



U.S. GRAINS
COUNCIL



2019/2020
トウモロコシ収穫時
品質レポート



これほど広範で大規模な報告書を、時宜を得て作成するには、多くの個人や団体の協力が欠かせません。本報告書の作成にあたって監修および調整の労をお取り頂いたセントレック・コンサルティング・グループ LLC (Centrec) のスティーブ・ホフティング氏、リー・シングレトン氏、リサ・エッケル氏およびアレックス・ハーベイ氏に対し、アメリカ穀物協会（当協会）は感謝の意を表します。彼らの分析や報告書作成の作業にはエキスパートチームの力添えを頂きました。外部チームのメンバーにはトム・ホイテーカー博士、ローウェル・ヒル博士、マービン・R・ポールセン博士およびフレッド・ベロー博士が含まれます。さらに、当協会はトウモロコシの品質検査の担当機関であるイリノイ州穀物改良協会の分別流通管理穀物研究所（IPG ラボ）とシャンペーン-ダンビル穀物検査（CDGI）に感謝いたします。

最後になりましたが、全米各地域の穀物エレベーター業者の皆さんの思慮深い時宜にかなった協力なくして、本報告書は作成し得ませんでした。収穫期という繁忙期に、試料の収集および提供にお時間を割いてご尽力頂き心よりお礼申し上げます。



1	アメリカ穀物協会からのご挨拶	
2	収穫時品質のハイライト	
4	はじめに	
6	品質試験結果	
	A. 等級ファクター	6
	B. 水分含量	17
	C. 化学組成	20
	D. 物理的ファクター	28
	E. マイコトキシン	43
51	作柄と気象条件	
	A. 2019年収穫ハイライト	51
	B. 作付と初期生育条件	52
	C. 受粉および登熟の状況	54
	D. 収穫の状況	56
	E. 2018年、2017年および5年平均と比較した場合の2019年	58
60	米国産トウモロコシの生産量、消費量および見通し	
	A. 米国産トウモロコシの生産量	60
	B. 米国産トウモロコシの消費量および最終在庫量	62
	C. 見通し	62
65	調査および統計分析の方法	
	A. 概要	65
	B. 調査設計とサンプリング	66
	C. 統計分析	68
69	試験分析法	
	A. 等級ファクター	69
	B. 水分含量	70
	C. 化学組成	70
	D. 物理的ファクター	71
	E. マイコトキシン験	73
74	推移の検討	
	A. 等級ファクターと水分含量	74
	B. 化学組成	75
	C. 物理的ファクター	76
	D. マイコトキシン	77
78	米国産トウモロコシの等級、換算表および略語	
BC	USGC 連絡先情報	

アメリカ穀物協会（USGC）は本書2019/2020年トウモロコシ収穫時品質報告書において、9回目の年次品質調査結果をご報告いたします。

取引を通じた世界の食糧安全保障および相互の経済的恩恵を促進するための取組の一環として、当協会は本報告書を作成し、信頼性の高い情報を適時に提供することで、バイヤーの皆様が最新の米国産トウモロコシの品質に関する十分な情報を得た上で意思決定を行えるよう支援し、引き続き取引拡大を促進していきます。

4月と5月は雨の多い気象条件であったため、2019年の生育期間は遅い作付で始まりました。トウモロコシの50%が作付された日を基準にすると、今年度は過去40年の中で最も作付が遅れた年となりました。これを除くと生育期間は全体的に望ましい条件に恵まれましたが、過去3年のそれぞれの成績と比較して平均収量が低下することが予測されています。作付の遅れに加えて10月の多雨という気象条件の影響を受けて、収穫も遅れることになりました。近年の記録を思い起こしても、50%収穫基準日が2019年のトウモロコシより遅れたのは1992年と2009年だけです。

こうした悪条件にも関わらず、当協会では、今年度の米国産トウモロコシが歴代第6位の3億4700万メートルトン（136億6100万ブッシェル）になると予測しています。今年度は米国史上3大収穫量および単収に続く値となります。このように収穫量の多い年が続いてきたお陰で、米国は依然として世界有数のトウモロコシ輸出国であり、その輸出量は市場年度で世界のトウモロコシ輸出量の28.1パーセントを占めるものと予測されます。

2019/2020年トウモロコシ収穫時品質報告書は、世界の流通経路に投入される今年度の米国産トウモロコシの収穫時の品質についての情報を提供するものです。

バイヤーの皆様にご確認いただくトウモロコシの品質は、今後の取扱い、ブレンドおよび保管条件の影響を受けることとなります。当協会が作成する報告書の第二弾、「2019/2020年トウモロコシ輸出貨物品質報告書」は海外出荷の積み地である輸出ターミナルでのトウモロコシの品質を分析するもので、2020年初頭に発行が予定されています。

当協会の一連の品質報告書は透明性の高い一貫した方法を採用しているため、全対象期間を通し見識に富んだ比較ができるようになります。こうした比較によってバイヤーの皆様は十分な情報に基づいた意思決定を行うことができ、米国のトウモロコシ市場の力と信頼性に確信をもっていただくことができるようになります。

米国産トウモロコシの品質に関して正確かつ時宜にかなった知見を提供する本報告書をお届けすることは、当協会の重要な取引パートナーの皆さまに対するサービスのひとつであり、市場を開拓し、貿易を可能にし、生活を向上させるという当協会のミッションを遂行するための業務のひとつでもあります。



ダレン・アームストロング
アメリカ穀物協会会長
2019年12月

2019年トウモロコシの全体的な品質は作付の遅れや成熟・登熟の遅れ、さらに収穫条件が整うのが遅れたことの影響を受けており、こうした影響はトウモロコシ水分含量の上昇、密度の低下という結果に反映されています。水分が多いため熱風乾燥の必要性が増大し、ストレスクラックの可能性を高めることとなりました。

アメリカ穀物協会が2019/2020トウモロコシ収穫時品質報告書(2019/2020収穫時レポート)のために試験した代表的なサンプルの品質についての米国集計平均は、米国No.1等級トウモロコシに求められる等級ファクター要件を上回っていますが、これは品質の良い2019年米国产トウモロコシが豊富に流通経路に向かうことを示唆しています。

この報告によると、サンプルの54.6%が米国No.1等級に求められる等級ファクター要件を満たしており、81.7%が米国No.2等級トウモロコシの等級ファクター要件を満たしています。

過去5年のトウモロコシの各品質ファクターの平均値と比較して(5YA¹)、流通経路に向かう2019年米国产トウモロコシの平均値は容積重、完全粒およびタンパク質濃度が低く、破損粒&異物(BCFM)、水分含量、総損傷、ストレスクラックおよび油分濃度が高くなっています。2019年トウモロコシの主要な収穫結果のハイライトを次に記載します。

等級ファクターおよび水分含量

- **容積重**は1ブッシェル当たり57.3ポンド(lb/bu) (1ヘクトリットル当たり73.8キログラム(kg/hl))で、2018年および5YAを下回る。サンプルの89.9%が米国No.2等級の最低要件を上回るが、この割合はそれぞれ98.2%と99.9%が米国No.2等級の最低要件と同じかまたはそれを上回った2018年および2017年に及ばない。
- **BCFM**平均値(1.0%)は2018年および5YAを上回る。この平均値は過去年の値を上回るものの、96.8%のサンプルが米国No.2等級の限界値を下回る。
- **総損傷**平均値(2.7%)は2018年および5YAを上回る。この平均値は過去年のトウモロコシの値を上回るものの、91.5%のサンプルが米国No.2等級の限界値を下回る。2019年の総損傷のばらつき(標準偏差 = 2.43%)もまた過去年を大幅に上回る。
- 受領したいずれのサンプルでも**熱損傷**は観察されなかった。

- **水分含量**の平均値(17.5%)およびばらつき(標準偏差 = 2.35%)は2018年および5YAを上回る。これは本報告書9年の歴史の中で最も高い平均水分含量で、2019年のトウモロコシの作付が記録的に遅れた結果と考えられる。分布をみると、水分含量17%を上回るサンプルは45.7%で、これに対し2018年および2017年はそれぞれ24.7%と36.2%であった。この分布は2019年では人工的な乾燥が必要とされるサンプルの数が過去2年のサンプルを上回ることを示している。

U.S. Corn Grades and Grade Requirements				
Grade	Minimum Test Weight per Bushel (Pounds)	Maximum Limits of		
		Damaged Kernels		Broken Corn and Foreign Material (Percent)
		Heat Damaged (Percent)	Total (Percent)	
U.S. No. 1	56.0	0.1	3.0	2.0
U.S. No. 2	54.0	0.2	5.0	3.0
U.S. No. 3	52.0	0.5	7.0	4.0
U.S. No. 4	49.0	1.0	10.0	5.0
U.S. No. 5	46.0	3.0	15.0	7.0

1 5YAは2014/2015、2015/2016、2016/2017、2017/2018および2018/2019の収穫報告書の品質ファクターの平均値または偏差値の単純平均を示している。

化学組成

- **タンパク質含有率**（乾物比 8.3%）は 2018 年および 5YA を下回る。
- **デンプン含有率**（乾物比 72.3%）は 2018 年および 5YA をわずかに下回る。
- **平均油分含有率**（乾物比 4.1%）は 2018 年および 5YA を上回る。

物理的ファクター

- 2019 年トウモロコシの**ストレスクラック率**（9%）は 2018 年および 5YA を上回り、サンプルの 10.8%がストレスクラック率 20%を超え、2018 年および 2017 年よりも破損し易いことが示唆される。2019 年のストレスクラック率の上昇は、トウモロコシの成熟の遅れ、多雨となった収穫時の条件、また、比較的高かった収穫時の水分含量を保管上安全なレベルにまで引き下げるために用いられた追加的な人工乾燥の結果と考えられる。
- **百粒重**（34.60 グラム）は 2018 年および 5YA を下回るが、これは過去 2 年と比較して粒が小さいことを示唆している。
- **穀粒容積**の平均値（0.28 平方センチメートル（ cm^3 ））は 2017 年を下回るが、2018 年および 5YA と同じである。
- 2019 年トウモロコシの**真の密度**の平均値（1 立方センチメートル当たり 1.247 グラム（ g/cm^3 ））は 2018 年および 5YA を下回る。これはおそらく 2019 年の作付の遅れ、成熟および登熟の遅れ、収穫条件が整う時期の遅れによるもとと考えられる。
- **完全粒**の平均値（90.8%）は 2018 年および 5YA を下回る。
- **硬胚乳**の平均値は 81%で、2018 年および 2017 年と同じである。

マイコトキシン

- 1 件のサンプルを除き、すなわち 2019 年の試験対象サンプルの 99.4%が米国食品医薬品局（FDA）のアフラトキシンの規制レベルである 20.0 ppb を下回り、サンプルの 97.8%が 5.0 ppb を下回っている。
- 2019 年試験対象となったサンプルの 100%が FDA のデオキシニバレノール（DON）の勧告レベルである 5.0 ppm を下回り、これは 2018 年および 2017 年と同じである。加えて、試験サンプルの 59.9%が米国農務省（USDA）の連邦穀物検査部（FGIS）の「低準拠レベル」を下回ったが、この割合は 2018 年および 2017 年を上回る。2019 年が 2018 年および 2017 年よりも DON の発生を招きやすい気象条件であったことがこの増加の原因と考えられる。
- フモニシン試験対象の 182 サンプルのうち 156 件、すなわち 85.7%がフモニシンに対する FDA の最も厳格な指導レベルである 5.0 ppm を下回っている。





2019/2020 年収穫時報告書は、世界のトウモロコシのバイヤーが流通経路に入る時点の米国産イエローコーンの初期の品質について理解する上で役立つよう作成したものです。毎年実施しているこの収穫時の米国産トウモロコシの品質調査も今回で9度目となりました。9年間の結果により、圃場から出荷される時点での米国産トウモロコシの品質に気象条件や生育条件が及ぼす影響のパターンが浮かび上がってきます。

米国主要地域が4月そして特に5月に雨の多い気候条件となり、2019年の生育期間は前例のない幕開けとなりました。どのような指標を用いたとしても、今年度の作付は極端に遅れたという評価になります。トウモロコシの50%が作付けされた時点を経準日とすると、2019年トウモロコシは過去40年で最も遅い作付となりました。生育期の残りの期間はおおむね生育に有利な状況となりましたが、作付の遅れを受けてその後の進展は5YAレベルに追いつくところまではとうてい回復しませんでした。成熟が遅れたうえ、10月の降雨で収穫もさらに遅れることとなりました。過去40年で、2019年トウモロコシの50%収穫基準日より遅れた年はわずか2年だけです。

全体として、困難な生育条件であった2019年の作柄は良いからとても良いの組み合わせで、生育期間全体をとおして55%以上を維持しましたが、過去5年の各年度と比較すると、作柄平均をわずかに下回っています。加えて、平均単収は過去5年のいずれもを下回ると予測されています。

品質ファクターの結果をみても、2019年トウモロコシの水分含量、損傷、BCFMおよびストレスクラックの平均値はすべて5YAを上回り、容積重および完全粒は5YAをわずかに下回っています。これらの品質ファクターが5YAを多少下回る結果であったにもかかわらず、市場へと向かう2019年トウモロコシの平均値は、米国No.1等級に求められる各等級ファクターの数値要件を満たしているか、上回っています。本報告書で示しているように、米国No.1等級の等級ファクター要件すべてを満たしているサンプルの割合は54.6%で、No.2等級の等級ファクター要件を満たしているサンプルの割合は81.7%です。

9年間にわたるデータはトウモロコシの品質に影響を及ぼす傾向やファクターを評価するための基盤を提供してくれます。加えて、計測調査の積み重ねにより、輸出バイヤーは年度別の比較を行い、こうした複数年の生育条件に基づいてトウモロコシ品質のパターンを評価することが可能になります。

本2019/2020年収穫時報告書の内容は、トウモロコシ生産・輸出のトップ12州内の特定の地域から入手した623件のイエローコーンのサンプルに基づいています。運ばれてくるトウモロコシのサンプルを各地域の穀物エレベーターから採取することで、それぞれの生産地を原点として品質を計測・分析し、多様な地域の品質特性のばらつきについて地域を代表する情報を提供できるようにしました。



12州のサンプル採取地域を3つのグループに分け、「輸出拠点地域」(ECA)と名付けました。これら3箇所のECAは輸出市場に向かう次の3つの主要輸出経路で区別されています。

- 通常米国ガルフの港からトウモロコシを輸出する地区群で構成されるガルフ ECA
- ワシントン、オレゴンおよびカリフォルニアの港からトウモロコシを輸出する地区群を含む米国北西部 ECA
- 一般に、内陸部のターミナルから鉄道でトウモロコシをメキシコに輸出する地区群で構成される南部鉄道網 ECA

米国集計の値と3ECA地域それぞれの値についてサンプル分析の結果を報告し、米国産トウモロコシの品質の地域によるばらつきを全体的に把握することができるようにしています。収穫時に確認されるトウモロコシの品質特性は、最終的に輸出顧客の手元に到着するトウモロコシの品質の基礎となるものです。ただし、トウモロコシは、米国の市場システムの経路を進むに従って、他の地域のトウモロコシとブレンドされたり、トラックやバージ船、貨物列車に混載されたりして、保管、積み込み、積み卸しが何度も繰り返されます。そのため、市場投入当初から輸出エレベーターに至るまでの間にトウモロコシの品質や状態は変化していくことになります。この理由から、2019/2020年収穫時報告書は、追って2020年初頭に発表される2019/2020年トウモロコシ輸出貨物品質報告書と併せて綿密に検討する必要があります。いうまでもなく、輸出貨物のトウモロコシの品質は買い手と売り手との契約に基づくものであり、買い手側は自らにとって重要な品質ファクターについて自由に交渉することができます。



本報告書には、試験を実施した各品質ファクターについて、サンプルの米国集計と3箇所のECA別の平均値および標準偏差を含む詳細な情報を掲載しています。「品質試験結果」のセクションでは以下の品質ファクターについてまとめています。

- 等級ファクター：容積重、破損粒&異物(BCFM)、総損傷および熱損傷
- 水分含量
- 化学組成：タンパク質、デンプンおよび油分含有率
- 物理的ファクター：ストレスクラック、百粒重、穀粒容積、穀粒の真の密度、完全粒および硬胚乳
- マイコトキシン：アフラトキシン、デオキシニバレノール(DON)およびフモニシン

これらに加えて、2019/2020年収穫時報告書には米国産トウモロコシの作柄および気象条件、トウモロコシの生産量、消費量および見通しについての簡単な説明、調査方法、統計分析方法ならびに試験分析方法についての詳細な説明を記載し、また、過去の所見のセクションでは対象となった全9年間の報告から得た各品質ファクターの平均値を記載しています。



A. 等級ファクター

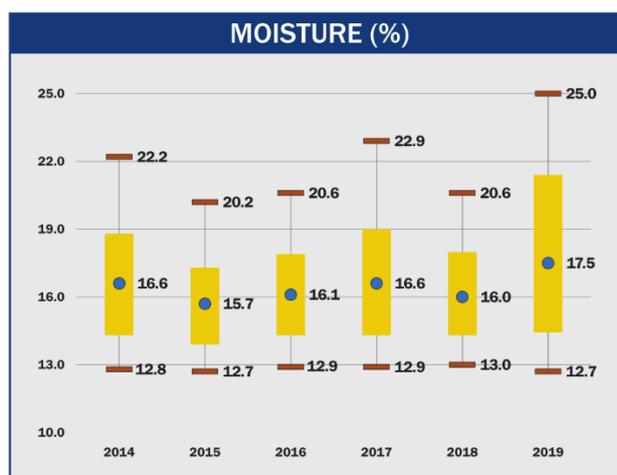
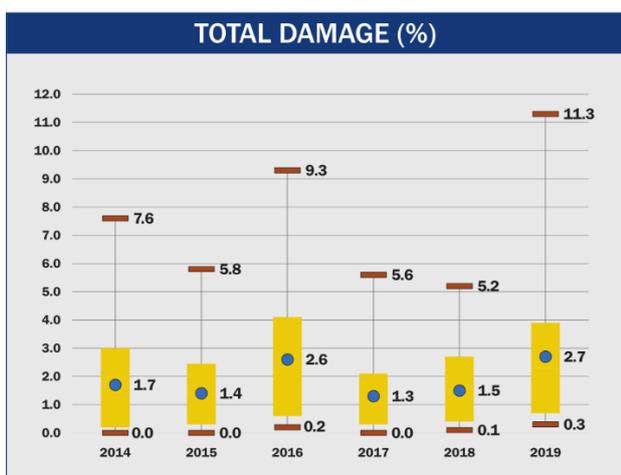
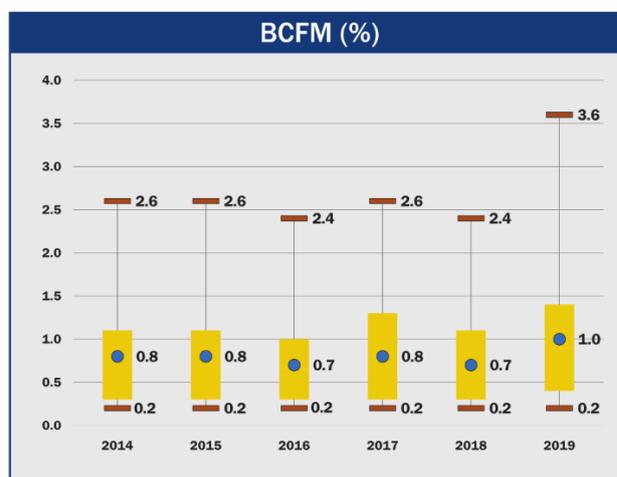
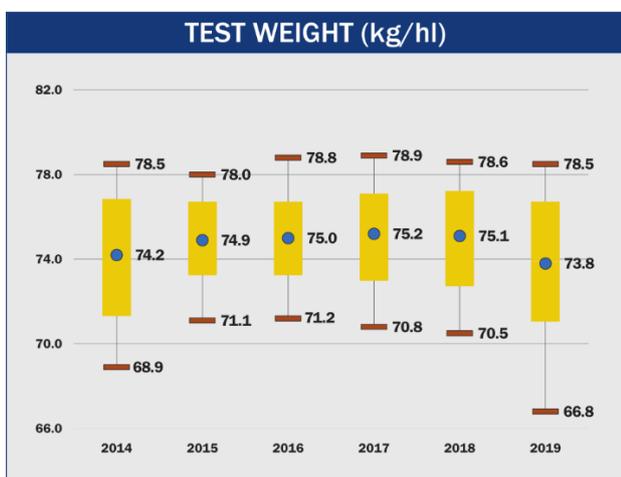
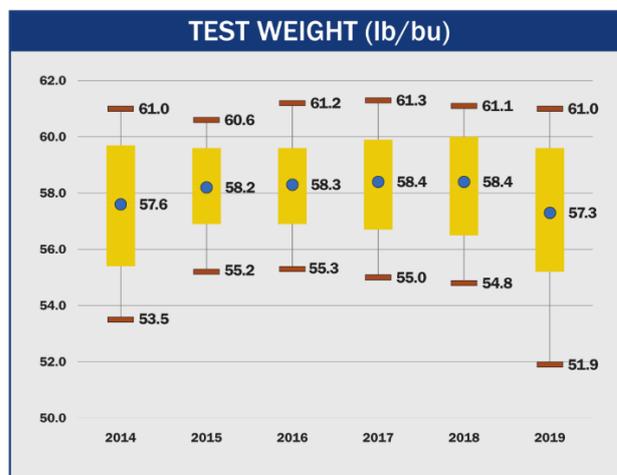
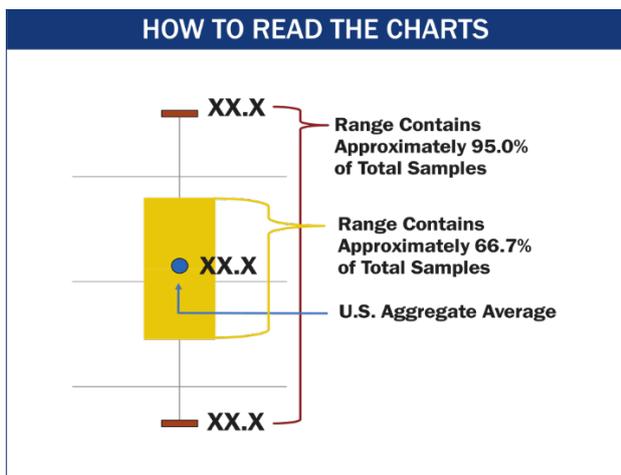
米国農務省 (USDA) の連邦穀物検査部 (FGIS) は、様々な品質特性の測定に用いる等級や定義、基準を定めています。トウモロコシの等級を決定する特性は容積重、破損粒・異物 (BCFM)、総損傷および熱損傷です。

こうした特性の数値要件を示した表は本報告書の「米国産トウモロコシ等級および換算表」のセクションに掲載しています。

概要：等級ファクターおよび水分含量

- 容積重の米国集計平均 (57.3 lb/buまたは73.8 kg/hl) は2018年と2017年 (いずれも58.4 lb/bu) および5YA (58.2 lb/bu) を下回る。作付および成熟が遅れた結果、2019年サンプルのうち容積重が56.0 lb/bu以上となったのはわずか75.6%である。
- BCFMの米国集計平均 (1.0%) は2018年 (0.7%)、2017年および5YA (いずれも0.8%) を上回るが、それでもなお米国No1等級の上限値 (2.0%) は下回っている。BCFMのレベルはトウモロコシのサンプルの大半 (96.8%) がNo.2 等級に認められる上限値の3.0% 以下である。
- BCFM 平均値の3ECA 間の差はいずれも 0.4% 以下である。
- 米国集計サンプルの破損粒平均 (0.7%) は昨年 (0.5%)、2017年および5YA (いずれも0.6%) を上回る。
- 異物混入率の米国集計平均 (0.2%) は昨年、2017年および5YAと同じである。
- 2019年の総損傷率の米国集計サンプルの平均は2.7%で、2018年、2017年および5YAを上回るが、No.1等級の限界値 (3.0%) を下回る。損傷粒の割合が3.0%を下回っているのはサンプル全体の73.5%である。
- 2019年、2018年、2017年および5YAのいずれでも、ガルフECAの総損傷率が最高または同率一位である。総損傷率平均は全ECAで米国No.1等級限界値 (3.0%) と同じか下回っている。
- 2019年のいずれのサンプルでも熱損傷は報告されておらず、これは2018年、2017年および5YAのいずれにおいても同じである。
- 2019年の水分含量の米国集計平均 (17.5%) は2018年 (16.0%)、2017年 (16.6%) および5YA (16.2%) を上回る。水分含量のばらつきも5YAおよび過去2年を上回っている。
- ガルフECA、米国北西部ECAおよび南部鉄道網ECAの2019年の平均水分含量はそれぞれ17.6、18.3および16.0%である。南部鉄道網ECAの平均水分含量レベルが、2019、2018、2017および5YAのいずれでも全ECA中で最も低い。2019年の17.0%を超える水分含量のサンプルの割合は2018年、2017年および5YAを上回り、2019年は45.7%、2018年は24.7%、2017年は36.2%である。この分布から、2019年は乾燥作業の必要性が過去年よりも高いことが分かる。
- 2019年の収穫時の平均水分含量は2018年および過去の大半を上回るため、保管時および輸送時のカビ発生の可能性を予防するため、水分レベルを監視し、十分に低い値を維持するよう特に注意することが必要である。

等級ファクター6年集計比較





容積重

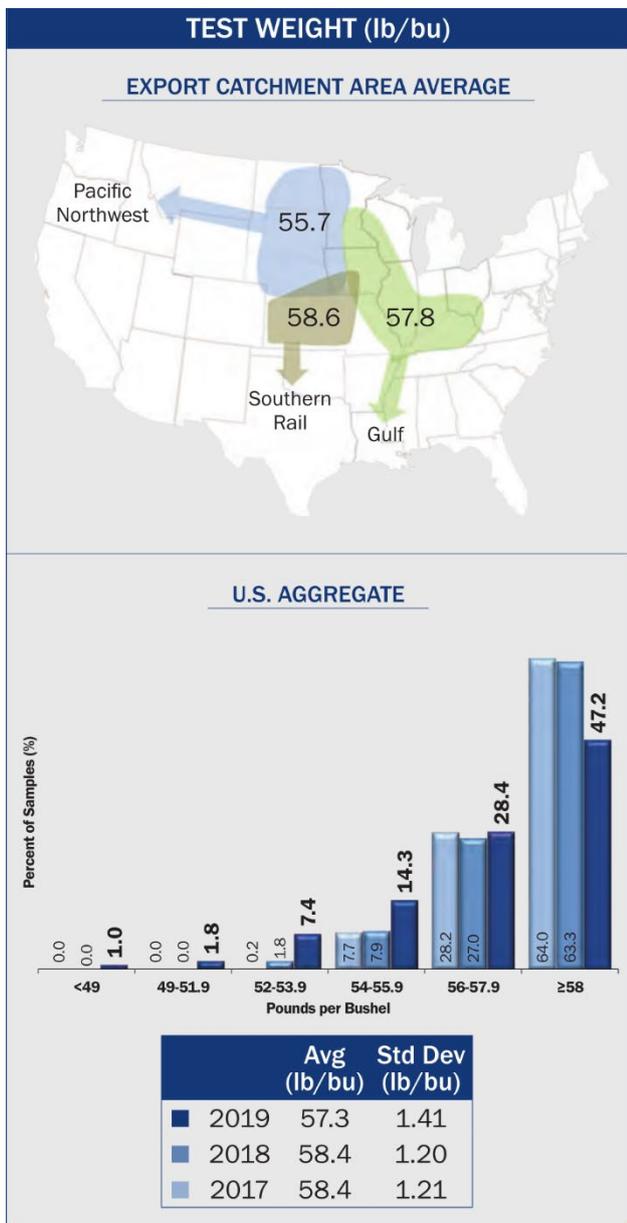
容積重（容積当たりの重量）はかさ密度を表すもので、全体的な品質を示す一般的な指標として、また、アルカリ処理やドライミリング処理をする業者向けの胚乳の硬度を示す目安としてよく用いられます。容積重が高いトウモロコシは容積重が低い同じ重量のトウモロコシよりも少ないスペースで保管することができます。容積重という観点で穀粒の構造に最初に影響を及ぼすのは遺伝子的な差異です。ただし、水分含量や乾燥方法、トウモロコシ粒の物理的損傷

（破損粒および表面擦損）、サンプルに混入した異物、穀粒の大きさ、生育期間中のストレス、微生物被害からの影響も受けます。圃場から搬入された地点でサンプルを採取・測定した場合、水分含量が一定であれば、高い容積重の値は高い品質、高い硬胚乳率、かつ、完全で破損や異物のないトウモロコシであることを示唆します。容積重は真の密度と正の相関関係にあり、穀粒の硬さと成熟度を反映します。

結果

- 2019年の容積重の米国集計平均（57.3 lb/bu または 73.8 kg/hl）は2018年と2017年（いずれも 58.4 lb/bu または 75.2 kg/hl）および5YA（58.2 lb/bu または 74.9 kg/hl）を下回るが、No.1等級の下限值（56.0 lb/bu）を大幅に上回っている。
- 2019年の容積重の米国集計の標準偏差（1.41 lb/bu）は2018年（1.20 lb/bu）、2017年（1.21 lb/bu）および5YA（1.21 lb/bu）を上回っている。
- 2019年の収穫時サンプルのばらつき幅は 19.3 lb/bu（42.6 ~ 61.9 lb/bu）で、2018年サンプルのばらつき幅である 9.8 lb/bu（52.3 ~ 62.1 lb/bu）、2017年の 10.6 lb/bu（52.1 ~ 62.7 lb/bu）を上回っている。
- 2019年の容積重の分布をみると、No.1等級の限界値（56.0 lb/bu）と同じか上回るのはサンプルの75.6%で、2018年は90.3%、2017年は92.2%である。2019年のサンプルで米国No.2等級の限界値（54.0 lb/bu）を上回るのは89.9%で、2018年は98.2%、2017年は99.9%である。
- 2019年の容積重平均はガルフECA（57.8 lb/bu）および南部鉄道網ECA（58.6 lb/bu）が高い。米国北西部ECAの容積重（55.7 lb/bu）は2019年、2018年、2017年および5YAのいずれでも最も低い。
- 米国北西部ECAは2019年の容積重が最も低いだけでなく、標準偏差の値（1.80 lb/bu）がガルフECA（1.27 lb/bu）および南部鉄道網ECA（1.18 lb/bu）よりも高いことから示唆されるように、ばらつきも最も大きいと考えられる。

U.S. Grade Minimum Test Weight
No. 1: 56.0 lbs
No. 2: 54.0 lbs
No. 3: 52.0 lbs
No. 4: 49.0 lbs
No. 5: 46.0 lbs
Sample: <46.0 lbs



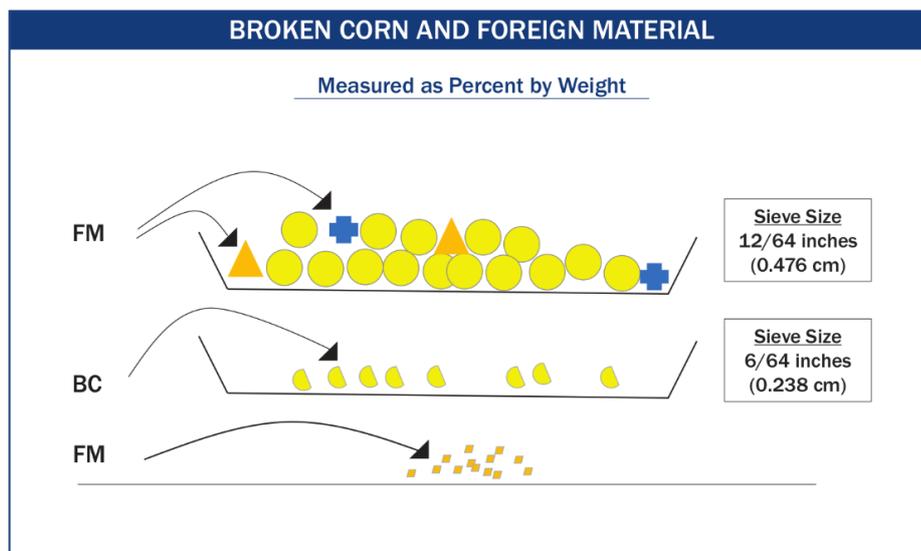
破損粒&異物 (BCFM)

破損粒&異物 (BCFM) の値は飼料や加工に用いることのできる清浄で健全なトウモロコシ粒の量を測る目安となります。BCFM の割合が低いほどサンプル中の異物や破損粒が少ないことを示しています。通常、圃場から運ばれてきたトウモロコシのサンプルの中で BCFM の値が高いものについては、収穫方法や圃場の雑草の種子にその原因を見いだすことができます。採用する方法や穀粒の健全性によって変化するものの、一般に BCFM の値は乾燥や取り扱いの過程で増加します。

破損粒 (BC) とは目開き 12/64 インチのふるいを通過するほど小さく、かつ、目開き 6/64 インチのふるいは大きすぎて通過しないトウモロコシ粒およびその他の物質 (雑草の種子等) と定義されています。

異物 (FM) は目開き 12/64 インチのふるいを通過しない大きな物質でトウモロコシ以外のものや、目開き 6/64 インチのふるいを通過するすべての小さな物質と定義されています。

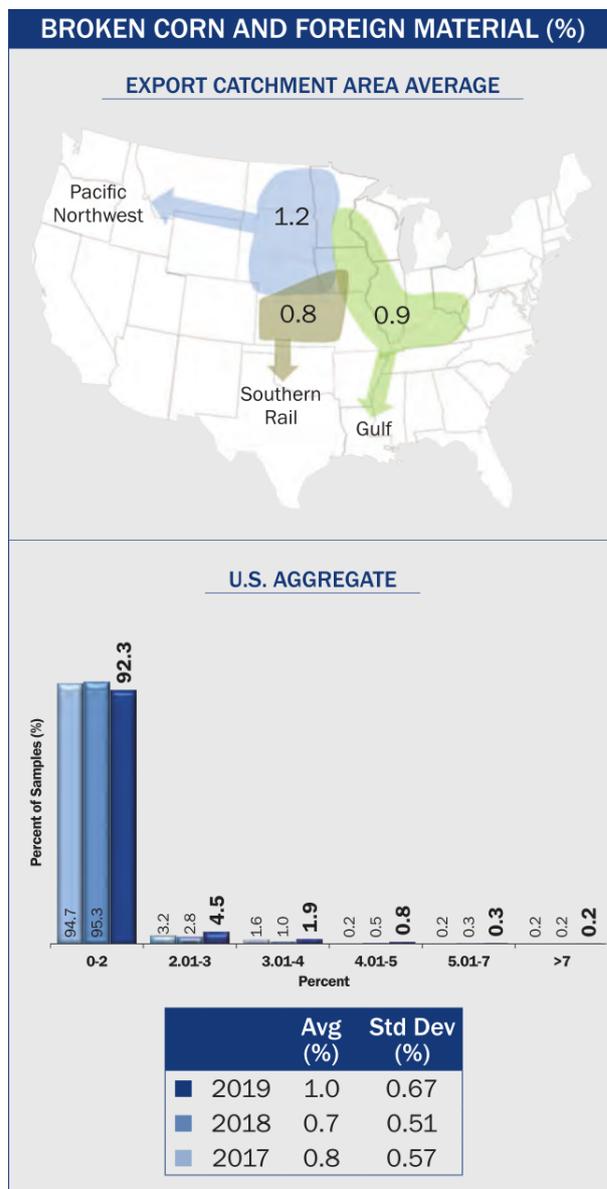
下図は米国产トウモロコシ等級で用いられる破損粒および異物を測定するための方法を示したものです。



結果

- 2019年の米国集計 BCFM 平均（1.0%）は2018年（0.7%）および2017年と5YA（いずれも0.8%）を上回るが、米国 No.1 等級の上限値（2.0%）を大幅に下回っている
- 標準偏差（0.67%）に基づく2019年トウモロコシの BCFM のばらつきは2018年（0.51%）、2017年（0.57%）および5YA（0.53%）を上回っている。
- 2019年の BCFM の最小値と最大値の幅は0.0～8.2%（8.2%）で、2018年（7.5%）および2017年（7.3%）を上回っている。
- 2019年サンプルの分布では、米国 No.1 等級の BCFM の上限値（2.0%）以下の割合は92.3%で、これに対して2018年は95.3%、2017年は94.7%である。サンプルのほぼすべて（96.8%）が No.2 等級の BCFM の上限値である3.0%以下である。
- ガルフ ECA、米国北西部 ECA および南部鉄道網 ECA の BCFM 平均値（それぞれ0.9、1.2、0.8%）はいずれも No.1 等級の限界値を下回っている。2019年の BCFM 平均値の ECA 間の差は0.1%～0.4%で、2018年、2017年および5YAはいずれもわずか0.0～0.1%である。

U.S. Grade BCFM Maximum Limits	
No. 1:	2.0%
No. 2:	3.0%
No. 3:	4.0%
No. 4:	5.0%
No. 5:	7.0%
Sample:	>7%





破損粒

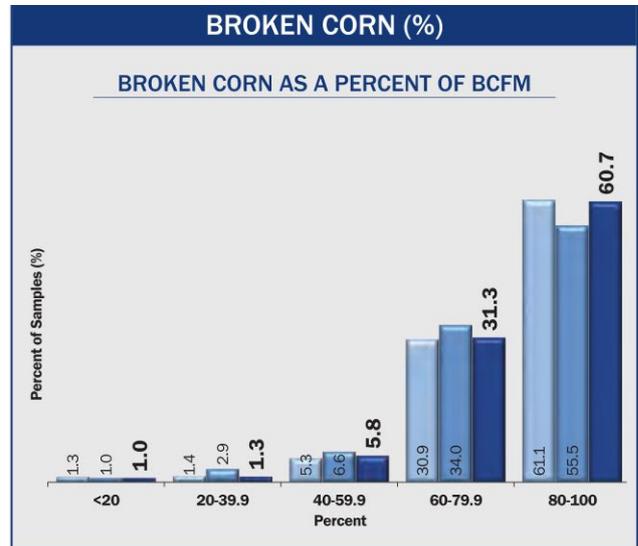
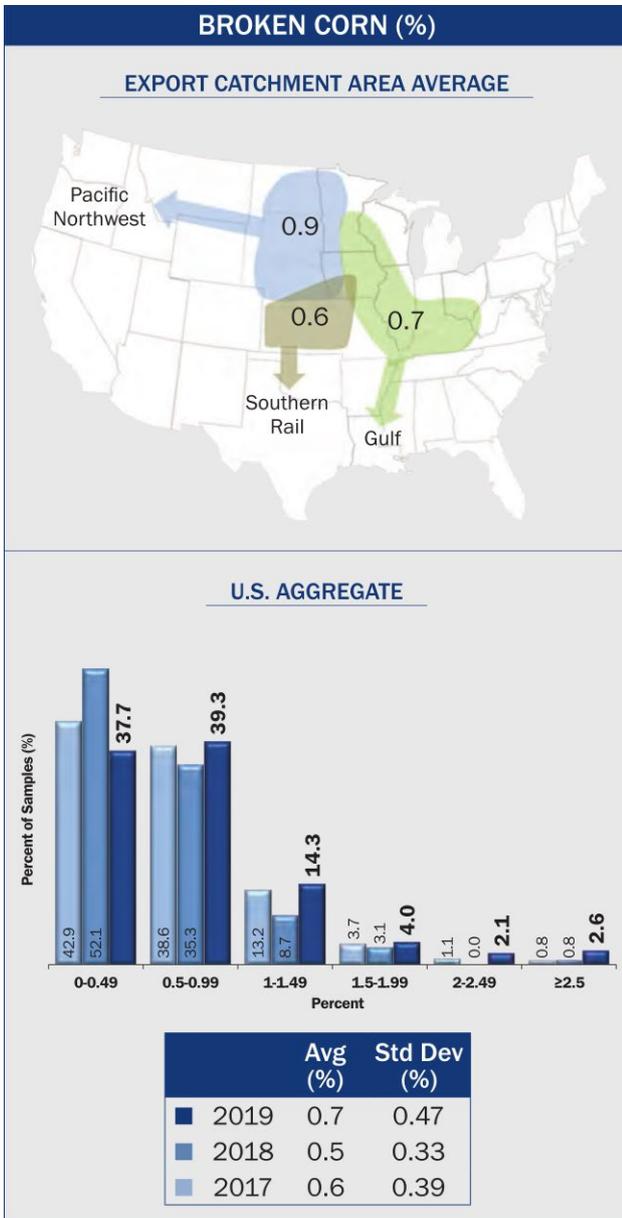
米国等級では破損粒は穀粒のサイズに基づいて測定され、通常わずかな割合ながらトウモロコシ粒以外の物質が含まれます。破損粒は完全粒よりもカビや害虫の被害を受けやすく、取り扱いや加工上の問題を引き起こすことがあります。貯蔵大型ビン内で拡散させたりかき混ぜたりしなければ、破損粒はビン

内の中央にたまりやすく、完全粒は外縁に移動する傾向があります。破損粒が集まりやすい中央部分は「スパウトライン」として知られています。必要に応じて、ビンの中央からこうしたトウモロコシ粒を引き出すことでスパウトラインを低減することができます。

結果

- 2019年の米国集計サンプルでは破損粒の平均値は0.7%で、2018年(0.5%)および2017年と5YA(いずれも0.6%)を上回っている。
- 2019年のトウモロコシでは、破損粒のサンプル間のばらつきは標準偏差からわかるように、過去年および5YAをわずかに上回る。2019年、2018年、2017年および5YAの標準偏差はそれぞれ0.47、0.33、0.39および0.37%である。
- 2019年の破損粒のばらつき幅は5.3%(0.0~5.3%)で、2018年(3.6%)および2017年(3.5%)を上回る。
- 2019年サンプルの分布をみると、損傷粒の値は1.0%以上のものが23.0%を占め、これに対し2018年では12.6%、2017年は18.8%である。
- 破損粒の割合はガルフ ECA、米国北西部 ECA および南部鉄道網 ECA のいずれでも似通っており、それぞれの平均値は0.7、0.9、0.6%である。
- BCFMに占める破損粒の割合を示した次ページの分布図は、サンプルの60.7%でBCFMの80%以上が破損粒により構成されていることを示している。







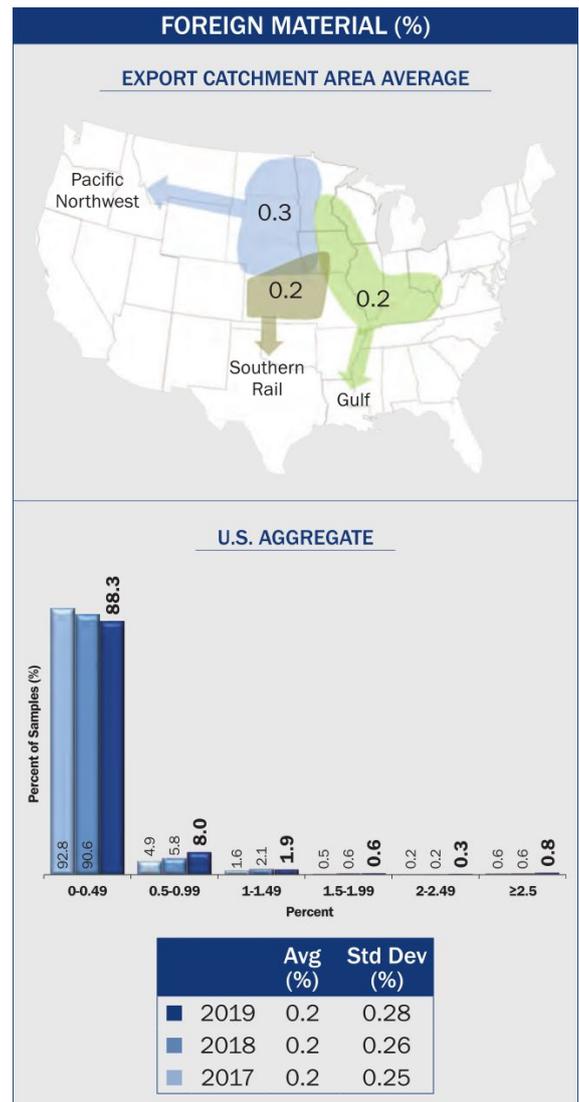
異物

異物は、飼料や加工用としての価値を落とす重大な要因です。一般に、異物はトウモロコシよりも水分含量が高く、そのため保管中のトウモロコシの質を低下させる可能性があります。加えて、異物は（破

損粒のセクションで述べたように）スパウトラインの原因になります。水分含量が多いために破損粒よりも一層品質問題を引き起こす可能性が高くなります。

結果

- 2019年の米国集計サンプルに占める異物の割合は平均0.2%で、2018年、2017年および5YA（いずれも0.2%）と同じである。コンバインは極小の物質でも除去するよう設計されており、混入異物の割合がこの数年一貫して小さくなっていることから判断して、コンバインの機能が十分に発揮されていると考えられる。
- 標準偏差の値で示されるばらつきについては、2019年の米国集計サンプル（0.28%）は2018年（0.26%）、2017年（0.25%）および5YA（0.23%）とほぼ同じである。
- 2019年サンプルの異物のばらつき幅は0.0～3.3%で、0.0～7.3%の幅であった2018年サンプルおよび0.0～6.3%の2017年より狭い。
- 2019年のトウモロコシでは異物の値が0.5%未満のサンプルは88.3%で、2018年（90.6%）および2017年（92.8%）をわずかに下回っている。
- ガルフ ECA、米国北西部 ECA および南部鉄道網 ECA の異物の割合はそれぞれ 0.2%、0.3% および 0.2% である。2018 年、2017 年 および 5YA のいずれにおいても、3ECA すべての異物の平均値は 0.2% となっている。



総損傷

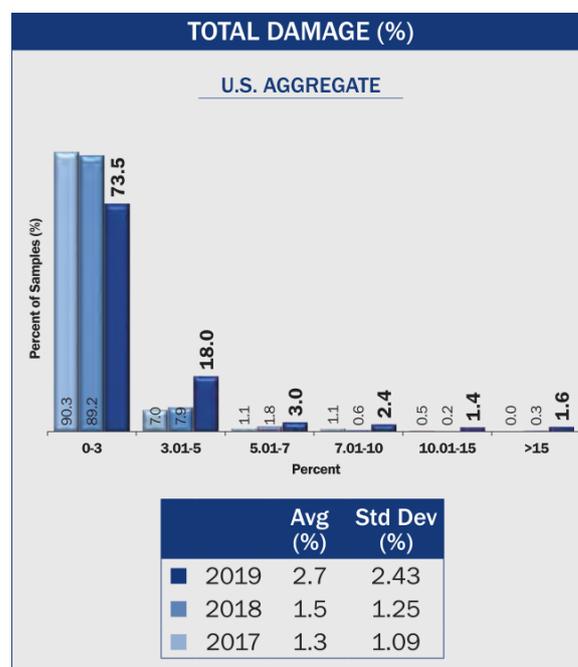
総損傷率とは、熱や霜、害虫、発芽、病害、天候、土壌、細菌、カビに起因する損傷を含め、どのようなかたちであれ、目視検出可能な被害や損傷のある穀粒とそのかけらの割合です。こうした種類の損傷の大半は一種の退色や穀粒の質感の変化を引き起こします。割れていること以外に外観上の異常が見られない穀粒のかけらは損傷粒に含めません。

一般に、カビによる被害は生育期間中または保管期間中の水分含量の高さや高温と関係付けられます。ディプロディア属、アスペルギルス属、フザリウム

属、ジベレラ属等、圃場のカビ菌は複数あり、気象条件がこうした菌の発生に適している場合には生育期間中のカビ被害に結びつくことがあります。カビ被害の原因となる菌類の中にはマイコトキシンを産生するものがありますが、すべての菌類がマイコトキシンを産生するわけではありません。トウモロコシを乾燥させ、冷却して低温にすると、カビの発生する可能性は減ります。

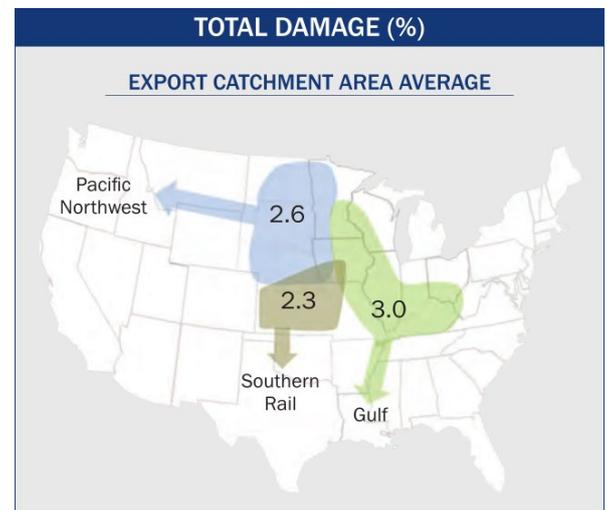
結果

- 2019年の米国集計の総損傷平均値（2.7%）は2018年（1.5%）、2017年（1.3%）および5YA（1.7%）を上回っている。2019年の総損傷平均値は米国 No.1 等級の限界値（3.0%）を下回っている。
- 標準偏差（2.43%）に基づく2019年の総損傷値のばらつきは2018年（1.25%）、2017年（1.09%）および5YA（1.26%）を大幅に上回っている。
- 2019年の総損傷のばらつき幅（0.0～50.5%）は2018年（0.0～19.3%）、2017年（0.0～13.6%）を大幅に上回っている。このように総損傷の幅が極端に広く、ばらつきが大きくなったのは、おそらく2019年トウモロコシの成熟の遅れ、乾燥の遅れ、および収穫条件が整うまでの遅れが原因と考えられる。
- 2019年サンプルの総損傷の割合は過去年を上回り、損傷粒の割合が3.0%以下のものはサンプルの73.5%、5.0%以下のものは91.5%で、これに対し2018年はそれぞれ89.2%と97.1%、2017年は90.3%と97.3%である。



- ECA 別に総損傷平均をみると、ガルフ ECA が 3.0%、米国北西部 ECA が 2.6%、南部鉄道網 ECA が 2.3%となっている。2019 年、2018 年、2017 年および 5YA を通じて総損傷値はガルフ ECA が最も高いか同率一位である。
- すべての ECA で総損傷平均値は米国 No1 等級の限界値 (3.0%) と同じか下回っている。

U.S. Grade Total Damage Maximum Limits	
No. 1:	3.0%
No. 2:	5.0%
No. 3:	7.0%
No. 4:	10.0%
No. 5:	15.0%
Sample:	>15%



熱損傷

熱損傷は総損傷を構成するサブセットのひとつで、米国等級基準では別途許容値が設定されています。熱損傷は、暖かく湿ったトウモロコシ中の微生物の活動や乾燥工程で加えた高熱により発生することが

あります。収穫時に圃場から直接運ばれてくるトウモロコシに熱損傷が存在することは稀です。

結果

- 2018 年、2017 年および 5YA 同様、2019 年のいずれのサンプルでも熱損傷は報告されていない。
- 熱損傷が存在しない理由の可能性のひとつとして、人工乾燥が最低限に抑えられた新鮮なサンプルが圃場から直接エレベーターに輸送されていることが考えられる。

U.S. Grade Heat Damage Maximum Limits	
No. 1:	0.1%
No. 2:	0.2%
No. 3:	0.5%
No. 4:	1.0%
No. 5:	3.0%
Sample:	>3%

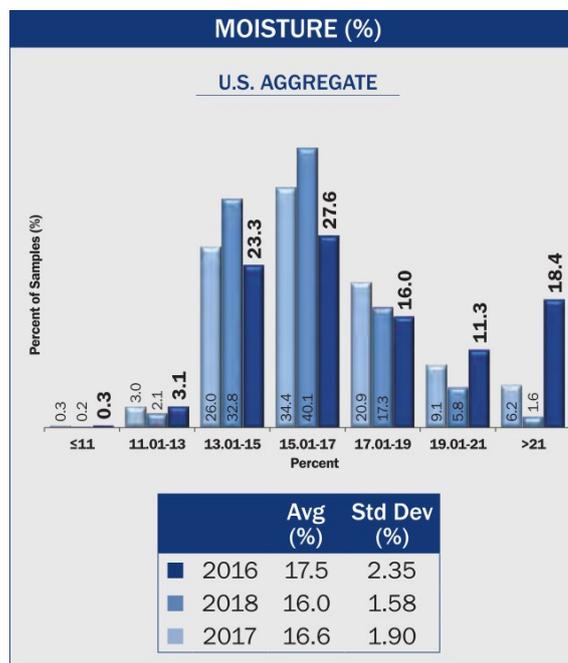
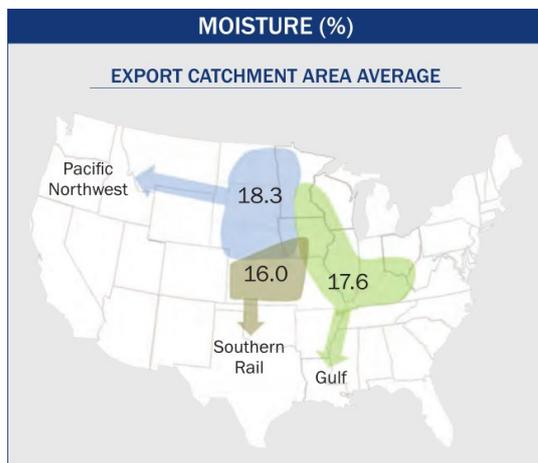
・B. 水分含量

水分含量は公的な等級証明書に記載され、多くの場合、契約では最大水分含量が規定されます。ただし、水分含量は等級ファクターではないため、サンプルの等級付けに影響を及ぼすことはありません。水分含量は販売時の乾物量に影響を与えるため重視されます。水分含量は乾燥の必要性を示す指標でもあり、保管性を示し、また容積重にも影響を及ぼします。一般に、トウモロコシをゆっくりと乾燥させると、水分1パーセントポイントの減少につき容積重は0.25～0.33 lb/bu 増加する可能性があります。トウモロコシ粒の大きさ、形状、微細物、損傷および乾燥の速度といったその他のファクターは容積重の増加の可能性を減じる方向に働く可能性があります¹。収穫時の水分含量が多いと収穫作業中や乾燥時に穀粒が損傷を受ける可能性が高まります。

水分含量および必要とされる乾燥の程度がストレスクラックや破損にも影響を及ぼします。極端に水分が多く含まれるトウモロコシでは、後の保管や輸送の期間中にカビにより著しい損傷が発生しやすくなる可能性があります。生育期間中、トウモロコシの収量や穀粒の組成・成長は気候の影響を受ける一方、収穫時のトウモロコシの水分含量は主に作物の成熟度や収穫のタイミング、収穫時の気象条件の影響を受けます。水分と保管についての一般的なガイドラインでは、米国コーンベルト地帯の典型的な条件下において、良好な品質で損傷なくトウモロコシを通気のある場所で6～12か月間保管するには14.0%以下、1年を超える保管には13.0%以下の水分含量を推奨しています²。

結果³

- エレベーターにおいて記録された2019年の米国集計水分含量の平均は17.5%で、2018年（16.0%）、2017年（16.6%）および5YA（16.2%）を上回ります。過去9年の米国集計水分含量の平均値をみると、干ばつに見舞われた2012年の15.3%が最小で、2019年の17.5%が最大と幅がある。
- 2019年米国集計水分含量の標準偏差（2.35%）は2018年（1.58%）、2017年（1.90%）および5YA（1.66%）を大幅に上回る。



¹ Hellevang, K. (2019) 「トウモロコシ容積重は数多くのファクターから影響を受ける」NDSU Agricultural Communication No. 27, 2019 NDSU エクステンション・サービス、ノースダコタ試験場

² WPS-13. 2017. 「穀物の乾燥、取り扱いおよび保管についてのハンドブック」Midwest Plan Service No. 13 第3版。アイオワ州立大学 Ames, IA 50011.

³ 本セクション中の柱状グラフ間の差は専ら四捨五入に起因する。

- 2019年サンプルの水分含量のばらつき幅（11.0～30.0%）は2018年（10.1～25.0%）

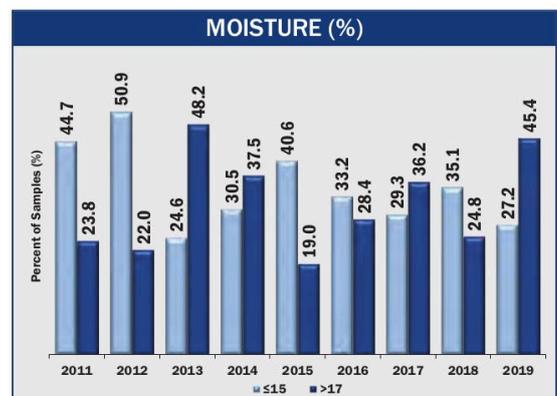
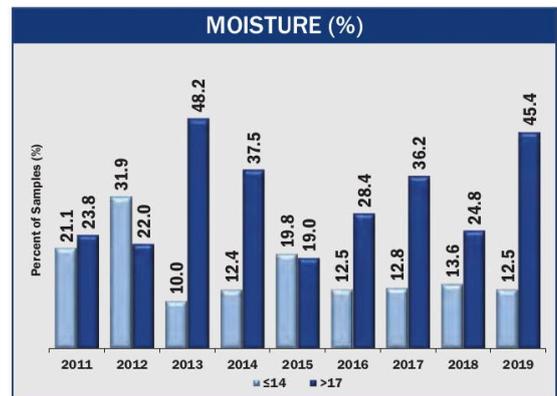
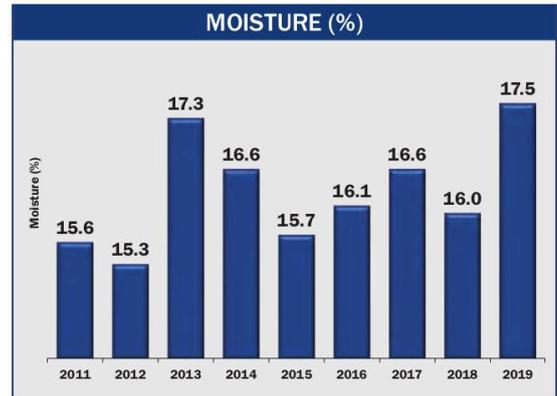
および2017年（9.0～24.4%）を上回る。

- 2019年の高水分含量のサンプルの割合は



2018年および2017年より大きく、水分含量が17.0%を超えるサンプルが45.7%で、これに対し2018年が24.7%、2017年が36.2%である。2019年トウモロコシでは水分含量が21%を上回るサンプルの割合(18.4%)が2018年(1.6%)および2017年(6.2%)を上回る。この分布は2018年または2017年のトウモロコシよりも2019年の方が乾燥の必要性が相当高いことを示唆している。2019年トウモロコシのサンプルの12.5%が水分含量14.0%以下で、これに対し2018年サンプルは13.6%、2017年サンプルは12.8%である。水分含量の値が14.0%以下というのは一般に長期間の保管および輸送にも安全なレベルと考えられている。

- 2019年の分布をみると、サンプルの中で水分含量が15.0%以下のものの割合は27.2%である。一般に、エレベーターでの値引きの基準値となるのが15.0%である。この水分含量値は冬期低温時の短期保管には安全なレベルと考えられている。
- ガルフ ECA、米国北西部 ECA および南部鉄道網 ECA から入手したトウモロコシの平均水分含量はそれぞれ 17.6、18.3、16.0%である。
- 2019年、2018年、2017年および5YAのいずれにおいても、南部鉄道網 ECA の平均水分含量がすべての ECA 地域の中で最も低い。一般に圃場での乾燥に適した気象条件であることから、南部鉄道網 ECA から入手したサンプルは通常他の ECA よりも低い水分含量となる。
- 2019年サンプルの水分含量は2018年および5YAを上回り、そのため保管寿命を短くする可能性のあるカビの増殖を予防するために水分レベルを監視し、十分に低い値を維持するよう注意しなければならない。



まとめ: 等級ファクターと水分含量

	2019収穫					2018 収穫			2017 収穫			5年平均 (2014-2018)				
	サンプル 数 ¹	平均	標準 偏差	最小	最大	サンプル 数 ¹	平均	標準 偏差	サンプル 数 ¹	平均	標準 偏差	平均	標準 偏差			
米国集計						米国集計				米国集計				米国集計		
容積重 (lb/bu)	623	57.3	1.41	42.6	61.9	618	58.4*	1.20	627	58.4*	1.21	58.2	1.21			
容積重 (kg/hl)	623	73.8	1.81	54.8	79.7	618	75.1*	1.54	627	75.2*	1.55	74.9	1.55			
BCFM (%)	623	1.0	0.67	0.0	8.2	618	0.7*	0.51	627	0.8*	0.57	0.8	0.53			
破損粒 (%)	623	0.7	0.47	0.0	5.3	618	0.5*	0.33	627	0.6*	0.39	0.6	0.37			
異物 (%)	623	0.2	0.28	0.0	3.3	618	0.2	0.26	627	0.2	0.25	0.2	0.23			
総損傷 (%)	623	2.7	2.43	0.0	50.5	618	1.5*	1.25	627	1.3*	1.09	1.7	1.26			
熱損傷 (%)	623	0.0	0.00	0.0	0.0	618	0.0	0.00	627	0.0	0.00	0.0	0.00			
水分含量 (%)	613	17.5	2.35	11.0	30.0	618	16.0*	1.58	627	16.6*	1.90	16.2	1.66			
ガルフ						ガルフ				ガルフ				ガルフ		
容積重 (lb/bu)	594	57.8	1.27	48.0	61.9	587	58.6*	1.13	612	58.6*	1.18	58.3	1.20			
容積重 (kg/hl)	594	74.4	1.64	61.8	79.7	587	75.4*	1.46	612	75.4*	1.52	75.1	1.54			
BCFM (%)	594	0.9	0.61	0.0	5.1	587	0.7*	0.50	612	0.8*	0.58	0.7	0.53			
破損粒 (%)	594	0.7	0.43	0.0	3.9	587	0.5*	0.32	612	0.6*	0.39	0.6	0.37			
異物 (%)	594	0.2	0.26	0.0	3.2	587	0.2	0.26	612	0.2	0.27	0.2	0.23			
総損傷 (%)	594	3.0	2.50	0.0	50.5	587	1.8*	1.41	612	1.6*	1.33	2.1	1.50			
熱損傷 (%)	594	0.0	0.00	0.0	0.0	587	0.0	0.00	612	0.0	0.00	0.0	0.00			
水分含量 (%)	594	17.6	2.32	11.0	30.0	587	16.1*	1.58	612	17.0*	2.06	16.4	1.71			
米国北西部						米国北西部				米国北西部				米国北西部		
容積重 (lb/bu)	318	55.7	1.80	42.6	61.9	288	51.5*	1.37	291	57.7*	1.28	57.5	1.24			
容積重 (kg/hl)	318	71.7	2.31	54.8	79.7	288	74.0*	1.77	291	74.2*	1.65	74.0	1.60			
BCFM (%)	318	1.2	0.88	0.0	8.2	288	0.8*	0.58	291	0.9*	0.55	0.8	0.57			
破損粒 (%)	318	0.9	0.60	0.0	5.3	288	0.6*	0.39	291	0.7*	0.40	0.6	0.40			
異物 (%)	318	0.3	0.37	0.0	3.3	288	0.2*	0.24	291	0.2*	0.23	0.2	0.23			
総損傷 (%)	318	2.6	3.02	0.0	50.5	288	0.9*	0.83	291	0.6*	0.49	0.7	0.60			
熱損傷 (%)	318	0.0	0.00	0.0	0.0	288	0.0	0.00	291	0.0	0.00	0.0	0.00			
水分含量 (%)	318	18.3	2.96	11.5	29.6	288	16.1*	1.75	291	16.1*	1.78	16.0	1.66			
南部鉄道網						南部鉄道網				南部鉄道網				南部鉄道網		
容積重 (lb/bu)	324	58.6	1.18	51.9	61.9	355	58.9*	1.19	393	58.8*	1.21	58.5	1.20			
容積重 (kg/hl)	324	75.4	1.52	66.8	79.7	355	75.8*	1.53	393	75.6*	1.56	75.3	1.54			
BCFM (%)	324	0.8	0.47	0.0	3.8	355	0.7	0.44	393	0.8*	0.52	0.7	0.46			
破損粒 (%)	324	0.6	0.35	0.0	3.6	355	0.5	0.28	393	0.7*	0.39	0.6	0.32			
異物 (%)	324	0.2	0.18	0.0	2.8	355	0.2	0.25	393	0.2	0.19	0.2	0.20			
総損傷 (%)	324	2.3	1.27	0.0	27.9	355	1.8*	1.23	393	1.3*	0.97	1.6	1.20			
熱損傷 (%)	324	0.0	0.00	0.0	0.0	355	0.0	0.00	393	0.0	0.00	0.0	0.00			
水分含量 (%)	324	16.0	1.42	11.0	27.2	355	15.5*	1.35	393	15.8*	1.48	15.7	1.45			

*は有意水準95%で実施した両側 t 検定に基づき、平均値が2019年との間で有意な差を示していることを意味する。

¹ ECAの結果は複合統計であるため、3ECAのサンプル数の合計は米国集計を超える。

² 収穫密度平均を予測する相対MEが±10%を超える。

C. 化学組成

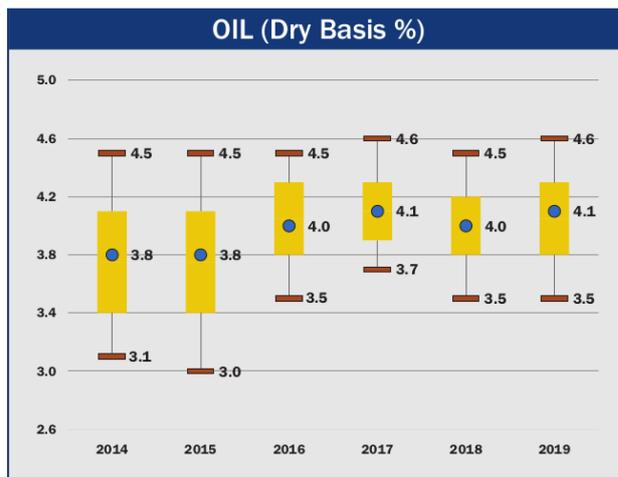
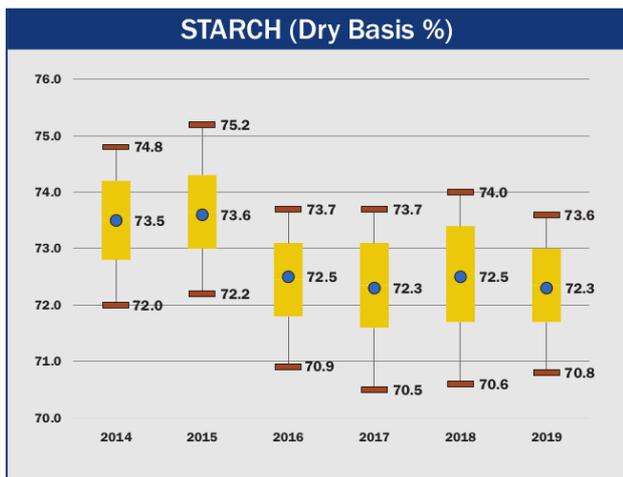
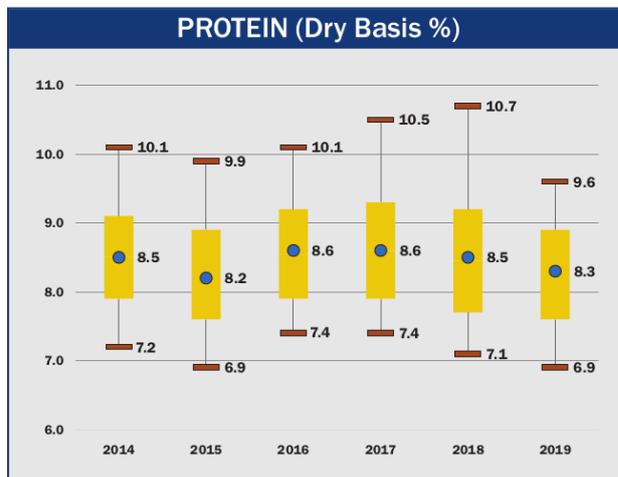
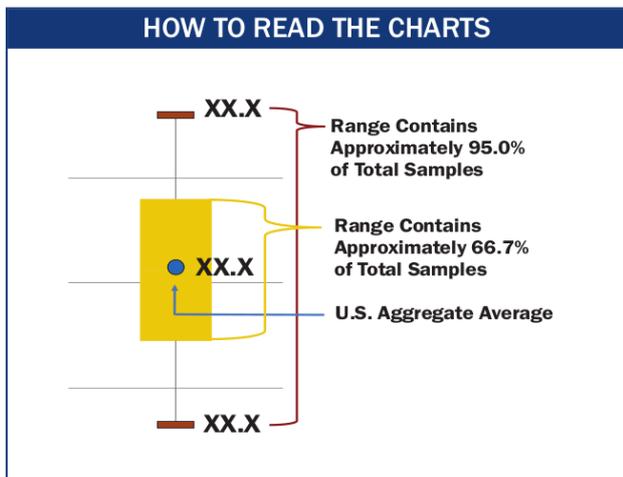
トウモロコシの化学組成は主としてタンパク質やデンプン、油分から構成されています。こうした化学組成は等級ファクターではありませんが、エンドユーザーは非常に強い関心を持っています。化学組成の値は、家畜・家禽類の飼料の栄養価値や、ウェッ

トミリング等トウモロコシを加工するための追加的な情報となるものです。多くの物理的特性とは異なり、化学組成の値は保管中または輸送中に大幅に変化するとは考えられません。

概要：化学組成

- | | |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • 2019年の米国集計タンパク質含有率平均値（乾物比 8.3%）は2018年（8.5%）、2017年（8.6%）および5YA（8.5%）を下回っている。 • 2019年、2018年、2017年および5YAのいずれにおいても、ガルフ ECA のタンパク質含有率は他の ECA 地域の値を下回るか同率下位である。 • 2019年の米国集計デンプン含有率平均値（乾物比 72.3%）は2018年を下回り、2017年と同じで、5YA（72.9%）を下回っている。 • 2019年、2018年、2017年および5YAのいずれにおいても、ガルフ ECA のデンプン含有率はすべての ECA の中で最も高い。 | <ul style="list-style-type: none"> • 2019年の米国集計油分含有率平均値（乾物比 4.1%）は2018年（4.0%）を上回り、2017年と同じで、5YA（3.9%）を上回っている。 • 2019年、2018年および2017年の化学組成のばらつきがほぼ同水準なのは、タンパク質、デンプンおよび油分の標準偏差の値が同水準であることに基づいている。 • ガルフ ECA、米国北西部 ECA および南部鉄道網 ECA の油分含有率の平均値はそれぞれ 4.0、4.1、4.0%である。2019年、2018年、2017年および5YAのいずれにおいても、油分含有率の平均値の各 ECA 間のばらつきは 0.1%以内である。 |
|---|--|

化学組成 6 年集計比較



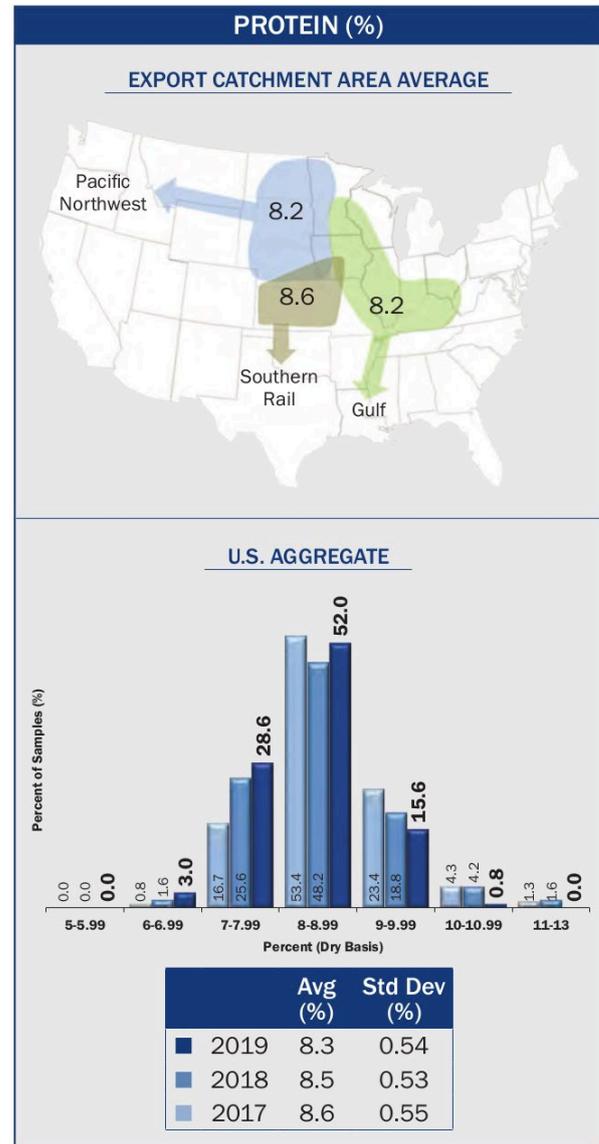
タンパク質

タンパク質は必須含硫アミノ酸を供給し、飼料要求効率の改善に寄与するという点で、家禽類および家畜用の飼料にとって非常に重要です。タンパク質は土壌中の可給態窒素が減ったときや収量の高い年には含有率が低下する傾向があります。タンパク質の

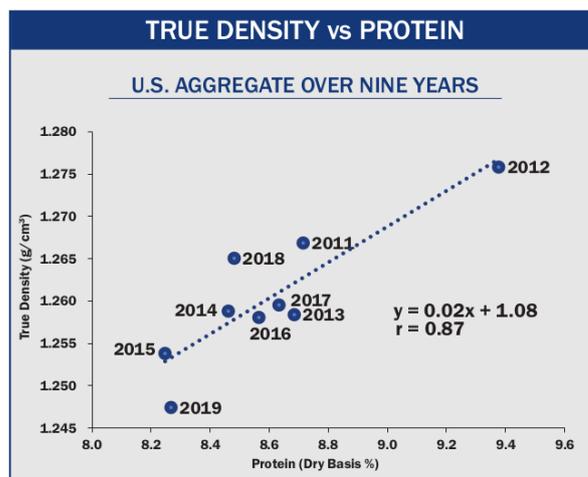
含有率は、通常、デンプンの含有率と負の相関関係にあります。報告結果は乾物ベースの値です。

結果

- 2019年の米国集計タンパク質含有率平均値は8.3%で、2018年(8.5%)、2017年(8.6%)および5YA(8.5%)を下回っている。
- 2019年の米国集計タンパク質含有率の標準偏差平均値(0.54%)は2018年(0.53%)、2017年(0.55%)および5YA(0.53%)とほぼ同じである。
- 2019年のタンパク質含有率のばらつき幅(6.2~10.4%)は2018年(6.6~11.9%)、2017年(6.4~12.2%)の幅とほぼ同じである。
- 2019年のタンパク質含有率の分布では、8.0%未満のものが31.6%、8.0%~8.99%のものが52.0%、9.0%を超えるものが16.4%を占めている。2019年のタンパク質含有率分布は、2018年および2017年よりもタンパク質含有率の多いサンプル数が少ないことを示している。
- ガルフECA、米国北西部ECAおよび南部鉄道網ECAのタンパク質含有率平均値はそれぞれ8.2、8.2および8.6%である。2019年、2018年、2017年および5YAのいずれにおいてもガルフECAのタンパク質含有率の値が最も低いか、最も低い値で並んでいる。



- 右図に示すように、過去9年の米国集計平均値から、タンパク質含有率が増加すると真の密度も上昇することが分かる（結果として相関係数は0.87）。一般に、真の密度が低い年はタンパク質含有率が低下し、真の密度が高い年はタンパク質含有率が上昇する。





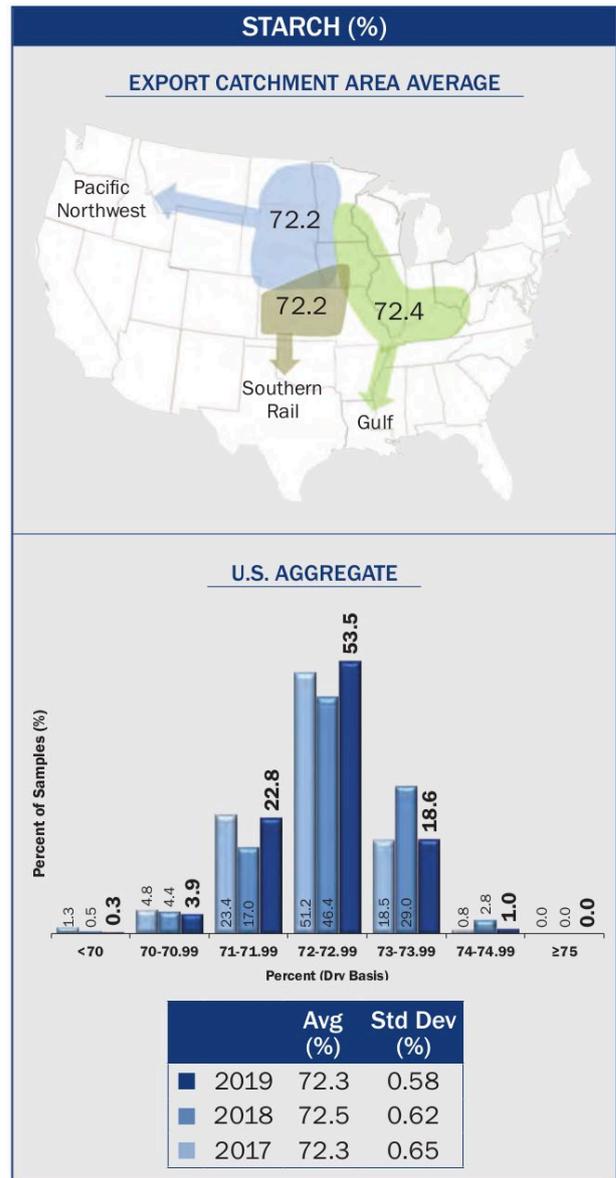
デンプン

デンプンはウェットミリング業者や乾式粉碎エタノール製造業者が用いるトウモロコシには重要なファクターです。デンプン含有率の高さは、多くの場合、穀粒の生育・登熟状態が良好であり、穀粒密度も適

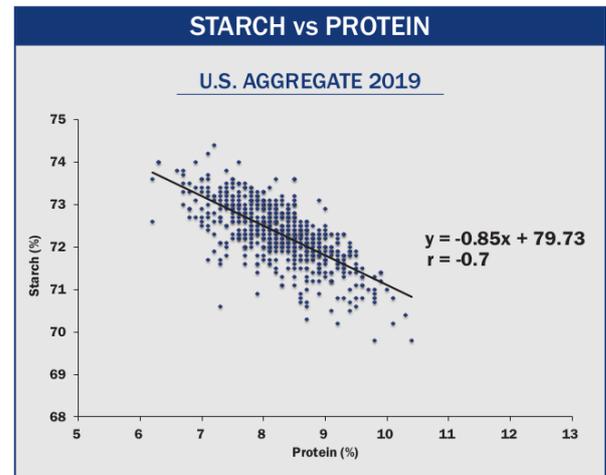
度であることを示唆します。通常、デンプン含有率はタンパク質含有率と負の相関関係にあります。報告結果は乾物ベースの値です。

結果

- 2019年の米国集計デンプン含有率の平均(72.3%)は2018年(72.5%)および2017年(72.3%)とほぼ同じであるが、5YA(72.9%)を下回っている。
- 2019年の米国集計デンプン標準偏差の値(0.58%)は2018年(0.62%)、2017年(0.65%)および5YA(0.62%)と同程度である。
- 2019年のデンプン含有率のばらつき幅(69.8~74.4%)は2018年(68.9~74.6%)および2017年(69.0~74.2%)と同程度である。
- 2019年のデンプン含有率の分布では、72%未満のものがサンプルの27.0%を占め、72.0~72.99%のものが53.5%、73.0%以上のものが19.6%を占めている。この分布は2019年の高デンプン含有率のサンプル数が2018年よりも少ないが、2017とは同程度であることを示している。



- ガルフ ECA、米国北西部 ECA および南部鉄道網 ECA のデンプン含有率平均値はそれぞれ 72.4、72.2 および 72.2% である。ガルフ ECA のデンプン含有率平均値は 2019 年、2018 年、2017 年および 5YA のいずれでも最も高い。2019 年、2018 年、2017 年および 5YA のいずれでも、ガルフ ECA のデンプン含有率は最も高く、タンパク質含有率は最も低いか最も低い値で並んでいる。
- デンプンとタンパク質はトウモロコシの 2 大栄養成分であるため、通常一方の割合が上昇すると他方が低下する。この関係を示したものが右の図で、デンプンとタンパク質との間に負の相関関係 (-0.70) があることが分かる。



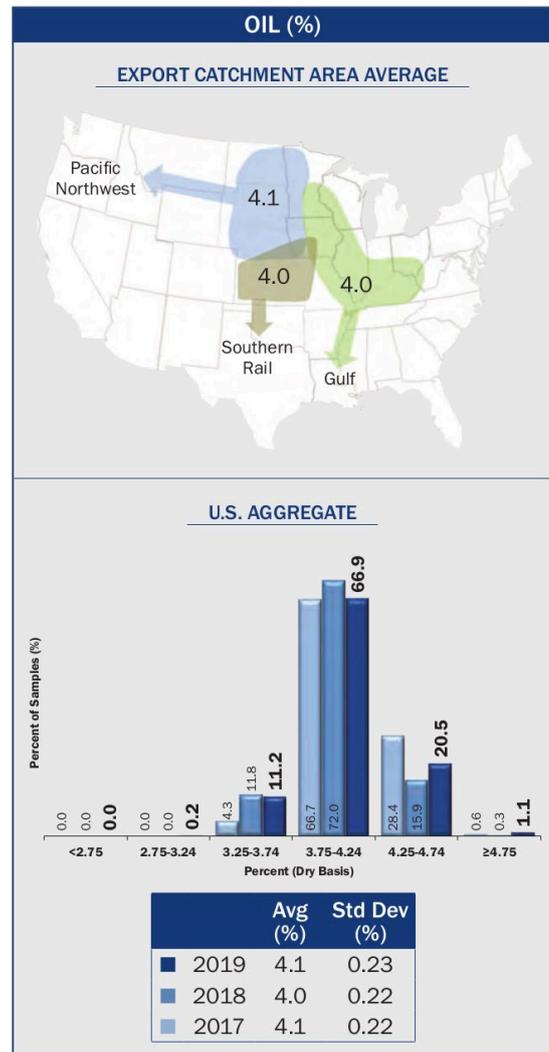
油分

油分は家禽類および家畜用の飼料にとって必須の成分です。油分はエネルギー源であり、脂溶性ビタミンを利用可能にし、特定の必須脂肪酸をもたらします。

油分はトウモロコシのウェットミリングおよびドライミリング工程の重要な併産物でもあります。報告結果は乾物ベースの値です。

結果

- 2019年の米国集計油分含有率の平均値（4.1%）は2018年（4.0%）を上回り、2017年と同じで、5YA（3.9%）を上回っている。
- 2019年の米国集計油分含有率の標準偏差（0.23%）は2018年と2017年（いずれも0.22%）、および5YA（0.26%）と同程度である。
- 2019年の油分含有率のばらつき幅（3.2～5.0%）は2018年（3.3～5.2%）および2017年（3.3～5.5%）とほぼ同じである。
- 2019年の油分含有率の分布では、3.74%以下のものがサンプルの11.4%を占め、3.75～4.24%のものが66.9%、4.25%以上のものが21.6%を占めている。2019年と2017年の分布をみると、油分含有率4.25%以上のサンプル数が2018年よりも多いことがわかる。
- ガルフ ECA、米国北西部 ECA および南部鉄道網 ECA の油分含有率平均はそれぞれ 4.0、4.1、4.0%である。2019年、2018年、2017年および5YA のいずれにおいても、ECA 間の油分含有率平均値のばらつきは 0.1%以下である。



まとめ: 化学的ファクター

	2019収穫					2018収穫			2017収穫			5年平均 (2014-2018)		
	サンプル数 ¹	平均	標準 偏差	最小	最大	サンプル数 ¹	平均	標準 偏差	サンプル数 ¹	平均	標準 偏差	平均	標準偏差	
米国集計						米国集計			米国集計			米国集計		
タンパク質 (乾物ベース %)	623	8.3	0.54	6.2	10.4	618	8.5*	0.53	627	8.6*	0.55	8.5	0.53	
デンプン (乾物ベース%)	623	72.3	0.58	69.8	74.4	618	72.5*	0.62	627	72.3	0.65	72.9	0.62	
油分(乾物ベース%)	623	4.1	0.23	3.2	5.0	618	4.0*	0.22	627	4.1*	0.22	3.9	0.26	
ガルフ						ガルフ			ガルフ			ガルフ		
タンパク質 (乾物ベース %)	594	8.2	0.54	6.2	10.4	587	8.3*	0.50	612	8.5*	0.54	8.4	0.52	
デンプン (乾物ベース%)	594	72.4	0.58	69.8	74.4	587	72.7*	0.61	612	72.4	0.64	73.0	0.62	
油分(乾物ベース%)	594	4.0	0.24	3.2	5.0	587	4.0	0.23	612	4.1*	0.22	4.0	0.27	
米国北西部						米国北西部			米国北西部			米国北西部		
タンパク質 (乾物ベース %)	318	8.2	0.54	6.6	10.1	288	8.6*	0.60	291	8.9*	0.58	8.7	0.57	
デンプン (乾物ベース%)	318	72.2	0.58	69.8	73.8	288	72.4*	0.64	291	71.9*	0.68	72.7	0.62	
油分(乾物ベース%)	318	4.1	0.25	3.5	5.0	288	4.0*	0.21	291	4.1	0.21	3.9	0.24	
南部鉄道網						南部鉄道網			南部鉄道網			南部鉄道網		
タンパク質 (乾物ベース %)	324	8.6	0.54	6.2	10.4	355	8.8*	0.55	393	8.8*	0.54	8.6	0.53	
デンプン (乾物ベース%)	324	72.2	0.56	69.8	74.2	355	72.3	0.63	393	72.3	0.62	72.8	0.61	
油分(乾物ベース%)	324	4.0	0.21	3.3	4.8	355	4.0*	0.21	393	4.1*	0.21	3.9	0.24	

*は有意水準95%で実施した両側 t 検定に基づき、平均値が2019年との間で有意な差を示していることを意味する。

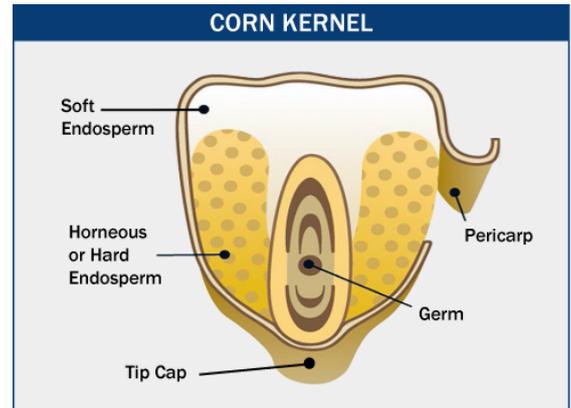
¹ ECA の結果は複合統計であるため、3ECA のサンプル数の合計は米国集計を超える。



D. 物理的ファクター

物理的ファクターは等級ファクターや化学組成以外の品質特性です。物理的ファクターにはストレスクラック、穀粒重量、穀粒容積、真の密度および完全粒の割合や硬胚乳の割合が含まれます。こうした物理的ファクターの試験を実施することで、保管性や取り扱い中の破損の可能性だけでなく、トウモロコシを様々な用途で使用する際の加工特性に関する追加情報を得ることができます。こうした品質特性はトウモロコシ穀粒の物理組成の影響を受けますが、物理組成自体は遺伝形質、生育・取り扱い条件の影響を受けます。

トウモロコシの穀粒は胚芽、尖頭、種皮または外皮、胚乳という4つの部分から構成されています。右図に示すように、穀粒の約82%を占める胚乳は軟胚乳（粉状または不透明胚乳とも呼ばれる）と硬胚乳（角質胚乳またはガラス質胚乳とも呼ばれる）に分かれています。



Source: Adapted from Corn Refiners Association, 2011

胚乳には主にデンプンとタンパク質が、胚芽には水分と多少のタンパク質が含まれており、種皮および尖頭の大半は繊維です。

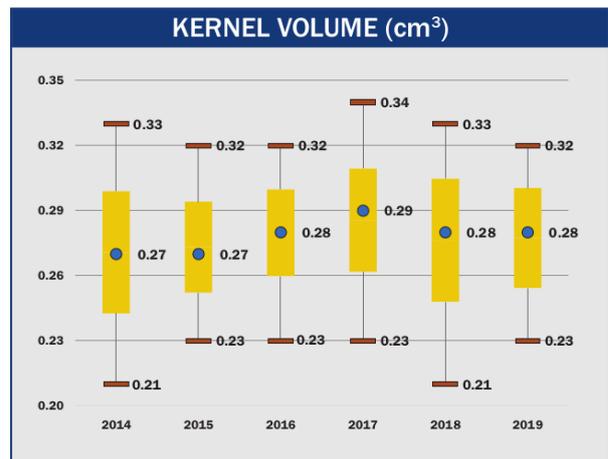
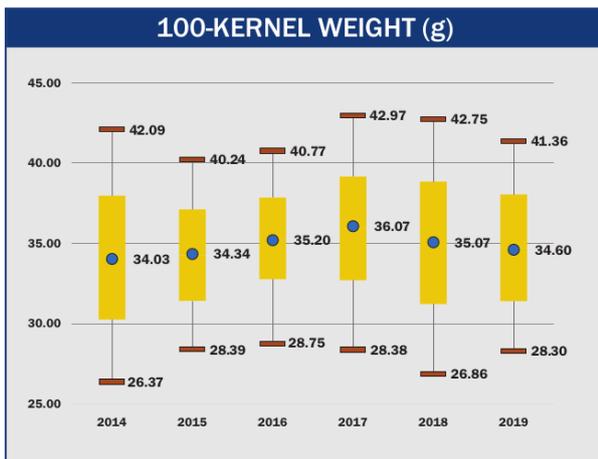
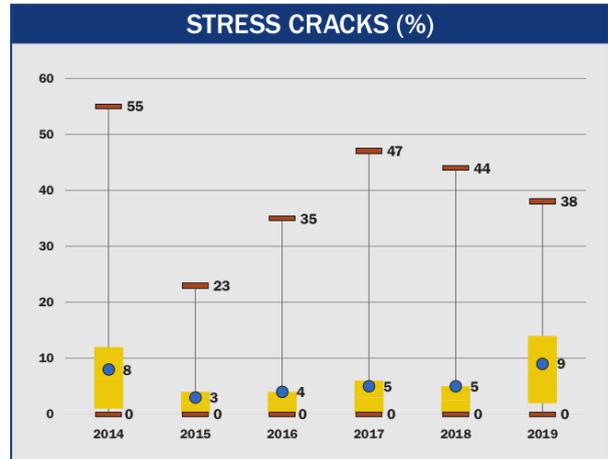
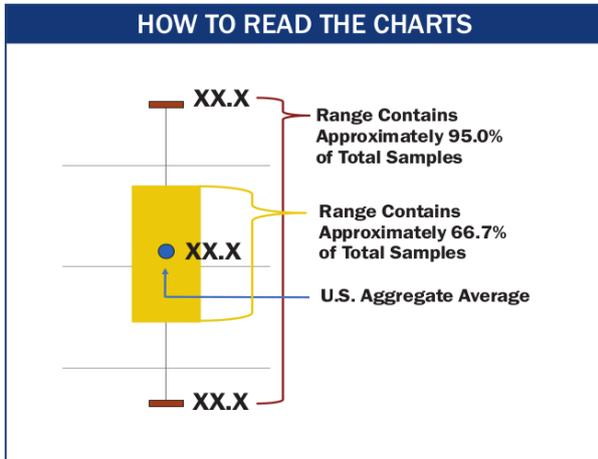


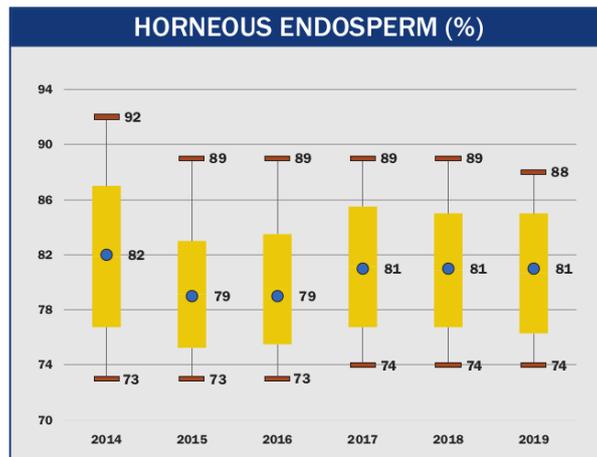
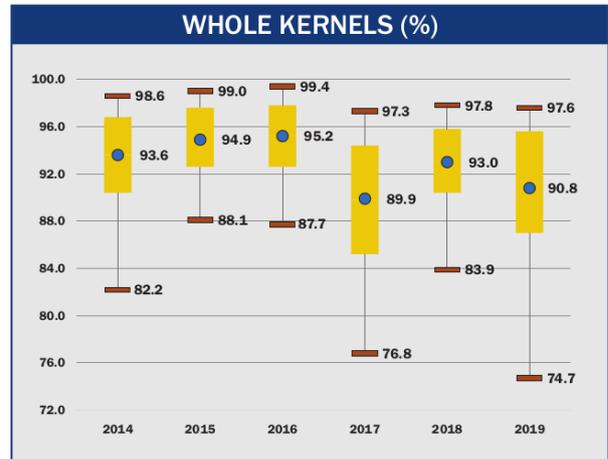
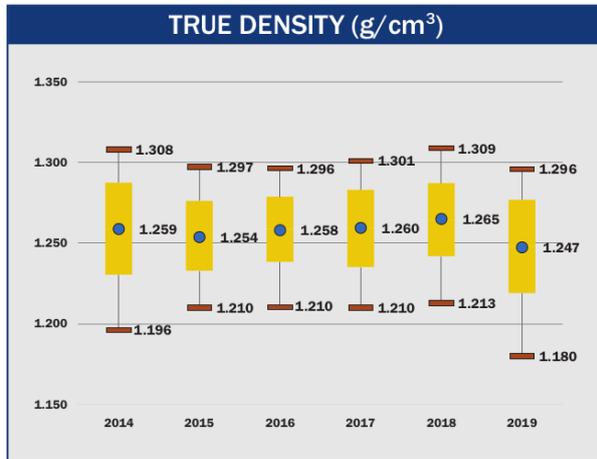
概要：物理的ファクター

- 米国集計のストレスクラックの平均値（9%）は2018年、2017年および5YA（すべて5%）を上回り、2019年の損傷しやすさが2018年、2017年および5YAを上回る可能性を示唆している。
- ECAをみると、ガルフECA、米国北西部ECAおよび南部鉄道網ECAのストレスクラック平均値はそれぞれ10、9、6%である。2019年、2018年、2017年および5YAのいずれでも、南部鉄道網ECAのストレスクラック平均値がすべてのECAの中で最も低い。
- 2019年の米国集計の百粒重平均値（34.60 g）は2018年（35.07g）、2017年（36.07 g）および5YA（34.94 g）を下回っている。
- 2019年の米国集計穀粒容積平均値（0.28cm³）は2018年および5YA（いずれも0.28 cm³）と同じで、2017年（0.29 cm³）を下回る。
- 2019年、2018年、2017年、5YAのいずれにおいても、米国北西部ECAの百粒重平均値と穀粒容積平均値はすべてのECAの中で最も低い。
- 2019年の米国集計の真の密度の平均値は1.247 g/cm³で、2018年、2017年および5YAを下回っている。1.275 g/cm³を上回る真の密度をもつ穀粒の分布をみると、2019年は2018年および2017年のものよりも柔らかいトウモロコシであることが示唆される。2019年、2018年、2017年および5YAのいずれにおいても、すべてのECAの中で米国北西部ECAの真の密度および容積重が最も低い。
- 2019年の米国集計の完全粒の平均値は90.8%で、2018年（93.0%）および5YA（93.3%）を下回っているが、2017年（89.9%）を上回っている。
- 2019年の米国集計の硬胚乳の平均値（81%）は2018年および2017年と同じであるが、5YA（80%）を上回っている。2019年、2018年、2017年、5YAのいずれにおいても、南部鉄道網ECAの硬胚乳平均値はすべてのECAの中で最も高いか同率一位である。真の密度の平均値が高い年には硬胚乳平均値が上昇する傾向にある。



物理ファクター 6年集計比較







ストレスクラック

ストレスクラックはトウモロコシ粒の硬胚乳内部の亀裂を意味します。通常、ストレスクラックのある穀粒の種皮（外皮）には損傷が見られず、ストレスクラックが存在していたとしても、一見するだけでは穀粒になんら問題はないように見えることがあります。

ストレスクラックの計測法には「ストレスクラック率」（1本以上の亀裂のある穀粒の割合）や、1本、2本およびそれを超える複数のストレスクラックの加重平均値を示す「ストレスクラック指標」（SCI）などがあります。いずれの測定も外傷のない百粒の同じサンプルを用います。「ストレスクラック率」ではストレスクラックのある穀粒の数のみを測定しますが、SCIはストレスクラックの深さを示します。例えば、穀粒の半数にストレスクラックが1本だけある場合、「ストレスクラック率」は50%で、SCIは50（50×1）です。ところが、半数の穀粒に複数（2本超）のストレスクラックがある場合、取扱中に破損が発生する可能性が高くなりますが、「ストレスクラック率」は50%のままであるのに対し、SCIは250（50×5）となります。「ストレスクラック率」およびSCIのいずれも常に数値が低い方が望まれます。過去8年間、ストレスクラック率およびストレスクラック指標両方について、試験が行われました。しかし、右の図のように2つの数値間には非常に高い相関関係があることが示される（ $r = 0.99$ ）ため、2019年度からは、ストレスクラック値のみを計測・記録することになりました。

ストレスクラックの原因は穀粒の硬胚乳内の水分や温度の変化から生じる圧力の蓄積です。これは、ぬるい飲み物に氷を入れたときに氷の内部に発生する亀裂に例えることができます。軟質の粉状胚乳では硬胚乳ほど内部ストレスが蓄積されることはありません。従って、硬胚乳の割合が大きいトウモロコシ

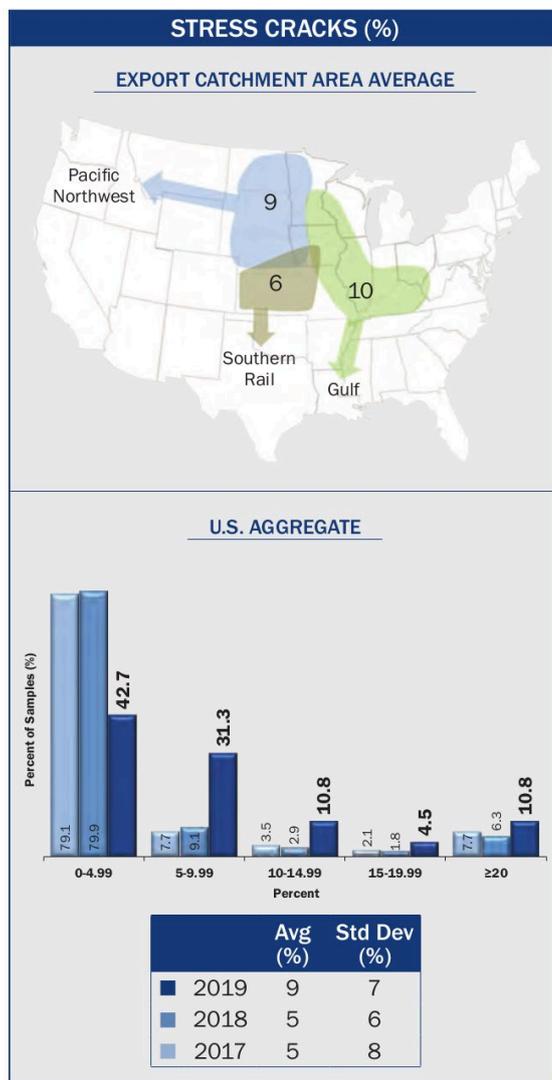
では柔らかなトウモロコシよりもストレスクラックが発生しやすくなります。トウモロコシ粒ごとにストレスクラックの程度が異なることがあり、ストレスクラックが1本だけの場合も、2本またはそれ以上の場合もあります。最も一般的なストレスクラックの原因は高温乾燥による急激な水分除去です。ストレスクラックの程度が激しいと、次のような様々な用途に影響を及ぼします。

- 全般：取り扱い中に破損しやすさが増す。このため、加工業者にとっては、洗浄処理中に除去しなければならない破損粒が増え、等級・価値が下がる可能性がある。
- ウェットミリング：デンプンとタンパク質とを分離させることが困難になるため、デンプン収率が低下する。ストレスクラックによって浸漬要件も変わってくることもある。
- ドライミリング：大型フレーキンググリッツ（多くのドライミリング業者の主製品）の収量が低下する。
- アルカリ処理：不均一な水分吸収により過剰または不十分な加熱処理となり、これが処理のバランスに影響を及ぼす。

生育条件は作物の成熟度や収穫時期、人工乾燥の必要性に影響を及ぼしますが、こうした要素は各地域のストレスクラックの程度にも影響を与えます。例えば、降雨による作付の遅れや低温といった気象に関係するファクターにより成熟期や収穫期が遅れた場合には、人工的に乾燥させる必要性が高まることもあり、そのためにストレスクラックの発生も増える傾向にあります。

結果

- 2019年の米国集計のストレスクラック率の平均値は9%で、2018年、2017年および5YA（すべて5%）を上回っている。
- 2019年の米国集計ストレスクラック率の標準偏差（7%）は2018年（6%）、2017年（8%）および5YA（7%）と同程度である。
- 2019年のストレスクラック率のばらつき幅は0～95%で、2018年の幅は0～88%、2017年は0～90%である。
- 2019年のストレスクラック率10%未満のサンプルの割合（74.0%）は2018年（89.0%）および2017年（86.8%）を下回っている。また、ストレスクラック率が20.0%を上回るのは2019年のサンプル中10.8%で、2018年（6.3%）および2017年（7.7%）を上回っている。ストレスクラック率の分布は、2019年のトウモロコシの破損し易さが2018年および2017年を上回ることを示唆している。
- 2019年のストレスクラック率の平均値はガルフECA、米国北西部ECAおよび南部鉄道網ECAの値がそれぞれ10%、9%、6%である。2019年、2018年、2017年および5YAのいずれにおいても、すべてのECAの中で南部鉄道網ECAのストレスクラック率が最も低い。
- 2019年は、トウモロコシの多くの作付が通常より最大1か月遅れたため、終盤の圃場での乾燥状況の遅れとともに収穫がずれ込んだ。このため、収穫時の水分含量が多く、人工乾燥の必要性が高まり、結果として過去数年と比較してストレスクラック増加の可能性につながった。平均水分含量（17.5%）は2018年、2017年および5YAを上回る。



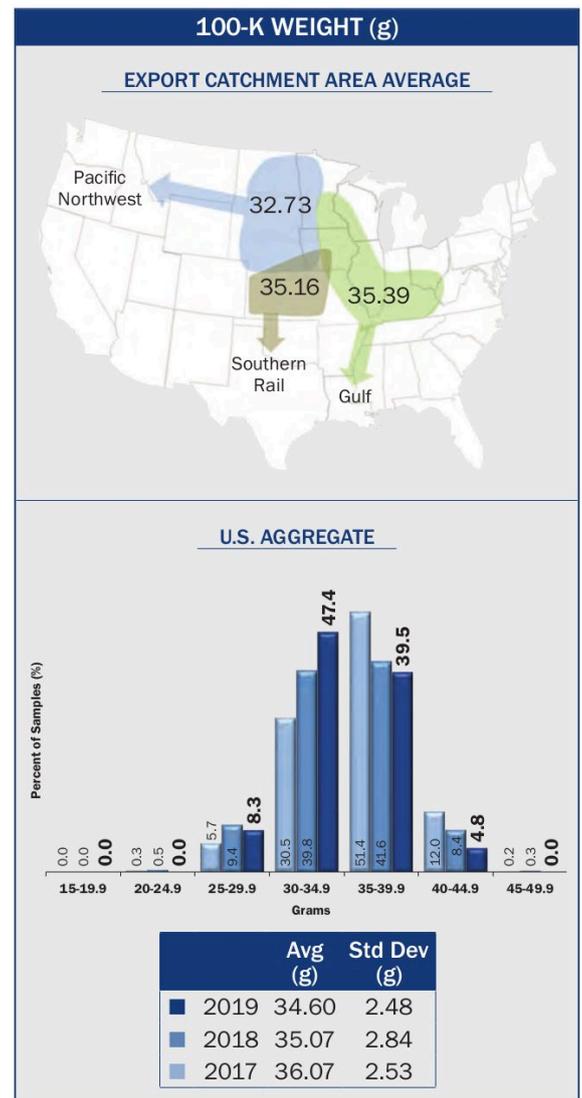
百粒粒

百粒（100-k）の重量（グラム表示）をみると、百粒重の値が増加するに従って穀粒のサイズが大きくなることがわかります。穀粒の大きさは乾燥速度に影響を及ぼします。穀粒のサイズが大きくなると表面積に対する体積の比率が高くなり、この比率が高くなると乾燥速度が遅くなります。さらに、多くの場合、大きく均一なサイズの穀粒はドライミリングでのフレーキンググリッツ収量を高めます。硬胚乳の量が多いトウモロコシのスペシャルティ品種では穀粒の重量は高くなる傾向があります。

なる乾燥速度が遅くなります。さらに、多くの場合、大きく均一なサイズの穀粒はドライミリングでのフレーキンググリッツ収量を高めます。硬胚乳の量が多いトウモロコシのスペシャルティ品種では穀粒の重量は高くなる傾向があります。

結果

- 2019 年米国集計サンプルの百粒重平均値は 34.60 g で、2018 年（35.07 g）、2017 年（36.07 g）および 5YA（34.94 g）を下回っている。
- 2019 年米国集計の百粒重のばらつき（標準偏差 2.48g）は 2018 年（2.84 g）、2017 年（2.53 g）および 5YA（2.61 g）を下回っている。
- 2019 年の百粒重のばらつきの幅（25.11 ~ 43.93 g）は 2018 年（23.86 ~ 45.88 g）および 2017 年（23.06 ~ 46.44 g）を下回っている。
- 2019 年の百粒重の分布をみると、百粒重 35 g 以上のものがサンプルの 44.3% を占め、これに対し 2018 年は 50.3%、2017 年は 63.6% である。この分布は 2019 年のサイズの大きな穀粒の割合が 2018 年および 2017 年より少ないことを示している。
- 米国北西部 ECA の平均百粒重が最も軽く（32.73 g）、これに対しガルフ ECA は 35.39 g、南部鉄道網 ECA は 35.16 g である。2019 年、2018 年、2017 年および 5YA のいずれにおいても、米国北西部 ECA の百粒重が最も軽い。



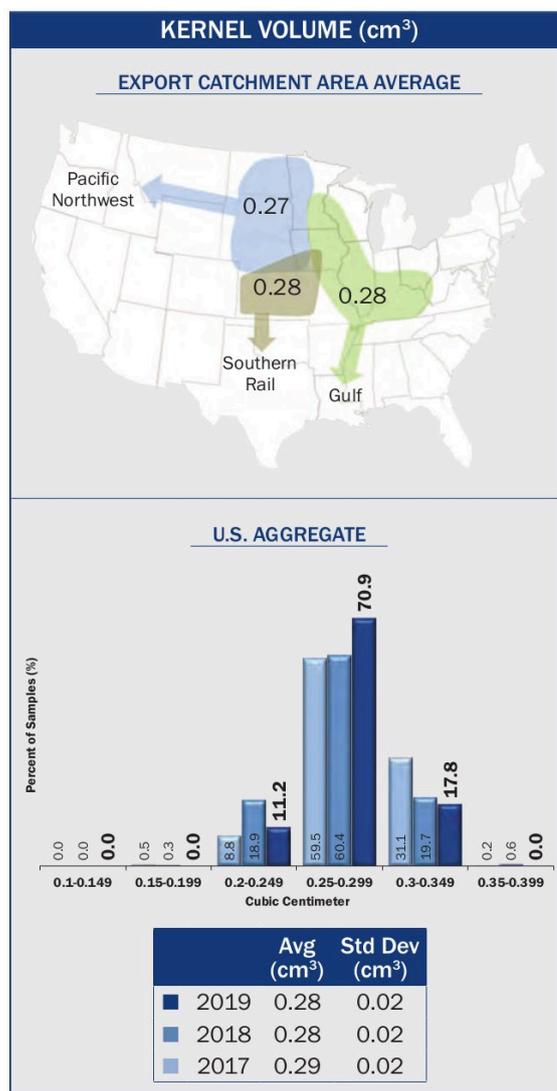
穀粒容積

立方センチメートル (cm³) 単位で表示される穀粒容積は、多くの場合生育状況の指標となります。乾燥した条件下では穀粒の体積は平均値を下回ることがあります。シーズン後半で干ばつに見舞われると

登熟度が低下する可能性があります。小さい粒あるいは丸い粒では胚芽を取り除くことが困難になります。加えて、粒が小さいと加工業者の洗浄損が増加し、繊維収率が高まる可能性があります。

結果

- 2019年の米国集計の穀粒容積の平均値は 0.28 cm³ で、2018年、5YA と同じで、2017年(0.29cm³)を下回る。
- いずれの年度でも穀粒容積のばらつきに変化はない。米国集計の穀粒容積の標準偏差は2019年、2018年、2017年および5YAのいずれも 0.02 cm³ である。
- 2019年の穀粒容積のばらつき幅 (0.22 ~ 0.34 cm³) は2018年 (0.19 ~ 0.36 cm³) および2017年 (0.18 ~ 0.36 cm³) とほぼ同じである。
- 2019年の穀粒容積の分布では、穀粒容積が 0.30 cm³ 以上のものがサンプルの 17.8% を占め、これに対し2018年は 20.3%、2017年は 31.3% である。この分布は2019年のサイズの大きな穀粒の割合が2018年および2017年の割合を下回っていることを示している。
- ガルフ ECA、米国北西部 ECA および南部鉄道網 ECA の穀粒容積の平均はそれぞれ 0.28、0.27 および 0.28 cm³ である。2019年、2018年、2017年および5YAのいずれにおいても、米国北西部 ECA の穀粒容積平均が3ECAの中で最も小さい。



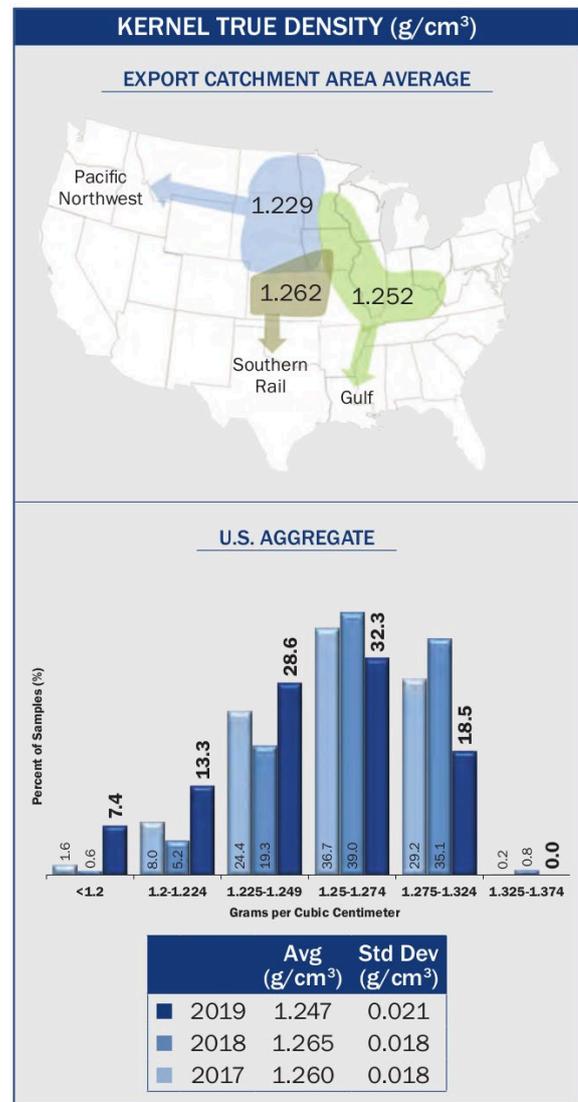
真の密度

穀粒の真の密度は百粒のサンプルの重量を同じ百粒の容積、すなわち押しのか容積で除して求め、1立方センチメートル当たりのグラム数 (g/cm³) 単位で報告します。真の密度は穀粒の硬度を相対的に示す指標で、アルカリ処理やドライミリングを行う業者にとって有用な数値です。真の密度は、ハイブリッド品種のトウモロコシの遺伝形質および生育期間の環境の影響を受けることがあります。一般に、密度の高いトウモロコシは密度の低いトウモロコシよ

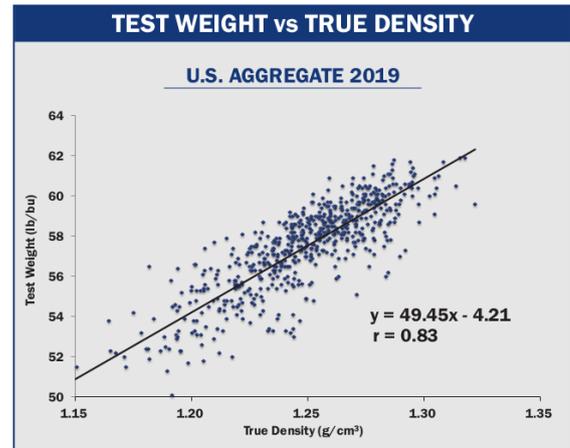
りも取り扱い中に破損が発生し難いものの、高温乾燥が用いられるとストレスクラックを発生させるリスクが上昇します。真の密度が 1.30 g/cm³ を超えると、通常ドライミリングやアルカリ処理に適した非常に硬質なトウモロコシであることが示唆されます。真の密度が 1.275 g/cm³ 程度、あるいはそれを下回る場合には、トウモロコシは柔らかくなり、ウェットミリングや飼料原材料用の加工が容易になります。

結果

- 2019年の米国集計の真の密度の平均値 (1.247 g/cm³) は 2018年 (1.265 g/cm³)、2017年 (1.260 g/cm³) および 5YA (1.259 g/cm³) を下回っている。過去9年にわたり、真の密度はタンパク質含有率が多い年ほど上昇する傾向にある。
- 2019年の標準偏差に基づく米国集計の真の密度のばらつき (0.021 g/cm³) は 2018年、2017年 および 5YA (すべて 0.018 g/cm³) を上回っている。
- 2019年の真の密度のばらつきの幅は 1.116 ~ 1.322 g/cm³ で、これに対し 2018年は 1.167 ~ 1.374 g/cm³、2017年は 1.135 ~ 1.332 g/cm³ である。
- 2019年のサンプル中、真の密度が 1.275 g/cm³ 以上のものは約 18.5% で、これに対し 2018年は 35.9%、2017年は 29.4% である。多くの場合、1.275g/cm³ を超える値は硬いトウモロコシ、1.275g/cm³ を下回るものは通常柔らかいトウモロコシであることを示すと考えられるため、この穀粒分布は 2019年のトウモロコシが 2018年および 2017年のトウモロコシよりも柔らかいことを示唆している。
- 2019年のガルフ ECA、米国北西部 ECA および 南部鉄道網 ECA の真の密度の平均値はそれぞれ 1.252、1.229、1.262 g/cm³ である。2019年、2018年、2017年および 5YA のいずれにおいても、米国北西部 ECA の真の密度および容積重の平均値は他の ECA 地域の数値を下回っている。



- かさ密度としても知られている容積重は1クォート入るカップに詰め込むことのできる質量を基にしている。右図に示すように、容積重は真の密度の影響を受ける(結果として相関係数は0.83)が、同時に水分含量、種皮の損傷(完全粒)、破損およびその他のファクターの影響も受ける。2019年の容積重は57.3 lb/buで、この値は2018年および2017年(いずれも58.4 lb/bu)を下回る。従って、2019年の真の密度とかさ密度の平均値は過去2年および5YAを下回っている。





完全粒

その名称から、完全粒と BCFM との間に何らかの負の相関関係があるかのように思われますが、完全粒試験は BCFM 試験による破損粒の割合とは異なる情報を提供するものです。破損粒は物質のサイズだけで決まります。完全粒というのはその名が示すように、サンプルに含まれる完全無傷で、種皮に損傷がなく、欠損のない穀粒のことで、値はパーセントで示されます。

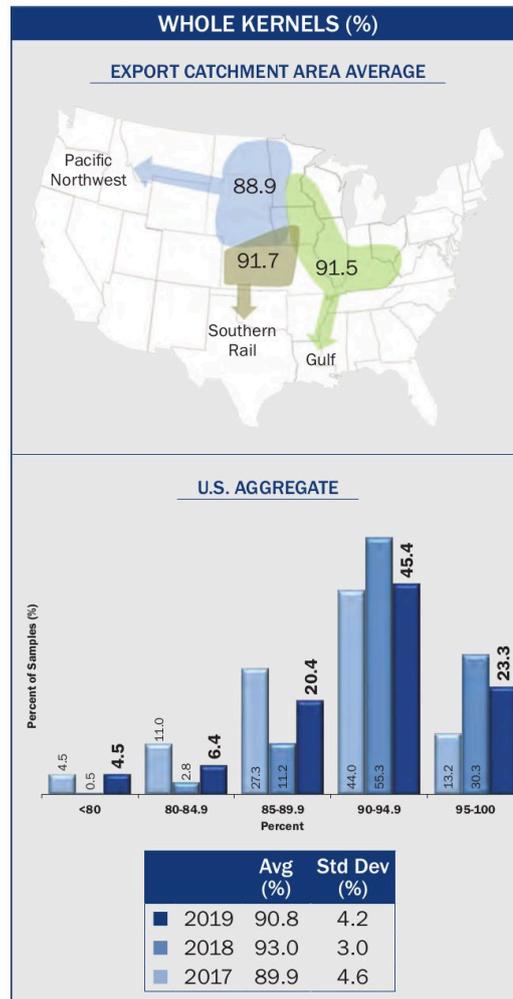
主として二つの理由からトウモロコシ粒の外観の完全性は非常に重要です。第一はアルカリ処理および浸漬工程での吸水状態に影響を及ぼすという理由です。穀粒に欠けまたは種皮に亀裂があると、水は無傷の穀粒すなわち完全粒よりも早く染み込んでいきます。加熱中に水分が過剰に内部に取り込まれると、ソリュブルの損失、不均一な加熱、高額な費用のかかる運転停止といった事態や、仕様から逸脱した製品といった結果を招きかねません。契約によって、納入されたトウモロコシが指定した完全粒レベルを上回った場合プレミアムを支払う企業さえあります。

第二に、穀粒が無傷で完全であると保管中にカビが発生しにくく、取扱い中の破損も少なくなります。軟質トウモロコシよりも硬胚乳の方が完全粒の維持に適していますが、完全粒を提供するために最も重要なファクターは収穫・取扱いです。このファクターはコンバインの適切な調整に始まり、次に圃場からエンドユーザーに届けられるまでに必要なコンベヤーや取扱い作業の回数によって穀粒が受ける衝撃の程度です。その後の取扱いのひとつひとつがさらなる損傷につながります。水分含量が低下し、落下高さか、穀粒が衝撃を受けるときの速度が増すに従って、実際の損傷の量は飛躍的に増加することになります⁴。さらに、通常は水分含量の高い状態（例えば 25%超）で収穫すると、低い状態で収穫する場合よりも種皮が柔らかくなり、トウモロコシの種皮損傷が起こりやすくなります。

⁴Foster, G.H.およびL.E.Holman, 1973年。「Grain Breakage Caused by Commercial Handling Methods」USDA Marketing Research Report Number 968」

結果

- 2019年の米国集計トウモロコシの完全粒平均値は90.8%で、2018年(93.0%)および5YA(93.3%)を下回るが、2017年(89.9%)を上回っている。
- 2019年の完全粒の標準偏差(4.2%)は2018年(3.0%)および5YA(3.3%)を上回るが、2017年(4.6%)を下回っている。
- 2019年の完全粒のばらつき幅(25.4~99.6%)は2018年(66.0~98.6%)および2017年(67.0~99.2%)を大幅に上回っている。
- 2019年のサンプル中、完全粒が90%以上のものが68.7%を占め、これに対し2018年は85.6%、2017年は57.2%である。この分布は2019年サンプルの完全粒の割合が2018年の割合を下回っていることを示している。
- ガルフ ECA、米国北西部 ECA および南部鉄道網 ECA の完全粒平均値はそれぞれ 91.5、88.9 および 91.7%である。

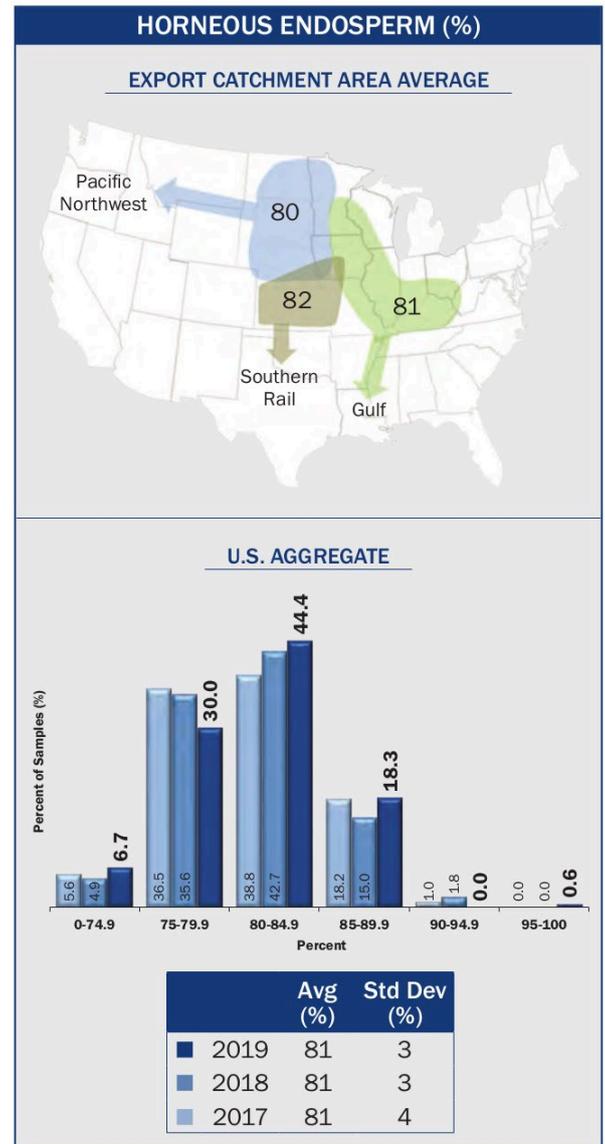


硬胚乳

硬胚乳試験では穀粒の全胚乳中に硬胚乳が占める割合を測定しますが、この値は通常 70~100%の間となります。軟胚乳と比較して硬胚乳の量が多いほどトウモロコシ粒は硬くなると言われています。加工の種類によって硬さの程度が重要になってきます。ドライミリングで加工される大型フレーキンググリッツの収率を高くするためには硬いトウモロコシが必要です。アルカリ処理には中~高程度の硬さのトウモロコシが望ましく、ウェットミリングや家畜飼料には低~中程度の硬さのトウモロコシが用いられます。硬さは破損し易さ、飼料効率およびデンプン消化率との相関関係があります。

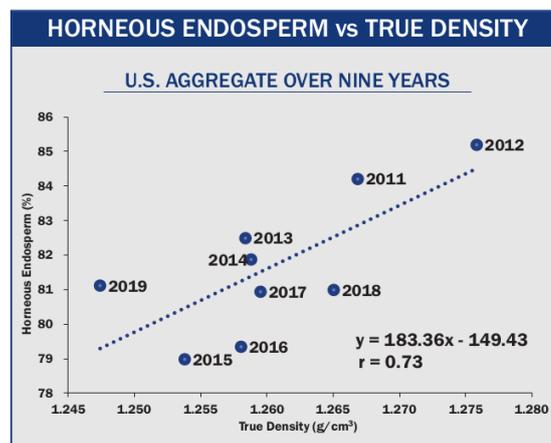
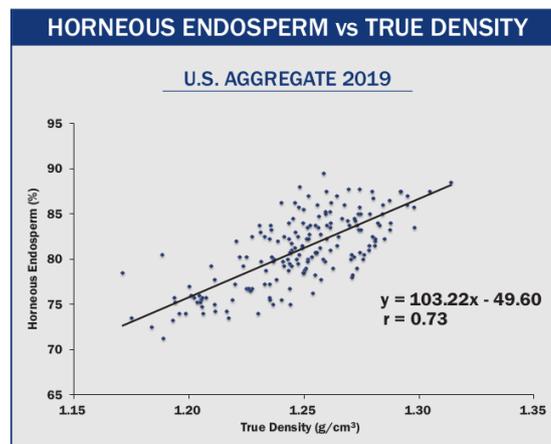
全体的な硬さを知るための測定試験として得られる硬胚乳の値に良いも悪いもありません。それぞれのエンドユーザーにとって望ましい特定の硬胚乳率の範囲があるにすぎません。ドライミリングおよびアルカリ処理を行う業者の多くは硬胚乳率が 85%を超えるトウモロコシを好み、一方ウェットミリング業者および飼料業者は一般に硬胚乳率 70~85%の範囲のトウモロコシを好みます。しかし当然のことながら、ユーザーの好みには例外も存在します。

2019/2020 年収穫時報告書から、マイコトキシン試験用のサンプルに限定して硬胚乳試験が実施されることになりました。過去 8 回の報告書の試験対象サンプルすべてにこの品質ファクターの試験をした場合、この品質ファクターについての相対的許容誤差が 0.4%を上回ったことはありません。そのため、硬胚乳試験対象サンプル数が減少しても、この品質ファクターの精度は目標とする±10.0%を十分に下回ると考えられました。品質ファクターの相対許容誤差の算出に関する詳細な情報は「試験・統計分析方法」をご参照下さい。



結果

- 2019年の米国集計硬胚乳率の平均（81%）は2018年および2017年（いずれも81%）と同じであるが、5YA（80%）を上回っている。
- 2019年および2018年の米国集計の硬胚乳率の標準偏差は3%で、2017年および5YA（いずれも4%）を下回っている。
- 2019年の硬胚乳率のばらつき幅（71～96%）は2018年（72～92%）および2017年（71～92%）とほぼ同じである。
- 2019年のサンプル中、硬胚乳率が80%を超えるものは63.3%で、2018年（59.5%）および2017年（58.0%）を上回っている。この分布は2019年の硬胚乳のトウモロコシ穀粒が過去2年よりも多いことを示している。
- ガルフ ECA、米国北西部 ECA および南部鉄道網 ECA の硬胚乳率平均値は、それぞれ 81%、80% および 82% となっている。2019年、2018年、2017年および5YA のいずれにおいても、南部鉄道網 ECA の硬胚乳率平均値が全 ECA 中で最も高いか同率一位である
- 右の図が示すように、2019年のサンプルの硬胚乳率と真の密度との間には弱いながらも正の相関関係（ $r = 0.73$ ）がある。
- 次の図は過去9年にわたる米国集計の硬胚乳率および真の密度の平均値を示している。この図から、米国集計の硬胚乳率平均値は真の密度とともに増加することが分かり（ r の相関係数 $r = 0.73$ ）、従って、真の密度の平均値が高い年には硬胚乳率が高い傾向がある。





まとめ: 物理的ファクター

	2019年収穫					2018年収穫			2017年収穫			5年平均 (2014-2018)		
	サン プル数 ¹	平均	標準 偏差	最小 値	最大 値	サン プル数 ¹	平均	標準 偏差	サン プル数 ¹	平均	標準 偏差	平均	標準 偏差	
米国集計						米国集計			米国集計			米国集計		
ストレスクラック (%)	623	9	7	0	95	618	5*	6	627	5*	8	5	7	
百粒重 (g)	623	34.60	2.48	25.11	43.93	618	35.07*	2.84	627	36.07*	2.53	34.94	2.61	
穀粒容積 (cm ³)	623	0.28	0.02	0.22	0.34	618	0.28	0.02	627	0.29*	0.02	0.28	0.02	
真の密度 (g/cm ³)	623	1.247	0.021	1.116	1.322	618	1.265*	0.018	627	1.260*	0.018	1.259	0.018	
完全粒 (%)	623	90.8	4.2	25.4	99.6	618	93.0*	3.0	627	89.9*	4.6	93.3	3.3	
硬胚乳 (%)	180	81	3	71	96	618	81	3	627	81	4	80	4	
ガルフ						ガルフ			ガルフ			ガルフ		
ストレスクラック (%)	594	10	9	0	95	587	4*	5	612	6*	8	5	7	
百粒重 (g)	594	35.39	2.60	26.61	43.93	587	35.74*	2.86	612	36.94*	2.45	35.55	2.63	
穀粒容積 (cm ³)	594	0.28	0.02	0.22	0.34	587	0.28	0.02	612	0.29*	0.02	0.28	0.02	
真の密度 (g/cm ³)	594	1.252	0.019	1.116	1.322	587	1.266*	0.017	612	1.262*	0.018	1.261	0.018	
完全粒 (%)	594	91.5	3.8	58.0	99.6	587	93.1*	3.0	612	90.0*	4.7	93.4	3.3	
硬胚乳 (%)	170	81	3	71	96	587	81	3	612	81	4	80	4	
米国北西部						米国北西部			米国北西部			米国北西部		
ストレスクラック (%)	318	9	7	0	58	288	7*	8	291	5*	7	5	6	
百粒重 (g)	318	32.73	2.19	25.11	42.33	288	32.97	2.67	291	33.39*	2.68	32.86	2.48	
穀粒容積 (cm ³)	318	0.27	0.02	0.22	0.34	288	0.26*	0.02	291	0.27	0.02	0.26	0.02	
真の密度 (g/cm ³)	318	1.229	0.025	1.116	1.316	288	1.257*	0.018	291	1.249*	0.018	1.251	0.018	
完全粒 (%)	318	88.9	5.2	25.4	99.0	288	92.9*	3.1	291	89.4	4.8	93.1	3.5	
硬胚乳 (%)	95	80	3	73	90	288	81*	3	291	81*	4	80	3	
南部鉄道網						南部鉄道網			南部鉄道網			南部鉄道網		
ストレスクラック (%)	324	6	5	0	95	355	3*	4	393	4*	6	4	5	
百粒重 (g)	324	35.16	2.54	27.21	42.74	355	35.59*	2.98	393	36.26*	2.65	35.42	2.69	
穀粒容積 (cm ³)	324	0.28	0.02	0.22	0.34	355	0.28	0.02	393	0.29*	0.02	0.28	0.02	
真の密度 (g/cm ³)	324	1.262	0.018	1.182	1.322	355	1.274*	0.019	393	1.265*	0.018	1.264	0.018	
完全粒 (%)	324	91.7	3.8	58.0	99.6	355	92.8*	2.7	393	90.0*	4.3	93.3	3.1	
硬胚乳 (%)	91	82	3	73	96	355	82	3	393	81*	3	81	4	

*は有意水準95%で実施した両側 t 検定に基づき、平均値が2019年との間で有意な差を示していることを意味する。

² ECA の結果は複合統計であるため、3ECA のサンプル数の合計は米国集計を超える。

³ 収穫母集団平均値を予測するための相対的 ME は±10%を上回る。

E. マイコトキシン

マイコトキシンは穀物に自然発生する菌類から産生される毒性のある化合物です。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。アフラトキシン、デオキシニバレノール（DON）およびフモニシンはトウモロコシに発生する最も一般的なマイコトキシンの中の3種であると考えられています。

これまでの*収穫時報告書*と同様に、2019年収穫時サンプルのサブセットにアフラトキシンおよびDONの試験を実施しました。2019年収穫時報告書では、試験対象となるマイコトキシンにフモニシンが追加されることになりました。2019年収穫時報告書には3種のマイコトキシン、すなわちアフラトキシン、DONおよびフモニシンが含まれます。マイコトキシンの産生には生育条件が大きな影響を及ぼすため、*収穫時報告書*の目的は収穫時のトウモロコシからアフラトキシン、DONまたはフモニシンが検出された事例を報告することに限定します。

*収穫時報告書*のマイコトキシンについてのレビューは、輸出される米国産トウモロコシにマイコトキシ

ンが発生するか否か、またそのレベルについて予測することを目的としたものではありません。米国穀物流通経路には複数の段階があり、業界に適用される法律や規則が存在するため、輸出トウモロコシのマイコトキシンレベルは、圃場から運び出されたままのトウモロコシに見られる可能性のある当初のマイコトキシンレベルを下回ります。加えて、本報告書の評価は調査対象の12州または3ECA地域全域のマイコトキシンの発生事例を反映していると示唆するものではありません。*収穫時報告書*の結果は、圃場から運び出された時点のトウモロコシに存在する可能性のあるマイコトキシンに関する単なるひとつの指標として使用されるべきものです。当協会が*収穫時報告書*の情報を何年にもわたり蓄積していくことで、収穫時トウモロコシに発生するマイコトキシンの年度別パターンが分かってくると思われます。2019/2020年トウモロコシ輸出貨物品質報告書は輸出地点でのトウモロコシの品質を報告するもので、2019/2020年米国産トウモロコシ輸出貨物中のマイコトキシンの存在についてより正確な指標が提供されることとなります。





背景：マイコトキシン全般

菌類が産生するマイコトキシンのレベルは、菌の種類およびトウモロコシの栽培や保管の環境条件の影響を受けます。こうした差があるため、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。いずれの生産地域の生育条件下でも、どのような種類のマイコトキシンのレベルも上昇しない年もあれば、環境条件によって特定の地域で特定のマイコトキシンが産生しやすくなりヒトや家畜のトウモロコシの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。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、デオキシニバレノールには勧告レベルを設定しています。

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ブ

背景：アフラトキシン

トウモロコシに関わる最も重要なマイコトキシンはアフラトキシンです。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いくつかの種類があり、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貯蔵中に広がる可能性があります。しかし、この収穫前の汚染がアフラトキシンに付随するほとんどの問題を引き起こすと考えられています。黄色アスペルギルスは高温

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によって押収されたり、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。

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について、業界を指導する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、勧告レベルの基本的な目的は強制措置を実施することではありません。

更に詳しい情報については、全米穀物飼料協会（NGFA）の「FDAマイコトキシン規制ガイドンス」というタイトルの手引書を参照して下さい。以下のウェブサイトで閲覧することができます。
https://drive.google.com/file/d/1tqeS5_eOtsRmxZ5RrTnYu7NClr896KGX/view

で乾燥した環境条件下や、干ばつが長引いた場合よく増殖します。高温で乾燥した条件が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。干ばつ条件下では絹糸から個々の穀粒へと進行して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。一般にこれらの 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 は食品および飼料から最もよく検出さ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 は動物にとって自然発生する強力な発癌性物質であり、ヒトの癌の発生にも強い関係性のあることがわかっています。さらに、乳牛は B1 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、乳汁に蓄積させることがあります。

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。

FDA は飲料用の牛乳についてはアフラトキシン M1 の規制レベルを、食品や穀物、家畜飼料についてはアフラトキシンの規制レベルを ppb で設定しています（下表参照）。

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、FDA は追加的な方針および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一般的な商用として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る場合を除き、試験は FGIS で行う必要があります。FDA の規制レベルである 20 ppb を超えてい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。

アフラトキシン 規制レベル	基準
20 ppb	乳畜、あらゆる年齢のペット、未成熟動物（家禽類の幼鳥を含む）および給餌する動物が不明の場合のトウモロコシ等穀物
100 ppb	繁殖用の肉牛、繁殖用の豚、成長後の家禽類
200 ppb	100ポンド以上の仕上げ豚
300 ppb	仕上げ肉牛（飼養場等）

出典: www.ngfa.org



背景：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) は一部の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、その中で最も重要なものが赤カビ菌類 (*Gibberellazeae*) で、赤カビ病

(*Gibberellazeae ear rot* または *red ear rot*) を発生させます。*Gibberellazeae* 菌は開花時期の天候が低温または適温で、多雨になると発生し易くなります。菌は絹糸から下に広がって穂に入り、デオキシニバレノールを産生するだけでなく、穀粒にはっきりとわかる赤い変色を起こします。トウモロコシを圃場でそのままにしておくと菌は広がり続け、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、極端に収穫が遅れたり、水分含量の高いトウモロコシを保存したりすると発生します。

多くの場合、デオキシニバレノール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ります。結果としてこうした動物はやがてデオキシニバレノール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、そうすると様々な感染症にかかり易くなります。

FDA はデオキシニバレノール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。

DON勧告レベル	基準
5.0 ppm	豚については飼料の20%を超えてはならない。
5.0 ppm	記載のない他の動物全てについては飼料の40%を超えてはならない。
10.0 ppm	鶏については飼料の50%を超えてはならない。
10.0 ppm	月齢4か月を超え、反芻を開始した肉牛および乳牛

出典: www.ngfa.org

輸出市場向けのトウモロコシについて FGIS にはデオキシニバレノール試験が求められていませんが、バイヤー側からの要請があればデオキシニバレノールの定性試験または定量試験のいずれかを実施します。



背景：フモニシン

フモニシンは自然発生するマイコトキシンで、その多くは穀物、主にトウモロコシに見られます。フモニシンはアフラトキシンやデオキシニバレノールよりもかなり後になって発見されました。フモニシンはフザリウム属の様々な菌種から産生されます。フモニシン類はフモニシン B1、フモニシン B2 およびフモニシン B3 から構成されます。フモニシン B1 が最も多く、全フモニシンの約 70～80% を占めています。フモニシンに関する主要な懸念事項は飼料汚染で、特に馬や豚に対して有害な影響を及ぼすことがあります。菌およびフモニシンの形成は主に収

穫前に起こります。虫は傷害因子として働くため、フモニシン汚染で重要な役割を果たします。温度および降雨条件は菌の増殖およびフモニシン汚染に関係します。一般に、フモニシン汚染は植物体のストレス、害虫による損傷、干ばつおよび土壌水分が関係しています。2001年にFDAはヒトおよび動物への曝露低減を目的に、トウモロコシ主体食品および飼料中のフモニシンの指導レベルを発表しました。FDA 勧告レベルは次のとおりです。

フモニシン指導レベル	基準
5.0 ppm	ウマ科動物（すなわち馬）とウサギ、飼料の20%を超えてはならない
20.0 ppm	豚とナマズ、飼料の50%を超えてはならない
30.0 ppm	繁殖用反芻動物、繁殖用家禽と繁殖用ミンク、飼料の50%を超えてはならない
60.0 ppm	月齢3か月を超える食肉処理目的の反芻動物、毛皮生産目的で飼養するミンク、飼料の50%を超えてはならない
100.0 ppm	食肉処理目的で飼養する家禽類、飼料の50%を超えてはならない
10.0 ppm	上記以外のその他すべての動物、飼料の50%を超えてはならない

出典: www.ngfa.org

背景：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) およびフモニシンの有無の評価

最低目標サンプル数（600）のうち、少なくともその25%に対し、2019年の生育条件が米国産トウモロコシに発生する総アフラトキシン、デオキシニバレノールおよびフモニシンに及ぼす影響を評価するために試験を実施しました。サンプリング基準は「調査および統計分析の方法」のセクションに記載していますが、結果としてマイコトキシン試験の対象サンプル数は合計182となりました。

サンプルに含まれるマイコトキシンが検出可能レベルか否か見極めるため、USDA FGISが定めた「低

結果：アフラトキシン

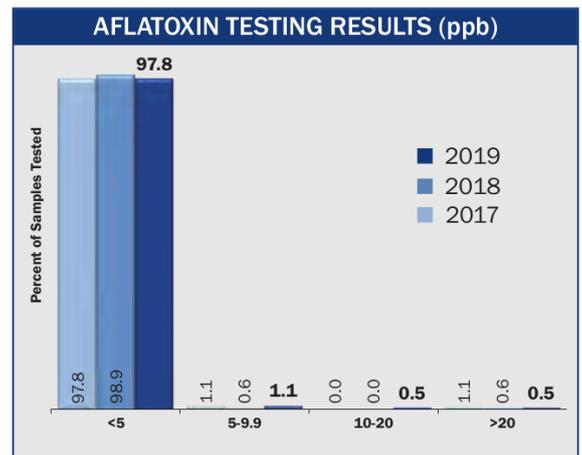
2019年はアフラトキシン試験用として合計182のサンプルを分析しましたが、これに対し2018年および2017年のアフラトキシン試験サンプル数はそれぞれ181と180でした。2019年の調査結果は以下のとおりです。

- 182のサンプル中178サンプル、すなわち97.8%に検出可能レベルのアフラトキシンは認められなかった（FGIS低準拠レベル5.0ppb未満）。これは検出可能レベルのアフラトキシンが認められなかった2018年（98.9%）と2017年（97.8%）のサンプルの割合とほぼ同じである。
- 182サンプル中2サンプル、すなわち11.1%は、アフラトキシンのレベルが5ppb以上かつ10ppb未満である。この割合は2018年（0.6%）と2017年（1.1%）とほぼ同じである。
- 182サンプル中、アフラトキシンのレベルが10ppb以上かつFDAの規制レベルである20ppb以下のサンプルは1、すなわち0.5%である。この割合は2018年（0.0%）と2017年（0.0%）のいずれともほぼ同じである。
- 182サンプル中1サンプル、すなわち0.5%は、アフラトキシンのレベルがFDAの規制レベルである20ppbを上回る。この割合は2018年（0.6%）および2017年（1.1%）とほぼ同じである。
- こうした2019年の試験結果は、182サンプルの

準拠レベル」と呼ばれる基準値を用いました。本2019/2020年報告書に用いられたFGIS承認の分析キット用の低準拠レベルはアフラトキシンで5.0ppb、DONおよびフモニシンで0.5ppmです。FGISの低準拠レベルはキット製造会社が規定するアフラトキシンの2.7ppb、DONの0.1ppmおよびフモニシンの1.5ppmという検出限界値を上回ります。本試験に用いられたマイコトキシン試験方法の詳細については、「試験分析方法」のセクションに記載しています。

うち181、すなわち99.4%がFDAの規制レベルである20.0ppb以下であることを示しており、これに対し2018年は試験サンプルの99.5%および2017年は98.9%である。

今年度のFGIS低準拠レベルの5.0ppbを下回るサンプルの割合（97.8%）が比較的高いのは、ひとつに2019年の気象条件がアフラトキシン発生には不向きなものであったためと考えられます（2019年の生育条件の詳しい情報については、「作物状況および気象状況」のセクションを参照して下さい）。

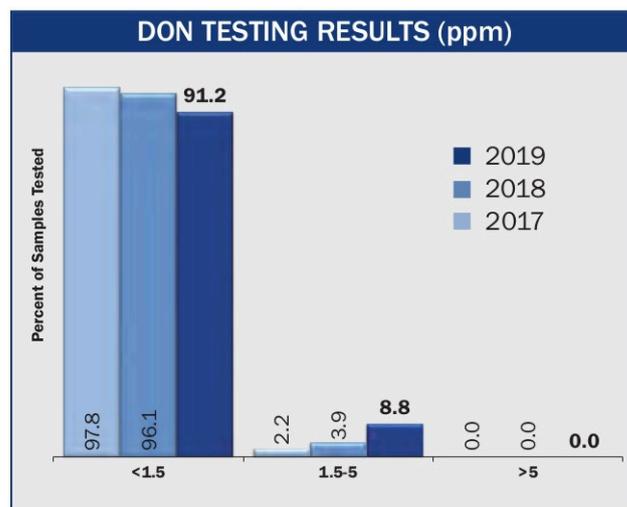


結果：デオキシニバレノール (DON またはボミトキシン)

2019年のデオキシニバレノールについては、合計182サンプルをまとめて分析しました。これに対し2018年および2017年のデオキシニバレノール試験サンプル数はそれぞれ181と180でした。2019年の調査結果は以下のとおりです。

- 試験対象の182サンプル中166サンプル、すなわち91.2%が1.5 ppmを下回っている。2019年のこの割合は2018年(96.1%)を下回り、試験対象サンプルの97.8%が1.5 ppmを下回った2017年も下回っている。
- 試験対象の182サンプル中16サンプル、すなわち8.8%が1.5 ppm以上で、かつFDAの勧告レベルである5.0 ppm以下である。2019年のこの割合は2018年(3.9%)および2017年(2.2%)を上回っている。
- 試験対象の182サンプル中、FDAの勧告レベルである5.0 ppmを上回っているサンプルはゼロ、すなわち0.0%で、これは2018年および2017年と同じである。

2019年の試験対象サンプルのうち1.5 ppmを下回ったサンプルの割合は過去2年の割合を下回っていますが、これは、2019年の例年以上に多雨であった気象状況に起因し、このためデオキシニバレノールが発生しやすくなったためと考えられています。



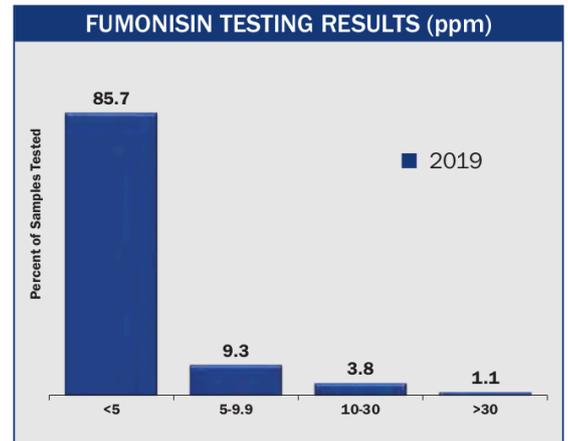


結果：フモニシン

2019年は合計182のサンプルをまとめてフモニシン分析しました。フモニシンの試験を実施するのは今年度が初めてです。そのため、フモニシンの試験結果を前年と比較することはできません。2019年の試験結果は以下のとおりです。

- 試験対象 182 サンプル中 155 サンプル、すなわち 85.6%が動物に適用される勧告レベルの中で最も低い（ウマ類およびウサギ用）限界値である 5 ppm を下回っている。
- 試験対象 182 サンプル中 17 サンプル、すなわち 9.4%が 5.0 ppm 以上 10.0 ppm 未満である。
- 試験対象 182 サンプル中 7 サンプル、すなわち 3.9%が 10.0 ppm 以上 30.0 ppm 以下である。

- 試験対象 182 サンプル中 2 サンプル、すなわち 1.1%が繁殖用反芻動物、家禽類およびミンクに適用される勧告レベルである 30.0 ppm を上回っている。



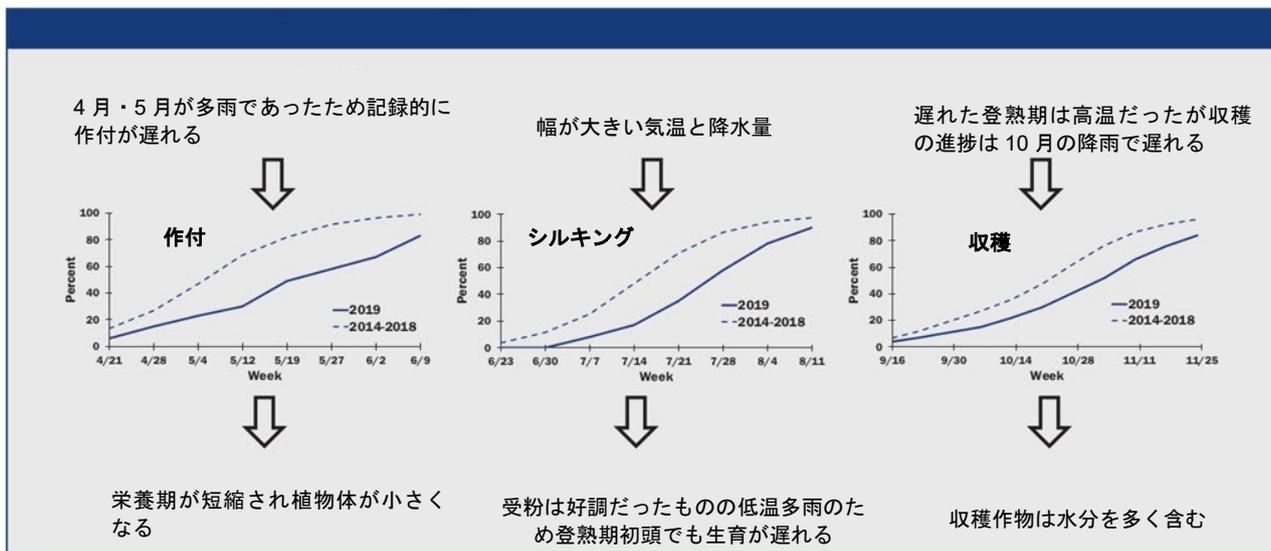
A. 2019 年収穫ハイライト

天候はトウモロコシの作付過程、生育条件、および圃場での穀粒の生育に大きな役割を果たしています。これがひいては最終的な収量や品質に多大な影響を及ぼすこととなります。全体的に 2019 年は栄養成長期（発芽から受粉までの生育期間）が遅れ、暖かい受粉期が長引き、登熟期は一定しない気象条件となり、収穫はとぎれがちでなかなか進捗しませんでした。今年度のトウモロコシの作付平均日は記録的に遅れ、生育期は変化の激しい気象となり、「良い」から「とても良い」の作柄¹となったトウモロコシは 5YA を大幅に下回りました。2019 年のトウモロコシ収量は控えめになることが予測され、容積重、百粒重、真の密度およびタンパク質含有率の平均値は 5YA を下回る一方、ストレスクラック、破損粒および総損傷の平均値は 5YA を上回りました。下記に 2019 年生育期間の主要な内容をハイライトとしてまとめました。

- 低温および過剰な降雨により作付が遅れ、その期間も長引き、ガルフ ECA のイリノイ州では 5YA の 6 週間遅れとなった。もっとも、作付が遅れたため、トウモロコシの早急な発芽が促されることとなった。

- 受粉（シルキング期）は 5YA から 1、2 週間遅れた。7 月の気候は米国北西部 ECA の多雨温暖から南部鉄道網 ECA の低温乾燥まで幅があり、ガルフ ECA は高温乾燥気候となった。
- 8 月穀粒の成長初期は米国コーンベルト一帯のほとんどの地域で低温多雨となり、油分の蓄積が促進されたが、ガルフ ECA の東部は暖かく乾燥していた。
- 9 月の登熟期の後半は地域全体が比較的高温となったが、ガルフ ECA の北部や米国北西部 ECA は多雨となり、その一方南部鉄道網 ECA は少雨で、これが硬胚乳率に貢献した。
- 今年度のトウモロコシの成熟期は記録的に遅れ、収穫の開始も遅れることとなった。10 月および 11 月の降雨と降雪に加え、こうした遅れにより生産者は理想的な水分含量を上回った状況での収穫を余儀なくされ、破損トウモロコシの増加や容積重の減少につながった。

次のセクションでは米国コーンベルト地帯において 2019 年の生育期間の気候がトウモロコシの収量と品質にどのような影響を及ぼしたかを解説します。



¹ 米国農務省 (USDA) は生産サイクルの期間中毎週米国産トウモロコシの作柄を評価している。評価は、生産力、および極端な気温、水の過不足、病害、虫害、雑草圧力等、多くのファクターから植物体を受けるストレスに基づいて行われる。



B. 作付と初期生育条件

5月の低温多雨により作付は記録的な遅れとなり、期間も長引いた

トウモロコシの単収と品質に影響を及ぼす気象ファクターとして、トウモロコシ生育期直前や期間中の降雨量と気温が挙げられます。こうした気象ファクターは作付されたトウモロコシの品種や土壌の肥沃度に相互に影響を及ぼします。穀物の単収は1エーカーあたりの植物体数、1植物体あたりの穀粒数、および各穀粒の重量で決まります。作付時に低温多雨になると植物体の数が減少するか生育が妨げられ、単収の減少につながる可能性があります。根系が深くまで発達すればするほど期間後半に水に到達しやすくなり、植物体の成長期後期に窒素肥料を有効に保つので、作付時期や生育期初期のある程度乾燥した気候は有利に働きます。

2019年を総括すると、米国コーンベルトでの作付は多段階的に実施され、多くの地域で再作付が行われたり、多雨のために作付が中止になったりしました。

作付が通常よりも早く行われたところはありませんでした。栄養成長期を通じてほぼ多雨低温となったため、トウモロコシ植物体のサイズは平均より小さく丈も低くなりました。

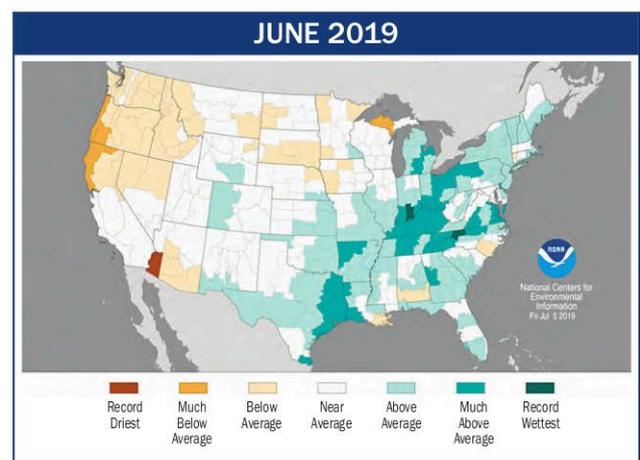
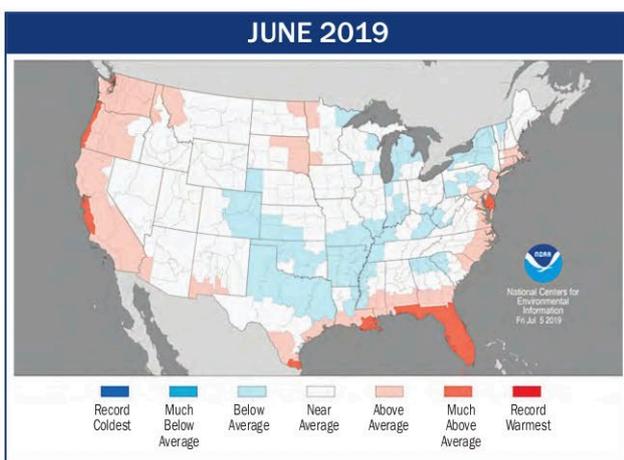
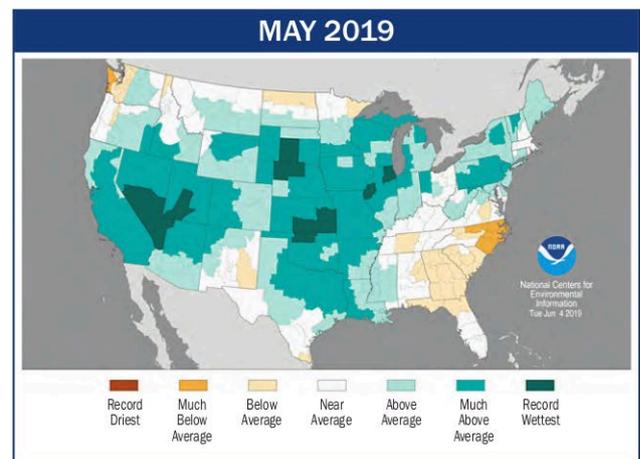
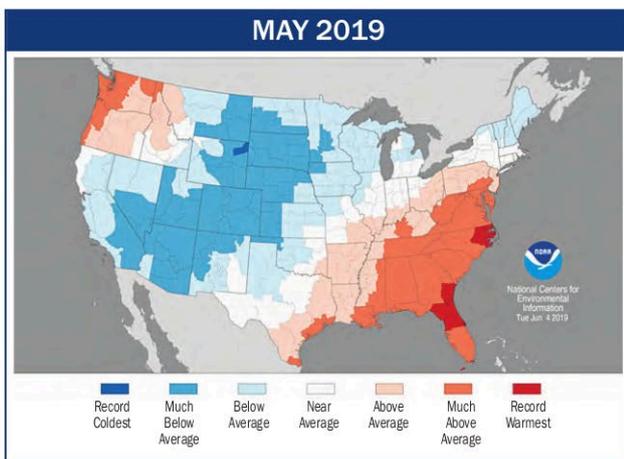
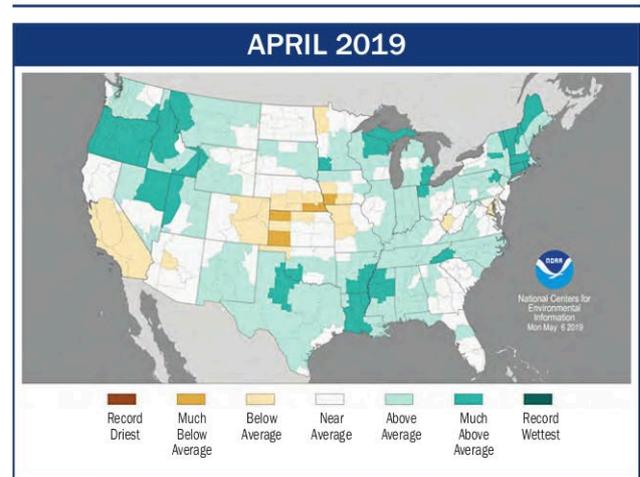
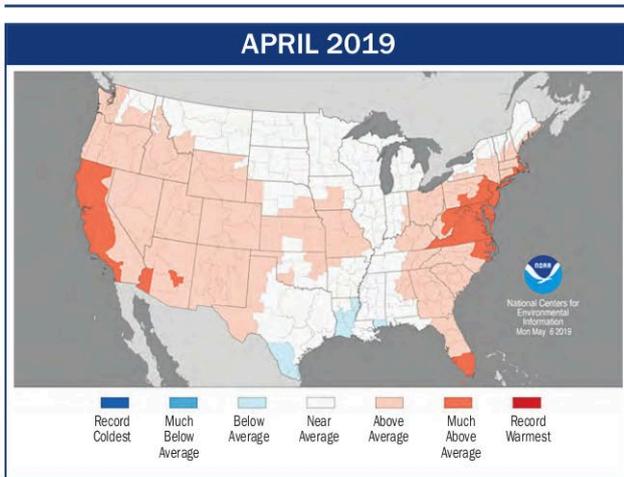
米国北西部 ECA では幼植体が過剰な降雨、洪水および低温に曝され、ストレスがもたらされました。6月は引き続き低温でしたが、降雨は少なくなりました。

ガルフ ECA は4月に多雨に見舞われ、これが5月まで続き、作付は最南部で数日、中央部（イリノイ州）で1か月遅れました。6月も引き続き多雨低温で、最適な成長が阻まれました。

南部鉄道網 ECA も作付期間中は低温で雨が多く、作付は平均1週間遅くなりました。栄養成長期初期には比較的少雨で平均的な気温となり、植物体のストレスが最小限に抑えられました。

地域別平均気温レベル
(期間：1895-2019)

地域別降雨量レベル
(期間：1895-2019)



出典: NOAA/Regional Climate Centers

出典: NOAA/Regional Climate Centers



C. 受粉および登熟の状況

油分と硬胚乳の増加に有利な登熟状況

トウモロコシは通常7月に受粉しますが、この時期に気温が平均を上回ったりあるいは雨が不足したりすると、多くの場合穀粒数が減少します。7月と8月の登熟期初期の気象条件は最終的な穀粒の組成に決定的な影響を及ぼします。受粉期に、降雨量がほどほどで気温、特に夜間の気温が平均気温を下回ると、デンプンや油分の蓄積が促され収量が増加することとなります。とりわけ登熟期の後半（8月から9月）に降雨量が少なく気温が高ければ、タンパク質が増加します。登熟期後半には窒素も葉から穀粒に再移動し、その結果穀粒のタンパク質と硬胚乳が増加します。

2019年は植物体の栄養成長期が短く、受粉が早まり5YAに近づきました。受粉期および登熟期の天候はストレスになるほどの高温と低温が周期的に繰り返され、コーンベルト南東部の干ばつからガルフ ECA 北部および米国北西部 ECA の洪水まで、地域によって幅のある降雨量となりました。

8月に入ると涼しくなったため、再び穀粒の成長が停滞しましたが、9月には記録的な高温に変わり登熟が遅れ、硬胚乳率を高めることになりました。

米国北西部 ECA では7月と8月の受粉期および登熟初期に多雨で低温となり、穀粒中の油分蓄積に寄与しました。ただし、降雨量の多さからタンパク質含有量が5YAを下回ることになりました。

対照的に、ガルフ ECA では7月の受粉期は比較的高温少雨でしたが、南部の諸地域では8月の登熟初期に低温多雨に変わりました。同 ECA の南部では9月は熱のストレスに干ばつが伴い、北部地域では過剰な降雨に見舞われました。

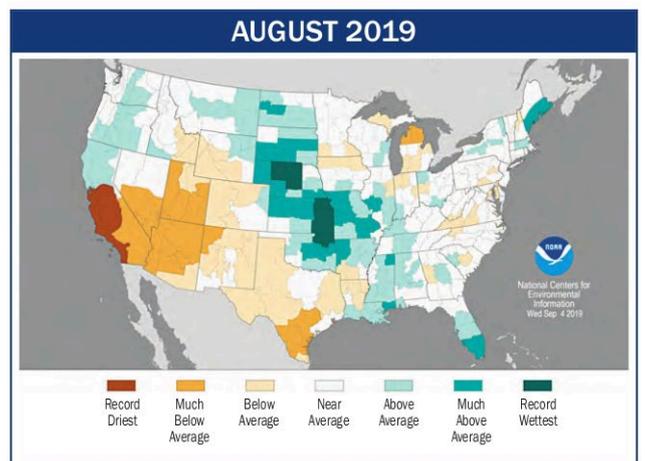
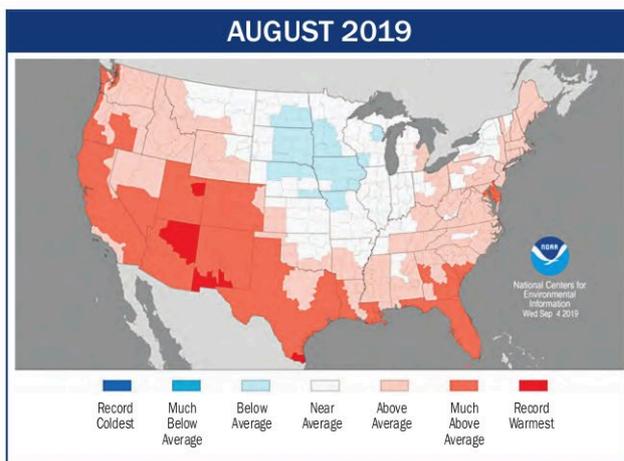
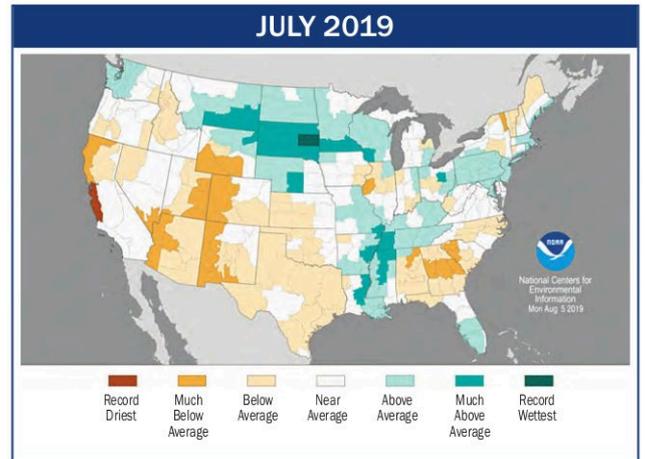
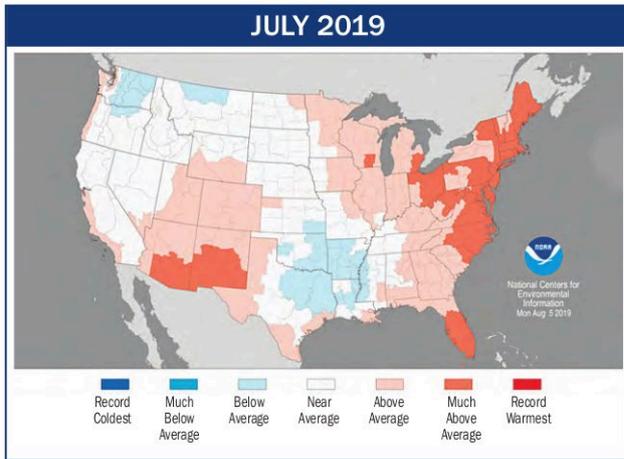
全体として、南部鉄道網 ECA は受粉にとっては降雨量が少なく気温も低い状態でした。この地域は8月に入って雨量が十分になり、9月には記録的な高温となりました。南部鉄道網 ECA の生育条件は容積重および油分濃度に有利なものとなりました。

地域別平均気温レベル

(期間：1895-2019)

地域別降雨量レベル

(期間：1895-2019)



出典: NOAA/Regional Climate Centers

出典: NOAA/Regional Climate Centers

D. 収穫の状況

雨で停滞した収穫

成熟したトウモロコシの水分含量の範囲は 25 ~ 40%です。生育期間の終盤において圃場での穀粒の理想的な自然乾燥レベルは水分含量にして 15 ~ 20%ですが、これは日照、気温、湿度および土壌水分に左右されます。晴天で温かく乾燥した日はトウモロコシが最も効果的に乾燥し、品質への悪影響も最小になります。生育期間終盤の天候上の懸念の一つは、気温が氷点下になることです。穀粒が十分に乾燥する前に氷点下の気温になると単収や真の密度、容積重の低下に結びつくことがあります。また、十分に成熟する前に収穫すると水分含量が多くなり、水分の少ないトウモロコシと比較してストレスクラックや破損が発生しやすくなる可能性があります。

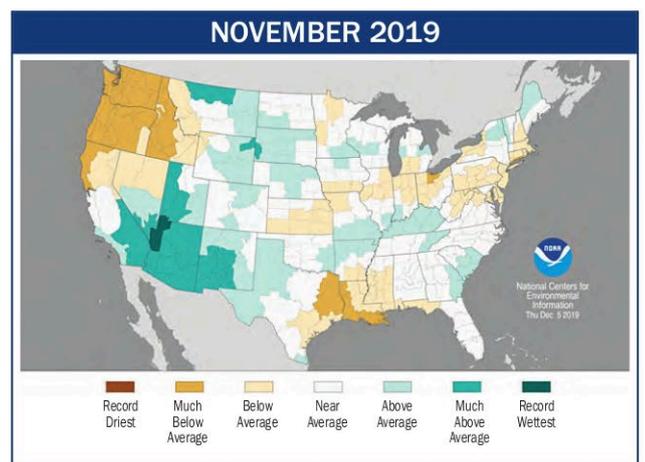
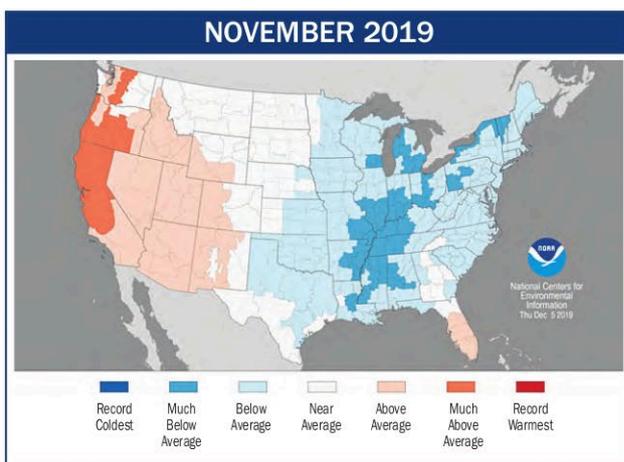
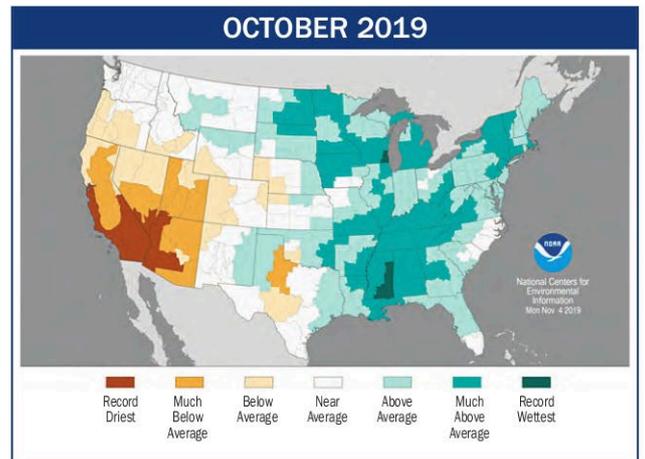
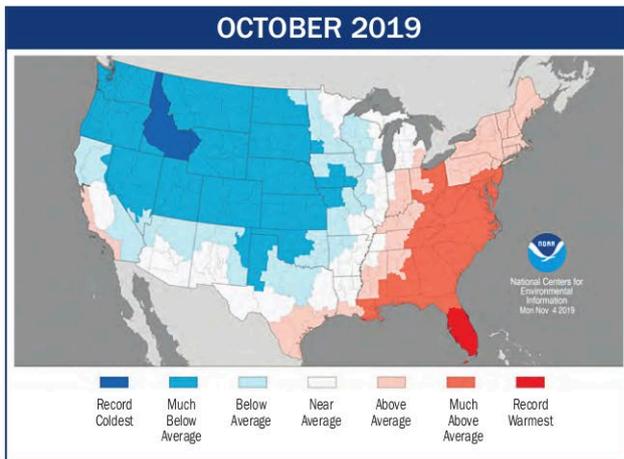
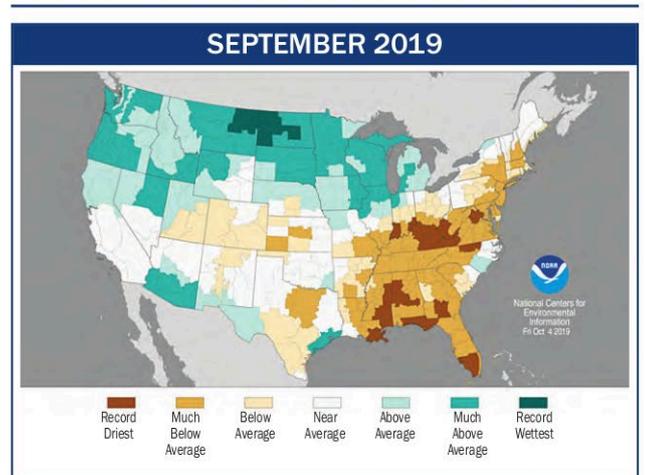
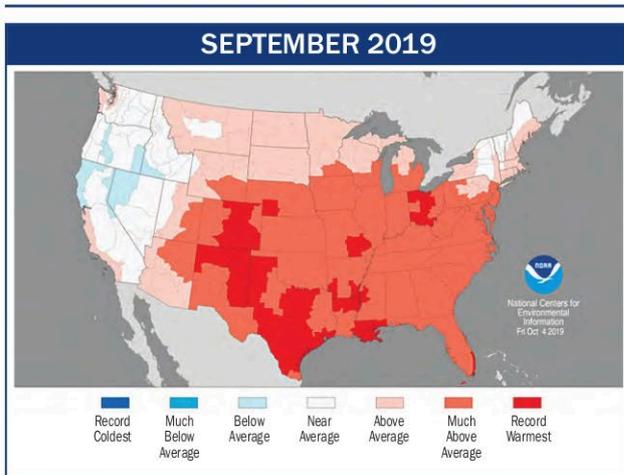
一般に、米国産トウモロコシでは 10 月に入るまでに収穫される割合は 20%です。ところが 2019 年はこの時期に 50%近くのトウモロコシが成熟しておらず、収穫できたのはわずか 10%ほどでした。そのため、10 月に雨が戻ってきたときには、特にガルフ ECA と米国北西部 ECA では平均を上回る割合のトウモロコシがまだ圃場におかれたままで、さらに収穫が遅れることとなりました。氷点下を下回ったり雪が降ったりする通常通りの天候となる前に大部分は成熟しましたが、このような低温で湿度の高い天候はトウモロコシの自然乾燥の助けにはなりません。そのため、ガルフ ECA および米国北西部 ECA では平均を上回る水分が含まれている状態で収穫が行われ、初期の容積重に影響を及ぼすとともに破損粒が平均を上回る原因にもなりました。

フザリウム系のイヤモールド (Gibberella ear rot) は受粉直後に低温と多雨、あるいはそのいずれかが起こった場合増殖が促されます。2019 年 7 月の受粉期は暖かかったものの、穀粒の成長期初期はコーンベルトの大半で気温が下がり、雨も降ったため、フザリウムに感染する可能性が高まりました。フザリウムが産生するマイコトキシン・フモニシンは登熟期に降雨量の多い状態が長引き、相対湿度が上昇し、気温が摂氏 10 度から 30 度の範囲で変動することがその発生と関係づけられています。2019 年のトウモロコシは登熟期に必要な 1 日の気温変動がありませんでした。初期の登熟期は日中、夜間ともに涼しく、その後の段階で高温に変化しました。同じくフザリウムが産生するマイコトキシンのデオキシニバレノール (DON)・ボミトキシンはしばしば収穫の遅れや水分含量の多いトウモロコシの保存と関連付けられます。2019 年トウモロコシの収穫は大幅に遅れ、比較的水分の多いトウモロコシが収穫されましたが、人工的な乾燥を用いることでデオキシニバレノールの蓄積は最小限に抑えられることになりそうです。

加えて、アスペルギルス属のカビが産生するアフラトキシンは高温、降水量不足、干ばつ後に湿度の高い状態が続くと発生しやすくなります。登熟期の後半にトウモロコシ生産地域全体が高温となりましたが、2019 年トウモロコシの大半が豊富な水の供給を受けました。従って、気候という観点では、今年度、アフラトキシンは問題にならないと考えられます。

地域別気温レベル
(期間：1895-2019)

地域別降雨量レベル
(期間：1895-2019)



出典：NOAA/Regional Climate Centers

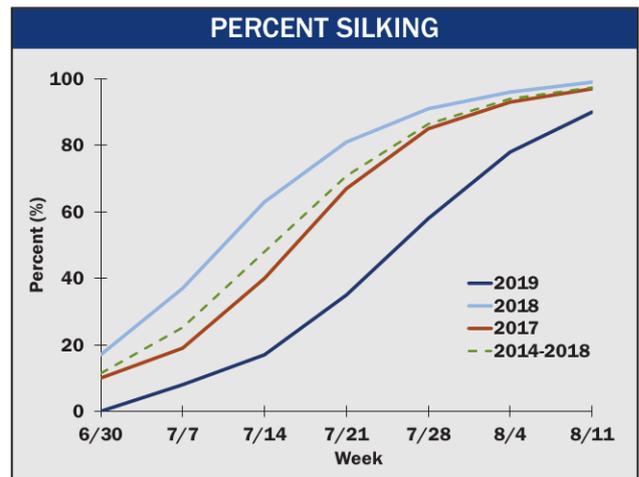
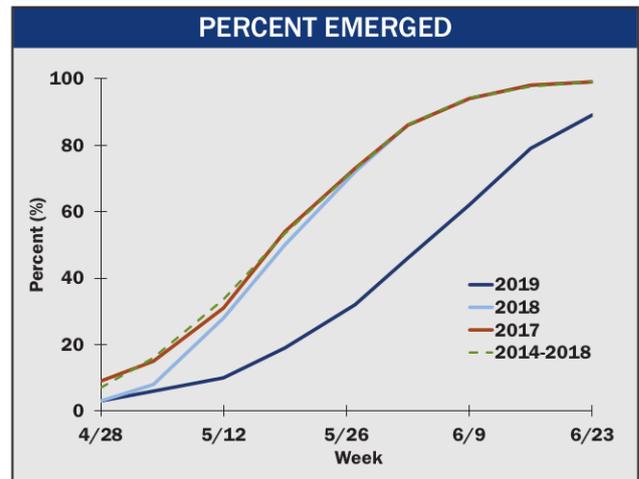
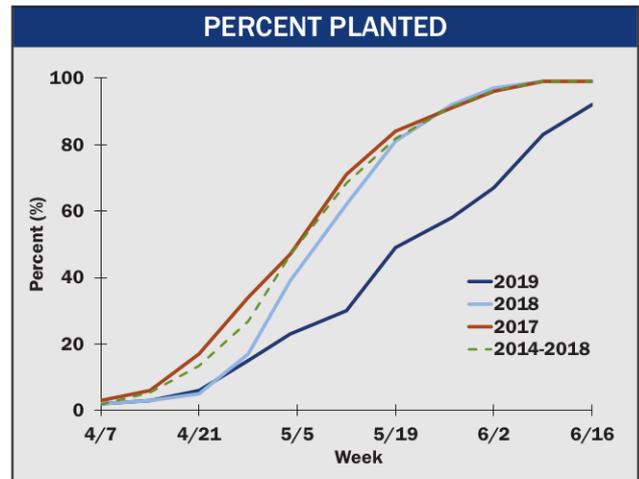
出典：NOAA/Regional Climate Centers

E. 2018年、2017年および5年平均と比較した場合の2019年
2019年ストレス下にあるトウモロコシは成長が遅れる

春の大雨で2017年は多くの地域で再作付が必要となりました。2018年は低温気候により作付が5YAよりわずかに遅れました。これに対して、2019年のトウモロコシには5月から6月にかけて作付に大幅な遅れが発生し、相当な面積の圃場が降雨により作付が妨げられました。

2017年および2018年は温暖な気候であったため、ほぼ5YAなみの発芽となりましたが、2019年は2週間から3週間遅れました。2017年および2018年の栄養成長は温暖な気候のお陰で5YAより早いペースで進みました。

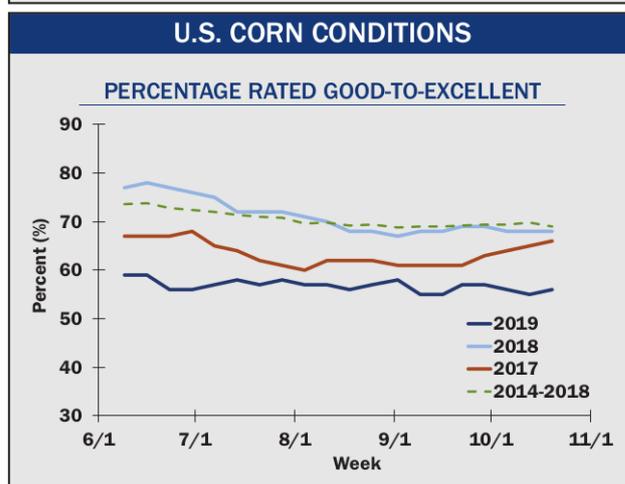
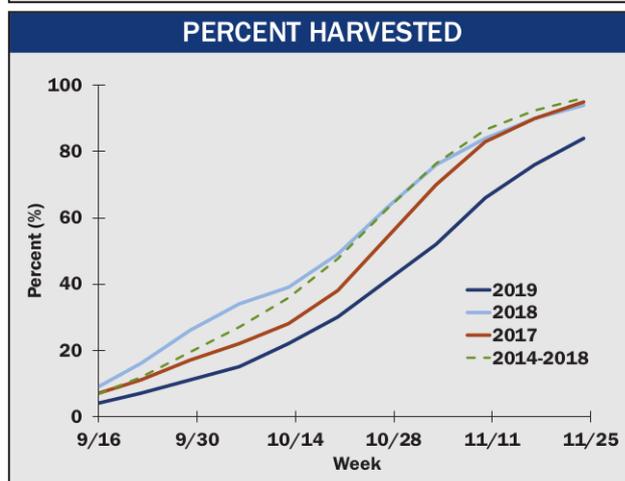
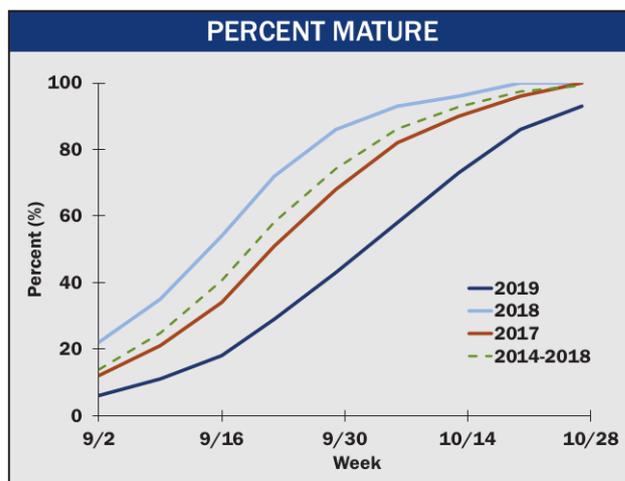
2017年の米国北西部ECAと南部鉄道網ECAおよび2018年のガルフECAでは雨は7月に入って徐々に少なくなり、受粉は最大限まで活発になりましたが、2017年7月のガルフECAは登熟期初期に大雨に見舞われました。2019年は植物体の成長は受粉までの遅れを取り戻していき、5YAからの遅れはわずか2週間程度となりました。



2017年8月はコーンベルト一帯で涼しくなり、良好な登熟に結びつきました。2017年9月はほどよい気温と成熟の遅れにより登熟が長引き、5YAからわずかに遅れることになりました。2018年の登熟期は温暖な気候が続いていたガルフECAでは5YAより早くなりましたが、米国北西部ECAと南部鉄道網ECAは比較的低温となり、トウモロコシが大粒になりやすくなりました。2019年の登熟期は8月が涼しかったため遅れ、9月は記録的な高温となりましたが生育のスピードアップには至りませんでした。

2019年の収穫時期は2017年と似ています。いずれの年も植物体の成熟が遅れ、圃場が湿っていたため5YAより大きく遅れました。2018年は初期の気候が暖かかったためトウモロコシの成熟が早まり、収穫の開始も5YAより約2週間早くなりました。

5YAと比較すると、2019年トウモロコシの作柄評価²は「良い」から「とても良い」の控えめな組み合わせで、粗っぽく変動の大きい生育期間であったことを示唆しています。2018年の作柄は5YAを上回って始まり、成長初期は「とても良い」となりました。ところが、高温や葉の病害により期間の終わりまでに作柄はほどほどのところで落ち着きました。それでも植物体は健康で、光合成、穀粒のサイズおよび単収は良好でした。2017年はトウモロコシの60~68%が生育期間を通じて「良い」または「とても良い」と評価されており、この期の記録的な単収は未だ破られていません。



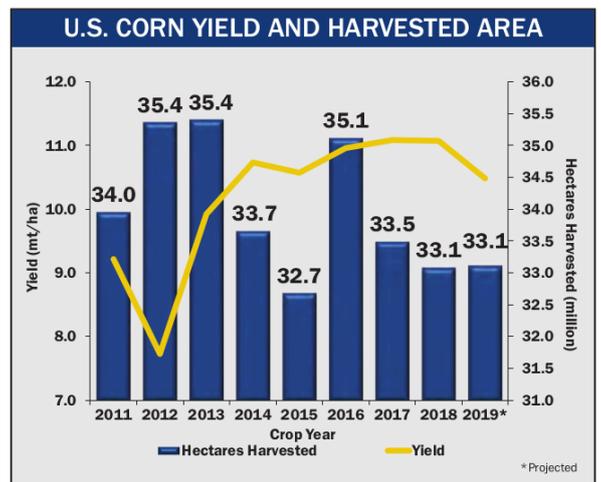
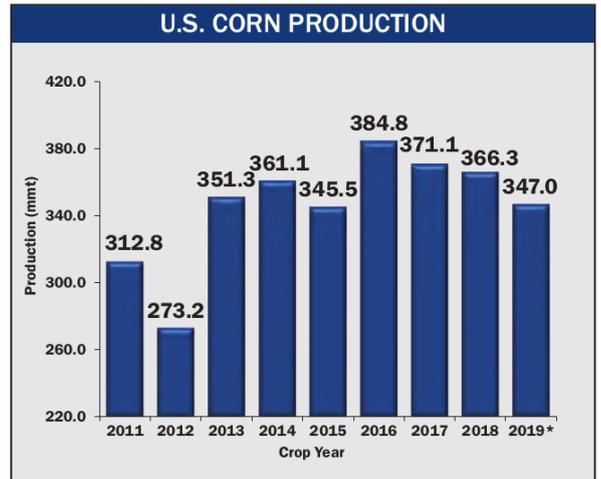
² 「良い」の格付けは通常の単収が見込まれることを意味する。水分レベルは適切で、病害、虫害および雑草圧力の程度は低い。「とても良い」の格付けは単収見込みが通常以上で、作物にストレスがほとんどまたは全くないことを意味する。病害、虫害および雑草圧力はほんのわずかである。

A. 米国産トウモロコシの生産量

米国平均生産量および単収

2019年12月に発表されたUSDA世界農業需給予測（World Agricultural Supply and Demand Estimates：WASDE）によると、2019年の米国産トウモロコシの生産量は3億4701万メートルトン（136億6100万ブッシェル）と予測されています。これが正しければ、生産量3億4551万メートルトン（136億200万ブッシェル）の2015年以降最も少ない生産量となります。2019年のトウモロコシのサイズは過去年よりも小さいと予測されていますが、ここで重要な点は、過去3年のトウモロコシのサイズが米国史上最も大きく、単収も最も高いということです。歴史的にみると、2019年トウモロコシは作付の記録的な遅れに伴う諸問題があったにもかかわらず、その収穫量は米国史上6位になると予測されています。

米国産トウモロコシの平均単収と収穫面積の両方が過去5年の平均を下回ると予測されています。2019年の予測平均単収は1ヘクタール当たり10.48メートルトン（1エーカー当たり167.0ブッシェル）で、これに対し5YAはヘクタール当たり10.89メートルトン（1エーカー当たり173.4ブッシェル）です。収穫面積は3312万ヘクタール（8180万エーカー）と予測され、これも5YAの3361万ヘクタール（8300万エーカー）をわずかに下回ります。



ASD と州レベルの生産量

2019/2020年収穫時品質報告書の対象地域には米国最大の生産地域が含まれています。地図はUSDA農業統計地域（ASD）の2019年トウモロコシ生産量予測を示しています。これらの州が米国産トウモロコシ輸出量の約90.0%を占めています¹。

州別米国産トウモロコシ生産量の図と表は各州の2018年生産量と2019年予測生産量との間の変化をまとめたものです。表には収穫面積と単収の相対変化も記載しています。緑色のバーは2019年予測値を2018年と比較した場合の相対的な増加を、赤のバーは相対的な減少を示しています。12の主要トウモロコシ生産州のうち8州で、生産量が2018年から大幅（10.0%超）に変化することが予測されています。

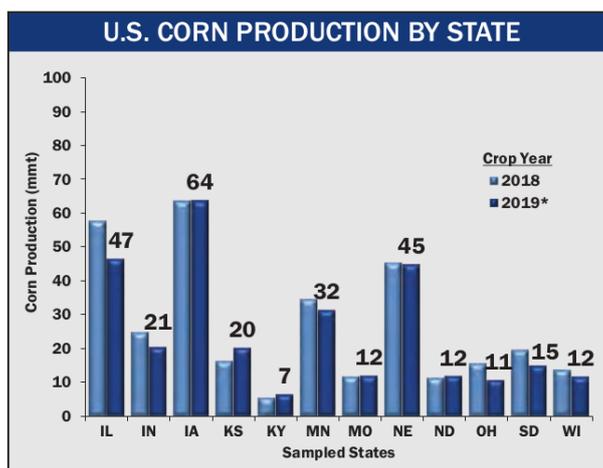
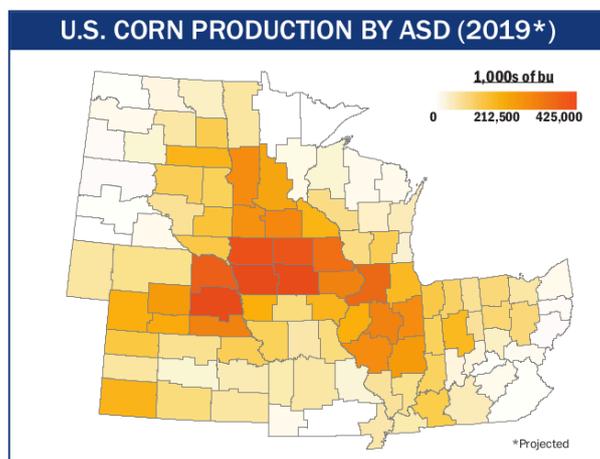
生産量に影響を及ぼす唯一のファクターではないものの、2019年の作付の遅れは、12の主要トウモロコシ生産州のうち5州、すなわちイリノイ州、インディアナ州、オハイオ州、サウスダコタ州、ウィスコンシン州での前年比15.0%を上回る生産量減少予測の原因となっています。トウモロコシ生産量第4位のミネソタ州も2018年の生産量との比較で8.8%の減少が予測されています。一方、カンザス州とケンタッキー州では収穫面積の増加を主因として、2018年の生産量と比較するとそれぞれ23.7%と19.2%の増加予測です。2018年と比較した場合の変化率が5%未満と予測されているのはノースダコタ、ミズーリ、ネブラスカおよびアイオワの4州のみです。

U.S. CORN PRODUCTION						
State	2018	2019*	Difference		Relative % Change [†]	
			MMT	Percent	Acres	Yield
Illinois	57.9	46.6	(11.3)	-19.5%		
Indiana	25.0	20.5	(4.4)	-17.7%		
Iowa	63.7	63.9	0.2	0.3%		
Kansas	16.4	20.3	3.9	23.7%		
Kentucky	5.5	6.5	1.1	19.2%		
Minnesota	34.6	31.6	(3.1)	-8.8%		
Missouri	11.8	12.0	0.2	1.4%		
Nebraska	45.4	45.1	(0.3)	-0.7%		
North Dakota	11.4	11.9	0.6	4.8%		
Ohio	15.7	10.7	(5.0)	-31.6%		
South Dakota	19.8	15.0	(4.7)	-23.9%		
Wisconsin	13.8	11.8	(2.1)	-15.1%		
Total U.S.	366.3	347.0	(19.3)	-5.3%		

†緑は前年より増加、赤は前年より減少していることを示している。バーの高さは相対的な量を表している。

* 予測

出典: USDA NASS



出典: USDA NASS, USDA GIPSA and Centrec 予測

出典: USDA NASS

B. 米国産トウモロコシの消費量および最終在庫量

食料、種子等、エタノール以外の産業用途向けの米国産トウモロコシ消費量は、過去4期の市場年度にわたり変わらず一定しています。

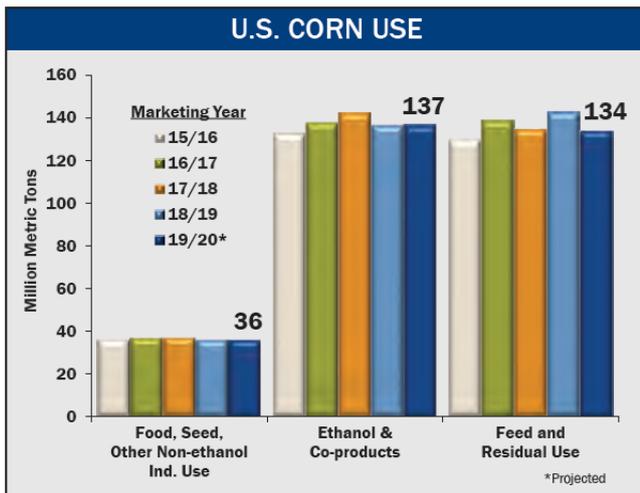
国内のエタノール生産に用いられるトウモロコシ量は最終製品であるガソリンの米国での消費量に大きく依存しています。市場年度 15/16 から 17/18 の間は国内ガソリン消費量が停滞したものの、年々エタノール輸出量が増加しており、これがエタノール生産用トウモロコシの消費量の増加に貢献しています。しかしながら、米国のガソリン消費量の微減による影響とエタノール生産に用いられるソルガムの割合の増加による影響は市場年度 18/19 のエタノール輸出量の増加では相殺しきれず、市場年度 17/18 と比較すると 18/19 のエタノール用トウモロコシの量は 4.1%減少する結果になりました。

他の飼料原材料と比較して、トウモロコシは供給量が豊富で価格競争力もあり、国内の畜産および家禽用飼料の原料として直接用いられるトウモロコシの消費量は底堅い状況が続いています。

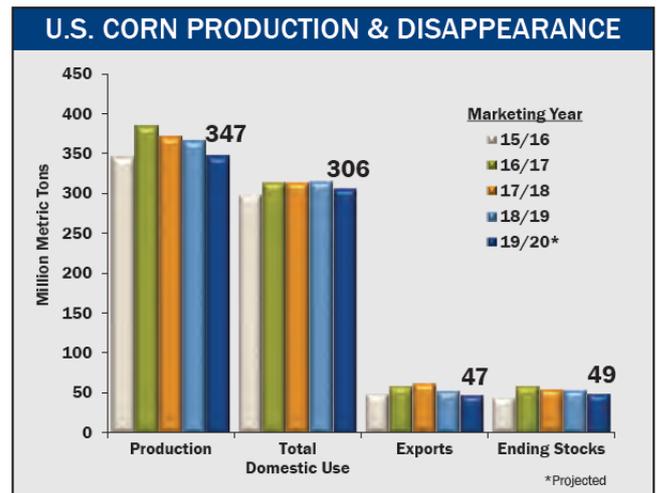
米国産トウモロコシの輸出量は最高を記録した 2016 年および 2017 年に続いて、市場年度 17/18 でピークを迎えました。2018 年のトウモロコシの国内消費量は微増で、生産量は減少したため、市場年度 18/19 では輸出に回すことのできるトウモロコシは減少しました。

最終在庫量は記録的な 2016 年をピークにその後毎年減少しているものの、史上第 2 位の在庫量となった 2017 年からのわずかな減少にとどまっています。

記録的な数値となった 2016 年以降、米国産トウモロコシの最終在庫量は毎年わずかな減少を続けています。



出典: USDA WASDE and ERS



出典: USDA WASDE and ERS

C. 見通し

米国の見通し

2019 年米国産トウモロコシは過去 3 年のいずれの年度も下回ると予測され、輸出用のトウモロコシ供給量も低下します。しかしながら、過去 3 年は米国史上最大最高の生産量と単収であったことを考慮することが重要です。加えて、2019 年米国産トウモ

ロコシは作付期の不順な天候に伴う諸問題があったにもかかわらず、その予測収穫量は歴代 6 位になります。市場年度 19/20 の国内消費および輸出用に豊富なトウモロコシが確保されており、依然トウモロコシ価格への下方圧力が続きます。

市場年度 19/20 の食品、種子およびエタノール以外の産業用途のトウモロコシ消費量は 18/19 から大きく変化することなく推移し、過去 4 期の市場年度のパターンの継続が予測されています。

市場年度 19/20 のエタノール用トウモロコシの予測消費量は 18/19 と同じです。エタノール用トウモロコシの消費量はある程度国内のガソリン需要とエタノール輸出の影響を受けます。ガソリン消費量は低迷しているため、近年のエタノール用トウモロコシの消費量が依然安定しているのはエタノール輸出の増加と関係しています。しかしながら、市場年度 19/20 のエタノール輸出量は 18/19 をわずかに下回ると予測されていますが、これは国内ガソリン消費の回復が予測されている影響です。

市場年度 19/20 の米国産トウモロコシ供給量が減少することを受け、19/20 の飼料およびその残滓物の国内消費量は 18/19 を 871 万メートルトン(6.1%減)下回ると予測されます。

市場年度 19/20 では生産量の減少が予測されるため、米国産トウモロコシの輸出量も低下すると予測されています。市場年度 19/20 の米国産トウモロコシの予測輸出量は 4699 万メートルトンで、18/19 から 546 万メートルトン(10.4%減)の減少となります。

米国輸出量および飼料とその残滓物の消費量の減少に加え、市場年度 19/20 の米国最終在庫量も減少することが予測され、前市場年度を 519 万メートルトン(9.7%)下回ることになります。

市場年度 19/20 の対消費在庫率は 13.7%と予測されています。この割合は対消費在庫率が 05/06(17.5%)以降最高の 15.7%を記録した 2016 年トウモロコシの値をわずかに下回っています。とはいえ、市場年度 19/20 に予測される対消費在庫率は依然として過去 10 年の市場年度の平均(11.6%)をわずかに上回っています。

世界の見通し²

世界の供給

市場年度 19/20 の世界のトウモロコシ生産量は 11 億 862 万メートルトンと予測されています。18/19 の生産量を 1587 万メートルトン(1.4%)下回るのは、主として米国生産量の減少によるものです。

米国の予測輸出量の減少に加えて、市場年度 19/20 の米国以外の総輸出量も 18/19 を 829 万メートルトン(6.5%)減少すると予測されています。

世界の需要

市場年度 19/20 の世界のトウモロコシ消費量は 18/19 の 11 億 4667 万メートルトンから 11 億 2723 万メートルトンに減少し、年間減少率は 1.7%になると予測されています。

主要トウモロコシ消費国・地域のうち、アルゼンチン、中国および東南アジアではそれぞれ、市場年度 19/20 の消費量が 18/19 の消費量を最低でも百万メートルトン上回ると予測されていますが、EU およびカナダではそれぞれ前年よりも百万メートルトン減少すると見込まれています。市場年度 18/19 からの国内トウモロコシ消費量の変化が最も大きいのは米国で、873 万メートルトン(2.7%)の減少になることが予測されます。

世界的には市場年度 19/20 の輸入量は前年対比で微増を示すと予測されています。市場年度 19/20 にトウモロコシの輸入量が増加することが見込まれる中国、東南アジア、イランおよびメキシコの増加分は EU およびカナダの輸入減少分に匹敵するとみられています。

²USDA/Foreign Agricultural Service-Production, Supply and Distribution Database



米国産トウモロコシ供給量および消費量の市場年度別まとめ

単位 (メートル)	15/16	16/17	17/18	18/19	19/20*
面積 (百万ヘクタール)					
作付	35.64	38.06	36.50	36.08	36.41
収穫	32.69	35.12	33.50	33.09	33.12
単収 (トン/ヘクタール)	10.57	10.96	11.09	11.07	10.48
供給量 (百万トン)					
期首在庫	43.97	44.12	58.25	54.37	53.71
生産量	345.51	384.78	371.10	366.29	347.01
輸入量	1.72	1.45	0.91	0.71	1.27
総供給量	391.20	430.35	430.27	421.36	401.98
消費量 (百万トン)					
食品、種子、その他エタノール以外の産業用	36.16	36.92	36.89	35.94	35.94
エタノール・併産物	132.69	137.98	142.37	136.56	136.53
飼料・残渣	130.00	138.94	134.73	142.70	133.99
輸出量	48.23	58.27	61.92	52.46	46.99
総消費量	347.07	372.10	375.89	367.66	353.46
最終在庫	44.12	58.25	54.37	53.71	48.52
平均農家出荷価格 (ドル/トン*)	142.12	132.28	132.28	142.12	151.57

英国単位	15/16	16/17	17/18	18/19	19/20*
面積 (百万エーカー)					
作付	88.0	94.0	90.2	89.1	89.9
収穫	80.8	86.7	82.7	81.7	81.8
単収 (ブッシェル/エーカー)	168.4	174.6	176.6	176.4	167.0
供給量 (百万ブッシェル)					
期首在庫	1,731	1,737	2,293	2,140	2,114
生産量	13,602	15,148	14,609	14,420	13,661
輸入量	68	57	36	28	50
総供給量	15,401	16,942	16,939	16,588	15,825
消費量 (百万ブッシェル)					
食品、種子、その他エタノール以外の産業用	1,424	1,453	1,452	1,415	1,415
エタノール・併産物	5,224	5,432	5,605	5,376	5,375
飼料・残渣	5,118	5,470	5,304	5,618	5,275
輸出量	1,899	2,294	2,438	2,065	1,850
総消費量	13,664	14,649	14,798	14,474	13,915
最終在庫	1,737	2,293	2,140	2,114	1,910
平均農家出荷価格(ドル/ブッシェル*)	3.61	3.36	3.36	3.61	3.85

P- 予測値

* 農家出荷価格は出荷量に基づく加重平均値である。

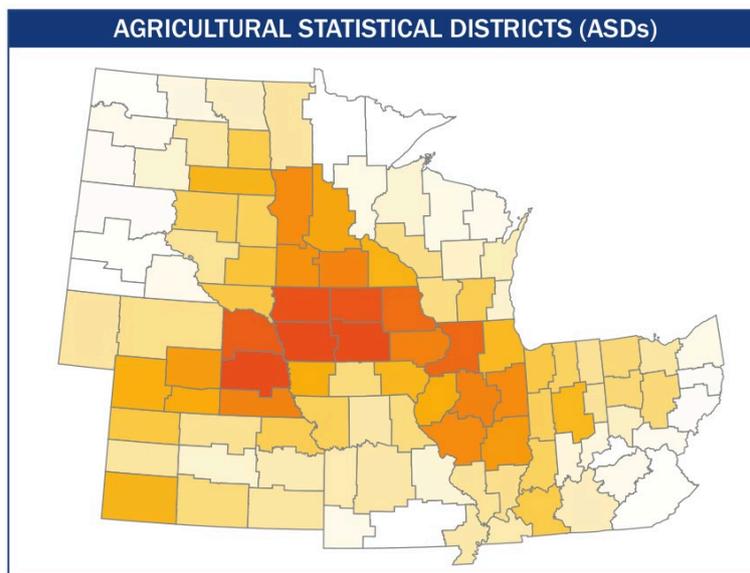
WASDEの12月予測に基づく19/20*平均農家出荷価格

出典: USDA WASDE and ERS

A. 概要

本 2019/2020 年収穫時報告書の調査デザインとサンプリングおよび統計分析の要点は以下の通りです。

- 過去 8 年の収穫時報告書のために開発した方法に沿って、米国産トウモロコシ輸出量の約 90% を占める 12 のトウモロコシ生産州を対象とし、農業統計地域 (ASD) にしたがってサンプルを層別比例配分した。
- 12 州から採取した合計 605 のサンプルを対象として、信頼度 95% で最大 $\pm 10\%$ の相対許容誤差 (相対 ME) を達成することを目指した。
- 2019 年 8 月 30 日から 12 月 3 日の間に、農家からの搬入トラックのトウモロコシから抜き出した、ブレンドされていない合計 623 のサンプルを地域のエレベーター業者から入手し、試験を行った。
- 他の品質ファクターについては、試験対象 12 州の ASD すべてに対し、マイコトキシン試験に層別比例配分サンプリング法を用いた。このサンプリングの結果、180 のサンプルをアフラトキシンとデオキシニバレノールおよびフモニシン試験に採用した。
- 層別比例配分サンプリングのための標準的な統計手法を用いて、米国集計と 3 つの輸出拠点地域 (ECA) の加重平均値および標準偏差を計算した。
- サンプルの統計的妥当性を評価するため、米国集計と 3 つの ECA のレベルで各品質ファクターの相対許容誤差を計算した。いずれの品質項目についても、相対許容誤差は米国集計の $\pm 10\%$ を上回ることはなかった。しかし、米国北西部 ECA の総損傷率は相対許容誤差が 12.6% となった。この品質ファクターの正確性は望まれるより低いものの、これらの相対許容誤差レベルは推算を無効にするものではない。
- 2018 年から 2019 年および 2017 年から 2019 年間の品質ファクターの平均値の統計的差異を求めるため、信頼度 95% で両側 t 検定を実施した。





B. 調査設計とサンプリング

調査設計

本 2019/2020 年収穫時品質報告書では、米国産トウモロコシ輸出量の約 90% を占める 12 の主要生産州のイエローコーンを目標母集団としています¹。流通経路の最初の段階で米国産トウモロコシの統計的サンプリングを正しく確実に実施するために、**層別比例無作為抽出法**を採用しました。この手法の重要な 3 つの特徴はサンプリング対象の母集団の**階層化**、**層別のサンプリング比**、および**無作為試料**の抽出手順です。

階層化では調査対象母集団を地域、すなわち階層（ストラータ）と呼ばれる重複のない部分母集団に分割します。今回の試験では、調査母集団はトウモロコシを海外市場に輸出する可能性の高い地域で生産されたトウモロコシです。米国農務省（USDA）は各州をいくつかの農業統計地域（ASD）に分割し、ASD 別のトウモロコシ生産予測を行っています。海外輸出予測を伴う USDA のトウモロコシ生産データは、12 の主要トウモロコシ生産州の調査対象母集団を定義する目的で用いています。ASD は部分母集団、すなわち今回のトウモロコシ品質調査に用いられる階層です。当協会ではこうしたデータから、各 ASD の総生産量および海外輸出量に占める割合を計算して**サンプリング比**（ASD ごとのサンプル総数に占める割合（パーセント））を求め、最終的に各 ASD から採取すべきトウモロコシサンプルの数を決定しました。ASD それぞれに予測される生産量や海外輸出レベルの割合が異なるため、**2019/2020 年収穫時報告書**のために採取するサンプルの数は ASD ごとに異なるものになりました。

採取サンプルの数は、当協会が一定レベルの正確度で種々の品質ファクターの真の平均値を推算できるように決定しました。**2019/2020 年収穫時報告書**のために採用した正確度は相対誤差範囲（ME）が $\pm 10\%$ 以内で、信頼度は 95.0% で推算されます。こうしたトウモロコシの品質ファクターなどの生物データでは、相対許容誤差 $\pm 10\%$ は適切な目標レベルであるといえます。

目標とする相対許容誤差を満たすことのできるサンプル数を決定するために、理想を言えば品質ファクターそれぞれについて母分散（即ちトウモロコシ収穫時の品質ファクターのばらつき）を用います。品質ファクターのレベルや数値にばらつきが大きいほど、定めた信頼限界での真の平均値を推算するために多くのサンプルが必要となります。これに加えて、多くの場合品質ファクターの分散はそれぞれに異なります。従って、各品質ファクターについて同レベルの精度を得ようとする、異なる数のサンプルが必要となります。

今年度のトウモロコシの評価に用いられる 17 の品質ファクターの母分散は未知であるため、**2018/2019 年収穫時報告書**からの分散推計値を代用しました。2018 年の 618 サンプルの結果を用いて、14 の品質ファクターについて相対許容誤差が $\pm 10\%$ となるよう、ばらつきと最終的に必要となるサンプル数を計算しました。破損粒、異物、熱損傷は試験対象外としました。これらのデータに基づき、サンプル数が最低 600 あれば当協会は米国集計について望ましいレベルの正確度で品質特性の真の平均値を推算できると考えました。ただし、ASD 別の目標サンプル数を四捨五入したことと、ASD ごとに 2 サンプル以上とする基準に従ったため、2019 年の報告の目標とするサンプル数は 605 となりました。

2018 年の米国集計でのストレスクラックの相対許容誤差は $\pm 10.0\%$ 以内でしたが、過去 8 年の報告書のうち 3 年の報告書でこの品質ファクターの相対許容誤差は $\pm 10.0\%$ をわずかに上回りました。2019 年のサンプル数とこの品質ファクターのばらつきの予測が不可能であることを考慮すると、米国集計ではストレスクラックの目標正確度を達成できない可能性があります。しかし、過去の報告書でストレスクラックの相対許容誤差が 12% を超えたことは一度もありませんでした。

¹出典：USDA NASS、USDA GIPSA および Centrec の予測値

等級、水分含量、化学的特性および物理的特性を試験したトウモロコシのサンプルと同じ層別比例サンプリング手法を適用してトウモロコシサンプルのマイコトキシン試験を行いました。サンプリング手法に加えて、信頼度が95%のレベルで推定して、相対許容誤差が±10%という同じ精度が維持されることが望ましいと考えました。

最低サンプル数（600件）の25.0%以上を試験することによって、そのレベルの精度を得ることができると推測されました。言い換えれば、最低150サンプルを試験することによって信頼度95%で、何パーセントの試験対象サンプルがFDAのアフラトキシン規制レベルの20ppbを下回っているか、また何パーセントのサンプルがFDAのデオキシニバレノール勧告レベルの5.0ppmを下回っているのかを相対許容誤差±10%で示すことができるということです。フモニシンについては、ばらつきに関する過去のデータが利用できないため、このマイコトキシ

ンの今年度の報告書では目標とする正確度を設定していません。層別比例サンプリング手法ではサンプリング対象地域のASDそれぞれから少なくとも1サンプルを試験しなければなりません。最低サンプル数（600）の25%を試験し、各ASDのサンプルを最低でも1サンプル試験するというサンプリング基準を満たすため、マイコトキシン試験の目標サンプル数は180となりました。

2019/2020年収穫時報告書で初めてのこととして、マイコトキシン試験を行ったサンプルに限定して硬胚乳試験を実施しました。この品質ファクターの相対許容誤差は過去8年の報告書の試験サンプルで0.4%を超えたことがなく、目標とする正確度である±10.0%を大きく下回っていました。従って、硬胚乳試験を実施するサンプルの数を減らしても、この品質ファクターの推定値は目標とする±10.0%を優に下回り正確度を維持すると考えられます。

サンプリング

無作為抽出のプロセスは、電子メールおよび電話を使用して12州の地域穀物エレベーターに依頼することから始まりました。依頼通り2,050~2,250グラムのサンプル用トウモロコシを提供することに同意してくれたエレベーター宛に、返送料金前払いのサンプルキットを郵送しました。エレベーター業者には、生産者から受け取った古いトウモロコシがサンプルに含まれることを防ぐため、新しいトウモロコシのために保管サイロを清掃するよう依頼しました。個々のサンプルは、圃場から到着したトラックがエレベーターの通常の試験手続を受ける際に抽出しました。各エレベーターがこの調査用として提出するサンプルの数は、サンプル提出を快諾してくれたエ

レベーターの数と当該ASDで必要とされるサンプルの目標総数にあわせて決定しました。参加エレベーター業者に郵送したサンプリングキットはそれぞれ、最大4サンプルを採取することのできるバッグが含まれ、採取サンプルに地理的な多様性を持たせました。総数623のブレンドされていないトウモロコシのサンプルが農場のトラックにより地域のエレベーターに寄せられそこで採取され、エレベーターからこれらのサンプルを受け取り検査しました。参加したエレベーターは、各サンプルバッグ上に採取日を記載することで、こうしたサンプルが2019年8月30日から12月3日の間に農場からの搬入トラックから採取されたものであることを明記しました。

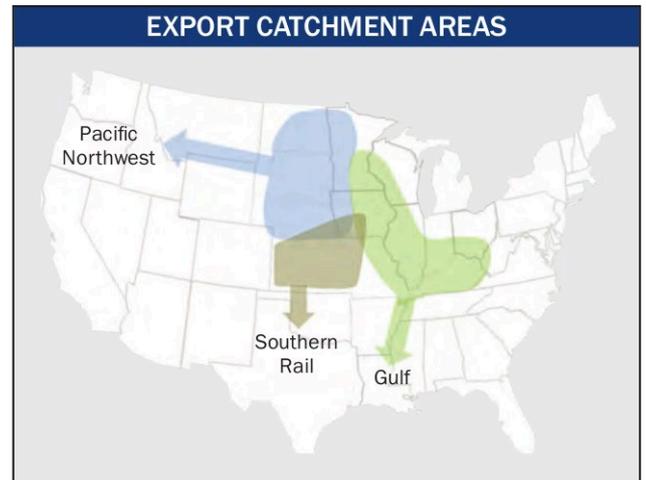
C. 統計分析

等級ファクター、水分含量、化学組成および物理的ファクターに関するサンプルの試験結果を米国集計として、また以下に示す3つの複合地域によるグループごとにまとめました。これらのグループは3つの主要輸出拠点地域（ECA）それぞれにトウモロコシを供給する地域です。

- 通常米国ガルフの港からトウモロコシを輸出する地区で構成されるガルフ ECA
- ワシントン、オレゴンおよびカリフォルニアの港からトウモロコシを輸出する地区群を含む米国北西部 ECA
- 通常内陸部のサブターミナルから鉄道でトウモロコシをメキシコに輸出する地区で構成される南部鉄道網 ECA

サンプル試験結果の分析にあたって、当協会は**加重平均値**および**標準偏差**を含め、層別比例サンプリング用の標準的な統計手法に従いました。米国集計の加重平均値および標準偏差に加え、複合地域 ECA それぞれの加重平均値および標準偏差も推計しました。利用できる輸送手段の関係で、これら ECA に輸出用トウモロコシを輸送する地域が重複しています。そのため、各 ECA の複合統計値は各 ECA へと移動するトウモロコシの推定比率に基づいて算定しました。結果として、トウモロコシのサンプルが複数の ECA の値に算入される可能性があります。こうした推計作業は業界の情報、輸出データおよび米国内のトウモロコシの流通についての研究評価に基づいて実施しました。

2019/2020 年収穫時報告書には過去 5 年の収穫時報告書（2014/2015 年、2015/2016 年、2016/2017 年、2017/2018 年および 2018/2019 年）の品質ファクター平均値の単純平均および標準偏差が含まれています。これらの単純平均は米国集計と 3ECA 地域それぞれについて求めたもので、本報告書の本文および要約の表では「5YA」と表示しています。



相対誤差範囲(ME)は米国集計と各 ECA の品質ファクターごとに計算しました。米国集計では相対許容誤差が $\pm 10.0\%$ を超える品質ファクター推定値はありませんでした。ただし、米国北西部 ECA では総損傷の相対許容誤差が $\pm 10.0\%$ を上回りました（12.6%）。このレベルの正確度は望ましくはないものの、この相対許容誤差の値は推算を無効にするものではありません。集計表の脚注に、この品質ファクターの相対許容誤差が $\pm 10\%$ を超えている項目を記載しています。

「品質試験結果」セクション中で言及している 2018/2019 年収穫時報告書と 2019/2020 年収穫時報告書の間、および 2017/2018 年収穫時報告書と 2019/2020 年収穫時報告書の間、試験結果の統計差または有意差については、信頼度 95%で両側 t 検定においてその妥当性を確認しています。

2019/2020 収穫時品質報告書で使用したサンプル（各約 2200 グラム）は地域の穀物エレベーターからイリノイ州シャンペーンのイリノイ州穀物改良協会の分別流通管理穀物研究所（IPG ラボ）に直接届けられました。水分含量が 16.0%を超えるサンプルは試験期間内に劣化することを避けるために、到着時すぐに必要に応じて適切な水分含量になるまで乾燥させました。選択したサンプルは、ストレスクラックや熱損傷を防ぐため周囲温度による乾燥法で乾燥させました。次に、サンプルは Boerner のディバイダーを用いて 1100 グラムのサブサンプルに 2 分割しましたが、この時、トウモロコシのサンプルの特性が両サブサンプル間で均等に分配されるよう配置しました。片方のサブサンプルは等級付のために

イリノイ州のシャンペーンダンビル穀物検査所（CDGI）に送付しました。CDGI は USDA の連邦穀物検査局（FGIS）の指定を受けたイリノイ州中部-東部担当の公的な穀物検査サービス機関です。等級試験の手順は FGIS が発行している穀物検査ハンドブックに従ったもので、次のセクションで説明しています。残りのサブサンプルは、業界の基準または長年実践され十分に確立された方法に従って、IPG ラボで化学組成およびその他の物理的ファクターの分析に用いました。IPG ラボは多くの試験に適用される国際規格 ISO/IEC 17025:2005 の認証を受けています。この認証の全容については <http://www.ilcrop.com/labservices> を参照してください。

A. 等級ファクター

容積重

容積重はウィンチェスター・ブッシェル（2,150.42 立方インチ）を満たすために必要とされる穀物の量を示す単位です。容積重はトウモロコシの等級基準のための FGIS 公式米国規格の一部です。

この試験では、予め容積が分かっている試験用のカップに、その上方の一定の高さに設置された漏斗を通してトウモロコシがテストカップの両側からあふ

れ始めるまで注ぎ入れます。ストライクオフ・スティックと呼ばれる「すりきりへら」でテストカップのトウモロコシを平らにし、カップの中に残ったトウモロコシの重量を測定します。その後、この重量を伝統的な米国の単位である 1 ブッシェル当たりのポンド重量 (lb/bu) の値に変換し、報告に用います。

破砕粒 & 異物 (BCFM)

破損粒 & 異物 (BCFM) は FGIS 米国公式穀物規格の一部であり、等級付け基準のひとつです。

この BCFM 試験では目開き 12/64 インチのふるいを通過するすべての物質、およびこのふるいの表面に残るトウモロコシ以外のすべての物質の量を計測します。BCFM の計測では破損粒と異物を区別することができます。目開き 12/64 インチのふるいを通過

し、目開き 6/64 インチのふるいの表面に残るすべての物質を破損粒と定義します。目開き 6/64 インチのふるいを通過する物質と目開き 12/64 インチのふるいの表面に残るトウモロコシ以外の粗い物質はすべて異物と定義します。BCFM は当初サンプルに占める割合を重量比（パーセント）で報告します。

総損傷/熱損傷

総損傷は穀物等級基準のための FGIS 米国公式規格の一部です。

損傷粒の含有量を調べるため、訓練を受けライセンスを有する試験担当者が BCFM の存在しない代表的なサンプル 250 グラムを対象に目視検査を実施します。損傷の種類にはブルーアイモールド、コブロット、乾燥機による損傷粒（熱損傷粒とは異なる）、胚芽損傷粒、熱損傷粒、害虫損傷粒、カビ損傷粒、カビ様物質、絹糸切断粒、表面カビ（葉枯れ病）、カビ（pink Epicoccum）および芽損傷粒などがあり

ます。総損傷率はサンプルの総損傷粒の重量比（パーセント）で報告します。

熱損傷は総損傷のひとつの要素で、熱損傷粒には熱による明らかな変色および損傷のある穀粒やそのかけらが含まれます。熱損傷粒は訓練を受けライセンスを有する試験担当者が BCFM の存在しないトウモロコシのサンプル 250 グラムを対象として目視検査を実施して確定します。熱損傷が発見された場合には、総損傷とは別に報告します。

B. 水分含量

トウモロコシがエレベーターに到着した時点で電子水分計に記録された水分含量が報告されます。電子水分計は水分含量に応じて変化する誘電率と呼ばれ

る穀物の電気特性を検知します。水分含量が多くなるにしたがって誘電率が上昇します。水分含量は総水分重量比として報告されます。

C. 化学組成 NIR 近似分析

トウモロコシの化学組成（タンパク質、油分およびデンプン含有率）は近赤外透過型分析計（NIR）を用いて計測します。NIR はそれぞれのサンプルに対する個別の光の波長の特異な相互作用を利用するものです。サンプルに含まれるタンパク質、油分およびデンプンの含有率を予測するために、従来からある化学的方法に適合するよう較正します。これはトウモロコシを破壊しない分析方法です。

タンパク質、油分およびデンプンの化学組成試験は、全粒用 Foss Infratec 1241 近赤外透過測定器（NIR）により 550 ~ 600 グラムのサンプルを用いて実施し

ました。NIR は化学試験に適合するよう較正し、タンパク質、油分およびデンプンの予測標準誤差はそれぞれ約 0.22%、0.26% および 0.65% でした。21 箇所のラボで試験されたサンプルについて、2016 年より前の *収穫時品質報告書* に用いられた Foss Infratec 1229 と Foss Infratec 1241 とを比較して、これらの測定器によりタンパク質、油分およびデンプンそれぞれにつき 0.25%、0.26% および 0.25% 以内の平均値が得られることを示しました。結果は乾物ベース（無水物質のパーセント）で報告します。

D. 物理的ファクター

百粒重、穀粒容積および真の密度

百粒重は、1群百粒の2反復群を対象とし、0.1 mg単位の値まで測定する化学天秤を用いて平均重量を求めます。平均百粒重はグラムで報告します。

各百粒反復群の穀粒容積はヘリウム比重瓶を用いて計測し、穀粒当たりの体積を立法センチメートル (cm³) で表します。1穀粒当たりの容積は通常 0.14 ~ 0.36 cm³ の範囲にあり、前者は小型トウモロコシ、後者は大型トウモロコシ粒となります。

各百粒サンプルの真の密度は、外観が完全なトウモロコシ百粒の質量（または重量）を同じ百粒の体積（押しのけ容積）で除して求めます。2反復群のそれぞれの結果の平均をとります。真の密度は1立方センチメートル当たりのグラム数 (g/cm³) で報告します。トウモロコシ粒の真の密度は、水分含量がおおよそ 12 ~ 15% の「無加工の状態」で、通常 1.20 ~ 1.30 g/cm³ です。

ストレスクラック分析

ストレスクラック率は亀裂が際だって見えるよう、バックライトの付いた観察板の上で評価します。外観に損傷のない無傷のトウモロコシ百粒を1サンプルとして、その1粒1粒を調べます。光は硬胚乳を通過するため、各トウモロコシ粒のストレスクラックの損傷度を評価することができます。穀粒は(1) 亀裂なしまたは(2) 1本以上の亀裂ありの2つのカテゴリーに分類されます。パーセント比率で表されるストレスクラックの値は、亀裂が1本以上あるすべてのトウモロコシ粒を百粒で除して求めます。ストレスクラックの値が高いと取り扱い時に破損しやすいため、どのような場合でも低い値ほど良いということになります。使用目的に応じて容認できる亀裂のレベルを契約で指定するエンドユーザーもいます。

これまでの収穫時報告書ではストレスクラックの深刻度が分かるよう、ストレスクラック比率に加え、ストレスクラック指標も報告していました。ストレスクラック指標は以下の数式を用いて求めることができます。

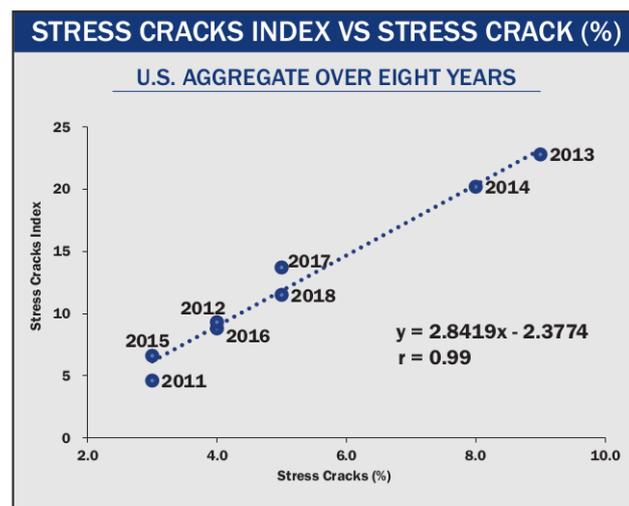
$$[SSC \times 1] + [DSC \times 3] + [MSC \times 5]$$

ここで

- SSC は亀裂が1本のみの粒の割合 (%)
- DSC は亀裂が2本の粒の割合 (%)

- MSC は亀裂が3本以上の粒の割合 (%)

当初8年の米国集計のストレスクラック比率とストレスクラック指標を下の散布図に示しています。ストレスクラック比率と強い相関関係 ($r = 0.99$) があるため、ストレスクラック指標の追加的な価値は限定的であり、2018/2019年収穫時報告書を最後にその提供を中止することが決定されました。





完全粒

完全粒試験では、50 gのクリーンな(すなわちBCFMが含まれていない) トウモロコシを1粒ずつ調べます。亀裂、破損または欠けのある粒だけでなく、種皮の損傷が顕著な粒も取り除きます。残った完全粒の重量を測定し、結果を当初 50 g のサンプルに占め

る割合(パーセント)で示します。同じ試験を実施し、「亀裂&破損」率として報告する企業もあります。完全粒の値が97%というのは亀裂&破損率3%に相当します。

硬胚乳

硬胚乳試験ではバックライトのついた台の上に胚芽を上向きに配置し、外観上健全なトウモロコシ20粒を目視で等級付けします。各粒の等級の基礎となるのは全胚乳中推定される硬胚乳の割合です。軟胚乳は不透明で光を遮断しますが、硬胚乳は半透明です。穀粒の先端部の軟胚乳がどの程度胚芽の方に向

かって伸びているかを見極め、標準ガイドラインに照らし合わせて格付けを行います。健全な外観の20粒の平均硬胚乳等級を報告します。70~100%の範囲で硬胚乳の等級を定めませんが、大半のトウモロコシ粒は70~90%の範囲に入ります。



E. マイコトキシン試験

トウモロコシのマイコトキシン検出方法は複雑です。多くの場合、マイコトキシンを産生する菌は圃場単位または地域単位で均一に広がるわけではありません。そのため、仮にトウモロコシにマイコトキシンが存在していても、その検出はトウモロコシのロット別のマイコトキシン濃度・分布に決定的に左右されることとなります。このロットはトラック輸送の場合のロット、保管時のロットまたは鉄道貨物としてのロットを問いません。

トウモロコシの輸出には正確な結果が不可欠であるため、FGIS のサンプリング手順はマイコトキシンの真の濃度の過小評価や過大評価を最小限に抑えることを目的としています。ただし 2019/2020 年収穫時品質報告書のマイコトキシン評価の目的は、輸出用トウモロコシのマイコトキシンの個別レベルを特定することではなく、現時点のトウモロコシのマイコトキシン発生頻度を報告することに尽きます。

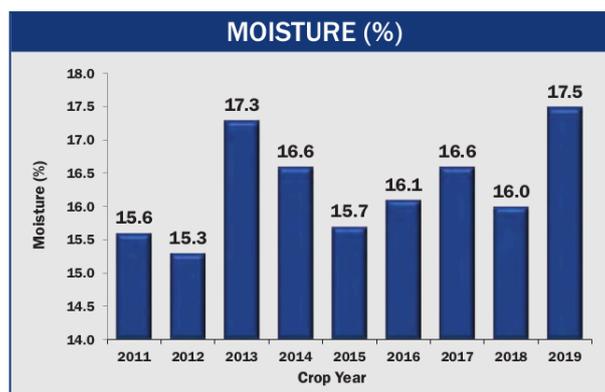
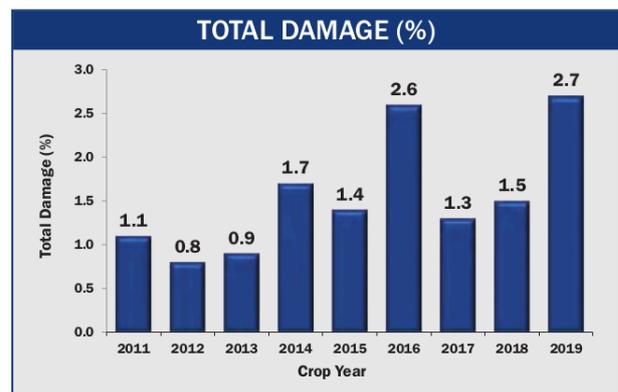
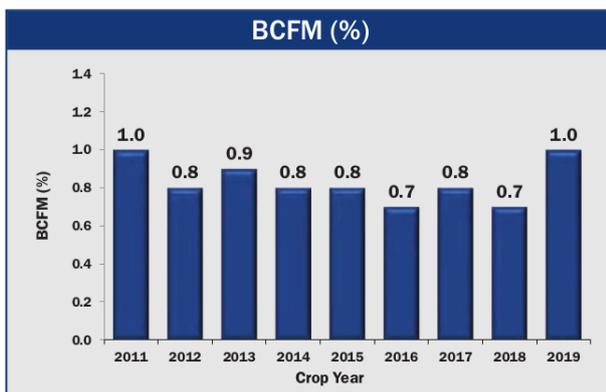
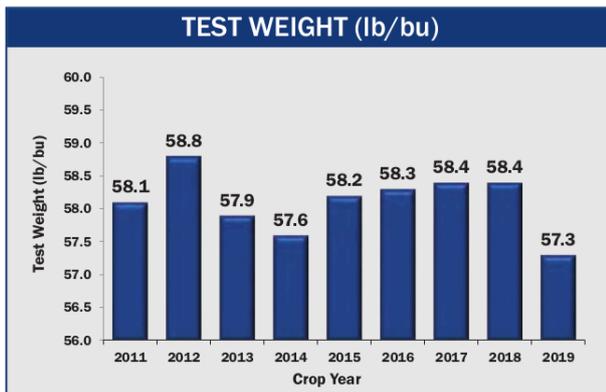
2019/2020 年収穫時品質報告書用としてアフラトキシン、デオキシニバレノールおよびフモニシンの発生頻度を報告するため、IPG ラボで FGIS プロトコルや承認された試験キットを用いてマイコトキシン試験を実施しました。FGIS のプロトコルでは、トラック上のトウモロコシから 908 グラム(2 ポンド)以上のサンプルを採取してアフラトキシン試験用に、約 200 グラムのサンプルをデオキシニバレノール試験用に、約 908 グラム(2 ポンド)のサンプルをフモニシン試験用に粉砕することが求められています。今回の試験ではアフラトキシン分析用として、穂軸からはずしたトウモロコシ粒 2 キログラムの調査サンプルを 1000 グラムの試験サンプルに小分けしました。この 1 キログラムのサンプルを Romer Model

2A ミルを用いて、その 60 ~ 75%が 20 番のメッシュスクリーンを通過するようになるまで粉砕しました。このサンプルをよく混合して各マイコトキシンの試験用としてそれぞれ 50 g を取り分けました。アフラトキシン分析用として EnviroLogix AQ 309 BG、デオキシニバレノール分析用として AQ 304 BG、フモニシン分析用として AQ 311 BG の定量試験キットを使用しました。デオキシニバレノールおよびフモニシンの抽出には水 (5:1) を、アフラトキシンの抽出には緩衝用水 (3:1) を用いました。抽出物は Envirologix QuickTox 側方流動ストリップを用いて試験し、マイコトキシンの定量化には QuickScan システムを用いました

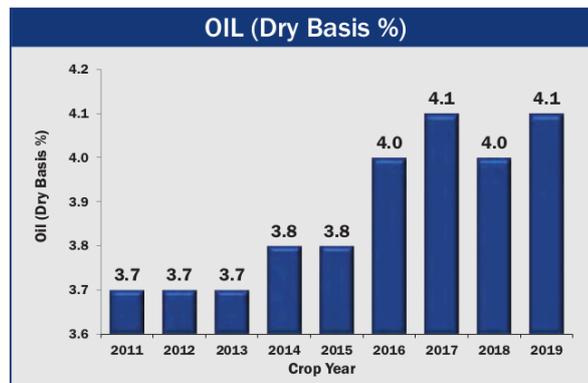
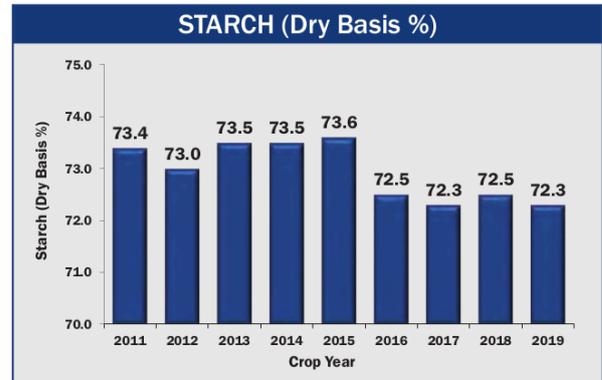
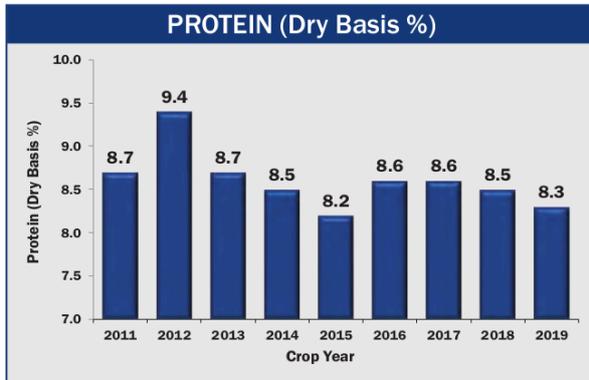
EnviroLogix 定量化試験キットは、マイコトキシン濃度が「検出限界」と呼ばれる特定のレベルを超えた場合にその個別の濃度を知らせるものです。検出限界は分析上の空白(マイコトキシンが存在しない)を測定する方法とは統計的に異なる分析方法を用いて測定することのできる最低濃度と定義されます。マイコトキシンの種類、テストキット、コモディティの組み合わせが異なれば、この検出限界も変化します。EnviroLogix AQ 309 BG のアフラトキシン検出限界値は 2.7 ppb です。EnviroLogix AQ 304 BG を用いるデオキシニバレノールの検出限界値は 0.1ppm です。フモニシンの試験に用いられる EnviroLogix AQ 311 BG の検出限界値は 1.5 ppm です。EnviroLogix AQ 309 BG、AQ 304 BG および AQ 311 BG それぞれのキットを用いたアフラトキシン、デオキシニバレノール、フモニシンの各定量化については、FGIS から性能書が発行されます。

A. 等級ファクターと水分含量

2011年以降、アメリカ穀物協会のトウモロコシ収穫時品質報告書は、世界中の流通経路に投入される各米国産トウモロコシの品質に関する明確で、簡潔かつ一貫性のある情報を提供しています。この品質報告書シリーズでは、全対象期間を通し識見豊かな比較ができるよう、首尾一貫した透明性のある方法を用いています。次に示す図表では、全報告書から抜粋した、試験対象の各品質ファクターの米国集計平均値を示し、今期の結果と過去の履歴とを照らし合わせるようにしています。

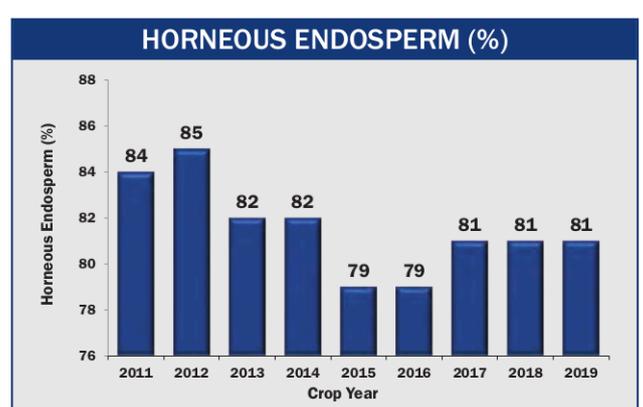
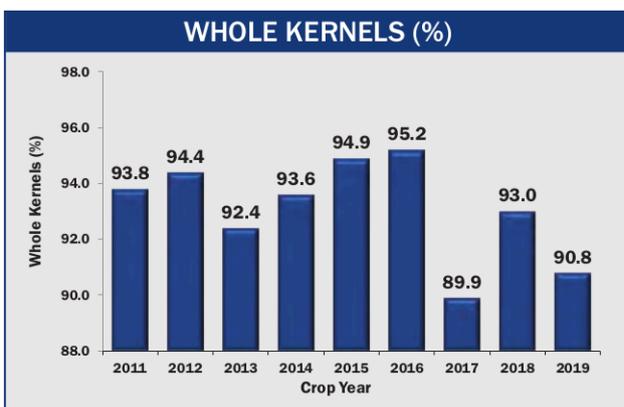
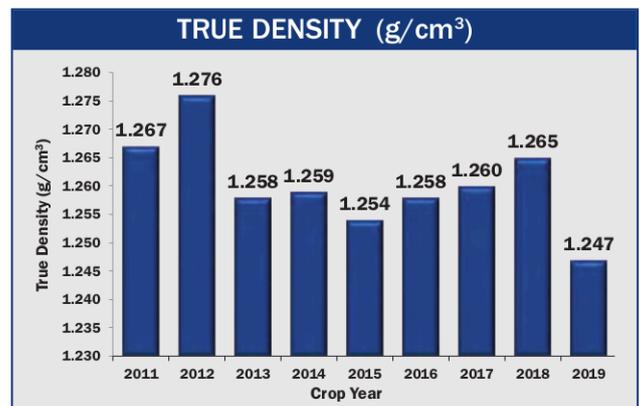
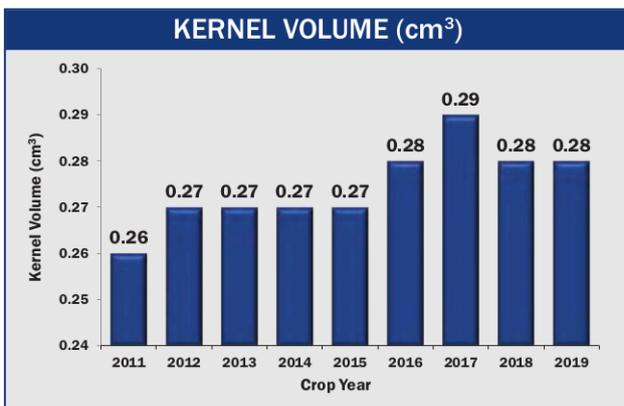
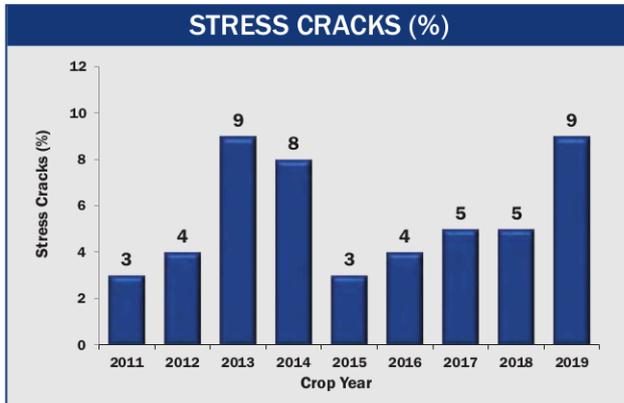


B. 化学組成

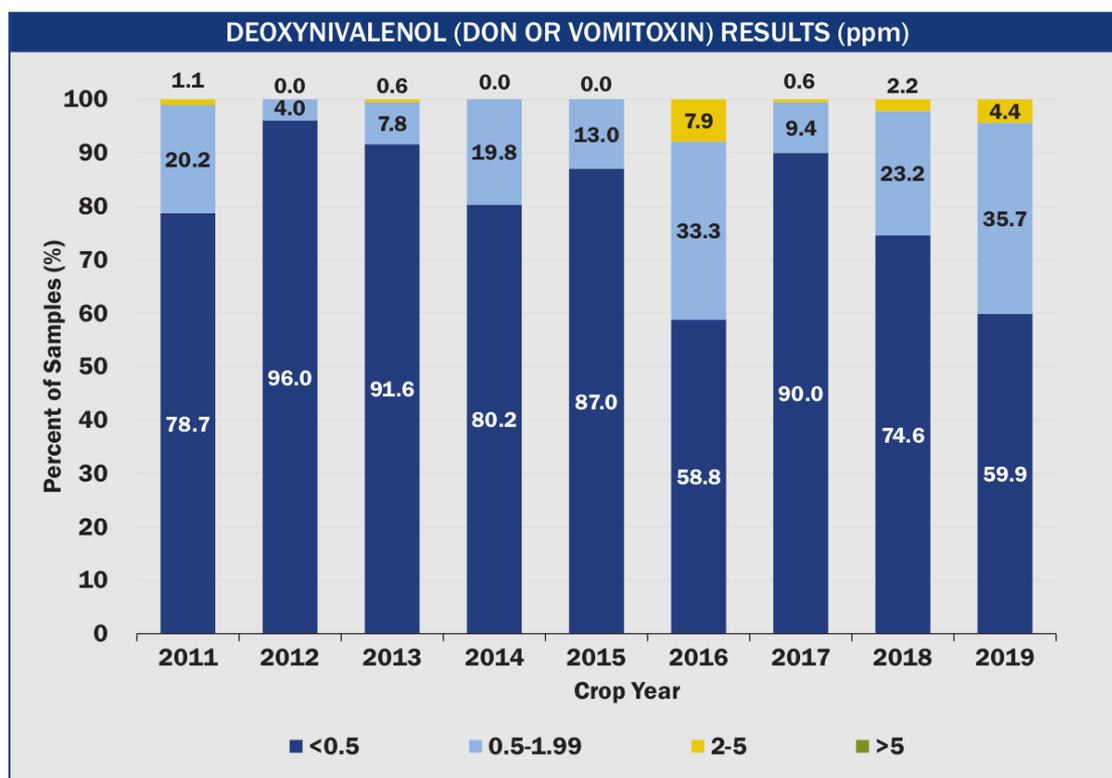
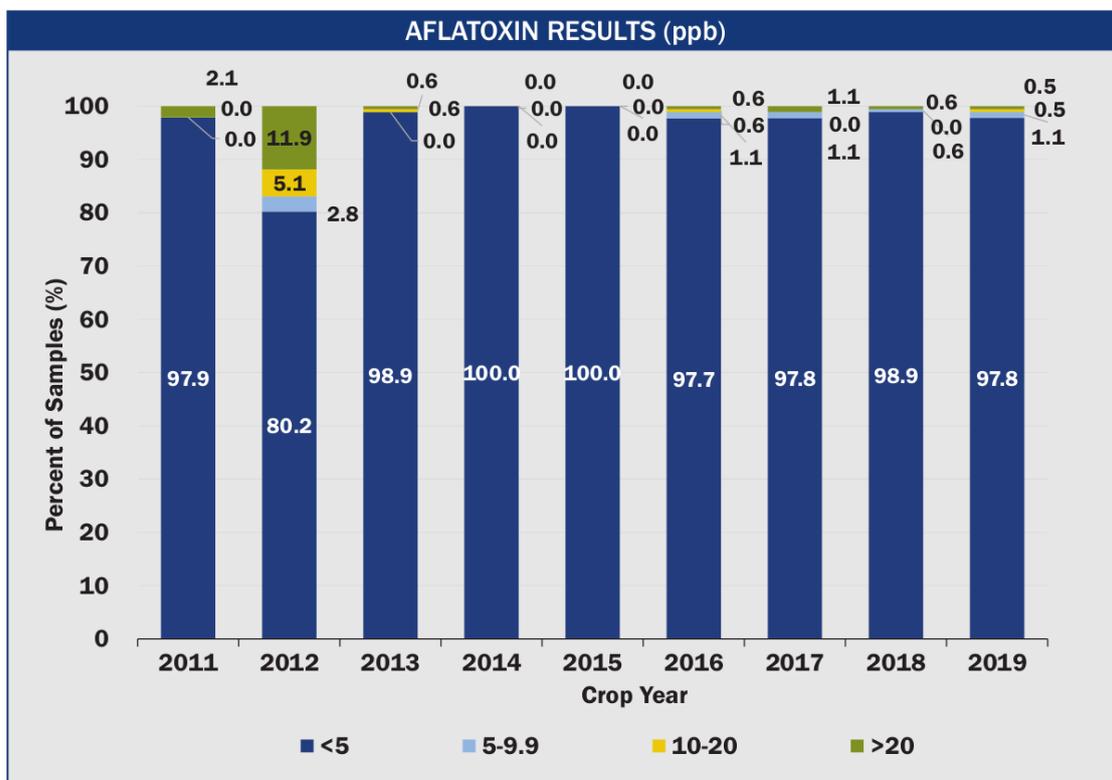




C. 物理的ファクター



D. マイコトキシン





米国産トウモロコシの等級要件

等級	ブッシェル当たり の容積重最小値 (ポンド)	最大限界値		
		損傷粒		
		熱損傷 (%)	総損傷 (%)	破損粒・異物 (%)
U.S. No. 1	56.0	0.1	3.0	2.0
U.S. No. 2	54.0	0.2	5.0	3.0
U.S. No. 3	52.0	0.5	7.0	4.0
U.S. No. 4	49.0	1.0	10.0	5.0
U.S. No. 5	46.0	3.0	15.0	7.0

米国のトウモロコシの等級は次の通り：(a) 1、2、3、4、5の等級要件を満たさないもの、または (b) 1,000グラムのサンプル中、合計で0.1%を超える小石が含まれているもの、2個以上のガラス片が混じっているもの、3個以上のタヌキマメ(*Crotalaria spp.*)の種子、2個以上のトウゴマ(*Ricinus communis L.*)の実、4個以上の特定できない異物の粒か一般に有害・有毒とみなされる物質、8個以上のオナモミ(*Xanthium spp.*)等、1種または複数種の種子、または動物の汚物が0.20%を超えて混入しているもの (c) カビ臭や酸っぱい臭いなど、販売上好ましくない異臭がするもの(d)熱損傷やその他の明確に品質の低下があるもの

出典: Code of Federal Regulations, Title 7, Part 810, Subpart D, United States Standards for Corn



米国単位/メートル単位換算表

トウモロコシ換算	メートル換算
1 ブッシェル = 56 ポンド (25.40キログラム)	1 ポンド = 0.4536 キログラム
39.368 ブッシェル = 1 メートルトン	100ハンドレッドウェイト = 100 ポンド または 45.36 キログラム
15.93 ブッシェル/エーカー = 1 メートルトン/ヘクタール	1 メートルトン = 2204.6 ポンド
1 ブッシェル/エーカー = 62.77 キログラム/ヘクタール	1 メートルトン = 1000 キログラム
1 ブッシェル/エーカー = 0.6277 キンタル/ヘクタール	1 メートルトン = 10 キンタル
56 ポンド/ブッシェル = 72.08キログラム/ヘクタール	1 キンタル = 100 キログラム
	1 ヘクタール = 2.47 エーカー

略語

cm ³ = 立法センチメートル
3g = グラム
g/cm ³ = グラム/立法センチメートル
kg/hi = キログラム/ヘクタール
lb/bu = ポンド/ブッシェル
ppb = 10億分率
ppm = 100万分率





A **GLOBAL NETWORK** of professionals **BUILDING** worldwide **DEMAND** and **developing markets** for **U.S. GRAINS AND ETHANOL**.



HEADQUARTERS:

20 F Street NW, Suite 900 • Washington, DC 20001
 Phone: +1-202-789-0789 • Fax: +1-202-898-0522
 Email: grains@grains.org • Website: grains.org

PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA: Beijing

Tel1: +86-10-6505-1314 • Tel2: +86-10-6505-2320
 Fax: +86-10-6505-0236 • china@grains.org.cn

JAPAN: Tokyo

Tel: +81-3-6206-1041 • Fax: +81-3-6205-4960
japan@grains.org • www.grainsjp.org

KOREA: Seoul

Tel: +82-2-720-1891 • Fax: +82-2-720-9008
seoul@grains.org

MEXICO: Mexico City

Tel1: +52-55-5282-0244 • Tel2: +52-5282-0973
 Tel3: +52-55-5282-0977 • Fax: +52-5282-0974
mexicousg@grains.org

MIDDLE EAST AND AFRICA: Tunis

Tel: +216-71-191-640 • Fax: +216-71-191-650
tunis@usgrains.net

SOUTH ASIA

adcastillo@grains.org

SOUTH EAST ASIA: Kuala Lumpur

Tel: +603-2093-6826
sea-oceania@grain.org

SINGAPORE

ttierney@grains.org

TAIWAN: Taipei

Tel: +886-2-2523-8801 • Fax: +886-2-2523-0189
taipei@grains.org

WESTERN HEMISPHERE: Panama City

Tel: +507-315-1008
panama@grains.org