

ПРИМЕНЕНИЕ АКТИВИРОВАННЫХ УГЛЕЙ В БОРЬБЕ С МИКОТОКСИНАМИ

Б.Б. Кайдар^{1,2*}, Г.Т. Смагулова^{1,2}, Э. Брахим³

¹Казахский национальный университет им. аль-Фараби, пр. аль-Фараби 71, Алматы, Казахстан

²Институт проблем горения, ул. Богенбай батыра 172, Алматы, Казахстан

³Университет Ла Рошелла, авеню Мишеля Крепо 17042, Ла Рошель, Франция

Дата поступления:

4 мая 2020

Принято на печать:

8 июня 2020

Доступно онлайн:

30 июня 2020

УДК: 546.05+661.183.2

АННОТАЦИЯ

Одной из основных проблем, с которыми фермы по всему миру сталкиваются – различного вида микотоксикозы у сельскохозяйственных животных. Это заболевания, вызванные токсичными веществами, продуцируемыми различными видами грибов, таких как *Fusarium*, *Aspergillus* и *Penicillium*, которые образуются на растениях и кормах. В работе представлены общие данные по микотоксинам: основные виды, оказывающие наибольший негативный эффект на организм животных и птиц, а также исследования по применению различных сорбентов в качестве детоксифицирующих агентов. Представлен способ получения активированных углей из биоотхода в виде свекловичного жома.

Ключевые слова: микотоксины, сорбенты, свекловичный жом, активированный уголь.

Введение

В доктрине продовольственной безопасности Республики Казахстан роль основного источника в пополнении продовольственных ресурсов отводится сельскохозяйственным животным и птицам. В настоящее время, увеличение продуктивности животных и птиц является приоритетной задачей, как для предприятий отрасли, так и для страны в целом. Тем самым, одним из основных путей реализации данного направления включает в себя улучшение качества потребляемых комбикормов и повышение их биологической полноценности. В настоящее время, несмотря на тщательный контроль всех процессов производства кормовых добавок крайне сложно предотвратить образование и накопление микотоксинов в их составе, поэтому предотвратить попадание микотоксинов в рацион питания животных, практически невозможно. Снизить отрицательные последствия от проникновения микотоксинов в организм животных и птиц с кормами возможно путем нейтрализации их различными сорбентами. В статье представлены данные о самых распространенных видах микотоксинов, их влиянии на организм животных и птиц, а также использующихся сорбентов в их детоксикации.

Общие понятия о микотоксинах

Природные токсины представляют собой вредные органические соединения природного происхождения, которые могут встречаться в пищевых продуктах и кормах, вызывая острые или хронические токсические эффекты. По своему происхождению природные токсины можно разделить на пять основных категорий: микотоксины, бактериальные токсины, фитотоксины, растительные токсины и зоотоксины. Микотоксины – это токсины, вырабатываемые грибами, а бактериальные токсины – бактериями. Фитотоксины вырабатываются водорослями и попадают в рыбные продукты через пищевую цепочку. Растительные токсины вырабатываются съедобными видами растений, а зоотоксины – животными. Растительные токсины и зоотоксины являются неотъемлемыми компонентами растений и животных. Поскольку микотоксины, бактериальные токсины и фитотоксины могут продуцироваться микроорганизмами, эти токсины классифицируются как био-загрязнители [1].

Микотоксины являются вторичными грибковыми метаболитами, оказывающими токсическое воздействие на организм человека и сельскохозяйственных животных и отличаются по химическому строению. Плесень родов *Aspergillus*, *Fusarium*,

*Ответственный автор

E-mail: bayan.kaidar@kaznu.kz (Б.Б. Кайдар).

Penicillium и *Alternaria* относится к наиболее важным прекурсорам микотоксинов. Виды *Aspergillus* и *Penicillium*, как правило, обнаруживаются в качестве загрязняющих веществ в сельскохозяйственных культурах во время сушки и хранения, поэтому их также называют «грибами хранения», тогда как виды *Fusarium* и *Alternaria* называют «полевыми грибами» из-за выработки микотоксинов до или сразу после сбора урожая [2,3]. Известно, что на выработку микотоксинов могут влиять различные факторы (таблица 1), такие как температура, аэрация субстрата, активность воды, размер инокулята, микробные взаимодействия, нерегулярные условия хранения и транспортировки [4]. Измерение фактической концентрации токсинов в кормах или продуктах питания является важной частью оценки воздействия и общей характеристики опасности. На сегодняшний день разработаны и апробированы аналитические инструменты для различных видов сельскохозяйственных культур и товаров, которые позволяют проводить мониторинг распространения микотоксинов и контролировать соблюдение установленных нормативных уровней для микотоксинов в кормах и продуктах питания.

В настоящее время, известно более 300 видов микотоксинов, но научный интерес до сих пор был сосредоточен только приблизительно на 10 видах, оказывающих известное токсикологическое воздействие на здоровье человека и животных.

Микотоксины характеризуются дифференцированной химической структурой в результате множества разновидностей плесени, ответственных за их продуцируемость. Среди них афлатоксины имеют сильно окисгенированную гетероциклическую структуру; охратоксины состоят из дигидроизо-кумаринового фрагмента, полученного из поликетидов, связанного через 12-карбоксихруппу с фенилаланином; и трихотеценов характеризует весьма схожая химическая структура, представляющая двойную связь между C9 и C10 и эпоксидной группой с функциональными спиртовыми и

сложноэфирными группами в положении C12-C13, ответственными за их токсичность. Другими релевантными микотоксинами являются зеараленон и его метаболиты, которые представляют собой лактоновые соединения эстрогенной резорциловой кислоты; фумонизины, представляющие длинную линейную углеродную цепь с функциональными группами сложного эфира, карбоновой и аминозамещающей группы.

В таблице 1 представлены наиболее важные факторы, влияющие на рост плесеней и накоплению микотоксинов в продуктах. Известно, что повышенная температура и высокая влажность являются основными влияющими факторами, в процессе которых происходит усиление активности окислительных и гидролитических ферментов и создаются условия для размножения микотоксинов.

Согласно оценке Продовольственной и Сельскохозяйственной Организации (Food and Agriculture Organization, FAO), 25% продовольственных культур в мире поражены грибами, производящими микотоксины. Столкнувшись с этой угрозой, на глобальном уровне постепенно создается правовая основа для установления стандартов, определяющих максимально допустимый уровень микотоксинов в пищевых продуктах, а для обеспечения соблюдения таких стандартов требуются методы выявления и количественной оценки микотоксинов [7]. На сегодняшний день наиболее широко используемыми методами контроля микотоксинов являются хроматографические и иммунологические методы [8-10].

Токсический эффект микотоксинов

Микотоксины, попав в организм животного способны вызывать нарушения фертильности и гистопатологические изменения в почках и печени. Кроме того, исследования *in vitro* показали, что микотоксины могут регулировать сигнальные пути в

Таблица 1

Оптимальные условия для роста грибов и накопления некоторых видов микотоксинов [5]

Плесневые грибы родов	Микотоксины	Рост грибов			Продукция микотоксинов		
		°C	a _w (влажность)	pH	°C	a _w (влажность)	pH
<i>Aspergillus</i>	Афлатоксины	10–43	>0,78	2,1–11,2	12–37	>0,82	3,5–8,0
	Охратоксин А	8–37	>0,77	2,2–10,0	12–37	>0,80	-
<i>Penicillium</i>	Охратоксин А	0–31	>0,80	2,1–10,0	0–31	>0,86	(5,6)
<i>Fusarium</i>	Дезоксиниваленон, ниваленон, зеараленон	24–26	>0,90	2,4–9,5	24–26	>0,90	2,4–9,5
	Фумонизин В1	4–35	>0,88	5,5–7,0	13–30	>0,92	-

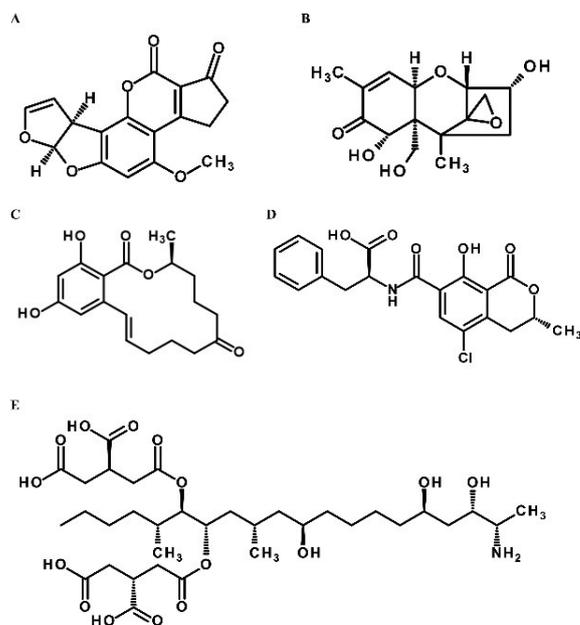


Рис. 1. Химическая структура наиболее распространенных микотоксинов: А – афлатоксин В1; В – дезоксиниваленол; С – зераленон; D – охратоксин А; Е – фумонизин В1 [6].

клетках животных, что приводит к окислительному стрессу и митохондриально-зависимой гибели клеток. Такие клинические проявления называются микотоксикозами. Токсическое действие микотоксинов в основном связано с генотоксичностью, канцерогенностью, иммунотоксичностью и мутагенностью [2, 3, 11, 12]. Схожесть микотоксикозов заключается в этиологическом факторе и наносимом ущербе окружающей среде.

Микотоксикозы можно разделить на три основные формы [13]:

1. Острый первичный микотоксикоз развивается при поступлении микотоксинов в организм в больших количествах.

2. Хронический первичный микотоксикоз развивается, когда микотоксины поступают в организм в средних и низких дозах. Часто он проявляется в виде не специфических признаков, таких как снижение веса животного и воспроизводительных функций.

3. Вторичный микотоксикоз возникает в результате поступления микотоксинов в макроорганизм в незначительных количествах, но продолжительное время. При этом явный микотоксикоз не вызывается, но организм становится восприимчив к различным инфекционным заболеваниям за счет снижения иммунитета и естественной резистентности организма.

Загрязнение микотоксинами корма для сельскохозяйственных животных приводит к значительным экономическим потерям. Афлатоксин, охратоксин А, фумонизин, зеараленон и дезоксиниваленол, которые считаются наиболее опасными для сельскохозяйственных животных, естествен-

ным образом встречаются в кормах и часто выявляются во время мониторинга. Кроме того, микотоксины, которые накапливаются в тканях животных и присутствуют в крови и молоке домашнего скота, могут представлять угрозу для людей, потребляющих мясо или молочные продукты.

Афлатоксины и охратоксин А являются микотоксинами, вырабатываемыми преимущественно грибами рода *Aspergillus*. В клетках животных эти микотоксины имеют сходный механизм действия, который приводит к увеличению активности МАР-киназ (mitogen-activated protein kinase), а они в свою очередь стимулируют окислительный стресс. Известно, что эти микотоксины могут модулировать различные свойства, такие как онкогенность, контроль клеточного цикла и регуляцию липидов. Эти микотоксины также ингибируют пролиферацию клеток посредством разрушения митохондрий и индукции стресса эндоплазматического ретикула. Воздействия афлатоксина В1, афлатоксина В2 и охратоксина А приводят к нефротоксичности, гепатотоксичности и репродуктивным расстройствам у сельскохозяйственных животных [14-17].

Зеараленон и дезоксиниваленол являются микотоксинами, продуцируемыми видами *Fusarium*. Зеараленон метаболизируется в печени с образованием зеараленола, который способствует генерации активных форм кислорода (АФК) и индуцирует митохондриально-зависимую гибель клеток. Воздействие как зеараленона, так и дезоксиниваленола вызывает дисфункцию яичников, селезенки, печени и кишечника у сельскохозяйственных животных [19-21].

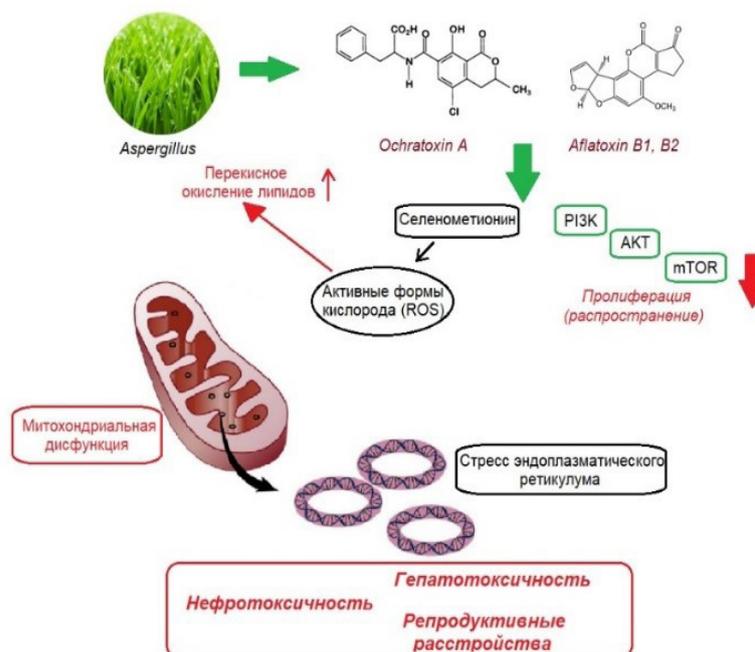


Рис. 2. Физиологические функции афлатоксина В1, афлатоксина В2 и ократораина А в клетках животных [18].

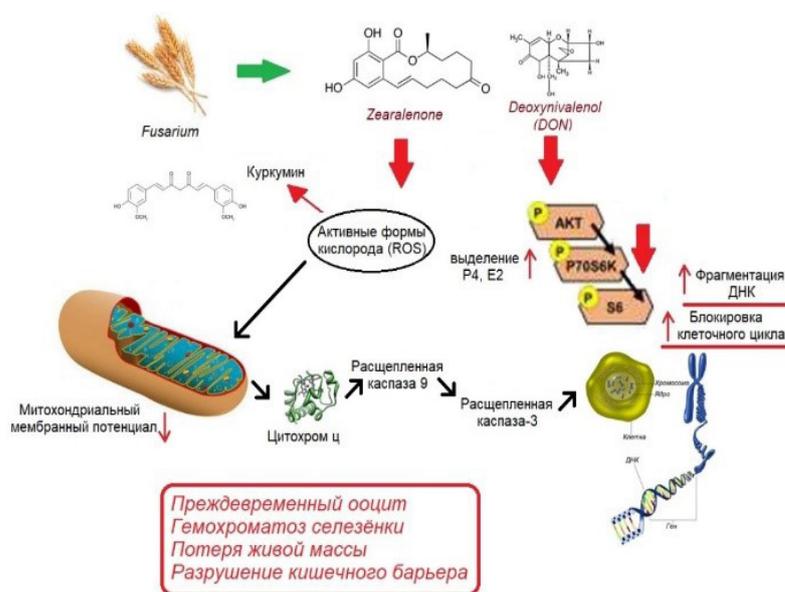


Рис. 3. Физиологические функции зearаленона и дезоксииниваленола в клетках животных [18].

Сорбенты – нейтрализаторы микотоксинов

Факт того, что микотоксины влияют на здоровье и продуктивность домашней птицы, привел к интенсивным исследованиям противодействующих методов, включая обнаружение и устранение или детоксикацию микотоксинов. Детоксифицирующие агенты можно разделить на два разных класса, а именно: связывающие микотоксинов и модификаторы микотоксинов. Эти два класса имеют разные механизмы действия; связывающие микотоксинов адсорбируют токсин в кишечнике, что приводит

к выведению из организма токсина естественным путем, тогда как модификаторы микотоксинов превращают токсин в нетоксичные метаболиты. В 2009 году была добавлена новая функциональная группа в категории технологических кормовых добавок. Эта группа определена Регламентом Комиссии (ЕС) № 386/2009 как «вещества для уменьшения загрязнения корма микотоксинами: вещества, которые могут подавлять или уменьшать абсорбцию, стимулировать выведение микотоксинов или изменять их способ действия». Эти вещества известны как детоксифицирующие агенты [22].

Наиболее действенным путем снижения токсической нагрузки микотоксинов является использование питательно инертных адсорбентов, способных связывать и иммобилизовать микотоксины в желудочно-кишечном тракте животных, таким образом, снижая их биодоступность [23]. На сегодняшний день известно множество минеральных адсорбентов, способных связывать микотоксины за счет своей большой активной поверхности и термостабильности.

Силикатные минералы являются крупнейшим классом микотоксиновых сорбентов, и большинство исследований по снижению микотоксикоза с помощью адсорбирующих агентов сосредоточено на применении алюмосиликатов, таких как бентонит и монтмориллонит [24, 25]. Добавление глинистых минералов или силикатных материалов в птичий корм является наиболее широко используемой практикой для адсорбции микотоксинов. Способность этих глин связывать микотоксины варьируется в значительной степени в зависимости от химических свойств целевого микотоксина и происхождения глины. Известно, что адсорбирующие агенты способны связываться с микотоксинами посредством различных типов взаимодействий, таких как: гидрофобное связывание, водородные связи, электростатическое притяжение и координационное связывание [26].

Активированный уголь считается универсальным антидотом, который способен адсорбировать различные соединения, включая микотоксины [27-32].

В работе [29] активированный уголь был использован в качестве детоксифицирующего агента для сорбции дезоксиниваленола посредством добавления его в состав корма для свиней. Было установлено, что активированный уголь полностью предотвращает всасывание микотоксина в кишечном тракте. Тем не менее, рекомендуется оптимизировать дозировки активированного угля, чтобы минимизировать риск уменьшения поглощения питательных веществ, а также ухудшения питательной ценности корма. В работе [30] представлены результаты исследования, в котором цыплятам вводили 6 мг/кг афлатоксина В₁ и 200 мг/кг активированного угля одновременно. И было установлено, что активированный уголь значительно уменьшал токсическое повреждение печени.

Группа исследователей [27] изучали абсорбцию дезоксиниваленола и ниваленола одновременно с помощью динамической модели, которая хорошо представляет желудочно-кишечный тракт животного. Полученные результаты согласуются с фармакокинетическими данными, доступными для отдельных токсинов для одного и того же вида животных. Результаты настоящего исследования подтверждают, что большинство минеральных глин и

коммерческих адсорбирующих материалов, претендующих на детоксикацию *Fusarium* - микотоксинов, неэффективны при связывании дезоксиниваленола и ниваленола *in vitro*. В данном исследовании активированный уголь являлся единственным сорбентом из 14 представленных, обладающим соответствующей связывающей способностью *in vitro* как для дезоксиниваленола, так и для ниваленола. Также учитывая его эффективность *in vivo* по отношению к другим микотоксинам, активированный уголь остается одним из наиболее полезных продуктов для сведения к минимуму поглощения токсинов из желудочно-кишечного тракта у животных, подвергшихся острому воздействию микотоксинов.

Свекловичный жом – как прекурсор для получения активированных углей

Производство кристаллического сахара из сахарной свеклы приводит к образованию биоотходов, таких как свекловичный жом, фильтрационный осадок и меласса. Свекловичный жом представляет собой обессахаренную свекловичную стружку коричневого цвета со специфическим запахом. Согласно отчетам по посевным площадям в РК в 2019 г. было посеяно 19,6 тыс. га сахарной свеклы, что приблизительно равно 980 тыс. тонн сахарной свеклы (согласно усредненным данным за 1 га ~ 500 ц), из которой 36% от массы свеклы составляет количество отжатого жома.

Известно, что корни сахарной свеклы имеют очень высокое содержание растворимого сахара, высокое содержание пектина и гемицеллюлозы в углеводах и относительно низкое содержание лигнина [33, 34]. Таким образом, сахарная свекла, а в частности свекловичный жом, является перспективным растительным сырьем для производства биокomпозитных материалов и сорбентов на её основе.

В работе по получению активированных углей, в качестве прекурсора использовался коммерческий свекловичный жом, производства компании «Идальго», Алтайский край, г. Барнаул (рис. 4). Исходное сырье было подвергнуто механическому измельчению до размерности 500 μm с последующей промывкой водой с целью отделения от механических примесей, пыли и прочих загрязнителей. После чего, промытые образцы высушивали в сушильном шкафу при температуре от 85 до 105 °C в течение 12 ч. Получение углеродного материала проводили путем предварительной термической обработки в атмосфере аргона в интервале температур от 100 до 600 °C со скоростью нагрева 10 °C/мин в течение 2 ч.

Процесс карбонизации свекловичного жома проводился в изотермических условиях. С целью получения микропористой структуры угля и тем самым

для увеличения удельной поверхности, полученный образец подвергали химической активации с помощью NaOH. Полученный после карбонизации углеродный порошок смешивали с сухим NaOH при соотношении масс (1:2,5), после чего образец погружали в реактор для дальнейшей термической обработки в атмосфере аргона в интервале температур от 700 до 750 °C со скоростью нагрева 10 °C/мин в течение 1 ч.

Химический состав сухого свекловичного жома определяется содержанием в нем около 15% пектиновых веществ, 9% белка, 10% массовой доли воды, 10% массовой доли сухих растворимых веществ, 10% сырого протеина, 0,5% жира, 22% клетчатки, 65% безазотистых экстрактивных веществ, 5% минеральных веществ. В следовых количествах присутствуют витамины и органические кислоты.

Полученный углеродный материал из свекловичного жома анализировали с помощью дисперсноэнергетической рентгеновской флуоресцентной спектроскопии на приборе JED-2300 Analysis Station Plus и 3D сканирующего электронного микроскопа Quanta 200i.

Термообработка свекловичного жома с дальнейшей пост-активацией едким натром приводит к об-

разованию твердого остатка и пиролизных газов, представляющих собой смесь конденсирующихся паров и неконденсированных газов. На рисунке 6 приведены микрофотография и спектры элементного состава полученного углеродного материала, после процесса карбонизации и пост-активации.

Из приведенной микрофотографии видно, что структура свекловичного жома представляет собой в основном пористые частицы. После прогрева при температуре 750 °C частицы имеют форму агрегатов, состоящих из слоистых образований с развитой внутренней системой пор.

Различия между KOH и NaOH связаны с дополнительной стадией интеркалирования металлического калия или натрия. Металлический калий может интеркалировать все материалы в отличие от натрия, который способен интеркалировать только неорганизованные атомы углерода. Интеркаляция вызывает разделение углеродных слоев, что порождает микропоры. Углерод, полученный из полисахаридов, имеет неорганизованную структуру. Следовательно, активация с помощью NaOH является более эффективной для формирования микропор. При активации с NaOH формируется рыхлая структура, состоящая из частиц материала



Рис. 4. Коммерческий свекловичный жом производства компании «Идальго».



Рис. 5. Метод получения активированных углей из свекловичного жома.

нанометрового диапазона, собранных в агрегаты различного размера. Поровое пространство формируется как структура сложения и представляет собой свободные промежутки между агрегатами и частицами.

Выводы

Свекловичный жом является высоко перспективным биоотходом растительного происхождения, поскольку имеет высокую питательную ценность и повышенное содержание белка и минералов. Помимо своих питательных свойств свекловичный жом обладает рядом других полезных свойств, таких как: высокая пористость, биосовместимость, способность набухать в воде, и высокая способность удерживать клетки. Этот зеленый углеводный материал в настоящее время используется главным образом в пищевых продуктах и в качестве корма для животных, но имеются новые возможности для широкого спектра потенциальных применений в химической промышленности и материаловедении. В данной работе были представлены данные по основным видам микотоксинов, которые считаются наиболее опасными для организма животных и птиц, а также по сорбентам используемых для детоксикации этих микотоксинов. Показана возможность получения активированных углей из свекловичного жома, тем самым утилизируя данный вид биоотхода.

Список литературы

- [1]. Cousin M.A., Riley R.T., Pestka G.G. Foodborne mycotoxins: chemistry, biology, ecology and toxicology // In: Foodborne Pathogens: Microbiology and Molecular Biology – 2005. – P. 164.
- [2]. Kwon-Chung K.J., Bennett J.E. Medical mycology. – Philadelphia, Pa.: Lea & Febiger, 1992.
- [3]. Sternberg S. The emerging fungal threat // Science – 1994. – V. 266. – P. 1632-1634.
- [4]. Garcia D., Ramos A.J., Sanchis V., Marin S. Predicting Mycotoxins In Foods: A Review // Food Microbiology – 2009. – V. 26. – P. 757-769.
- [5]. Ефимочкина Н.Р., Седова И.Б., Шевелева С.А., Тутельян В.А. Токсигенные свойства микроскопических грибов // Вестн. Том. гос. ун-та. Биология – 2019. – № 45, С. 6-33.
- [6]. Murugesan G.R., Ledoux D.R., Naehrer K., Berthiller F., Applegate T.J., Grenier B., Phillips T.D., Schatzmayr G. Prevalence and effects of mycotoxins on poultry health and performance, and recent development in mycotoxin counteracting strategies // Poultry Science. – 2015. – V. 94, № 6. – P. 1298-1315.
- [7]. Rasch C., Kumke M., Löhmansröben H. Sensing of mycotoxin producing fungi in the processing of grains // Food Bioprocess Technology – 2010. – № 3. – P. 908-916.
- [8]. Shephard G.S. Chromatographic separation techniques for determination of mycotoxins in food and feed // Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition – 2011. – P. 71-89.
- [9]. Goryacheva I.Y., De Saeger S. Immunochemical methods for rapid mycotoxin detection in food and feed // Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition – 2011. – P. 135-167.
- [10]. Spanjer M.C. Mass spectrometry in multi-mycotoxin and fungal spore analysis // Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition – 2011. – P. 90-134.
- [11]. Дулетов Е.Г., Малышева Л.А., Капелист И.В. Мониторинг микотоксинов в Ростовской области // Ветеринарная патология – 2010. – № 4. – С. 31-34.
- [12]. Крюков В.С. Полимикотоксикоз: оценка его действия и профилактика // Птица и птицепродукты – 2014. – № 1. – С. 52-55.
- [13]. Рецкий М.И. Методические рекомендации по диагностике, терапии и профилактике нарушений обмена веществ у продуктивных животных. – Воронеж. – 2005. – 93 с.
- [14]. Yang J., Bai F., Zhang K., Bai S., Peng X., Ding X., Li Y., Zhang J., Zhao L. Effects of feeding corn naturally contaminated with aflatoxin B1 and B2 on hepatic functions of broilers // Poultry Science – 2009. – V. 91. – P. 2792-2801.
- [15]. Feng G.D., He J., Ao X., Chen D.W. Effects of maize naturally contaminated with aflatoxin B1 on growth performance, intestinal morphology, and digestive physiology in ducks // Poultry Science – 2017. – V. 96, № 6. – P. 1948-1955.
- [16]. Osweiler G.D., Jagannatha S., Trampel D.W., Imerman P.M., Ensley S.M., Yoon I., Moore D.T. Evaluation of XPC and prototypes on aflatoxin-challenged broilers // Poultry Science – 2010. – V. 89. – P. 1887-1893.
- [17]. Díaz-zaragoza M., Carvajal-Moreno M., Méndez-Ramírez I., Chilpa-Galván N.C., Ávila-González E., Flores-Ortiz C.M. Aflatoxins, hydroxylated metabolites, and aflatoxicol from breast muscle of laying hens // Poultry Science – 2014. – V. 93. – P. 3152-3162.
- [18]. Yanga C., Songa G., Lim W. Effects of mycotoxin-contaminated feed on farm animals // Journal of Hazardous Materials – 2020. – V. 389.
- [19]. Yim L., Wan M., Turner P.C., El-Nezami H. Individual and combined cytotoxic effects of Fusarium toxins (deoxynivalenol, nivalenol, zearalenone and fumonisins B1) on swine jejunal epithelial cells // Food and Chemical Toxicology – 2013. – V. 57. – P. 276-283.

- [20]. Shi D., Zhou J., Zhao L. et al. Alleviation of mycotoxin biodegradation agent on zearalenone and deoxynivalenol toxicosis in immature gilts // *Journal of Animal Science and Biotechnology* – 2018. – V. 42, № 9.
- [21]. Lu Y., Zhang Y., Liu J., Zou P., Jia L., Su Y., Sun Y., Sun S. Comparison of the toxic effects of different mycotoxins on porcine and mouse oocyte meiosis // *PeerJ* – 2018. – 6:e5111 <https://doi.org/10.7717/peerj.5111>
- [22]. European Commission. Commission regulation (EC) No. 386/2009 of 12 May 2009 amending Regulation (EC) No. 1831/2003 of the European Parliament and of the Council as regards the establishment of a new functional group of feed additives. *Off. J. EU. L 118*, 66.
- [23]. Magnoli A., Monge M., Miazzo R., Cavaglieri L., Magnoli C., Merkis C., Cristofolini A., Dalcerio A., Chiacchiera S. Effect of low levels of aflatoxin B1 on performance, biochemical parameters, and aflatoxin B1 in broiler liver tissues in the presence of monensin and sodium bentonite // *Poultry Science* – 2011. – V. 90. – P. 48-58.
- [24]. Bhatti S.A., Khan M.Z., Saleemi M.K., Saqib M., Khan A. Protective role of bentonite against aflatoxin B1- and ochratoxin A-induced immunotoxicity in broilers // *Journal of Immunotoxicology* – 2017. – V. 14, № 1. – P. 66-76.
- [25]. Vila-Donat P., Marín S., Sanchis V., Ramos A.J., A review of the mycotoxin adsorbing agents, with an emphasis on their multi-binding capacity, for animal feed decontamination. // *Food and Chemical Toxicology* – 2018. – V. 114. – P. 246-259.
- [26]. Di Gregorio M.C., de Neeff D.V., Jager A.V., Corassin C.H., de Pinho Carão A.C., de Albuquerque R., de Azevedo A.C., Fernandes Oliveira C.A. Mineral adsorbent for prevention mycotoxins in animal feed // *Toxin Rev.* – 2014. – V. 33. – P. 125-135.
- [27]. Avantaggiato G, Havenaar R, Visconti A. Evaluation of the intestinal absorption of deoxynivalenol and nivalenol by an in vitro gastrointestinal model, and the binding efficacy of activated carbon and other adsorbent materials // *Food and Chemical Toxicology* – 2004. – V. 42, № 5. – P. 817-824.
- [28]. Cavret S., Laurent N., Videmann B., Mazallon M., Lecoeur S. Assessment of deoxynivalenol (DON) adsorbents and characterisation of their efficacy using complementary in vitro tests // *Food Additives & Contaminants: Part A* – 2010. – V. 27, № 1. – P. 43-53.
- [29]. Devreese M., Antonissen G., De Backer P., Croubels S. Efficacy of Active Carbon towards the Absorption of Deoxynivalenol in Pigs // *Toxins* – 2014. – № 6. – 2998-3004.
- [30]. Ademoyero A.A., Dalvi R.R. Efficacy of activated charcoal and other agents in the reduction of hepatotoxic effects of a single dose of aflatoxin B1 in chickens // *Toxicological Letters* – 1983. – V. 16. – P. 153-157.
- [31]. Doll S., Danicke S. In vivo detoxification of fusarium toxins // *Arch. Anim. Nutr.* – 2004. – V. 58. – P. 419-441.
- [32]. Sabater-Vilar M., Malekinejad H., Selman M.H.J. et al. In vitro assessment of adsorbents aiming to prevent deoxynivalenol and zearalenone mycotoxicoses // *Mycopathologia* – 2007. – V. 163, № 81.
- [33]. Asadi M. *Beet-Sugar Handbook*. – NJ.: Wiley-Interscience, Hoboken, 2007.
- [34]. Srichuwong S., Arakane M., Fujiwara M., Zhang Z., Takahashi H., Tokuyasu K. Alkali-aided enzymatic viscosity reduction of sugar beet mash for novel bioethanol production process // *Biomass Bioenergy* – 2010. – V. 34, № 9. – P. 1336-1341.

The use of activated carbon in the fight against mycotoxins

B.B. Kaidar^{1,2,*}, G.T. Smagulova^{1,2}, E. Brahim³

¹al-Farabi Kazakh national university, 71 al-Farabi ave., Almaty, Kazakhstan

²Institute of Combustion Problems, 172 Bogenbay batyr st., Almaty, Kazakhstan

³University of La Rochelle, 17042 Michel Crepeau ave., BP 33060 – 17031, La Rochelle, France

ABSTRACT

One of the main problems that farms around the world face is various types of mycotoxicosis in farm animals. These are diseases caused by toxic substances produced by various types of fungi, such as *Fusarium*, *Aspergillus* and *Penicillium*, which are formed on plants and feed. The paper presents General data on mycotoxins: the main types that have the greatest negative effect on the body of animals and birds, as well as research on the use of various sorbents as detoxifying agents. Also, the method for obtaining activated carbon from biowaste in the form of beet pulp is presented.

Keywords: Mycotoxins, sorbents, sugar beet pulp, activated carbon.

Микотоксиндерге қарсы күресте белсендірілген көмірлерді қолдану

Б.Б. Кайдар^{1,2,*}, Г.Т. Смагулова^{1,2}, Э. Брахим³

¹Әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті, әл-Фараби даңғылы 71, Алматы, Қазақстан

²Жану проблемалар институты, Бөгенбай батыр к-сі 172, Алматы, Қазақстан

³Ла Рошель университеті, Мишель Крепо даңғылы 17042, Ла Рошель, Франция

АҢДАТПА

Әлемдегі фермалардың басты проблемаларының бірі – ауылшаруашылық жануарларындағы микотоксикоздың әртүрлі түрлері. Бұл өсімдіктер мен жемде пайда болатын *Fusarium*, *Aspergillus* және *Penicillium* сияқты саңырауқұлақтардың әртүрлі түрлері шығаратын улы заттардан туындаған аурулар. Мақалада микотоксиндер туралы жалпы

мәліметтер келтірілген: жануарлар мен құстардың денесіне теріс әсер ететін негізгі түрлер, сондай-ақ әртүрлі сорбенттерді детоксикациялық агент ретінде қолдану бойынша зерттеулер келтірілген. Қант қызылшасының био-қалдықтарынан белсендірілген көмірді алу әдісі ұсынылған.

Key words: микотоксиндер, сорбенттер, қант қызылшасының сығындысы, белсендірілген көмір.