

آفلاتوکسین و مدیریت خطر آن در آبی پروری

زهرا محمودی کیا^{۱*}، احمد ایمانی^۱

^۱گروه شیلات و آبیان، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

چکیده

مصرف آبیان عمدتاً به دلیل دسترسی آسان، ارزش تغذیه‌ای، اثرات سلامتی آن‌ها، قیمت مناسب نسبت به گوشت (دام و طیور) و همچنین عدم وجود بیماری‌های مهلکی چون تب برفکی، جنون گاوی و ... در سراسر جهان افزایش یافته است. آلودگی مواد غذایی با میکوتوکسین‌ها برای سلامت حیوان و در نتیجه انسان یک خطر جدی است. میکوتوکسین‌ها متابولیت‌های ثانویه قارچی هستند که دارای ترکیب شیمیایی و آثار فیزیولوژیک متفاوتی می‌باشند. تخمین زده می‌شود که سالانه ۲۵ درصد از محصولات جهان را تحت تاثیر قرار داده و عملاً غیر قابل مصرف می‌کنند. آفلاتوکسین‌ها گروهی از میکوتوکسین‌ها هستند که سرطان‌زا، جهش‌زا و سرکوب‌کننده سیستم ایمنی می‌باشند. آفلاتوکسین‌ها از طریق خوراک یا استنشاق وارد بدن می‌شوند. بسیاری از مواد غذایی انسان و دام مستعد رشد و تکثیر قارچ می‌باشند. آفلاتوکسین‌ها به وسیله قارچ‌هایی چون *Aspergillus flavus* و *A. parasiticus* در اقلام غذایی تولید می‌شوند و در بافت‌های مختلف از جمله کبد، کلیه، سیستم ایمنی، اندام‌های تناسلی، عصبی و گوارشی تجمع پیدا می‌کنند. البته میزان تجمع آن‌ها در کبد بیشتر است، بطوری که غلظت این سم در کبد می‌تواند به ۱۰ برابر میزان آن در عضلات برسد. طیف گسترده‌ای از روش‌های مدیریت میکوتوکسین‌ها بویژه آفلاتوکسین وجود دارد، که شامل مدیریت پیش و پس از برداشت می‌شوند. در شیوه پیش از برداشت جلوگیری از صدمات ناشی از حشرات، گونه‌های مقاوم به قارچ‌ها یا سازگار به شرایط منطقه کشت و مبارزه زیستی متداول است. در حالیکه در مدیریت پس از برداشت پرهیز از به تعویق انداختن برداشت، ممانعت از آسیب دیدگی دانه‌ها، بوجاری، مدیریت سیوهاها از نظر دما و رطوبت، ازون درمانی و .. اشاره نمود. این مقاله به همراه مروری بر تحقیقات منتشر شده پیرامون سمیت آفلاتوکسین در آبیان و حیوانات تک معده‌ای بویژه طیور، راه‌کارهای مدیریتی جلوگیری از مخاطرات حاصل از این سموم را بطور خلاصه بیان می‌کند.

کلمات کلیدی: میکوتوکسین‌ها ، آفلاتوکسین‌ها، سموم قارچی، سرطان، آبی پروری

* نویسنده مسئول: mahmoudi.kiya2014@gmail.com

مقدمه

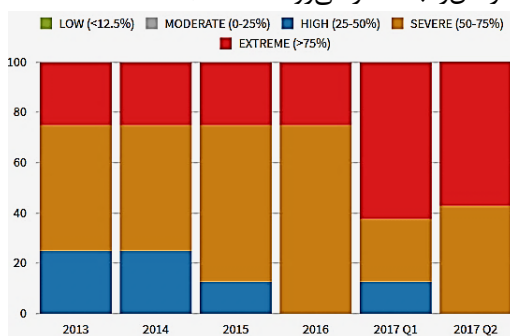
انتظار می‌رود تا سال ۲۰۳۰ جمعیت جهان به ۸/۲ میلیارد نفر بالغ گردد و تامین مواد غذایی به یک چالش جدی در دو دهه‌ی آینده خواهد بود (FAO, 2014). آبی‌پروری تقریباً نیمی از بازار مواد غذایی دریایی جهانی را در اختیار دارد و با توجه به افزایش تمایل جهانی به مصرف فرآورده‌های آبیان به دلایلی چون اثر سلامتی آبیان و همچنین عدم وجود بیماری‌های مهلکی چون تب برفکی و جنون گاوی، تقاضا برای آبیان بیشتری نیز خواهد شد. از آنجا که ذخایر دریایی از نظر برداشت و تولید دیگر پاسخگوی نیاز جوامع بشری نیستند، این تقاضا منجر به توسعه سریع آبی‌پروری خواهد شد. بنابراین باید توجه داشت که کنترل سلامت غذای ماهی و در نتیجه کیفیت فرآورده نهایی مورد مصرف انسان از طریق کنترل آلودگی قارچی و میکوتوکسین‌ها جهت کاهش زیان‌های اقتصادی و به حداقل رساندن مخاطرات بهداشتی از اولویت‌های این صنعت خواهد بود (Barbosa et al., 2013).

طی سال‌های اخیر تمایل به استفاده از اقلام غذایی گیاهی بجای منابع حیوانی گران قیمت از جمله پودر ماهی در غذای دام و آبیان افزایش یافته است. به همین دلیل خطر آلوده شدن غذاهای مورد استفاده، در آبی‌پروری، به میکوتوکسین‌ها افزایش یافته است. حتی در صورت اندازه‌گیری‌های صحیح و برنامه‌های کنترلی مناسب، انتخاب مواد خام با کیفیت بالا و محتویات غذایی و شرایط نگهداری مناسب، تضمین عدم وجود میکوتوکسین‌ها بسیار مشکل است (Abdalla, 1997). میکوتوکسین‌ها متابولیت‌های سمی تولید شده توسط گروه‌های مختلفی از قارچ‌های هستند که محصولات کشاورزی را قبل از برداشت و یا طی نگهداری آلوده می‌کنند و می‌توان گفت انسان، مرغ، خوک و ماهی را در معرض آلودگی و مشکلات ناشی از آن نظیر بیماری‌های مختلف و سرانجام مرگ و میر قرار می‌دهند (Zychowski et al., 2013). آفلاتوکسین‌ها گروهی از میکوتوکسین‌ها می‌باشند که بیشتر توسط کپک‌های جنس آسپرژیلوس (*Aspergillus*) و به ویژه گونه‌های *A. flavus* و *A. parasiticus* تولید

می‌شوند و به علت سمیت زیاد و مخاطراتی که برای مصرف‌کنندگان (دام و انسان) در بردارند، حائز اهمیت هستند. این سم سرطان‌زا و در واقع هیپاتوکارسینوزن، موتاژن، تراتوژن بوده و برای کبد، کلیه و سیستم عصبی سمی است (Khan et al., 2001). از میان انواع مختلف آفلاتوکسین، آفلاتوکسین B₁ (*Aflatoxin B₁*) سمی‌ترین، فراوان‌ترین و قوی‌ترین ترکیب سرطان‌زای طبیعی تلقی می‌شود (Williams et al., 2004) و در حال حاضر یکی از مهم‌ترین میکوتوکسین‌های تحت نظارت سازمان غذا و داروی آمریکا (FDA) می‌باشد (Celik and Sur, 2003).

آفلاتوکسین B₁ به شکل بلوری است و در دمای ۲۶۹- ۲۶۸ درجه سلسیوس که نقطه ذوب آن است تجزیه می‌شود. این سم از قوی‌ترین مواد سرطان‌زای (Carcinogen) کبدی است که تا به حال شناخته شده است (کرمانشاهی و همکاران، ۱۳۸۶). آفلاتوکسین در دام و طیور و آبیان موجب کاهش سرعت رشد و بازدهی پایین حیوان می‌شود (Gallo et al., 2010). همچنین آفلاتوکسین‌ها می‌توانند موجب اختلال در چرخه تولید انرژی (سوخت و ساز کربوهیدرات‌ها و چربی‌ها) گردند و یا در تداخل با اسیدهای نوکلئیک، موجب کاهش تولید پروتئین در سلول‌ها و سرانجام کاهش سرعت رشد و بازدهی حیوان شوند. از سوی دیگر سرکوب سیستم ایمنی (خونی و سلولی)، تغییر فراسنجه‌های خونی و بیوشیمیایی سرم، نکروز حاد، سیروز و تومورهای کبدی و در نهایت مرگ آبی در گونه‌های مختلف ماهیان شامل ماهی روهور (*Labeo rohita*) گربه ماهی روگاهی (*Ictalurus punctatus*) و قزل آلی رنگین کمان (*Oncorhynchus mykiss*) در پی مصرف جیره‌های غذایی آلوده به آفلاتوکسین گزارش شده است (Mohapatra et al., 2011). سمیت آفلاتوکسین‌ها بر روی گونه‌های مختلف آبیان از جمله قزل آلی رنگین کمان، گربه ماهی روگاهی، ماهی تیلاپیای نیل، میگوی موزی سیاه و ... مشخص شده است (Imani et al., 2018). در مورد آبیان خطر بروز بیماری در اثر مصرف پودر ماهی آلوده به آفلاتوکسین و بویژه به دلیل افزایش استفاده از مواد غذایی

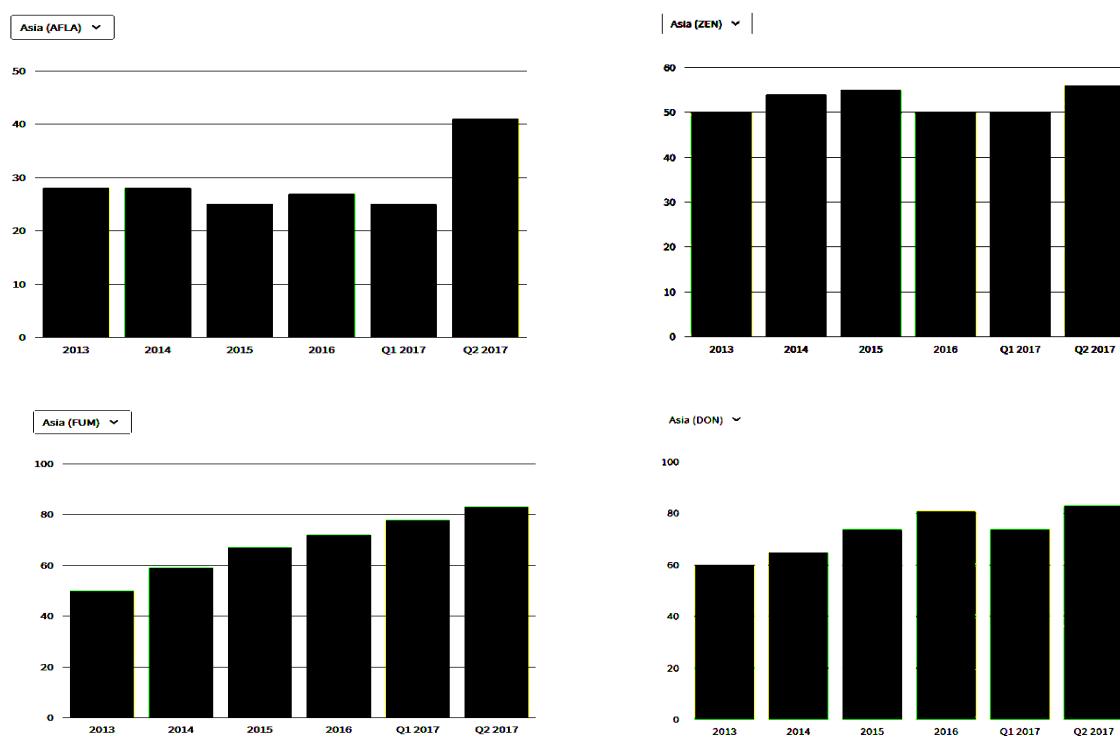
دارای ۳۹، ۳۸ و ۲۶ درصد فراوانی بودند. میزان آلودگی میکوتوکسینی سویا و فرآورده‌های آن در آمریکای جنوبی افزایش قابل توجهی در سال ۲۰۱۷ داشت. بیش از سه چهارم نمونه‌های مورد مطالعه در فصل نخست سال ۲۰۱۷ دچار آلودگی با دو سم قارچی یا بیشتر بودند، که نشان‌دهنده خطر مضاعف ناشی از چندین سم در جیره‌های غذایی است. آلودگی همزمان با برخی از سموم قارچی دارای اثر هم‌افزایی است و موجب تشدید آثار سوء سموم قارچی بر گونه پرورشی می‌گردد. همچنین سموم قارچی نوظهوری نیز در گندم (Enniatins با ۸۹ درصد فراوانی) و ذرت (Culmorin، Moniliformin و Beauvericin به ترتیب با ۶۷، ۹۲ و ۸۰ درصد فراوانی) گزارش شده‌اند. سطح خطر (Risk level) بیانگر درصد نمونه‌های دارای حداقل یک میکوتوکسین بالای سطح آستانه‌ای (ppb) می‌باشد. این سطوح خطر شامل اندک (کمتر از ۱۲/۵ درصد)، متوسط (۲۵-۱۲/۵ درصد)، بالا (۵۰-۲۵ درصد)، شدید (۷۵-۵۰ درصد) و خیلی شدید (بیش از ۷۵ درصد) می‌باشند. چنین به نظر می‌رسد که سطوح خطر شدید و خیلی شدید طی چهار سال گذشته بسیار فراوان بوده‌اند (شکل ۱، Biomin, 2017). همانطور که از شکل ۲ برمی‌آید، علیرغم افزایش درصد آلودگی با DON و FUM، سم آفلاتوکسین نیز از فراوانی قابل توجهی برخوردار است و از مهمترین سموم قارچی سرطان‌زا به شمار می‌رود (Biomin, 2017).



شکل ۱: سطح خطر سموم قارچی در قاره آسیا در سال‌های مختلف (محور افقی سال‌های تهیه نمونه ارقام غذایی و محور عمودی نشان دهنده درصد نمونه‌های آلوده است)

با منشا گیاهی از جمله کنجاله پنبه دانه، بادام زمینی، ذرت، سویا و سبوس برنج برای فرمولاسیون خوراک آبزیان وجود دارد (Santacroce and Zizzadoro, 2008).

طبق بررسی‌های میدانی شرکت بیومین در سال ۲۰۱۷ سموم قارچی (Mycotoxins) همچنان یکی از مشکلات گریبان‌گیر غذای دام، طیور و آبزیان به شمار می‌روند. به نحوی که از میان ۳۳۰۰۰ نمونه آنالیز شده توسط شرکت تغذیه دام بیومین، ۸۴۵۲ جیره غذایی آماده و نمونه‌های مواد اولیه غذایی تهیه شده از ۶۳ کشور جهان (از ژانویه یا ژوئن ۲۰۱۷) دارای آلودگی میکوتوکسینی بودند و دو سم دی‌اکسی‌نیوانول (DON) و فوم‌نیزین (FUM) در آغاز سیاهه فراوانترین سموم قارچی قرار داشتند. طبق آمارهای این شرکت این روند طی چهار سال گذشته تکرار شده است. در قاره آسیا آلودگی با تمامی سموم قارچی روندی صعودی داشته است، اما در اروپا میزان آلودگی با آفلاتوکسین (Afla)، زیرالنون (ZEN)، سم T2 و DON در فصل نخست سال ۲۰۱۷ نسبت به فصل دوم آن کاهش داشته است (شکل ۱). در آمریکای شمالی نیز فصل دوم سال با کاهش قابل توجه میزان آلودگی با Afla، فوزاریوم (FUM)، اکراتوکسین A (OTA)، T2 و ZEN نسبت به سه ماهه نخست سال همراه بود. در آمریکای جنوبی نیز میزان FUM در فصل دوم اندکی بیشتر بود، در حالی که در قاره آفریقا افزایش قابل توجهی در سطوح آلودگی با میکوتوکسین‌ها در دو فصل سال مشاهده نگردید. همبستگی قابل توجهی میان میزان آلودگی میکوتوکسینی در جیره‌های غذایی آماده و ذرت ثبت شد، که می‌تواند به سهم قابل توجه ذرت در جیره‌های غذایی دام باشد و فراوانترین سموم قارچی مشاهده شده در ذرت به ترتیب شامل FUM (۹۰ درصد)، DON (۸۴ درصد) و ZEN (۴۹ درصد) بود. همچنین آلودگی با FUM و DON بسته به اقلیم منطقه به ترتیب در مناطق گرم‌تر و خنک‌تر مساله ساز هستند. علاوه بر این DON با فراوانی ۷۹ درصد و ZEN با ۷۳ درصد فراوان‌ترین میکوتوکسین در نمونه‌های سویا در کل جهان بوده‌اند. همچنین سم T2، Afla و FUM به ترتیب



شکل ۲: درصد نمونه‌های آلوده به انواع سموم قارچی در قاره آسیا در سال‌های مختلف (محور افقی سال‌های تهیه نمونه اقلام غذایی و محور عمودی نشان دهنده درصد نمونه‌های آلوده است)

هدف اولیه تغذیه ماهی، ارائه یک ترکیبی از مواد مغذی متعادل برای حمایت از نگهداری، رشد، عملکرد تولیدمثلی، کیفیت گوشت و سلامت حیوانات با هزینه قابل قبول است (NRC, 1989). کیفیت محصولات مورد استفاده در خوراک آبزیان پرورشی به یک عامل محدود کننده بدل شده است، زیرا این خوراکی‌ها، بسترهای ایده آلی برای رشد قارچ‌ها هستند. تولید این متابولیت‌های سمی می‌تواند طی مراحل داشت، در هنگام ذخیره‌سازی پس از برداشت یا طی فرآوری مواد غذایی رخ دهد (CAST, 2003). آلودگی به عوامل متعددی از جمله شرایط آب و هوایی (بارش، دما و رطوبت)، حساسیت ژنتیکی، آلودگی قارچی، نوع خاک، عوامل تغذیه‌ای و ذخیره‌سازی پس از برداشت بستگی دارد (Bakan *et al.*, 2002; CAST, 2003; Cavaliere *et al.*, 2005). آخرین اطلاعات برآوردی نشان می‌دهد که زیان مالی سالانه ناشی از مصرف خوراک آلوده به میکوتوکسین در ایالات متحده و کانادا در حدود ۵ میلیارد دلار است

قارچ‌های مولد این سموم بر روی مواد غذایی و اقلام اولیه غذایی جهت تولید خوراک (مانند بادام زمینی، ذرت، سویا و گندم) رشد نموده و مصرف غذاهای آلوده به سموم ناشی از آن‌ها (آفلاتوکسین) می‌تواند موجب بیماری در انسان یا دام و آبزیان شود (Razzaghi-Abyaneh, 2013). در کنار روند رو به رشد جایگزینی نهاده‌های اولیه غذایی دریایی در خوراک آبزیان و حل مشکلات مربوط به تامین جیره‌های غذایی اقتصادی، احتمال آلودگی جیره‌های غذایی آبزیان با سموم و متابولیت‌های قارچی ناشی از مواد اولیه گیاهی موجود در جیره‌ها افزایش می‌یابد، که با اهداف توسعه پایدار در این صنعت مغایرت دارد (Hooft *et al.*, 2011).

پیدایش و اهمیت میکوتوکسین‌ها در تغذیه آبزیان عرضه خوراک بر سیستم‌های تولید دام و آبزیان سیطره دارد و هر یک از عوامل تأثیرگذار بر امنیت عرضه خوراک، محدودیت مهمی برای تولید خواهد بود (Bryden, 2012).

سرکوب سیستم ایمنی بدن می‌باشند (Bintvihok *et al.*, 2003; Cagauan *et al.*, 2004).

اثر سمی اکراتوکسین A حاد است و می‌تواند منجر به آسیب‌های مزمن و اختلال عملکرد کلیه شود. تریکوتسن می‌تواند اثرات مزمن در حیوانات، از جمله سرکوب سیستم ایمنی بدن را سبب شود. اثر عمده سم زیرالنون سندرم افزایش سطح سرمی هورمون استروژن (hyperestrogen) و التهاب واژن و فرج (vulvovaginitis) است، ساختار آن شبیه به ۱۷-بتا استرادیول است (Anukul *et al.*, 2013).

مایکوتوکسین‌ها می‌توانند منجر به ایجاد بسیاری از اختلالات از جمله تحریک سلول‌ها و اندام‌ها، تغییرات ریختی و در موارد شدیدتر مرگ و میر آبزیان شوند (Deng *et al.*, 2010). به این ترتیب، تلفات آبی‌پروری ناشی از مایکوتوکسین‌ها به دلیل تغذیه با خوراک آلوده می‌تواند قابل توجه باشد و در نتیجه موجب زیان اقتصادی شود. برای مثال، آلودگی جیره‌های غذایی با مایکوتوکسین‌ها حتی اگر بطور متوسط موجب افزایش ۵ درصدی ضریب تبدیل غذایی آبی‌گرد، هزینه تولید آبزیان ۴ درصد افزایش خواهد یافت (Biomina, 2017). در مطالعات اثرات سمی روی ماهی، استاندارد برای مقدار یا زمان قرار گرفتن در معرض سموم قارچی در دست نیست. در واقع، اثر سمی مایکوتوکسین‌ها ممکن است وابسته به نوع و کمیت مایکوتوکسین خوراک باشد. البته گونه، جنس و سن حیوان نیز موثر است. پژوهشی تحت عنوان تاثیر آفلاتوکسین بر روی ماهی تیلاپیای نیل (*Oreochromis niloticus*) که با دوز $100 \mu\text{g}$ AFB₁/kg و به مدت ۱۰ هفته و به صورت خوراکی انجام شد، نشان داد که این سم باعث کاهش رشد ماهی تیلاپیا نیل شد (El-Banna *et al.* 1992). زمانی که ماهی تیلاپیا نیل با دوز $200 \text{ ppb AFB}_1/\text{kg}$ و به مدت ۱۰ هفته و به صورت خوراکی مورد تغذیه قرار گرفت، میزان هموگلوبین کاهش یافت و تغذیه با این خوراک کاهش وزن و بقاء را نیز به دنبال داشت (Selim *et al.*, 2014). از آثار دیگر سطوح مختلف آلودگی با آفلاتوکسین شامل کاهش هماتوکریت و نکروز کبدی (Tuan *et al.*,

2013). مقررات نظارتی و کنترلی مایکوتوکسین‌ها بسیار متنوع هستند، زیرا به عواملی چون سمیت هر یک از مایکوتوکسین‌ها و ترکیبات احتمالی آنها، کشور، نوع غلات، حبوبات، مواد غذایی و توزیع جغرافیایی و اکولوژیکی تولید مایکوتوکسین‌ها بستگی دارد (Biomina, 2011). با این حال، بسیاری از کشورها از دستورالعمل‌های FDA، ESFA، CODEX alimentarius و EC برای سطح قابل قبولی از مایکوتوکسین‌ها استفاده می‌کنند. این دستورالعمل نشان می‌دهد که سطح قابل قبول آفلاتوکسین در خوراک حیوانات و مواد تشکیل دهنده آن 20 ppb است، البته این میزان برای پرورش نشخوارکنندگان، طیور و راسو 30 ppm می‌باشد (FDA, 2011a). اهمیت مایکوتوکسین‌ها در حوزه آبزیان و پرورش حیوانات، ابتدا در اوایل دهه ۱۹۶۰ با شیوع آفلاتوکسیکوز در بوقلمون‌های جوان در انگلستان و ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان (*Onchorynchus mykiss*) در ایالات متحده کشف شد. در هر دو مورد منشاء آفلاتوکسیکوزیس، خوراک آلوده به آفلاتوکسین (کنجاله بادام زمینی برای بوقلمون و تخم پنبه برای ماهی قزل‌آلا) بود (Gourama and Bullerman, 1995).

اثرات سمی مایکوتوکسین در ماهیان

اثرات سمی مایکوتوکسین‌ها در حیوانات با توجه به نوع و مقدار سم و دوره‌ای که حیوان در معرض آن قرار دارد، متفاوت است. همچنین، حساسیت گونه‌های مختلف آبزیان به آفلاتوکسین B₁ بسیار متفاوت است. آفلاتوکسین آثار قابل توجهی بر آبزیان می‌گذارد؛ به طور مثال موجب کم‌خونی، خون‌ریزی، آسیب کبدی، افزایش استعداد ابتلا به بیماری‌های عفونی، سرکوب سیستم ایمنی و در نهایت افزایش میزان مرگ و میر می‌گردد (Santacrose and Zizzadoro, 2008). سموم قارچی همچنین موجب تخریب ساختار مواد ژنتیکی سلول‌ها و جهش‌زایی، عفونت‌های پوستی و انواع سرطان‌ها بویژه سرطان کبد می‌شود (Wang and Groopman, 1999). مایکوتوکسین‌ها دارای طیف وسیعی از اثرات دیگر شامل آسیب کلیه، اختلالات گوارشی، اختلالات تولید مثلی و

غذایی آلوده به آفلاتوکسین (20 ppb) حاوی بنتونیت، بقایای این سم در بافت های مختلف از جمله کبد و کل لاشه قابل مشاهده بوده است.

مدیریت آلودگی های مایکوتوکسینی در خوراک

غذا می تواند در هر مرحله از فرآیند تولید و توزیع آلوده گردد و مسئولیت اصلی با تولیدکنندگان مواد غذایی است. مایکوتوکسین ها یک گروه از مواد نامطلوب در فرآیند تولید مواد غذایی و کنترل کیفی آن هستند، که اغلب نادیده گرفته می شوند. مایکوتوکسین ها می توانند در طول دوره رشد گیاهان تولید شوند، اما عمدتاً پس از برداشت محصول در مزرعه، از طریق دوره برداشت و ذخیره سازی باعث آلودگی می شوند. کنترل آلودگی مایکوتوکسین باید از جایی که دانه تولید می شود آغاز گردد، اما ضروری است توجه ویژه ای به مراحل پیش و پس از برداشت و ذخیره سازی این دانه ها داشت. مایکوتوکسین ها با چشم قابل مشاهده نیستند و اغلب دانه ها نشانه هایی از آلودگی را نشان نمی دهند، اما ممکن است به مایکوتوکسین ها آلوده باشند (FAO, 2004, 2007). اقدام برای کاهش خطر آلودگی غالب قبل از برداشت و تولید مایکوتوکسین باید بر اساس استفاده از بذر سالم حاصل شود به این معنی که بذر باید عاری از آلودگی های قارچی، باکتری یا ویروسی باشد؛ اجتناب از تنش خشکی - آبیاری در صورت امکان، کنترل حشرات و اجتناب از استرس ها می تواند مفید باشد (FAO, 2007).

حذف آفلاتوکسین های تشکیل شده در خوراکی های آلوده یکی از جنبه های مهم تحقیقات تغذیه ای است. روش های متنوع فیزیکی، شیمیایی و زیستی برای از بین بردن آفلاتوکسین ها با موفقیت کم به کار گرفته شده است (Pasteiner, 1994). یک روش معمول استفاده از مواد جاذب غیر مغذی در جیره است که با آفلاتوکسین ها پیوند ایجاد نموده و جذب آنها را از دستگاه گوارش کاهش می دهند (Jindal et al., 1994). تاکنون از زئولیت طبیعی، بنتونیت، آلومینیوسیلیکات هیدراته سدیم-کلسیم (HSCAS)، دیواره سلولی مخمر و زغال فعال برای کاهش سمیت آفلاتوکسین ها در خوراک طیور استفاده شده است

(2002) و سرکوب سیستم ایمنی در کپور معمولی می توان نام برد (Sahoo and Mukherjee, 2001).

مخاطرات حاصل از آفلاتوکسین

پس از مصرف جیره های غذایی آلوده به آفلاتوکسین توسط آبی، با توجه به حلالیت بالای آن در چربی، این ترکیب براحتی وارد سیستم گردش خون شده و سپس به کبد منتقل می شود (Santacroce et al., 2008). ذخیره سازی زیستی AFB₁ موجود در جیره غذایی به مدت ۱۵ و ۲۰ هفته در ماهی تیلاپیا مورد مطالعه قرار گرفت. باقی مانده AFB₁ در عضله قابل توجه نبود، در حالی که وجود باقی مانده های AFB₁ در کبد بطور کامل تایید شد. پس از ۱۵ و ۲۰ هفته، AFB₁ باقی مانده در کبد ماهی تغذیه شده با جیره غذایی حاوی آفلاتوکسین، بیش از ۶۳۸ میکروگرم در کیلوگرم بود و همچنین AFB₁ باقی مانده پس از ۲۰ هفته دو برابر بیشتر از مقدار مربوطه پس از ۱۵ هفته بود. البته، باقی مانده AFB₁ در بافت های زیستی ماهی اغلب گزارش شده است (El-Sayed and Khalil, 2009). در اکثر این مطالعات سطح AFB₁ باقی مانده در کبد بسیار بالاتر از عضله بود (Nomura et al., 2011). این یافته را می توان چنین تفسیر نمود که کبد نقش مهمی در متابولیسم AFB₁ دارد. برخی پژوهشگران بر این باورند که باقی مانده AFB₁ موجود در بافت ها و اندام می تواند تابعی از دوز و مدت زمان مواجهه با سم باشد (Bintvihok et al., 2003). مقادیر پایین آفلاتوکسین B₁ برای مدت طولانی در گربه ماهی روگامی باعث آسیب های بافتی (کبد و کلیه) شد (Jantratail and Lovell, 1990). مواجهه با آفلاتوکسین موجب تغییرات محسوسی مانند رنگ باختگی کبد، کبد چرب، هیپرپلازی، تغییرات مجاری صفراوی و بروز تومورهای کبدی در ماهی قزل آلی رنگین کمان شده است (Hoof et al., 2011). در مطالعه Zychowski و همکاران (2013b) نیز کمترین میزان شاخص کبدی در تیلاپای نیل تغذیه شده با خوراک آلوده به آفلاتوکسین B₁، مشاهده شد. Ellis و همکاران (2000) نشان دادند که یک هفته پس از تغذیه قزل آلی رنگین کمان با جیره

زمینه قارچ‌های بیوکنترل غیرتهاجمی که از طریق استراتژی انحصار رقابتی عمل می‌کنند، با موفقیت محصول زیستی بومی با نام Aflasafe™ را آزمایش کرده‌اند که می‌توان آن را در ذرت و بادام زمینی استفاده نمود (Bandyopadhyay and Grace et al., 2015). این محصول آلودگی ذرت و بادام زمینی را با آفاتوکسین تا حد ۸۰-۹۹٪ کاهش داد. محصولات Aflasafe™ برای استفاده تجاری در کنیا، نیجریه، سنگال و گامبیا استفاده می‌شود. Aflasafe™ حاوی چهار سویه منحصر به فرد غیر سم‌زای *A. flavus* است (Bandyopadhyay et al., 2016). یکی دیگر از مطالعات در زمینه کنترل زیستی توسط Anjaiah و همکاران (۲۰۰۶) گزارش شده است که از تلقیح سویه‌های آنتاگونیستی *Bacillus Pseudomonas* و *Trichoderma spp.* در بادام زمینی استفاده شد که باعث کاهش قابل توجه آلودگی بذر پیش از برداشت با *A. flavus* شد.

باکتری‌های اسیدلاکتیک

فرض بر این است که ترکیبات ضدقارچ و ضدباکتری تولید شده توسط باکتری‌های اسیدلاکتیک (LAB) باعث کاهش تولید سم می‌شوند. Dalié و همکاران (۲۰۱۰) گونه‌های متعلق به جنس‌های لاکتوکوکوس، پدیکوکوس، لاکتوباسیلوس و لاکتونوستوک که قادر به مهار رشد قارچ-های سمی بودند، را شناسایی کردند. عواملی نظیر دوره انکوباسیون و درجه حرارت، غلظت نمک خوراکی و همچنین حضور زایلوز، هیدرولیزات کازئین و پروتئوس پپتون بر توانایی مهار LAB در تولید توکسین موثر هستند. برای مثال، کارایی ترکیبات ضدقارچی و تکثیر *Lactobacillus rhamnosus* بعد از افزودن ۱ و ۲ درصد گلوکز و در غلظت ۳ درصد نمک خوراکی افزایش یافت.

رقم بندی

هدف رقم‌بندی حذف محصولات کشاورزی با کیفیت نامطلوب است. به طور معمول رقم‌بندی، به ویژه برای دانه‌ها، بر اساس تمایز خواص فیزیکی مانند رنگ، اندازه، شکل و چگالی صورت می‌گیرد. طی این مراحل،

(Huwing et al., 2001). برای اینکه یک جاذب بتواند بطور موفق آفاتوکسین‌ها را از دستگاه گوارش جذب کند، باید قابلیت بالایی در پیوند شدن به آفاتوکسین‌ها داشته باشد (Ramos et al., 1997). Oguz و همکاران (۲۰۰۰) در آزمایشی مشاهده کردند که افزودن کلینوپتیلولیت به جیره‌ی غذایی طیور موجب کاهش معنی‌دار مسمومیت با آفاتوکسین شد و میزان مصرف خوراک و وزن جوجه‌ها بهبود یافت. همچنین افزودن دیواره سلولی مخمر به جیره-ی جوجه‌های گوشتی اثرات مضر آفاتوکسین‌ها بر عملکرد، شاخص‌های بیوشیمیایی، خون‌شناسی و عملکرد سیستم ایمنی را کاهش داد (Raju and Devegowda., 2000).

استراتژی‌های نوآورانه مدیریت کاهش آفاتوکسین

طیف گسترده‌ای از روش‌های مدیریت مایکوتوکسین‌ها بویژه آفاتوکسین وجود دارد. بسته به "نوع" یا شیوه کاربرد، کنترل زیستی به مدیریت پیش از برداشت قابل تعمیم است، در حالی که تکنولوژی رقم بندی، تیمار با تابش الکترومغناطیسی، ازن (Ozone fumigation) تحت عنوان عوامل کنترل شیمیایی به مدیریت‌های مرحله پس از برداشت معروف هستند (Udomkun et al., 2017).

کنترل زیستی

سویه‌های غیر آفاتوکسین‌زای *A. flavus* به عنوان یک کنترل زیستی برای حفاظت از محصولات در برابر آلودگی در شرایط مزرعه مورد استفاده قرار می‌گیرند (Atehnkeng et al., 2014). زمانی که تعداد اسپور انواع غیرسم‌زا (nontoxigenic) در خاک بالا باشد، آنها با گونه‌های دیگر، مولد سم، برای مواد مغذی ضروری مورد نیاز رقابت خواهند کرد. علاوه بر این، تلقیح خاک با سویه-های غیرتوکسین‌زا، دارای اثر انتقال است که محصولات را از آلودگی در طول ذخیره‌سازی محافظت می‌کند (Atehnkeng et al., 2014).

توانایی قارچ برای رقابت با گونه‌های مرتبط با آن بستگی به عوامل متعددی نظیر pH و نوع خاک و نیز دسترسی به نیتروژن، کربن، آب و مواد معدنی دارد (Ehrlich, 2014). موسسه بین‌المللی کشاورزی گرمسیری (IITA) و وزارت تحقیقات کشاورزی ایالات متحده با سایر شرکای خود در

تخلیه الکتریکی در اکسیژن، الکترولیز آب، فتوشیمیایی و رادیو شیمیایی تولید شود (Inan *et al.*, 2007). یکی از جنبه‌های مهم جذاب ازن این است در مرحله بعد از برداشت، گاز ازن برای جلوگیری از رشد باکتری‌ها (Karaca and Velioglu, 2014)، جلوگیری از پوسیدگی قارچی (Palou *et al.*, 2002)، نابود کردن آفت کش‌ها و باقی‌مانده‌های شیمیایی (Hwang *et al.*, 2001)، قابل استفاده است (Young *et al.*, 2006). مکانیسم ازن در تخریب آفلاتوکسین B₁ و آفلاتوکسین G₁ شامل یک واکنش الکتروفیلی در باند C8-C9 دو حلقه فوران و تشکیل ozonide این ترکیبات است که سپس به مشتقات monozonide مانند آلدئیدها، کتون‌ها، اسیدها و دی اکسیدکربن تجزیه می‌شوند (Agriopoulou *et al.*, 2016; Chen *et al.*, 2014). تأثیر تیمار ازن را در تخریب آفلاتوکسین B₁ در ذرت بررسی کردند و دریافتند که مسمومیت با ذرت آلوده به آفلاتوکسین B₁ از طریق تیمار با ازن کاهش می‌یابد.

عوامل کنترل شیمیایی

Jalili و Jinap (۲۰۱۲) اثر هیدروسولفیت سدیم (Na₂S₂O₄) و فشار را بر کاهش آفلاتوکسین در فلفل سیاه بررسی کردند. این مطالعه نشان داد که استفاده از ۲٪ Na₂S₂O₄ تحت فشار بالا منجر به کاهش قابل توجه آفلاتوکسین B₁، آفلاتوکسین B₂، آفلاتوکسین G₁ و آفلاتوکسین G₂ بدون آسیب به لایه بیرونی فلفل سیاه شد. با این وجود آفلاتوکسین B₂ در برابر تیمار اعمال شده مقاوم‌تر بود. همچنین، تنفس حشرات باعث افزایش درجه حرارت و رطوبت دانه‌ها می‌شود که شرایط مطلوب برای رشد قارچی را فراهم می‌کند. Zhang و همکاران (۲۰۱۲) فناوری جدیدی به نام (electrolyzed oxidizing water) را ارائه دادند که یک راه‌حل الکترولیتی است که توسط دستگاه الکترولیز با غشای تبادل یونی حاصل می‌شود، همچنین، Kohiyama و همکاران (۲۰۱۵) اثرات مهارکننده اسانس *Thymus vulgaris* در رشد قارچ *A. flavus* و تولید آفلاتوکسین نشان دادند.

محصولاتی که تحت تاثیر رشد قارچ قرار گرفته باشند، از نظر کلیت فیزیکی و تغییر رنگ جدا شده و از میزان آلودگی محصول قابل ارائه به بازار کاسته می‌شود (Fandohan *et al.*, 2005). Phillips و همکاران (۱۹۹۴) اشاره کردند که جداسازی بر اساس شناوری و چگالی می‌تواند باعث کاهش ۹۵ درصدی میزان آفلاتوکسین در بادام‌های زمینی گردد.

تیمار با تابش الکترومغناطیسی

تابش گاما به عنوان یک ابزار موثر برای حفظ کیفیت محصولات کشاورزی و مواد غذایی مورد توجه قرار گرفته است (Jalili *et al.*, 2010). فوتون‌های با انرژی بالای تولید شده توسط یک منبع مولد گاما مانند کبالت ۶۰ برای از بین بردن میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا و فاسد کننده استفاده می‌شود (Markov *et al.*, 2015). تابش گاما با تعامل انرژی با مولکول‌های آب موجود در مواد زیر پوست و یا مواد غذایی باعث ایجاد رادیکال‌های آزاد و یون‌هایی می‌شود که به DNAهای میکروارگانیسم‌ها حمله می‌کنند (Da Silva Aquino, 2012). با این حال، کارایی اشعه گاما بستگی به عوامل بسیاری نظیر تعداد و نوع قارچ، زاویه تابش، ترکیب غذا و رطوبت دارد. Iqbal و همکاران (۲۰۱۳) اشاره کردند که دوز ۶kGy از تابش گاما، کل آفلاتوکسین و محتوای آفلاتوکسین B₁ را در بیش از ۸۰ درصد از کلم بروکلی کاهش می‌دهد. همچنین، Kanapitsas در ۲۰۱۵ نشان داد که تابش گاما در دوز ۱۰ kGy باعث کاهش تقریباً ۶۵ درصدی انباشت اولیه آفلاتوکسین B₁ در نمونه‌های کشمش آلوده شده توسط *A. parasiticus* شد. Markov و همکاران (۲۰۱۵) دریافتند که تابش دوز ۱۰ kGy می‌تواند برای کاهش میزان آفلاتوکسین B₁ به سطح قابل قبول بدون ایجاد آسیب به حیوانات و سلامت انسان استفاده شود.

تیمار با ازن

ازن، فرم سه عاملی اکسیژن (O₃)، یکی از قوی‌ترین مواد ضد عفونی کننده است. به طور مستقیم به عنوان یک عامل ضد میکروبی در صنعت مواد غذایی استفاده می‌شود. به طور معمول، ازن می‌تواند توسط روش‌های مختلفی مانند

استفاده از آنتی‌اکسیدان‌ها

در سال‌های اخیر افزایش علاقه به استفاده از آنتی‌اکسیدان‌ها در برابر مسمومیت آفلاتوکسین مشهود است، چرا که آفلاتوکسین به القاء تولید اکسیژن فعال و تنش اکسیداتیو کمک می‌کند. رادیکال‌های آزاد به عنوان یکی از مکانیسم‌های زیربنایی ایجاد آسیب‌های سلولی و DNA پیشنهاد شده‌اند (Yang *et al.*, 2000). در زمان سوخت و ساز طبیعی سلول‌ها، رادیکال‌های آزاد تولید می‌شوند. رادیکال‌های آزاد، مولکول و یا بخش‌های مولکولی شامل یک یا چند الکترون جفت نشده در اوربیتال اتمی یا مولکولی هستند. احیاء متوالی مولکول اکسیژن منجر به شکل‌گیری یک گروه از گونه‌های اکسیژن فعال نظیر آنیون سوپراکسید (O_2^-)، پراکسید هیدروژن (H_2O_2) رادیکال هیدروکسیل (OH) و اکسیژن می‌شود. الکترون جفت نشده رادیکال‌های آزاد دارای میل ترکیبی زیادی با مولکول‌های مجاور مانند چربی‌ها، پروتئین‌ها و کربوهیدرات‌ها هستند و به عنوان علت اصلی آسیب سلولی مطرح هستند (Halliwell, 2000). آفلاتوکسین به سرعت در دستگاه گوارش با انتشار غیر فعال جذب شده و به کبد منتقل می‌شود. در کبد، آفلاتوکسین B_1 توسط آنزیم سیتوکروم P450 متابولیزه و به اگزو 8-9- اپوکسید (AFBO) تبدیل می‌گردد. این اپوکسید به راحتی به موقعیت N_7 گوانین متصل می‌شود و به شکل ترکیب AFB-DNA در می‌آید که مسئول اثر جهش‌زا ییو سرطان‌زا یی آفلاتوکسین استاین ترکیب همچنین بسیار فعال بوده و سبب تولید گونه‌های اکسیژن فعال مانند آنیون رادیکال سوپراکسید، پراکسید هیدروژن و هیدروپراکسیدهای چربی می‌گردد، که خود پیش‌سازهای رادیکال هیدروکسیل می‌باشند. رادیکال‌های هیدروکسیل میل ترکیبی زیادی با DNA و در نتیجه جهش‌زایی دارند (Ozen *et al.*, 2009).

توصیه‌های ترویجی

از عمده راه‌کارهای پیشنهادی متخصصین شرکت بیومین برای کاهش خطر ناشی از سموم قارچی پرهیز از جیره-

های غذایی آلوده و همچنین توجه ویژه به شرایط نگهداری مواد غذایی است. با این حال علی‌رغم تلاش‌های زیاد برای جلوگیری از بروز سموم قارچی، این سموم همچنان مسئله ساز هستند و راهبردهایی نظیر جذب یا غیرفعال کردن سموم در دستگاه گوارش جانوران قابل اعتمادترین، مطمئن‌ترین و موثرترین شیوه‌ها به شمار می‌روند (Biomim, 2017).

روش‌های شیمیایی به عنوان استراتژی اصلی جهت خنثی سازی به کار می‌روند. مواد مختلف شیمیایی جهت غیرفعال کردن آفلاتوکسین‌ها مورد آزمایش قرار گرفته‌اند. مواد جذب غیرآلی که به جاذب‌های شیمیایی معروف هستند به خوراک دام اضافه می‌شوند. برای مثال، موادی مانند مانان اولیگوساکارید که از سلول‌های مخمر حاصل می‌شود ممکن است در کاهش اثرات سم تاثیر داشته باشد. به‌رحال مواد فوق به عنوان مواد افزودنی ضد آفلاتوکسین در کشور آمریکا شناخته شده‌اند. باکتری‌های پروبیوتیک مانند باکتری‌های اسیدلاکتیک (LAB) میکروارگانیزم‌هایی هستند که مصرف آنها بدن را در برابر عوامل جهش‌زای مواد غذایی از جمله آمین‌های هتروسیکلیک، نیتروز آمین‌ها و آفلاتوکسین‌ها حفاظت می‌کند و نویدبخش سلامتی هستند. از خاصیت جذب آفلاتوکسین توسط باکتری‌های اسیدلاکتیک بعنوان اختصاصی‌ترین روش سم زدایی محصولات غذایی می‌توان نام برد. پروبیوتیک‌ها علاوه بر تعدیل سیستم ایمنی می‌توانند در سم‌زدایی مواد غذایی نیز بکار روند (Ahlberg *et al.*, 2015). که چشم انداز جدیدی در ارتباط با پروبیوتیک‌ها در صنعت آبرزی پروری محسوب می‌شود. استفاده از عوامل شیمیایی مانند اسید سیتریک و اسیدلاکتیک، پراکسید هیدروژن و گاز ازن در کنار روش‌های دیگر مانند جذب سموم در سطح مواد معدنی و آلی، کنترل زیستی به کمک سویه‌های غیرسم-زای قارچ‌ها، تخمیر و آمونیاسیون نیز می‌تواند شیوه‌های مناسبی باشند که البته نیازمند بررسی و پژوهش‌های زیادی در کشور جهت بهینه سازی آن‌ها برای تهیه خوراک آبزیان ایمن و سالم است (Pankaj *et al.*, 2018).

- maize grown in France and Spain. *J. Agric. Food Chem.* 50, 728–731.
- Bandyopadhyay, R., & Cotty, P. J. 2013. Biological controls for aflatoxin reduction. In 2020 Focus brief, 20(16). Washington, DC: International Food Policy Research Institute.
- Bandyopadhyay, R., Ortega-Beltran, A., Akande, A., Mutegi, C., Atehnkeng, J., Kaptoge, L., et al. (2016). Biological control of aflatoxins in Africa: Current status and potential challenges in the face of climate changes. *World Mycotoxin Journal*, 1e20.
- Barbosa, B.T.S., Pereyra, C.M., Soleiro, C.A., Dias, E.O., Oliveira, A.A., Keller, K.A., Silva, P.P.O., Cavaglieri, L.R., Rosa, C.A.R. 2013. Mycobiota and mycotoxins present in finished fish feeds from farms in the Rio de Janeiro State, Brazil. *Int. Aquat. Res.* 5 (3), 2–9.
- Bintvihok, A., Ponpornpisiti, A., Tangtrongpiros, J., Panichkriangkrai, W., Rattanapanee, R., Doi, K. and Kumagi, S. 2003. Aflatoxin contamination in shrimp feed and effects of aflatoxin addition to feed on shrimp production. *Journal of food Protection*, 66(5): 882-885.
- Biomin, 2011. Biomin's Mycotoxin Survey Report Available in <http://www.biomin.net>
- Biomin, 2017. http://www.allaboutfeed.net/Mycotoxins/Articles/2017/8/2017-Mycotoxins-in-feed-remain-problem-173649E/?cmpid=NLC|allboutfeed|2017-09-01|2017:_Mycotoxins_in_feed_remain_problem.
- Bryden, 2012. W.L. Bryden Mycotoxin contamination of the feed supply chain: implications for animal productivity and feed security *Animal Feed Sci Technol*, 173 (2012), pp. 134-158.
- کرمانشاهی، ح، اکبری، م. ر، بهگر، م. و دانشیار، م. ۱۳۸۶. اختلالات متابولیکی و مایکوتوکسین ها. انتشارات سناباد. ۵۰۰ صفحه.
- Abdalla, ES. 1997. Dec.Zearalenone: incidence, toxigenic fungi and chemical decontamination in Egyptian cereals. *Nahrung*; 41:362-5.
- Agriopoulou, S., Koliadima, A., Karaiskakis, G., & Kapolos, J. 2016. Kinetic study of aflatoxins' degradation in the presence of ozone. *Food Control*, 61, 221e226.
- Ahlberg, S.H., Joutsjoki, V., Korhonen, H. J. 2015. Potential of lactic acid bacteria in aflatoxin risk mitigation. *International Journal of Food Microbiology* 207 (2015) 87–102. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2015.04.042>
- Anjaiah, V., Thakur, R. P., & Koedam, N. 2006. Evaluation of bacteria and *Trichoderma* for biocontrol of pre-harvest seed infection by *Aspergillus flavus* in groundnut. *Biocontrol Science and Technology*, 16(4), 431e436.
- Anukul, N., Vangnai, K., Mahakarnchanakul, W., 2013. Significance of regulation limits in mycotoxin contamination in Asia and risk management programs at the national level. *J. Food Drug Anal.* 21, 227–241.
- Atehnkeng, J., Ojiambo, P. S., Cotty, P. J., & Bandyopadhyay, R. 2014. Field efficacy of a mixture of atoxigenic *Aspergillus flavus* Link:Fr vegetative compatibility groups in preventing aflatoxin contamination in maize (*Zea mays* L.). *Biological Control*, 72, 62e70
- Bakan, B., Melcion, D., Richard-Molard, D., Cahagnier, B. 2002. Fungal growth and *Fusarium* mycotoxin content in isogenic traditional maize and genetically modified

منابع

- Ehrlich, K. 2014. Non-aflatoxigenic *Aspergillus flavus* to prevent aflatoxin contamination in crops: Advantages and limitations. *Frontiers in Microbiology*, 5, 1e9.
- El-Banna, R., Teleb, H.M., Hadi, M.M., Fakhry, F.M., 1992. Performance and tissue residue of tilapias fed dietary aflatoxin. *Vet. Med. J.* 40, 17–23.
- El-Sayed, Y.S., Khalil, R.H., 2009. Toxicity, biochemical effects and residue of aflatoxin B1 in marine water-reared sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.). *Food Chem. Toxicol.* 47, 1606–1609.
- Ellis, R.W., M. Clements, A. Tibbetts and R. Winfree. 2000. Reduction of the bioavailability of 20 µg/kg aflatoxin in trout feed containing clay. *Aquaculture* 183(1): 179-188.
- El-Sayed, Y Khalil, R. 2009. Toxicity, biochemical effects and residue of aflatoxin B(1) in marine water-reared sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.). 30 (15), 2940-2949.
- FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2004. Worldwide regulations for mycotoxins in food and feed in 2003. Food and Nutrition Paper No. 81. Rome.
- FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2007. On-farm Mycotoxin Control in Food and Feed Grain (Peter Golob), Rome, 2007.
- FAO. 2014 The state of world fisheries and aquaculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome-Fuller R. (1989). A review: probiotics in man and animals. *Journal of Applied Bacteriology*, 66: 365-378.
- Fandohan, P., Zoumenou, D., Hounhouigan, D. J., Marasas, W. F. O., Wingfield, M. J., & Hell, K. 2005. Fate of aflatoxins and fumonisins during the processing of maize into food products in Benin. *International CAST*. 2003. Council for Agricultural Science and Technology. Mycotoxins: Risk in Plant, Animal and Human Systems. Task Force Report n° 139, Ames, Iowa, USA
- Cagauan, A.G., Tayaban, R.H., Somga, J.R., Bartolome, R.M. 2004. Effect of aflatoxin-contaminated feeds in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.). In: Remedios, R.B., Mair, G.C., Fitzsimmons, K. (Eds.), *Proceedings of the Sixth International Symposium on Tilapia in Aquaculture*, pp. 172–178.
- Cavaliere, C., D'Ascenzo, G., Foglia, P., Pastorini, E., Samperi, R., Lagana, A., 2005. Determination of type B trichothecenes and macrocyclic lactone mycotoxins in field contaminated maize. *Food Chem.* 92, 559–568.
- Celik, I & Sur, E., 2003 Effects of aflatoxin B1 on the development of the bursa of Fabricius and blood lymphocyte acid phosphatase of the chicken., *Journal Of British Poultry Science*, 44:558–66.
- Chen, R., Ma, F., Li, P.-W., Zhang, W., Ding, X.-X., Zhang, Q., et al. 2014. Effect of ozone on aflatoxins detoxification and nutritional quality of peanuts. *Food Chemistry*, 146, 284e288.
- Dali_e, D. K. D., Deschamps, A. M., & Richard-Forget, F. 2010. Lactic acid bacteriapotential for control of mould growth and mycotoxin: A review. *Food Control*, 21(4), 370e380.
- Da Silva Aquino, K. A. 2012. Sterilization by gamma irradiation. In F. Adrovic (Ed.), *Gamma radiation* (pp. 171e206). Vienna, Austria: InTech.
- Deng, S.X., Tian, L.X., Liu, F.J., Jin, S.J., Liang, G.Y., Yang, H.J., Du, Z.Y., Liu, Y.J., 2010. Toxic effects and residue of aflatoxin B1 in tilapia (*Oreochromis niloticus*) during long-term dietary exposure. *Aquaculture*, 307:233–240.

- animal feed by different adsorbents. *Toxicol. Lett.* 122: 179-188.
- Imani, A., Bani, M.S., Noori, F., Farzaneh, M. and Moghanlou, K.S., 2018. The effect of bentonite and yeast cell wall along with cinnamon oil on aflatoxicosis in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*): Digestive enzymes, growth indices, nutritional performance and proximate body composition. *Aquaculture*, 476: 160-167.
- Inan, F., Pala, M., & Doymaz, I. 2007. Use of ozone in detoxification of aflatoxin B1 in red pepper. *Journal of Stored Products Research*, 43, 425e429.
- Iqbal, S. Z., Bhatti, I. A., Asi, M. R., Zuber, M., Shahid, M., & Parveen, I. 2013. Effect of g irradiation on fungal load and aflatoxins reduction in red chillies. *Radiation Physics and Chemistry*, 82, 80-84.
- Jalili, M., Jinap, S., & Noranizan, A. 2010. Effect of gamma radiation on reduction of mycotoxins in black pepper. *Food Control*, 21(10), 1388e1393.
- Jalili, M., & Jinap, S. 2012. Role of sodium hydrosulphite and pressure on the reduction of aflatoxins and ochratoxin A in black pepper. *Food Control*, 27, 11e15.
- Jantratail, W., Lovell, R.T., 1990. Subchronic toxicity of dietary aflatoxin B1 to channel catfish. *Journal of Aquatic Animal Health* 2, 248-254.
- Jindal, N., S. K. Mahipal, and N. K. Mahajan. 1994. Toxicity of aflatoxin B1 in broiler chicken and its reduction by activated charcoal. *Res. Vet. Sci.* 56: 37-40.
- Kanapitsas, A., Batrinou, A., Aravantinos, A., & Markaki, P. 2015. Effect of g-radiation on the production of aflatoxin B1 by *Aspergillus parasiticus* in raisins (*Vitis vinifera L.*). *Radiation Physics and Chemistry*, 106, 327e332.
- Journal of Food Microbiology*, 98(3), 249e269.
- FDA, 2011a. Guidance for Industry: Fumonisin Levels in Human Foods and Animal Feeds; Final Guidance. Contains Nonbinding Recommendations. Available in <http://www.fda.gov/food/guidanceregulation/guidancedocumentsregulatoryinformation/ucm109231.htm>.
- Grace, D., Mahuku, G., Hoffmann, V., Atherstone, C., Upadhyaya, H. D., & Bandyopadhyay, R. (2015). Internatinal agricultueal research to reduce food risks: Case studies on aflatoxins. *Food Security*, 7, 569e582.
- Gallo, A., Masoero, F., Bertuzzi, T., Piva, G., Pietri, A., 2010. Effect of the inclusion of adsorbents on aflatoxin B1 quantification in animal feedstuffs. *Food Additives and Contaminants* 27(1), 54-63.
- Gourama, H. & Bullerman, L.B., 1995. *Aspergillus flavus*, Aflatoxigenic Fungi of Concern in Foods and Feed. *F. Food Protection.*, 58, 1395-1404.
- Halliwell, B. 2000. The antioxidant paradox. *Lancet* 355: 1179–1180. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 72(5): 1082-1087.
- Hwang, K.K., Eissenberg, J.C., Worman, H.J. 2001. Transcriptional repression of euchromatic genes by *Drosophila* heterochromatin protein 1 and histone modifiers. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 98(20): 11423--11427.
- Hoof, J.M., Elmor, A.E.H.I., Encarnação, P., Bureau, D. P., 2011. Rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) is extremely sensitive to the feed-borne *Fusarium* mycotoxin deoxynivalenol (DON). *Aquaculture*, 311(1), 224-232.
- Huwing, A., S. Fremund, O. Kappeli, and H. Dutler. 2001. Mycotoxin detoxication of

- Nomura, H., Ogiso, M., Yamashita, M., Takaku, H., Kimura, A., Chikasou, M., Nakamura, Y., Fujii, S., Watai, M., Yamada, H., 2011. Uptake by dietary exposure and elimination of aflatoxins in muscle and liver of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *J. Agric. Food Chem.* 59, 5150–5158.
- Oguz, H., T. Kececi, F. Birdane, F. Onder, and V. Kurtoglu. 2000. Effect of clinoptilolite on serum biochemical and haematological characters of broiler chickens during aflatoxicosis. *Res. Vet. Sci.* 69: 89-93.
- Ozen, H., Karaman, M., Cigremis, Y., Tuzcu, M., Ozcan, K. and Erda, g. D. 2009. Effectiveness of melatonin on aflatoxicosis in chicks. *Research Veterinary Science*, 86: 485–489.
- Palou, L., Crisosto, C. H., Smilanick, J. L., Adaskaveg, J. E., & Zoffoli, J. P. (2002). Effect of continuous 0.3 ppm ozone exposure on decay development and physiological responses of peaches and table grapes in cold storage. *Postharvest Biology and Technology*, 24(1), 39e48.
- Pasteiner S. Mycotoxins in animal husbandry. – Biomin, St. Poelten, Austria, 1994.
- Phillips, T. M., Clement, B. A., & Park, D. L. (1994). Approaches to reduction of aflatoxins in foods and feeds. In D. L. Eaton, & J. D. Groopman (Eds.), *The toxicology of aflatoxins: Human health, veterinary and agricultural significance* (p. 383). San Diego: Academic Press.
- Raju MVLN, Devegowda G. 2000. Influence of esterified – glucomannan of performance and organ morphology, serum biochemistry and hematology in broilers exposed to individual and combine mycotoxicotoxicosis aflatoxin, ochratoxin and T2 toxin. *Br. Poult. Sci.* 41: 640- 650.
- Razzaghi-Abyaneh, M., 2013. Aflatoxins - Recent Advances and Future
- Karaca, H., & Velioglu, Y. S. 2014. Effects of ozone treatments on microbial quality and some chemical properties of lettuce, spinach, and parsley. *Postharvest Biology and Technology*, 88, 46e53.
- Khan, M.J., Renata, U.C., Christine, I. and Bohm, J. 2001. Occurrence of aflatoxins in some common concentrate feeds in bangladesh. *Journal of Bangladesh Veterinarian*.18(2): 130-135.
- Kohiyama, C. Y., Ribeiro, M. M. Y., Mossini, S. A. G., Bando, E., Bomfim, N. S., Nerilo, S. B., et al. (2015). Antifungal properties and inhibitory effects upon aflatoxin production of *Thymus vulgaris* L. by *Aspergillus flavus* Link. *Food Chemistry*, 173, 1006e1010.
- Luo, X., Wang, R., Wang, L., Li, Y., Bian, Y., & Chen, Z. (2014). Effect of ozone treatment on aflatoxin B1 and safety evaluation of ozonized corn. *Food Control*, 37171e176.
- Markov, K., Mihaljevi_c, B., Domijan, A.-M., Pleadin, J., Dela_s, F., & Frece, J. 2015. Inactivation of aflatoxigenic fungi and the reduction of aflatoxin B1 in vitro and in situ using gamma radiation. *Food Control*, 54, 79e85.
- Marson, B., Bonin, M.N., 2013. Micotoxinas, desafio na produção de alimentos saudáveis e seguros. *Divulgação Técnica CONNAN, Companhia Nacional de Nutrição Animal.* Ano 3, out, n12.
- Mohapatra, S., Sahu, N.P., Pal, A.K., Prusty, A.K., Kumar, V., Shivendra, K., 2011. Haematoimmunology and histo-architectural changes in *Labeo rohita* fingerlings: effect of dietary aflatoxin and mould inhibitor. *Fish Physiol. Biochem.* 37, 177–186.
- NRC, National Research Council, 1989. *Recommended Dietary Allowances*. 10th Ed. (Washington, DC).

- Wang, J.S., Groopman, J.D., 1999. "DNA damage by mycotoxins" Mutation Research/Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis 424 (1): 167-181.
- Williams, J.H., Phillips, T.D., Jolly, P.E, Stiles, J.K, Jolly, C.M, & Aggarwal, D. 2004. Human aflatoxicosis in developing countries, a review of toxicology, exposure, potential health consequences, and interventions.
- Yang, C. F., Liu, J., Wasser, S., Shen, H. M., Tan, C. E. and Ong, C.N. 2000. Inhibition of ebselenonaflatoxin B1-induced hepatocarcinogenesis in Fischer 344 rats. *Carcinogenesis*, 21: 2237- 2243.
- Young, J. C., Zhu, H., & Zhou, T. (2006). Degradation of trichothecene mycotoxins by aqueous ozone. *Food and Chemical Toxicology*, 44, 417e424. *Am J Clin Nutr.*, 80(5): 1106 – 1122.
- Zhang, Q., Xiong, K., Tatsumi, E., Li, L.-te, & Liu, H.-J. (2012). Elimination of aflatoxin B1 in peanuts by acidic electrolyzed oxidizing water. *Food Control*, 27(1), 16e20.
- Zychowski, K.E., Hoffmann, A.R., Ly, H.J., Pohlenz, C., Buentello, A., Romoser, A., Gatlin, D.M., Phillips, T.D., 2013. The effect of aflatoxin-B1 on red drum (*Sciaenops ocellatus*) and assessment of dietary supplementation of NovaSil for the prevention of aflatoxicosis. *Toxins* 5, 1555–1573.
- Zychowski, K.E., C. Pohlenz, T. Mays, A. Romoser, M. Hume, A. Buentello, D.M. Gatlin and T.D. Phillips. 2013b. The effect of NovaSil dietary supplementation on the growth and health performance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fed aflatoxin-B1 contaminated feed. Prospects, International Standard Book Number, 978-953-551-0904-4, Publisher: In Tech: 395 pages.
- Ramos P, Gangi MD, Baren A, Filippa D, Elkon KB. APMIS. 1997. Immunohistochemical analysis of murine CD95/Fas/Apo-1 receptor and its ultrastructural distribution in the thymus. Aug;105(8):597-602
- Santacroce, M.P. and C. Zizzadoro. 2008. Aflatoxins in aquatic species: metabolism, toxicity and perspectives. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 18: 99–130.
- Santacroce, M.P., Conversano, M.C., Casalino, E., Lai, O., Zizzadoro, C., Centoducati, G., Crescenzo, G., 2008. Aflatoxins in aquatic species: metabolism, toxicity and perspectives. *Rev. Fish Biol. Fish.* 18(1), 99-130.
- Sahoo, P.K., Mukherjee, S.C., 2001. Immunosuppressive effects of aflatoxin B1 in Indian major carp (*Labeo rohita*). *Comp. Immunol. Microbiol. Infect. Dis.* 24, 143–149.
- Selim, K.M., El-Hofy, H., Khalil, R.H., 2014. The efficacy of three mycotoxin adsorbents to alleviate aflatoxin B1 induced toxicity in *Oreochromis niloticus*. *Aquac. Int.* 22, 523–540.
- Tuan, N.A., Grizzle, J.M., Lovell, R.T., Manning, B.B., Rottinghaus, G.E., 2002. Growth and hepatic lesions of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fed diets containing aflatoxin B1. *Aquaculture* 212, 311–319.
- Udomkun, p., Nimo Wiredu, A., Nagle, M., Müller, J., Vanlauwe, B., Bandyopadhyay, R. 2017. Innovative technologies to manage aflatoxins in foods and feeds and the profitability of application e A review. *Food Control* 76 (2017)127e138. (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Aflatoxin and its risk management in aquaculture

Mahmoudikiya Z.^{1*}; Imani A.¹

¹Dept. of Fisheries, Faculty of Natural Resources, Urmia University, Urmia, Iran

Abstract

Seafood consumption is increased mainly due to its availability, nutritional value, health benefits, reasonable price in comparison to livestock and poultry and finally lack of fatal diseases such as BSE (bovine spongiform encephalopathy) and FMD (foot and mouth disease) risk. Food contamination with mycotoxins is a serious setback to animal health and performance with subsequent health issues to animal protein product consumers. Mycotoxins are secondary fungal metabolites with different chemical characteristics and physiological effects. It is estimated that 25% of the world's agricultural products are annually affected and practically become useless. Aflatoxins are a group of mycotoxins with carcinogenic and immunosuppressive effects. Aflatoxins can transfer to body through food/feed and also via inhalation. Human and animal food/feed ingredients are susceptible to fungal colonization and growth. Aflatoxins are mainly produced by fungi species such as *Aspergillus flavus* and *A. parasiticus*. They concentrate in various tissues including liver, kidney, immune system, genital organs, nervous system and gastrointestinal tract. Certainly, they are considerably accumulated in the liver, for instance the hepatic concentration of aflatoxin would be 10 times higher than its muscular concentration. Various risk management approaches have been proposed to deal with mycotoxins especially aflatoxin contamination of feed ingredients, mainly including at-harvest and post harvest managements. In at-harvest method mostly avoiding insect damage, choosing varieties resistant to fungal diseases and well-adapted to growing area and biological control are addressed. However, avoiding delayed harvest, avoiding grain kernel damage, grain sorting, managing temperature and humidity of silos and ozone treatment and etc. are mainly considered in post harvest management of feed ingredients. This review summarizes the management strategies for preventing the toxicity of aflatoxin in aquaculture along with reviewing existing literature on the toxicity of aflatoxin in aquaculture animal and other monogastric animals especially poultry.

Keywords: : Mycotoxins, Aflatoxins, Fungal toxins, Cancer, Aquaculture

*Corresponding author: mahmoudi.kiya2014@gmail.com