



آفاتوکسین در ذرت

آفاتوکسین‌ها گروهی از مواد شیمیایی هستند که توسط کپک قارچ‌های خاصی تولید می‌شوند. این قارچ‌ها، *Aspergillus parasiticus* و *Aspergillus flavus*، که آنها را می‌توان از رنگ سبز زیتونی یا سبز خاکستری آن بر روی دانه در مزرعه یا در انبار ذرت تشخیص داد (شکل ۱). اگرچه آفاتوکسین به طور خودکار هر زمان که دانه کپکی شد تولید نمی‌شود، اما خطر آلودگی آفاتوکسین در دانه ذرت آسیب دیده و دارای کپک زیاد، نسبت به دانه ذرت با کپک کم بیشتر است.



شکل ۱) علائم پوسیدگی بلال توسط قارچ آسپرژیلوس در بلال ذرت

آفاتوکسین‌ها برای دام و طیور مضر یا کشنده هستند و برای انسان‌ها و حیوانات سرطان‌زا تلقی می‌شوند. بالاترین میزان آفاتوکسین در تابستانهای گرم و خشک است. شرایط اصلی برای تولید سم توسط قارچ در شبهای گرم با دمای بیش از ۲۰ درجه سانتی‌گراد در مراحل آخر پر شدن دانه و در دوره خشک شدن است. در سالهای پر خطر، لازم است غربالگری آفاتوکسین در کارخانه خشک کن دانه یا هنگام تحویل ذرت به بازار عرضه، انجام شود. آزمایشات سریع در مزرعه یا انبار می‌تواند وجود احتمالی آفاتوکسین را تعیین کند، اما نتایج آزمایش سریع مقدار کمی آن را ارائه نمی‌دهد. زیرا سموم در داخل دانه ذرت تولید می‌شوند، و میزان حضور آنها را فقط می‌توان با آزمونهای تحلیلی خاص تعیین کرد. زیرا میزان آفاتوکسین از یک دانه به دانه دیگر می‌تواند بسیار متفاوت باشد. نمونه برداری درست از توده دانه مهمترین مرحله در تعیین واقعی سطح آفاتوکسین است.

نحوه نمونه برداری از ذرت برای آزمایش آفاتوکسین

از آنجا که آفاتوکسین معمولاً بطور غیر یکنواخت رخ می‌دهد و در مکانهای کوچکی از توده دانه ذرت حضور دارد. بهترین روش تهیه نمونه ترکیبی متشکل از نمونه‌های کوچک از توده دانه ذرت است. روش توصیه شده این است که به صورت چرخشی نمونه‌های کوچک برداشته شده و از ترکیب این نمونه‌ها حداقل یک نمونه ترکیبی به وزن تقریبی ۵ کیلوگرم بدست آورده شود. یک گزینه جایگزین، نمونه برداری از هر ۵ سطح یک واحد دانه (هر واحد دانه به طول تقریبی ۲ متر در نظر گرفته شود) بعلاوه یک نمونه از مرکز واحد دانه در انبار است. بهتر است در مزرعه از قسمتهای مختلف یک زمین جداگانه نمونه گرفته شود. مزارعی که از نظر تاریخچه کشت، روش‌ها خاکورزی، تاریخ کشت، نوع خاک و نوع هیبرید مختلف باشند، نسبت به آسیب‌پذیری در مقابل آفاتوکسین نیز متفاوت خواهند بود. نمونه حداقل از ۱۰ تا حداکثر ۳۰ مکان در هر مزرعه لازم است. تقریباً برای هر ۲ هکتار مزرعه بین ۳ تا ۵ کیلوگرم نمونه جمع نموده و بلافاصله خشک کنید و به ۱۲-۱۴ درصد رطوبت برای جلوگیری از توسعه آفاتوکسین در حین حمل و نقل برسانید. نمونه‌های با رطوبت بالا لازم است منجمد شده یخ زده به آزمایشگاه تحویل داده شوند. نمونه‌های خشک شده کیفیت خود را به بهترین شکل در صورت حمل در کیسه‌های پارچه‌ای یا کاغذی حفظ می‌کنند. کامیون‌های دانه را نیز میتوان به همین روش بررسی کرد و لازم است از هر کامیون ۳ کیلوگرم نمونه جمع‌آوری شود.

مقررات مربوط به آفاتوکسین در ذرت

موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران بر اساس استاندارد ملی شماره ۵۹۲۵ ایران بیشینه رواداری آفاتوکسین در ذرت را ۳۰ ppb تعیین کرده است که در صورتی که به عنوان خوراک دام و طیور مصرف شود سطح آفاتوکسین باید حتماً زیر ۲۰ ppb باشد. اما سازمان غذا و داروی آمریکا (FDA) ۲۰ ppb (یک در میلیارد، معادل میکروگرم در کیلوگرم) برای آفاتوکسین را در تجارت بین ایالتی ذرت تعیین کرده است. بیش از این سطح ممکن است منجر به اقداماتی از جمله توقیف ذرت یا ممنوعیت فروش آن شود. لذا کارخانه‌های ذرت خشک کنی نباید ذرتی با ۲۰ ppb یا بیشتر آفاتوکسین را قبول نمایند مگر اینکه برای آن استفاده مشخصی که در آن سطح

خاصی از آفلاتوکسین مجاز است، داشته باشد. به این صورت، حتی یک دانه بسیار آلوده در یک نمونه ۳ کیلوگرمی می‌تواند منجر به بیش از ۲۰ ppb آفلاتوکسین شود.

سازمان غذا و داروی آمریکا دستورالعمل‌هایی برای استفاده از دانه آلوده در خوراک دام و طیور تهیه کرده است (جدول ۱). این دستورالعمل‌ها مبتنی بر حفظ ارزش دانه و جلوگیری از بیماری‌های ناشی از آفلاتوکسین است، لازم به ذکر است، مصرف دانه آلوده برای گاوهای شیری که در آن پیشگیری از آفلاتوکسین باقیمانده در شیر بسیار مهم است، ممنوع است.

ماده مورد مصرف	بیشینه رواداری آفلاتوکسین بر اساس موسسه استاندارد ایران	بیشینه رواداری سطح آفلاتوکسین بر اساس FDA
ذرت دانه ای به طور کلی	کمتر از ۲۰ ppb	کمتر از ۲۰ ppb
ذرت در جیره حیوانات جوان	کمتر از ۲۰ ppb	کمتر از ۲۰ ppb
ذرت در جیره دام شیری	کمتر از ۲۰ ppb	کمتر از ۲۰ ppb
ذرت در جیره دام سبک و طیور	کمتر از ۲۰ ppb	کمتر از ۱۰۰ ppb
ذرت در جیره دام سنگین آماده ذبح	کمتر از ۲۰ ppb	کمتر از ۳۰۰ ppb

پیامدهای غلظت بالای آفلاتوکسین در ذرت

آفلاتوکسین‌ها ترکیبات بسیار قوی هستند که باعث انواع مشکلات بهداشتی در انسان و دام می‌شوند. در موارد نادر، دام می‌تواند در اثر بلعیدن خوراک آلوده به آفلاتوکسین بمیرد. رایج‌ترین، پیامد آفلاتوکسین در خوراک دام کاهش بازده در جیره غذایی و تولید مثل دام است. این ماده می‌تواند سیستم ایمنی بدن حیوان را سرکوب نموده و منجر به وقوع بیشتر بیماری‌های عفونی شود. متاسفانه، فراوان‌ترین آفلاتوکسین، آفلاتوکسین B1، یک ماده سرطان‌زا است. این موضوع باعث نگرانی‌هایی در ارتباط با سلامتی انسان در اثر استفاده از شیر گاوهای شیری که از ذرت آلوده تغذیه نمودند، می‌باشد.

چگونه می‌توان از آفلاتوکسین موجود در ذرت جلوگیری کرد

اگر شرایط مناسب برای تولید آفلاتوکسین فراهم باشد، پیشگیری از آلودگی بسیار دشوار است. بنابراین، یک هدف واقع بینانه این است که آلودگی قبل از برداشت را با اقدامات زراعی صحیح و آلودگی پس از برداشت را با مراقبت و ذخیره سازی دقیق به حداقل برسانید.

عموما مشکلات مرتبط با *Aspergillus* و آفلاتوکسین بیشتر در سالهای گرم و خشک شایع است. قارچ در بقایای محصول و خاک زنده مانده و در طول فصل رشد تولید اسپور فراوان می‌کند (شکل ۳). آلودگی ذرت توسط قارچ اسپریژیلوس و بیماری متعاقب آن، در شرایط گرم (بیش از ۳۰ درجه سانتی گراد) و خشک در طول زمان گرده افشانی و پر شدن دانه توسعه پیدا می‌کند. کاکل‌های زرد و قهوه ای بیشتر در معرض عفونت هستند. آسیب توسط حشرات، تگرگ، تنش خشکی و یخبندان زودرس، دانه‌ها را در معرض عفونت قرار می‌دهد و به گسترش قارچ در داخل بلال کمک کنند.

آفلاتوکسین یک متابولیت ثانویه است که توسط قارچ آسپرژیلوس تحت شرایط خاص تولید می‌شود. خشکی و دمای بالا (۲۵ تا ۴۰ درجه سانتی‌گراد) در هنگام پر شدن دانه شایعترین فاکتورهای مرتبط با تولید آفلاتوکسین قبل از برداشت است (شکل ۲). شپهای گرم (بیشتر از ۲۱ درجه سانتی‌گراد) نیز ممکن است خطر آلودگی آفلاتوکسین را افزایش دهد. تولید سم بستگی به رطوبت و دمای دانه دارد. بیشترین میزان تولید سم در رطوبت دانه ۲۰ تا ۱۸ درصد است و در رطوبت دانه حدود ۱۵ درصد متوقف می‌شود. دامنه دمایی مطلوب برای تولید آفلاتوکسین ۲۵ تا ۳۵ درجه سانتی‌گراد است، اگرچه تولید می‌تواند در دامنه دمایی گسترده‌تری (۱۰ تا ۴۰ درجه سانتی‌گراد) نیز رخ دهد.

نتایج حاصل از تحقیقات در برداشت ذرت نشان می‌دهد بهترین کیفیت دانه در محدوده رطوبتی بین ۱۹ تا ۲۴ درصد است. توصیه معمول، بر اساس معادله سود و هزینه در خشک کردن دانه و تلفات مزرعه، برداشت ذرت بین ۱۵ تا ۱۸ درصد رطوبت است. اما اگر امکان خشک کردن سریع دانه فراهم باشد بهتر است دانه قبل از رسیدن به رطوبت ۱۸ درصد برداشت شود. در این شرایط امکان آسیب دانه و آلودگی به آفلاتوکسین کاهش خواهد یافت. همچنین ریزش در مزرعه را کاهش می‌دهد اما طبیعتاً هزینه خشک کردن افزایش خواهد یافت.



شکل ۲) بلال آلوده به قارچ پوسیدگی بلال آسپرژیلوس

بسیاری از مشکلات آفلاتوکسین در طول ذخیره سازی دانه بوجود می‌آید، که از لحظه ورود دانه به مخزن کمباین شروع می‌شود. در آن لحظه، کیفیت دانه در بهترین حالت است. رابطه بین میزان رطوبت دانه‌های ذخیره شده و رطوبت نسبی هوا به شدت بر رشد کپک و فساد دانه تأثیر می‌گذارد. میزان رطوبت دانه ذخیره شده میزان رطوبت

نسبی هوایی که در آن ذخیره شده است، را تعیین می‌کند. رطوبت زیاد دانه منجر به رطوبت نسبی زیاد در هوای اطراف دانه ذخیره شده می‌شود. کپک‌ها در رطوبت نسبی بالا به سرعت رشد می‌کنند. هنگامی که دانه با رطوبت کم ذخیره می‌شود، هوای موجود در انبار دارای رطوبت نسبی کم و خرابی دانه در اثر رشد کپک کنترل می‌شود. بهترین راه برای کنترل رشد کپک دانه ذخیره شده با محتوای رطوبت کم است. سطح رطوبت ذخیره سازی ایمن برای ذرت تقریباً ۱۲ تا ۱۳ درصد است. ضمناً برای ذخیره سازی طولانی مدت باید ۱۲ درصد باشد. باید توجه داشت بار دانه مرطوب قرار داده شده در انبار در کنار بار دانه با رطوبت پایین، زمان ذخیره سازی ایمن کل انبار را محدود می‌کند. تحقیقات نشان داده است که حتی وقتی دانه های مرطوب و خشک با دقت مخلوط می‌شوند و به رطوبت مجاز می‌رسند، اختلاف رطوبت ۲ درصد بین دانه ها ممکن است باقی بماند. هنگامی که دانه‌ها دقیق مخلوط نشوند، این اختلاف بسیار بیشتر است و موجب کاهش عمر مفید انبار داری دانه خواهد شد. کلید جلوگیری از پوسیدگی بلال و مشکلات ذخیره سازی آن در شناسایی زود هنگام بلال‌های آلوده در مزرعه و داخل انبار است (شکل ۳).

۱. روش های زیر می تواند خطر ابتلا به آلودگی آفات توکسین در دانه را کاهش دهد:

۱. کنترل حشرات در مزرعه. آسیب ناشی از نسل دوم کرم های ساقه خوار بلال اروپایی و کرم بلال ذرت امکان عفونت را فراهم می کند.

۲. پایش، تشخیص به موقع می تواند تلفات جدی را کنترل و از بحران جلوگیری کند. در ۵ تا ۱۰ نقطه مزرعه از مرحله دندانی ذرت تا زمان برداشت برای مشاهده پوسیدگی ناشی از اسپرژیلوس، بلال‌ها را بررسی نمایید. بلال های هدف‌تان در بوته های تنش دیده باشند. در هر مکان ۱۰ بلال را پوست بگیریید و آنها را از نظر حضور کپک پودری سبز زیتونی رنگ مورد بازرسی قرار دهید. اگر بیش از ۱۰ درصد بالابها مشخصات پوسیدگی بلال توسط اسپرژیلوس را نشان داد نسبت به برداشت زود هنگام مزرعه اقدام نمایید. اگر بر اساس وجود پوسیدگی اسپرژیلوس زود برداشت کردید، مطابق با روش نمونه گیری بالا از دانه ها نمونه گیری نموده و برای تعیین درصد آفات توکسین به آزمایشگاه ارسال نمایید. ذرت مشکوک باید تا زمان مشخص شدن نتیجه در انبار جداگانه ذخیره شود. سپس متناسب با سطح آفات توکسین نسبت به تعیین نوع کاربری ذرت خود با توجه به جدول ۱ اقدام نمایید. ذرت زود برداشت شده باید بلافاصله خشک و خنک شوند تا از توسعه بیشتر سم جلوگیری شود.

۳. کمباین را دقیق تنظیم نمایید تا آسیب دانه کم شود. قارچ‌ها ذرت آسیب دیده را نسبت به ذرت سالم راحتتر آلوده می‌کنند.

۴. انبار و تجهیزات جابجایی ذرت را قبل از ذخیره سازی ذرت پاک کنید. لازم است ذرت را قبل از ذخیره بوجاری نمایید. زیرا معمولاً بقایا و اقلام به جا مانده از فصل قبل اغلب یک منبع آلودگی قارچ هستند.

۵. پس از برداشت، ذرت تمیز و سالم را می توان در ۱۶ یا ۱۷ درصد رطوبت در زمستان نگه داشت. اما ذرت کپک زده باید بلافاصله تا ۱۵ درصد رطوبت یا کمتر خشک شود زیرا نگه داشتن دانه مرطوب حتی برای مدت کوتاه می‌تواند موجب رشد مقدار قابل توجه کپک و آفات توکسین شود. برای نگهداری طولانی مدت

در تابستان، تمام ذرت باید تا ۱۴ درصد یا کمتر خشک شود. ذرت کپک زده برای نگهداری طولانی مدت مناسب نیست.

۶. تمام دانه ها را پس از خشک شدن خنک کرده و در دمای ۲ تا ۵ درجه سانتی گراد در طول زمستان نگه دارید. معمولاً از هوادهی برای کنترل دما استفاده می شود. اگر ذرت بخواهد در تابستان ذخیره شود، از هوادهی برای نگه داری دما بین ۱۰ تا ۱۵ درجه سانتی گراد استفاده شود. البته زمانی که مقدار برداشت زیاد و توده دانه عظیم شود کنترل دما سخت خواهد بود. هوادهی هم دما و هم رطوبت را میتواند کنترل نماید. کنترل میزان رطوبت، در کنار کنترل دما مهمترین عامل در جلوگیری از ایجاد همه آلودگیها و سموم است.

۷. حشرات انبار ذخیره سازی را کنترل نمایید.

۸. ذرتها را هر دو هفته در انبار برای تغییرات دما، پوسته پوسته شدن، نقاط داغ، رطوبت و پوسیدگی بررسی نمایید. در صورت مشاهده این شرایط باید بلافاصله برای کاهش دما، هوادهی انبار، و از بین بردن نقاط داغ و حذف دانه های آلوده اقدام شود.

۹. برای کاهش رشد کپک در انبار می توان از مواد ضد قارچی روی دانه استفاده کرد. این محصولات مانند اسید پروپیونیک، کپک را از بین نمیرد و یا سموم تشکیل شده را کاهش نمیدهد اما از توسعه بیشتر آلودگی جلوگیری می کند. البته معایبی مانند محدود کردن موارد استفاده از ذرت را نیز به همراه دارد.



شکل ۳) اسپور قارچ آسپرژیلوس بر روی دانه های ذرت صدمه دیده در بلال

با ذرت آلوده به آفلاتوکسین چه باید کرد

بر اساس قوانین فدرال آمریکا ذرتی که دارای سطوح آلودگی بیشتر از ۲۰ ppb باشد، قابل تجارت بین ایالتی نیست. با این حال، در بیشتر موارد میتوان یک استفاده ایمن و قانونی برای آن پیدا نمود. بوجاری و غربالگری دانه ها با دستگاه گراویتی ممکن است موجب کاهش غلظت آفلاتوکسین با حذف بیشترین مقدار ذرات آلوده شود. با این حال، این روش می تواند گران باشد، و نمی توان پیش بینی کرد که میزان آفلاتوکسین چقدر کاهش خواهد

یافت. در بعضی موارد پاک کردن نتیجه کمی در کاهش سطح آفلاتوکسین دارد. دانه‌های خروجی فرآیند پاک کردن نباید به عنوان خوراک دام و طیور استفاده شود.

تغذیه دام و طیور از غلات آلوده به آفلاتوکسین

در ایالات متحده ممکن است از دانه‌های آلوده به آفلاتوکسین برای جیره حیوانات استفاده شود. تحت دستورالعمل‌های نشان داده شده در جدول ۱، در صورت وجود تخفیف در فروش ذرت آلوده، تولیدکنندگان دام ممکن است تمایل به استفاده از ذرت آلوده زیر ۳۰۰ ppb داشته باشند. اما در ایران این استانداردها سختگیرانه تر بوده و ذرت بالای ۲۰ ppb آفلاتوکسین قابل مصرف در جیره دام و طیور نیست. البته برای این منظور لازم است تخمین دقیقی از میزان آفلاتوکسین در دانه‌ها وجود داشته باشد تا بتوان در مورد تغذیه دام و طیور تصمیم‌گیری نمود. ضمناً لازم است از مخلوط کردن دانه‌های آلوده به آفلاتوکسین با دانه سالم جهت تغذیه دام و طیور امتناع شود. سیلوی ذرت معمولاً باعث کاهش غلظت آفلاتوکسین نمی‌شود، اگرچه با مدیریت درست بعید است که غلظت آن در سیلو افزایش پیدا کند.

تولید اتانول از روش آسیاب مرطوب

از ذرت آلوده به آفلاتوکسین می‌توان برای تولید اتانول استفاده کرد. آفلاتوکسین‌ها در اتانول جمع نمی‌شوند بلکه در محصولات جانبی متمرکز می‌شوند. در فرآوری آسیاب مرطوب، آفلاتوکسین در محصول جانبی گلوتن متمرکز می‌شود. یک برآورد تقریبی در ارتباط با میزان آفلاتوکسین در محصولات ناشی از خوراک آلوده به آفلاتوکسین نشان می‌دهد که سطح این ماده در محصول نهایی تا سه برابر سطح آن در نهاده اولیه خواهد بود. بنابراین، تولیدکنندگان در صورتی که محصول نهایی آنها نسبت به حضور آفلاتوکسین حساس باشد، مانند شیر نمیتوانند از ذرت آلوده استفاده نمایند. در واقع بهتر است به دنبال محصول ذرت با کمترین مقدار آلودگی باشند.

منابع:

- Herrman, G.T. and Trigo-Stockli, D. 2002. Mycotoxins in feed grains and ingredients. Kansas State University. <https://www.plantpath.k-state.edu/extension/>.
- Guidance for industry: Action levels for poisonous or deleterious substances in human food and animal feed. 2018. FDA. FDA-2013-S-0610. <https://www.fda.gov/regulatory-information/search-fda-guidance-documents/guidance-industry-action-levels-poisonous-or-deleterious-substances-human-food-and-animal-feed#afla>.
- Worly, J., Sumner, P.E., and Lee, D. 2017. Reducing aflatoxin in corn during harvest and storage. UGA Cooperative Extension Bulletin 1231. <https://extension.uga.edu/publications/detail.html?number=B1231&title=Reducing%20Aflatoxin%20in%20Corn%20During%20Harvest%20and%20Storage>
- Munkvold, G., Hurburgh Jr., C.R., Loy, D., and Robertson, A. 2012. Aflatoxins in corn. Iowa State University Extension. Publication Number PM 1800. <https://store.extension.iastate.edu/product/Aflatoxins-in-Corn>.
- Kenkel, P., and Anderson, K. 2019. Grain handlers guide to aflatoxin. Cooperative Extension, USDA, National Institute of Food and Agriculture. <https://cooperatives.extension.org/grain-handlers-guide-to-aflatoxin/>

تست‌کننده:

دکتر امیر انزفرو

شرکت توسعه ذرت