

## О КОНТАМИНАЦИИ МИКОТОКСИНАМИ ПАРТИЙ СЕНА В ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ ХОЗЯЙСТВАХ

Г.П. КОНОНЕНКО, А.А. БУРКИН

В условиях интенсивного развития животноводства проблема санитарного качества травяных кормов, ежегодно используемых во многих производственных отраслях, приобретает особую актуальность. В представляемой работе с помощью метода непрямого конкурентного иммуноферментного анализа изучена распространенность и содержание микотоксинов (Т-2 токсин, диацетоксисцирпенол, дезоксиниваленол, зеараленон, фумонизины, альтернариол, стеригматоцистин, эмодин, циклопиазеновая кислота, охратоксин А, цитринин, микофеноловая кислота, PR-токсин, афлатоксин В<sub>1</sub> и эргоалкалоиды) в партиях сена из хозяйств ряда центральных областей европейской части России. Исследования показали, что для этого вида корма характерна сочетанная загрязненность 5-13 микотоксинами, и среди них доля содержащих более 10 микотоксинов была достаточно велика. Комплекс из 5 компонентов, включающий альтернариол, стеригматоцистин, циклопиазеновую кислоту, эмодин и эргоалкалоиды, регулярно выявлялся в половине образцов, и его следует признать наиболее значимым для этого вида корма. Встречаемость фузариотоксинов снижалась в ряду Т-2 токсин→диацетоксисцирпенол→дезоксиниваленол→зеараленон→фумонизины. Впервые установлена обширная (более чем в половине проанализированных образцов) контаминация сухих травяных кормов микофеноловой кислотой, обладающей иммунодепрессивным действием. Микофеноловая кислота оказывает в организме теплокровных резкое ингибирующее действие на инозинмонофосфатдегидрогеназу — фермент, важный для синтеза ДНК в растущих клетках. PR-токсин встречался несколько реже в количествах 100-1000 мкг/кг при среднем показателе 280 мкг/кг. Для менее распространенных микотоксинов (афлатоксина В<sub>1</sub>, охратоксина А и цитринина) содержание не превышало 100 мкг/кг. Для трех фузариотоксинов — Т-2 токсина, дезоксиниваленола, зеараленона, а также для альтернариола, циклопиазеновой кислоты, микофеноловой кислоты, эмодина и эргоалкалоидов отмечены случаи накопления количеств более 1000 мкг/кг. Одновременное попадание нескольких микотоксинов в опасных дозах особенно важно для лошадей, а также для молодняка — телят, ягнят и козлят с нефункционирующим рубцом, кроме того, у взрослых жвачных животных (коровы, овцы, козы) микотоксины с антимикробным действием, в частности эмодин, микофеноловая кислота и PR-токсин, вызывают дисбактериоз, облегчая проникновение других микотоксинов. Обсуждается возможная роль микроскопических грибов, относящихся к видам родов *Fusarium*, *Alternaria*, *Penicillium*, *Aspergillus*, *Chaetomium* и *Claviceps*, в контаминации сена микотоксинами.

Ключевые слова: сено, микотоксины, иммуноанализ.

Сено бобовых и злаковых культур как отдельный вид кормопродукции в больших масштабах используется в животноводческой отрасли и составляет основу рациона жвачных животных (крупного рогатого скота, овец) и лошадей. На сеяных и естественных кормовых угодьях травы активно заселяются микроскопическими грибами, которые развиваются как паразиты или участвуют в патогенезе (1). Для многих из них, принадлежащих родам *Claviceps*, *Fusarium*, *Alternaria*, *Rhizoctonia*, *Phoma*, *Phomopsis* и др., известна способность оставлять в растении метаболический след в виде токсичных веществ — микотоксинов. Напочвенное высушивание скошенного травостоя способствует пополнению микобиоты растительного субстрата почвенными сапротрофами, в том числе грибами-целлюлозоразрушителями, многие из которых также относят к числу токсигенных. При хранении сена в тюках, рулонах или скирдах конкурентное развитие грибов продолжается, и при колебаниях влажности, условий аэрации и температур возможны нарушения сложившегося равновесия и активизация отдельных групп или видов грибов (2, 3). Все перечисленное указывает на высокую вероятность загрязнения этого вида корма микотоксинами. Однако сведения об обнаружении микотоксинов в сене фрагментарны и представлены в немногих исследованиях, выполненных в разные годы за

рубежом (4-7). В нашей стране они ограничены двумя сообщениями о результатах анализа единичных производственных образцов (8, 9) и сена из питомников по разведению кроликов (10).

Нашей целью было изучение встречаемости и накопления микотоксинов, свойственных санитарно показательным микромицетам, в партиях заготовленного сена с животноводческих предприятий из центральных областей европейской части России.

**Методика.** В работе использовали средние образцы от 34 партий сена, разных по типу травостоя (сеяные травы, естественные сенокосы), ботаническому составу (монокультуры, разнотравье), условиям вегетации, заготовки и срокам хранения (от 1 мес до 2 лет). Из них 14 образцов предоставлены в 2011-2012 годах Брянской межобластной ветеринарной лабораторией (Брянский, Выгоничский, Жирятинский, Карачевский, Клинцовский, Почепский, Трубчевский р-ны, Брянская обл.) по запросу, остальные 20 поступили в лабораторию микотоксикологии Всероссийского НИИ ветеринарной санитарии, гигиены и экологии в 2006-2013 годах из животноводческих предприятий, конноспортивных клубов и центров по разведению лабораторных животных, а также частных подворий (Брянская, Липецкая, Московская, Пермская, Тверская и Тульская обл.).

Для анализа воздушно-сухой образец измельчали, навеску помещали в пробирку и добавляли смесь ацетонитрила и воды (84:16). Соотношение навески материала и объема экстрагента равнялось 1:10 (масса/объем). Пробирку интенсивно встряхивали и оставляли на 12-14 ч. После повторного встряхивания экстракты разбавляли буфером в 10 раз и использовали для непрямого конкурентного иммуноферментного анализа. Афлатоксин В<sub>1</sub> (АВ<sub>1</sub>), зеараленон (ЗЕН), охратоксин А (ОА), стеригматоцистин (СТЕ), Т-2 токсин (Т-2), фумонизины (ФУМ) определяли с помощью коммерческих наборов иммунореагентов отечественного производства (11), альтернариол (АОЛ), дезоксиниваленол (ДОН), диацетоксисцирпенол (ДАС), микофеноловую кислоту (МФК), циклопиазоновую кислоту (ЦПК), цитринин (ЦИТ), эмодин (ЭМО), эргоалкалоиды (ЭА) и PR-токсин (PR) — с использованием исследовательских тест-систем (12). Нижние пределы определения микотоксинов составили 2 мкг/кг (АВ<sub>1</sub>, Т-2, ЭА), 4 мкг/кг (СТЕ), 8 мкг/кг (ОА), 20 мкг/кг (МФК, ЦИТ, АОЛ, ЗЕН), 40 мкг/кг (ДОН, ЭМО), 50 мкг/кг (ФУМ) и 100 мкг/кг (ДАС, ЦПК, PR).

**Результаты.** Как следует из полученных данных (табл.), в образцах сена выявлены все анализируемые микотоксины. Группу фузариотоксинов представляли Т-2, ДАС, ДОН, ЗЕН и ФУМ. Чаще других встречался Т-2. Степень загрязненности этим токсином варьировала от 10 до 1000 мкг/кг, в большинстве случаев превышая 100 мкг/кг. Вероятно, его источником служит вид *Fusarium sporotrichioides*, поскольку его изоляты, выделенные из сена в Канаде в 1982 году, оказались активными продуцентами Т-2 (13), а у штаммов, полученных из сена в Челябинской области России в 1992 году, также обнаружена высокая токсигенность (14). Нельзя недооценивать значение частой контаминации сена двумя высокотоксичными трихотеценами — Т-2 и ДАС с накоплением более 100 мкг/кг. К видам, реализующим такое направление биогенеза, относятся *F. sporotrichioides* и *F. poae* (15). Интересно, что *F. sporotrichiella* Bilai var. *poae* Bilai найден в составе возбудителей фузариоза тимофеевки и мятлика (1).

Различий по встречаемости в образцах ДОН и ЗЕН мы не выявили, однако если содержание ДОН в основном находилось в пределах 100-1000 мкг/кг, то ЗЕН — 10-100 мкг/кг (см. табл.). Контаминация сена Т-2, ДОН и ЗЕН обнаружена и канадскими исследователями, при этом коли-

чества ДОН тоже были наибольшими (3). W.J. Yu с соавт. (4) сообщили о повсеместной загрязненности 25 образцов сена ДОН в количествах 510–720 мкг/кг (в среднем 610 мкг/кг) при отсутствии ЗЕН. Продуцентом ДОН и ЗЕН, вероятнее всего, служит вид *F. graminearum*, идентифицированный в составе возбудителей фузариоза колоса ежи сборной и костра (1).

#### Встречаемость и содержание микотоксинов в образцах сена из хозяйств в европейской части России

Микотоксин	всего/ <i>n</i>	<i>n</i> <sup>+</sup>					Минимальное—среднее—максимальное содержание микотоксина, мкг/кг
		по содержанию микотоксина, мкг/кг					
		до 10	≥ 10	≥ 100	≥ 1000	≥ 10 000	
Т-2	25/34	1	8	13	3	—	5–450–2240
ДАС	19/34	н.о.	н.о.	19	—	—	100–285–760
ДОН	13/34	н.о.	2	10	1	—	50–525–4840
ЗЕН	12/34	н.о.	9	1	2	—	20–395–2000
ФУМ	8/34	н.о.	1	7	—	—	90–212–335
АОЛ	23/28	н.о.	5	13	5	—	40–695–5130
СТЕ	29/34	1	23	5	—	—	7–97–790
ЭМО	28/34	н.о.	5	7	13	3	45–3085–17780
ЦПК	25/34	н.о.	н.о.	23	2	—	100–510–3890
ОА	22/34	2	20	—	—	—	8–20–40
ЦИТ	17/34	н.о.	12	5	—	—	40–145–660
МФК	17/31	н.о.	9	5	3	—	20–410–2140
PR	14/34	н.о.	н.о.	14	—	—	100–280–640
AB <sub>1</sub>	12/34	10	1	1	—	—	2–15–100
ЭА	22/31	8	7	4	3	—	2–735–8910

Примечание. Т-2 — Т-2 токсин, ДАС — дицетоксисцирпенол, ДОН — дезоксиниваленол, ЗЕН — зеараленон, ФУМ — фумонизины, АОЛ — альтернариол, СТЕ — стеригматоцистин, ЭМО — эмодин, ЦПК — циклопиазоновая кислота, ОА — охратоксин А, ЦИТ — цитринин, МФК — микрофеноловая кислота, PR — PR-токсин, AB<sub>1</sub> — афлатоксин В<sub>1</sub>, ЭА — эргоалкалоиды. Прочерк означает, что положительных проб не обнаружили; *n* — число исследованных проб, *n*<sup>+</sup> — число положительных проб; н.о. — оценка не могла быть проведена.

Следует особо отметить, что в двух исследованных нами образцах содержание ЗЕН оказалось аномально высоким и достигало 2000 мкг/кг. Безусловно, нет оснований полностью исключать фитогенное происхождение этого метаболита, однако значительное его накопление может быть связано с редкими случаями фузариозного поражения луговых растений сверхактивным продуцентом или резкой стимуляцией токсиногенеза гриба под воздействием каких-либо внешних факторов. Так, в Новой Зеландии установлена связь между частым поражением пастбищных трав *F. crookwellense* Burgess, Nelson, and Toussoun и аномально высоким содержанием в них ЗЕН (16). Накопление этого метаболита, обладающего эстрогенным действием (особенно летом), оказалось настолько значительным, что вызвало массовые нарушения репродуктивной системы у овец (17).

В целом в сухих травяных кормах встречаемость и накопление фузариотоксинов Т-2, ДОН и ЗЕН были выше, чем в зерне культурных злаков — пшеницы, ячменя, овса и ржи (18). В этой связи весьма интересным представляется ранее выявленный факт повышенной загрязненности токсинами группы ДОН соломы фузариозной пшеницы в сравнении с зерном (19). По-видимому, причина заключается в составе возбудителей фузариоза и условиях их взаимодействия с растением.

Пока также не представляется возможным дать какое-либо объяснение случаям (хотя и редким) обнаружения в сене ФУМ. Возможно, среди грибов, развивающихся на этом типе субстрата, есть виды, способные осуществлять его биосинтез. Близкие показатели по ФУМ (от 20 до 450 мкг/кг со средним значением 120 мкг/кг) установлены в 13 из 25 проб сена и травяного силоса в США (4).

Встречаемость АОЛ (один из токсинов грибов *Alternaria*) оказалась весьма высокой со средним накоплением по изученной выборке 695 мкг/кг

при наибольшем значении 5130 мкг/кг. Первое сообщение об обнаружении АОЛ в сене в количестве 560 мкг/кг было сделано в 2011 году (9). Факты значительной контаминации сена грибами *Alternaria* и их сохранности в течение 8 мес установлены М. Muller (2).

Из всех изученных микотоксинов СТЕ обнаруживали с наибольшей частотой при среднем содержании 97 мкг/кг (см. табл.). Возможность интенсивной загрязненности сена этим токсином связывают с распространением гриба *Aspergillus versicolor* (20, 21). Это согласуется и с нашей оценкой, в соответствии с которой из 32 изолятов указанного вида, полученных из разных кормов, 30 оказались продуцентами. Несомненный интерес представляет также сообщение о способности целлюлозоразрушающих грибов рода *Chaetomium* к биосинтезу СТЕ (22).

Такую же значительную распространенность имел ЭМО — метаболит антрахинонового ряда, идентифицированный у грибов из разных систематических групп и в некоторых высших растениях (23). Его содержание различалось на четыре порядка — от 45 до 17780 мкг/кг со средним значением 3085 мкг/кг. Способность к интенсивному биосинтезу ЭМО установлена для *Aspergillus ochraceus*, *A. wentii* (24, 25) и *A. fumigatus* (26).

Очень высокую встречаемость при среднем количестве 510 мкг/кг имела ЦПК. Ранее в единичных образцах травяной муки, сена и соломы было выявлено содержание ЦПК от 160 до 790 мкг/кг (8). Такие результаты совпали с данными американских исследователей, согласно которым из 25 обследованных проб сена 80 % контаминированы этим токсином в количестве 390 мкг/кг (4). Вопрос о возможных источниках его появления в сене пока остается неясным. Среди грибов рода *Aspergillus* в этой связи упоминают *A. flavus* и *A. versicolor*, хотя в наших экспериментах для первого способность к образованию ЦПК была показана, а у второго ее обнаружить не удалось (8). Потенциал грибов рода *Penicillium* из состава микобиоты сухих травяных кормов пока не изучался. Среди возможных продуцентов этого токсина называют *P. camembertii*, *P. griseofulvum*, *P. roqueforti* и *P. commune* (27, 28).

Несомненно важным представляется то обстоятельство, что в сене достаточно часто, хотя и в малых количествах, встречается ОА, в том числе в сочетании с ЦИТ, активизирующим его токсическое действие. Ранее случай следовых количеств ОА совместно с глиотоксином описан в сене, которое скармливали верблюдам в ОАЭ (6).

Факт обширной контаминации сухих травяных кормов МФК нами выявлен впервые. Она обнаружена более чем в половине проанализированных образцов с колебаниями от 20 мкг/кг (предел количественного определения используемого метода) до 2140 мкг/кг. В половине положительных проб количества МФК соответствовали десяткам микрограммов, но в остальных превышали 100 и 1000 мкг/кг. Возможно, в травяных кормах есть не один, а несколько источников этого метаболита. В зерновых кормах к продуцентам относят несколько видов рода *Penicillium*, в том числе *P. stoloniferum* и *P. brevi-compactum*. Однако при тестировании в тех же условиях на агаризованной среде потенциал, хотя и менее выраженный, имели два представителя грибов *Aspergillus* группы *Glaucus* — *A. pseudoglaucus* и *A. proliferans*. МФК известна как сильный иммунодепрессант и оказывает в организме теплокровных резкое ингибирующее действие на инозинмонофосфатдегидрогеназу — фермент, важный для синтеза ДНК в растущих клетках. Распространенность этого грибного метаболита в кормах, составляющих основу рационов многих видов сельскохозяйственных животных, может создавать угрозу для их иммунного статуса.

PR по частоте обнаружения значительно уступал ЦПК и лишь немного — МФК. Его содержание находилось в основном в диапазоне 100-1000 мкг/кг при среднем значении 280 мкг/кг. Ранее по данным анализа 25 образцов сена и травяного силоса американские исследователи выявили для PR такую же высокую распространенность, как для ЦПК, с накоплением от 50 до 260 мкг/кг при среднем показателе 150 мкг/кг (4). Возможно, это связано с суммарной обработкой результатов по образцам не только сена, но и зеленой массы после ее силосования, при котором возможно интенсивное развитие гриба *Penicillium roqueforti*.

AB<sub>1</sub> обнаруживали примерно в трети исследованных образцов в количествах менее 10 мкг/кг, хотя для двух они составили 50 и 100 мкг/кг. Редкий случай выявления этого микотоксина в сене (при содержании 60 мкг/кг) описан в Канаде (7). Однако, согласно результатам исследований в Турции, значительная доля образцов сена контаминирована афлатоксинами (5).

Обнаружение ЭА в 70 % исследованных проб сена было вполне ожидаемым. На злаковых травах (тимофеевка, лисохвост, ежа сборная, овсяница, мятлик, райграс, полевица, костер, пырей) паразитирует сумчатый микромицет *Claviceps purpurea* Tul., который после конидиальной стадии *Schacelia segetum* Lev. в виде липкого налета (так называемой медвяной росы) формирует на колосьях или метелках склероции (1), содержащие эти токсины. Кроме того, ЭА образуют некоторые эндофиты таких злаков как мятлик, овсяница, райграс (29), слабо выраженную способность к их биосинтезу имеют и многие представители несовершенных грибов (27). Подобными фактами, по-видимому, объясняется тот широкий разброс (от 2 до 2010 мкг/кг), которым характеризовалось содержание ЭА в изученных нами образцах (22 положительных из 31).

В целом типичной для сена оказалась сочетанная загрязненность микотоксинами. Из 28 образцов, оцененных по всему перечню показателей, только в трех выявили 2, 3 и 4 микотоксина, в 13 — от 5 до 9 компонентов, в 11 — 10-13 и в одном — все 15 микотоксинов. То есть в большинстве образцов (в 24 из 28) число токсичных компонентов колебалось от 5 до 13, и среди них доля содержащих более 10 микотоксинов была достаточно велика.

Комплекс из 5 микотоксинов (АОЛ, СТЕ, ЦПК, ЭМО, ЭА) был выявлен в 13 из 28 образцов, и его следует признать наиболее значимым для этого вида корма. При этом 12 образцов также содержали ОА, 11 — еще и МФК, 10 — ДАС и 7 — Т-2. Кроме того, в сене возможно сверхвысокое накопление (более 1000 мкг/кг) трех фузариотоксинов — Т-2, ДОН, ЗЕН, а также АОЛ, ЦПК, МФК, ЭМО и ЭА.

Таким образом, для сена злаковых и бобовых культур характерна множественная контаминация микотоксинами при их значительном накоплении, следовательно, существует вероятность того, что с кормом в организм животных одновременно попадут несколько микотоксинов в опасных дозах. Это особенно важно для лошадей, а также для молодняка — телят, ягнят и козлят с нефункционирующим рубцом, особенно восприимчивых к действию микотоксинов (30). До недавнего времени было принято считать, что взрослым жвачным (коровы, овцы, козы) такие токсины не причиняют вреда, подвергаясь деструкции в рубце. Однако сейчас появились экспериментальные данные, указывающие на то, что микотоксины с антимикробным действием, в частности ЭМО, МФК и PR, вызывают дисбактериоз, нарушают функцию рубца, тем самым облегчая проникновение других микотоксинов (31).

Итак, с помощью метода непрямого конкурентного иммуноферментного анализа впервые проведена оценка загрязненности сена микотоксинами, которая необходима для организации широкомасштабных национальных мониторинговых исследований. Изучена частота и накопление микотоксинов (Т-2 токсин, диацетоксисцирпенол, 4-дезоксиниваленол, зеараленон, фумонизины, альтернариол, стеригматоцистин, эмодин, циклопиазоновая кислота, охратоксин А, цитринин, микофеноловая кислота, РR-токсин, афлатоксин В<sub>1</sub> и эргоалкалоиды) в партиях сена, полученных из животноводческих хозяйств в ряде областей европейской части России. Выполненная работа представляет собой первый шаг к обоснованию критериев микотоксикологического контроля для грубых кормов, направленного на обеспечение их безопасности.

Авторы выражают признательность руководству и сотрудникам ФГБУ Брянская межобластная ветеринарная лаборатория за предоставление образцов для исследования.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Хохряков М.К., Доброзракова Т.Л., Степанов К.М., Летова М.Ф. Определитель болезней растений. СПб, 2003.
2. Muller M. Investigation of the incidence of *Alternaria* in silage maize and hay. Zentralblatt für Mikrobiologie, 1991, 146(7-8): 481-488.
3. Raymond S.L., Heiskanen M., Smith T.K., Reiman M., Laitinen S., Clarke A.F. An investigation of the concentrations of selected *Fusarium* mycotoxins and the degree of mold contamination of field-dried hay. Journal of Equine Veterinary Science, 2000, 20(10): 616-621.
4. Yu W.J., Yu F.-Y., Undersander D.J., Chu F.S. Immunoassays of selected mycotoxins in hay, silage and mixed feed. Food and Agricultural Immunology, 1999, 11(4): 307-319.
5. Karademir B., Dogan A., Kaya I. The incidence, geographical distribution and levels of aflatoxin B<sub>1</sub> on stored hay batches in Kars Province of Turkey. Veteriner Fakultesi Dergisi, Uludag Universitesi, 2003, 22(1/3): 65-68.
6. Garies M., Wernery U. Determination of gliotoxin in samples associated with cases of intoxication in camels. Mycotoxin Research, 1994, 10(1): 2-8.
7. Prior M.G. Mycotoxins in animal feedstuffs and tissues in Western Canada 1975 to 1979. Can. J. Compar. Med., 1981, 45(2): 116-119.
8. Кононенко Г.П., Буркин А.А. Токсикообразующая способность грибов рода *Aspergillus* и оценка загрязненности циклопиазоновой кислотой кормовой продукции. Микология и фитопатология, 2008, 42(2): 178-184.
9. Буркин А.А., Кононенко Г.П. Иммуноферментный анализ альтернариола для оценки риска контаминации агропродукции. Прикладная биохимия и микробиология, 2011, 47(1): 79-83.
10. Буркин А.А., Кононенко Г.П. Микотоксины в кормах для экспериментальных животных. Мат. III съезда фармакологов и токсикологов России «Актуальные проблемы ветеринарной фармакологии, токсикологии и фармации». СПб, 2011: 81-83.
11. ГОСТ Р 52471-2005. «Корма. Иммуноферментный метод определения микотоксинов». М., 2005.
12. Буркин А.А., Кононенко Г.П. Контаминация ягеля микотоксинами. Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук, 2011, 2: 56-58.
13. Буркин А.А., Кононенко Г.П., Токарев С.В. Иммуноферментный анализ диацетоксисцирпенола в токсикологической оценке грибов рода *Fusarium*. Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук, 2007, 6: 28-30.
14. Davis G.R.F., Westcott N.D., Smith J.D., Neish G.A., Schiefer H.B. Toxicogenic isolates of *Fusarium sporotrichioides* obtained from hay in Saskatchewan. Can. J. Microbiol., 1982, 28(2): 259-261.
15. Кононенко Г.П., Буркин А.А., Соболева Н.А. Потенциал Т-2 токсикообразования у гриба *Fusarium sporotrichioides* Sherb., поражающего зерно в России. Тр. ВИЭВ (М.), 2009, 75: 364-371.
16. Vesonder R.F., Golinski P., Plattner R., Zietkiewicz D.L. Mycotoxin formation by different geographic isolates of *Fusarium crookwellense*. Mycopathologia, 1991, 113: 11-14.
17. Towers N.R., Sprosen J.M. Zearalenone-induced infertility in sheep and cattle in New Zealand. N. Z. Vet. J., 1993, 41: 223-224.
18. Кононенко Г.П., Буркин А.А. О контаминации фузариотоксинами зерна злаков, используемых на кормовые цели. Сельскохозяйственная биология, 2009, 4: 81-87.

19. 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.
20. Lerom P., Kloss H. Studies into formation of the mycotoxin sterigmatocystin on hay and straw under in vitro conditions. Monatscheft für Veterinarmedizin, 1988, 43(14): 516-518.
21. Lerom P., Kloss H. Production of sterigmatocystin by *Aspergillus versicolor* isolated from roughage. Mycopathologia, 1988, 101: 25-29.
22. Sekita S., Yoshihira H., Natori S., Udagawa S., Muroi T., Sugiyama Y., Kurata H., Umeda M. Mycotoxin production by *Chaetomium* spp. and related fungi. Can. J. Microbiol., 1981, 27: 766-772.
23. Гесслер Н.Н., Егорова А.С., Белозерская Т.А. Антрахиноны грибов (обзор). Прикладная биохимия и микробиология, 2013, 49(2): 109-123.
24. Lu P., Zhao X., Cui T. Production of emodin from *Aspergillus ochraceus* at preparative scale. African Journal of Biotechnology, 2010, 9(4): 512-517.
25. Wells J.M., Cole R.J., Kirksey J.W. Emodin, a toxic metabolite of *Aspergillus wentii* isolated from weevil-damaged chestnuts. Appl. Microbiol., 1975, 30(1): 26-28.
26. Кононенко Г.П., Буркин А.А. Эмодин: контаминация зерновых кормов. В сб.: Успехи медицинской микологии. Т. 9. М., 2007: 88-89.
27. Козловский А.Г. Нетрадиционные продуценты эргоалкалоидов (обзор). Прикладная биохимия и микробиология, 1999, 35(5): 536-545.
28. Weidenbörner M. Encyclopedia of food mycotoxins. Springer-Verlag, Berlin, 2001: 79.
29. Портер Дж.К. Алкалоиды спорыньи и других эндофитов, вызывающие токсичный синдром у скота при питании зараженными травами. Прикладная биохимия и микробиология, 1993, 29(1): 51-55.
30. Хмелевский Б.Н., Пилипец В.И., Малиновская Л.С., Костин В.В., Комарницкая Н.П., Иванов В.Г. Профилактика микотоксикозов животных. М., 1985.
31. Fink-Gremmels J. Микотоксины в грубых и сочных кормах. В кн.: Микотоксины и микотоксикозы /Под ред. Д. Диаза. М., 2006: 157-178.

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

Поступила в редакцию  
24 марта 2014 года

## MYCOTOXIN CONTAMINATIONS IN COMMERCIALY USED HAY

G.P. Kononenko, A.A. Burkin

All-Russian Research Institute of Sanitary, Hygiene and Ecology, Russian Academy of Agricultural Sciences, 5, Zvenigorodskoe sh., Moscow, 123022 Russia, e-mail kononenkogp@mail.ru  
Received March 24, 2014

doi: 10.15389/agrobiol.2014.4.120eng

### Abstract

Occurrence and levels of mycotoxins (T-2 toxin, diacetoxyscirpenol, 4-deoxynivalenol, zearalenone, fumonisins, alternariol, sterigmatocystin, emodin, cyclopiazonic acid, ochratoxin A, citrinin, mycophenolic acid, PR-toxin, aflatoxin B<sub>1</sub> and ergot alkaloids) were examined by indirect competitive enzyme-linked immunosorbent assay in field-dried hay from farms in central regions of European Russia. Studies have shown that co-contamination with 5-13 mycotoxins is typical for this forage, and the percentage of 10 mycotoxin complexes is rather high. Complex of 5 components including alternariol, sterigmatocystin, cyclopiazonic acid, emodin and ergot alkaloids was regularly revealed in a half of the taken samples, being the most considerable in this fodder type. The detection frequency of fusariotoxins shown to decrease among: T-2 toxin, diacetoxyscirpenol, 4-deoxynivalenol, zearalenone, fumonisins. For the first time wide contamination of dry grassy feeds (more than in half of the analyzed samples) with mycophenolic acid possessing extensive immunosuppressive action is established. Mycophenolic acid inhibits inosine monophosphate dehydrogenase in DNA synthesis during cell growth. PR-toxin was met slightly less often in quantities of 100-1000 µg/kg at an average value of 280 µg/kg. For group of less wide-spread mycotoxins (aflatoxin B<sub>1</sub>, ochratoxin A, citrinin) content levels didn't exceed 100 µg/kg. Accumulation of amounts more than 1000 µg/kg is shown for three fusariotoxins — T-2 toxin, 4-deoxynivalenol, zearalenone and also for alternariol, cyclopiazonic acid, mycophenolic acid, emodin and ergot alkaloids. Combinations of several mycotoxins at high levels are injurious to horses and young ruminants with no paunch function. The mycotoxins with antibacterial activity, particularly emodin, mycophenolic acid and PR-toxin, also cause a misbalance in gut microflora and contribute to other mycotoxin penetration. The possible role of microscopic fungi relating to genera *Fusarium*, *Alternaria*, *Penicillium*, *Aspergillus*, *Chaetomium* and *Claviceps* in hay contamination with mycotoxins is discussed.

Keywords: hay, mycotoxins, enzyme immunoassay.