

## 第 11 章

# 2011 年米国トウモロコシおよび 2012 年 DDGS 生産に 関するマイコトキシンの状況

### はじめに

飼料原材料におけるマイコトキシンの発生およびその濃度は現在多くの国々で問題となっている。世界中の米国以外の国々で生産されるトウモロコシのマイコトキン年間発生件数およびその比較的高い濃度と比較すると、これまで米国トウモロコシのマイコトキシンの発生はまれであり、その濃度は低いものであった。マイコトキシンはトウモロコシの生育期または保管中の環境条件が最適であった場合（例えば、干ばつによるストレスを受けた場合、降雨量が多い場合や湿度が高い場合等）に、特定のカビ（例えば、*Aspergillus* や *Fusarium* によって産生される。一般に、米国の気候や保管の条件はカビの増殖に不適であるため、トウモロコシ中のマイコトキシン発生率は比較的低い。数多くの供給源から得た米国 DDGS についてマイコトキシン汚染および汚染レベルを調べた最近の試験結果が発表されている（Zhang ら、2009；Caupert ら、2011；Zhang と Caupert、2012）。中でも最も新しく実施された試験では、Zhang と Caupert（2012）が 2009 年～2011 年前期の間に、米国中西部の 8 箇所のエタノールプラントから 67 の DDGS サンプルを入手して、アフラトキシン、デオキシニバレノール（DON；ボミトキシン）、フモニシン、T-2 トキシンおよびゼアラレノンについて測定した。2009 年のトウモロコシ生育期はボミトキシン産生に適していたため、これら測定対象の 5 種類のマイコトキシンのうち、特にボミトキシンに関心が集まっている。この試験から得られた結果では、動物用飼料を対象とした米国 FDA 最低勧告濃度を上回ったのは試験対象 DDGS サンプルのわずか 12%に過ぎず、2011 年に採取したいずれのサンプルでもボミトキシン濃度は 2 ppm 未満であった。2010 年に生産された DDGS のサンプルのほぼすべてでアフラトキシン濃度は検出可能な限界値を下回り、検出された値の中で最も高いものでも 5.7ppb であった。ウマ科の動物およびウサギに給与する飼料を対象とした米国 FDA の指導レベルを上回るフモニシン濃度を含んだ DDGS サンプルは全体の 6%未満であったが、大半のサンプルに濃度 100～300ppb のゼアラレノンが含まれていた。検出限界値を超える T-2 トキシンが含まれるサンプルは存在しなかった。

### マイコトキシンのデータ入手に係る問題点

2011 年米国トウモロコシおよび 2011-2012 年 DDGS 生産について現時点でマイコトキシン・データを入手することは、いくつかの理由から困難である。第一に、トウモロコシまたは DDGS におけるマイコトキシンの発生およびその濃度を毎年報告するためのモニタリングシステムは飼料業界にも政府にも存在しない。マイコトキシンのサンプリングや試験の大半が様々な穀物会社、飼料会社および販売会社によって実施されており、公に発表することを目的としたものではなく、独自に使用することを目的としたものである。第二に、収穫時に入手した最初のサンプルに懸念対象である 1 種類以上のマイコトキシンが高頻度かつ高レベルで含まれていた場合を除き、市場サプライチェーンでの汚染リスクは低いとみなされ、分析コストが高いこともあって、通常はトウモロコシや DDGS のサンプルに対する継続したモニタリングは中止される。第三に、民間ラボの中には（例えば Dairyland Laboratories）分析したトウモロコシおよび DDGS のサンプルのマイコトキシン・デ

ータを要約して提供しているところがあるが、提出されたサンプルはそもそも汚染の可能性がある  
と判断されたためにラボに送られたものであることから、その結果は生産されたすべてのトウモロ  
コシまたは DDGS の実態を反映するものではなく、極めて偏りがある。従って、トウモロコシおよ  
び DDGS におけるマイコトキシンの発生および濃度を評価する場合には、使用されたサンプリング  
の種類および偏りの可能性を考慮する必要のあることを忘れてはならない。

## 2011 年米国トウモロコシおよび DDGS

2011 年の東部コーンベルト（ミシガン州、インディアナ州およびオハイオ州）では、雨天および干  
ばつにより、マイコトキシン、特にボミトキシンが発生する結果となったが、その濃度は 2010 年  
トウモロコシの値を下回った。これとは対照的に、イリノイ州、アイオワ州、ミネソタ州、ノー  
スダコタ州、サウスダコタ州等その他の主要トウモロコシ生産州ではマイコトキシン・レベルは非常  
に低かった。利用可能なデータは限定的ではあるが（表 1）、2011 年に収穫したトウモロコシを原  
材料として製造された DDGS の初期サンプリング結果から、ボミトキシンのレベルが最も高い  
（2.8~3.8 ppm）のはインディアナ州およびミシガン州で、イリノイ州、アイオワ州、ミネソタ州、  
ノー  
スダコタ州およびサウスダコタ州ではエタノールプラントでのレベルは 1 ppm かそれ以下であ  
ることが分かる。ネブラスカ州内のいくつかの地域ではトウモロコシのボミトキシン・レベルが平  
均を上回ったため、結果的に DDGS での値は 1.5~2.0 ppm になった。

表 1. 生産州別 DDGS サンプル（2011 年 11 月~2012 年 1 月）の平均ボミトキシン濃度

州	平均 DDGS ボミトキシン濃度 ppm
ミシガン	2.8
インディアナ	3.8
イリノイ	1.0
アイオワ	0.9
ミネソタ	0.9
ノー スダコタ	1.2
サウスダコタ	0.7
ネブラスカ	1.8

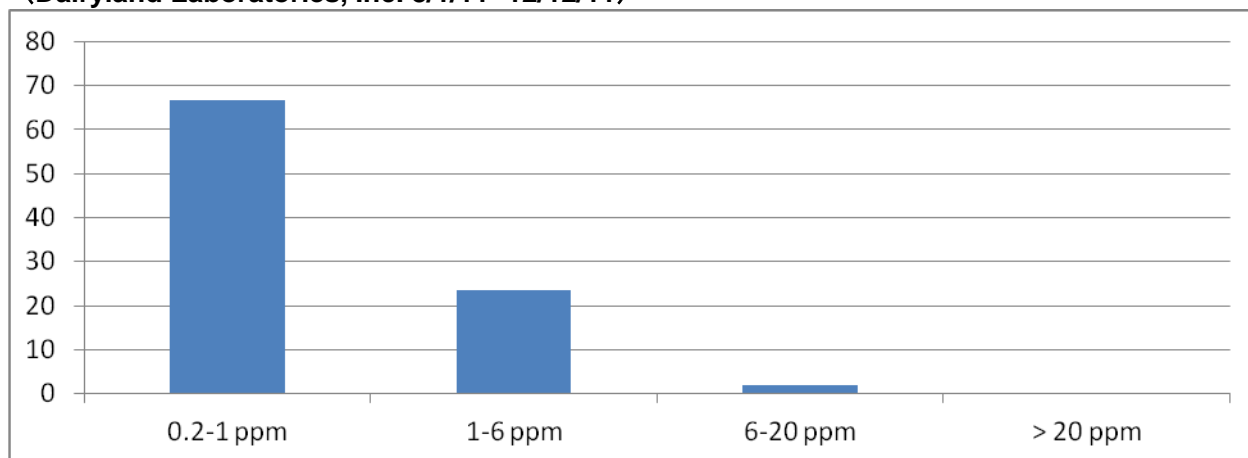
出典: Cenex Harvest States

2011 年の 8 月から 12 月に Dairyland Laboratories

([www.dairylandlabs.com/documents/moldtoxin10.10.1.pdf](http://www.dairylandlabs.com/documents/moldtoxin10.10.1.pdf)) に送られたトウモロコシサンプルの大半に、すべての種類のマイコトキシンが比較的低レベルで含まれていた。図 1 に示すように、1 ppm 未満のボミトキシンが含まれていたのは分析対象のトウモロコシサンプルの約 67% で、1~6 ppm のボミトキシンが含まれていたのは約 23% であった。DDGS サンプルでも同様のボミトキシン濃度分布が観察された（図 2）。ゼアラレノン濃度が 10~250 ppb であったのはトウモロコシサンプル全体の約 32% で、250~1,000 ppb の濃度のものは 5% に満たなかった（図 3）が、ラボに送られたすべての DDGS に 10~250 ppb のゼアラレノンが含まれていた（図 4）。分析するために送られたトウモロコシサンプルの大半（20% 未満）および DDGS サンプルの約 3 分の 1 のアフラトキシンのレベルは 2~5 ppb の範囲で、5 ppb を超えていたのはごく僅かであった（図 5 と 6）。最後に、

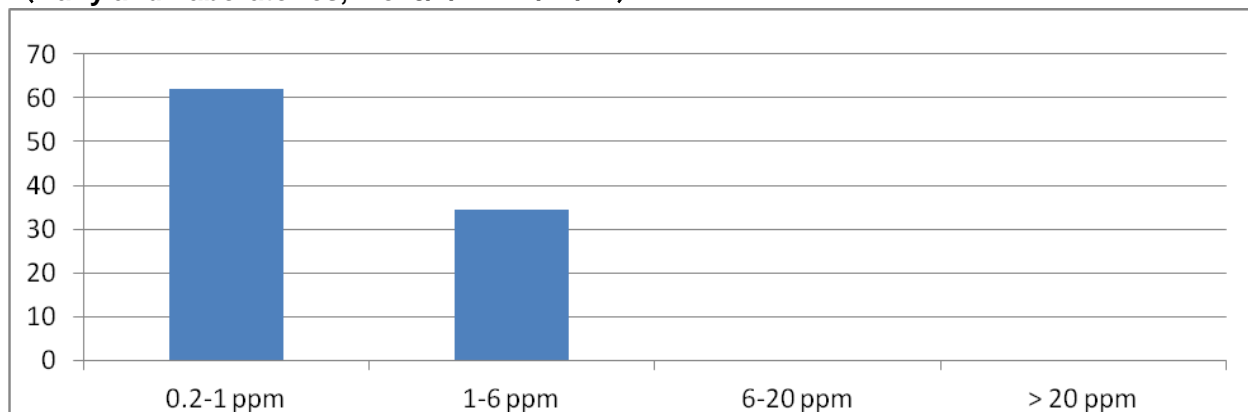
Dairyland Laboratories に送られたトウモロコシのサンプル（図 7）でも DDGS のサンプル（図 8）でも T-2 トキシンが検出されたが、サンプルの大半の T-2 トキシン濃度は 100 ppb 未満であった。こうした結果によって、2011 年に収穫されたトウモロコシには主としてボミトキシンが含まれているが、サンプルの大半でその濃度が 1 ppm 未満であるということが示されている。ゼアラレノン、アフラトキシンおよび T-2 トキシンの発生および濃度はトウモロコシサンプルでは比較的低い、DDGS サンプルではこうしたマイコトキシンの濃度は高く、検出可能なレベルとなっている割合が高い。

**図 1. ボミトキシン濃度レベル別のトウモロコシサンプルの割合 (%)**  
(Dairyland Laboratories, Inc. 8/1/11 -12/12/11)



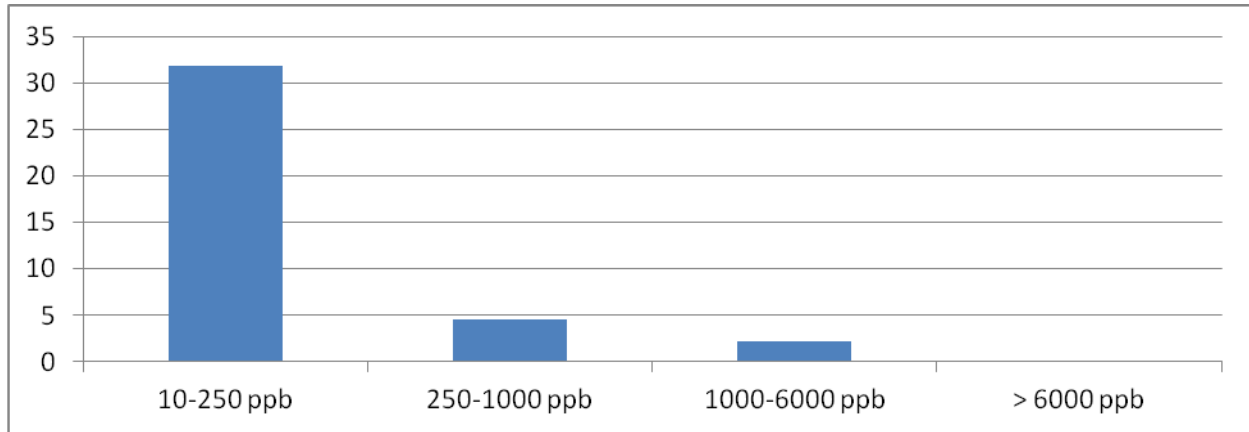
N = 111 サンプル

**図 2. ボミトキシン濃度レベル別の DDGS サンプルの割合 (%)**  
(Dairyland Laboratories, Inc. 8/1/11 -12/12/11)



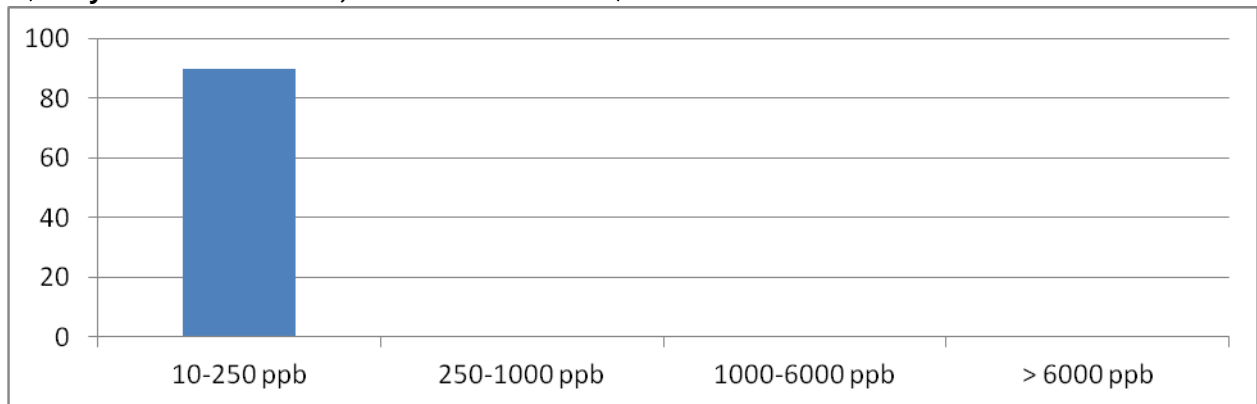
N = 58 サンプル

**図 3. ゼアラレノン濃度レベル別のトウモロコシサンプルの割合 (%)**  
(Dairyland Laboratories, Inc. (8/1/11-12/12/11))



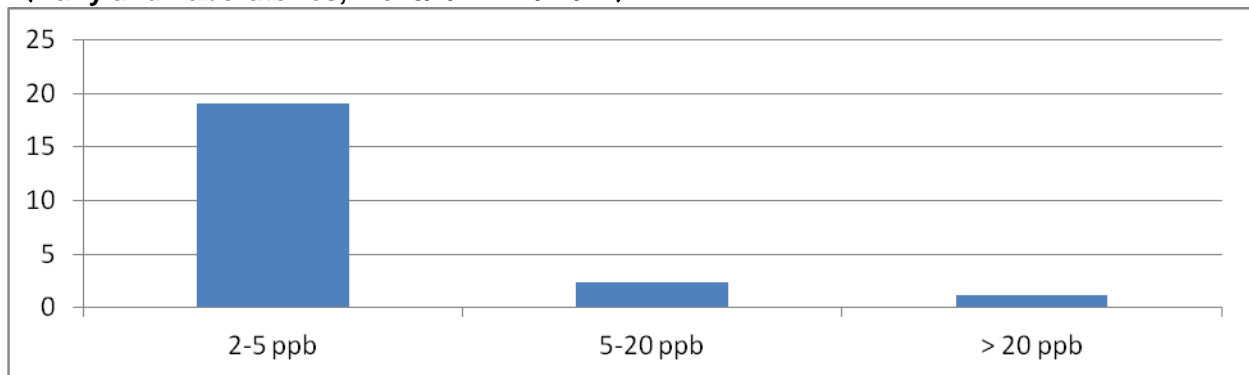
N = 88 サンプル

図 4. ゼアラレノン濃度レベル別の DDGS サンプルの割合 (%)  
(Dairyland Laboratories, Inc. 8/1/11 -12/12/11)



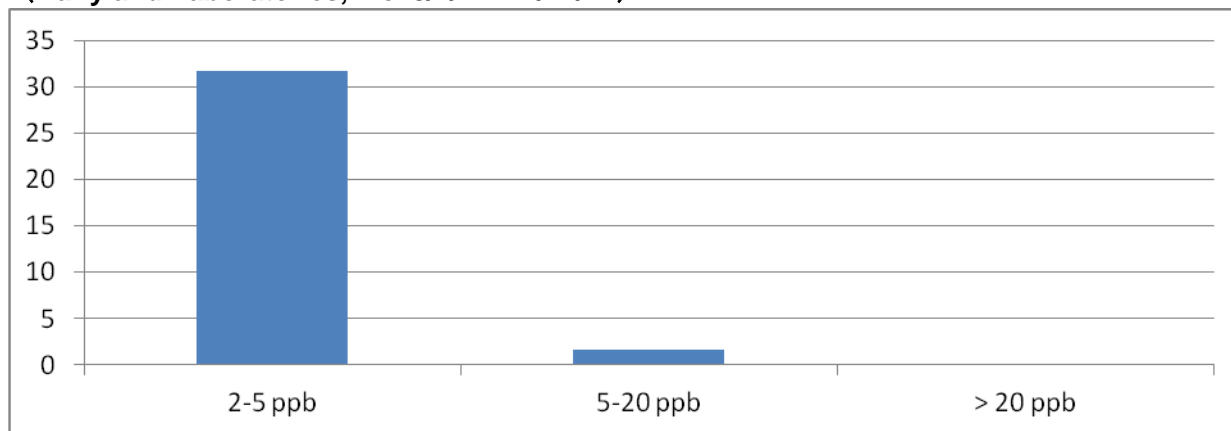
N = 29 サンプル

図 5. アフラトキシン濃度レベル別の トウモロコシ サンプルの割合 (%)  
(Dairyland Laboratories, Inc. 8/1/11 -12/12/11)



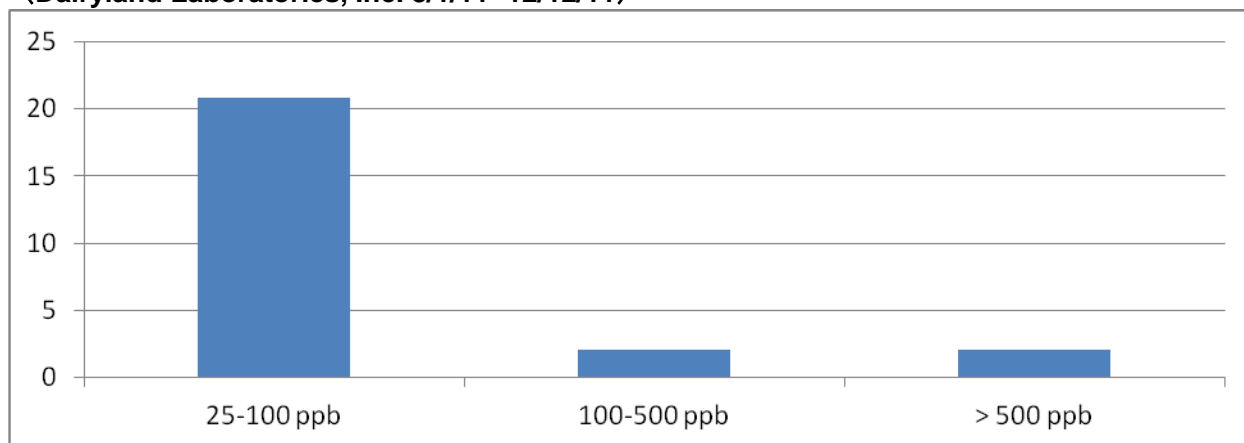
N = 84 サンプル

図 6. アフラトキシン濃度レベル別の DDGS サンプルの割合 (%)  
(Dairyland Laboratories, Inc. 8/1/11 -12/12/11)



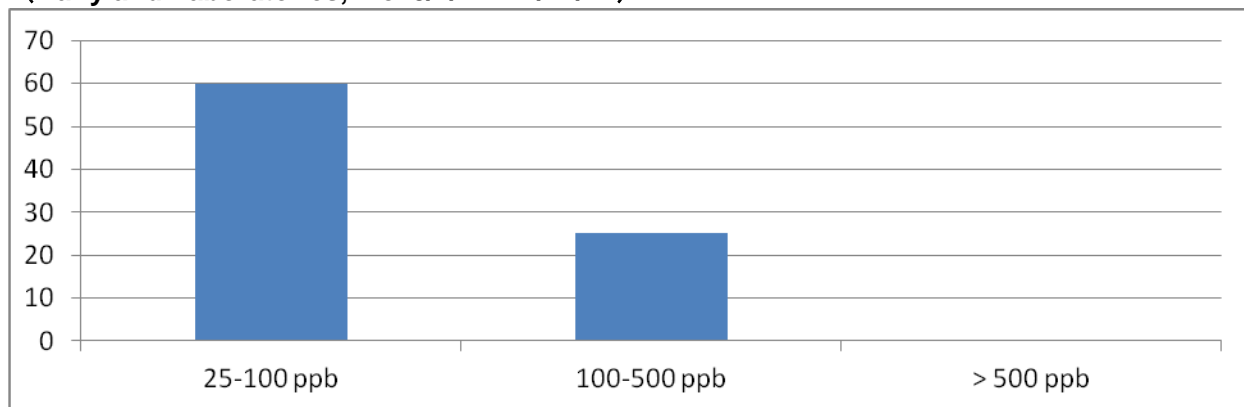
N = 60 サンプル

図 7 T-2 トキシン濃度レベル別の トウモロコシサンプルの割合 (%)  
(Dairyland Laboratories, Inc. 8/1/11 -12/12/11)



N = 48 サンプル

図 8. T-2 トキシン濃度レベル別の DDGS サンプルの割合 (%)  
(Dairyland Laboratories, Inc. 8/1/11 -12/12/11)



N = 20 サンプル

これとは別の調査で、Nutriquest社（アイオワ州メーソンシティ）は2011年12月から2012年1月にかけて12州83箇所のエタノールプラントから141のDDGSサンプルを入手・分析した（図9）。この調査では1箇所のエタノールプラントから入手するのは2サンプルを限度とした。このサンプルを用いてデオキシニバレノール（DON）およびゼアラレノンの分析が行われた。分析結果は、西部コーンベルトの値と比較して、DON濃度はネブラスカ州を除き米国東部コーンベルト（すなわち、オハイオ州、ニューヨーク州、ミシガン州およびインディアナ州）で最も高い結果となったCHS（表1）の報告と一致している（図10）。オハイオ州、ニューヨーク州、ミシガン州、インディアナ州およびネブラスカ州のDDGSサンプルから得られた平均値、標準偏差値およびDON濃度範囲と141全サンプルのそれぞれの平均値との比較を表2にまとめた。DON濃度が最も高かったのはほぼ17ppmあったオハイオ州で、この値はFDAの豚を対象とした場合の勧告レベルである5ppmを超えている。このため、オハイオ州のエタノールプラントのDDGSについては注意深くモニタリングする必要がある、そうしたDDGSを豚用の飼料として用いるのはできるだけ避けた方がよい。全体としてDONの平均濃度は1.34ppmであるため、大半の米国DDGS供給源のDDGSに含まれるDONの量は扱いやすいレベルであり、動物成績には最低限の影響しか及ぼさない。ゼアラレノンの濃度はDONのパターンと似通っており、西部コーンベルトの値と比較して、ネブラスカ州を除き米国東部コーンベルト（すなわち、オハイオ州、ニューヨーク州、ミシガン州およびインディアナ州）で最も高い値となっている（図11）。

図9. 2011年12月～2012年1月までに採取した州別DDGSサンプル数

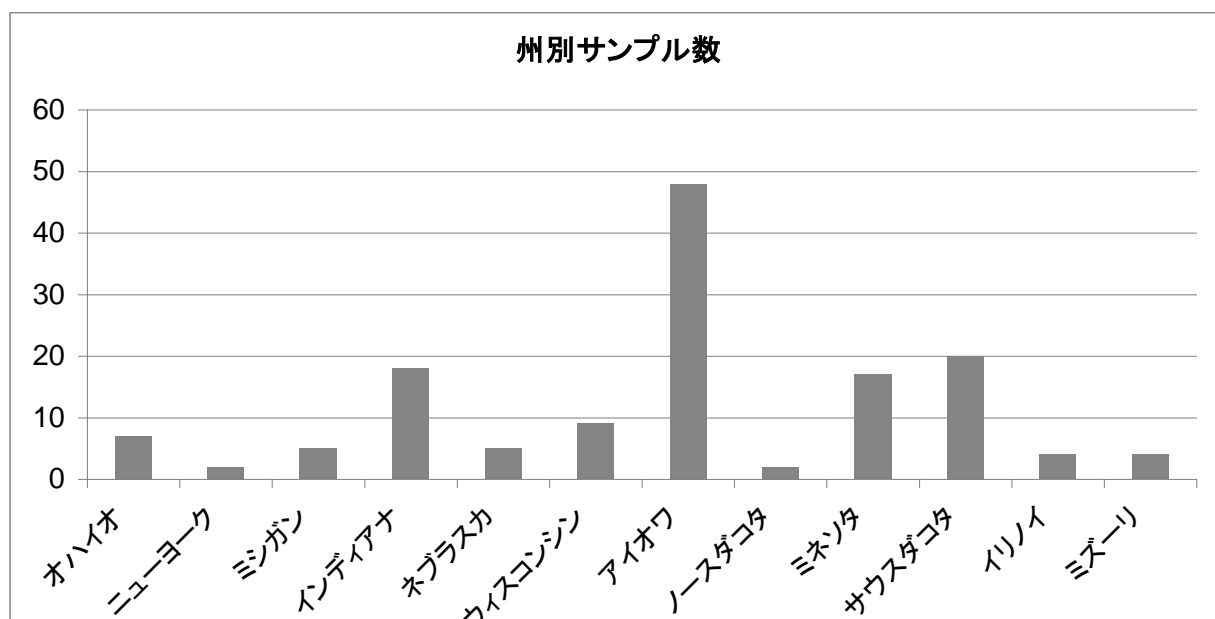


図 10. 12 州で採取された DDGS サンプルに含まれる DON の平均濃度（カッコ内は州別の採取・分析サンプル数）

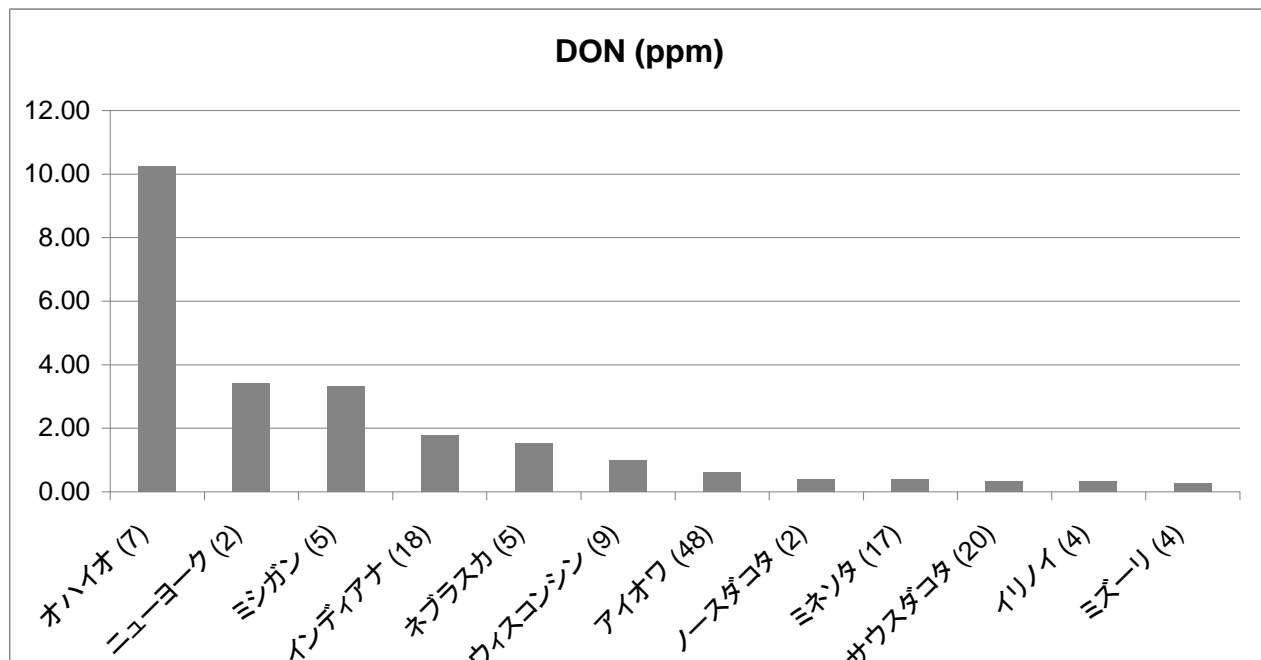
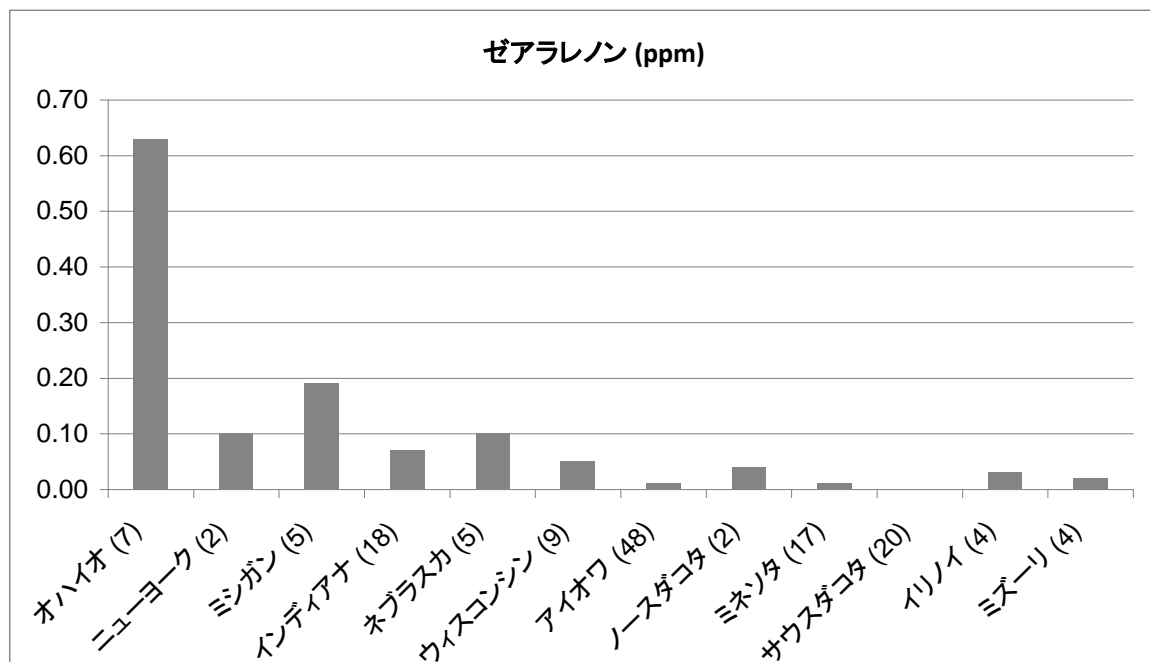


表 2. オハイオ州、ニューヨーク州、ミシガン州、インディアナ州、ネブラスカ州の DDGS サンプル中の DON 濃度の平均値、標準偏差値および濃度範囲と全 141 サンプル平均値との比較

項目	全	OH	NY	MI	IN	NE
サンプル数	141	7	2	5	18	5
平均	1.34	10.24	3.43	3.31	1.76	1.53
標準偏差	2.44	4.74	0.19	1.46	1.22	0.90
高	16.99	16.99	3.56	4.96	3.24	2.48
低	0.04	3.50	3.29	1.81	0.47	0.49

図 11. 12 州で採取した DDGS サンプルに含まれるゼアラレノンの平均濃度（カッコ内は州別の採取・分析サンプル数）

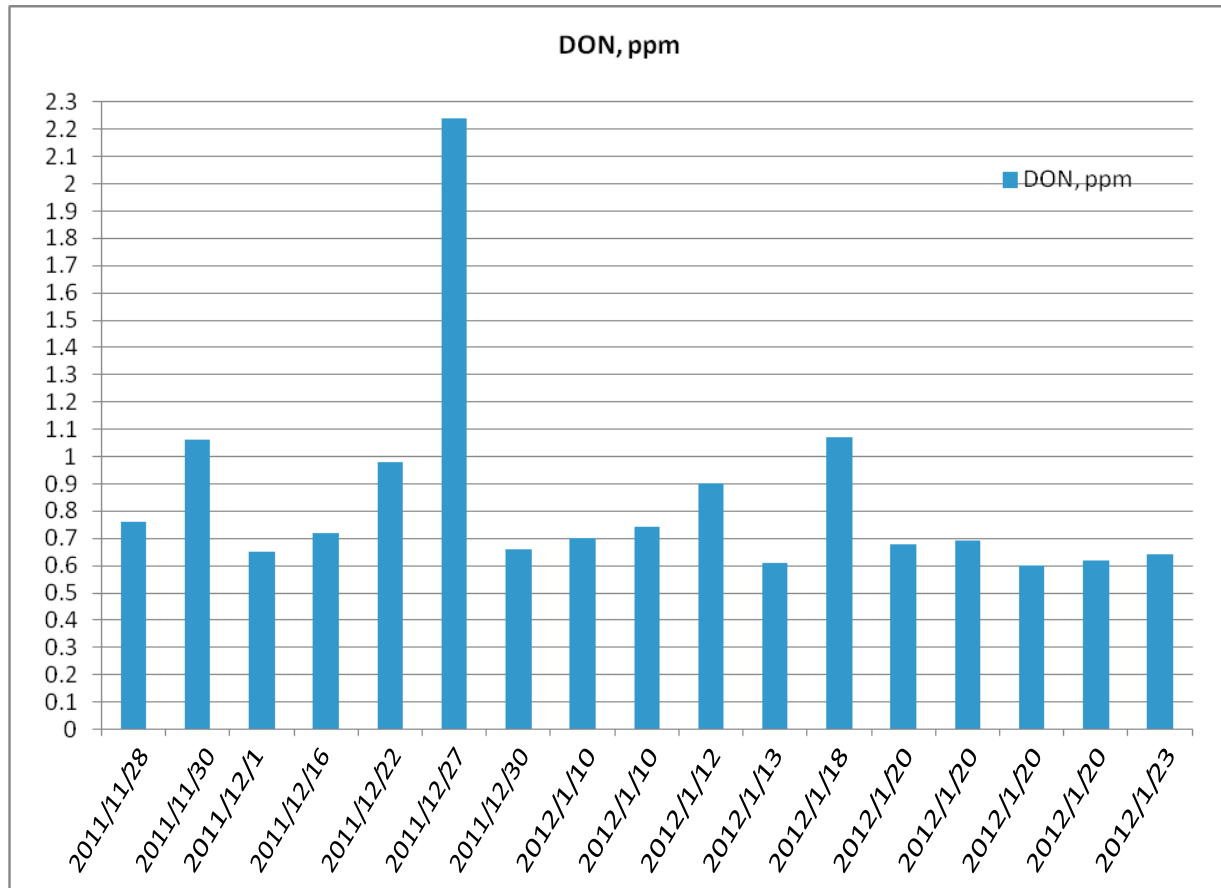


## 輸出 DDGS のボミトキシシン濃度

輸出用 DDGS のマイコトキシシンの発生および濃度に関するデータで利用可能なものは限られている。しかしながら、Cenex Harvest States により提供されたコンテナおよびはしけ内の DDGS サンプルのデータ（図 12）は、2011 年 11 月 28 日から 2012 年 1 月 23 日までの間のボミトキシシン濃度が概ね 1 ppm を下回っていたことを示している。ボミトキシシン濃度が 2 ppm をわずかに超えたのは 1 サンプルのみであった。5 ppb を超えるアフラトキシシンが検出されたサンプルはなかった。



図 12. 2011 年 11 月から 2012 年 1 月までの輸出用はしけおよびコンテナ積載 DDGS のボミトキシ  
ン (DON) 濃度



出典: Cenex Harvest States

## まとめ

米国コーンベルトの数州では、2011 年の生育条件および収穫条件がボミトキシ  
ン濃度が高かったものの、2012 年に製造された DDGS のほとんどについてボミトキシ  
ン濃度は 1 ppm を下回るようになると思われる。2012 年の DDGS サンプルの中にはゼアラレノン、アフラト  
キシ、T-2 トキシンを含むものも存在する可能性があるが、こうした種類のマイコトキシ  
ンが発生する頻度とその濃度は低い。

## References

- Caupert, J., Y. Zhang, P. Imerman, J.L. Richard, and G.C. Shurson. 2011. Mycotoxin Occurrence in DDGS. In: Distillers Grains: Production, Properties, and Utilization, CRC Press, New York, NY. p. 219-234.
- Zhang, Y., J. Caupert, J. Richard, P. Imerman and J. Shurson, 2009. Scientific overview of mycotoxins in DDGS. J. Agric. Food Chemistry 57:9828-9837.
- Zhang, Y., and J. Caupert. 2012. Survey of mycotoxins in U.S. distiller's dried grains with solubles from 2009 to 2011. J. Agric. Food Chem. (in press).