

اثرات سموم قارچی در گونه‌های مختلف ماهی‌های پرورشی

به موازات افزایش مصرف اقلام خوراکی با منشأ گیاهی در آبرزی پروری، احتمال مسمومیت با سموم قارچی در ماهی‌ها نیز افزایش یافته است. تغذیه ماهی‌ها با خوراک‌های آلوده به مایکوتوکسین‌ها ممکن است سلامت حیوان را به مخاطره انداخته و موجب بروز آسیب‌های بافتی یا سرکوب سیستم ایمنی شود. هر دو اثر فوق، می‌توانند افزایش مرگ و میر را در پی داشته باشند. با این حال تا کنون، گزارش‌های اندکی در رابطه با وجود غلظت‌های سمی مایکوتوکسین‌ها در خوراک ماهی منتشر شده است. هدف این مقاله تشریح اثرات آن دسته از سموم قارچی است که به طور معمول در خوراک ماهی‌ها یافت می‌شوند. از نقطه نظر سلامت ماهی، آفلاتوکسین B1 و سموم فوزاریومی، زیان‌آورترین انواع مایکوتوکسین‌ها به شمار می‌روند. قزل‌آلای رنگین‌کمان¹، بیشترین حساسیت را در میان ماهی‌ها نسبت به سموم قارچی نشان می‌دهد. مطالعات آتی در زمینه مایکوتوکسین‌ها در ماهی، می‌بایست بر روی اثرات ترکیبات مختلف مایکوتوکسین‌ها متمرکز شوند.

مایکوتوکسین‌ها متابولیت‌های ثانویه و طبیعی قارچ‌های رشته‌ای میکروسکوپی هستند. قارچ‌های توکسی‌ژنیک بر روی طیف گسترده‌ای از محصولات زراعی، شامل گندم، ذرت و سویا رشد می‌کنند (Goswami and Kistler 2013; Marin et al. 2006; Murphy et al. 2004). اغلب سموم قارچی، مقاوم به حرارت بوده و فرآوری خوراک تأثیری بر غلظت مؤثر آنها ندارد. از سوی دیگر، غلظت‌های سموم قارچی در برخی از فراورده‌های جانبی ممکن است بیش از مواد خوراکی خام باشد. به عنوان مثال، غلظت برخی از سموم قارچی در غلات (ذرت) خشک تقطیری همراه مواد محلول، ممکن است ۳ برابر بیش از غلظت آنها در محصول ذرت اولیه باشد (Wu and Munkvold 2008). قارچ‌های جنس *آسپرژیلوس*، فوزاریوم و پنسیلیوم فراوان‌ترین قارچ‌های مولد سموم قارچی زیان‌آور، در طبیعت می‌باشند (Bennett and Klich 2003). در حالی که *آسپرژیلوس* مناطق گرمسیری گرم‌تر را برای رشد و تکثیر ترجیح می‌دهد، قارچ‌های فوزاریوم و پنسیلیوم در نواحی معتدل اروپا نیز رشد می‌کنند (Bryden 2012). اگرچه شرایط آب و هوایی شامل سطح رطوبت و دما، بیشترین تأثیر را بر رشد کپک و تولید سموم قارچی دارند، اما مقدار نهایی سم تولیدی به عوامل متعدد دیگری نیز بستگی دارد که از آن جمله می‌توان به آسیب مکانیکی، آسیب‌های ناشی از فعالیت حشرات بر روی محصولات زراعی، ترکیب سوپسترا، استفاده از حشره‌کش -

¹ Rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*)

ها، وارپته گیاه و میزان اسپور، اشاره کرد (Bennett and Klich 2003; Streit et al. 2012). فرض بر این است که سالانه ۲۵ درصد محصولات زراعی در سراسر جهان تحت تأثیر کپک‌ها قرار می‌گیرند (CAST 1989). اقلام خوراکی انسانی (Food) و دامی (Feedstuffs) تهیه شده از محصولات زراعی آلوده به سموم قارچی، محتوای مواد مغذی جیره را کاهش داده و سلامت حیوان و انسان را به مخاطره می‌اندازند (Bennett 1987; Hussein and Brasel 2001). مسومیت ناشی از مصرف سموم قارچی روی هم رفته تحت عنوان مایکوتوکسیکوز شناخته شده و علائم آن شامل ضعف اندام‌های بدن، سرطان‌زایی، مسومیت سیستم عصبی، سرکوب سیستم ایمنی، اختلالات تولیدمثلی و اختلال در نمو جنین و اثراتی از این قبیل، می‌باشد (Jestoi 2008; Kolpin et al. 2014). ماهی‌ها در مزارع آبی‌پروری، اغلب با جیره‌های تجاری حاوی انواع مختلف خوراک‌های گیاهی مانند کنجاله سویا و انواع دانه‌های غلات که احتمال آلودگی جملگی آنها با سموم قارچی وجود دارد، تغذیه می‌شوند (Yiannikouris and Jouany 2002; Binder 2006). مقدار گندم در جیره‌های کامل ویژه قزل‌آلای رنگین کمان، از ۱۵ تا ۲۷ درصد و در جیره سیپرنیدها (cyprinids) ۲۰ تا ۷۰ درصد، متغیر است (Pietsch et al. 2013). بعلاوه، وقتی پودر ماهی با یک خوراک گیاهی جایگزین می‌شود، احتمال آلودگی با سموم قارچی افزایش می‌یابد. آلودگی خوراک‌های ماهی با سموم قارچی، معضلی گسترده بوده و به ویژه، در نواحی گرمسیری و کشورهای در حال توسعه که خوراک‌های ویژه ماهی اغلب توسط خود مزرعه‌داران و تحت شرایط فراوری و نگهداری نامطلوب تولید می‌شوند، بسیار شدیدتر است (Tacon 1992; Santacrose et al. 2008; Anater et al. 2016). برخی از سموم قارچی در کنار تأثیری که بر سلامت ماهی دارند، می‌توانند بافت بدن ماهی‌ها را نیز آلوده نموده و از این طریق امنیت غذایی انسان را نیز به مخاطره بیاندازند. آفلاتوکسین‌ها (AFs)، زیرانون (ZEN) و اکراتوکسین A (OTA)، جملگی در فراورده‌های غذایی با منشأ دامی یافت می‌شوند (Gareis and Wolff 2000; Persi et al. 2014; Iqbal et al. 2014). پژوهشگران متعددی از وجود بقایای آفلاتوکسین B1 در عضلات ماهی تحت شرایط آزمایشی خبر داده‌اند (Hussain et al. 1993; El-Sayed and Khalil 2009; Huang et al. 2011; Nomura et al. 2011). در مطالعه عبدالوهاب و همکاران (۲۰۰۵)، در پی انتشار درون معده‌ای سم استریگماتوسیستین^۲، بقایای این سم در بافت‌های خوراکی ماهی تیلاپیای نیل و ماهی قزل‌آلای رنگین کمان مشاهده گردید. در حالی که OTA در پستانداران چرخه-

² Sterigmatocystin:

نوعی مایکوتوکسین با خویشاوندی نزدیک به آفلاتوکسین‌ها

ای روده‌ای-کبدی به نمایش می‌گذارد و هنوز گزارشی در رابطه با حضور این سم در ماهیچه ماهی منتشر نشده است، که این امر احتمالاً به دلیل حذف سریع این سم و نیمه عمر پایین آن در خون می‌باشد (Hagelberg et al. 1992; Fuchs and Hult 1989). در صورت آلودگی خوراک ماهی قزل‌آلای رنگین کمان به سم ZEN، ممکن است مقادیر ناچیزی از این سم در تخمدان‌ها یافت شود، اما این سم در ماهیچه به ندرت یافت می‌شود (Woźny et al. 2013). تولوسا و همکاران (۲۰۱۵)، بررسی غلظت سموم فوزاریومی خانواده اینیاتین‌ها^۳ (ENS) و بائوورسین^۴ (BEA) در ماهیچه ماهی‌های پرورشی را در دستور کار خود قرار داده و از تشخیص سموم ENB و ENB1 به ترتیب در ۶۵ و ۵۰ درصد نمونه‌های ماهیچه خبر دادند. بر اساس گزارش اسکریوا و همکاران (۲۰۱۵)، تنها ۳٪ مطالعات انجام شده در زمینه سموم قارچی در ماهی‌ها، مطالعات حیوانی (in vivo) بوده‌اند. هدف از مقاله حاضر ارائه خلاصه‌ای از اثرات سموم قارچی شایع بر ماهی‌ها، معرفی حساس‌ترین گونه‌های ماهی و ارزیابی غلظت‌های زیان‌آور این سموم طبیعی، در آب‌زی‌پروری می‌باشد.

آفلاتوکسین‌ها

آفلاتوکسین‌ها توسط قارچ‌های متعلق به جنس *آسپرژیلوس* دسته فلاوها (مشمول بر ۱۱ گونه)، نیدولانت‌ها (مشمول بر ۳ گونه) و اکراسئوروزها (شامل ۲ گونه) تولید می‌شود (Varga et al. 2009). اگر چه تاکنون حدود ۲۰ نوع آفلاتوکسین جداسازی و شناسایی شده‌اند، اما تنها ۴ نوع آنها بسیار سمی بوده و از نظر خواص بیولوژیکی و اثرات سمی، مورد بررسی جامع قرار گرفته‌اند (*AFB1*، *AFB2*، *AFG1* و *AFG2*) (Santacroce et al. 2008). *آسپرژیلوس پارازیتیکوس* قادر به تولید هر چهار سم *AFB1*، *AFB2*، *AFG1* و *AFG2* می‌باشد، حال آنکه *آسپرژیلوس فلاووس* تنها *AFB1* و *AFB2* را تولید می‌کند (D'Mello and Macdonald 1997). آلودگی محصولات زراعی به *آسپرژیلوس*‌ها ممکن در مراحل پیش و پس از برداشت رخ دهد (Bryden 2012). آفلاتوکسین‌ها عمدتاً در مناطق گرم و اقلیم‌های مرطوب یافت می‌شوند (Marin et al. 2013). خوراک‌ها و مواد خوراکی خام به دست آمده از مناطق جنوبی آسیا بیشترین میزان آلودگی به آفلاتوکسین‌ها را به خود اختصاص می‌دهند (۷۸ درصد نمونه‌ها) و آسیای جنوب شرقی (۵۵ درصد نمونه‌ها)، آفریقا (۴۰ درصد نمونه‌ها) و آمریکای جنوبی (۲۰ درصد نمونه‌ها) در رتبه‌های بعدی قرار می‌گیرند (Schatzmayr and Streit 2013). علی‌نژاد و

³ Enniatins

⁴ Beauvericin

همکاران (۲۰۱۱) طی بررسی میزان آلودگی طبیعی اقلام خوراکی و خوراک پلت ویژه ماهی قزل‌آلا به قارچ‌ها و AFB1 در ایران، از جداسازی نزدیک به ۱۰۹ جدایه قارچی از نمونه‌های خوراک خبر دادند. بالاترین غلظت AFB1 برای پودر ماهی (۰/۰۶۷ میلی‌گرم در کیلوگرم) به ثبت رسید و سویا (۰/۰۳۱ میلی‌گرم در کیلوگرم)، گندم (۰/۰۱۲ میلی‌گرم در کیلوگرم) و خوراک پلت (۰/۰۰۹ میلی‌گرم در کیلوگرم) در رده‌های بعدی قرار گرفتند. باربوسا و همکاران (۲۰۱۳) ۵۵ درصد نمونه‌های خوراک کامل ماهی جمع‌آوری شده از ایالت ریودوژانیروی برزیل را آلوده به آفلاتوکسین تشخیص دادند. آفلاتوکسین B1 خطرناک‌ترین نوع سموم خانواده آفلاتوکسین بوده و دارای خواص هپاتوتوکسیک، کارسینوژنیک (سرطان‌زایی)، جهش‌زایی و سرکوب‌کنندگی سیستم ایمنی در گونه‌های مختلف جانوری (شامل مهره‌داران آبی) می‌باشد (Rodríguez-Cervantes et al. 2010; Alinezhad et al. 2011). نخستین گزارش مسمومیت با آفلاتوکسین در ماهی‌ها به یک مورد شیوع هپاتوما (سرطان سلول‌های کبدی) در هجری‌های ماهی قزال‌آلای رنگین کمان در ایالات متحده مربوط می‌شود. در این مؤسسات از خوراک آلوده به آفلاتوکسین در تغذیه ماهی‌ها استفاده می‌شد (Ashley and Halver 1963). از آن پس، مسمومیت کشنده با آفلاتوکسین‌ها در دیگر گونه‌های ماهی نیز گزارش گردید (Ashley 1970; Farabi et al. 2006). مهم‌ترین مکانیسم عمل AFB1 تبدیل آن به ۸،۹-AFB1- اپوکسید طی متابولیسم آن توسط سیتوکروم P450 می‌باشد. در ادامه ۸،۹-AFB1- اپوکسید با ماکرومولکول‌های درون‌سلولی واکنش داده و ترکیب جدیدی را به وجود می‌آورد. میل ترکیبی ۸،۹-AFB1- اپوکسید به ماکرومولکول‌ها به صورت زیر می‌باشد (Coppock et al. 2012):

RNA < DNA پروتئین

برخی از گونه‌های ماهی، به دلیل تفاوت‌های موجود در الگوی آنزیم‌های دخیل در متابولیسم AFB1، نسبت به AFB1 بی‌نهایت حساس هستند (Bailey et al., 1988). سم AFB1 یکی از سمومی است که بیشترین مطالعات سرطان‌شناختی بر روی آن انجام شده است و ماهی قزل‌آلای رنگین کمان اولین گونه‌ای است خاصیت سرطان‌زایی آفلاتوکسین در آن تشخیص داده شده و تحقیقات گسترده‌ای در این زمینه بر روی آن انجام گرفته است (Ashley et al. 1968; Sinnhuber et al. 1965). اثر سرطان‌زایی AFB1 در سایر گونه‌های ماهی (مانند گربه‌ماهی کانال^۵، تیلاپای نیل، ماهی گویی^۶) نیز مورد مطالعه قرار گرفته است (Sato et al. 1973; Jantrarat and Lovell 1990);

⁵ *Ictalurus punctatus*

⁶ *The guppy (Poecilia reticulata)*

Chàvez-Sánchez et al. 1994). تفاوت فاحشی از نظر میزان حساسیت به *AFB1* بین گونه‌ها و انواع مختلف ماهی مشاهده شده است، به عنوان مثال بچه‌ماهی‌ها در قیاس با ماهی‌های بالغ به آفلاتوکسین حساس‌تر بوده و سریع‌تر ا پا در می‌آیند. تغییرپذیری حساسیت ماهی‌های متعلق به خانواده سالمونیده‌ها توسط هندریکس (۱۹۹۴) مورد مطالعه قرار گرفت. در این مطالعه ماهی قزل‌آلای رنگین کمان حساسیت بسیار بالایی را به‌نمایش گذاشت، حال آنکه ماهی‌های کوهو^۷ مقاومت بیشتری از خود نشان دادند. محققان متعدد دیگری نیز از حساسیت بسیار زیاد ماهی قزال‌آلای رنگین کمان به آفلاتوکسین B1 خبر داده‌اند (Halver and Mitchell 1967; Bailey et al. 1996). مسمومیت با آفلاتوکسین به سه شکل رخ می‌دهد: حاد، تحت حاد و مزمن. مسمومیت حاد با آفلاتوکسین‌ها در ماهی (و نیز سایر جانوران)، در پی بلع دزهای بالای این سموم، ظاهر می‌شود. تعیین دزهای خوراکی کشنده آفلاتوکسین‌ها برای ماهی قزل‌آلای رنگین کمان عملی نیست، چرا که آفلاتوکسین‌ها موجب بالا آمدن محتویات معده (استفراغ) می‌شوند (Bauer et al. 1969). با این وجود، مشخص شده است که این سموم در دزهای بالا اما کمتر از حدکشنده، موجب بروز کم‌خونی، آبخش‌های رنگ‌پریده، کاهش مقادیر هماتوکریت، خیز (اِدم)، خونریزی مکرر، آسیب کبدی و تغییرات در متابولسیم مواد مغذی در ماهی قزال‌آلای رنگین کمان می‌شوند. مسمومیت حاد با *AFB1* در کپور ماهی هندی^۸ به دنبال تجویز درون‌صفافی این سم در دزهای ۷/۵، ۱۱/۲۵ و ۱۳/۷۵ میلی‌گرم در کیلوگرم، موجب کاهش مصرف خوراک، اختلالات حرکتی، از دست دادن تعادل بدن، افزایش سرعت حرکات دهانه آهیانه‌ای و مرگ و میر وابسته به دز در انتهای آزمایش ۱۰ روزه، گردید (Sahoo et al. 2001). کالبدگشایی و معاینات هیستوپاتولوژیکی، از هماتومگالی همراه با احتقان موضعی زیرکپسولی و تغییرات نکروتیک و عروقی در کبد، صفحات آبخش، منتریت، احتقان مغز، تخریب و آسیب‌های التهابی قلب، تغییرات نکروتیک و مخرب در توپول‌های کلیه و ریزش مخاط روده به درون مجرای گوارشی پرده برداشت. علائم مسمومیت تحت‌حاد با آفلاتوکسین‌ها شامل آسیب‌های ملایم تا شدید کبدی، زردی چشم‌ها، زردی غشاها و یا پوست، اختلال در لخته شدن خون، کاهش بازده استفاده از خوراک، کمخونی، ناتوانی تولیدمثلی، اختلال در شکل‌گیری پاسخ ایمنی، آسیب‌های کلیوی و مرگ زودرس می‌باشند (Hamilton 1990; Santacroce et al. 2008). سم *AFB1* در غلظت‌های ۱/۲۵ و ۲/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن بدن (تجویز درون‌صفافی) در کپورماهی

⁷ Coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*)

⁸ Rohu (*Labeo rohita*)

هندی با ضعف بنیه، تیرگی فلس‌ها و جراحات پری نئوپلاستیک کبد، همراه با تغییراتی در طحال، روده، آبشش و لوزالمعده در طول ۹۰ روز آزمایش همراه بود (Sahoo et al. 2001). بعلاوه، AFB1 در دزهای ۱/۲۵ و ۵/۰ میلی-گرم در کیلوگرم وزن بدن (تجویز درون‌صفافی)، اختلالاتی را در سیستم ایمنی در طول ۹۰ روز دوره آزمایش به وجود آورد که از علائم این اختلالات می‌توان به کاهش پروتئین تام، سطوح گلوبولین، عیار آگلوتیناسیون باکتری-ها و خاصیت باکتری‌کشی سرم خون اشاره نمود (Sahoo and Mukherjee 2001). مسمویت مزمن با آفلاتوکسین‌ها به دنبال مصرف طولانی‌مدت دزهای کم تا متوسط این سموم، رخ می‌دهد. شکل مزمن این مسمویت با بروز اثرات کارسینوژنیک و ژنوتوکسیک همراه بوده و در ادامه، تغییرات تراتوژنیک (اختلالات جنینی)، هورمونی، نوروکسیک و خون‌شناختی را در پی دارد (Pier et al. 1980). علائم بالینی عمده این مسمویت شامل اختلال در کارکرد کبد، کاهش بازده استفاده از خوراک، کاهش وزن، افزایش حساسیت در برابر بیماری‌های عفونی ثانویه، وقوع نکروز و تومور و افزایش مرگ و میر، می‌باشد (Santacroce et al. 2008). در ماهی خاردار^۹، مواجهه با سم AFB1 در غلظت ۰/۰۱۸ میلی‌گرم در کیلوگرم خوراک، موجب ظهور آسیب‌های کبدی گردید که این آسیب‌ها به صورت افزایش فعالیت آنزیم‌های ترانس‌آمیناز و آلکالین فسفاتاز سرم و افزایش معنی‌دار پروتئین‌های پلاسما پس‌چهل و دو روز مواجهه با سم، نمود یافتند (El-Sayed and Khalil 2009). در کپور معمولی^{۱۰}، آلودگی خوراک با ۰/۲ قسمت در میلیون سم AFB1، بروز اختلالاتی را در سیستم گردش خون و تراوش انفعالی در اطراف مجرای صفراوی کبد، تحلیل بافت کبد، تغییرات تحلیلی جدی در سلول‌های عصبی و آسیب‌های کلیوی، همراه با ظهور اجزای حاوی هسته‌های چندشکلی در توپول‌ها پس از ۱۲۰ روز مواجهه، به دنبال داشت. خوراک حاوی ۰/۰۲ میلی‌گرم در کیلوگرم AFB1 موجب بروز نارسایی در سیستم قلبی عروقی ماهی کپور گردید که علامت مشخصه آن ونوستاز (کاهش سرعت جریان خون در سیاهرگ‌ها) در ناحیه کبدی-لوزالمعده‌ای، کلیه‌ها، سیستم عصبی مرکزی و آبشش‌ها بود (Svobodova et al. 1982)، حال آنکه این سم در غلظت ۰/۰۰۲ میلی‌گرم در کیلوگرم خوراک، هیچ تأثیری بر ضریب فالتون (Fulton's coefficient) یا شاخص‌های خون‌شناختی و بیوشیمیایی تغییرات آسیب‌شناختی آناتومیکی و بافت‌شناختی، طی یک آزمایش ۵ ماهه نداشت (Svobodova and Piskac 1980). در یک آزمایش ۱۲ هفته‌ای، وجود آفلاتوکسین B1 در جیره در سطح ۰/۲ میلی‌گرم در

⁹ Sea bass (*Dicentrarchus labrax*)

¹⁰ Common carp (*Cyprinus carpio*)

کیلوگرم یا بیشتر، عملکرد رشد، فعالیت باکتری کشی، فعالیت لیزوزیم و غلظت پروتئین های تام سرم را در گربه- ماهی زرد¹¹، به طرز سوئی تحت تأثیر قرار داد (Wang et al. 2016). آفلاتوکسین ها در خوراک های با آلودگی طبیعی، در غلظت ۰/۱۶ میلی گرم در کیلوگرم، اثر سوئی بر متغیرهای افزایش وزن بدن، مصرف خوراک و بازده استفاده از خوراک (FER)، در گربه ماهی کانال (*I. punctatus*) نداشتند (Manning et al. 2011). در مطالعه ای ۱۲ هفته ای روی گربه ماهی کانال جوان، از جیره های حاوی بیش از ۰/۲۲ میلی گرم در کیلوگرم سم آفلاتوکسین استفاده شد و نتایج مشابهی به دست آمد. هیچ گونه کاهشی در سرعت رشد، بازده استفاده از خوراک، زنده ماندی و هماتوکریت مشاهده نشد (Manning et al. 2005a). گونه های جنس اوریشوکرومیس (*Oreochromis*) حساسیت کمی در قبال AFB1 نشان می دهند. اثر جیره های حاوی ۰/۲۵، ۲/۵، ۱۰ و ۱۰۰ قسمت در میلیون AFB1 بر تیلاپای نیل به مدت ۸ هفته توسط تووآن و همکاران (۲۰۰۲) مورد بررسی قرار گرفت. جیره های حاوی ۱۰۰ قسمت در میلیون AFB1 موجب کاهش وزن بدن، نکروز شدید کبد و مرگ و میر شدند، در حالی که غلظت ۱۰ میلی گرم در کیلوگرم این سم، آسیب های کبدی را القا نمود که از علائم مشخصه این آسیب ها می توان به لیپوفوسین بیش از حد طبیعی و هسته هایی با اندازه های نامنظم در سلول های کبدی، اشاره نمود. جیره های حاوی بیش از ۲/۵ میلی گرم در کیلوگرم AFB1، اثر نامطلوبی بر سطوح هماتوکریت و عملکرد رشد داشته اند. مصرف جیره حاوی ۰/۲۵ میلی گرم در کیلوگرم AFB1، هیچ گونه اثر آشکاری را القا نمود. اثرات سمی AFB1 در تیلاپیا (تیلاپای نیل × تیلاپای آبی)¹² طی یک مطالعه ۲۰ هفته ای و با استفاده از سطوح ۰/۰۱۹، ۰/۰۸۵، ۰/۲۴۵، ۰/۶۳۸، ۰/۷۹۳ و ۱/۶۴۱ میلی-گرم در کیلوگرم این سم، توسط دنگ و همکاران (۲۰۱۰) مورد ارزیابی قرار گرفت. هیچ افزایشی در نرخ مرگ و میر تیلاپیا در طول دوره آزمایش مشاهده نشد و اثرات سمی تنها در سطح ۰/۲۴۵ میلی گرم AFB1 و بالاتر از آن، بین هفته های ۱۰ و ۲۰ دوره آزمایش، مشاهده شد. سم AVB1 در سطح ۰/۲۴۵ میلی گرم در کیلوگرم جیره، در کنار آسیب های کبدی موجب کاهش سرعت رشد گردید و در سطح ۰/۶۳۸ میلی گرم در کیلوگرم جیره، موجب انباشت سلول های التهابی و ترکیبات اتوزینوفیلیک در کبد شد. مصرف جیره های حاوی ۰/۷۹۳ و ۱/۶۴۱ میلی گرم در کیلوگرم سم AFB1، به تخریب واکوئلی کبد منتهی شده و کاهش محتوای لیپیدی و شاخص هپاتوسوماتیک و

¹¹ Yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*)

¹² Blue tilapia

¹³ *Oreochromis aureus*

نیز کاهش فعالیت آنزیم‌های سیتوکرم P450 1A (CYP1A) و اتوکسی‌ریسوروفینو دی‌اتیلاز (EROD)^{۱۴} و افزایش فعالیت آنزیم آلانین آمینوترانسفراز پلاسما را به همراه داشته است. در ماهی‌های قزل‌آلای رنگین‌کمان جوان (که به عنوان حساس‌ترین گونه ماهی به AFB1 شناخته می‌شود)، می‌توان انتظار داشت که در پی مصرف خوراکی و مزمن AFB1 در غلظت‌های ۰/۰۱ – ۰/۰۲ میلی‌گرم در کیلوگرم، احتمال بروز اثرات سرطان‌زایی و مسمومیت کبدی افزایش چشمگیری داشته باشد، در حالی که غلظت‌های مسبب مسمومیت حاد، حدود ۵۰ برابر بیشتر از این مقادیر خواهد بود (Ashley et al. 1964; Sinnhuber et al. 1977; Bailey et al. 1996). ضرورت ارزیابی مداوم میزان آفلاتوکسین‌ها در خوراک ماهی، به ویژه در آسیای جنوب و جنوب شرقی، آفریقا، آمریکای جنوبی و ایالت‌های جنوب شرقی ایالات متحده آمریکا، امری بدیهی است. اگر چه این سموم در غلظت‌هایی که معمولاً در اقلام خوراکی تشخیص داده می‌شوند، بی‌خطر به نظر می‌رسند، اما شرایط نامطلوب پرورش و نگهداری محصولات زراعی، وضعیت را برای تولید آفلاتوکسین‌ها مساعد می‌کند.

ادامه دارد ...

¹⁴ Ethoxyresorufin-o-deethylase