

## フザリウム毒素 (フザリウムトキシン)

齊 藤 初 雄

農業生物資源研究所 ジーンバンク

### 1. かび毒 (マイコトキシン) とは

かびが産生する二次代謝産物の中で、人または家畜などに対して急性もしくは慢性の生理的あるいは病理的障害を与える有害物質をかび毒 (mycotoxin, マイコトキシン) という。細菌の毒素の大部分はタンパク質で、分子量が大きい化合物であるのに対し、かびの毒は大体において分子量が何百の単位の比較的小さな化合物である。一般に、mycotoxin という単語は、「菌の」という意味の接頭語である“myco-”と「毒」という意味である“toxin”から成る。現在、300種類以上のマイコトキシンが報告されており、これらのほとんどは *Aspergillus* (アスペルギルス), *Penicillium* (ペニシリウム), *Fusarium* (フザリウム) という3属のかび (真菌) の種によって産生される。これまで発見されたマイコトキシンのほとんどは熱に強く、環境の変化や加熱などによりかびが死滅した後も食品中に残存する場合が多く、除去することは困難である。

食品衛生上問題となる代表的なマイコトキシンとして、アフラトキシン、デオキシニバレノール、パツリン、オクラトキシン、フモニシンなどがあげられる。アフラトキシンは食品汚染事例が多いマイコトキシンで、強い毒性と発ガン性を持ち、天然物質の中で最も発ガン性が強い。デオキシニバレノールは、フザリウム的一种であるムギ類赤かび病菌が産生し、我が国では穀類汚染の主体となっている (後述)。パツリンはりんごの腐敗菌であるペニシリウムが産生する。オクラトキシンはアスペルギルスとペニシリウムが産生し、産生菌の分布域が広いことが特徴的である。フモニシンは1988年に南アフリカでウマの白質脳症の原因物質として発見された比較的新しいマイコトキシンである (後述)。表1に、現在、世界的に問題となっている主要なマイコトキシンを示す。

表1. 主なマイコトキシン, 産生菌, 汚染食品および毒性

マイコトキシン*	産生菌	主な汚染食品	毒性
アフラトキシン (B1, B2, G1, G2)	<i>Aspergillus flavus</i> <i>A. parasiticus</i> <i>A. nomius</i>	ナッツ類, トウモロコシ, コメ, ムギ類, ハトムギ, 綿実, 香辛料	肝ガン, 肝障害, 免疫毒性
オクラトキシンA	<i>A. ochraceus</i> <i>A. carbonarius</i> <i>Penicillium verrucosum</i>	トウモロコシ, ムギ類, ナッツ類, マメ類, コーヒー豆, レーズン, ワイン, ビール, 豚肉製品	腎ガン, 腎障害, 催奇形性
トリコテンセン類 DON, NIV, T-2, HT-2	<i>Fusarium graminearum</i> <i>F. culmorum</i> <i>F. sporotrichioides</i>	ムギ類, コメ, トウモロコシ	消化器系障害 (嘔吐, 下痢), 出血, 免疫毒性
ゼアラレノン	<i>F. graminearum</i> <i>F. culmorum</i>	ムギ類, ハトムギ, トウモロコシ	エストロゲン作用
フモニシン (FB1, FB2, FB3)	<i>F. verticillioides</i> <i>F. proliferatum</i>	トウモロコシ	ウマ白質脳炎, ブタ肺水腫, 肝臓ガン
パツリン	<i>P. expansum</i>	リンゴ, リンゴ果汁	浮腫 (脳, 肺), 毛細血管障害

\* DON: デオキシニバレノール, NIV: ニバレノール, T-2: T-2 トキシン, HT-2: HT-2 トキシン

(出典: 相原真紀ら著「食品・施設 カビ対策ガイドブック」第4章 健康被害とカビ p.67 表1より引用および一部改変)

Hatsuo Saitoh [National Institute of Agrobiological Sciences]

*Fusarium* toxins. MAFF Microorganism Genetic Resources Manual No.25 (2009)

## 2. *Fusarium* 属菌が産生する毒素（フザリウムトキシン）の概要

### 1) フザリウムトキシン産生菌

*Aspergillus* や *Penicillium* に属するかびは、食品衛生学的には貯蔵菌類と呼ばれ、そのほとんどは収穫後の農産物の貯蔵や運搬期間中に侵入し増殖する非病原菌である。これに対し *Fusarium* 属のかびは圃場菌類と呼ばれ、農作物の栽培中に植物組織内に侵入、増殖する植物病原菌である。*Fusarium* 属菌は土壌菌類として世界中に広く分布し、草・木本植物の根、茎、枝幹、果実、種子などに寄生し、根腐病、萎凋病、立枯病、茎枯病、枝枯病、胴枯病、果実腐敗病などの病原になる。土壌中に常在するマイコトキシン産生菌の多くはムギやトウモロコシなどの作物の栽培期に合わせて侵入し、そのまま種実の貯蔵変敗まで関与する。産生するマイコトキシンとして重要なものは、トリコテセン類、ゼアラレノン、フモニシンで、急性中毒の原因となったこともある（宇田川ら、2002）。

宇田川ら（2002）によれば、*Fusarium* 属の形態的特徴は以下のとおりである。(1) 生育は通常、極めて早く、白色、褐色、ピンク色、紅色などのコロニーになる、(2) 菌糸および分生子柄はしばしば結束して分生子座（スポロドキア）またはピオノート（胞子の粘質塊、粘塊スポロドキア）になる、(3) 分生子形成細胞（フィアライド）は細い円筒形で、(4) 大型分生子は3細胞性～多細胞性（5～10 隔壁）、紡錘形、円筒形、新月形、三日月形または鎌形、無色、滑面、(5) 小型分生子は1細胞性（ときに2細胞）、卵形、球形、楕円形、ソーセージ形、レモン形、かぶら形、洋梨形など、無色、滑面、フィアライドの先端に偽頭状あるいは連鎖状に形成される、(6) 菌糸および分生子の中間に厚壁胞子を形成する種がある。

最近、記載された中（間）型分生子は仮軸状に多極出芽して形成され、紡錘形、無色、多細胞性、大きさは大型分生子と小型分生子の中間、単生、乾性である（Pascoe, 1990）。

*Fusarium* 属のテレオモルフ（有性世代、完全世代）には、子のう菌類の核菌綱に属する *Gibberella* 属などがあり、植物ホルモンのジベレリン産生菌の *F. fujikuroi* のテレオモルフ *G. fujikuroi*、マイコトキシン産生菌の *F. graminearum* のテレオモルフ *G. zaeae*、*F. verticillioides* のテレオモルフ *G. moniliformis* などが知られている。

*Gibberella* の形態的特徴は以下のとおりである。子のう殻は宿主の表面（ムギの穂、葉鞘、桿、粒）に群生～やや散生し、暗青色～紫黒色～鮮紅色、卵形、頂端に孔口があり、殻壁は膜質である。子のうは子のう殻の底部から生じ、棍棒形、8 胞子を内生する。子のう胞子は紡錘形、両端は丸く、横に1～3 隔壁を生じ、無色～淡褐色、滑面である。

*Fusarium* 属の分類に関しては、Nelson et al. (1983) の同定マニュアルに30種が記載されているが、現在、分子系統学的な研究を基にした再検討が進行中であり、種数も全体的に増加の傾向にあって、今後マイコトキシン産生菌の種名も異動があるものと考えられる（青木、2004、2009）。

*Gibberella fujikuroi* 種複合体のように早期から再評価が進んだ菌群では、分子系統学による知見だけでなく、形態的特徴など、表現形質の情報も十分に蓄積、再検討されてきているが、未だ旧来の定義のみで存在する菌種も多く存在する。分子系統学的な再評価が属全体に行き渡るまでには、目的の菌種がどのような研究レベルで分類されているかについて個別に把握する必要がある（青木、2001）。

### 2) フザリウムトキシンの種類と概要

#### (1) トリコテセン系マイコトキシン（トリコテセン類）

図1に示した骨格はトリコテセン（trichothecene）骨格と呼ばれ、C-12,13にエポキシ環、C-9,10に二重結合を有する特徴的な4環構造（tetracyclic 12,13-epoxy-trichothec-9-ene）である。このトリコテセン骨格を共通構造として有するマイコトキシンは、総称してトリコテセン系マイコトキシン（トリコテセン類）と呼ばれ、100種以上の化合物が知られている。

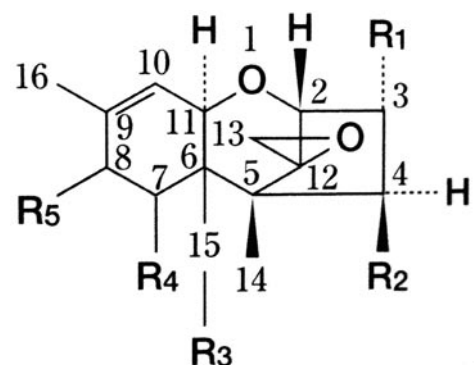


図1. トリコテセン系マイコトキシンの基本骨格

トリコテセン系マイコトキシンは、その構造によりタイプ A～D の4つに分類されている。ヒトや家畜の中毒で重要なのはタイプ A とタイプ B である (図 2, 3)。タイプ A には、T-2 トキシン, HT-2 トキシン, ネオソラニオール (NEO), ジアセトキシスシルペノール (DAS) などが含まれる。タイプ B は、C-8 にカルボニル基を有し、ニバレノール (NIV), デオキシニバレノール (DON), フザレノン-X (FX) などが含まれる。

トリコテセン系マイコトキシンの中で自然汚染が確認されているのは、ジアセトキシスシルペノール (DAS), T-2 トキシン, DON, NIV, 3-アセチル-デオキシニバレノール (3-Ac-DON, 3ADON), 15-アセチル-デオキシニバレノール (15-Ac-DON, 15ADON) およびフザレノン-X (FX) の 7 種である (田中, 2006)。

トリコテセン類の毒性は共通して主に消化器系障害および免疫機能抑制である。一般に急性毒性はかなり強いが、発ガン性は認められていない。急性毒性としては、種々の動物に共通して吐き気、嘔吐、下痢、出血、皮膚炎症、骨髄および造血系の機能低下などがある。ヒトのトリコテセン系マイコトキシンによる代表的な中毒事例として、ATA 症 (alimentary toxic aleukia : 食中毒性無白血球症, 後述) があげられる。

我が国では、総体としてのトリコテセン系マイコトキシンに対して規制値は設定されていない。しかし、個々のマイコトキシンである DON や T-2 トキシンには規制値が設けられている。2002 年 (平成 14 年) 5 月 21 日に玄麦における DON の暫定基準値が厚生労働省により 1.1ppm (1,100 μg/kg) と定められた。同年 10 月 25 日に農林水産省から告示として発表された農産物規格規定の重要な改正点は以下の通りである: 「被害粒のうち赤かび粒は、普通小粒大麦および普通大粒大麦のうち一等および二等のもの並びにビール大麦にあっては 0.0%, 普通小粒大麦 (飼料用に供されるもの) および普通大粒大麦 (飼料用に供されるもの) のうち合格のものにあっては 10.0% を超えて混入してはならない」。これは実際問題としては、飼料用以外の場合の赤かび粒混入率は 0.049% 以下でなければならないことを示すものである。

## (2) ゼアラレノン

ゼアラレノン (zearalenone, 略称 ZEA; ZON, ZEN と略称されることもある) は、フザリウムトキシンの中で最も広く分布するマイコトキシンであるが、トリコテセン骨格を持たない (図 4)。

ゼアラレノンは、内分泌かく乱物質 (環境ホルモン) の一つであり強いエストロゲン活性を有し、子宮の細胞内エストロゲン受容器との結合親和性は、17-β-エストラジオールの 1～10% である (小西, 2006)。投与飼料によるブタの外陰部肥大などの家畜に対する女性ホルモン作用が特徴的である。このため、家畜に対する健康

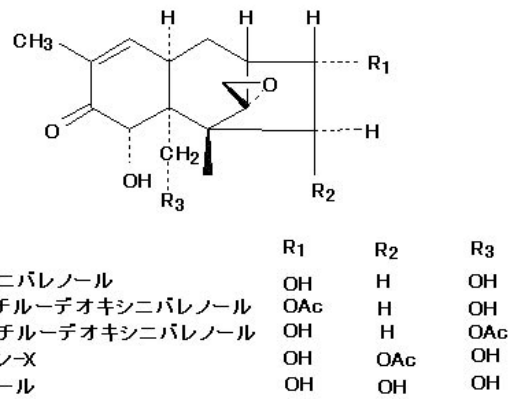


図 2. トリコテセン系マイコトキシン (タイプ B)

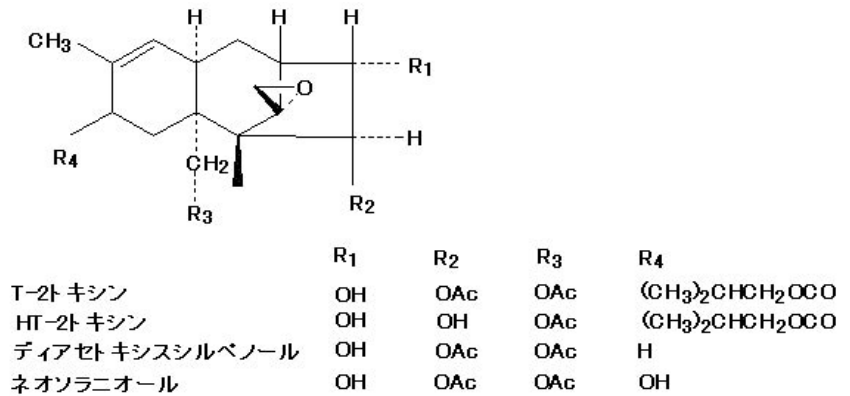


図 3. トリコテセン系マイコトキシン (タイプ A)

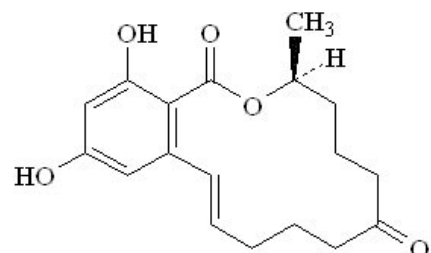


図 4. ゼアラレノンの化学構造

被害の問題が大きく経済的損失につながりやすい。

ゼアラレノンは、*F. graminearum* など主に穀類を侵す数種によって産生される。ゼアラレノンの食品自然汚染は世界中に広がっており、トウモロコシ、ムギ類などから検出されている。我が国においてもムギ類などの市販食品からゼアラレノンが検出されている。アフラトキシンとの同時汚染も報告されている (Vargas et al., 2001)。日本では食品に対する規制値はまだないが、フランス、ロシアなどで 30 ~ 1,000  $\mu\text{g}/\text{kg}$  の規制値またはガイドラインが穀類に対し設けられている (FAO, 1997)。

### (3) フモニシン

*Fusarium moniliforme* (= *F. verticillioides*) の培養物からがんのプロモート活性物質としてフモニシン B1, B2 が発見され、構造が決定された (Gelderblom et al., 1988)。

現在までにフモニシン C 群および P 群まで構造決定されているが、食品に高頻度の汚染をもたらしているのはフモニシン B-1 (FB1)、フモニシン B-2 (FB2)、フモニシン B-3 (FB3) の 3 種類であり (図 5)、最も毒性が強いのは FB1 である (JECFA, World Health Organization, 2001)。最近報告されたフモニシンの新しい毒性としては、神経管閉鎖障害がある。アメリカでは、妊婦の摂取していたトウモロコシ製品中のフモニシン濃度が高い場合には出生児に神経管閉鎖障害が起こる確率が高くなると報告された (小西, 2006)。

フモニシンは、世界中のトウモロコシから高頻度に検出され、極めて高い濃度の FB1 が検

出されることがある (WHO Environmental Health Criteria 219, 2000; Shephard et al., 1996)。汚染の報告は FB1 および FB2 に関するものがほとんどであり、検出率は 100% 近いものが多い。しかし最近、トウモロコシだけでなくコムギへの汚染の拡大を危惧する指摘がある (Shephard et al., 2005)。

Proctor et al. (2004) は、*Gibberella fujikuroi* 種複合体の *Fusarium* 属菌 15 種と種複合体以外の 12 種の *Fusarium* 属菌のフモニシン生合成遺伝子の分布およびフモニシン産生能を調べ、*F. verticillioides* (交配群 A)、*F. proliferatum* (交配群 D) 以外に、*F. fujikuroi* (交配群 C)、*F. nygamai* (交配群 G)、*F. globosum* (交配群不明) の 3 種がフモニシン産生能を有することを明らかにした。これらの調査対象菌種のうち、*F. globosum* の 1 株 (NRRL 25190=MAFF 237513) は日本産菌株である。また、*G. fujikuroi* 種複合体には属さないが、*F. oxysporum* の 1 菌株もフモニシン生合成遺伝子を有しフモニシンを産生することから、フモニシン生合成遺伝子の分布は遺伝学的に不連続であると報じた。*Fusarium fujikuroi* はイネばか苗病菌であり、我が国では重要な常在菌の一つであることから、イネにフモニシン汚染が起こることが懸念される。

独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構食品総合研究所では、すでにコメのフモニシン汚染を想定し、コメ中のフモニシン検出技術の開発を試みている (18 年度食品試験研究成果情報 : [www.nfri.affrc.go.jp/research/seika/seikah18/pdf/p16.pdf](http://www.nfri.affrc.go.jp/research/seika/seikah18/pdf/p16.pdf) および 19 年度食品試験研究成果情報 : [www.nfri.affrc.go.jp/research/seika/seikah19/pdf/p16.pdf](http://www.nfri.affrc.go.jp/research/seika/seikah19/pdf/p16.pdf))。

スイスではトウモロコシに対して FB1 および FB2 の合計量で 1,000  $\text{ng}/\text{g}$  のガイドラインが設定されている (WHO, 1997)。またアメリカでは 2000 年に食品医薬品局 (FDA : Food and Drug Administration) から食品 (トウモロコシ) については 2 ~ 4  $\text{mg}/\text{kg}$ 、ウマ、ブタ、ウサギなどの飼料に対しては 5 ~ 100  $\text{mg}/\text{kg}$  の勧告値 (recommended level) が出された (Trucksess, 2000)。我が国ではフモニシンの規制値はまだない。

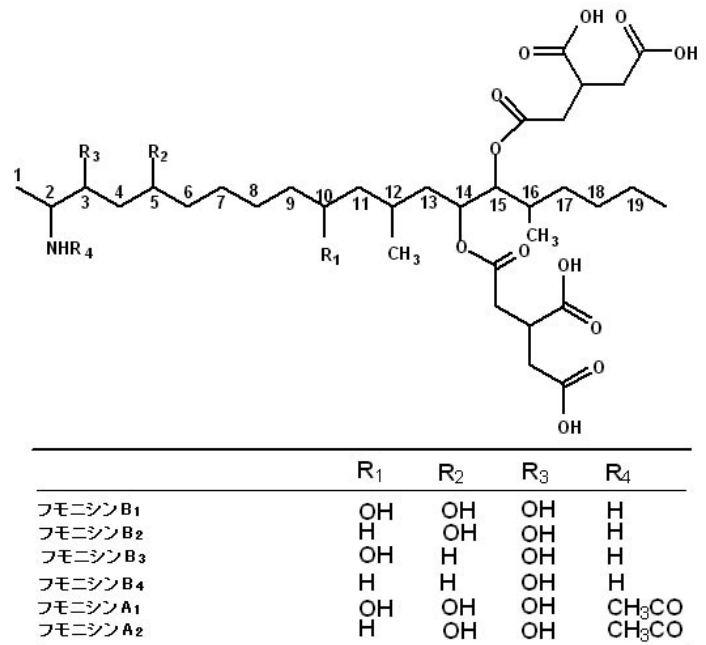


図 5. フモニシンの化学構造



### 3) マイコトキシン定量法

トリコテセン系マイコトキシンの検出、定量には、近年、誘導体化を必要としない高速液体クロマトグラフィー/質量分析 (LC/MS) 法あるいは高速液体クロマトグラフィー-タンデム型質量分析器 (LC-MS/MS) 法が多用されている。ゼアラレノン (ZEA) の定量には LC/MS 法を用いるのが一般的である。フモニシンの定量にも LC-MS/MS 法が適用される。前述のように、イネへのフモニシン汚染が懸念される背景があることから、食品総合研究所では、コメ中フモニシンの検出技術として高速液体クロマトグラフィー-蛍光 (HPLC-FL) 法と LC-MS/MS 法を比較し、後者がより高感度な検出法であることを明らかにした (18 年度食品試験研究成果情報 : <http://www.naro.affrc.go.jp/top/seika/2006/nfri/nf06013.html>, Kushiro et al., 2006)。

## 3. 赤かび毒素

### 1) トリコテセン系マイコトキシンとくにデオキシニバレノール (DON) の重要性

ムギ類赤かび病菌 (*F. graminearum*, *F. culmorum* など) は、世界中の穀倉地帯においてコムギ、オオムギ、トウモロコシなどの重要穀類に感染し穀粒の品質や収量低下を引き起こして安定生産に打撃を与えるだけではなく、穀粒中にトリコテセン系マイコトキシンやゼアラレノン蓄積させ、これらが家畜やヒトの健康被害の原因となることから、生産面と安全面で二重の脅威となっている。

赤かび病菌が産生するマイコトキシンで最も重要なものは、トリコテセン系マイコトキシン (タイプ B) のデオキシニバレノール (DON) である (図 6)。DON には発がん性はないとされるが、種々の動物に対して嘔吐、悪心、腹痛、めまい、下痢、出血、皮膚炎症、造血系の機能低下などの諸症状を伴う中毒症 (急性毒性) を引き起こす。我が国でも、赤かび病に罹病した米・麦を摂取したために下痢性食中毒を起こした事件は 1960 年以前に多発していた (吉澤, 2003)。ただし、世界的にみてもヒトの死亡例は報告されていない。しかしより低濃度でも長期間汚染された食物を摂取していると成長抑制、体重低下や免疫機能抑制などヒトの身体に深刻な影響を及ぼす慢性毒性があることがわかってきた。このため、我が国でも、2002 年厚生労働省は、暫定的な基準値を 1.1ppm (1,100 $\mu$ g/kg) に設定した (前述)。これに先立ち、第 47 回 WHO/FAO 合同食品添加物専門家委員会 (WHO/FAO Joint Expert Committee on Food Additives = JECFA) (2001) は、DON の暫定最大 1 日耐容量を体重当たり 1 日 1 $\mu$ g (1 $\mu$ g/kg bw/day) と定めた (<http://www.inchem.org/documents/jecfa/jecmono/v47je01.htm>)。

ニバレノール (NIV) (図 6) は DON に比べると急性毒性が強く (Ryu et al., 1988)、マウスの腹腔内注射による LD<sub>50</sub> 値では毒性は DON の約 10 倍である。NIV は DON と比べると国内での汚染が少ないとみられ、規制値の設定には至っていない。しかし、中島・吉田 (2007) は西日本では NIV 産生型の赤かび病菌が優占分布していることを指摘し、NIV 汚染のリスクについて示唆している (後述)。

赤かび毒素が重要性を増している背景としては、ムギ類の登熟期間が梅雨に重なり降水量が多い我が国の西南暖地では赤かび病の発生リスクが高くなることがあげられる。世界的に見ると近年の異常気象によりムギ類が主に栽培される半乾燥地帯でも降水量が多くなる傾向がある。梅雨のない北海道でも最近では 7 月に入ると梅雨に似た気

候となり赤かび病が発生しやすい傾向にある。土壌の浸食防止のために、不耕起栽培法が普及しつつあるが、この栽培法では、赤かび病の伝染源となる被害作物残渣が地表面に残り、次作のムギに病原菌の胞子を大量に供給し赤かび病の多発につながることも考えられる。

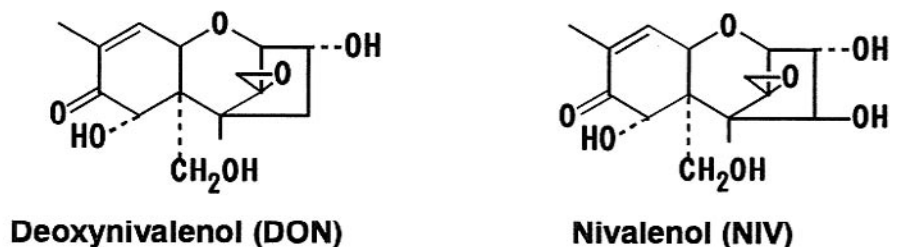


図 6. 赤かび病菌が産生する主要マイコトキシンの化学構造  
(左: デオキシニバレノール, 右: ニバレノール)

## 2) DON と NIV の汚染および病原菌の分布実態

1972～1973年に吉澤、諸岡らは赤かび病に罹病したムギからデオキシニバレノール (DON) を発見し (諸岡ら, 1972; Yoshizawa and Morooka, 1973), このときニバレノール (NIV) の自然汚染を初めて確認した。また, *Fusarium roseum* (= *F. graminearum*) の培養物から DON とそのアセチル体 (3ADON) を単離した。DON 発見の報告直後, アメリカでカビトウモロコシ中毒症の原因物質として発見されたボミトキシシン (vomitoxin) も DON と同一物質であることが後に判明した。

Yoshizawa (1997) は, 国内産コムギおよびオオムギの穀粒中のトリコテセン系マイコトキシンの濃度を調べ, DON, 3ADON, 15ADON, FX および NIV の 5 種類のタイプ B のマイコトキシシンを検出した。

中島・吉田 (2007) は, 西日本に分布している赤かび病菌 (*Fusarium graminearum* 種複合体, 後述) のマイコトキシシン産生性について分析を行った。その結果, NIV 産生型菌株 (NIV タイプ; DON より NIV 産生量が多い菌株) が優勢であることや, DON タイプ, NIV タイプとも菌株間で DON や NIV の産生量や産生比率には大きな差があることを見出した。これは過去の調査結果と大きな違いはなく, 西日本は NIV タイプの分離頻度が高いことが再確認された。以上の結果から, 中島・吉田 (2007) は, 海外 (Desjardins, 2007) および北海道 (白井ら, 2005) では DON タイプが優占しているものの, 今後我が国では NIV タイプを重視する必要があると結論づけた。

Suga et al. (2008) は日本における *F. graminearum* 種複合体の分布を分子系統学特性に基づいて解析し, *F. graminearum* は北日本とくに北海道に優占して分布するのに対し, *F. asiaticum* は南日本の優占種であり, 東北地域ではこれらの 2 種が混在していると報じている。

## 3) 赤かび病菌の原因菌種

赤かび病の原因菌種でマイコトキシシン産生菌でもある菌種としては, *F. graminearum*, *F. avenaceum*, *F. culmorum*, *F. crookwellense* (= *F. cerealis*), *F. kyushuense*, *F. acuminatum* の 7 種があげられる。また, ムギ類に感染し, マイコトキシシン産生で問題となる菌種として, *F. sporotrichioides*, *F. poae*, *F. tricinctum*, *F. equiseti*, *F. semitectum* (= *F. incarnatum*) の 5 種があげられる (青木, 2004)。

主要なトリコテセン系マイコトキシシン産生菌の一覧を表 2 に示す。しかしこの表は, 1999 年にそれまでの研究情報によって整理されたものである。その後とくに分子系統学的解析による *Fusarium* 属菌の再分類が進行中であり, さらに, 主要菌種については, 毒素生成関連遺伝子の解析が急速に進んでいる。このため, どの菌種がどのタイプのマイコトキシシンを産生するのかなどについては, 近い将来大幅な見直しが行われる可能性が高い。

表 2. 主要なトリコテセン系マイコトキシシンの産生菌

タイプ	マイコトキシシン	産生菌
A	T-2 トキシシン	<i>Fusarium sporotrichioides</i> , <i>F. acuminatum</i> , <i>F. poae</i> , <i>F. equiseti</i>
	HT-2 トキシシン	<i>F. acuminatum</i> , <i>F. chlamydosporum</i>
	ネオソラニオール	<i>F. chlamydosporum</i> , <i>F. equiseti</i>
	ジアセトキシスシルペノール	<i>F. sporotrichioides</i> , <i>F. acuminatum</i>
B	ニバレノール	<i>F. graminearum</i> , <i>F. crookwellense</i>
	デオキシニバレノール	<i>F. graminearum</i> , <i>F. culmorum</i>
	フザレノン-X	<i>F. sporotrichioides</i> , <i>F. graminearum</i>

Pitt, J.I. and Hocking, A. D. : Fungi and Food Spoilage, 2nd ed., Aspen Pub., Gaithersburg, Maryland, 1999. より抜粋

赤かび病の原因菌種で同時にマイコトキシシン産生菌でもある主要菌種のうち, 我が国だけではなく世界中に普遍的に優占分布し, 例年大きな被害をもたらしている最も重要な菌種は *F. graminearum* である。本

菌には、子のう殻の形成がホモタリックでは起こらないものと起こるものが知られ、それぞれ group 1, group 2 と呼ばれていた。Aoki and O'Donnell (1999a, b) は形態学的観察と分子系統学的解析により、それらが明確に異なる菌群であることを明らかにし、group 1 を *F. pseudograminearum* (テレオモルフ: *Gibberella coronicola*), group 2 を *F. graminearum* (テレオモルフ: *Gibberella zeae*) とした。日本では *F. pseudograminearum* はこれまで見いだされていない (青木, 2004)。

これまでに *F. graminearum* s. lato (広義) のトリコテセン系マイコトキシンの生合成に関与する遺伝子クラスターが見いだされており、生合成過程の各段階に関わる酵素の遺伝子が 7 つ (Tri8, Tri7 など), 制御因子の遺伝子が 2 つ (Tri6, Tri10), 運搬体の遺伝子が 1 つ (Tri12), 機能未知の遺伝子が 2 つ (Tri9, Tri14) 見いだされている (須賀, 2006)。 *F. graminearum* s. lato が産生するトリコテセン系マイコトキシンとしては、DON, NIV およびそれらのアセチル体が知られているが、菌株毎に産生される種類や量比が異なり、菌株は DON タイプと NIV タイプに、DON タイプはさらに、DON のほかに産生する DON のアセチル体の種類によって、15 位がアセチル化された 15ADON タイプと 3 位がアセチル化された 3ADON タイプに分けられてきた (須賀, 2006)。

*Fusarium graminearum* s. lato については、近年、世界各地で分離された菌株の分子系統学的解析により、地理的分布に裏付けられた少なくとも 9 つの種で構成される種複合体であることが明らかとなった (O'Donnell et al., 2000; O'Donnell et al., 2004)。すなわち、系統 1: *F. austroamericanum*, 系統 2: *F. meridionale*, 系統 3: *F. boothii*, 系統 4: *F. mesoamericanum*, 系統 5: *F. acacia-mearnsii*, 系統 6: *F. asiaticum*, 系統 7: *F. graminearum* s. str. (狭義), 系統 8: *F. cortaderiae*, 系統 9: *F. brasiliicum* の 9 種である。しかし、分子系統学的種とマイコトキシン産生型の分化は必ずしも対応しないことが報告されている (Ward et al., 2002)。最近、Starkey et al. (2007) は、分子系統学的解析に加え、形態学的解析、コムギに対する病原性検定およびトリコテセン系マイコトキシン産生能解析により *F. graminearum* 種複合体の中に、新たな 2 種として *F. vorosii* と *F. gerlachii* を見出したと報告している。これらの 2 種の主に産生するトリコテセン系マイコトキシンのタイプはそれぞれ 15ADON, NIV である。また、*F. vorosii* は北海道産の菌種である。

なお、本稿で用いる“*F. graminearum*”の学名については、とくにことわらない限り *F. graminearum* s. str. (狭義) を表し、広義のものとして用いる場合にのみ *F. graminearum* s. lato と表記している。

*Fusarium avenaceum* (Corda:Fr.) Sacc. (テレオモルフ: *Gibberella avenacea*) は日本では本州北部から北海道で出現率が急増し、*F. graminearum* と並びムギ類赤かび病の主要原因となる。ドイツなどの北部ヨーロッパや東欧、ロシアなどでは、*F. graminearum* より本菌の方が高頻度である (青木, 2004)。Uhlig et al. (2007) は、北ヨーロッパ (ノルウェー、フィンランド) では *F. avenaceum* が主要な菌種であるが、最近その優占度が高まる傾向にあると報告している。本菌が産生するマイコトキシンとしては、モニリホルミン (MON), ビューベリシン (BEA), エンニアチン (ENN) が知られる。分子量は MON が 120, BEA は 784, ENN はタイプにより異なり 640 前後である。いずれもトリコテセン系マイコトキシンとは化学構造、毒性ともに全く異なる。

*Fusarium culmorum* (W.G. Smith) Sacc. (テレオモルフ: 未知) は日本では *F. graminearum*, *F. avenaceum* より低頻度である。世界的に高緯度地帯でムギ類赤かび病の原因となり、北ヨーロッパではムギ類のフット・ロット、ルート・ロット原因菌としても知られる (青木, 2004)。最近、イギリス、ハンガリー、アイルランド、イタリアの 1 つの圃場内における赤かび病菌の空間分布とマイコトキシン蓄積について調べた報告がある。それによると、DON の蓄積は *F. graminearum*, NIV の蓄積は *F. culmorum* の存在と強い関連性が認められた。また、ゼアラレノン (ZEA) の蓄積は 3 種の病原菌 (*F. graminearum*, *F. culmorum*, *F. poae*) の存在に伴って起こると述べている (Xu et al., 2008)。

*Fusarium crookwellense* (= *F. cerealis*) はムギ類赤かび病の原因菌種として頻度的には低いが、世界的に広く分布し日本でも分離されている (青木, 2004)。Sugiura et al. (1994) は 1991 年、本邦で初めて本菌種を分離し、供試した 4 菌株すべてが米培地で NIV, 4-acetyl-nivalenol (4-Ac-NIV) および ZEA を産生したと報告した。

ムギ類に感染し、マイコトキシン産生で問題となる主要菌種のうち、むしろマイコトキシン産生菌として

重要なものに *F. sporotrichioides* Sherb. がある。テレオモルフは未知であるが、アナモルフとして3種類の分生子と厚壁胞子を形成し、他種と容易に識別できる。本菌にはT-2トキシンを産生する菌系が存在し、*F. poae* とともに第二次大戦中や戦後に旧ソ連で発生したATA症（食中毒性無白血球症）の主原因となった（青木，2004）。

*Fusarium poae* Wollenw. は世界的に広く分布する。*Fusarium sporotrichioides* と同様に、本菌にはT-2トキシンを産生する菌系が存在する（青木，2004）。Bourdages et al. (2006) は、カナダケベック州のオオムギ赤かび病罹病粒から分離される *Fusarium* 属菌の分離頻度は、*F. graminearum* (41.0%)、*F. poae* (23.2%)、*F. avenaceum* (15.8%)、*F. sporotrichioides* (5.6%) の順に高いと報告している。我が国とは異なり、*F. poae* がかなり高率に分布していることが特徴的といえる。最近の報告によれば、*F. poae* はトリコテセン系マイコトキシンAタイプのジアセトキシスシルペノール (DAS)、モノアセトキシスシルペノール (MAS)、スシルペノール (STO)、HT-2トキシン、T-2トキシン、ネオソラニオール (NEO)、トリコテセン系マイコトキシンBタイプのニバレノール (NIV)、フザレノン-X (FX) だけでなく、トリコテセン骨格をもたないビューベリシン (BEA) やエンニアチン (ENN) も産生することが判明している (Uhlig et al., 2006; Vogelgsang et al., 2008)。また、Vogelgsang et al. (2008) は、*F. poae* のマイコトキシン産生量は菌株間差が大きく、ニバレノール (NIV) でその傾向が著しいと述べている。

#### 4) 赤かび病菌の病原力とマイコトキシン産生能との関係

齊藤らは、コムギ穂に対する病原性を確認した赤かび病菌 (*F. asiaticum*, *F. graminearum* ほか) 各種菌株のマイコトキシン産生能 (DON, NIV, ZEA) を調べ、菌株間に産生マイコトキシンの種類や産生量にかなりの差異があることを見出した (図7および表3, 齊藤ら, 2003)。またこれらの菌株のマイコトキシン産生能と病原力の関係をみると、非産生株でも病原力が強い例があることから、両者は必ずしも相関関係にはないとした (表4, 齊藤ら, 2003)。

Bai et al. (2002) は、*F. graminearum* のマイコトキシン非産生の変異株 (GZT40) を用い、DONの産生は赤かび病の拡大に重要な役割を果たしているが、病原菌の初期感染には必須要因ではないと推察した。

フィールドにおいては病害の程

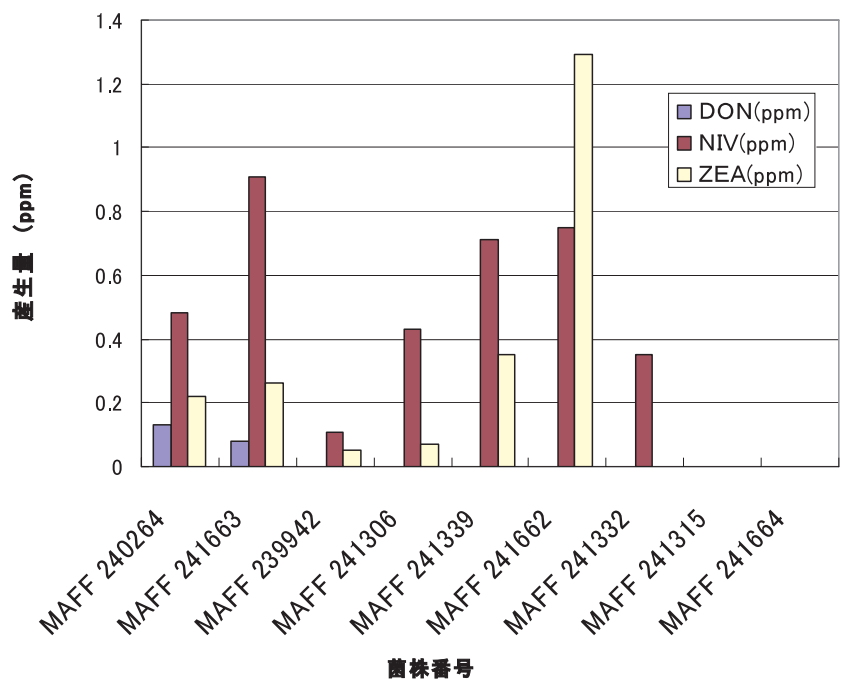


図7. 赤かび病菌菌株のDON, NIV およびZEA産生能

表3. 赤かび病菌各種菌株のマイコトキシン産生性 (2003)

マイコトキシン	菌株数 (%)	菌株番号
DON, NIV, ZEA	3 (21.4)	MAFF 101551, MAFF 240264, MAFF 241663
NIV, ZEA	5 (35.7)	MAFF 239942, MAFF 241306, MAFF 241340, MAFF 241339, MAFF 241662
NIV	3 (21.4)	MAFF 241303, MAFF 241332, MAFF 241335
— *	3 (21.4)	MAFF 241311, MAFF 241315, MAFF 241664

DON: デオキシニバレノール, NIV: ニバレノール, ZEA: ゼアラレノン  
*Fusarium graminearum* s. lato (広義) として調査. MAFF101551=*F. graminearum* s. str., MAFF 240264=*F. asiaticum* と再同定, 他の菌株は再同定未了.  
 \*非産生株 (齊藤ら, 2003)



度と DON 量は必ずしも相関が認められないとされている。これは赤かび病がマイコトキシンを産生する菌種のみならず、マイコトキシンを産生しない菌種によっても引き起こされていることが原因の一つと考えられる(須賀, 2006)。また、トリコテセン産生型(毒素タイプ; DON タイプおよび NIV タイプ)は病原性と関係があるとす説とないとする説とがあり、両者の関係の全容はまだ明らかではない。

表 4. 赤かび病菌各種菌株の病原力 (2003)

菌株番号 (産生マイコトキシン)	発病度	病原力 *
MAFF 241662 (NIV, ZEA)	89.8	強
MAFF 241663 (DON, NIV, ZEA)	78.6	強
MAFF 241664 (非産生株)	85.1	強
MAFF 101551 (DON, NIV, ZEA)	92.4	極強
MAFF 240264 (DON, NIV, ZEA)	65.8	中～強
MAFF 239942 (NIV, ZEA)	81.7	強
MAFF 241306 (NIV, ZEA)	71.3	中～強
MAFF 241315 (非産生株)	79.4	強
MAFF 241332 (NIV, ZEA)	82.5	強

\* 抵抗性極弱品種 Gabo に対する病原力から判定  
*Fusarium graminearum* s. lato (広義) として調査。  
 MAFF 101551= *F. graminearum* s. str., MAFF 240264= *F. asiaticum* と再同定, 他の菌株は再同定未了。(齊藤ら, 2003)

#### 4. 引用文献

- 相原真紀・久米田裕子・小西良子・杉浦義紹・高鳥 浩介・高橋淳子・高橋治男・高本一夫・森田 和矢・諸角聖 (2007) 健康被害とカビ「食品・施設 カビ対策ガイドブック」p.67. 社団法人 日本食品衛生協会.
- 青木孝之 (2001) フザリウム属菌および関連子囊菌類の分類. 日植病報 67: 235-247.
- 青木孝之 (2004) ムギ類赤かび病菌の分類 (2004) 植物防疫 58: 193-198.
- 青木孝之 (2009) フザリウム属の分類法. 日本微生物資源学会誌 25(1): 1-12.
- Aoki, T. and O'Donnell, K. (1999a). Morphological and molecular characterization of *Fusarium pseudograminearum* sp. nov., formerly recognized as the Group 1 population of *Fusarium graminearum*. Mycologia 91: 597-609.
- Aoki, T. and O'Donnell, K. (1999b). Morphological characterization of *Gibberella coronicola* sp. nov., obtained through mating experiments of *Fusarium pseudograminearum*. Mycoscience 40: 443-453.
- Bai, G. H., Desjardins, A. E. and Plattner, R. D. (2002) Deoxynivalenol-nonproducing *Fusarium graminearum* causes initial infection but does not cause disease spread in wheat spikes. Mycopathologia 153: 91-98.
- Bourdages, J.V., Marchand, S., Rioux, S. and Belzile, F.J. (2006) Diversity and prevalence of *Fusarium* species from Quebec barley field. Can. J. Plant Pathol. 28(3): 419-425.
- Desjardins, A.E., Busman, M., Proctor, R.H. and Stessman, R. (2007) Wheat kernel black point and fumonisin contamination by *Fusarium proliferatum*. Food Additives and Contaminants 24(10): 1131-1137.
- FAO. (1997) Worldwide Regulations for Mycotoxins 1995. A Compendium, FAO Food and Nutrition Paper No.64: 7-38.
- Gelderblom, W.C., Jaskiewicz, K., Marasas, W.F., Thiel, P.G., Horak, R.M., Vleggaar, R. and Kriek, N. (1998) Fumonisin-novel mycotoxins with cancer-promoting activity produced by *Fusarium moniliforme*. Appl. Environ. Microbiol. 54: 1806-1811.
- 小西良子 (2006) カビ毒の毒性と作用機序および最近の知見. FFIジャーナル 211(12): 1004-1008.
- Kushiro, M., Tanaka, K., Miyazaki, S. and Nagata, T. (2006) Advances of Liquid Chromatographic Determination of Fumonisin; Potential Mycotoxins for Humans. Curr. Pharmaceut. Anal. 2: 289-297.
- 諸岡信一・裏辻憲昭・芳沢宅美・山本浩幸 (1972) 赤カビ病罹病麦中の毒性物質に関する研究. 食衛誌 13(5): 368-375.
- 中島 隆・吉田めぐみ (2007) 西日本におけるムギ類赤かび病菌 *Fusarium graminearum* 種複合体のかび毒産生能と病原力. 日植病報 73:

- 106-111.
- Nelson, P.E., Toussoun, T.A. and Marasas, W.H.O. (1983) *Fusarium* species: an illustrated manual for identification. Pennsylvania State Univ. Press, University Park.
- O'Donnell, K., Kistler, H.C., Tache, B.K. and Casper, H.H. (2000) Gene genealogies reveal global phylogeographic structure and reproductive isolation among lineages of *Fusarium graminearum*, the fungus causing wheat scab. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 97: 7905-7910.
- O'Donnell, K., Ward, T.J., Geiser, D.M., Kistler, H.C., and Aoki, T. (2004) Genealogical concordance between the mating type locus and seven other nuclear genes supports formal recognition of nine phylogenetically distinct species within the *Fusarium graminearum* clade. *Fungal Genet. Biol.* 41: 600-623.
- Pascoe, I.G. (1990) *Fusarium morphology I: Identification and characterization of a third conidial type, the mesoconidium*. *Mycotaxon* 37: 121-160.
- Pitt, J.I. and Hocking, A.D. (1999) *Fungi and Food Spoilage*, 2nd ed., Aspen Pub. Gaithersburg, Maryland. p.593.
- Proctor, R.H., Platiner, R.D., Brown, D.W., Seo, J.-A. and Lee, Y.-W. (2004) Discontinuous distribution of fumonisin biosynthetic genes in the *Gibberella fujikuroi* species complex. *Mycol. Res.* 108(7): 815-822.
- Ryu, J., Ohtsubo, K., Izumiyama, N., Nakamura, K., Tanaka, T., Yamamura, H. and Ueno, Y. (1988) The acute and chronic toxicities of nivalenol in mice. *Fund. Appl. Toxicol.* 11: 38-47.
- 齊藤初雄・田中健治・佐藤 剛 (2003) 赤かび病菌の病原性とマイコトキシン産生性 (予報) 2003年度赤かび病研究会.
- Shephard, G.S., Thiel, P.G., Stockenstrom, S. and Sydenham, E. (1996) Worldwide survey of fumonisin contamination of corn-based products. *J. Assoc. Off. Anal. Chem. Int.* 79: 671-687.
- Shephard, G.S., Westhuizen, L. van der, Gatyeni, P.M., Katerere, D.R. and Marasas, W. FO. (2005) Do fumonisin mycotoxins occur in wheat? *J. Agric. Food Chem.* 53(23): 9293-9296.
- 白井佳代・相馬 潤・角野晶大・青木孝之 (2005) 北海道道央地域産 *Fusarium graminearum* (種複合体) の毒素タイプと分子系統種の同定. *北日本病虫研報* 56: 24-26.
- Starkey, D.E., Ward, T.J., Aoki, T., Gale, L.R., Kistler, H.C., Geiser, D.M., Suga, H., Toth, B., Valga, J. and O'Donnell, K. (2007) Global molecular surveillance reveals novel *Fusarium* head blight species and trichothecene toxin diversity. *Fungal Genet. Biol.* 44(11): 1191-1204.
- 須賀晴久 (2006) ムギ類赤かび病菌における近年の研究動向. *日植病報* 72: 121-134.
- Suga, H., Karugia, G.W., Ward, T., Gale, L.R., Tomiura, K., Nakajima, T., Miyasaka, A., Koizumi, S., Kageyama, K. and Hyakumachi, M. (2008) Molecular characterization of the *Fusarium graminearum* Species Complex in Japan. *Phytopathology* 98: 159-166.
- Sugiura, Y., Saito, H., Tanaka, T., Ichine, M. and Ueno, Y. (1994) *Fusarium crookwellense*, a newly isolated fungus from wheat in Japan: its Mycotoxin production and pathogenicity to wheat and barley. *Mycoscience* 35: 77-82.
- 田中健治 (2006) トリコテセン系マイコトキシンの産生と制御. *食糧—その科学と技術* 44: 23-38.
- Trucksess, M.W. (2000) Natural toxins. *AOAC Official Methods of Analysis*, 17<sup>th</sup> ed., Chapter 49, Subchapter 9, AOAC International: p.55-59.
- 宇田川俊一・田端節子・中里光男 (2002) *Fusarium* 属. *食品安全セミナー5 マイコトキシン*. 中央法規出版. p.31-34.
- Uhlig, S., Jestoi, M. and Parikka, P. (2007) *Fusarium avenaceum* – The North European situation. *Internat. J. Food Microbiol.* 119: 17-24.
- Uhlig, S., Torp, M., Heiser, B. T. (2006) Beauvericin and enniatins A, A1, B and B1 in Norwegian grain: a survey. *Food Chem.* 94: 193-201.
- Vargas, E.A., Preis, R.A., Castro, L. and Silva, C.M.G. (2001) Co-occurrence of aflatoxins B1, B2, G1, G2, zearalenone and fumonisin B1 in Brazilian corn. *Food Additives and Contaminants* 18(11): 981-986.
- Vogelgsang, S., Sulyok, M., Banziger, I., Krska, R., Schumavher, R. and Forrer, H.R. (2008) Effect

of fungal strain and cereal substrate on in vitro mycotoxin production by *Fusarium poae* and *Fusarium avenaceum*. Food Additives and Contaminants 25(6): 745-757.

Ward, T., Joseph, P., Bielawski, H., Kistler, H.C., Sullivan, E. and O'Donnell, K. (2002) Ancestral polymorphism and adaptive evolution in the trichothecene mycotoxin gene cluster of phytopathogenic *Fusarium*. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 99: 9278-9283.

Xu, X.M., Parry, D.W., Nicholson, P., Thomsett, M.A., Simpson, D., Edwards, S.G., Cooke, B.M., Doohan, F.M., Monaghan, S., Moretti, A., Tocco, G., Mule, G., Hornok, L., Beki, E., Tanell, J. and

Ritien, A. (2008) Within-field variability of *Fusarium* head blight pathogens and their associated mycotoxins. Eur. J. Plant Pathol. 120(1): 21-34.

Yoshizawa, T. (1997) Geographic Difference in Trichothecene Occurrence in Japanese Wheat and Barley. Bull. Inst. Compr. Agr. Sci. Kinki Univ. 5: 23-30.

芳澤宅實 (2003) トリコテセン系マイコトキシンによるヒトの中毒. Mycotoxins 53: 113-118.

Yoshizawa, T. and Morooka, N. (1973) Deoxynivalenol and Its Monoacetate: New Mycotoxins from *Fusarium roseum* and Moldy Barley. Agr. Biol. Chem. 37(12): 2933-2934.

## 5. Appendix

以下は、当ジーンバンク保存菌株のうち、現在までにトリコテセン系マイコトキシン（Bタイプ、DONおよびNIV）の産生性を調査した菌株のリストである。

### 1) 農業生物資源ジーンバンク所蔵赤かび病菌菌株のトリコテセン系マイコトキシン（Bタイプ）の産生性

MAFF 番号	種名 ( <i>Fusarium</i> 属)	株名	マイコトキシン産生量 (ppm)		備考	
			DON	NIV		
102060	<i>F. asiaticum</i>	GZ0408	62.6	177	DON・NIV 菌	
102061	<i>F. asiaticum</i>	GZ0408-1	1	N.I.*		
102062	<i>F. asiaticum</i>	GZ0408-2	0	N.I.		
102063	<i>F. asiaticum</i>	GZ0409	217	0	DON 菌	
102064	<i>F. asiaticum</i>	GZ0409-1	8.8	N.I.		
102065	<i>F. asiaticum</i>	GZ0409-2	7.6	N.I.	DON 菌	
102073	<i>F. asiaticum</i>	GZ0411	208	0		
102074	<i>F. asiaticum</i>	GZ0411-1	1	N.I.		
102075	<i>F. asiaticum</i>	GZ0411-2	6.4	N.I.	DON・NIV 菌	
102077	<i>F. asiaticum</i>	GZ0415	102	706		
240110	<i>F. asiaticum</i>	GZ0413B	0.4	N.I.		
240282	<i>F. asiaticum</i>	GZ0501	0	57.3	NIV 菌	
240284	<i>F. asiaticum</i>	GZ0505	0	930	NIV 菌	
240285	<i>F. asiaticum</i>	GZ0508	0	21.3	NIV 菌	
240287	<i>F. asiaticum</i>	GZ0510	0	121	NIV 菌	
240288	<i>F. asiaticum</i>	GZ0511	0	1,110	NIV 菌	
240298	<i>F. asiaticum</i>	GZ0507-1	2.2	N.I.	DON 菌	
240299	<i>F. asiaticum</i>	GZ0507-2	2.8	N.I.		
240300	<i>F. asiaticum</i>	GZ0507-3	12.6	N.I.		
240301	<i>F. asiaticum</i>	GZ0507-4	3.4	N.I.		
240302	<i>F. asiaticum</i>	GZ0507-5	0	N.I.		
240303	<i>F. asiaticum</i>	GZ0507-6	0	N.I.		
240297	<i>F. asiaticum</i>	GZ0507	1,670	0		
240286	<i>F. cerealis</i>	GZ0509	0	1,750		
240108	<i>F. graminearum</i>	GZ0301B	0.2	N.I.		
240113	<i>F. graminearum</i>	GZ0504B	32.4	N.I.		
240114	<i>F. graminearum</i>	GZ0504C	26.6	N.I.		
240283	<i>F. graminearum</i>	GZ0502	5,220	8.9		DON・NIV 菌

\*N.I.= 未調査

2) 農業生物資源ジーンバンク所蔵赤かび病菌菌株のデオキシニバレノール (DON) 産生性 (その1)

MAFF 番号	種名 ( <i>Fusarium</i> 属)	DON 濃度 (ppm)	備考
101032	<i>F. asiaticum</i>	13	
101033	<i>F. asiaticum</i>	1.4	
101034	<i>F. asiaticum</i>	0.2	
101035	<i>F. asiaticum</i>	0.2	
101053	<i>F. asiaticum</i>	1.2	
101054	<i>F. asiaticum</i>	0.6	
101055	<i>F. asiaticum</i>	13.4	
101057	<i>F. asiaticum</i>	1	
101058	<i>F. asiaticum</i>	2	
101060	<i>F. asiaticum</i>	0.4	
101065	<i>F. asiaticum</i>	0.4	
101067	<i>F. asiaticum</i>	0	非産生株
101070	<i>F. asiaticum</i>	0.4	
101075	<i>F. asiaticum</i>	1	
101076	<i>F. asiaticum</i>	1	
101079	<i>F. asiaticum</i>	1	
101080	<i>F. asiaticum</i>	0	非産生株
101085	<i>F. asiaticum</i>	3.8	
101087	<i>F. asiaticum</i>	1	
101089	<i>F. asiaticum</i>	6	
101090	<i>F. asiaticum</i>	6.6	
111230	<i>F. asiaticum</i>	0.4	
111231	<i>F. asiaticum</i>	1.8	
111232	<i>F. asiaticum</i>	0.6	
111233	<i>F. asiaticum</i>	2	
111234	<i>F. asiaticum</i>	0.8	
235550	<i>F. asiaticum</i>	0.4	
235732	<i>F. asiaticum</i>	0.2	
235735	<i>F. asiaticum</i>	10.4	
235981	<i>F. asiaticum</i>	0.2	
235996	<i>F. asiaticum</i>	0.2	
236483	<i>F. asiaticum</i>	0.6	
236484	<i>F. asiaticum</i>	0	非産生株
236485	<i>F. asiaticum</i>	0.2	
236486	<i>F. asiaticum</i>	0.6	
236487	<i>F. asiaticum</i>	0.2	
236488	<i>F. asiaticum</i>	0.6	
236489	<i>F. asiaticum</i>	0.6	
236490	<i>F. asiaticum</i>	0	非産生株
237345	<i>F. asiaticum</i>	0.6	
237346	<i>F. asiaticum</i>	9.2	
237347	<i>F. asiaticum</i>	4.6	
237348	<i>F. asiaticum</i>	3.2	
237349	<i>F. asiaticum</i>	0.6	
237350	<i>F. asiaticum</i>	0.2	
237709	<i>F. asiaticum</i>	0.4	
239248	<i>F. asiaticum</i>	3.2	
305134	<i>F. asiaticum</i>	1.7	



## 2) 農業生物資源ジーンバンク所蔵赤かび病菌菌株のデオキシニバレノール (DON) 産生性 (その2)

MAFF 番号	種名 ( <i>Fusarium</i> 属)	DON 濃度 (ppm)	備 考
101035	<i>F. graminearum</i>	0.2	
101036	<i>F. graminearum</i>	11.2	
101062	<i>F. graminearum</i>	14.2	
101063	<i>F. graminearum</i>	3.6	
101064	<i>F. graminearum</i>	0	非産生株
101074	<i>F. graminearum</i>	44	高量産生株
101083	<i>F. graminearum</i>	17	
111280	<i>F. graminearum</i>	17.8	
111281	<i>F. graminearum</i>	18.2	
235414	<i>F. graminearum</i>	3.2	
235415	<i>F. graminearum</i>	3.6	
235416	<i>F. graminearum</i>	6.4	
235417	<i>F. graminearum</i>	0.8	
235418	<i>F. graminearum</i>	16	
235419	<i>F. graminearum</i>	0	非産生株
235420	<i>F. graminearum</i>	0	非産生株
235421	<i>F. graminearum</i>	63.4	高量産生株
235422	<i>F. graminearum</i>	160.4	高量産生株
235423	<i>F. graminearum</i>	30.2	高量産生株
235424	<i>F. graminearum</i>	8.6	
235425	<i>F. graminearum</i>	12.8	
235979	<i>F. graminearum</i>	3	
235980	<i>F. graminearum</i>	12.8	
236482	<i>F. graminearum</i>	0.6	
236943	<i>F. graminearum</i>	0.2	
237142	<i>F. graminearum</i>	12.2	
238042	<i>F. graminearum</i>	21.6	高量産生株
239499	<i>F. graminearum</i>	8.8	
241713	<i>F. graminearum</i>	45.4	高量産生株
241714	<i>F. graminearum</i>	1	
241715	<i>F. graminearum</i>	0.6	
241716	<i>F. graminearum</i>	9.2	
241717	<i>F. graminearum</i>	0.6	
305135	<i>F. graminearum</i>	29.2	高量産生株
305950	<i>F. graminearum</i>	11.8	
305952	<i>F. graminearum</i>	11.2	
101143	<i>F. acuminatum</i>	0.2	
236465	<i>F. acuminatum</i>	0.2	
236472	<i>F. acuminatum</i>	0.2	
237019	<i>F. acuminatum</i>	0.2	
111337	<i>F. poae</i>	0.4	
111338	<i>F. poae</i>	0.2	
111339	<i>F. poae</i>	0.2	
111340	<i>F. poae</i>	0.6	
111341	<i>F. poae</i>	0.2	

2) 農業生物資源ジーンバンク所蔵赤かび病菌菌株のデオキシニバレノール (DON) 産生性 (その3)

MAFF 番号	種名 ( <i>Fusarium</i> 属)	DON 濃度 (ppm)	備 考
111342	<i>F. poae</i>	0.2	
111343	<i>F. poae</i>	0.6	
111344	<i>F. poae</i>	0	非産生株
111345	<i>F. poae</i>	0.2	
111346	<i>F. poae</i>	0	非産生株
111347	<i>F. poae</i>	0	非産生株
111348	<i>F. poae</i>	0	非産生株
111349	<i>F. poae</i>	0.2	
111350	<i>F. poae</i>	0.2	
111351	<i>F. poae</i>	0	非産生株
111352	<i>F. poae</i>	0	非産生株
111353	<i>F. poae</i>	0.2	
111354	<i>F. poae</i>	0	非産生株
111355	<i>F. poae</i>	0	非産生株
111356	<i>F. poae</i>	0	非産生株
111357	<i>F. poae</i>	0	非産生株
111358	<i>F. poae</i>	0	非産生株
111359	<i>F. poae</i>	0	非産生株
111360	<i>F. poae</i>	0	非産生株
111361	<i>F. poae</i>	0	非産生株
111362	<i>F. poae</i>	0	非産生株
111363	<i>F. poae</i>	0.2	
111364	<i>F. poae</i>	0.2	
111365	<i>F. poae</i>	0.2	
111366	<i>F. poae</i>	0.2	
235243	<i>F. poae</i>	0.2	
235244	<i>F. poae</i>	0.4	
235245	<i>F. poae</i>	0.4	
235246	<i>F. poae</i>	0.2	
235247	<i>F. poae</i>	0.4	
235248	<i>F. poae</i>	0.2	
235249	<i>F. poae</i>	0.2	
235250	<i>F. poae</i>	0	非産生株
235251	<i>F. poae</i>	0.4	
235252	<i>F. poae</i>	0	非産生株
235253	<i>F. poae</i>	0.2	
235254	<i>F. poae</i>	0.2	
235255	<i>F. poae</i>	0.2	
235257	<i>F. poae</i>	0.2	
236500	<i>F. poae</i>	0.2	
236501	<i>F. poae</i>	0	非産生株
236502	<i>F. poae</i>	0.2	
236503	<i>F. poae</i>	0.2	
236648	<i>F. poae</i>	0.2	
236649	<i>F. poae</i>	0.2	
305947	<i>F. poae</i>	0.4	
305948	<i>F. poae</i>	0.2	
305949	<i>F. poae</i>	0.4	

## 2) 農業生物資源遺伝バンク所蔵赤かび病菌菌株のデオキシニバレノール (DON) 産生性 (その4)

MAFF 番号	種名 ( <i>Fusarium</i> 属)	株 名	DON 濃度 (ppm)	備 考
240265	<i>F. avenaceum</i>	GZ0604	0.2	
240266	<i>F. avenaceum</i>	GZ0604-1	0.2	
240267	<i>F. poae</i>	FPmut01, MAFF 236500 由来	0	非産生株
240268	<i>F. poae</i>	FPmut02, MAFF 236501 由来	0.2	
240269	<i>F. graminearum</i>	FPmut03, MAFF 235256 由来	0 - 0.2	非産生または 低量産生株
240270	<i>F. graminearum</i>	FPmut04, MAFF 235256 由来	16.4	

生 物 研 資 料

平成 21 年 12 月

December, 2009

微生物遺伝資源利用マニュアル (25)

2009 年 12 月 24 日 印刷

2009 年 12 月 25 日 発行

編集兼  
発行者 独立行政法人農業生物資源研究所

National Institute of Agrobiological Sciences

〒 305-8602 茨城県つくば市観音台 2-1-2