

11章: DDGS と飼料の安全性

はじめに

飼料の安全性は、家畜の健康と生産性に直接影響するだけでなく、人間が消費する畜産物の安全性にも直結しているため、食品安全システム全体に大きな影響を与えることになる。

飼料の汚染は、フード・チェーン全体に影響を与える可能性があり、何百万ドルもの損失とコストの増加をもたらす。さらに、消費者のパニックを引き起こし、食品の消費量が減少し、食品システム全体に対する消費者の信頼性を損なうことになる。また、疾病の発生や死、将来にわたる潜在的な健康リスクも起こり得る。すなわち、飼料の安全性は食品の安全性に直結する問題であり、「feed is food: 飼料は食品である」という概念につながっている。

私たちが暮らしているすべての国で飼料原料と食品の輸出入が行われている。しかし、飼料と食品の安全基準と規制は国によって大きく異なる。飼料および飼料原料は、有害な微生物学的、物理的および化学的な危害要因により汚染される可能性があり、サプライチェーンが世界的に広がっているため、たった一例の飼料汚染が広範囲に拡大する可能性がある。このため、飼料および食品のマーケティング、生産、流通が世界的に拡大すればするほど、飼料における有害物質の汚染の潜在的なリスクも増加することになる(Liu, 2011)。実際、一部の飼料原料の原産地についての透明性担保へのニーズに応じて、世界的な飼料市場における穀物と副産物の植物学および地理的な由来を識別するための分析方法の開発につながっている(Tres ら、2014; Tena ら、2015)。

飼料原料の供給者、買い手および飼料製造業者は、各国の規制当局による規制を遵守するだけでなく、飼料およびフード・チェーンのあらゆる側面において継続的な品質と安全性向上のためのプログラムの開発と実行が不可欠である。150 か国以上の先進的な飼料メーカーや畜産企業は ISO(国際標準化機構)規格を導入して、

より効率的かつ安全な製品の生産を行い、最終的にはより標準化された製品を消費者に提供している。ISO 規格を導入している企業では、規格を文書化し、内部監査を通じてコンプライアンスを確保すると同時に、外部監査機関による査察を受ける必要がある。さらに、先進的な飼料メーカーでは HACCP(ハザード分析および重要管理点)システムも導入している。これは、飼料および食品のサプライチェーンにおける製造、保管、流通のすべての段階で汚染を防止することを目指している。HACCP の開発と導入には、次の 7 つの原則がある。

1. 危害要因の分析
2. 重要な管理ポイントの特定
3. 潜在的な危害要因の制御のための製造プロセスの確立
4. 許容限界の設定
5. 監査手順と是正措置の確立
6. 記録の管理手順の確立
7. 検証手順の確立

食品安全管理システムは、ISO 9001 と HACCP の原則を組合わせて品質を管理し、飼料メーカー内で継続的な改善が行われるように設計する必要がある。これにより、食品への媒介性病原菌や新たな病原菌の汚染リスクを低減し、リスク管理によりブランド製品を保護することが出来る。

飼料および食品安全システムの導入とモニタリングは、多くの国で継続的な改良が行われている。米国では最近、消費者に対する食品由来の危険性をより少なくするために、さらに厳しい飼料の安全規制(DDGS の生産を含む)を採用している。2012 年 1 月、米国では Food Safety Modernization Act(FSMA、食品安全強化法)が制定され、FDA(米国食品医薬品局)における食品および飼料の安全規制に関する権限とその対象が大幅に拡大された(Brew and Toeniskoetter, 2012)。米国のエタノール工場を含む飼料生産施設は 2002 年以降 FDA への登録が義務付けられているが、FSMA により、食品または

飼料の安全上の理由により施設の登録を取消す権限が FDA に与えられた。さらに、FSMA では、無登録のままでの州間における商取引による食品や飼料の輸送を禁止している。この結果、FDA は、食品または飼料の安全性に関する重大な違反があった場合、販売を禁止してリコールを命じることが出来るようになった。FSMA では、エタノール工場に対して、生産する併産物のための HACCP の導入・実施を要求している。FSMA では、飼料製造業者は既知または潜在的な飼料安全上の危害要因を特定・評価して、予防管理手順を導入し、それらの手順を検証して、手順が機能していない場合は是正措置を講じ、システム全体が効果的に機能していることを定期的に検証する必要がある。これらの手順の文書化も必要であり、FDA では、これが順守されているかに関して各エタノール工場の査察を行っている。FSMA の制定により、米国産 DDGS が世界で最も厳しい飼料安全要件を満たしていることがより確実になった。

FSMA による規制の遵守に加えて、一部の米国のエタノール工場では、多くの輸出相手国の市場で行われている併産物に対する厳しい安全基準に適合するように GMP+(Good Manufacturing Practices) 認証を導入している。GMP+ の認証スキームは、飼料原料の汚染を含む様々な問題に対応するために、オランダにおいて 1992 年に開発されたもので、現在は、GMP+ International が多くの国際的な機関と共同して管理する国際的なプログラムとなっている。2013 年、GMP+ はさらに発展し、飼料の安全性に関する保証と飼料に関する責任保証が含まれるようになっている。

エタノール工場における GMP+ の導入は、飼料供給のすべての工程にわたる安全性に関する保証基準に準拠することにより、多くの国における先進的な配合飼料および畜産企業に DDGS を販売するためのライセンスとして必須となっている。さらに、食糧安全保障上で食品と競合する大豆や魚粉などの飼料原料の使用量低減と、環境への負荷を最小限に抑えることで、より責任ある方法で事業を展開している世界の飼料メーカーからの要求が高まっている。

幸いなことに、米国の DDGS における有害微生物、物理的および化学的な汚染物質のリスクは非常に低い。トウモロコシおよびトウモロコシ DDGS には、すべての穀

物および穀物を原料とした副産物に様々な濃度で含まれているフィチン態リンを除き、抗栄養因子は含んでいない。しかしながら、単胃動物における植物性飼料原料主体飼料に対するフィターゼの商業的な利用により、フィチン態リンの利用性の改善は費用対効果が高いことが示されている。

本章では、様々な畜種に対して DDGS を給与する際に考慮する必要がある潜在的な安全性に関する微生物学的、化学的および物理的な危害要因について概説している。懸念される潜在的な汚染物質は病原微生物、カビ毒、抗生物質残留物およびイオウであり、13 章、14 章、15 章および 19 章も参照されたい。

潜在的な微生物学的な危害要因

[飼料および飼料原料におけるコロナウイルス感染]

コロナウイルス (TGEV (豚伝染性胃腸炎ウイルス)、PDCoV (豚デルタコロナウイルス)、PEDV (豚流行性下痢ウイルス)) は、世界の養豚業に壊滅的な影響を及ぼした。これらのウイルスは糞中に排泄され、汚染された機器、ヒトやその他の媒介によって感染が拡大する可能性があり、豚に深刻な下痢、高い斃死率、罹患後の発育成績の低下を引き起こし、収益性を低下させる。PEDV は、2013 年に米国で壊滅的な影響を及ぼしたが、感染には飼料および飼料原料が関与している可能性が浮上したため、飼料から豚への感染を最小限に抑えるための戦略を明確にするために、飼料および飼料原料中でのコロナウイルスの生存性に関する調査が行われた。Dee ら (2015) は、PEDV の生存日数は飼料原料によって異なり、大豆粕で最も長く生き残るが、ホルムアルデヒドを主成分とした薬剤処理により、すべての飼料原料でウイルスが不活化された。同様に、Trudeau ら (2017) は、粗脂肪含量が異なる DDGS を含む様々な飼料原料における PEDV、TGEV、PDCoV の生存性を評価した (図 1)。PED ウイルスは大豆粕中で最も長く生存し、TGEV と PDCoV も他の飼料原料に比べて高い生存率を示した。興味深いことに、中程度の粗脂肪含量の DDGS (TGEV:

1.7 日、PEDV:7.3 日)に比べて粗脂肪含量が低いあるいは高い DDGS では、ウイルスの生存日数は非常に短かった(TGEV: 1.0 および 0.8 日、PEDV:0.7 および 0.6 日)。対照的に、PDCoV は、中程度の粗脂肪含量の DDGS、血粉、配合飼料、肉粉、血漿たん白に比べて、粗脂肪含量が低いあるいは高い DDGS ではより長く生存した。すべてのウイルスの DDGS 中での生存日数は、大豆粕に比べて著しく短く、DDGS での TGEV および PDCoV の生存日数はトウモロコシに比べてもはるかに短かった。これらの結果は、大豆粕が DDGS やその他の一般的な飼料原料よりも、飼料を介したコロナウイルス感染の大きなリスク要因ではないことを示唆している。残念ながら、鳥インフルエンザウイルスなどの他の病原体の飼料原料を介した伝染の可能性、または輸送および保管中の飼料原料中での生存の可能性については調査されていない。

[飼料および飼料原料中のサルモネラ感染]

DDGS におけるサルモネラ汚染に関するデータや当局による規制はないが、ヒトにおけるサルモネラ症の発生率低減を目的として、飼料にサルモネラ陰性の基準を設けることの実現可能性と有効性に関して、長期的な科学的議論が行われている(Davies ら、2004)。飼料中の

サルモネラの抑制による、食品を媒介したヒトのサルモネラ症のリスクに及ぼす影響の評価は困難である。飼料に対する規制導入を疑問視する要因としては、以下が考えられる。

- ・ 自家配農家が多数ある
- ・ 飼料の処理工程中での不完全な除染
- ・ 飼料工場における処理工程後の汚染
- ・ 飼料輸送中または農場での保管中の汚染
- ・ 飼料以外の多数な媒介の存在
- ・ 出荷後、屠殺までの間の感染
- ・ 畜産物となった後の汚染

[DDGS 給与時のサルモネラ、大腸菌 O157:H7 およびウェルシュ菌の排泄の潜在的なリスク]

家畜の消化管内には大腸菌(*E. coli*)O157:H7 とサルモネラが自然に存在する。これらは食品由来の病原体であり、家畜の糞便由来で食品が汚染され、ヒトに疾病を引き起こす可能性がある。肉用牛に対して DDGS を給与した場合、一般的に *E. coli* O157:H7 排泄率が低いことを示す一連の研究が Jacob ら(2008a, b, c)によって行われている。他の研究(Peterson ら、2007; Nagaraja ら、2008)でも、肉牛では *E. coli* が排泄されるが、DDGS の給

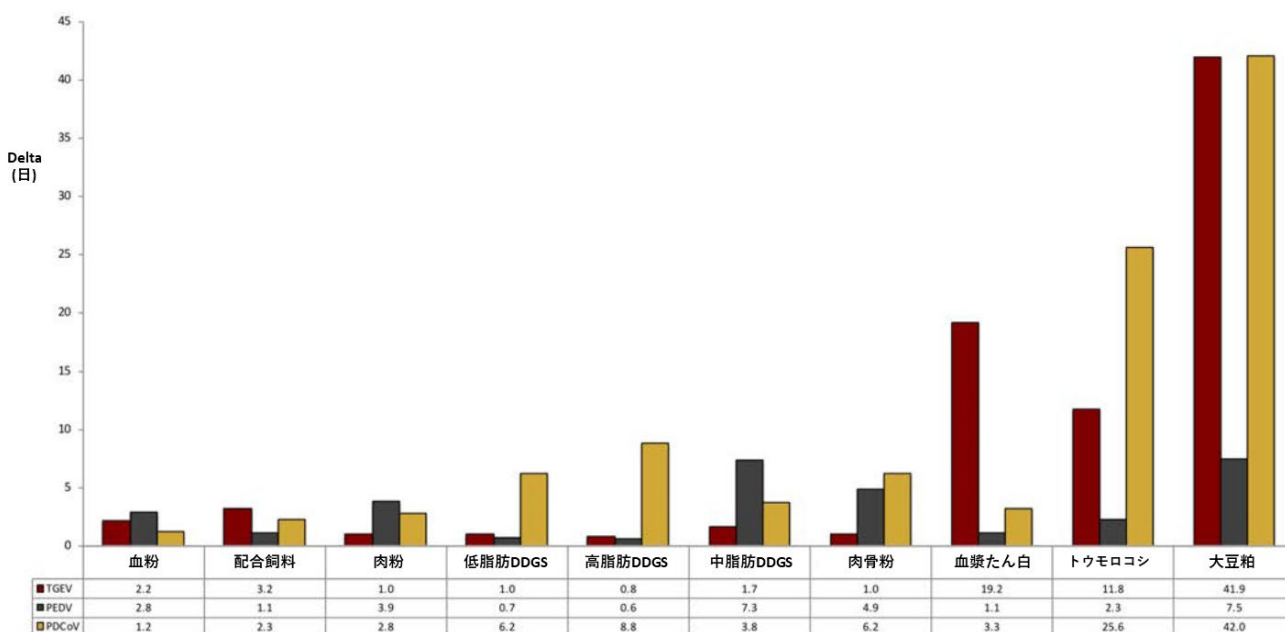


図 1. コロナウイルス(TGEV:豚伝染性胃腸炎ウイルス)、PDCoV:豚デルタコロナウイルス)、PEDV:豚流行性下痢ウイルス)の配合飼料および一般的な飼料原料中での生存日数(Trudeau ら 2017)

与量を高めても排泄状況への影響はなかった。さらに、DDGSとドライ・ロール・コーンとの間で *E.coli* O157:H7 またはサルモネラの排泄率には差はなかった(Jacob ら、2009)。これらの結果は、DDGS の給与による *E.coli* O157:H7 やサルモネラ排泄量の増加のリスクは非常に少ないことを示している。成長期の豚に DDGS を配合した飼料を給与しても、ネズミチフス菌の感受性やコロニー形成には影響がないことが示されており(Rostagno ら、2013)、ブロイラーに DDGS を配合した飼料を給与しても、盲腸内容物におけるウェルシュ菌および *E. coli* 数には影響がないことを示されている(Loar ら、2010)。これらの結果は、肉牛、豚、ブロイラーへの DDGS の給与が食肉由来の病原菌の食肉製品への伝染リスクの増加と関連しているとしても、そのリスクは非常に少ないものと思われる。

[カビ毒]

DDGS 由来の飼料安全に関するリスクの中で、カビ毒汚染の可能性が最大の懸念事項であると思われる。カビ毒は、真菌の生育により保管中の特定の環境条件下で産生される。発がん性等、食品安全上の観点から、FDA によって規制値が設定されているのはアトキシンのみであるが、飼料原料中に高濃度の様々なカビ毒が含まれている場合、栄養素の利用性、免疫機能およびその他のいくつかの有害な生理機能に影響を及ぼし、家畜の健康と発育成績に悪影響を及ぼす可能性がある。一般に、豚や家禽は反芻動物に比べてもカビ毒への感受性が高く、幼動物は成長が進んだ動物より感受性が高い。カビ毒は特定の菌株によって産生されるが、飼料原料のカビ数を測定してもカビ毒の存在やその濃度を把握することは出来ない。

トウモロコシや他の穀物および DDGS におけるカビ毒の汚染率と濃度は、原産国によって異なっている(Biomin、2014)。米国産 DDGS のカビ毒の汚染率と濃度は、中国産の飼料原料に比べてはるかに低い(Biomin、2014; Guan ら、2011; Li、2014)。米国産 DDGS のカビ毒汚染に関する広範囲な調査が Zhang ら(2009)および Khatibi ら(2014)により行われており、DDGS における様々なカビ毒の濃度は、現在設けられているガイドライ

ンによる規制値に比べて比較的低いことが示している。Zhang ら(2009)は、2006 年から 2008 年までに米国のエタノール工場 20 カ所から収集した DDGS 235 試料と、輸出用のコンテナから収集した DDGS 23 試料の分析を行った結果を、以下のとおり報告している。

1. すべての試料のアフラトキシンおよびデオキシニバレノール含有量は、飼料での使用に関する FDA によるガイドラインの値以下だった。
2. 全体の 10%において、フモニシンに最も敏感な種であるウマおよびウサギ用飼料での推奨最大濃度を超えるフモニシンが検出されたが、これらを含むすべての試料中のフモニシン濃度は乳製品、牛肉、豚、家禽および養殖水産動物用飼料における FDA のガイドライン値以下だった。
3. すべての試料で、T-2トキシンは検出限界以下であり、ゼアラレノンもほとんどの試料で検出限界以下だった。
4. 輸出用コンテナ内でのカビ毒濃度の増加はなかった。

最近、Khatibi ら(2014)は、様々なトリコテセンの存在と濃度について、米国の 12 州にあるエタノール工場 78 カ所からトウモロコシ DDGS 141 試料を収集して分析し、2011 年にはトウモロコシの栽培期間中に悪天候に見舞われたため、フザリウム属のカビ毒の汚染率が非常に高かったことを報告している。このような極端なケースにおいても、収集した試料の 69%ではデオキシニバレノールは検出限界以下であり、FDA の豚における勧告値を超えていたものは 5%のみであった。また、ゼアラレノンも 19%で検出されたのみであった。これらの結果は、トウモロコシ DDGS にはカビ毒が存在する可能性があるものの、米国産 DDGS における汚染率と濃度は、中国産 DDGS よりもはるかに低い。したがって、その製造地域と栽培年におけるトウモロコシのカビ毒の発生率と濃度に応じて、配合割合を勘案することで、全給与飼料中でのカビ毒濃度が推奨レベルを超えるリスクを最小限に抑えることができる。

潜在的な化学的有害要因

[抗生物質の残留]

エタノール生産における発酵中の微生物汚染を制御するために、少量ではあるが、数種類の抗生物質が使用されることがある。FDA は、エタノール生産に際に使用する抗生物質の使用を規制しておらず、主に使用されているバージニアマイシンは GRAS (Generally Recognized As Safe: 一般に安全と認められる) 物質と認定されている。米国および EU では、発育促進目的での抗生物質の使用は認められておらず、これ以外の国でも畜産分野での使用量は減少している。抗生物質の使用による主なリスクは、肉、乳、卵への残留の潜在的な懸念と、家畜およびヒトにおける薬剤耐性菌の出現である。FDA は、多成分分析法 (de Alwis and Heller, 2010; Kaklamanos ら, 2013) を用いた DDGS 中の抗生物質の検出と濃度に関する調査を行っているが、その結果は公表されていない。一部の抗生物質 (たとえば、バージニアマイシン) の残留は、バイオアッセイを使用しのみ正確に定量化できるため、分析手順の選択は非常に重要となる。

米国の 9 つの州にあるエタノール工場 43 カ所から四半期ごとに収集した DDGS 159 試料からの抗生物質の検出率、濃度および生物活性に関して報告されたのは 1 報のみである (Paulus-Compart ら, 2013)。この報告では、全試料の 13% で低濃度の抗生物質 (1.12 mg/kg 未満) が含まれていたが、バイオアッセイを行った結果、*E. coli* の発育を阻害したものは 1 試料だけだった。このことは、DDGS から抗生物質の残留物が検出される可能性は非常に低く、たとえ検出された場合でも、生物学的な活性が残存しているリスクは非常に少ないものと思われる。この調査が行われて以降、エタノール生産における抗生物質の使用は大幅に減少している。これは、発酵工程での微生物汚染を制御するための衛生改善と、非抗生物質添加剤の利用の拡大によるもので、実際に、一部のエタノール工場では、現在、抗生物質を含まない DDGS を製造している。

[ダイオキシン]

DDGS の潜在的なダイオキシン汚染に関する調査は行われておらず、規制も設けられていない。ダイオキシンは、210 以上の異なる化合物のグループであり、環境

のいたる所に存在している。これらの化合物のうち、毒性の懸念があるのは 17 種類であり、いずれも、意図的に生成されたものではないことから、それらを単純に禁止することはできない。ダイオキシンは化学的なプロセス中で副産物として発生する非水溶性で、脂溶性の物質であり、生分解性がないことから、フード・チェーン内で蓄積する可能性がある。柑橘類の残渣とカオリン質粘土ではダイオキシンの最大濃度基準が設けられており、ダイオキシン汚染がある最も一般的な飼料原料は魚油と魚粉である。動物性油脂にもダイオキシンが含まれている可能性があるが、穀物や種子、乳製品副産物、肉骨粉におけるダイオキシン汚染例は少ない。

[遺伝子組換えトウモロコシ (GM)]

米国とは異なり、いくつかの国では遺伝子組換え (GM) 作物の安全性に懸念を抱いており、その結果、すべてではないにしても、一部の GM 穀物と副産物の生産または輸入を禁止または制限している。世界の多くの国では、食料安全保障のために家畜への給与制限が設けられているが、これには引き続き議論がなされる余地がある。2015 年には、米国内のトウモロコシ耕作地の約 92% で GM 品種が作付けされている (USDA-NASS, 2015)。したがって、米国産のトウモロコシ DDGS の大部分は、原料として GM 品種が使用されていることになる。

米国では、トウモロコシと大豆を含む 19 の作物で 165 以上の遺伝子組換え品種が承認され (James, 2013)、すべてが FDA による包括的な安全リスク評価を受けており、過去 20 年間に FDA および日本の規制当局によって評価されたすべての遺伝子組換え品種は、従来の品種と同等の安全性を持つことが示されている (Herman and Price, 2013)。さらに、コーデックス委員会 (www.codexalimentarius.org) による国際的なガイドラインが、遺伝子組換え生物のリスク評価に使用されている。

GM 作物が安全であるという科学的証拠は多く、バイオテクノロジー情報評議会は「FDA は、バイオテクノロジー食品および作物は非バイオテクノロジー食品と同様に安全であるとしている。アメリカ医師会、アメリカ栄養士協会および全米科学アカデミーも、バイオテクノロジー食品は人間および家畜にとって安全であるとしている。さらに、遺伝子組換え食品が 1996 年に米国市場に導入され

て以来、この摂取が原因でヒトや家畜に疾病が発生した事例はない。バイオテクノロジー食品と作物が安全であると結論付けている国際的なグループには、上記のほかに、FAO(国連食糧農業機関)、WHO(世界保健機関)、ISCU(国際科学会議)、フランス食品庁および英国医師会がある。EFSA(欧州食品安全機関)もまた、いくつかのバイオテクノロジー品種がヒトや家畜にとって安全であることを確認している。」としている。フード・チェーンにおける GM 作物の安全性の詳細な分析に関する関連リンクは、以下のとおりである。

- アメリカ栄養士協会: 農業および食品バイオテクノロジー (<http://downloadjournals.elsevierhealth.com/pdfs/journals / 0002-8223 / PIIS0002822305021097.pdf>)
- WHO: 現代の食品バイオテクノロジー、ヒトの健康と開発: 証拠に基づく研究 (http://www.who.int/foodsafety/publications/biotech/biotech_en.pdf)
- 国連: 人の健康と環境への影響 (<http://www.fao.org/newsroom/en/news/2004/41714/index.html>)
- 全米科学アカデミー: 遺伝子組換え食品の安全性 (http://books.nap.edu/catalog/10977.html?onpi_newsdoc07272004)

家畜は、15 年以上にわたって遺伝子組換え作物とその副産物の 70~90%を摂取している(Flachowsky ら、2012)。最近の包括的なレビュー(van Eenennaam and Young、2014 年)では、遺伝子組換え作物とその副産物を給与した 1,000 億を超える家畜からのデータを分析し、家畜の健康と生産性への悪影響を示す証拠はないとしている。残念なことに、悪影響がないにもかかわらず、一部の国では、米国産トウモロコシと DDGS の飼料としての輸入と使用に対して貿易障壁と輸入制限を設けている。

潜在的な物理的危害要因

DDGS の物理的な汚染物質のリスクは非常に低い。穀物と飼料原料に含まれる最も一般的な物理的汚染は、石、金属、ガラス、木材、プラスチックの破片等の異物の混入である。物理的な危害要因は、食品の「固いまたは

尖った」または「窒息」の危険性として分類されている。農業生産および積込み施設には、飼料原料を意図せずに汚染する可能性がある砂利や石が存在している。コンベアや積載装置の金属同士の接触により、摩耗による金属の破片が生じる可能性があり、これらは輸送用コンテナやビンの中で発見されることがある。ガラスやプラスチック製の容器を使用して材料を保管する施設では、これらの破片が飼料原料に混入する可能性もある。これらの潜在的な危害要因のすべては一般的なものではないが、飼料原料の生産、積込み、輸送に使用される設備やその工程中で発生する可能性がある。

引用文献

- Biomin. 2014. Mycotoxins: Science and solutions. *Biomin magazine*, April, 2014.
- Brew, S. and S. Toeniskoetter. 2012. FDA Has No Jurisdiction Here – Or Does It? *Ethanol Producer Magazine*, April, 2012, p. 20.
- Davies, P.R., H.S. Hurd, J.A. Funk, P.J. Fedorka-Cray, and F.T. Jones. 2004. Review: The role of contaminated feed in the epidemiology and control of *Salmonella enteric* in pork production. *Foodborne Pathogens and Disease* 1:202-215.
- de Alwis, H., and D.N. Heller. 2010. Multiclass, multiresidue method for the detection of antibiotic residues in distillers grains by liquid chromatography and ion trap tandem mass spectrometry. *J. Chromatogr. A* 1217:3076-3084.
- Dee, S. C. Neill, T. Clement, A. Singrey, J. Christopher-Hennings, and E. Nelson. 2015. An evaluation of porcine epidemic diarrhea virus survival in individual feed ingredients in the presence or absence of a liquid antimicrobial. *Porcine Health Mgmt.* 1:9.
- Flachowsky, G., H. Schafft, and U. Meyer. 2012. Animal feeding studies for nutritional and safety assessments of feeds from genetically modified plants: A review. *J. Verbraucherschutz Lebensmittelsicherh.* 7:179-194.

- Guan, S., M. Gong, Y.L. Yin, R.L. Huang, Z. Ruan, T. Zhao, and M.-Y. Xie. 2011. Occurrence of mycotoxins in feeds and feed ingredients in China. *J. Food Ag. Env.* 9:163–167.
- Herman, R.A., and W.D. Price. 2013. Unintended compositional changes in genetically modified (GM) crops: 20 years of research. *J. Agric. Food Chem.* 61: 11695–11701.
- Jacob, M.E., J.T. Fox, J.S. Drouillard, D.G. Renter, and T.G. Nagaraja. 2009. Evaluation of feeding dried distillers grains with solubles and dry-rolled corn and the fecal prevalence of *Escherichia coli* O157:H7 and *Salmonella* spp. in cattle. *Foodborne Pathogens and Disease* 6:145–153.
- Jacob, M.E., J.T. Fox, J.S. Drouillard, D.G. Renter, and T.G. Nagaraja TG. 2008a. Effects of dried distillers' grain on fecal prevalence and growth of *Escherichia coli* O157 in batch culture fermentations from cattle. *Appl. Environ. Microbiol.* 74:38–43.
- Jacob, M.E., G.L. Parsons, M.K. Shelor, J.T. Fox, J.S. Drouillard, D.U. Thomson, D.G. Renter, and T.G. Nagaraja. 2008b. Feeding supplemental dried distillers grain increases fecal shedding of *Escherichia coli* O157 in experimentally inoculated calves. *Zoonoses Public Health* 55:125–132.
- Jacob, M.E., J.T. Fox, S.K. Narayanan, J.S. Drouillard, D.G. Renter, and T.G. Nagaraja. 2008c. Effects of feeding wet corn distillers grains with solubles with or without monensin and tylosin on the prevalence and antimicrobial susceptibilities of fecal food-borne pathogenic and commensal bacteria in feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 86:1182–1190.
- James, C. 2013. Global status of commercialized biotech/GM crops. The International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications (ISAAA) brief no. 46. ISAAA, Ithaca, NY.
- Kaklamanos, G., U. Vincent, and C. von Holst. 2013. Multi-residue method for the detection of veterinary drugs in distillers grains by liquid chromatography–Orbitrap high resolution mass spectrometry. *Chromatography A* <http://dx.doi.org/10.1016/j.chroma.2013.10.079>.
- Khatibi, P.A., N.J. McMaster, R. Musser, and D.G. Schmale III. 2014. Survey of mycotoxins in corn distillers' dried grains with solubles from seventy-eight ethanol plants in twelve states in the U.S. in 2011. *Toxins* 6:1155–1168.
- Li, X., L. Zhao, L.Y. Fan, Y. Jia, L. Sun, S. Ma, C. Ji, Q. Ma, and J. Zhang. 2014. Occurrence of mycotoxins in feed ingredients and complete feeds obtained from the Beijing region of China. *J. Anim. Sci. Biotech.* 5:37–45.
- Liu, K. 2011. Chemical composition of distillers grains, a review. *J. Agric. Food Chem.* 59:1508–1526.
- Loar, R.E., J.S. Moritz, J.R. Donaldson, and A. Corzo. 2010. Effects of feeding distillers dried grains with solubles to broilers from 0 to 28 days posthatch on broiler performance, feed manufacturing efficiency, and selected intestinal characteristics. *Poult. Sci.* 89:2242–2250.
- Nagaraja, T.G., J. Drouillard, D. Renter, and S. Narayanan. 2008. Distillers grains and food-borne pathogens in cattle: Interaction and intervention. *KLA News & Market Report* Vol. 33, No. 35.
- Paulus Compart, D.M., A.M. Carlson, G.I. Crawford, R.C. Fink, F. Diez-Gonzalez, A. Dicostanzo, and G.C. Shurson. 2013. Presence and biological activity of antibiotics used in fuel ethanol and corn co-product production. *J. Anim. Sci.* 91:2395–2404.
- Peterson, R.E., T.J. Klopfenstein, R.A. Moxley, G.E. Erickson, S. Hinckley, G. Bretschneider, E.M. Berberov, D. Rogan, and D.R. Smith. 2007. Effect of a vaccine product containing type III secreted proteins on the probability of *E. coli* O157:H7 fecal shedding and mucosal colonization in feedlot cattle. *J. Food Protection* 70:2568–2577.
- Rostagno M.H., B.T. Richert, L.V.C. Girao, G.M. Preis, L.J. Lara, A.F. Amaral, A.D.B. Melo, and A. Jones. 2013. Do dried distillers grains with solubles affect the occurrence of *Salmonella enterica* colonization

- n in pigs? *J. Anim. Sci.* 91(E-Suppl. 2):699.
- Tena, N., A. Boix, and C. von Holst. 2015. Identification of botanical and geographical origin of distillers dried grains with solubles by near infrared microscopy. *Food Control* 54:103–110.
- Tres, A., S.P. Heenan, and S. van Ruth. 2014. Authentication of dried distilled grains with solubles (DDGS) by fatty acid and volatile profiling. *LWT – Food Sci. Tech.* 59:215–221.
- Trudeau, M.P., H. Verma, F. Sampedro, P.E. Urriola, G. C. Shurson, and S.M. Goyal. 2017. Environmental persistence of porcine coronaviruses in feed and feed ingredients. *PLoS ONE* 12:e0178094. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0178094>.
- USDA National Agricultural Statistics Service. 2015. Acreage. USDA. <http://usda.mannlib.cornell.edu/usda/current/Acre/Acre-06-30-2015.pdf> (Accessed November 3, 2017)
- van Eenennaam, A.L., and A.E. Young. 2014. Prevalence and impacts of genetically engineered feedstuffs on livestock populations. *J. Anim. Sci.* 92:4255–4278.
- Zhang, Y., J. Caupert, P.M. Imerman, J.L. Richard, and G.C. Shurson. 2009. The occurrence and concentration of mycotoxins in U.S. distillers dried grains with solubles. *J. Agric. Food Chem.* 57:9828–9837.