مروری بر سموم قارچی مهم خوراک طیور، بیماری‌زایی و روش‌های از بین بردن آنها

احسان اسکوئیان[۱،۲*]، فاروق کارگر[۲،۳]، حسن کرمانشاهی[۴]، مهدی سالاری پور[۲،۵]

۱- شعبه مشهد، پژوهشگاه بیوتکنولوژی کشاورزی ایران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران.
۲- گروه تحقیق و توسعه شرکت دانش بنیان توسعه مکمل زیست فناور آریانا، مشهد، ایران.
۳- دانشجوی دکتری تخصصی تغذیه طیور، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
۴- گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
۵- دانشجوی دکتری تغذیه دام، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.

دریافت مقاله: ۲۵ آبان ۱۳۹۸، بازنگری: ۱۸ بهمن ۱۳۹۸، پذیرش نهایی: ۲۵ اسفند ۱۳۹۸

چکیده

فعالیت قارچها در محصولات کشاورزی باعث تولید سموم و ترکیبات شیمیایی در این محصولات می‌شود که تهدیدی جدی برای سلامت حیوانات و انسان‌ها بحساب می‌آید. از مهم‌ترین سموم قارچی موجود در این محصولات می‌توان به آفلاتوکسین B1 (Aflatoxin B1)، دئوکسی نیوالنول (Deoxynivalenol)، زرالنون (Zeralenone)، اکراتوکسین A (Ochratoxin A)، توکسین T2 (Toxin T2) و فومنسین B1 (Fumonisin B1) اشاره کرد. حضور این سموم در جیره حیوانات، منجر به افزایش تلفات، افزایش ضریب تبدیل غذایی، کاهش بازدهی تولید و در نهایت افزایش هزینه‌های تولید در صنعت پرورش طیور خواهد شد. روش‌های مختلفی برای مهار سموم قارچی پیشنهاد شده است که از جمله آنها می‌توان به استفاده از جاذب‌های معدنی، جاذب‌های آلی، میکروارگانیسم‌ها، متابولیت‌های میکروبی و ترکیبات گیاهی و یا به طور کلی ترکیبی از آنها (مهارکننده سموم قارچی چند جزئی) جهت مهار این سموم و بهبود عملکرد کبد و سیستم ایمنی اشاره نمود. به دلیل تفاوت ماهیت شیمیایی هر یک از سموم قارچی، استفاده از مجموعه مکانیسم‌های مختلف مهار بسیار مؤثرتر عمل نموده، از این رو استفاده از مهارکننده‌های سموم قارچی چند جزئی برای حذف سموم قارچی در جیره طیور منطقی‌تر به نظر می‌رسد. این پژوهش با هدف بررسی اثرات سموم قارچی مختلف در خوراک طیور و همچنین پیامدها و روش‌های مبارزه و مهار این سموم انجام شده است.

واژگان کلیدی: *مهارکننده سموم قارچی، ترکیبات گیاهی، تغییر شکل زیستی، آفلاتوکسین، زرالنون، اکراتوکسین، فومنسین*

* پست الکترونیک نویسنده مسئول مکاتبه: e.oskoueian@abrii.ac.ir

مقدمه

تأمین غذا و امنیت غذایی جایگاه مهمی در زندگی اجتماعی، اقتصادی و سیاسی کشورها دارد. در این راستا توجه به امنیت غذایی از جمله دغدغه‌های دستگاه‌های مسئول در سال‌های اخیر بوده است. امروزه به علت تغییرات اقلیمی امنیت غذایی انسان با تهدید جدی مواجه شده است؛ از جمله این تغییرات اقلیمی می‌توان به تغییر در میزان و تناوب بارندگی‌ها، خشکی، دما و افزایش دی‌اکسید کربن اشاره کرد که بر تولیدات کشاورزی تأثیرگذار بوده است. این تغییرات شدید اقلیمی، تنش زیادی بر گیاهان وارد نموده و با تضعیف سیستم ایمنی، آنها را مستعد آلودگی با قارچها به ویژه قارچهای تولید کننده سموم کرده است.

مایکوتوکسین‌ها ترکیبات شیمیایی حاصل از فعالیت بعضی از قارچها هستند که در محصولات کشاورزی ایجاد می‌شوند و با آلوده نمودن مواد غذایی موجب از بین رفتن ارزش غذایی و وارد شدن خسارات اقتصادی می‌شوند، از سوی دیگر مصرف محصولات آلوده به این سموم سلامت انسان را تهدید نموده و باعث جهش ژنتیکی، سرطان، ناقص الخلقه‌زایی و سرکوب یا تضعیف سیستم ایمنی می‌شوند. سموم قارچی تولید شده توان آلوده‌سازی محصولات کشاورزی قبل از برداشت و بعد از برداشت را دارا هستند. مدیریت صحیح کاشت و داشت مانند استفاده از بذور مقاوم، مبارزه با آفات و علف‌های هرز و تغذیه صحیح گیاهان می‌تواند آلودگی به قارچها و سموم آنها را تا حدودی کاهش دهد. عوامل دیگری نظیر زمان برداشت و انبارداری محصولات زراعی نیز از مهم‌ترین عوامل تعیین‌کننده در آلودگی محصولات زراعی به قارچها و سموم قارچی است. متأسفانه امروزه به علت نبود دستورالعمل کامل و صحیح جهت کنترل و کاهش سموم قارچی در محصولات کشاورزی و از سوی دیگر توانایی رشد و نمو قارچهای مولد سموم قارچی در مرحله کاشت، داشت، برداشت و انبار، امکان افزایش آلودگی محصولات در تمامی مراحل وجود دارد.

سموم قارچی بسیار متنوع بوده و پیامدهای مختلفی را بر حیوانات به ویژه طیور تحمیل می‌کنند، وجود بیش از حد مجاز این سموم در جیره غذایی طیور می‌تواند به کاهش بازدهی تولید گوشت و تخم مرغ، بالا رفتن ضریب تبدیل و افزایش آسیب‌پذیری در برابر بیماری‌ها، تضعیف سیستم ایمنی، افزایش تلفات، کاهش عیار پادتن خون، عدم پاسخ مناسب به واکسیناسیون و کاهش بازدهی در جوجه درآوری منجر شود (۱۰، ۱۲، ۱۸، ۱۹).

روش‌های مختلفی نظیر کروماتوگرافی، طیف سنجی، و الایزا برای شناسایی و تعیین غلظت سموم قارچی وجود دارد که دارای دقت و حساسیت بالایی بوده اما پرهزینه و زمان‌بر هستند. بررسی‌های صورت گرفته تأییدکننده وجود مقادیر نسبتاً زیادی از سموم قارچی در محصولات زراعی نظیر ذرت، سویا و گندم تولید شده در کشور هستند (۱، ۲). ذرت، سویا و گندم حدود ۸۰ درصد از جیره طیور را تشکیل می‌دهند. کیفیت تغذیه حیوانات مزرعه‌ای به طور مستقیم بر سلامت و عملکرد آنها اثرگذار بوده و به طور غیرمستقیم بر سلامت انسان تأثیرگذار است. جیره نامناسب و آلوده به سموم قارچی خطر راهیابی این سموم قارچی به چرخه غذایی انسان را نیز فراهم می‌نماید (۳).

سموم قارچی

سموم قارچی متابولیت‌های سمی هستند که توسط قارچهای جنس *آسپرژیلوس* (*Aspergillus*)، *فوزاریوم* (*Fusarium*)، *پنی سلیوم* (*Penicillium*)، *کلاویسپس* (*Claviceps*) و *آلترناریا* (*Alternaria*) تولید می‌شوند. بیش از ۲۰۰ گونه قارچی تولید کننده سم شناسایی شده‌اند که مهم‌ترین سموم آنها

شامل آفلاتوکسین‌ها (Aflatoxins)، فومونسین‌ها (Fumonisins)، اکراتوکسین‌ها (Ochratoxins)، تریکوتسن‌ها (Trichothecene) و زرالنون (Zearalenone) می‌باشند (۴). این سموم ترکیباتی هستند که در مقابل حرارت مقاوم بوده و توانایی ذخیره شدن در بافت‌های زیستی را دارا هستند. وزن مولکولی این ترکیبات در حدود ۰/۳ تا ۰/۷ کیلو دالتون است. تولید آفلاتوکسین در مواد غذایی ممکن است قبل از برداشت محصول یا بعد از آن در سطح مزرعه، در طول مدت ذخیره، حمل و نقل، در جریان فرآوری مواد خوراکی و حتی در ظروف خوراک‌دهی صورت پذیرد. سموم قارچی در مقابل فرآیندهای نظیر آسیاب نمودن، پختن و تخمیر مقاوم هستند و حضور آنها سبب کاهش ارزش غذایی خوراک می‌گردد و با صدمه به ترکیبات نیتروژنی و لیپیدی موجود در خوراک، می‌تواند مقدار پروتئین، انرژی و ویتامین‌های خوراک را کاهش دهد.

دمای بالای محیط و رطوبت از فاکتورهایی هستد که باعث رشد قارچ و تولید سموم قارچی می‌شوند. آفلاتوکسین‌ها در اغلب اجزای خوراک دام و طیور تولید می‌شوند. پراکنش جهانی و وسعت آلودگی در سرتاسر جهان نگرانی‌های زیادی را در رابطه با این سموم ایجاد کرده است. به طوری که طبق گزارش سازمان خوار و بار جهانی بیش از ۲۵ درصد مواد خوراکی در جهان آلوده به انواع این سموم هستند. به دلیل شرایط انبارداری نامناسب، آلودگی به این سموم در شرایط ایران در برخی نقاط کشور بیش از میانگین جهانی است. نتایج چندین پژوهش داخلی آلودگی‌های خوراک‌های ایران را به سموم قارچی تأیید کرده است (۱، ۲). شیوع سرطان مری در مازندران و گلستان همبستگی مثبت با سطح بالای فومنسین و آفلاتوکسین در گندم، ذرت و برنج کشت شده در این مناطق نشان داده است (۵، ۶). سموم قارچی مهم در تغذیه دام، طیور و آبزیان شامل آفلاتوکسین‌ها، اکراتوکسین‌ها، زرالنون، تریکوتسن‌ها و فومونیسین‌ها است که در ذیل به آنها اشاره شده است.

آفلاتوکسین‌ها

آفلاتوکسین‌ها شایع‌ترین و با اهمیت‌ترین سموم قارچی در صنعت خوراک دام و طیورهستند که خسارات اقتصادی و بهداشتی زیادی را در این صنعت به بار می‌آورند و کنترل آنها به روش‌های مختلف هدف تحقیقات بسیاری از محققین است. این سموم قارچی به وسیله برخی سویه‌های *آسپرژیلوس فلاووس* (*A. Flavus*)، آسپرژیلوس *پارازیتیکوس* (*A. parasiticus*) و *آسپرژیلوس نومینوس* (*A. nominus*) تولید می‌شود. چهار تیپ آفلاتوکسین عمده وجود دارد که عبارتند از B1، B2، G1 و G2 به علاوه دو تیپ دیگر نیز حائز اهمیت هستند که M1 و M2 نامیده می‌شوند. آفلاتوکسین‌ها جزء سموم قوی برای همه حیوانات محسوب شده و در بعضی گونه‌ها سرطان‌زا می‌باشند. سازمان بین‌المللی تحقیقات سرطان‌شناسی، آفلاتوکسین‌ها را جز دسته اول ترکیبات سرطان‌زا در انسان نیز تقسیم‌بندی نموده است. آفلاتوکسین‌ها عامل اصلی ۴/۶ تا ۲۸/۲ درصد سرطان‌های کبد در سراسر دنیا هستند. آفلاتوکسین B1 سمی‌ترین نوع آنهاست (۷). اثر آفلاتوکسین‌ها روی حیوانات با مقدار، طول اثر آنها، گونه، نژاد و رژیم با توجه به وضعیت تغذیه‌ای حیوان متفاوت است. این سموم در صورت مصرف زیاد ممکن است باعث مرگ شوند و مقادیر کمتر باعث مسمومیت مزمن منتج به سرطان گردد، که عمدتاً به صورت اختلال در عملکرد کبد و در ادامه سرطان کبد در انواع حیوانات تظاهر می‌نماید.

به طور کلی حیوانات جوان‌تر بیش از حیوانات پیر به توکسین حساسیت نشان می‌دهند. از بین

تمام سموم قارچی آفلاتوکسین‌ها، سمی‌ترین نوع بوده و از نظر سرطان‌زایی بیشترین خطر را دارند. رشد قارچ‌ها و تولید آفلاتوکسین در رطوبت و حرارت افزایش می‌یابد. بر اساس پیشنهاد سازمان خوار و بار جهانی سطح آلودگی به مجموع آفلاتوکسین‌های G1، G2، B1، B2 در خوراک طیور نباید از ۰/۰۲ میلی‌گرم در کیلوگرم فراتر رود (۷). در واقع حساسیت به سطح مجاز آفلاتوکسین‌ها در خوراک طیور از این حقیقت ناشی می‌شود که این سموم می‌توانند با تغییر شکل شیمیایی وارد گوشت و تخم‌مرغ شوند و خوراک انسان را آلوده نمایند (۸).

آفلاتوکسین از نظر اقتصادی شایع‌ترین و با اهمیت‌ترین سموم قارچی در صنعت خوراک دام و طیور، در سراسر دنیا است که بر اثر رشد قارچها بر روی مواد غذایی مورد استفاده طیور نظیر دانه حبوبات، ذرت، تخم پنبه دانه ایجاد می‌شود. *آسپرژیلوس فلاووس* شایع‌ترین نوع این قارچها است و *آسپرژیلوس پارازیتیکوس* بیشترین میزان سم را تولید می‌کند. *آفلاتوکسین* معمولاً در دزهای بالا می‌تواند به طور مستقیم باعث تلفات شود، اما ضرر اقتصادی اصلی ناشی از آن، به علت کاهش رشد و افزایش ضریب تبدیل غذایی در مقادیر بالاتر از یک میکروگرم در کیلوگرم جیره است. *آفلاتوکسین* با تضعیف سیستم ایمنی، زمینه ساز ابتلا به بیماری‌هایی نظیر *سالمونلا*، *کوکسیدیوزیس*، بورس عفونی و *کاندیدیازیس* می‌باشد . علاوه بر این در پرنده بالغ موجب کاهش تولید تخم‌مرغ و جوجه درآوری شده و در خروس‌ها کاهش باروری اسپرم را به دنبال دارد (۹) و مهم‌تر آن که آفلاتوکسین و متابولیت‌های آن در چندین بافت خوراکی تجمع یافته و بدین ترتیب وارد زنجیره غذایی انسان شده و بهداشت و سلامت انسان را تحت تأثیر قرار می‌دهد. آفلاتوکسین‌ها ایمنی پرنده‌ها را تضعیف و منجر به شکست واکسیناسیون شده و از این طریق نیز موجب ضعف سیستم ایمنی و بروز بیماری خواهند شد(۹).

اکراتوکسین‌ها

این سموم به طور عمده توسط قارچ‌های *آسپرژیلوس اکراسئوس* (*Aspergillus ochraceus*)، *پنی‌سیلیوم وریکوسوم* (*Penicillium verrucosum*) و *آسپرژیلوس نایجر* (*Aspergillus niger*) تولید می‌شود. اکراتوکسین‌ها شامل انواع A، B و C هستند و آلودگی به آنها مسمومیت کبدی و کلیوی و سرکوب سیستم ایمنی را به دنبال دارد. در تحقیقی که توسط شیرازی و همکارن انجام شده است مشخص شده است که اکراتوکسین‌ها سمیت بیشتری نسبت به آفلاتوکسین‌ها دارند (۳). در میان اوکراتوکسین‌ها، اوکراتوکسین A که بسیار سمی بوده به طور عموم در اجزای خوراک طیور یافت می‌شود، که مقادیر بالای آن باعث صدمات شدید در کبد و کلیه حیوانات شده و اثر ناقص الخلقه‌زایی و سرکوب سیستم ایمنی در طیور را به همراه دارد (۱۰). وجود بیش از حد مجاز این سم در جیره غذایی طیور، کاهش وزن، ضریب تبدیل بالا، کاهش تولید تخم‌مرغ را به همراه دارد که عوارض و صدمات زیادی را به صنعت پرورش طیور وارد می‌کند. این سم برای انسان سرطان‌زا بوده و سیستم عصبی را با اختلال مواجه می‌کند. اکراتوکسین A از طریق گوشت و تخم‌مرغ قابلیت انتقال به انسان را داشته از این رو میزان سطح مجاز این سم در جیره طیور حداکثر ۰/۰۴ میلی‌گرم در کیلوگرم خوراک طیور گوشتی، تخم‌گذار و مادر تعیین شده است (۱۰).

زرالنون

زرالنون یک ترکیب استروژنیک (Estrogenic) است که به نام سم F2 نیز مرسوم است و توسط سویه‌های مختلف *فوزاریوم* (*Fusarium*) تولید می‌شود. زرالنون به طور طبیعی در ذرت و در اواخر

پاییز و زمستان که میزان رطوبت بالاتر است یافت می‌شود. میزان زرالنون در ذرت‌های کشت شده در ایران در حدود ۰/۰۱ تا ۱/۴۹ میلی‌گرم در کیلوگرم گزارش شده است. مقدار زرالنون در ذرت‌های تولید شده در کشورهای برزیل ۰/۰۴ تا ۱/۷ و آرژانتین ۰/۰۲ تا ۱/۲ میلی‌گرم در کیلوگرم گزارش شده است (۱۱). حد مجاز زرالنون در جیره طیور ۰/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم جیره است و مقادیر بیش از این باعث تحریک پاسخ‌های فیزیولوژیک در بدن طیور می‌شود.

زرالنون از سمیت نسبتاً پایین‌تری برخوردار است و به دلیل شباهت ساختمانی با هورمون استروژن یک مایکواستروژن محسوب شده و در سطوح بین ۰/۲ تا ۰/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم جیره، رشد و تولید تخم‌مرغ را محدود می‌کند. همچنین در صورت افزایش غلظت به سطوح بالاتر از ۰/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم در جیره، عملکرد سیستم تولید مثل را نیز با اختلال مواجه می‌کند. در این سطح زرالنون، طیور تخم‌گذار و مادر دچار عوارض ناشی از سطوح غیر متعارف استروژن، کیست‌های تخمدانی، کاهش تولید تخم مرغ، مشکلات تولید مثلی و ناباروری تخم مرغ‌ها و کاهش کیفیت اسپرم در خروس‌ها می‌شوند. این سموم قارچی اگر چه باعث مرگ و میر طیور نمی‌شود اما تأثیرات بیولوژیک شدیدی بر روی عملکرد تولید مثلی و اقتصادی طیور می‌گذارد. زرالنون در طیور تخم‌گذار کاهش وزن مخصوص تخم‌مرغ، کاهش ضخامت پوسته تخم مرغ، کاهش کیفیت محتویات تخم مرغ، اختلال در جذب کلسیم، کاهش مصرف خوراک و تولید تخم‌مرغ، التهاب بورس فابرسیوس (Bursa of fabricius)، ایجاد کیست‌های تخمدانی و لکوپنی (Leukopenia) می‌نماید. زرالنون می‌تواند از طریق مصرف ذرت و گندم آلوده به گوشت و تخم مرغ راه یافته و در نهایت به چرخه غذایی انسان راه یابد (۱۱).

تریکوتسن‌ها

سمومی هستند که توسط قارچ‌هایی از جنس *فوزاریوم*، *تریکودرما* (*Trichoderma*)، *تریکوتیسیوم* (*Trichothecium*)، *میروتسیوم* (*Myrothecium*)، *سفالواسپوریوم* (*Cephalosporium*)، *استاکی بوتریس* (*Stachybotrys*) و *ورتیسی مونواسپوریوم* (*Verticimonosporium*) تولید می‌شود. تریکوتسن‌ها به دو گروه A و B تقسیم می‌شوند که گروه A شامل T-2 toxin، HT-2 toxin و دی استوکسی اسکریپینول (Diacetoxyscirpenol) است و گروه B شامل deoxynivalenol، nivalenol و ۳-و 15-acetyldeoxynivalenol است. در بین این سموم، سم T2 بسیار کشنده بوده و حتی در جوجه‌های ۷ روزه این سم بسیار قوی‌تر از آفلاتوکسین عمل می‌کند. متوسط غلظت کشنده (Median lethal dose) این سم در خوراک ۶/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم است. با وجود این نیز سم T2 از اکراتوکسین A با متوسط غلظت کشندگی (LD_{50}) ۲/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم ضعیف‌تر است. متوسط غلظت کشندگی سم T2 در جیره طیور هفت روزه حدود ۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن جوجه‌ها است (۱۲). سم T2 سنتز DNA، RNA، پروتئین و سیکل سلولی را مختل کرده و باعث ایجاد آپوپتوزیس می‌شود. همچنین این سم باعث سرکوب سیستم ایمنی شده و باعث نکروز و از بین رفتن سلول‌های B و T در غده تیموس، طحال و غدد لنفاوی طیور شده و از این طریق سبب افزایش حساسیت طیور در برابر عوامل بیماری‌زا می‌شود. از سوی دیگر این سم با کاهش تیتر آنتی‌بادی در اثر واکسیناسیون در طیور بر سیستم ایمنی پرنده نیز تأثیر می‌گذارد. سم T2 با غلظت ۱ میلی‌گرم در کیلوگرم می‌تواند در دستگاه گوارش ایجاد خونریزی نموده و بافت دستگاه گوارش را نکروزه (Necrosis)

کند.

مشخص شده است که این سم در کبد باعث اختلال در عملکرد کبد و بروز استرس اکسیداتیو می‌شود. همچنین با تأثیر بر روی سیستم خون‌رسانی به مغز و اعصاب عملکرد این ارگان را نیز با اختلال مواجه می‌کند. به طور کلی می‌توان گفت وجود سم T2 در مقادیر بالاتر از حد تحمل پرنده بازدهی تولید، ضریب تبدیل، افزایش وزن و تولید تخم‌مرغ را مختل می‌کند. غلظت ۱ میلی‌گرم در کیلوگرم از سم T2 میزان تخم‌گذاری را تا ۱۲/۵ درصد کاهش داده و با افزایش این غلظت به ۵ میلی‌گرم در کیلوگرم میزان تخم‌گذاری تا ۶۸ درصد کاهش خواهد یافت (۱۲). براساس پیشنهاد سازمان خوار و بار جهانی سطح مجاز سموم T2، دئوکسی نیوالنول و دی استوکسی اسکریپینول در جیره طیور گوشتی به ترتیب ۲، ۰/۴ و ۰/۴ میلی‌گرم در کیلوگرم جیره و در طیور تخم‌گذار و مرغ مادر ۵، ۱ و ۰/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم جیره می‌باشد. به طور کلی میزان تریکوتسن‌ها در جیره طیور نباید از ۰/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم جیره افزایش یابد. تریکوتسن‌ها در واقع خطرناک‌ترین سموم قارچی به لحاظ تأثیرات فیزیولوژیکی بر روی طیور به حساب می‌آیند. همچنین به دلیل دارا بودن ساختمان غیر قطبی، این سموم قارچی توسط باندرهای معدنی جذب نمی‌شوند و لزوماً باید از روش‌های تجزیه میکروبی و آنزیمی برای تخریب آنها استفاده شود (۱۲، ۱۳). حلقه‌های ۱۲ و ۱۳ اپوکساید عامل اصلی ایجاد سمیت در تریکوتسن‌ها هستند و باکتری‌هایی که توانایی تولید آنزیم‌های استراز دارند با تغییر شکل زیستی (Biotransformation) و تجزیه می‌توانند تریکوتسن‌ها را به ترکیبات غیر سمی تبدیل کنند (۱۴).

فومنسین‌ها

فومنسین‌ها غالباً توسط قارچ‌های جنس *Fusarium* و *Alternaria* تولید می‌شوند. این سموم دارای نوع B1، B2 و B3 هستند. گزارش‌های اخیر نشان داده که نوع B1 و B2 سمی بوده در حالی که نوع B3 سمیتی برای پرندگان ندارد. به طور معمول ذرت به عنوان یکی از اصلی‌ترین اجزای تشکیل دهنده جیره طیور حاوی ۱ تا ۳ میلی‌گرم در کیلوگرم فومنسین است که این مقدار در برخی مواقع بین ۲۰ تا ۲۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم افزایش می‌یابد. غلظت‌های بالای ۲۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم فومنسین، کاهش اشتها، کاهش وزن و مشکلات استخوانی را در طیور در پی دارد. این سم در جیره طیور باعث اختلال در افزایش وزن روزانه، بالا رفتن ضریب تبدیل، اسهال، اختلال در عملکرد کبد، کلیه‌ها و سرکوب سیستم ایمنی می‌شود. همچنین فومنسین‌ها از طریق مهار سنتز اسفنگولیپیدها در سیستم عصبی، سبب تحلیل میلین، بافت پوششی اعصاب می‌شوند. فومنسین B1 با غلظت ۸/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم جیره مرغ تخم‌گذار باعث ۱۰ درصد تلفات، ۲۰ درصد کاهش تولید تخم‌مرغ می‌شود.

اندازه‌گیری نسبت اسفنگونین (Sphinganine) به اسفنگوزین (Sphingosine) در سرم طیور نشانگر زیستی مناسبی برای بررسی تأثیر فومنسین در طیور محسوب می‌شود. میزان سطح مجاز فومنسین‌ها در طیور گوشتی ۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم و در طیور مادر و تخم‌گذار ۱۵ میلی‌گرم در کیلوگرم است. جاذب‌هایی نظیر زغال فعال و هیدروآلومینوسیلیکات‌ها در حذف مؤثر فومنسین‌ها عملکرد خوبی نشان نداده‌اند (۱۵). تجزیه آنزیمی یا تغییر شکل زیستی (Biotransformation) یکی از بهترین روش‌ها برای از بین بردن سمیت فومنسین‌ها است . باکتری‌های سویه *یوباکتریوم* (*Eubacterium sp.*) با تولید آنزیم‌های استراز، توانایی تجزیه این سموم و تبدیل آنها به ترکیبات

غیر سمی را دارند. فومنسین در انسان ایجاد سرطان نموده، لذا احتمال انتقال بقایای فومنسین از طریق گوشت و تخم‌مرغ به انسان باید به حداقل میزان ممکن کاهش یابد (۱۶).

میزان حد مجاز سموم قارچی در خوراک طیور

سازمان فائو آخرین بار در سال ۲۰۰۳ میزان حد مجاز برای برخی از سموم قارچی در خوراک طیور در کشورهای مختلف را منتشر کرد. حد مجاز آفلاتوکسین‌ها به عنوان یکی از مهم‌ترین سموم قارچی خوراک طیور تقریباً در تمامی کشورهای جهان از جمله ایران مشخص شده است (جدول۱). اما متأسفانه اکثر کشورهای جهان برای سایر سموم قارچی خوراک طیور حد استانداردی را در نظر نگرفته‌اند و برای تعیین حد مجاز این سموم تنها می‌توان به تحقیقات و پژوهش‌هایی که به بررسی این سموم پرداخته‌اند مراجعه کرد (جدول ۲).

جدول ۱- میزان حد مجاز سموم قارچی در خوراک طیور در کشورهای مختلف بر اساس اطلاعات منتشر شده توسط سازمان FAO در سال ۲۰۰۳ (µg/kg)

کشور	آفلاتوکسین B1	آفلاتوکسین (B2، G1، G3)	داکسی نیوالنول	زرالنون	اکراتوکسین	سم T2	فومونسین B1، B2
اتریش	۵	۵	۱۰۰۰	*	*	*	*
برزیل	۵۰	۵۰	*	*	*	*	*
کانادا	۲۰	۲۰	۵۰۰۰	۳۰۰۰	۲۰۰۰	۱۰۰۰	*
کلمبیا	۲۰	۲۰	*	*	*	*	*
کوبا	۵	۵	۳۰۰	*	*	*	*
ایران	۱۰	۲۰	*	*	*	*	*
ژاپن	۲۰	*	۱۰۰۰	۱۰۰۰	*	*	*
آمریکا	۲۰	۲۰	*	*	*	*	*

*: اطلاعاتی منتشر نشده است

میزان حد مجاز سموم در اقلام مورد استفاده در خوراک طیور

سازمان فائو در سال ۲۰۰۳ همزمان با انتشار اطلاعات در مورد حد مجاز سموم قارچی در کل خوراک طیور میزان حد مجاز این سموم در برخی از اقلام مورد استفاده در خوراک را در کشور های مختلف نیز منتشر کرد (جدول۲).

مسمومیت و بیماری‌زایی سموم قارچی

سموم قارچی چهار نوع سمیت حاد (Acute toxicity)، مزمن (Chronic toxicity)، جهش‌زا (Mutagenic) و ناقص الخلقه‌زا (Teratogenic) در حیوانات ایجاد می‌کنند. مسمومیت حاد شایع‌ترین نوع مسمومیت با سموم قارچی بوده که آسیب‌های جدی کبدی یا کلیوی را به دنبال دارد که در موارد خیلی شدید می‌تواند به مرگ منجر شود. برخی از سموم قارچی توکسین‌های عصبی (Neurotoxins) هستند که در مقادیر کم باعث بروز لرزش در حیوانات شده اما در مقادیر بالاتر باعث صدمات دائمی مغز یا مرگ می‌گردند. اثرات طولانی مدت مقادیر کم سموم قارچی نیز متفاوت است. مهم‌ترین اثر مزمن اکثر سموم قارچی تولید سرطان خصوصاً در کبد می‌باشد.

جدول ۲- میزان حد مجاز سموم قارچی در اقلام مورد استفاده در خوراک طیور بر اساس اطلاعات سازمان فائو (۲۰۰۳) در کشورهای مختلف (µg/kg)

کشور	اقلام خوراک	آفلاتوکسین B1	آفلاتوکسین (G3 ،G1 ،B2)	داکسی نیوالنول	زرالنون	اکراتوکسین	سم T2	فومونسین B2 ،B1
بلاروس	ذرت	۵	*	*	۱۰۰۰	*	*	*
	گندم	۵	*	۷۰۰	۱۰۰۰	*	*	*
کانادا	گندم	۱۵	۱۵	۲۰۰۰	*	*	*	*
چین	ذرت	۲۰	*	۱۰۰۰	*	*	*	*
	سویا	۵	*	*	*	*	*	*
	گندم	۵	*	۱۰۰۰	*	*	*	*
کلمبیا	ذرت	۲۰	۲۰	*	*	*	*	*
ایران	ذرت	۵	۲۰	۱۰۰۰	۲۰۰	۵۰	*	۱۰۰۰
	کنجاله سویا و سایر کنجاله های روغنی	۵	۲۰	*	*	*	*	*
	گندم	۵	۲۰	۱۰۰۰	۲۰۰	۵	*	*
	پودر پر و پودر خون	۵	۲۰	*	*	*	*	*
	مواد معدنی و ویتامین‌ها	۱۰	۱۰	*	*	*	*	*
آمریکا	ذرت	۲۰	۲۰	۱۰۰۰۰	*	*	*	۳۰۰۰۰
	گندم	۲۰	۲۰	۱۰۰۰۰	*	*	*	*
	کنجاله کتان	۳۰۰	۳۰۰	*	*	*	*	*

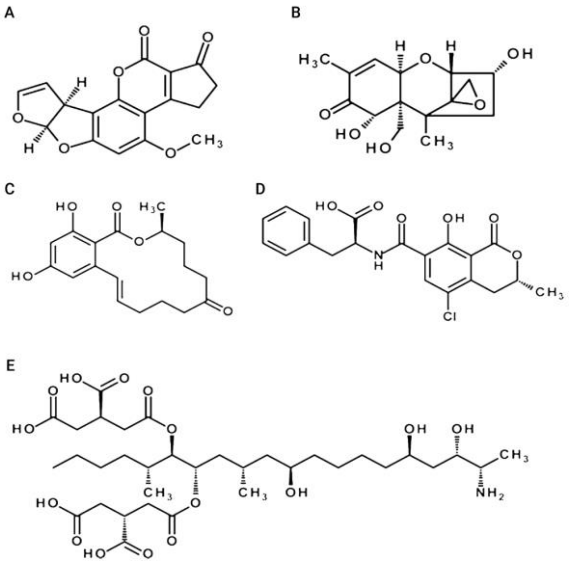
*: اطلاعاتی منتشر نشده است

بعضی از توکسین‌ها در همانندسازی DNA اثر گذاشته لذا اثرات جهش‌زائی و ناقص الخلقه‌زائی از خود به جای می‌گذارند. از عوارض سموم قارچی در طیور در شکل حاد می‌توان به کاهش بازده تولید گوشت و تخم‌مرغ، افزایش آسیب‌پذیری دربرابر بیماری‌ها، کاهش میزان رشد، کاهش کیفیت لاشه، کاهش وزن تخم‌مرغ، تضعیف سیستم ایمنی (که منجر به افزایش احتمال بروز کوکسیدز، عفونت خون (سپتی‌سمی) حاصل از کلی باسیل‌ها و بیماری سالمونلوز، کاهش تیترآنتی‌بادی خون و عدم پاسخ مناسب به واکسیناسیون می‌شود)، کاهش مصرف خوراک و یا توقف کامل آن، افزایش بروز مشکلات پا، سندرم افتادگی بال، افزایش مرگ و میر اشاره کرد (۱۷). از عوارض سموم قارچی در طیور در شکل مزمن می‌توان به افزایش حجم چربی کبد، کم‌خونی، کاهش زمان انعقاد، خون‌ریزی عمومی، اسهال آبکی و چرب، به هم خوردن متابولیسم چربی‌ها، افزایش وزن کبد، لاغری، کاهش تولید تخم‌مرغ، افزایش تخم مرغ‌های بی نطفه، پایین آمدن قدرت دفاعی بدن، تخریب سیستم‌های ایمنی بدن، عدم پاسخ لازم در برابر آنتی‌ژن‌ها و واکسن‌ها اشاره کرد (۱۳).

مهم‌ترین اثرات آفلاتوکسین‌ها در صنعت پرورش طیور

از مهم‌ترین اثرات آفلاتوکسین‌ها در پرورش طیور می‌توان به کاهش بازدهی تولید گوشت و

تخم‌مرغ و افزایش آسیب‌پذیری در برابر بیماری‌ها، تضعیف سیستم ایمنی، افزایش تلفات، کاهش عیار پادتن خون و عدم پاسخ مناسب به واکسیناسیون و کاهش بازده تولید مثل، تولید تخم‌مرغ و کاهش جوجه درآوری اشاره کرد. همچنین آفلاتوکسین B1 باعث افزایش فعالیت درون سرمی آنزیم‌های آسپارتات آمینوترانسفراز (AST) و آلانین آمینوترانسفراز (ALT) و کاهش فعالیت لاکتات دهیدروژناز می‌شود (۱۸، ۱۹).



شکل ۱- ساختار شیمیایی مهم‌ترین سموم قارچی که تولیدات طیور و به دنبال آن سلامت انسان را تهدید می‌کنند.
A: Aflatoxin B_1, B: Deoxynivalenol, C: Zeralenone, D: Ochratoxin A, E: Fumonisin B_1

گوشت و تخم‌مرغ آلوده به سموم قارچی از منابع خطرناک سرایت سموم قارچی به انسان محسوب می‌شوند. انواع اختلالات و بیماری‌های حاصل از مایکوتوکسین‌ها در حیوانات و انسان در جدول ۳ خلاصه شده است.

جدول ۳- اثر سموم قارچی مهم در حیوانات و انسان‌ها

نوع سموم قارچی	قارچ تولید کننده	اثر بر روی طیور
آفلاتوکسین B1	*A. flavus*, *A. parasiticus*	اختلال عملکرد کبد، سرطان‌زا، تراتوژن
داکسی نیوالنول	*F. graminearum* *F. sporotrichioides*	سرکوب سیستم ایمنی، ضایعات دستگاه گوارش، ادم، تغییرات بیوشیمیایی خون
زیرالنون	*F. graminearum*	اثرات استروژنیک، تحلیل تخمدان و بیضه‌ها، کاهش باروری
اکراتوکسین A	*A. ochraceus* *P. verrucosum*	اختلال در عملکرد کبد و کلیه، سرکوب سیستم ایمنی
مومنسین B1 و B2	*F. verticillioides* *F. proliferatum*	ادم تنفسی، اختلال دستگاه عصبی، اختلال در عملکرد کبد و کلیه

اثرات هم‌افزایی سموم قارچی

اغلب غلظت هر یک از سموم قارچی برای کاهش تولید یا وقوع بیماری در خوراک، کمتر از آن چیزی است که در مطالعات انجام شده، مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این زمینه تأثیرپذیری حیوانات از یک نوع سم قارچی کمتر از اثر دو نوع آنها به همراه هم است. حضور انواع مختلف سموم قارچی در خوراک ممکن است سبب ایجاد تداخل و هم‌افزایی بین انواع سموم قارچی گردد. اثرات هم‌افزایی زمانی رخ می‌دهد که اثر دو سم قارچی بیشتر از اثر هر یک از آنها به تنهایی باشد. در شرایط مزرعه، حیوانات در معرض ترکیبی از سموم قارچی هستند که از سویه‌های مختلف *Fusarium*، *Aspergillus*، *Penicilium*، *Alternaria* و *Claviceps* منشأ می‌گیرند. بازدهی پایین و بیماری‌های پیچیده می‌تواند از نشانه‌های وجود سموم قارچی در جیره حیوانات باشد. سموم قارچی که از *فوزاریوم*‌ها منشأ می‌گیرند مانند تریکوتسن‌ها، خواص هم‌افزایی دارند به‌طوری که دئوکسی نیوالنول با فوزاریک اسید (Fusaric acid) و دئوکسی نیوالنول با فومنسین B1 و دی استوکسی اسکریفنول (Diacetoxyscirpenol) با آفلاتوکسین‌های مهم خواص هم‌افزایی نشان داده‌اند (۲۰). به طور کلی مسمومیت با سموم قارچی در غلظت‌های پایین‌تر از غلظت قابل تشخیص خیلی به ندرت اتفاق می‌افتد. تنها علت این امر خواص هم‌افزایی بین سموم قارچی است که با غلظت بسیار پایینی و غیر قابل تشخیص، مسمومیت ایجاد می‌کنند.

جدول ۴- خواص سینرژیستی و افزایشی بین سموم قارچی (۲۱)

سموم قارچی	نوع حیوان	خواص
AFB1 + OTA	مرغ گوشتی	سینرژیستی
AFB1 + T-2 toxin	مرغ گوشتی	سینرژیستی
AFB1 + DAS	مرغ گوشتی	سینرژیستی
AFB1 + CPA	مرغ گوشتی	سینرژیستی
OTA + CPA	مرغ گوشتی	افزایشی
Citrinin + OTA	مرغ گوشتی	سینرژیستی
PCA + OTA	مرغ گوشتی	سینرژیستی
FA+ FB1	مرغ گوشتی	سینرژیستی
MON + FB1	مرغ گوشتی	افزایشی
T-2 toxin + DON	مرغ گوشتی	سینرژیستی
T-2 toxin + OTA	مرغ گوشتی	افزایشی

AFB1:آفلاتوکسین بی وان ;OTA : اکراتوکسین آ ;DAS : دی استوکسی اسکریپنول ;DON: داکسی نیوالنول;FB1: فومنسین بی وان; CPA: سیکلوپیازونیک اسید; MON: مونیلی فرمین; PCA: پنیسیلیک اسید; FA: فوزاریک اسید ZON: زیرالنون.

تأثیرات هم‌افزایی آفلاتوکسین B1 و اکراتوکسین Aدر مطالعات متعددی در طیور مورد بررسی قرار گرفته است. آفلاتوکسین B1 به‌عنوان یک سم کبدی و اکراتوکسین A به‌عنوان یک سم عصبی به‌طور همزمان در جوجه‌های گوشتی اثرات هم‌افزایی ایجاد می‌کنند (۲۲). اختلالات عصبی حاصل از حضور همزمان این دو سم قارچی در کبد جوجه‌های گوشتی نسبت به زمانی که فقط آلودگی

به اکراتوکسین A وجود دارد به شکل معنی‌داری بیشتر است. زمانی که خوراک جوجه‌ها از یک روزگی تا ۳ هفتگی دارای ترکیب سموم آفلاتوکسینی و اکراتوکسین A باشد، افزایش در وزن سنگدان و کلیه‌ها و کاهش در وزن‌گیری نسبت به زمانی که هریک از این سموم به تنهائی در جیره وجود دارد، مشاهده شده است(۲۲). اثرات هم‌افزایی در بین سموم آفلاتوکسین B1 و T-2 نیز مشاهده شده است. هر دو نوع سم، ساخت پروتئین‌ها را با دو مکانیسم متفاوت تحت تأثیر قرار می‌دهند که نهایتاً سبب پاسخ هم‌افزایی یکسانی می‌شود. کاهش وزن در جوجه‌های گوشتی ۲۱ روزه در حضور آفلاتوکسین در جیره ۱۶ درصد بود که این کاهش وزن در جوجه‌های دریافت کننده جیره آلوده به دی استوکسی اسکریپینول در حدود ۱۱ درصد گزارش شد. جوجه‌هایی که جیره آنها به‌طور همزمان به آفلاتوکسین و دی استوکسی اسکریپینول آلوده شده بود میزان کاهش وزن ۳۶ درصد گزارش شده است که نشان‌دهنده اثرات هم‌افزایی بین این دو سم است (۲۳).

کنترل مایکوتوکسین‌ها

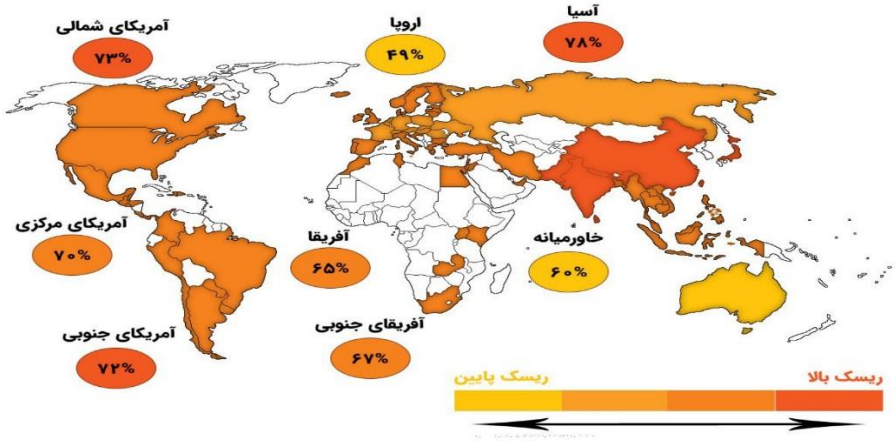
در واقع جلوگیری از آلودگی مواد غذایی و خوراک به مایکوتوکسین‌ها اجتناب‌ناپذیر است، به‌ویژه عدم نظارت کامل در مراحل کاشت، داشت، برداشت و انبارداری محصولات زراعی شرایط را برای رشد قارچ‌ها و در نتیجه آلودگی با سموم قارچی فراهم می‌کند. به همین دلیل، سیاست‌های مختلفی در جهت به حداقل رساندن اثرات سوء سموم قارچی بر حیوانات مزرعه و نیز پیشگیری از انتقال آن به انسان صورت گرفته است (۲۴). از روش‌های مهار سموم قارچی می‌توان به استفاده از جاذب‌های معدنی (به‌صورت تک جزئی و یا ترکیبی از آنها)، جاذب‌های آلی، میکروارگانیسم‌ها، متابولیت‌های میکروبی، استفاده از ترکیبات گیاهی جهت بهبود عملکرد کبد و سیستم ایمنی (به‌صورت چند جزئی) اشاره نمود. به دلیل تفاوت ماهیت شیمیایی هر یک از سموم قارچی، استفاده از مجموعه مکانیسم‌های مختلف مهار، بسیار مؤثرتر عمل نموده از این رو استفاده از مهارکننده‌های سموم قارچی چند جزئی برای حذف مؤثر سموم قارچی در جیره طیور ضروری به نظر می‌رسد. حداکثر مجاز سموم قارچی در جیره طیور بر اساس استانداردهای اتحادیه اروپا (۲۰۱۳) در جدول ۵ گزارش شده است (۲۵).

جدول ۵-.حداکثر میزان مجاز سموم قارچی در جیره طیور بر اساس استانداردهای اتحادیه اروپا (۲۶)

سموم قارچی	نوع حیوان	مقدار
آفلاتوکسین B1 (mg/kg)	طیور جوان	۰/۰۰۵
آفلاتوکسین B1 (mg/kg)	طیور بالغ	۰/۰۲
داکسی نیوالنول (µg/kg BW)	طیور بالغ و نابالغ	۸
زیرالنون (µg/kg BW)	طیور بالغ و نابالغ	۲
اکراتوکسین A (mg/kg)	طیور بالغ	۰/۰۴
فومنسین B1 و B2 (µg/kg BW)	طیور بالغ و نابالغ	۲
سم T2 (µg/kg BW)	طیور بالغ و نابالغ	۲

نتایج بررسی‌های سال ۲۰۱۹ شرکت بیومین که بر روی ۱۸۴۲۴ نمونه از اجزای تشکیل‌دهنده خوراک حیوانات (ذرت، سویا، گندم، جو، گلوتن ذرت) از ۷۹ کشور در آسیا، اروپا، آمریکای شمالی، آمریکای مرکزی و جنوبی، آفریقای جنوبی و خاور میانه از جمله ایران صورت گرفته نشان داد که ۶۷

درصد نمونه‌ها با سموم قارچی آلوده بودند. میزان سموم قارچی نمونه‌ها در قاره‌های مختلف متفاوت بود. در آمریکای شمالی ۷۳ درصد، آمریکای مرکزی ۷۰ درصد، اروپا ۴۹ درصد، آمریکای جنوبی ۷۲ درصد، آفریقا ۶۵ درصد، آفریقای جنوبی ۶۷ درصد، آسیا ۷۸ درصد و خاور میانه ۶۰ درصد از نمونه‌های آنالیز شده حداقل به یکی از سموم قارچی آلوده بودند که در همه این موارد سموم قارچی غالب فومونسین B1 و داکسی نیوالنول بود. با در نظر گرفتن حد مجاز داکسی نیوالنول ۱۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم، زرالنون ۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم، اکراتوکسین A، ۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم، آفلاتوکسین B1، ۲ میلی‌گرم در کیلوگرم، فومنسین B1، ۵۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم و سم T2، ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌توان نتیجه گرفت که کشورهای خاور میانه ازجمله ایران جز کشورهای با ریسک آلودگی نسبتاً بالا طبقه‌بندی می‌شود. همچنین نتایج نشان داد که آلودگی خوراک به سموم قارچی در خاور میانه بیش از حد مجاز بوده که بیشتر فومنسین B1 و داکسی نیوالنول را شامل می‌شوند (۲۷).



شکل ۲- میزان آلودگی نمونه‌های خوراک دام و طیور در نقاط مختلف دنیا در سال ۲۰۱۹(۲۷)

علاوه بر نتایج گزارش شده توسط شرکت بیومین، بررسی منابع داخلی نیز نشان می‌دهد که ذرت، گندم و جو تولید شده در کشور نیز حاوی مقادیر متفاوتی از سموم قارچی آفلاتوکسین B1، اکراتوکسین A، سم T-2، فومنسین B1، داکسی نیوالنول و زرالنون هستند شکل (۴). وجود غلظت‌های اندازه‌گیری شده سموم در مواد خوراکی که به مصرف طیور می‌رسد؛ میزان آلودگی با ریسک نسبتاً بالا را تأیید می‌کند.

جدول ۶- آلودگی اجزای اصلی جیره طیور به سموم قارچی در کشور ایران (میلی‌گرم در کیلوگرم) (۲۸-۳۳)

	AFLB1[۱]	OTA[۲]	T2[۳]	FUM[۴]	DON[۵]	ZON[۶]
ذرت	۰/۳۱۶ - ۰/۰۱۵	۰/۰۰۲-۰/۳۵		۰/۲-۱۶۷	۰/۰۵۴-۵/۱۸	۰/۰۱-۱/۴۹
گندم	۰/۰۸ - ۰/۰۰۳	۰/۲-۰/۰۰۱	۰/۰۲۷-۰/۴۶	۱۶/۵۶-۲۳/۳۴	۰/۰۱۷-۲/۳۹	۱/۹۸-۰/۰۰۲
جو	۰/۰۰۵ - ۰/۰۰۰۴۸	۰/۰۶۵-۰/۰۰۴	۰/۰۱۸			

[۱] آفلاتوکسین B1، [۲] اکراتوکسین A، [۳] سم T2، [۴] فومنسین B1، [۵] داکسی نیوالنول، [۶] زرالنون

قبل از استفاده از مهارکننده‌های سموم قارچی نیاز به شناسایی دقیق نوع سموم قارچی ضروری است تا با انتخاب درست مهارکننده روش مناسب جهت مبارزه با سموم قارچی اتخاذ شود. برای مهار و سم‌زدایی از سموم قارچی مختلف از ترکیبات و روش‌های متفاوتی استفاده می‌شود.

جاذب‌ها

از روش‌های رایج کنترل سموم قارچی می‌توان به استفاده از جاذب‌ها اشاره کرد. جاذب‌ها به دو نوع معدنی و آلی تقسیم می‌شوند. معروف‌ترین جاذب‌های معدنی هیدروآلومینوسیلیکات‌ها نظیر زئولیت و بنتونیت می‌باشند. از جاذب‌های آلی می‌توان به کربن فعال (Activated carbon) و دیواره مخمر اشاره نمود (۳۴).

جاذب‌های معدنی

جاذب‌های معدنی به‌طور فیزیکی و یا از طریق بار الکترواستاتیکی به سموم قارچی متصل می‌شوند و در نتیجه مانع جابجایی آنها در دستگاه گوارش و در پی آن کاهش زیست فراهمی (Bioavailability) آنها می‌گردند. ترکیبات سدیم، کلسیم و آلومینوسیلیکات هیدراته مانند زئولیت و بنتونیت به‌عنوان مؤثرترین نوع از این گروه مواد شناخته شده‌اند (۳۵). درصورت ترکیب این مواد با غذای مصرفی، جذب آفلاتوکسین به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد. ولی اثربخشی این مواد در مقابل سموم زرالنون، اکراتوکسین A، فومونسین B1 بسیار کم و محدود بوده و در مقابل سموم دئوکسی نیوالنول و T-2 به کلی فاقد اثر محافظتی می‌باشد. جاذب‌های معدنی حداکثر فعالیت خود را مستقل از pH و با ۰/۵ تا ۱/۵ کیلوگرم در هر تن جیره و بدون نیاز به حذف بخشی از مواد غذایی جیره اعمال می‌نمایند.

چنانچه میزان آلودگی جیره با این سموم بسیار بالا باشد، افزایش میزان مواد جاذب در جیره تأثیر چندانی نخواهد داشت و در عین حال ممکن است ویتامین‌ها و مواد معدنی موجود در جیره مواد خوراکی را جذب نموده و از دسترس حیوان خارج نماید. برخی از محققین در زمان استفاده از بنتونیت حتی در غلظت‌های پایین (۱/۵ درصد) اثرات منفی مشاهده نمودند. بنتونیت علاوه بر مهار سموم قارچی با داروها، ویتامین‌ها و مواد معدنی داخل جیره وارد واکنش شده و با ایجاد کمپلکس، قابلیت دسترسی این ترکیبات را برای حیوان کاهش می‌دهد. بنتونیت همچنین اثرگذاری ترکیبات ضد کوکسیدیوز را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد (۱۷). همان‌طورکه اشاره شد بنتونیت و زئولیت در جذب آفلاتوکسین‌ها مؤثر هستند ولی در جذب سموم فوزاریومی نظیر فومنسین‌ها و تریکوتسن‌ها و زرالنون ناتوان می‌باشند (۳۶).

جاذب‌های آلی

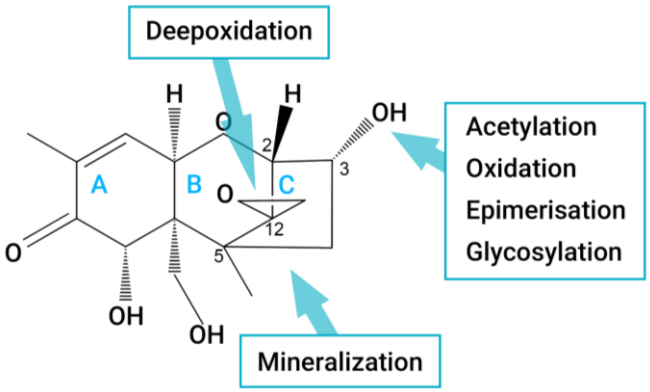
کربن فعال شده یکی از رایج‌ترین مواد جاذب است که دارای ظرفیت جذبی بالا می‌باشد. کربن فعال شده به‌عنوان یک مهارکننده آلی سموم قارچی شناخته می‌شود. کربن فعال نامحلول در آب، متخلخل و سطح جذب فعال بین ۵۰۰ تا ۳۵۰۰ متر مربع بر گرم دارد. این خصوصیات، کربن فعال را به جاذب خوبی برای سموم قارچی تبدیل کرده است. عامل محدود کننده اصلی استفاده از کربن فعال در جذب سموم قارچی، جذب مواد معدنی توسط آنها و کاهش قابلیت دسترسی مواد مغذی در دستگاه گوارش می‌باشد. دیواره مخمر نیز با داشتن پپتیدوگلیکان‌ها و پلی‌ساکاریدها در دیواره سلولی توانایی جذب سموم قارچی را دارد. مانان الیگوساکاریدهای تشکیل‌دهنده دیواره مخمرها به طور چشمگیری آفلاتوکسین‌ها، اکراتوکسین A و سم T-2 را مهار می‌کنند (۳۷). مانان‌ها و بتاگلوکان‌های موجود در دیواره سلولی مخمرها می‌توانند اکراتوکسین‌ها را بین ۳۲ تا ۹۸ درصد

کاهش دهد دیواره سلولی مخمر علاوه بر اکراتوکسین، زرالنون را نیز جذب می‌کند (۳۸).

سم‌زدایی زیستی از سموم قارچی به‌وسیله تغییر شکل زیستی با استفاده از میکرواگانیسم‌ها

گزارش‌های اخیر نشان می‌دهد که سم‌زدایی زیستی از سموم قارچی به وسیله تغییر شکل زیستی (Biotransformation) برای سم‌زدایی سموم قارچی که در مقابل سیستم جذب مقاوم هستند، یکی از بهترین روش‌ها است. این مکانیسم به نام تجزیه آنزیمی نیز معروف بوده و استفاده از مهارکننده‌هایی که از این تکنولوژی برخوردارند بسیار موفقیت آمیز بوده است. به طور مثال باکتری غیر بیماری‌زایی از جنس *Eubacterium* با تولید گروهی از آنزیم‌ها، به‌طور اختصاصی باعث شکاف گروه‌های اپوکسی ۱۳ و ۱۲ گروه تریکوتسن شده و در نتیجه منجر به خنثی شدن اثرات سمی آنها می‌گردد. قابلیت سم‌زدایی این باکتری در مطالعات آزمایشگاهی و هم در مطالعات بر روی موجود زنده به اثبات رسیده است. علاوه بر آن مخمری بنام *Tnichosporom mycotoxinovorans* برای خنثی نمودن سموم زرالنون و اکراتوکسین A به طور مؤثری گزارش شد. در مطالعات مزرعه‌ای مصرف این مخمر در جیره غذایی حیوان باعث کاهش ضریب تبدیل و افزایش وزن‌گیری گردیده و موارد بروز اسهال و تلفات نسبت به گروه کنترل مثبت بسیار کمتر بوده است. درکل باکتری‌هایی نظیر *Bacillus sp.* و *Eubacterium sp.* و مخمرهایی مانند *Saccharomyces* sp.، *Trichomonascus* sp. و *Trichosporon* sp. در جذب، تجزیه و تغییر شکل زیستی (Biotransformation) سموم قارچی بسیار مؤثر هستند (۳۹).

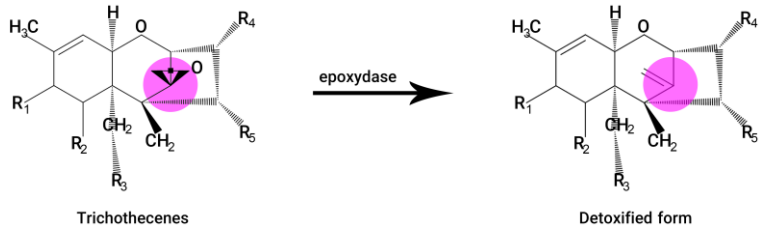
این میکروارگانیسم‌ها از طریق تولید آنزیم‌ها و افزودن گروه استیل، متیل و یا هیدروکسیل، اکسیداسیون و احیا، افزودن هیدروژن با دوباندهای کربن-کربن، استری نمودن، افزودن مواد معدنی به ساختار شیمیایی، حذف آمین‌ها از ساختار سموم، افزودن اکسیژن، افزودن قند به ساختار شیمیایی، همپاری یا تبدیل به ایزومرهای غیر سمی، و شکستن حلقه‌های ساختاری می‌توانند سموم قارچی را به ترکیبات غیر سمی تبدیل کنند (شکل‌های ۳، ۴ و ۵) (۳۷، ۴۰).



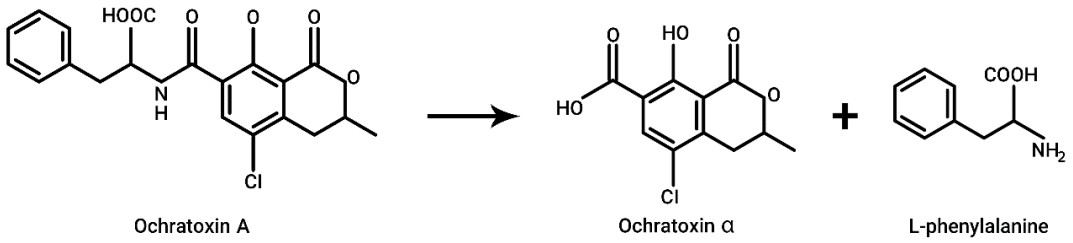
شکل ۳- سم زدایی خوراک از تریکوتسن‌ها با تغییر شکل زیستی (۴۰)

سموم قارچی که آب گریز بوده و غیر قابل یونیزه شدن هستند مانند تریکوتسن‌ها و زرالنون از طریق جاذب‌ها مهار نمی‌شوند و تنها از طریق میکروارگانیسم‌های تجزیه کننده می‌توان آنها را

سم‌زدایی نمود. تاکنون به خوبی شناخته شده است که حلقه ۱۲، ۱۳-اپوکسید تریکوتسن‌ها عامل سمیت آنهاست و احیای این حلقه توسط آنزیم‌ها یا میکروب‌های زنده سبب کاهش اثرات سمی آنها می‌شود (شکل ۴).



شکل ۴- سم‌زدایی خوراک از تریکوتسن‌ها توسط آنزیم اپوکسیداز میکروبی (۴۰)



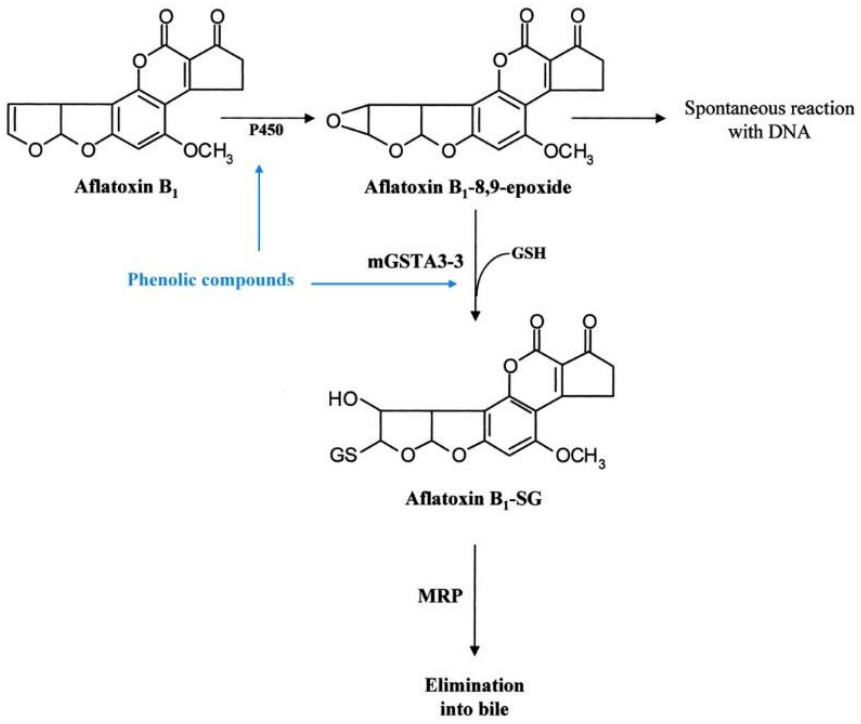
شکل ۵- سم زدایی خوراک از اکراتوکسین A توسط آنزیم میکروبی(۴۱)

استفاده از ترکیبات خاص گیاهی

امروزه با توجه به وجود مقادیر بالای سموم قارچی در مواد غذایی و از طرفی اثرات هم‌افزایی (synergism)بین آنها که باعث تشدید اثرات مضر آنها می‌شود، استفاده از ترکیبات گیاهی می‌تواند برای کاهش اثرات ناشی از سرکوب سیستم ایمنی، آسیب بافتی و التهاب به کار گرفته شود. لذا گیاهانی بدین منظور انتخاب می‌شوند که جزو گیاهان محرک سیستم ایمنی بوده و موجب افزایش سطح سیستم ایمنی بدن شوند. علاوه بر این ترکیبات گیاهی با داشتن خواص ضد قارچی مانع از رشد و تولید سموم قارچی در دستگاه گوارش نیز می‌شوند. ترکیبات گیاهی با ایجاد اختلال در دیواره سلولی قارچها باعث از بین رفتن آنها شده و تولید سموم قارچی را کاهش می‌دهند. در بین ترکیبات گیاهی ترکیبات فنولیک و فلاونوئید با باند شدن با سموم قارچی اثرات سمی این ترکیبات را کاهش می‌دهند. از طرفی این ترکیبات گیاهی با داشتن خاصیت آنتی‌اکسیدانی عملکرد سیستم ایمنی و کبد را در حیوان افزایش می‌دهند. تقویت و تحریک سیستم ایمنی و افزایش پاسخ‌های ایمنی طبیعی بدن، این توان را به حیوان می‌دهد تا به مبارزه با آثار زیان‌بار سموم قارچی بپردازد (۴۲).

آفلاتوکسین‌ها در کبد توسط آنزیم Cytochrome P450 1A2 به فرم Aflatoxin B1– 8,9 epoxide که فرمی بسیار سمی است تبدیل می‌شوند. ترکیبات فنولیکی با مهار فعالیت این آنزیم مانع از تبدیل آفلاتوکسین به فرم سمی می‌شوند.

علاوه بر آن ترکیبات فنولیکی با تحریک کبد به تولید افزایشی آنزیم Glutathione S-transferase منجر شده تا این آنزیم با Aflatoxin B1–8,9 epoxide باند شده و ترکیب حاصل سم‌زدایی گردد و از طریق صفرا دفع شود (۳۷) (شکل ۶).



شکل ۶- مکانیسم اثر ترکیبات فنولیک جهت کاهش اثرات سمی آفلاتوکسین که شامل مهار آنزیم P450 و افزایش فعالیت آنزیم Glutathione S-transferase است (۴۳).

بر اساس اطلاعات ارائه شده در جداول ۵ و ۶ به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که در مقایسه بین جاذب‌های معدنی و آلی، زغال فعال جاذب خوبی برای آفلاتوکسین‌ها، فومنسین‌ها و اکراتوکسین‌ها است. زئولیت و بنتونیت به‌طور کلی آفلاتوکسین‌ها را جذب می‌کنند اما توانایی جذب فومنسین و اکراتوکسین به‌وسیله آنها کمتر است. دیواره سلولی مخمر جاذب خوبی برای اکراتوکسین و زرالنون است. جدول ۱۰ انواع مهارکننده سموم قارچی تجاری موجود در کشور را نشان می‌دهد. بررسی این مهارکننده‌های سموم قارچی نشان می‌دهد که اکثر این محصولات به شکل مهارکننده چند جزیی با بکارگیری روش‌های مختلف مهار، فرمولاسیون و تولید شده‌اند. استفاده از جاذب‌های معدنی، آلی، میکروارگانیسم‌ها و ترکیبات گیاهی جز اصلی فرمولاسیون‌ها را تشکیل می‌دهد.

جدول ۷- راندمان جذب مهارکننده‌های سموم قارچی مختلف در شرایط ***in vitro*** (۴۴)

نوع سموم قارچی	نوع جاذب	غلظت (µg/ml)	مهار (٪)
آفلاتوکسین B1	بنتونیت	۱۰	۹۴
	بنتونیت فعال	۱۰	۹۸
	کربن فعال	۱۰	۱۰۰
	کربن فعال	۱۰	-
	دیواره مخمر	۱۰	۹۲/۷
اکراتوکسین A	بنتونیت فعال	۲	۹
	کربن فعال	۲	۹۴
	دیواره مخمر	۲	۷
فومنسین B1	زئولیت	۲۰	۰
	بنتونیت	۲۰	۱
	کربن فعال	۲۰	۱۰۰
	دیواره مخمر	۲۰	۵۰
داکسی نیوالنول	بنتونیت	۱۰	۱۳
	بنتونیت	۲/۵	۳
	زئولیت	۱۰	۳
	کربن فعال	۱۰	۵۲
	کربن فعال	۲/۵	۱۴/۴
	دیواره مخمر	۲/۵	۲۲/۹
زرالنون	بنتونیت	۲۰	۳۰
	زئولیت	۲۰	۳۶
	کربن فعال	۲۰	۱۰۰
	دیواره مخمر	۲۰	۹

جدول ۸- راندمان جذب سموم قارچی (>۶۰٪) در شرایط ***in vivo*** (۴۵)

	Aflatoxin	OTA	DON	T2 toxin	ZEA	FUM
بنتونیت	+					
زئولیت	+					
کربن فعال	+					
دیواره مخمر	+	+	+		+	
میکروارگانیسم ها		+	+	+	+	+

مشخصات مهارکننده سموم قارچی ایده آل

بالا بودن ظرفیت جذب سموم قارچی جهت جذب آلودگی‌های بالای سموم قارچی، وسیع الطیف بودن، حفظ خواص زیستی در طی فرآوری خوراک، جذب و مهار سموم قارچی با سرعت بالا، قبل از جذب آنها توسط قسمت ابتدایی دستگاه گوارش، داشتن حداقل اثرات متقابل با ویتامین‌ها و مواد معدنی به‌ویژه آهن و روی، تقویت کننده سیستم ایمنی و بهبود عملکرد دستگاه گوارش، دز مصرف کم و جذب حداکثری سموم قارچی، پایداری فعالیت

توکسین بایندر تا زمان دفع از دستگاه گوارش، بالا بودن میل ترکیبی جهت جذب آلودگی‌های کم به‌وسیله سموم قارچی و قابلیت استفاده در گونه‌های مختلف حیوانات از ویژگی‌های مهم یک مهارکننده سموم قارچی ایده آل می‌باشد (۴۶).

جدول ۹- انواع مهارکننده‌های سموم قارچی تجاری موجود در بازار ایران

نام محصول	سموم قارچی هدف	کشور تولید کننده	اجرای تشکیل دهنده
Biotal SC Micorbind	Aflatoxins, ZEA	انگلستان	مخمر فعال، مانان الیگوساکاراید، بتا گلوکان
UltraSorb 20 Mycotex	AFB1, FB1, OTA, DON, ZEA	انگلستان	هیدروآلومینوسیلیکات، مخمر هیدرولیز شده، میکروارگانیسم ها، روغن گیاهی و ویتامین ها
Mycosorb		آمریکا	مخمر هیدرولیز شده، هیدروآلومینوسیلیکات، کربنات کلسیم
Mycofix®	AFLs, Fumonisins Trichothecenes OTA, ZEA	آلمان	بنتونیت، آنزیم های میکروبی، مخمر، باکتری
Select BioCYCLE™		آمریکا	مخمر هیدرولیز شده، باکتری، زئولیت
Mastersorb® Gold	AFLs, fumonisins, DON, ZEA	آمریکا	عصاره گیاهی، مخمر هیدرولیز شده، بنتونیت
TOXO®-XL	Broad spectrum of mycotoxins	آمریکا	عصاره گیاهی، مخمر هیدرولیز شده، بنتونیت

نتیجه‌گیری

در بین سموم قارچی شناخته شده، آفلاتوکسین B1، داکسی نیوالنول، زرالنون، اکراتوکسین A، سم T-2 و فومنسین B1 به علت فراوانی آنها و آسیب‌های شدید کبدی و کلیوی که در طیور ایجاد می‌کنند از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند. این سموم رشد و تولید را در طیور به شدت تحت تأثیر قرار می‌دهند. علاوه بر ضررهای اقتصادی در حوزه پرورش طیور، در صورت راهیابی این سموم به زنجیره غذایی انسان از طریق مصرف گوشت و تخم‌مرغ آلوده می‌تواند سلامت جامعه را نیز تهدید نماید. با توجه به ماهیت شیمیایی سموم قارچی لزوم استفاده از روش‌های مختلف مهار ازجمله استفاده از جاذب‌های معدنی(مانند بنتونیت)، جاذب‌های آلی (مانند کربن فعال، دیواره مخمر)، سم‌زدایی زیستی با استفاده از آنزیم‌های اختصاصی و میکروارگانیسم‌ها و استفاده ترکیبات مؤثره گیاهی جهت تقویت سیستم کبدی ضروری به نظر می‌رسد. از این رو استفاده از مهارکننده‌های سموم قارچی که بر پایه اجزای ذکر شده فرمولاسیون و تولید شده باشند می‌توانند پتانسیل زیادی در مهار سموم قارچی ذکر شده داشته باشند.

References

1- Nazari F, Sulyok M, Yazdanpanah H, Kobarfard F, Krska R. A survey of mycotoxins in domestic rice in Iran by liquid chromatography tandem mass spectrometry. *Toxicology mechanisms and methods*. 2014; 24(1): 37-41.

2- Feizy J, Beheshti HR, Eftekhari Z, Zhiany M. Survey of Mycotoxins in Wheat from Iran by HPLC Using Immunoaffinity Column Cleanup. *Journal of Chemical Health Risks*. 2014; 4.(۱).

3- Sherazi S, Shar Z, Sumbal G, Tan ET, Bhanger M, Kara H, *et al.* Occurrence of ochratoxin A in poultry feeds and feed ingredients from Pakistan. *Mycotoxin research*. 2015; 31(1): 1-7.

4- Gallo A, Giuberti G, Frisvad JC, Bertuzzi T, Nielsen KF. Review on mycotoxin issues in ruminants: occurrence in forages, effects of mycotoxin ingestion on health status and animal performance and practical strategies to counteract their negative effects. *Toxins*. 2015;7(8): 3057-111.

5- Alizadeh AM, Roshandel G, Roudbarmohammadi S, Rou dbary M, Sohanaki H, Ghiasian SA, *et al.* Fumonisin B1 contamination of cereals and risk of esophageal cancer in a high risk area in northeastern Iran. Asian Pacific *Journal of Cancer Prevention*. 2012; 13(6): 2625-8.

6- Ghasemi-Kebria F, Joshaghani H, Taheri NS, Semnani S, Aarabi M, Salamat F, *et al.* Aflatoxin contamination of wheat flour and the risk of esophageal cancer in a high risk area in Iran. *Cancer epidemiology*. 2013; 37(3): 290-3.

7- Rawal S, Kim JE, Coulombe R. Aflatoxin B 1 in poultry: toxicology, metabolism and prevention. *Research in veterinary science*. 2010; 89(3): 325-31.

8- Yin H-B, Chen C-H, Kollanoor-Johny A, Darre MJ, Venkitanarayanan K. Controlling Aspergillus flavus and Aspergillus parasiticus growth and aflatoxin production in poultry feed using carvacrol and trans-cinnamaldehyde. *Poultry science*. 2015: pev207.

9- Cravens R, Goss G, Chi F, DeBoer E ,Davis S, Hendrix S, *et al.* Products to alleviate the effects of necrotic enteritis and aflatoxin on growth performance, lesion scores, and mortality in young broilers. *The Journal of Applied Poultry Research*. 2015; 24(2): 145-56.

10- Heussner AH, Bingle LE. Comparative Ochratoxin Toxicity: A Review of the Available Data. *Toxins*. 2015; 7(10): 4253-82.

11- Devreese M, Antonissen G, Broekaert N, De Baere S, Vanhaecke L, De Backer P, *et al.* Comparative Toxicokinetics, Absolute Oral Bioavailability, and Biotransformation of Zearalenone in Different Poultry Species. *Journal of agricultural and food chemistry*. 2015; 63(20): 5092-8.

12- Yang L, Yu Z, Hou J, Deng Y, Zhou Z, Zhao Z, *et al.* Toxicity and oxidative stress induced by T-2 toxin and HT-2 toxin in broilers and broiler hepatocytes. *Food and Chemical Toxicology*. 2016; 87: 128-37.

13- Wang J, Xie G, Wang S. 10 Chemistry and Safety of Mycotoxins in Food. *Food Safety Chemistry: Toxicant Occurrence, Analysis and Mitigation*. 2014: 189.

14- Young JC, Zhou T, Yu H, Zhu H ,Gong J. Degradation of trichothecene mycotoxins by chicken intestinal microbes. *Food and Chemical Toxicology*. 2007; 45(1): 136-43.

15- Awad WA, Ghareeb K, Böhm J, Zentek J. Decontamination and detoxification strategies for the Fusarium mycotoxin deoxynivalenol in animal feed and the effectiveness of microbial biodegradation. *Food Additives and Contaminants*. 2010; 27(4): 510-20.

16- Asrani R, Katoch R, Gupta V, Deshmukh S, Jindal N, Ledoux D, *et al.* Effects of feeding Fusarium verticillioides (formerly Fusarium moniliforme) culture material containing known levels of fumonisin B1 in Japanese quail (Coturnix coturnix japonica). *Poultry science*. 2006; 85(7): 1129-35.

17- Kermanshahi H, Hazegh A, Afzali N. Effect of Sodium Bentonite in broiler chickens fed diets contaminated with Anatoxin B1. *J Anim Vet Adv*. 2009; 8(8): 1631-6.

18- Kermanshahi H, Akbari M, Afzali N. Effect of low-level administration of aflatoxin B1 into diet on performance and activity of some blood enzymes in broiler chickens. *JWSS-Isfahan University of Technology*. 2007; 11(1): 443-50.

19- Kermanshahi H, Akbari MR, Maleki M, Behgar M. Effect of prolonged low level inclusion of aflatoxin B 1 into diet on performance, nutrient digestibility, histopathology and blood enzymes of broiler chickens. *Journal of Animal and Veterinary Advances*. 2007.

20- Speijers GJA, Speijers MHM. Combined toxic effects of mycotoxins. *Toxicology letters*. 2004; 153(1): 91-8.

21- Pedrosa K, Borutova R. Synergistic effects of mycotoxins discussed. *Feedstuffs*. 2011; 83(19): 1-3.

22- Verma J, Johri T, Swain B, Ameena S. Effect of graded levels of aflatoxin, ochratoxin and their combinations on the performance and immune response of broilers. *British poultry science*. 2004; 45(4): 512-8.

23- Kubena L, Harvey R, Huff W, Elissalde M, Yersin A, Phillips T, *et al.* Efficacy of a hydrated sodium calcium aluminosilicate to reduce the toxicity of aflatoxin and diacetoxyscirpenol. *Poultry Science*. 1993; 72(1): 51-9.

24- Edlayne G, Simone A, Felicio JD. Chemical and biological approaches for mycotoxin control: a review. Recent patents on food, nutrition

& agriculture. 2009; 1(2): 155-61.

25- Selvaraj JN, Lu Z, Yan W, ZHAO Y-j, XING F-g, DAI X-f, *et al.* Mycotoxin detection—Recent trends at global level. *Journal of Integrative Agriculture*. 2015; 14(1): 2265-81.

26- Eskola M, Altieri A, Galobart JJWMJ. Overview of the activities of the European Food Safety Authority on mycotoxins in food and feed. 2018; 11(2): 277-89.

27- Gruber-Dorninger C, Jenkins T, Schatzmayr G. Global mycotoxin occurrence in feed: A ten-year survey. *Toxins*. 2019; 11(7): 375.

28- Beheshti HR, Asadi M. Aflatoxins in animal feed in Iran. *Food Additives & Contaminants*: Part B. 2014; 7(1): 40-2.

29- Kachuei R, Rezaie S, Yadegari MH, Safaie N, Allameh A-A, Aref-poor M-A, *et al.* Determination of T-2 Mycotoxin Fusarium strains by HPLC with fluorescence detector. *Journal of Applied Biotechnology Reports*. 2014; 1(1): 38-43.

30- Rahmani A, Soleimany F, Hosseini H, Nateghi L. Survey on the occurrence of aflatoxins in rice from different provinces of Iran. *Food Additives and Contaminants*: Part B. 2011; 4(3): 185-90.

31- Gholampour Azizi I, Ghadi H, Rouhi S. Ochratoxin A analysis in rice samples of different cities of Mazandaran (a province in Northern Iran). *Nutrition & Food Science*. 2014; 44(3): 223-9.

32- Rahimi E. The occurrence of ochratoxin A in rice in six provinces of Iran. *Toxicology and Industrial Health.* 2014.

33- Yazdanpanah H, Shafaati A, Foroutan SM, Zarghi A, Aboul-Fathi F, Khoddam A, *et al.* Occurrence of deoxynivalenol in foods for human consumption from tehran, iran. *Iranian journal of pharmaceutical research*: IJPR. 2013; 13(Suppl): 87-92.

34- Ghofrani Tabari D, Kermanshahi H, Golian A, Majidzadeh Heravi R. In Vitro Binding Potentials of Bentonite, Yeast Cell Wall and Lactic Acid Bacteria for Aflatoxin B1 and Ochratoxin A. *Iranian Journal of Toxicology*. 2018; 12(2): 7-13.

35- Kermanshahi H, Ghofrani Tabari D, Golian A, Majidzadeh Heravi R, editors. Effect of aflatoxin B1 and three potential adsorbents on intestinal morphology in broiler chicks. *8th Interntional conference on Animal Health and Veterinary Medicine*; 2017.

36- Phillips TD, Afriyie-Gyawu E, Williams J, Huebner H, Ankrah N-A, Ofori-Adjei D, *et al.* Reducing human exposure to aflatoxin through the use of clay: a review. *Food additives and contaminants*. 2008; 25(2): 134-45.

37- Wielogórska E, MacDonald S, Elliott C. A review of the efficacy of mycotoxin detoxifying agents used in feed in light of changing global environment and legislation. *World Mycotoxin Journal.* 2016; 9(3): 419-33.

38- Ringot D, Lerzy B, Bonhoure JP, Auclair E, Oriol E, Larondelle Y. Effect of temperature on in vitro ochratoxin A biosorption onto yeast cell wall derivatives. *Process biochemistry*. 2005; 40(9): 3008-16.

39- Schatzmayr G, Täubel M, Vekiru E, Moll M, Schatzmayr D, Binder E, *et al.* Detoxification of mycotoxins by biotransformation. *The mycotoxin factbook*. 2006: 363-75.

40- Karlovsky P. Biological detoxification of the mycotoxin deoxynivalenol and its use in genetically engineered crops and feed additives. *Applied microbiology and biotechnology*. 2011; 91(3): 491-504.

41- Jard G, Liboz T, Mathieu F, Guyonvarc'h A, Lebrihi A. Review of mycotoxin reduction in food and feed: from prevention in the field to detoxification by adsorption or transformation. *Food Additives & Contaminants: Part A.* 2011; 28(11): 1590-609.

42- Oskoueian E, Abdullah N, Zulkifli I, Ebrahimi M, Karimi E, Goh YM, *et al.* Cytoprotective effect of palm kernel cake phenolics against aflatoxin B1-induced cell damage and its underlying mechanism of action. *BMC complementary and alternative medicine*. 2015; 15(1): 392.

43- Jowsey IR, Jiang Q, Itoh K, Yamamoto M, Hayes JD. Expression of the aflatoxin B1-8, 9-epoxide-metabolizing murine glutathione S-transferase A3 subunit is regulated by the Nrf2 transcription factor through an antioxidant response element. *Molecular pharmacology*. 2003; 64(5): 1018-28.

44- Avantaggiato G, Havenaar R, Visconti A. Assessment of the multi-mycotoxin-binding efficacy of a carbon/aluminosilicate-based product in an in vitro gastrointestinal model. *Journal of agricultural and food chemistry.* 2007; 55(12): 4810-9.

45- Boudergue C, Burel C, Dragacci S, Favrot M-C, Fremy J-M, Massimi C, *et al.* Review of mycotoxin-detoxifying agents used as feed additives: mode of action, efficacy and feed/food safety. 2009.

46- Murugesan G, Ledoux D, Naehrer K, Berthiller F, Applegate T, Grenier B, *et al.* Prevalence and effects of mycotoxins on poultry health and performance, and recent development in mycotoxin counteracting strategies. *Poultry science* .2015; 94(6): 315-1298.

A Review on Important Poultry Feed Mycotoxins, their Pathogenicity and Methods of Combating

Ehsan Oskoueian[1, 2]*, Farough Kargar [2, 3], Hasan Kermanshahi[4], Mahdi Salari Pour[2, 5]

1- Mashhad Branch, Agricultural Biotechnology Research Institute of Iran (ABRII), Agricultural Research, Education, and Extension Organization (AREEO), Mashhad, Iran.
2- Research and Development Group, Tosse Mokamel Zist Fanavar Ariana Company, Mashhad, Iran.
3- PhD student in poultry nutrition, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
4- Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
5- PhD Student in Animal Nutrition, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.

Receive: November 16, 2019; Revise: February 7, 2020; Accept: March 15, 2020

Summary

Mycotoxins are chemical compounds produced by fungi in the agricultural products that pose a serious threat to animals and humans health. The most important mycotoxins are aflatoxin B1, deoxynivalenol, zearalenone, ochratoxin a, T2 toxin, and fumonisin B1. The presence of these mycotoxins in animal diets could impair feed conversion ratio, mortality rate, increased production costs, and ultimately reduced production efficiency in the poultry industry. Methods of inhibiting mycotoxins are including dietary application of mineral adsorbents, organic adsorbents, microorganisms, microbial metabolites, and plant bioactive compounds in individual or combination forms. These compounds inhibit the myctoxins through chelationg, degradation, biotransformation, or enhancing the liver function and the immune system against mycotoxins toxicity. Due to the differences in the chemical nature of each mycotoxins, considering the different inhibitory mechanisms in mycotoxin inhibitors in mandatory. Hence, the use of broad-spectrum mycotoxins inhiboitors seems to be necessary to eliminate wide variety of mycotoxins in poultry diets.

Keywords: *mycotoxins inhibitor, plant bioactive compounds, biotransformation, aflatoxin, zearalenone, ochratoxin, fumonisin*