

米国産トウモロコシのマイコトキシンに関する背景情報

マイコトキシンの概要

マイコトキシンは菌類から産生される毒性のある化合物で、穀物に自然発生します。マイコトキシンを多量に摂取した場合には、動物にもヒトにも健康被害が発生する可能性があります。トウモロコシ粒には数種のマイコトキシンが発見されていますが、中でもアフラトキシン、デオキシニバレノール(DON)またはボミトキシン、フモニシン、ゼラレノン(ZEN)が現在業界で注視されているマイコトキシン類です。

背景:全般

菌類が産生するマイコトキシンのレベルは、菌の種類やトウモロコシの栽培・保管の環境条件の影響を受けます。こうした条件に差があるため、米国のトウモロコシ生産地域ごとおよび年度ごとにマイコトキシン産生にばらつきが発生します。いずれのトウモロコシ生産地域の生育条件下でも、いかなる種類のマイコトキシンもそのレベルが上昇しない年もあれば、環境条件によっては特定の地域で特定のマイコトキシンが産生されやすくなり、ヒトや家畜のトウモロコシ消費に影響を及ぼすレベルにまで上昇する年もあります。

アメリカ穀物協会は毎年発行するトウモロコシ収穫時品質報告書(収穫時報告書)で、米国産トウモロコシに発生するアフラトキシンやDONの評価を実施しています。収穫時報告書のために採取し試験した全サンプルのうち25%以上についてアフラトキシンおよびDONの試験を行っています。マイコキシンの産生はトウモロコシの生育状況から大きな影響を受けるため、収穫時報告書は、収穫時のトウモロコシからアフラトキシ

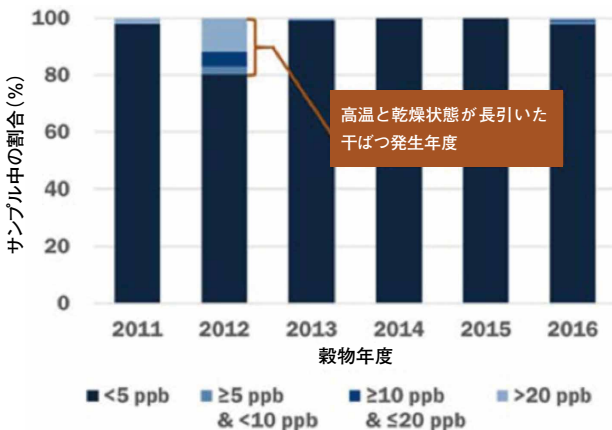
ンとDONが検出された事例に限って報告することを目的とし、個々のマイコトキシンのレベルについては報告しません。収穫時報告書初版以降のアフラトキシンおよびDONの結果を下図にまとめています。こうした試験で用いられたサンプリング方法および試験方法についての追加的な詳細情報は<https://grains.org/key-issues/corn-harvest-quality-report/>の収穫時報告書完全版に記載しています。

毎年同様なパターンにならないことを考慮すると、農場から運ばれてくる米国産トウモロコシにアフラトキシンおよびDONが存在するか否かはその年々の環境条件に大きく左右されると言えます。

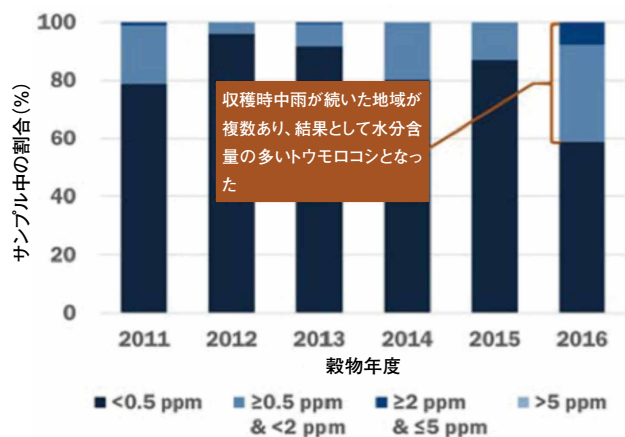
ヒトや家畜のマイコトキシンに対する感受性のレベルはそれぞれ異なります。そのため、米国食品医薬品局(FDA)は使用目的別に、アフラトキシンには規制レベルを、DONおよびフモニシンには勧告レベルを設定しています。現在、ZENにはいかなる規制レベルも設定されていません。

規制レベルでは厳密な汚染限界値が設けられ、この限界値を超えるとFDAは規制措置の準備を整えます。規制レベルとはFDAの産業界に対するシグナルで、毒素や汚染物質がその規制レベルを超えFDAがその選択をする場合は、FDAの見解において規制措置や法的措置を支持すべき科学的データが存在することを示します。輸入品または国産の飼料サプリメントを正当な方法で分析し、適用される規制レベルを上回っていることが明らかになった場合には、粗悪品とみなされ、FDAによって押取されたり、州境を超えた取引から排除されたりする場合があります。

アフラトキシンの結果
(収穫時報告書)



デオキシニバレノール(DON)またはボミトキシンの結果
(収穫時報告書)



勧告レベルは食品または飼料に含まれる物質に関して、FDAがヒトや動物の健康を守る上で安全性に十分な余裕があると判断するレベルを業界に示すために設けられたものです。FDAは強制措置を実施する権利を有していますが、勧告レベルでは基本的に強制措置を実施することはありません。

アフラトキシン

アスペルギルス属の様々な菌種によって産生されるアフラトキシンには複数の種類があり、中でも最も広く知られている菌種は黄色アスペルギルスです。菌の増殖やアフラトキシンによる穀物汚染は収穫前の圃場で、または保管中にも発生する可能性があります。ただし、アフラトキシンに付随する問題のほとんどは収穫前の汚染によって引き起こされると考えられます。黄色アスペルギルスは高温で乾燥した環境条件下や、干ばつが長引いた場合によく増殖します。高温で乾燥した条件が他地域よりも一般的である米国南部の州では、深刻な問題となることがあります。通常、菌が攻撃するのはトウモロコシの穂の中のわずかに数粒に過ぎず、多くの場合、害虫が作った傷口から穀粒の内部へと侵入していきます。干ばつ条件下ではシルクから個々の穀粒へと下に向かって進んでいくこともあります。

食品の中で自然に見つかるアフラトキシンはアフラトキシンB1、B2、G1、G2の4種類です。一般にこれら4種類を「アフラトキシン」または「総アフラトキシン」と呼んでいます。アフラトキシンB1が食品や飼料で最も一般的に見られるアフラトキシンで、かつ最も毒性が強い種類でもあります。研究により、B1は自然発生し、動物にとって強力な発癌性物質であり、ヒトの癌の発生にも強い関連性のあることがわかっています。さらに、乳牛はアフラトキシンを代謝してアフラトキシンM1という異なる形態のアフラトキシンに変化させ、乳汁に蓄積することがあります。

アフラトキシンはヒトや動物の体内で主に肝臓を攻撃することで毒性を発現します。アフラトキシンの汚染レベルが非常に高い穀物を短期間摂取するか、汚染レベルの低い穀物を長期間摂取すると中毒作用が起こり、動物の中で最も敏感な種である家禽類では死に至ることもあります。アフラトキシンが体内に入ると、家畜では飼料効率あるいは繁殖力が低下し、ヒト、動物のいずれも免疫系が抑制される可能性があります。

米国食品医薬品局(FDA)はこうした基準値を超えるアフラトキシンが検出されたトウモロコシをブレンドすることについて、追加的な方針や法規定を設けています。基本的に現時点では、FDAは、アフラトキシンに汚染されたトウモロコシに、汚染されていないトウモロコシを混合することにより、アフラトキシンの含有量を食品または飼料に許容されるレベルにまで引き下げていることを認めていません。

米国から輸出されるトウモロコシについては、連邦法に従っ

たアフラトキシン試験を実施しなければなりません。契約によりこの要件が免除されている場合を除き、試験は米国農務省の連邦穀物検査局(FGIS)で行う必要があります。FDAの規制レベルである20ppbを超えるトウモロコシについては、その他の厳格な条件を満たさない限り輸出することはできません。結果として、輸出トウモロコシに含まれるアフラトキシンは相対的に低いレベルになっています。

FDAは食品用の乳汁に含まれるアフラトキシンM1、ならびに食品、穀物および家畜用飼料に含まれるアフラトキシンの規制レベルを設定しています。この規制レベルは以下のとおりです。

- 未成熟動物用のトウモロコシおよび他の穀物については20ppb
- 繁殖用肉牛については100ppb
- 仕上期豚用については200ppb
- 仕上期肉牛については300ppb
- ヒトが摂取する乳汁に含まれるM1については0.5ppb
- その他すべての動物用の穀物および穀物併産物については5ppm、飼料の40%を超えてはならない。

デオキシニバレノール(DON)またはボミトキシン

デオキシニバレノール(DON)またはボミトキシンはトウモロコシ輸入者が懸念するもうひとつのマイコトキシンです。デオキシニバレノールはフザリウム属の特定の菌種から産生され、こうした特定菌種の中で最も重要なものが、赤カビ病(またはred ear rot)の原因にもなるFusarium graminearum(Gibberellazeae)菌です。Gibberellazeae菌は開花時期の天候が低温または適温で、かつ多雨になると発生し易くなります。菌はシルクから下に広がって穂に入り、DONを産生するだけでなく、穂の穀粒にはっきりとわかる赤い変色を引き起こします。トウモロコシを圃場でそのままにしておく菌は広がりが続け、穂を腐らせることがあります。Gibberellazeae菌によるトウモロコシのマイコトキシン汚染は多くの場合、極端な収穫の遅れや水分含量の高いトウモロコシの保管に関連付けられます。

通常、DONが問題になるのは単胃動物で、口や喉の炎症を引き起こすことがあるためです。結果としてこうした動物はやがてDONに汚染されたトウモロコシを食べなくなり、増体率は低下し、下痢や不活動、腸の大量出血が引き起こされることもあります。免疫系を抑制する可能性もあり、そうなると様々な感染症にかかり易くなります。

穀物中のDONを減少させるために効果的な汚染除去方法にはクリーニングやミリングがあり、これらはDONを容認可能レベルにまで引き下げる効果のあることが報告されています。アンモニア処理といった化学的方法に効果のあることは確認されていません。

米国食品医薬品局(FDA)はDONについて勧告レベルを設定しています。トウモロコシを含む製品に適用される勧告レベルは以下のとおりです。

- 豚用の穀物および穀物併産物については5ppm、飼料の20%を超えてはならない。
- 鶏および畜牛用の穀物および穀物併産物については10ppm、飼料の50%を超えてはならない。
- その他すべての動物用の穀物および穀物併産物については5ppm、飼料の40%を超えてはならない。

輸出市場向けのトウモロコシについて、米国農務省の連邦穀物検査局(FGIS)はDON試験を求めています。バイヤー側からの要請があればDONの定性試験または定量試験のいずれかが実施されます。

フモニシン

フモニシンはマイコトキシンの一類で、フザリウム属の様々な菌種から産生され、最も知られているのはFusarium verticillioidesとFusarium proliferatumです¹。フモニシンの主要3種はフモニシンB1(FB1)、フモニシンB2(FB2)およびフモニシンB3(FB3)で、トウモロコシについては発生頻度と毒性の観点からFB1が最も深刻な懸念対象となっています。アフラトキシン同様に、これら3種のマイコトキシンは通常ひとまとめにされ、「フモニシン」または「総フモニシン」と呼ばれています。

フモニシンの増殖と穀物汚染は、干ばつ条件とその後の開花期の多雨、害虫による穀粒の損傷と関連付けられています。この他に収穫前の多雨でも汚染の深刻さが上昇する可能性があります。さらに、保管中にも汚染が発生することがあります。

フモニシンはウマ科の脳半球の液化病変に関わる症候群であるウマ白質脳軟化症、豚の肺水腫およびヒトの食道がんと関連付けられています。

破損粒や微細粉のクリーニングや除去がトウモロコシのフモニシンを低減する上で効果的な方法であることが確認されています。ウェットミリングおよびドライミリングでもフモニシンは様々なトウモロコシ分画に分散します。ウェットミリングではフモニシンはグルテン、繊維および胚芽分画へと移動しますが、デンプンには移動しません。ドライミリングの研究では、フモニシンの濃度はふすまと微細粉が最も高いことが示されています。フモニシン濃度が最も低いのはグリッツ分画です。アンモニア処理はフモニシンまたはその毒性を低減させる上で最小限の効果しか持ちません。

米国食品医薬品局(FDA)は総フモニシン(FB1+FB2+FB3)についての指導レベルを設定しています。トウモロコシを含む食品に関わる指導レベルは以下のとおりです²。

- 豚用の穀物および穀物併産物については20ppm、飼料

の50%を超えてはならない。

- 食肉処理を目的として飼育した畜牛用の穀物および穀物併産物については60ppm、飼料の50%を超えてはならない。
- 食肉処理を目的として飼育した家禽用の穀物および穀物併産物については100ppm、飼料の50%を超えてはならない。

米国農務省の連邦穀物検査局(FGIS)に輸出市場向けトウモロコシのフモニシン試験は求められていませんが、バイヤー側からの要請があればフモニシンの定性試験または定量試験のいずれかが実施されます。FGISはフモニシンの試験に関するガイダンスも提供しています。フモニシンの低準拠レベルおよび高準拠レベルはそれぞれ0.50 ppm(LCL)および30ppm(UCL)です。

¹http://www.foodriskmanagement.com/wp-content/uploads/2013/03/Romer-Labs-Guide-to-Mycotoxin-Book_Original_41686.pdf

²[https://www.fda.gov/Regulatory Information/Guidances/ucm109231.htm](https://www.fda.gov/Regulatory%20Information/Guidances/ucm109231.htm)

ゼラレノン(ZEN)

ゼラレノン(ZEN)はほとんどの主要穀物が対象となる一般的な汚染物質です。トウモロコシおよび小麦が最もZEN汚染を受けやすいと考えられています。ZENはFusarium graminearumやF.culmorumを含む複数のカビ菌の代謝産物です。F.graminearumは通常土壌にいますが、保管中に穀物中で増殖することも知られています。Fusarium属の増殖に最適な環境条件は冷蔵で(20℃)と湿気の多い(0.98水分活性)環境です。

ZENは動物そしておそらくはヒトの内分泌機能を攪乱するエストロゲン様活性作用を有することを主たる理由として、マイコトキシンの一種に分類されています。豚は最も顕著な影響を受け、最も反応しやすいと考えられており、一方家禽類は最も耐性があると考えられています。豚が被るZENの影響は生殖器官の変質から妊孕性の低下や腹子の小型化まで様々です。

穀物からZENの毒を除去する上で、ドライミリングやウェットミリングが効果をあげています。ドライミリングはグリッツ分画や粉分画に含まれるZENを大幅に低減し、ウェットミリングは胚芽分画とふすま分画にZENを集中させます。こうしたミリング加工についての研究から、ZENが最も集中するのは穀物の外層で、胚乳のZENは最小限になることが分かっています。食品からZENを除去するためにアンモニア処理等の化学処理を使用して得られる効果は極めて限定的と言えます。ホルムアルデヒドおよび水酸化アンモニウムによる処理はスパイクトコーングリッツのZENを低減させますが、全粒には効果がありません。

米国食品医薬品局(FDA)はZENについては勧告レベル

を設定しておらず、DONに対する懸念レベルを守ればよいと
しています。EUでは食品に対しては規制があり、飼料に対し
ては推奨レベルを設定しています。米国農務省の連邦穀物
検査局 (FGIS) は輸出向けのトウモロコシに対しZEN試験を

求めています。バイヤー側からの要請があればデオキシ
ニバレノール (DON) またはボミトキシンの定性試験または定
量試験のいずれかが実施されます。

(次号に続く)

米国農務省「世界農業需給予測 (WASDE)」による 飼料穀物 (トウモロコシ、ソルガム、大麦) 需給概要の抜粋

2020年5月12日米国農務省発表の世界農業需給予測の
米国産飼料穀物に関する部分の抜粋の参考和訳を以下に
掲載いたします。WASDE のフルレポートについては([http://
www.usda.gov/oce/commodity/wasde/](http://www.usda.gov/oce/commodity/wasde/)) よりご確認ください。
また、数値や内容については、原文のレポートのものが
優先いたします。各項目の詳細、注釈についても原文をご参
照ください。

2020/21年度の米国産トウモロコシの見通しは、史上最大
の生産量と国内需要、輸出の拡大と期末在庫の増大となっ
ています。トウモロコシの生産量は、昨年より多い作付け面積と
単収トレンドへの復帰により、史上最大の160億ブッシェルと予
測されています。単収予測の178.5ブッシェル/エーカーは、作
付け進捗と夏季の生育期の天候が平年通りとした1988-2019
年の期間の天候調整トレンドに基づいて見積もられたもので
す。期首在庫は一年前に比べて減少していますが、トウモロコ
シの総供給量は史上最大の181億ブッシェルと予測されてい
ます。

2020/21年度の米国でのトウモロコシの利用量は、国内利
用と輸出の増大のため一年前と比べて上昇すると予測されて
います。食品・種子・産業用 (FSI) 利用は2億4,500万ブッシェ
ル増加の66億ブッシェルと予測されています。トウモロコシのエ
タノール生産への利用は、国内のガソリン消費量の回復への
期待に基づいて、2019/20年度の新型コロナウイルスによる低
レベルから増大すると予測されています。ソルガムの2020/21
年度のFSI利用量は、中国のソルガム輸入の増大への期待
から、国内での供給量が減少するとみられ、引き下げられてい
ます。トウモロコシの飼料そのほかへの利用は、主に生産量の
増大と低い予想価格を反映して、増大すると予想されていま
す。

2020/21年度の米国産トウモロコシの輸出は、世界のトウモ
ロコシ貿易の成長を背景に、3億7,500万ブッシェル引き上げら
れ、21億5,000万ブッシェルと予測されています。米国の市場
シェアは2019/20年度の過去複数年での最少レベルから増
大すると期待されていますが、アルゼンチン、ブラジル、ウクライ
ナとの競合が予想されることから、いまだに2015/16年度から
2019/20年度の間の平均レベルを下回っています。

米国産トウモロコシの総供給量が利用量を上回ることから、

米国の2020/21年度の期末在庫は昨年より12億ブッシェル引
き上げられています。これは1987/88年度以来の最高となり
ます。在庫・利用比の22.4パーセントは、1992/93年度以来最
高の値になります。利用量に比べて大きい在庫量をもとに、農
家の年間平均トウモロコシ出荷価格は、1ブッシェルあたり40セ
ント引き下げられ、\$3.20となっています。

2020/21年度の世界の粗粒穀物生産量見通しは、史上最大
の生産量、利用量と期末在庫の引き上げとなっています。
世界のトウモロコシ生産量は、米国、ブラジル、ウクライナ、メキ
シコ、カナダでの最も大きい増加によって、史上最大と予測され
ています。世界のトウモロコシの利用は、4パーセントの成長、
米国外での消費は3パーセント増大と予想されています。世界
のトウモロコシ輸入量は4パーセントの増大となっています。特
に、EU、エジプト、メキシコ、イラン、モロッコ、ベトナムでの輸入
量の増加が注目されます。世界のトウモロコシ期末在庫は、外
国米国の在庫の増大が米国外での減少を上回ることから、一
年前に比べて引き上げられています。中国と米国を除いて、期
末在庫は一年前より4パーセント引き上げられています。

中国については、総粗粒穀物輸入量は2019/20年度より
130万トン上方修正され1,830万トンとなっています。史上
最大であった2014/15年度の2,570万トンを下回っています。
2001/02年度以来、中国の粗粒穀物別での最大総輸入量
は2014/15年度に起こったソルガムの1,020万トンでした。その
同じ期間には、トウモロコシの輸入量も550万トンと高くなりました。
中国では2020/21年度の旺盛な需要により、700万トンのト
ウモロコシ、600万トンの大麦、500万トンのソルガムが、全輸出
国から輸入されると期待されています。

ネットワークに関するご意見、
ご感想をお寄せ下さい。



U.S. GRAINS アメリカ穀物協会
COUNCIL

〒105-0001 東京都港区虎ノ門1丁目2番20号
第3虎の門電気ビル11階

Tel: 03-6206-1041 Fax: 03-6205-4960

E-mail: Japan@grains.org

本部ホームページ (英語) : <https://www.grains.org>
日本事務所ホームページ (日本語) : <https://grainsjp.org/>