



# گونه‌های جنس قارچی *Fusarium* مولد مایکوتوکسین و مایکوتوکسین‌های آن‌ها



عارف مرادپور، دانشجوی مقطع کارشناسی ارشد بیماری‌شناسی گیاهی



پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران | moradpour.aref93@ut.ac.ir

قارچ‌ها و باکتری‌های بیماری‌زای گیاهی در دوره‌های مختلف چرخه‌ی زندگی خود بر اساس نیاز و نوع کاربرد، متابولیت‌های متنوعی را تولید می‌کنند. برخی از این متابولیت‌ها برای ایجاد بیماری توسط عامل بیماری استفاده می‌شود که عبارت‌اند از آنزیم‌ها، تنظیم‌کننده‌های رشد، پلی‌ساکاریدها و زهرا به‌ها (توکسین‌ها).

توکسین‌ها، موادی سمی‌اند که در محیط طبیعی و محیط‌های کشت توسط قارچ‌ها و باکتری‌ها تولید می‌گردند. این مواد وزن مولکولی کمی داشته و با توجه به سمیت بالای آن‌ها، در میزان کم هم مؤثر هستند. توکسین‌ها به‌واسطه‌ی ماهیت فیزیکی و شیمیایی خود، عملکردهای متفاوت و محل اثرهای متفاوتی دارند و مستقیماً بر پروتوپلاسم زنده اثر می‌گذارند.

گروهی از توکسین‌ها عمومی‌اند و روی طیف وسیعی از میزبان‌های گیاهی مؤثراند و گروهی دیگر به‌صورت اختصاصی عمل کرده و فقط روی یک یا چند میزبان گیاهی معین اثر دارند و بر سایر میزبان‌های گیاهی اثری ندارند. در صورت تغذیه‌ی گیاه آلوده به توکسین توسط انسان و حیوانات ممکن است مشکلات متنوعی در سیستم‌های مختلف بدن آن‌ها رخ دهد.

## مایکوتوکسین‌ها: توکسین‌های تولید شده توسط قارچ‌ها

مایکوتوکسین‌ها همانند متابولیت‌های دیگر قارچی مانند آنتی‌بیوتیک‌ها و آکالوئیدها، به‌عنوان متابولیت‌های ثانویه شناخته می‌شوند. مایکوتوکسین‌ها در بعضی قارچ‌ها برای ایجاد بیماری روی یک یا چند میزبان مشخص، ضروری و اختصاری هستند. در تعداد دیگری از قارچ‌ها، مایکوتوکسین‌ها عمومی‌اند و برای ایجاد بیماری ضروری نیستند اما وجود آن‌ها باعث پرازاری بیمارگر روی طیف وسیعی از میزبان‌های قارچ می‌شود.

## خواص عمومی مایکوتوکسین‌ها

از نظر ساختمانی اغلب هیدروکربن‌های حلقوی‌اند و به‌ندرت به صورت هیدروکربن خطی وجود دارند. در مقابل عوامل فیزیکی، حرارت و سایر اعمالی که روی مواد خام تا مراحل بسته‌بندی انجام می‌شود، مقاوم‌اند. یکی از مواد مسمومیت‌زای قوی هستند، چراکه تحت شرایط مختلف باعث آلودگی مواد غذایی می‌شوند. بیشتر آن‌ها وزن مولکولی پایینی داشته و به‌تنهایی فاقد خاصیت آنتی‌ژنی‌اند و سیستم ایمنی بدن حیوانات به آن‌ها پاسخی نمی‌دهد.

## تولید مایکوتوکسین‌ها

متابولیت‌های ثانویه اغلب به‌وسیله‌ی مسیر متابولیتی پیچیده و طولانی (۴۰-۱۰ مرحله) تولید و به میزان زیادی انرژی نیازمندند. این مسیرهای متابولیت‌ها چند دسته‌اند

- \* مایکوتوکسین‌های مشتق از اسیدهای آمینه و مولونات: در این گروه، تربیتوفان به واحدهای ایزوپرن مولونات متصل می‌شود. مانند مایکوتوکسین‌های آفلاترم و روکفورتین C.
- \* مایکوتوکسین‌های مشتق از پلی‌پپتیدهای حلقوی: از الحاق اسیدهای آمینه به پپتیدهای ماکروسیکلیک یا پلی‌سیکلیک تولید می‌شوند. مانند مایکوتوکسین‌های ارگوتامین، گیلوتوکسین، اسپوریدسمین و ایسلاندی توکسین.

\* مایکوتوکسین‌های مشتق از مولونات: تریکوتسن‌ها از مهم‌ترین اعضای این دسته هستند که توسط گونه‌های فوزاریوم، تریکودرما، تریکوتسیوم و سفالوسپوریوم تولید می‌شوند.

\* مایکوتوکسین‌های مشتق از پلی‌کتاید: مسیر پلی‌کتاید مهم‌ترین مسیر بیوسنتز مایکوتوکسین‌ها محسوب می‌گردد که با واسطه‌ی استیل کوآنزیم A انجام می‌گیرد. مانند مایکوتوکسین‌های آفلاتوکسین، باتولین، سیتربنن و اسید پنسیلیک.



### مایکوتوکسین‌های *Fusarium*

گونه‌های جنس فوزاریوم عموماً خاکزاد بوده و آلودگی به قارچ و مایکوتوکسین به‌طور معمول در مزرعه شروع می‌شود و در مراحل بعد فراوری محصول ادامه پیدا می‌کند. به دلیل خاکزاد بودن و داشتن فرم‌های اختصاصی، اعضای جنس *Fusarium* روی طیف وسیعی از گیاهان موجب ایجاد بیماری می‌شوند که در اثر وقوع بیماری، قارچ متابولیت‌های متنوعی را تولید و آزاد می‌کند که می‌توانند اثرات متفاوتی داشته باشند. گونه‌های این جنس به‌طور معمول مایکوتوکسین‌هایی را تولید می‌کنند که اختصاصی این جنس بوده و توسط جنس‌های دیگر قارچی به ندرت تولید می‌شوند.



جنس فوزاریوم دارای گونه‌های گوناگونی است که تولید انواع مایکوتوکسین‌های متفاوتی می‌کنند. ۱۰ نوع از این توکسین‌ها دارای اهمیت بیشتری است شامل: زرالنون، تریکوتسن‌ها، مونیلیفورمین، فوزاپرولیفیرین، فومونیزین، انیاتین، کولمورین، بیوریسین، آنتی بیوتیک Y، اسیدفوزاریک و بوتنولید.

### گونه‌های جنس *Fusarium* مولد مایکوتوکسین

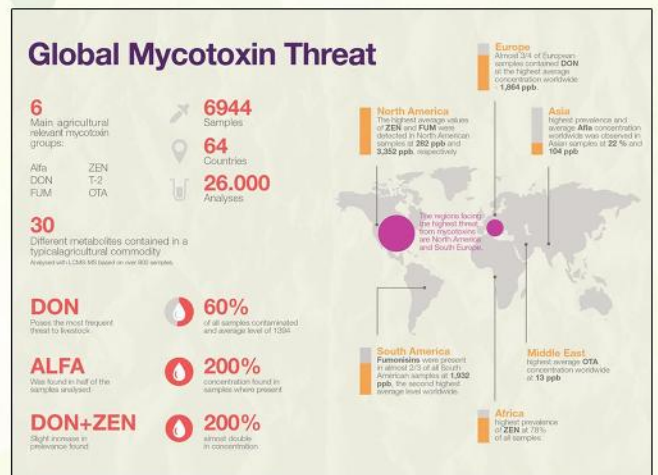
*Fusarium acuminatum* تولید مونیلیفورمین، T2 و دی‌استوکسی‌اسکیرینول می‌کند. اغلب در مناطق سردسیر شایع است و از سویا و جو جدا شده است.  
*Fusarium avenaceum* تریکوتسن‌ها، مونیلیفورمین و فوزارین را تولید می‌کند. انتشار جهانی دارد و روی مواد غذایی شایع نیست. بر روی ذرت، سورگوم و بادام‌زمینی دیده شده است.

جنس‌های قارچی شناخته شده تولید کننده مایکوتوکسین مهم در انبار

حدود ۱۰۸ جنس قارچی در مواد غذایی موجب فساد می‌شوند. از این بین گونه‌های قارچی جنس‌های *Aspergillus*، *Fusarium*، *Alternaria* و *Penicillium* با داشتن گونه‌های متعدد، نقش بیشتری در فساد مواد غذایی دارند. اعضای جنس‌های مختلف قارچی می‌توانند در انبارها باعث تخریب انواع مواد غذایی شوند، همانند میوه‌ها، سبزیجات، مواد کنسرو شده، خشکبارها، غلات، حبوبات، ادویه‌جات، مواد پروتئینی، شیر و سایر فرآورده‌های لبنی، آبمیوه‌ها و سایر مواد غذایی. این قارچ‌ها ضمن خسارت مستقیم، می‌توانند با تولید مایکوتوکسین‌ها سبب ایجاد مشکلات دیگری هم مانند مشکلات بهداشتی، محیط‌زیستی و اقتصادی شوند.

در مواد غذایی نزدیک به ۴۰ نوع توکسین مختلف شناسایی شده که برخی از این توکسین‌ها فقط توسط یک گونه قارچ و برخی دیگر توسط گونه‌های متفاوت یک جنس قارچی و یا گونه‌های جنس‌های متفاوت قارچی تولید می‌شوند. بیشتر قارچ‌های مولد مایکوتوکسین در مواد غذایی، اعضای *Ascomycota* هستند به‌ویژه آن‌هایی که فرم تولیدمثل غیرجنسی آن‌ها در طبیعت شایع است. گونه‌های مولد توکسین در مواد غذایی اغلب از جنس‌های زیر هستند.

- \* گونه‌های جنس *Aspergillus*
- \* گونه‌های جنس *Penicillium*
- \* گونه‌های جنس *Fusarium*
- \* گونه‌های جنس *Alternaria*





### مایکوتوکسین‌های عمده جنس *Fusarium*

فومونیزین گروه ویژه‌ای از مایکوتوکسین‌ها که در ذرت و فراورده‌های آن یافت می‌شود و توسط گونه‌های *Fusarium moniliforme*، *Fusarium proliferatum* و *Fusarium nygamai* گونه‌ی دیگر تولید می‌شود. تاکنون حدود ۱۵ نوع فومونیزین شناسایی شده است و نوع B1، B2، B3 و فراوان‌تر و شایع‌تر هستند.

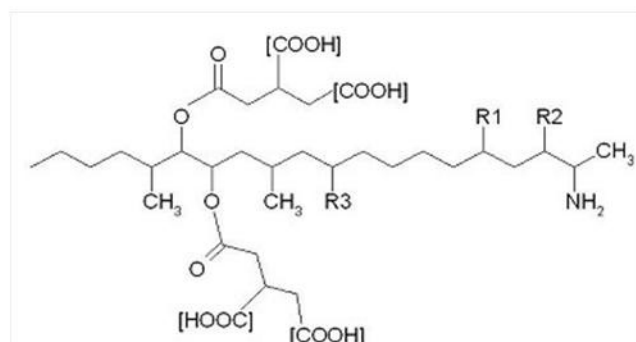
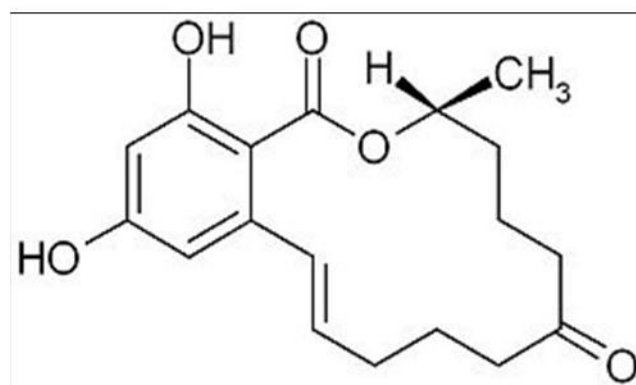


Figure 1: Structural formula of fumonisin B<sub>1</sub>-B<sub>4</sub>:

Fumonisin B<sub>1</sub>: R1= OH; R2= OH; R3= OH;  
Fumonisin B<sub>2</sub>: R1= H; R2= OH; R3= OH;  
Fumonisin B<sub>3</sub>: R1= OH; R2= OH; R3= H;  
Fumonisin B<sub>4</sub>: R1= H; R2= OH; R3= H;

زرالنون یک مایکوتوکسین تولید شده توسط گونه‌های مختلف جنس *Fusarium* است که روی محصولاتی نظیر جو، گندم، جو دوسر و ذرت خوشه‌ای تولید می‌شود. گونه‌های مهم تولیدکننده‌ی زرنون *Fusarium garminearum* و *Fusarium culmorum* هستند. آلودگی قارچی و تولید سم، اغلب در طی مراحل نگهداری و انبارداری صورت می‌گیرد.



*Fusarium chlamydosporum* تولید T2 و منواستوکسی اسکیرپنول و همچنین مونیلیفورمین می‌کند و در مناطق گرم شایع است.

*Fusarium culmorum* یک قارچ سرمادوست بوده و در زیر صفر درجه سلسیوس رشد می‌کند. بیش از ۴۰ ترکیب سمی تولید می‌کند. مهم‌ترین آن‌ها دئوکسی‌نوالنول، نوالنول و زرنون است. انتشار جهانی داشته و بیماری‌زای غلات شایع در مناطق گرمسیری است.

*Fusarium equiseti* تولید T2 و تریکوتسن‌ها، دئوکسی‌نوالنول و فوزارین X می‌کند و از انواع گیاهان به‌خصوص ذرت، گندم، جو، برنج، سویا، گردو و بادام‌زمینی جداسازی شده است.

*Fusarium garminearum* حدود ۵۰ ترکیب سمی از آن گزارش شده است مانند تریکوتسن‌ها، کولمورین، نوالنول، زرنون و فوزارین. از سویا، سورگوم و چغندر گزارش شده است و روی ذرت تولید زرنون و دی‌اکسی‌نوالنول می‌کند.

*Fusarium moniliforme* به‌طور عمده فومونیزین B1 را تولید می‌کند و از آلوده‌کننده‌های مهم ذرت است. از ایران، آرژانتین، کانادا روی ذرت گزارش شده است. گزارش حضور از سورگوم و سویا هم وجود دارد.

*Fusarium oxysporum* تولید مونیلیفورمین، زرنون و فومونیزین و T2 می‌کند. از ذرت در امریکا، استرالیا، ترکیه و فیلیپین جدا شده است.

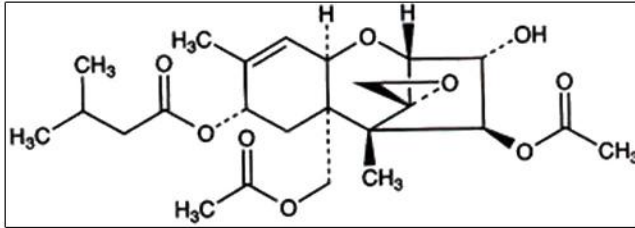
*Fusarium proliferatum* مولد اصلی فومونیزین‌های B1، B2، B3، فوزارین و مونیلیفورمین است و از ذرت در سراسر دنیا گزارش شده است.

*Fusarium sporotrichioides* تولید سم T2 و دئوکسی‌نوالنول می‌کند. اغلب از فرآورده‌های دانه‌ای در مناطق سردسیر جدا می‌شود. روی گندم، ذرت، سویا. موجب مرگ تعداد زیادی از مردم روسیه پس از جنگ جهانی دوم شد.

*Fusarium solani* انواع مایکوتوکسین‌های خطرناک برای حیوانات مانند ایپومنین و ایپومنول را تولید می‌کند. بیشتر از گوجه و سیب‌زمینی جدا شده است. همچنین از لوبیا، سویا، نخودفرنگی و ذرت هم گزارش شده است.



۳- سم T2 یکی از سمی ترین تریکوتسن‌هاست که توسط تعداد کمی از سویه‌های *Fusarium* و *Fusarium poae* *sambucinum* تولید می‌شود. یکی از مشتقات آن HT-2 است که از سمیت کمتری برخوردار است.

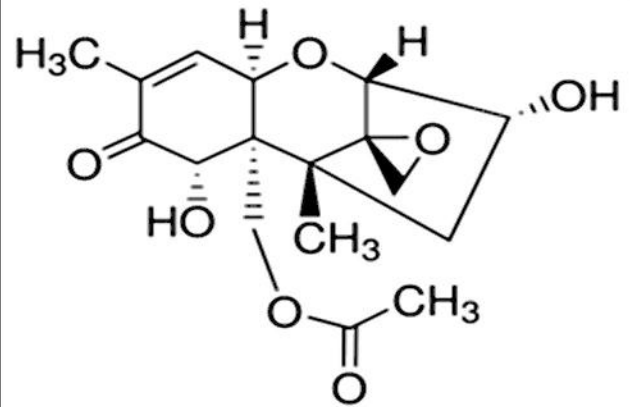


منبع

Anne E. Desjardins. (2006). *Fusarium Mycotoxin Chemistry, Genetics, and Biology*. The American Phytopathology Society. 260. APS.PRESS.

تریکوتسن‌ها گروهی از متابولیت‌های ثانویه به شمار می‌آیند که ساختمان مشابهی دارند و مشتمل بر ۲۰۰ ترکیب مختلف‌اند. تریکوتسن‌ها سرکوب‌کننده‌ی سیستم ایمنی بوده و برای خون سمیت دارند و در حیوانات موجب تهوع، برگشت غذا و اسهال می‌شوند. اثر آن‌ها در ادم پوست در انسان نیز گزارش شده است. مهم‌ترین تریکوتسن‌ها عبارت‌اند از:

۱- دی‌اکسی‌نیوالنول: این دسته از مهم‌ترین تریکوتسن‌ها هستند. توسط *Fusarium* و *Fusarium garminearum* *culmorum* در مواد غذایی به‌ویژه غلات تولید می‌شود.



۲- نیوالنول و فوزارنون: غلظت آن‌ها کمتر از دی‌اکسی‌نیوالنول است در مواد غذایی بوده ولی سمیت آن‌ها بیشتر است. مولد اصلی این دو در غلات *Fusarium garminearum* است. در آب‌وهوای گرمسیری نیز گونه‌ی *Fusarium poae* این تریکوتسن‌ها را تولید می‌کند.

