-1078 мкг/г субстрата) и диацетоксисцирпенола (0,7-20 мкг/г), у *F. culmorum*, *F. graminearum*, *F. cerealis*, *F. torulosum* — дезоксиниваленола и зеараленона, два изолята *F. semitectum* охарактеризованы как высокоактивные продуценты зеараленона. Обширная пораженность *F. sporotrichioides*, продуцирующим Т-2 токсин и его высокотоксичный аналог диацетоксисцирпенол, требует особого внимания к организации контроля за содержанием этих трихотеценов в процессе заготовки и хранения грубых кормов. Обсуждаются особенности токсинообразования других видов фузариевых грибов и контаминации сена дезоксиниваленолом и зеараленоном.**

**Ключевые слова: сено, солома, грибы рода *Fusarium*, микотоксины.**

Заготовка сена и соломы высокого качества — одно из условий успешного ведения молочного и мясного животноводства как в зонах умеренного климата, так и в тропических регионах. Но если в вопросах формирования сенокосов и их оптимального использования во многих странах достигнут значительный прогресс, то проблема безопасности остается недостаточно изученной. Особую обеспокоенность специалистов вызывают сообщения о пораженности грубых кормов микроскопическими грибами, способными к токсинообразованию. Так, при обследовании сена в Канаде и Ирландии было выявлено многообразие микобиоты, представленное родами *Fusarium*, *Aspergillus*, *Mucor*, *Absidia* (1, 2). При заготовке бермутской травы *Cynodon* sp., одного из важнейших кормовых злаков тропиков и субтропиков, наиболее обширной оказалась популяция грибов *Fusarium*, которым сопутствовали *Penicillium*, *Aspergillus*, *Rhizopus* и *Cladosporium* (3).

До 1980-1990-х годов в животноводческих хозяйствах многих обла-

стей и республик СССР часто диагностировали случаи фузариотоксикозов телят и овец, вызванные кормами с резко положительной реакцией в кожной биопробе, а также спорадические вспышки острых интоксикаций жвачных и лошадей, связанные с «высокотоксическими грибами» в сене и соломе (4-6). В этой связи были введены беспрецедентные меры: сено и солома, пораженные плесенью более чем на 10 % или инфицированные грибом *Dendrodochium toxicum*, подлежали уничтожению; для фуражных целей запрещали грубые корма, резко токсичные и токсичные по биопробе; солома и полова, пораженные *Stachybotrys alternans*, могли быть использованы только после обезвреживания, а грубые корма, слабо токсичные по биопробе, — исключительно как 25 % добавка к рациону (7).

В те же годы активно изучался видовой состав грибов *Fusarium* — на Украине (8, 9), в западных районах Белоруссии, где они преобладали в составе микофлоры клеверного сена (10), в Литовской и Армянской ССР (11, 12), на юге Казахстана, где эти грибы доминировали на сене и соломе (13), в низменной и предгорной зонах Дагестана (14). В сене из Северной Осетии было идентифицировано 19 видов и разновидностей грибов *Fusarium* (15), на дикорастущих кормовых злаках в южной части Большого Кавказа Азербайджана — 13 (15). Однако в РСФСР такие исследования были выполнены только на трех территориях — в Рязанской, Волгоградской областях (17, 18) и Алтайском крае (17-19), а затем практически приостановлены. Тем не менее, проблема фузариотоксикозов скота оставалась актуальной. При эпифитотии фузариоза колосовых культур в Краснодарском крае в 1985-1989 годах накопление трихотеценов группы дезоксиниваленола в соломе превышало их содержание в зерне (20). В 1998 году при выпасе телят поздней осенью на неубранных полях кукурузы в нескольких районах Курской области интенсивное поражение растений грибами *Fusarium* стало причиной острого Т-2 токсикоза (неопубликованные данные).

Недостаток в нашей стране сведений о пораженности токсинообразующими грибами сена, а также соломы злаков, которая используется на подстилку и для скармливания, сдерживает введение эффективных профилактических мер в отношении фузариотоксикозов. Судя по последним данным, для травяных кормов характерна множественная сочетанная загрязненность фузариотоксинами (21-24).

Мы впервые в России осуществили направленный поиск грибов-продуцентов токсичных трихотеценов и зеараленона в грубых кормах, результаты которого представлены в настоящей статье. Применение оригинального приема тестирования изолятов (7-суточное культивирование на зерне риса) позволило отнести к токсинообразующим 6 видов *Fusarium* из 11 идентифицированных в составе микобиоты. Особый интерес представляют данные по *F. cerealis*, *F. torulosum* и *F. semitectum*, поскольку информация относительно их токсигенного потенциала весьма ограничена.

Целью нашей работы было изучение видового состава фузариевых грибов в сене и соломе из трех областей Российской Федерации в разные годы и оценка токсинообразующей способности их популяций.

*Методика.* Объектами исследования служили образцы производственных партий сена и соломы из 5 районов Челябинской области, 9 районов Брянской области и 31 района Московской области, заготовленные в 1992, 2011 и 2013 годах (табл. 1). Каждый образец предварительно нарезали на фрагменты длиной около 2 см и тщательно перемешивали. Часть подготовленного материала раскладывали в три чашки Петри на поверхность агара Чапека, содержащего медицинскую консервированную желчь (10 %) и антибиотики (50 тыс. ЕД пенициллина и 100 тыс. ЕД

стрептомицина на 1 л среды), и помещали в термостат при 25 °С. Через 5-7 сут подсчитывали число фрагментов с признаками поражения грибами *Fusarium*, вычисляли их долю от общего числа и начинали выделение чистых культур. Для этого колонии, относящиеся по культуральным признакам к роду *Fusarium*, высевали в чашки Петри с тем же агаром, а через 5-7 сут после подтверждения чистоты отсевали на косяки с картофельно-глюкозным агаром (КГА). Видовую идентификацию грибов проводили по определителю (25), при необходимости использовали пособия (26, 27).

Методика оценки токсинообразования грибов включала подготовку инокулюма, субстрата, посев, культивирование, экстракцию и анализ микотоксинов. В качестве посевного материала использовали 10-суточные культуры грибов на КГА. Инокулюм примерно равного размера, взятый с поверхности агара микологическим крючком, помещали в три флакона вместимостью 10 мл и диаметром дна около 18 мм, каждый из которых содержал по 1 г стерильного дробленого зерна риса, предварительно увлажненного добавлением 1 мл воды. Флаконы закрывали ватно-марлевыми пробками, которые плотно оборачивали слоем лабораторной пленки Parafilm M® («Pechiney Plastic Packaging», США). Культивирование проводили в темноте в течение 7 сут при 23 °С, после чего в каждый флакон добавляли по 5 мл смеси ацетонитрил:вода в объемном соотношении 86:14, в начале и конце 14-часовой стационарной экстракции интенсивно встряхивали.

Содержания Т-2 токсина (Т-2), диацетоксисцирпенола (ДАС), дезоксиниваленола (ДОН), зеараленона (ЗЕН) в экстрактах определяли методом иммуноферментного анализа с помощью аттестованных тест-систем (28). Нижние пределы определения составляли для Т-2 — 0,2 мкг/г риса, для остальных фузариотоксинов — 0,5 мкг/г. Для тестирования использовали изоляты *Fusarium* из образцов сена сбора 2014 года (Московская обл.), в их числе — все доступные культуры *F. graminearum*, *F. culmorum*, *F. semitectum*, *F. solani*, 4 изолята с уточненной идентификацией, выборки по 10 изолятов *F. sporotrichioides*, *F. poae*, *F. tricinctum*, *F. avenaceum*, составленные с соблюдением принципа рассеянного отбора, а также 12 культур *F. sporotrichioides* из образцов сена с высоким содержанием ЗЕН.

Полученные данные анализировали с помощью описательной статистики в программе Microsoft Excel 2013.

*Результаты.* В таблице 1 представлена характеристика образцов, использованных в работе.

**1. Характеристика кормов из разных областей России, исследованных на пораженность грибами рода *Fusarium***

| Место, год заготовки | Вид корма, число образцов | Ботанический состав (согласно документации заготовителя) |
|---|---|---|
| Челябинская область (Аргаяшский, Каслинский, Красноармейский, Кунашакский, Сосновский районы), 1992 год | Сено, $n = 56$ | Костер, козлятник, смесь пшеницы, овса, гороха, тимофеевка, овсяница, смесь многолетних трав, смесь сеяных трав, люцерна |
| | Солома, $n = 4$ | Злаковая (в том числе ржаная) |
| Брянская область (Брянский, Выгоничский, Жирятинский, Злынковский, Карачевский, Клинцовский, Почепский, Трубчевский районы), 2011 год | Сено, $n = 14$ | Злаки, луговые травы, райграсс, разнотравье |
| | Солома, $n = 5$ | Не указан |
| Московская область (31 район, исключая Красногорский, Наро-Фоминский, Люберецкий, Егорьевский, Ступинский, Луховицкий, Балашихинский районы), 2013 год | Сено, $n = 230$ | Разнотравье, злаки, многолетние травы, сборное, луговое, тимофеевка, злако-бобовое, костер, люцерна, овсяница, вика, козлятник, клевер |
| | Солома, $n = 9$ | Злаковая (в том числе пшеничная, овсяная), вика-овес |

Во всех 60 пробах сена и соломы из Челябинской области были

выявлены фузариевые грибы, среди которых мы идентифицировали 6 видов — *F. sporotrichioides* Sherb., *F. avenaceum* (Corda ex Fr.) Sacc., *F. poae* (Peck) Wr., *F. tricinctum* (Corda) Sacc., *F. culmorum* (W.G. Smith) Sacc. и *F. sambucinum* Fuckel. Фузарии неустановленной видовой принадлежности были найдены в сене из костра, козлятника, однолетних (смесь пшеницы, овса, гороха) и многолетних трав, а также в ржаной соломе. В 90 % проб был обнаружен *F. sporotrichioides* либо как единственный вид, либо вместе с другими, но, как правило, он преобладал.

Из 19 проб сена и соломы, заготовленных в Брянской области, 16 оказались поражены фузариевыми грибами 8 видов. Чаще других встречался *F. sporotrichioides* — 11 проб, остальные выявлялись реже: *F. tricinctum* — 4, *F. equiseti* (Corda) Sacc. — 3, *F. poae* — 2, *F. solani* (Mart.) Sacc. — 2 пробы, *F. culmorum*, *F. graminearum* Schw. и *F. semitectum* Berk. et Rav. — по одной пробе.

В кормах из Московской области грибы *Fusarium* были обнаружены в 171 образце из 239, то есть с частотой 71,5 %. Степень пораженности проб варьировала от 1 до 100 %, почти для половины (в 47,3 %) она составляла 1-20 %, а у пятой части превышала 50 %.

Выделенные культуры, принадлежавшие секциям *Arthrosporiella*, *Sporotrichiella*, *Discolor* и *Martiella*, были отнесены к 8 видам (табл. 2). Всех их обнаруживали и в обоих предыдущих сборах, и по частоте встречаемости они располагались в следующий ряд: *F. sporotrichioides*, *F. tricinctum*, *F. avenaceum*, *F. poae*, *F. culmorum*, *F. graminearum*, *F. semitectum*, *F. solani*.

**2. Пораженность сена и соломы различными видами грибов рода *Fusarium*** (Московская обл., 2013 год)

| Секция | Вид *Fusarium* | Частота встречаемости, % ($n$ = 171) | Число изолятов |
|---|---|---|---|
| *Arthrosporiella* | *F. sporotrichioides* Sherb. | 85,4 | 265 |
| | *F. avenaceum* (Corda ex Fr.) Sacc. | 11,1 | 20 |
| | *F. semitectum* Berk. et Rav. | 1,2 | 2 |
| *Sporotrichiella* | *F. tricinctum* (Corda) Sacc. | 15,2 | 28 |
| | *F. poae* (Peck) Wr. | 8,2 | 15 |
| *Discolor* | *F. culmorum* (W.G. Smith) Sacc. | 2,3 | 4 |
| | *F. graminearum* Schw. | 2,3 | 4 |
| *Martiella* | *F. solani* (Mart.) Sacc. | 0,6 | 1 |
| - | *Fusarium* spp. | 4,7 | 9 |

Примечание. $n$ — число исследованных проб.

Как и в кормах из Челябинской и Брянской областей, вид *F. sporotrichioides* доминировал (85,4 %), в то время как для *F. tricinctum*, *F. avenaceum* и *F. poae* распространенность составляла 8-15 %, для *F. culmorum* и *F. graminearum* — 2,3 %, для *F. semitectum* и *F. solani* — соответственно 1,2 и 0,6 %. По отдельным видам не прослеживалось какого-либо соответствия с ботаническим составом сена и территорией заготовки, однако в трех случаях из четырех *F. graminearum* находили в сене из тимофеевки, произведенном в западных районах области (см. табл. 2).

Для четырех изолятов из группы *Fusarium* spp. (см. табл. 2) видовая принадлежность была установлена на основе современных таксономических систем и приемов. В результате один из них (№ 252/3), отнесенный к *F. culmorum* по морфологическим признакам в системе Booth, был идентифицирован как *F. cerealis* (Cooke) Sacc., а второй (№ 392/1), первоначально обозначенный как *F. graminearum*, — к *F. torulosum* (Berk. & M.A. Curtis). Из двух других грибов, принадлежность которых сначала установить не удалось, один относился к поливидовому комплексу грибов *F. incarnatumequiseti* (FIESC) (№ 79/4а), другой — к виду *F. sambucinum* Fuckel. (№ 79/4б). Остальные пять изолятов из группы *Fusarium* spp. (см. табл. 2) были за-

грязнены грибами *Penicillium*, что осложнило дальнейшую работу и в итоге привело к утрате культур.

Для оценки способности грибов к токсинообразованию сформировали группы по 10 изолятов *F. sporotrichioides*, *F. tricinctum*, *F. avenaceum* и *F. poae*, а также исследовали все культуры остальных видов. Была разработана ускоренная процедура компактного культивирования грибов, которая обеспечивала условия, необходимые для их стабильного активного роста. Этого удалось добиться за 7 сут при температуре 23 °С, использовав дробленое зерно риса (1 г), простерилизованное после увлажнения (1 мл воды), и стеклянные флаконы вместимостью около 10 $см^3$ с ватно-марлевыми пробками, плотно обернутыми слоем лабораторной пленки для предотвращения потери влаги.

**3. Токсинообразующая способность** (мкг/г субстрата) **у изолятов *Fusarium sporotrichioides* после 7 сут культивирования на дробленом зерне риса при температуре 23 °С** ($n$ = 3, $X \pm s$)

| № изолята | Т-2 | ДАС | ЗЕН |
|---|---|---|---|
| 9/1 | 327±48 | 1,7±0,4 | – |
| 50/3 | 348±154 | 1,4±0,3 | 0,5±0,1 |
| 54/1 | 290±70 | 1,4±0,2 | 1,2±0,4 |
| 236/1 | 408±76 | 1,8±0,4 | – |
| 276/2 | 396±8 | 3,6±0,2 | – |
| 324/2 | 1078±353 | 20,0±3,0 | – |
| 349/4 | 446±110 | 2,5±0,6 | – |
| 501/1 | 387±146 | 2,1±0,7 | – |
| 614/3 | 122±66 | 0,7±0,2 | 0,7±0,2 |
| 647/3 | 362±141 | 2,3±1,0 | – |

Примечание. Т-2 — Т-2 токсин, ДАС — диацетоксисцирпенол, ЗЕН — зеараленон; $n$ — число повторностей в опыте, $X$ — среднее арифметическое значение, $s$ — ошибка выборочной средней. Прочерки означают, что микотоксин не обнаружен.

Все 10 исследованных изолятов *F. sporotrichioides* продуцировали Т-2 (122-1078 мкг/г субстрата) и ДАС (0,7-20 мкг/г) и лишь немногие — ЗЕН (3/10 изолятов, 0,5-1,2 мкг/г) (табл. 3). По-видимому, описанный ранее зарубежными исследователями случай острого дерматита коров при использовании интенсивно пораженной *F. sporotrichioides* овсяной соломы был вызван действием Т-2 токсина (29). Обширная пораженность сена *F. sporotrichioides*, активно продуцирующим Т-2 и его высокотоксичный аналог, выявлена нами на разных территориях и в разные годы. Это означает, что необходимо особое внимание к организации контроля за содержанием Т-2 в процессе заготовки и хранения корма.

**4. Токсинообразующая способность** (мкг/г субстрата) **у изолятов *Fusarium culmorum*, *F. cerealis*, *F. graminearum*, *F. torulosum* после 7 сут культивирования на дробленом зерне риса при температуре 23 °С** ($n$ = 3, $X \pm s$)

| № изолята | ДОН | ЗЕН |
|---|---|---|
| | *F. culmorum* | |
| 28/3 | 5±1 | 57±55 |
| 258/4 | 55±5 | 256±95 |
| 266/1 | 10±3 | 88±26 |
| 505/1 | 9±1 | 12±7 |
| | *F. cerealis* | |
| 252/3 | 16±4 | 14±7 |
| | *F. graminearum* | |
| 9/3 | 37±21 | 18±8 |
| 109/2 | 3±1 | 3±1 |
| 389/1 | 23±14 | 80±79 |
| 398/1 | 49±29 | 2±1 |
| | *F. torulosum* | |
| 392/1 | 62±21 | 101±65 |

Примечание. ДОН — дезоксиниваленол, ЗЕН — зеараленон; $n$ — число повторностей в опыте, $X$ — среднее арифметическое значение, $s$ — ошибка выборочной средней.

Представители *F. poae*, *F. avenaceum*, *F. tricinctum* не продуцировали Т-2 и ЗЕН. Важно отметить, что интенсивность токсинообразования у

*F. sporotrichioides* и *F. poae* в условиях быстрой оценки на зерновом субстрате совпадала с аналогичным показателем, полученным при длительном выращивании культур (30-32).

Большинство культур *F. culmorum* и *F. graminearum*, выделенных из сена, а также единичные изоляты *F. cerealis* и *F. torulosum* продуцировали ДОН и ЗЕН в количествах более 10 мкг/г (табл. 4).

Однако вряд ли совместный вклад трихотеценов группы ДОН и ЗЕН в контаминацию грубых кормов может быть существенным из-за слабой пораженности продуцентами. Тем не менее, на сочетанную загрязненность сена указывают данные исследователей в Германии (33) и Канаде (2). Обширная контаминация Т-2 токсином, НТ-2, ДОН и ЗЕН злаков и соломы урожая 2011-2012 годов выявлена на фермах Швеции (34).

Для культуры, отнесенной к комплексу грибов *F. incarnatum-equiseti* (№ 79/4а), было показано слабое продуцирование ДОН (0,6±0,1 мкг/г), а ЗЕН не выявили. У изолятов *F. solani* (№ 537/4) и *F. sambucinum* (№ 79/4б) токсины не обнаруживали, однако изоляты *F. semitectum,* полученные из разных проб, активно продуцировали ЗЕН — № 252/4 (77±13 мкг/г), № 373/4 (110±5 мкг/г).

Быстрое культивирование на зерновом субстрате, впервые примененное в настоящей работе, позволило провести сравнительную оценку токсинообразования грибов на представительных выборках материала, что особенно важно при работе с природными популяциями. Судя по полученным результатам (см. табл. 3, 4), относительная ошибка выборочной средней при 3-кратной повторности в посевах составила 34 %, и для Т-2 и ДАС она была меньше (28 %), чем для ЗЕН (44 %). Работы по совершенствованию этой методологии, безусловно, целесообразно продолжить.

Проблема поиска источников контаминации сена ЗЕН остается весьма актуальной. В Ирландии этот токсин находили в 21 % образцов сена (2). Ранее сообщалось о случаях резкого накопления ЗЕН в сене, заготовленном в европейской части России, в том числе в Московской области (21-24). Из 6 образцов, содержащих этот токсин, были выделены 12 культур *F. sporotrichioides*, а в двух найдены также *F. culmorum* (№ 266/1), *F. tricinctum* (№ 266/3) и *F. semitectum* (№ 373/4). По результатам тестирования только 3 изолята *F. sporotrichioides* из 12 образовывали ЗЕН в малых количествах, *F. tricinctum* (№ 266/3) не продуцировал этот метаболит, *F. culmorum* (№ 266/1) не отличался от других представителей того же рода (см. табл. 4) и только *F. semitectum* (№ 373/4) был высокоактивным. Интересно отметить, что содержание ЗЕН в образце сена, из которого был получен изолят № 373/4, составляло 3160 мкг/кг, а при сравнении коллекционных штаммов *Fusarium* на картофельно-сахарозном агаре этот вид был отнесен к числу возможных продуцентов ЗЕН (24).

Безусловно, результаты выполняемых микологических анализов растений и кормопродукции даже в первом приближении нельзя считать исчерпывающим отражением сложных и динамичных процессов, сопровождающих поражение, развитие и конкурентные взаимоотношения многочисленных представителей микобиоты, поэтому вероятность выявления причинных связей, приводящих к повышению рисков фузариотоксикозов, не так велика. Тем не менее, определение видового состава и токсигенного потенциала всего комплекса грибов *Fusarium*, поражающих грубые корма, остается важной задачей, поскольку среди новых видов обнаруживаются носители высокой токсичности (35). Работы по микотоксикологической оценке грубых кормов должны быть продолжены не только по группе фузариевых грибов. Так, способность к биосинтезу ЗЕН и его производных

известна для фитопатогенного гриба *Drechslera portulacae* (36) и грибов рода *Stachybotrys* (37). В обследованных нами пробах сена и соломы из Челябинской области (при высеве во влажную камеру) не были выявлены грибы из группы высокотоксигенных целлюлозоразрушителей — *Stachybotrys alternans* и *Dendrodochium toxicum* (= *Myrothecium roridum*), однако проблема загрязненности кормов их токсичными метаболитами остается актуальной. В последние годы появляются все новые сведения о распространенности таких грибов, обитающих в почвах и на растительных остатках. Недавно микобиота филлопланы кукурузы в Приморском крае пополнилась грибом *Myrothecium verrucaria*, который может заражать растения на ранних этапах онтогенеза (38).

Таким образом, среди фузариевых грибов, поражающих сено и солому, шесть видов способны обеспечить сочетанную загрязненность микотоксинами — Т-2 и ДАС (*Fusarium sporotrichioides*), ДОН и ЗЕН (*F. graminearum*, *F. culmorum*, *F. cerealis*, *F. torulosum*), ЗЕН (*F. semitectum*). Обширная пораженность *F. sporotrichioides*, выявленная на разных территориях и в разные годы, указывает на необходимость особого внимания к организации контроля этих кормов на содержание Т-2 и его высокотоксичного аналога ДАС в процессе заготовки и хранения. В дальнейшем целесообразно расширить поиск причин контаминации сена ЗЕН с учетом воздействия биогенных и антропогенных факторов, а также возможного вклада грибов, относящихся к другим таксономическим группам. Прием быстрого культивирования изолятов на зерновом субстрате, впервые примененный в настоящей работе и позволяющий проводить сравнительную оценку токсинообразования грибов на представительных выборках, перспективен для обследования природных популяций.

*Авторы выражают благодарность Т.Ю. Гагкаевой (Всероссийский НИИ защиты растений, г. Санкт-Петербург-Пушкин) за помощь в идентификации культур грибов и консультационную поддержку.*

## ЛИТЕРАТУРА

1. Undi M., Wittenberg K.M., Holliday N.J. Occurrence of fungal species in stored alfalfa forage as influenced by moisture content at baling and temperature during storage. Canadian Journal of Animal Science, 1997, 77: 95-103 (doi: 10.4141/A96-024).
2. Buckley T., Creighton A., Fogarty U. Analysis of Canadian and Irish forage, oats and commercially available equine concentrate feed for pathogenic fungi and mycotoxins. Irish Veterinary Journal, 2007, 60: 231-236 (doi: 10.1186/2046-0481-60-4-231).
3. Taffarel L.E., Mesquita E.E., Castagnara D.D., Costa P.B., Neres M.A., Horn M.B., Oliveira P.S.R., Meiners C.C. Dehydration curve, fungi and mycotoxins in Tifton 85 hay dehydrated in the field and in shed. Revista Brasileira de Zootecnia, 2013, 42(6): 395-403 (doi: 10.1590/S1516-35982013000600003).
4. Курманов И.А. Фузариотоксикоз овец в Ставропольском крае. Ветеринария, 1961, 11: 30-31.
5. Вертинский К.И., Джилавян Х.А., Королева В.П. Заболевание овец, вызываемое грибом *Myrothecium verrucaria*. Бюллетень Всесоюзного института экспериментальной ветеринарии, 1967, вып. 2: 86-90.
6. Хмелевский Б.Н., Пилипец В.И., Малиновская Л.С., Костин В.В., Комарницкая Н.П., Иванов В.Г. Профилактика микотоксикозов животных. М., 1985.
7. Иванова Л.Г., Головина Н.Л. Общие методы микологических исследований. В сб.: Оценка загрязнения пищевых продуктов микотоксинами. Т. III. Контроль за загрязнением продовольственного сырья и пищевых продуктов микотоксинами. М., 1985: 33-37.
8. Старченко Л.Е. Токсичные грибы на грубых кормах и их микологический контроль в условиях Львовской области. Автореф. канд. дис. Львов, 1967.
9. Рухляда В.В. Фузарио-Т-2-токсикоз сельскохозяйственных животных. Автореф. докт. дис. М., 1991.
10. Иванов А.Т. Санитарно-микологические исследования бобовых культур в условиях Белорусской ССР. Автореф. канд. дис. М., 1967.

11. Густас А.П. Санитарно-микологические исследования кормов в условиях Литовской ССР. Автореф. канд. дис. Каунас, 1968.
12. Лугина Ж.А. Изучение распространенности токсигенных грибов на кормах в условиях Армянской ССР. Труды Всесоюзного научно исследовательского института ветеринарной санитарии, 1970, 35: 73-79.
13. Жаханов А. Микотоксикологическая характеристика грубых кормов и особенности токсинообразования гриба *Fusarium sporotrichioides* Scherb. на юге Казахстана. Автореф. канд. дис. Алма-Ата, 1975.
14. Салихова Н.М. Распространение токсических грибов на грубых кормах Дагестанской АССР. Труды Всесоюзного научно-исследовательского института ветеринарной санитарии, 1973, 47: 43-46.
15. Калоев С.С. Количественный состав микроскопических грибов, поражающих грубые корма в Северной Осетии. Труды Кубанского сельскохозяйственного института, 1975, 97(125): 3-7.
16. Ибрагимов Р.Г. Микофлора зернофуража и вегетируемых кормовых злаков в южной части Большого Кавказа Азербайджана и их токсикологическая характеристика. Автореф. канд. дис. Киев, 1980.
17. Лычагин Г.Я. О токсических грибах, выделенных из сена в Рязанской области. Сборник научных трудов Рязанского СХИ, 1970, 24(2): 56-60.
18. Коноводова Т.В. Материалы по изучению афлатоксикоза птиц и токсических грибов на кормах Волгоградской области. Автореф. канд. дис. М., 1974.
19. Курманов И.А., Осипов А.Н. Грибная флора на кормах Алтайского края. Труды Всесоюзного научно-исследовательского института ветеринарной санитарии, 1970, 35: 80-87.
20. Леонов А.Н., Кононенко Г.П., Соболева Н.А. Содержание трихотеценов в колосьях и соломе пшеницы сорта Обрий, пораженной фузариозом, в момент уборки. Микология и фитопатология, 1989, 23(2): 147-151.
21. Кононенко Г.П., Буркин А.А. О контаминации микотоксинами партий сена в животноводческих хозяйствах. Сельскохозяйственная биология, 2014, 4: 120-126 (doi: 10.15389/agrobiology.2014.4.120rus).
22. Кононенко Г.П., Буркин А.А. Микотоксикологический анализ травяных кормов. Успехи медицинской микологии, 2014, 13: 305-306.
23. Кононенко Г.П., Буркин А.А. Микотоксикологический анализ сена, сенажа и силоса. Мат. III Межд. конгресса ветеринарных фармакологов и токсикологов «Эффективные и безопасные лекарственные средства в ветеринарии». СПб, 2014: 123-125.
24. Burkin A.A., Kononenko G.P., Gavrilova O.P., Gagkaeva T.Yu. About zearalenone levels in grass fodders and toxin producing activity of *Fusarium* fungi. Agricultural Biology, 2015, 50(2): 255-262 (doi: 10.15389/agrobiology.2015.2.255eng).
25. Booth C. The genus *Fusarium*. Commonwealth Mycological Institute, Kew Surrey, 1971.
26. Gerlach W., Nirenberg H. The genus *Fusarium* — a pictorial atlas. Berlin, 1982.
27. Билай В.И. Фузарии. Киев, 1977.
28. Burkin A.A., Kononenko G.P. Mycotoxin contamination of meadow grasses in European Russia. Agricultural Biology, 2015, 50(4): 503-512 (doi: 10.15389/agrobiology.2015.4.503eng).
29. Wu W., Cook M.E., Chu F.S., Buttles T., Hunger J., Sutherland P. Case study of bovine dermatitis caused by oat straw infected with *Fusarium sporotrichioides*. Veterinary Records, 1997, 140(15): 399-400 (doi: 10.1136/vr.140.15.399).
30. Буркин А.А., Соболева Н.А., Кононенко Г.П. Т-2 токсинообразующая способность штаммов *Fusarium poae* из зерна хлебных злаков Восточно-Сибирского и Дальневосточного регионов. Микология и фитопатология, 2008, 42(4): 354-358.
31. Токарев С.В., Кононенко Г.П., Соболева Н.А., Буркин А.А. Токсинообразование популяций *Fusarium poae*, поражающих зерно хлебных злаков в Уральском и Западно-Сибирском регионах. Сельскохозяйственная биология, 2009, 1: 89-92.
32. Кононенко Г.П., Буркин А.А., Соболева Н.А. Потенциал Т-2 токсинообразования у гриба *Fusarium sporotrichioides* Sherb., поражающего зерно в России. Труды ВИЭВ (Москва), 2009, 75: 364-371.
33. Schollenberger M., Müller H.M., Rüfle M., Suchy S., Plank S., Drochner W. Natural occurrence of 16 *Fusarium* toxins in grains and feedstuffs of plant origin from Germany. Mycopathologia, 2006, 161: 43-52 (doi: 10.1007/s11046-005-0199-7).
34. Nordkvist E., Häggblom P. *Fusarium* mycotoxin contamination of cereals and bedding straw at Swedish pig farms. Anim. Feed Sci. Tech., 2014, 198: 231-237 (doi: 10.1016/j.anifeedsci.2014.10.002).
35. Yli-Mattila T., Ward T.J., O'Donnell K., Proctor R.H., Burkin A.A., Kononenko G.P., Gavrilova O.P., Aoki T., McCormick S.P., Gagkaeva T.Yu. *Fusarium sibiricum sp.nov*, a novel type A trichothecene-producing *Fusarium* from northern Asia closely related to *F. sporotrichioides* and *F. langsethiae*. Int. J. Food Microbiol., 2011, 147(1): 58-68 (doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2011.03.007).
36. Sugawara F., Kim K.-W., Kobayashi K., Uzawa J., Yoshida S., Murofushi N., Takahashi N., Strobel G.A. Zearalenone derivatives produced by the

fungus *Drechslera portulacae*. Phytochemistry, 1992, 31(6): 1987-1990 (doi: 10.1016/0031-9422(92)80346-G).
37. Зайченко А.М., Андриенко Е.В., Цыганенко Е.С. Макроциклические трихотеценовые микотоксины. Киев, 2008.
38. Мартынюк Т.Д., Егорова Л.Н. *Myrothecium verrucaria* — новый патоген кукурузы в Приморском крае. Микология и фитопатология, 2009, 43(5): 457-459.

*ФГБНУ Всероссийский НИИ ветеринарной санитарии, гигиены и экологии,*
123022 Россия, г. Москва, Звенигородское ш., 5,
e-mail: kononenkogp@mail.ru

*Поступила в редакцию 27 апреля 2016 года*

*Sel'skokhozyaistvennaya biologiya* [*Agricultural Biology*], 2016, V. 51, № 6, pp. 937-945

# AFFECTION OF COARSE FODDERS BY TOXIGENIC *Fusarium* FUNGI

*E.A. Piryazeva, G.P. Kononenko, A.A. Burkin*

*All-Russian Research Institute of Sanitary, Hygiene and Ecology,* Federal Agency of Scientific Organizations, 5, Zvenigorodskoe sh., Moscow, 123022 Russia, e-mail kononenkogp@mail.ru
Acknowledgements:
We thank Dr T.Yu. Gagkaeva (All-Russian Research Institute of Plant Protection, St. Petersburg—Pushkin) for fungal identification and consultations
*Received April 27, 2016* doi: 10.15389/agrobiology.2016.6.937eng

Abstract

Lack of information about the distribution of toxigenic *Fusarium* fungi in hay and cereal straw which is used for bedding and feeding animals inhibits preventive measures against animal toxicoses. Multiple combined fusariotoxin contamination of hay was recently established during advanced mycotoxicological survey of commercially used batches from the livestock farms in European Russia (G.P. Kononenko, A.A. Burkin, 2014). The aim of this work was to study the species complex of fusaric fungi in fodders from Chelyabinsk, Bryansk and Moscow regions of Russia in different years and to evaluate the toxin-producing capacity of their populations. All 60 samples of hay and straw from Chelyabinsk region (1992) were colonized by fusaric fungi of 6 species — *F. sporotrichioides* Sherb, *F. avenaceum* (Corda ex Fr.) Sacc., *F. poae* (Peck) Wr., *F. tricinctum* (Corda) Sacc., *F. culmorum* (W.G. Smith) Sacc. and *F. sambucinum* Fuckel. Unidentified *Fusarium* species were detected in hay of bromegrass, galega, annual (a mixture of wheat, oats and peas) and perennial grasses, and a complex of these fungi was found in rye straw. The majority of samples (90 %) contained *F. sporotrichioides* (a single species, or this species along with other, but *F. sporotrichioides* mostly predominated). Of 19 samples of the hay and straw harvested in the Bryansk region (2011), 16 were infected by *Fusarium* fungi belonging to the same 8 species. *F. sporotrichioides* was found in 11 samples and prevailed, and the other 7 detected species were less frequent — *F. tricinctum* (4 samples), *F. equiseti* (Corda) Sacc. (3 samples), *F. poae* (2 samples), *F. solani* (Mart.) Sacc. (2 samples), *F. culmorum*, *F. graminearum* Schw. and *F. semitectum* Berk. et Rav. (each in one sample). In fodders from Moscow region (2013) *Fusarium* fungi were found in 171 samples of 239 tested (71.5 %) and the affection was often very high. Isolated fungi belonged to the same 8 species as in other regions mentioned. By the frequency of occurrence they were ranged in the following order: *F. sporotrichioides*, *F. tricinctum*, *F. avenaceum*, *F. poae*, *F. culmorum*, *F. graminearum*, *F. semitectum*, *F. solani*, with *F. sporotrichioides* found in 85.7 % of the samples. In addition, we identified three isolates as *F. cerealis* (Cooke) Sacc., *F. sambucinum* and *F. torulosum* (Berk. & M. A. Curtis). Fungal cultures grown on rice grain substrate at 23 °C for 7 days were first used to test the toxin production. *F. sporotrichioides* was shown to possess 100 % potential for T-2 toxin (122-1078 μg/g) and diacetoxyscirpenol (0.7-20 μg/g) production, *F. culmorum*, *F. graminearum*, *F. cerealis*, *F. torulosum* — for deoxynivalenol and zearalenone production, and in two *F. semitectum* isolates the level of zearalenone was high. Extensive distribution of *F. sporotrichioides* producing T-2 toxin and its highly toxic analog diacetoxyscirpenol, necessitates special attention to control the level of these trichothecenes at harvesting and storage of roughage. Specific features of toxin-production of other *Fusarium* species and hay contamination with deoxynivalenol and zearalenone are discussed.

Keywords: hay, straw, *Fusarium* fungi, mycotoxins.

---

**Салимов В.А. Патология и дифференциальная диагностика факторных болезней молодняка сельскохозяйственных животных (атлас).** СПб: изд-во «Лань», 2016, 384 с. (ISBN 978-5-8114-2060-5)

Изложены особенности патоморфологической и дифференциальной диагностики эшерихиозов, сальмонеллезов, пастереллезов, анаэробных энтеротоксемий, кандидамикоза, их ассоциаций у поросят и телят. Обозначены детали изменений при патологиях.