U.S. GRAINS COUNCIL

2020/2021

トウモロコシ収穫時
品質報告書

U.S. GRAINS COUNCIL

謝辞

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いただいたセントレック・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-ダンビル穀物検査所（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 18
C. 化学組成 22
D. 物理的ファクター 32
E. マイコトキシン 49
59 作柄と気象条件
A. 2020 年収穫ハイライト 59
B. 作付と初期生育条件 60
C. 受粉および登熟の状況 62
D. 収穫の状況 64
E. 2019 年、2018 年および 5 年平均と比較した場合の 2020 年 66
68 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 68
B. 米国産トウモロコシの消費量および最終在庫量 71
C. 見通し 71
75 調査および統計分析の方法
A. 概要 75
B. 調査設計とサンプリング 76
C. 統計分析 79
80 試験分析法
A. 等級ファクター 80
B. 水分含量 81
C. 化学組成 81
D. 物理的ファクター 82
E. マイコトキシン試験 83
85 推移の検討
A. 等級ファクターと水分含量 85
B. 化学組成 86
C. 物理的ファクター 87
D. マイコトキシン 88
89 米国単位/メートル単位換算表
BC USGC 連絡先情報

アメリカ穀物協会（USGC）は本書「2020/2021 年トウモロコシ収穫時品質報告書」において、10 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料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ます。

2020 年の生育期間は、2019 年の米国産トウモロコシと比べて際立って良好でした。2019 年の 4 月と 5 月は雨が多かったために作付や成熟・登熟に記録的な遅れが出ましたが、2020 年には過去 5 年間の平均をやや上回るペースで作付が行われ、その後の生育期間は全体的に望ましい条件に恵まれました。その結果、2020 年のトウモロコシは品質、収量ともに高くなりました。予測どおりであれば、今年の収穫から得られる平均単収（11.04 メートルトン/ヘクタール（175.8 ブッシェル/エーカー））は、これまでで 3 番目に高い米国産トウモロコシの平均単収記録となります。

高い単収が予測されるため、当協会では、2020 年の米国産トウモロコシが歴代第 3 位の 3 億 6849 万メートルトン（145 億 700 万ブッシェル）になると予測しています。収穫量がこのように多いため、米国は依然として世界 1 位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 36.4 パーセントを占めるものと予測されます。

「2020/2021 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になります。当協会が作成する報告書の第二弾、「2020/2021 年トウモロコシ輸出貨物品質報告書」は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、2021 年初頭に発行が予定されています。

当協会は、本報告書を当協会の重要な取引パートナーの皆様に対するサービスとしてお届けしていますが、これは市場を開拓し、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。

BUILDING RELATIONSHIPS BUILDING TRADE

ジム・ラベン
アメリカ穀物協会会長
2020 年 11 月

生育期間の条件が良かったことが、期間全体を通した 2020 年トウモロコシの全体的な品質に影響を与えました。アメリカ穀物協会が「2020/2021 年トウモロコシ収穫時品質報告書」（2020/2021 年収穫時レポート）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（US）No.1 等級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 2020 年米国産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。この報告書によると、サンプルの 84.7%が米国（US）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、94.5%が米国（US）No.2 等級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（5YA[1]）、流通経路に向かう 2020 年米国産トウモロコシの平均値は容積重が高く、水分含量と総損傷が低くなっています。2020 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 58.7 ポンド（lb/bu）（1 ヘクトリットル当たり 75.5 キログラム（kg/hl））で、2019 年および 5YA を上回る。今年の米国（US）No.2 等級の最低要件を上回るサンプルの割合（99.3%）は、それぞれ 89.9%と 98.2%のサンプルがその最低要件と同じかまたは上回った 2019 年および 2018 年よりも高い。

- **BCFM** 平均値（0.8%）は 2019 年を下回るが、5YA と同じである。この平均は 5YA と同じであるものの、98.5%のサンプルが米国（US）No.2 等級の限界値を下回る。
- **総損傷**平均値（1.1%）は 2019 年および 5YA を下回る。今年の米国（US）No.1 等級の上限値を下回るサンプルの割合（91.5%）は、それぞれ 73.5%と 88.5%のサンプルがその上限値と同じかまたは下回った 2019 年および 2018 年よりも低い。
- **熱**損傷平均値は 0.0%で 2019 年、2018 年および 5YA と同じである。0.0%を上回ったのは、調査したサンプル中のひとつに過ぎなかった。そのサンプルの熱損傷は 0.1%であった。
- **水分**含量の平均値（15.8%）は 2019 年および 5YA を下回る。分布をみると、水分含量 15%と同じか下回るサンプルは 42.2%で、これに対し 2019 年および 2018 年はそれぞれ 26.7%と 35.1%であった。この分布は 2020 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 年のサンプルを下回ることを示している。

[1] *5YA は 2015/2016 年、2016/2017 年、2017/2018 年、2018/2019 年および 2019/2020 年の「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**含量（乾物比 8.5%）は 2019 年を上回り、5YA とほぼ同じである。
- **デンプン**含量（乾物比 72.2%）は 2019 年および 5YA をわずかに下回る。
- 平均**油分**含量（乾物比 3.9%）は 2019 年および 5YA を下回る。

物理的ファクター

- 2020 年トウモロコシの**ストレスクラック**率（6%）は 2019 年を下回るが、5YA をわずかに上回る。
- **百粒重**（34.53 グラム）は 2019 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（0.27 立方センチメートル（cm^3））は 2019 年および 5YA を下回る。
- 2020 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 1.255 グラム（g/cm^3））は 2019 年を上回り、5YA とほぼ同じである。
- **完全粒**の平均値（92.5%）は 2019 年を上回り、5YA とほぼ同じである。
- **硬胚乳**の平均値は 81%で、2019 年および 2018 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 2020 年の試験対象サンプルの 99.4%が米国食品医薬局（FDA）の**アフラトキシン**の規制レベルである 20.0 ppb と同じか下回り、試験対象サンプルの 99.4%が 5.0 ppb を下回っている。
- 2020 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 と同じか下回り、これは 2019 年および 2018 年と同じである。加えて、試験対象サンプルの 98.3%が 1.5 ppm を下回ったが、この割合は 2019 年および 2018 年よりも高い。
- 2020 年試験対象となったサンプルの 98.9%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 を下回ったが、この割合は 2019 年よりも高い。
- 今年の「収穫時報告書」では、マイコトキシンの試験リストに**オクラトキシン A**、トリコテシン（**T-2**）および**ゼアラレノン**を暫定的に加えた。追加した各マイコトキシン試験での 180 サンプルの結果は「品質試験結果」のセクションに記載している。

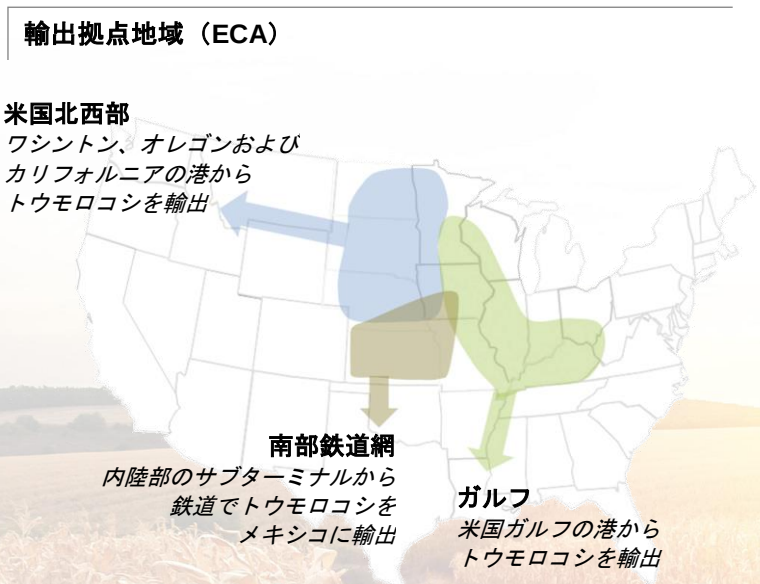
「2020/2021 年収穫時報告書」は、世界のトウモロコシのバイヤーが流通経路に入る時点の米国産イエローコーンの初期の品質について理解する上で役立つよう作成したものです。毎年実施しているこの収穫時の米国産トウモロコシの品質調査も今回で 10 度目となりました。10 年間の結果により、圃場から出荷される時点での米国産トウモロコシの品質に気象条件や生育条件が及ぼす影響のパターンが浮かび上がってきます。

2020 年の米国産トウモロコシは、歴代第 3 位の収穫量（3 億 6849 万メートルトン（145 億 700 万ブッシェル））になり、3 位の平均単収（1 ヘクタール当たり 11.04 メートルトン（1 エーカー当たり 175.8 ブッシェル））になると予測されています。生育期間における全体的に望ましい条件がこの大きな収穫量に寄与し、品質の高いトウモロコシの生産も促進しました。品質ファクターの結果に関して言えば、2020 年トウモロコシの水分含量と損傷の平均値はそれぞれの 5YA を下回りました。ストレスクラックと BCFM は 2019 年のレベルに及ばず、容積重は 2019 年および 5YA を上回りました。タンパク質含量は 2019 年を上回りましたが、長期平均に近い値でした。デンプンおよび油分含量は昨年および 5YA を下回りました。これらの品質ファクターで市場へと向かう 2020 年トウモロコシは、米国（US）No.1 等級のトウモロコシに求められる各等級ファクターの数値要件を概ね満たしているか、上回っています。本報告書で示しているように、米国（US）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 84.7%で、米国（US）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 94.5%です。

10 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「2020/2021 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 601 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、地図に示された輸出市場に向かう 3 つの主要輸出経路で区別されています。



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する場合があります。この理由から、「2020/2021 年収穫時報告書」は、2021 年初頭に発表された「2020/2021 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記載しています。「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量
- 物理的ファクター：ストレスクラック、百粒重、穀粒容積、真の穀粒密度、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）、フモニシン、オクラトキシン A[1]、T-2[1] およびゼアラレノン[1]

これらに加えて、「2020/2021 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 10 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。

[1] *「2020/2021 年収穫時報告書」に暫定的に追加した試験*

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」のセクションと次ページに掲載しています。

概要：等級ファクターおよび水分含量

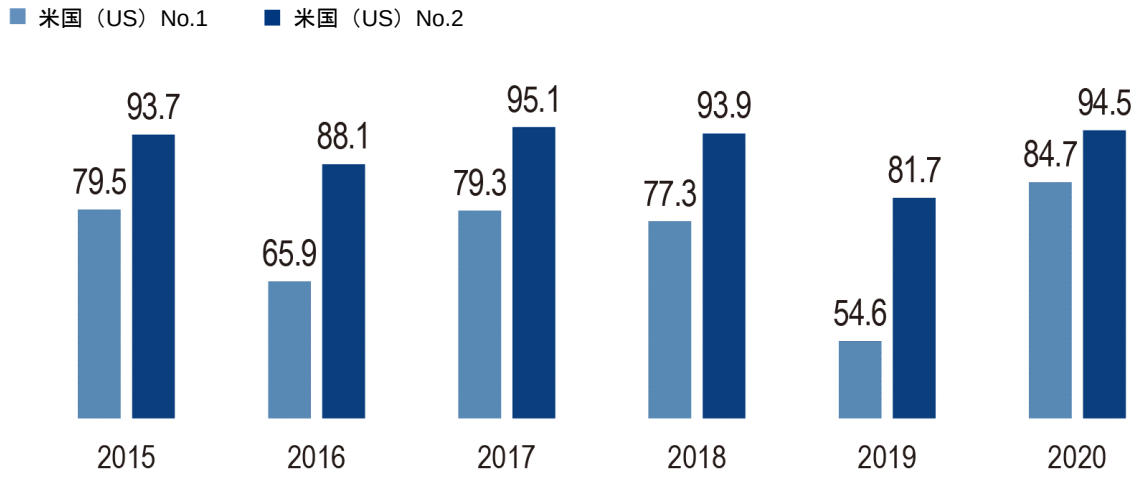
- 次ページに示した数字は、年ごとの米国（US）No.1 および No.2 等級ファクターの限界値を満たすサンプルの割合を表しています。概ね 84.7%のサンプルは米国（US）No.1 等級の等級ファクター要件をすべて満たし、94.5%のサンプルは米国（US）No.2 等級の等級ファクター要件を満たしています。
- 容積重の米国集計平均（58.7 lb/bu または 75.5 kg/hl）は 2019 年（57.3 lb/bu）、2018 年（58.4 lb/bu）、5YA（58.1 lb/bu）および 10YA[1]（58.2 lb/bu）を上回る。2020 年サンプルのうち、容積重が 56.0 lb/bu 以上となったのは 94.8%である。
- BCFM の米国集計平均（0.8%）は 2019 年（1.0%）を下回り、2018 年（0.7%）とほぼ同じ、かつ 5YA および 10YA（いずれも 0.8%）と同じであり、米国（US）No.1 等級の上限値（2.0%）を大きく下回っている。
- BCFM のレベルはトウモロコシのサンプルの 98.5%が No.2 等級に認められる上限値の 3.0%以下である。
- BCFM 平均値は 3ECA 間で同じ（0.8%）である。
- 米国集計サンプルの破損粒平均（0.6%）は 2019 年（0.7%）を下回り、2018 年（0.5%）を上回り、5YA および 10YA（いずれも 0.6%）と同じである。
- 異物混入率の米国集計平均（0.2%）は昨年、2018 年、5YA および 10YA と同じである。
- 2020 年の総損傷率の米国集計サンプルの平均は 1.1%で、2019 年（2.7%）、2018 年（1.5%）および 5YA（1.9%）と 10YA（1.5%）を下回り、米国（US）No.1 等級の限界値を大きく下回る。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 91.5%である。
- 2020 年、2019 年、2018 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 1 位である。総損傷率平均は全 ECA で米国（US）No.1 等級限界値（3.0%）と同じか下回っている。

[1] *10YA は「2011/2012 年収穫時報告書」から「2020/2021 年収穫時報告書」までの品質ファクターの平均値または標準偏差値の単純平均を示している。*

概要：等級ファクターおよび水分含量

- 2020 年のサンプルでの熱損傷の米国集計平均は 0.0%であり、これは 2019 年、2018 年、5YA および 10YA のサンプルにおいても同じである。
- 2020 年の水分含量の米国集計平均（15.8%）は 2019 年（17.5%）、2018 年（16.0%）、5YA（16.4%）および 10YA（16.2%）を下回る。
- ガルフ ECA、米国北西部 ECA および南部鉄道網 ECA の 2020 年の平均水分含量はそれぞれ 16.6%、14.9%および 14.8%である。南部鉄道網 ECA の平均水分含量レベルが、2020 年、2019 年、2018 年、5YA および 10YA のいずれでも全 ECA 中で最も低い。2020 年の 17.0%を超える水分含量のサンプルの割合（26.3%）は 2019 年（45.7%）よりも低い。

すべての等級別要件を満たすサンプル（%）



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（%）	最大限界値 損傷粒 総損傷（%）	最大限界値 破損粒・異物（%）
米国（US）No.1	56.0	0.1	3.0	2.0
米国（US）No.2	54.0	0.2	5.0	3.0
米国（US）No.3	52.0	0.5	7.0	4.0
米国（US）No.4	49.0	1.0	10.0	5.0
米国（US）No.5	46.0	3.0	15.0	7.0

容積重

容積重（容積当たりの重量）はかさ密度を表し、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、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、および水分含量からの影響も受けます。一般に、トウモロコシを徐々に乾燥させると、水分が 1 パーセント減るごとに容積重は 0.25～0.33 lb/bu 増える可能性があります。ただし、トウモロコシ粒の大きさ、形状、微細物、損傷、乾燥速度といったその他のファクターが、容積重が変わる可能性に影響を与える場合があります[2]。

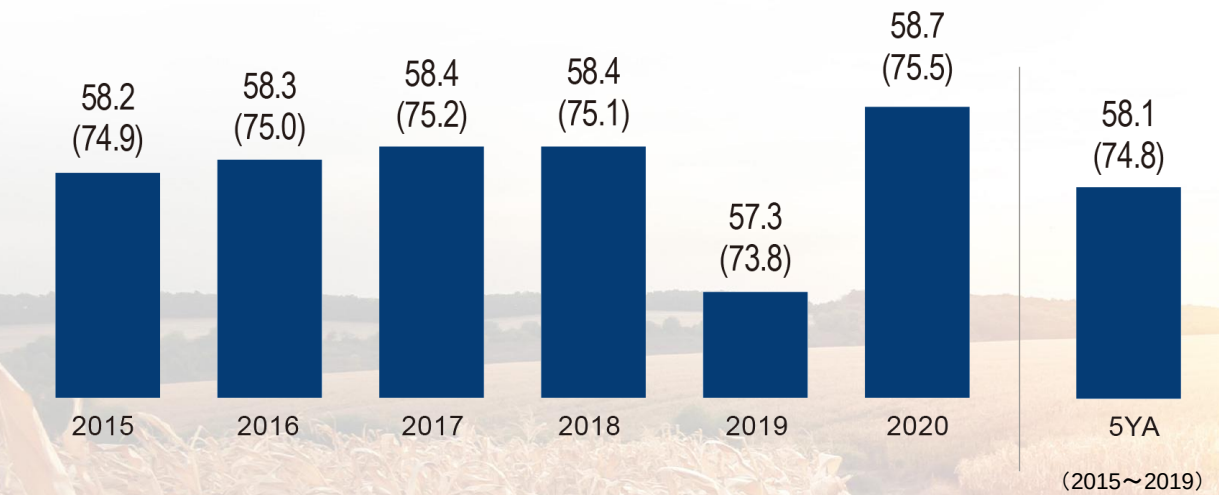
圃場から搬入された地点でサンプルを採取・測定した場合、水分含量が一定であれば、高い容積重の値は高い品質、高い硬胚乳率、かつ、完全で破損や異物のないトウモロコシであることを示唆します。容積重は真の密度と正の相関関係にあり、穀粒の硬さと成熟度を反映します。

結果

- 2020 年の容積重の米国集計平均（58.7 lb/bu または 75.5 kg/hl）は 2019 年（57.3 lb/bu または 73.8 kg/hl）と 2018 年（58.4 lb/bu または 75.1 kg/hl）および 5YA（58.1 lb/bu または 74.8 kg/hl）を上回り、米国（US）No.1 等級の下限値（56.0 lb/bu）を大幅に上回っている。

容積重（lb/bu & kg/hl）

米国集計結果の概要

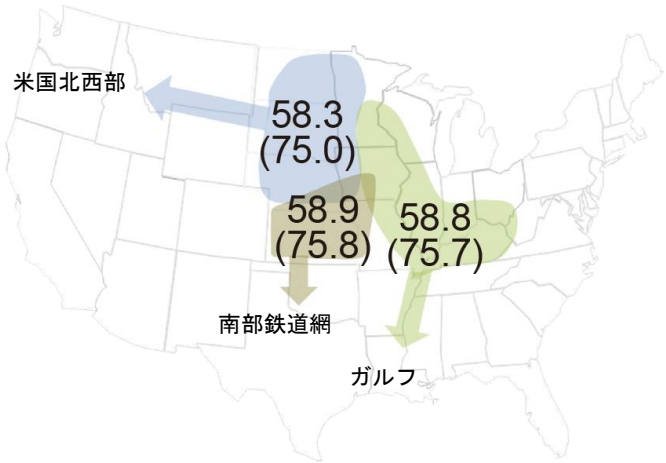


[2] *Hellevang, K.（2019 年）「トウモロコシ容積重は数多くのファクターから影響を受ける」NDSU Agricultural Communication、2019 年 11 月 27 日、NDSU エクステンション・サービス*

- 2020 年の容積重の米国集計の標準偏差（1.22 lb/bu）は 2019 年（1.41 lb/bu）を下回るものの、2018 年（1.20 lb/bu）および 5YA（1.22 lb/bu）とほぼ同じである。
- 2020 年の収穫時サンプルのばらつき幅は 9.9 lb/bu（52.6～62.5 lb/bu）である。この値は 2019 年のばらつき幅である 19.3 lb/bu（42.6～61.9 lb/bu）を下回り、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）とほぼ同じである。
- 2020 年の容積重の分布をみると、米国（US）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 94.8%で、2019 年は 75.6%、2018 年は 90.3%である。2020 年のサンプルで米国（US）No.2 等級の限界値（54.0 lb/bu）を上回るのは 99.3%で、2019 年は 89.9%、2018 年は 98.2%である。
- 2020 年の容積重平均はガルフ ECA（58.8 lb/bu）および南部鉄道網 ECA（58.9 lb/bu）が高い。米国北西部 ECA の容積重（58.3 lb/bu）は 2020 年、2019 年、2018 年および 5YA のいずれでも最も低い。

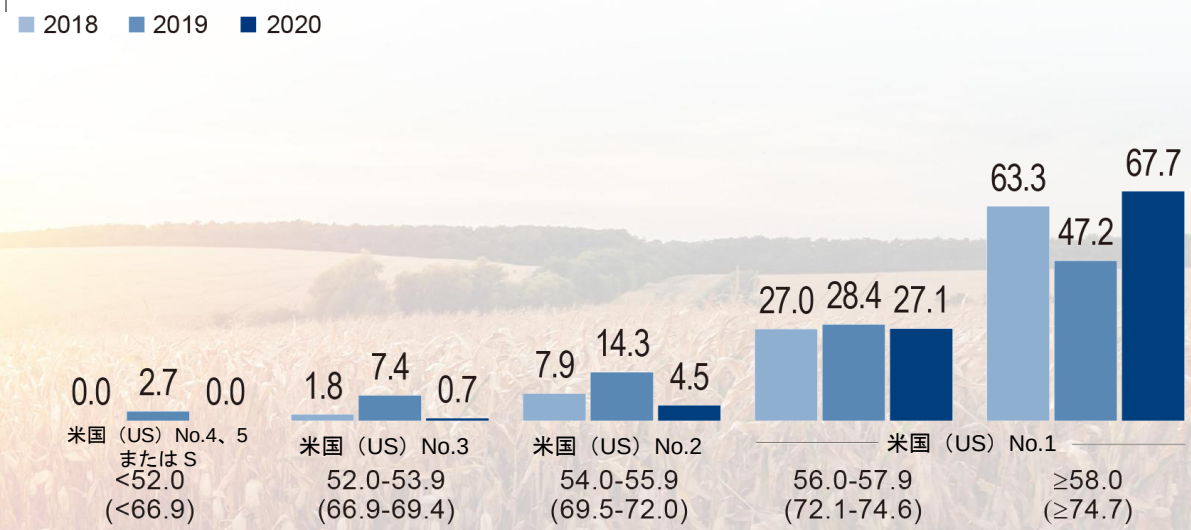
容積重（lb/bu & kg/hl）

2020 年輸出拠点地域別平均



容積重（lb/bu & kg/hl）

収穫年別サンプル割合



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出すことができます。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 の値は乾燥や取扱いの過程で破損粒が増えることによって増加します。

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。

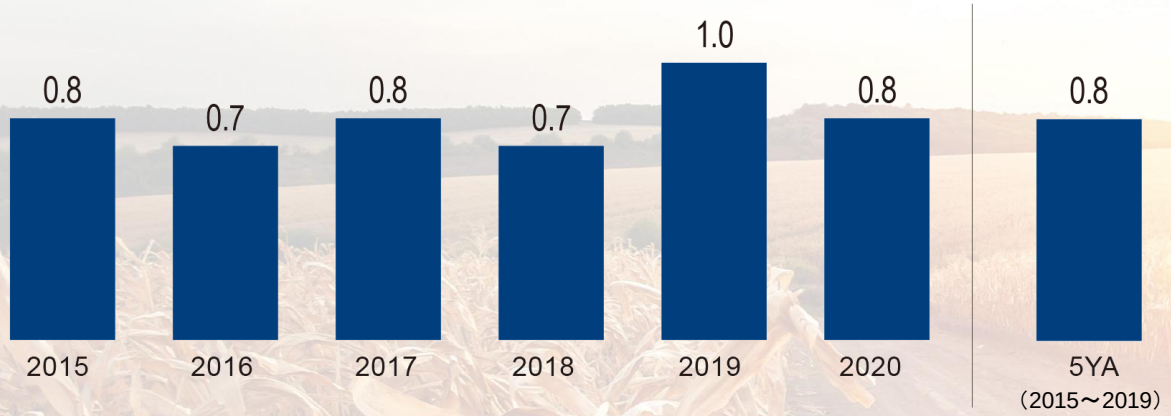
次ページの図は米国産トウモロコシ等級で用いられる破損粒および異物を測定するための方法を示したものです。

結果

- 2020 年の米国集計 BCFM 平均（0.8%）は 2019 年（1.0%）を下回り、2018 年（0.7%）を上回って 5YA（0.8%）と同じであるが、米国（US）No.1 等級の上限値（2.0%）を大幅に下回っている。
- 標準偏差（0.49%）に基づく 2020 年トウモロコシの BCFM のばらつきは 2019 年（0.67%）、2018 年（0.51%）および 5YA（0.56%）を上回っている。

破損粒&異物（BCFM）（%）

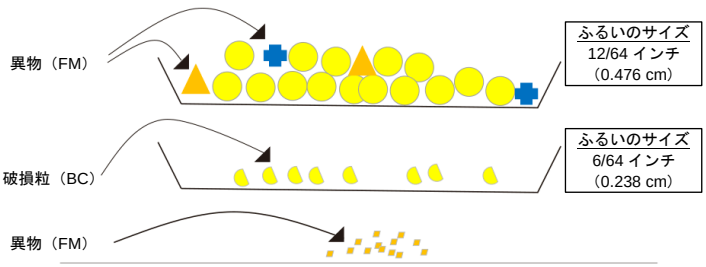
米国集計結果の概要



- 2020 年収穫時サンプルの BCFM の最小値と最大値の幅は 8.7%（0.1～8.8%）である。この値は 2019 年（8.2%）および 2018 年（7.5%）を上回っている。
- 2020 年のサンプル分布では、米国（US）No.1 等級の BCFM の上限値（2.0%）以下の割合は 95.8%で、これに対して 2019 年は 92.3%、2018 年は 95.3%である。サンプルのほぼすべて（98.5%）が米国（US）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 平均値はすべて 0.8%であり、いずれも米国（US）No.1 等級の限界値を下回っている。

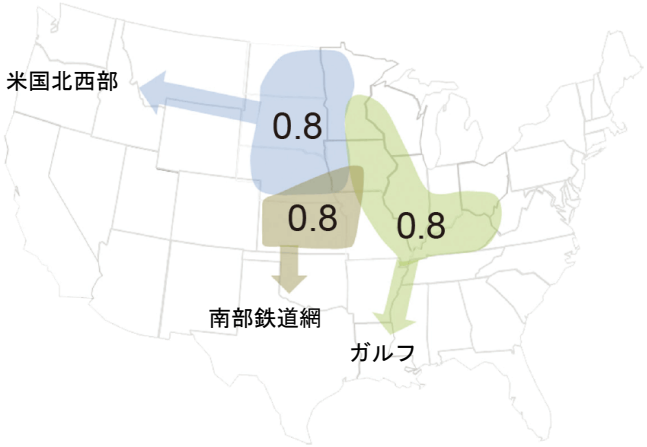
破損粒&異物（BCFM）（%）

重量パーセントとして測定した破損粒および異物



破損粒&異物（BCFM）（%）

2020 年輸出拠点地域別平均



破損粒&異物（BCFM）（%）

収穫年別サンプル割合

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

- 2020 年の米国集計サンプルでは破損粒の平均値は 0.6%で、2019 年（0.7%）を下回り、2018 年（0.5%）を上回り、5YA および 10YA（いずれも 0.6%）と同じである。
- 2020 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 をわずかに下回る。2020 年、2019 年、2018 年および 5YA の標準偏差はそれぞれ 0.34%、0.47%、0.33%および 0.39%である。
- 2020 年の破損粒のばらつき幅は 2.8%（0.0～2.8%）で、2019 年（5.3%）および 2018 年（3.6%）を下回る。

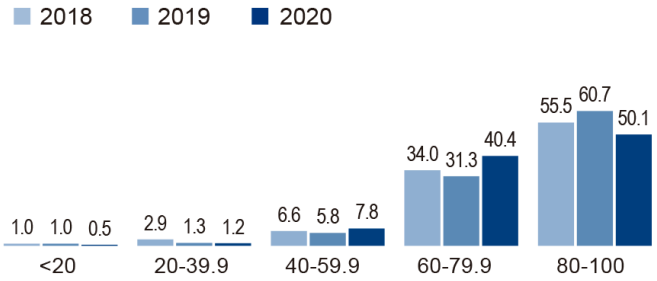
破損粒（%）

米国集計結果の概要

- 2020 年のサンプルの分布をみると、破損粒の値は 1.0%以上のものが 15.4%を占め、これに対し 2019 年では 23.0%、2018 年では 12.6%である。
- BCFM に占める破損粒の割合を示した右の分布図は、サンプルの 50.1%で BCFM の 80.0%以上が破損粒により構成されていることを示している。
- 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 のいずれでも一致しており、それぞれの平均値は 0.6%、0.6%、0.6%である。

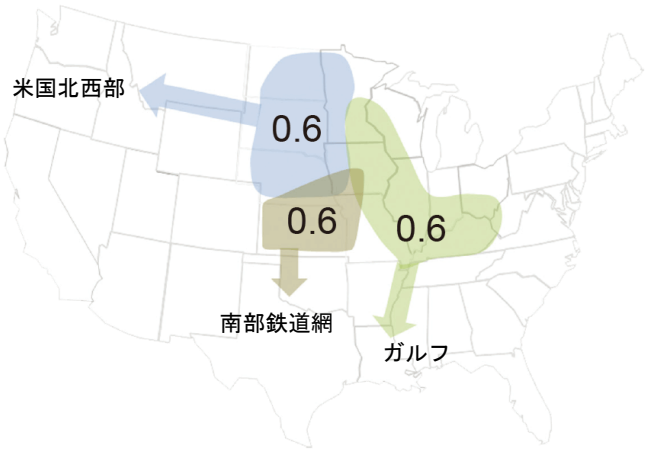
破損粒（BCFM に占める割合）

BCFM に占める割合で示した収穫年別サンプル



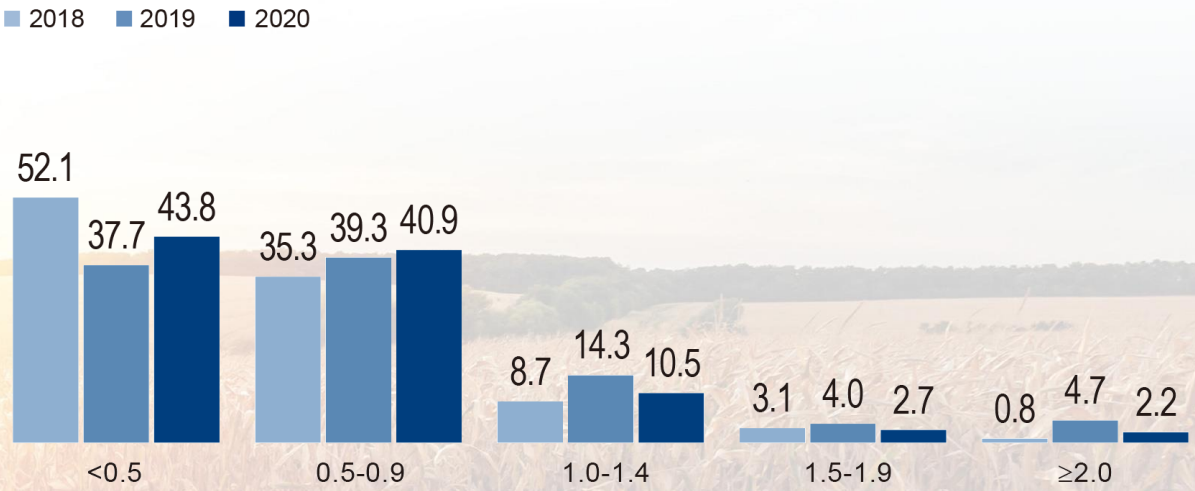
破損粒（%）

2020 年輸出拠点地域別平均



破損粒（%）

収穫年別サンプル割合



異物

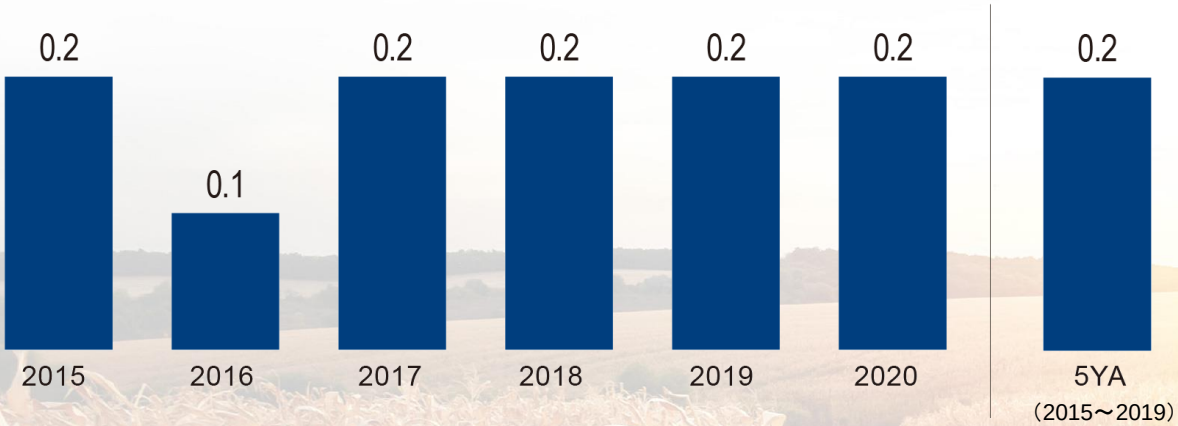
異物は、飼料や加工用としての価値を落とす重大な要因です。一般に、異物はトウモロコシよりも水分含量が高く、そのため保管中のトウモロコシの質を低下させる可能性があります。加えて、異物は（「破損粒」のセクションで述べたように）スパウトラインの原因にもなります。水分含量が多いために破損粒よりも一層品質問題を引き起こす可能性が高くなります。

結果

- 2020 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、2019 年、2018 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に設計されており、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、2020 年の米国集計サンプル（0.22%）は 2019 年（0.28%）、2018 年（0.26%）および 5YA（0.24%）とほぼ同じである。
- 2020 年サンプルの異物のばらつき幅は 0.0～8.3%で、2019 年（0.0～3.3%）を上回るが、2018 年サンプル（0.0～7.3%）とほぼ同じである。
- 2020 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 92.3%で、2019 年（88.3%）をわずかに上回るが、2018 年（90.6%）とほぼ同じである。

異物（%）

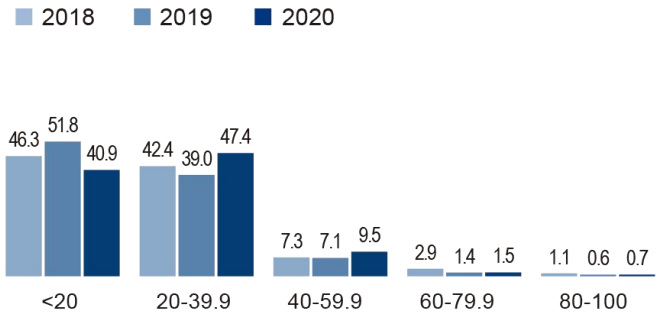
米国集計結果の概要



- BCFM に占める異物の割合を示す右の分布図は、サンプルの 40.9%で異物が BCFM の 20.0%未満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 の異物の割合はそれぞれ 0.2%、0.2%および 0.2%である。2018 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。

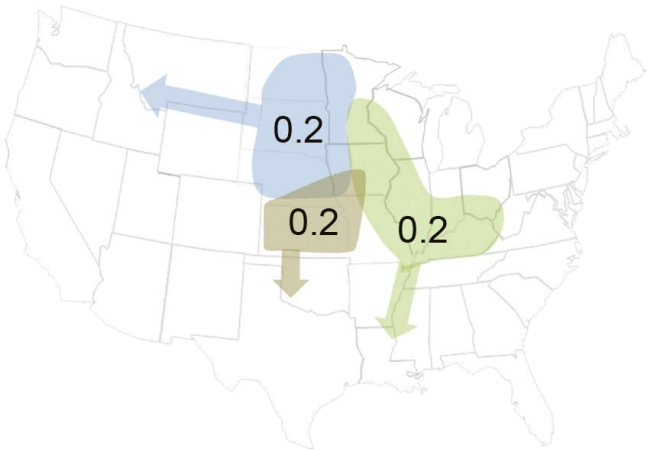
異物（BCFM に占める割合）

BCFM に占める割合で示した収穫年別サンプル



異物（%）

2020 年輸出拠点地域別平均



異物（%）

収穫年別サンプル割合

総損傷

総損傷率とは、カビ、霜、害虫、発芽、病害、天候、土壌、細菌および熱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。熱損傷は総損傷の一部であり、許容値が米国等級基準で別途定められています。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、圃場の複数のカビ類は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もありますが、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。

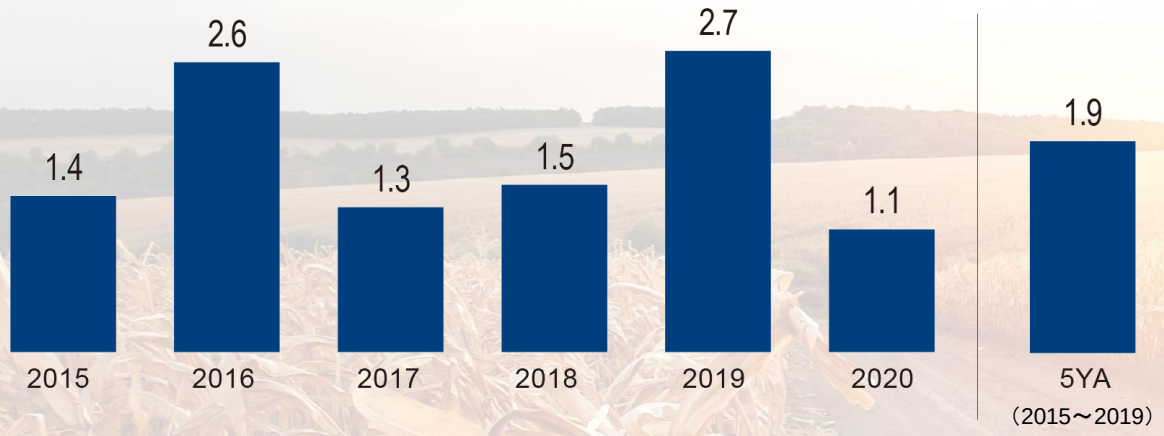
熱損傷は、暖かく湿ったトウモロコシ中の微生物の活動や乾燥工程で加えた高熱により発生することがあります。収穫時に圃場から直接運ばれてくるトウモロコシに熱損傷が存在することは稀です。

結果

- 2020 年の米国集計の総損傷平均値（1.1%）は 2019 年（2.7%）、2018 年（1.5%）、5YA（1.9%）および 10YA（1.5%）を下回っている。2020 年の総損傷平均値は米国（US）No.1 等級の限界値（3.0%）を大幅に下回っている。
- 標準偏差（1.06%）に基づく 2020 年の総損傷値のばらつきは 2019 年（2.43%）、2018 年（1.25%）および 5YA（1.47%）を大幅に下回っている。

総損傷（%）

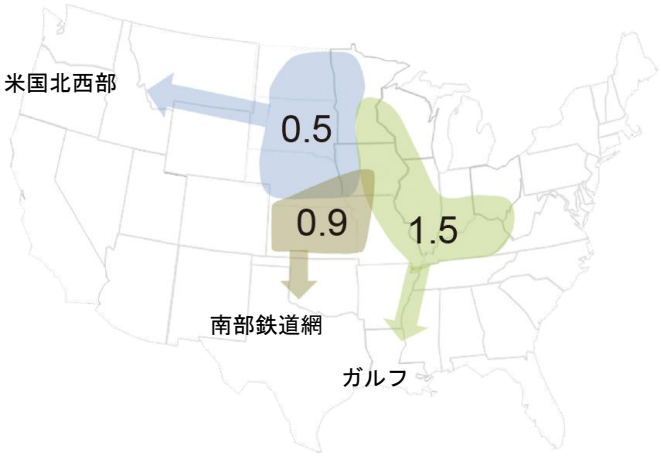
米国集計結果の概要



- 2020 年の総損傷のばらつき幅（0.0～18.3%）は 2019 年（0.0～50.5%）を下回っているが、2018 年（0.0～19.3%）とほぼ同じである。
- 2020 年サンプルの総損傷の割合は 2019 年を下回り、損傷粒の割合が 3.0%以下のものはサンプルの 91.5%で、これに対し 2019 年はサンプルの 73.5%である。
- 総損傷平均はガルフ ECA が 1.5%、米国北西部 ECA が 0.5%、南部鉄道網 ECA が 0.9%となっている。2020 年、2019 年、2018 年、5YA および 10YA を通じて総損傷値はガルフ ECA が最も高いか同率 1 位である。
- すべての ECA で総損傷平均値は米国（US）No.1 等級の限界値（3.0%）と同じか下回っている。
- 熱損傷の集計平均は 2020 年サンプルで 0.0%であり、これは 2019 年、2018 年および 5YA と同じ結果である。調査で試験したサンプル中、0.0%を上回ったのは 1 件に過ぎなかった。そのサンプルの熱損傷は 0.1%であった。
- 熱損傷が少なかった理由のひとつは、圃場からエレベーターに直接運ばれた新鮮なサンプルであったために人工乾燥が最小限に抑えられたことであろう。

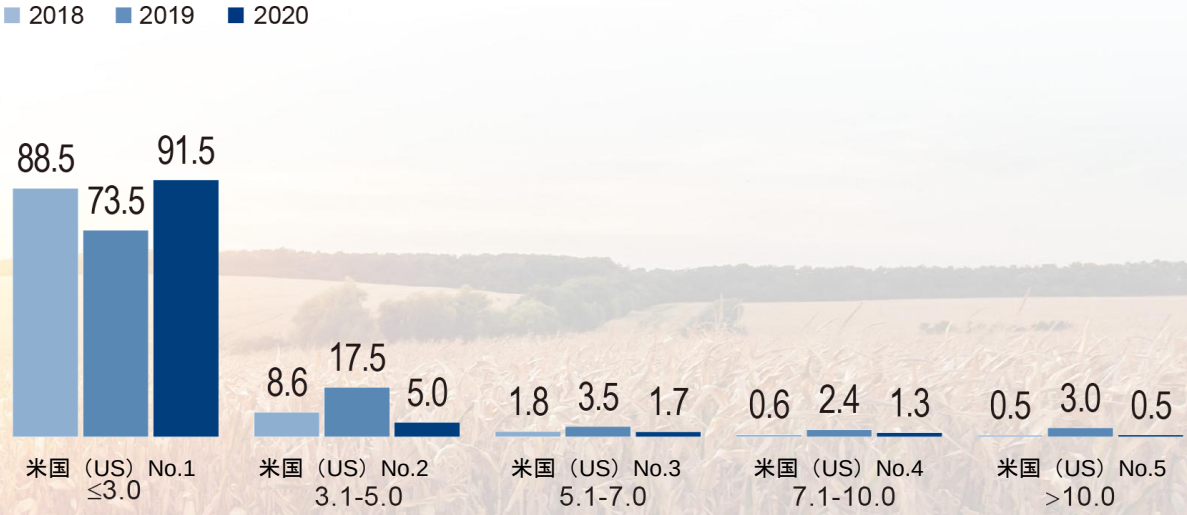
総損傷（%）

2020 年輸出拠点地域別平均



総損傷（%）

収穫年別サンプル割合



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、保管性を示します。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、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ことがあります。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[3]。

結果[4]

- エレベーターにおいて記録された 2020 年の米国集計水分含量の平均は 15.8%で、2019 年（17.5%）、2018 年（16.0%）および 5YA（16.4%）を下回る。過去 10 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。

水分含量（%）

米国集計結果の概要

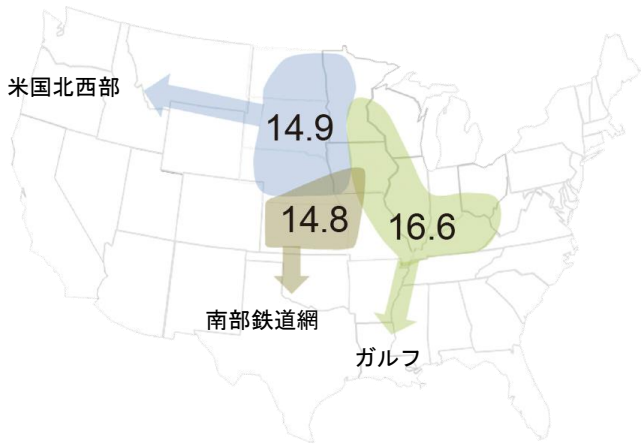
[3] *MWPS-13（2017 年）「穀物の乾燥、取扱いおよび保管についてのハンドブック」Midwest Plan Service No. 13。アイオワ州立大学 Ames, IA 50011*

[4] *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。*

- 2020 年米国集計水分含量の標準偏差（1.97%）は 2019 年（2.35%）を下回るが、2018 年（1.58%）および 5YA（1.77%）を上回る。
- 2020 年の高水分含量のサンプルの割合は 2019 年より小さく、水分含量が 17.0%を超えるサンプルが 26.3%で、これに対し 2019 年が 45.7%である。それでも、水分レベルを監視して十分低く保ち、カビが成長して保管期間が短くなる可能性をなくすように注意する必要がある。
- 2020 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 42.2%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季低温時の短期保管には安全なレベルと考えられている。
- 2020 年サンプルの 9.7%が水分含量 13.0%以下で、これに対し 2019 年はわずか 3.4%である。水分含量の値が 13.0%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。
- 2020 年、2019 年、2018 年、5YA および 10YA 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。

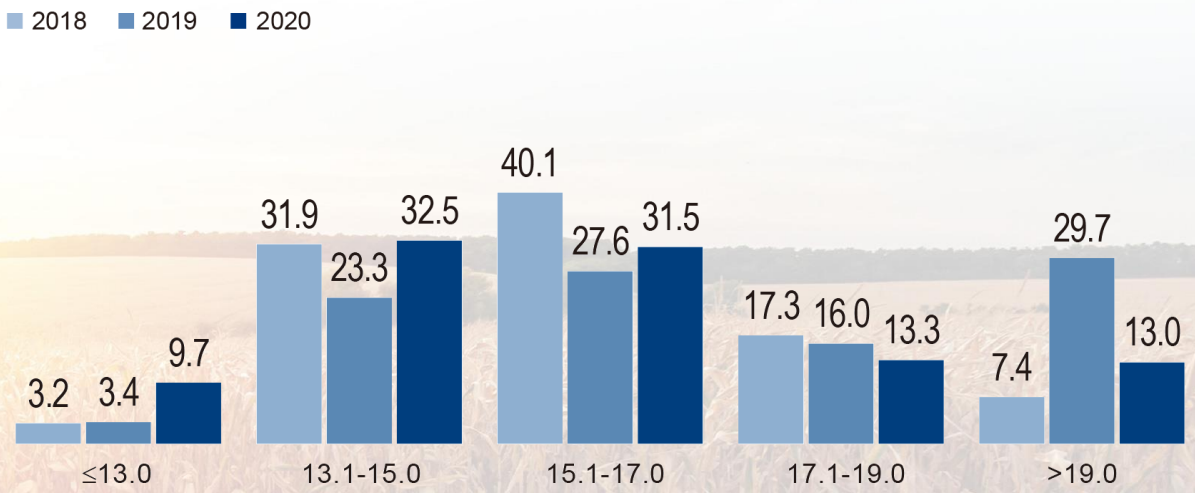
水分含量（%）

2020 年輸出拠点地域別平均



水分含量（%）

収穫年別サンプル割合



まとめ：等級ファクターと水分含量

	2020収穫					2019収穫		2018収穫		5年平均（2015～2019）		10年平均（2011～2020）	
	サンプル数[1]	平均	標準偏差	最小	最大	平均	標準偏差	平均	標準偏差	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**		**米国集計**	
容積重（lb/bu）	601	58.7	1.22	52.6	62.5	57.3*	1.41	58.4*	1.20	58.1	1.22	58.2	1.29
容積重（kg/hl）	601	75.5	1.57	67.7	80.4	73.8*	1.81	75.1*	1.54	74.8	1.57	74.9	1.66
BCFM（%）	601	0.8	0.49	0.1	8.8	1.0*	0.67	0.7*	0.51	0.8	0.56	0.8	0.56
破損粒（%）	601	0.6	0.34	0.0	2.8	0.7*	0.47	0.5*	0.33	0.6	0.39	0.6	0.40
異物（%）	601	0.2	0.22	0.0	8.3	0.2	0.28	0.2	0.26	0.2	0.24	0.2	0.22
総損傷（%）	601	1.1	1.06	0.0	18.3	2.7*	2.43	1.5*	1.25	1.9	1.47	1.5	1.23
熱損傷（%）	601	0.0	0.00	0.0	0.1	0.0*	0.00	0.0	0.00	0.0	0.00	0.0	0.00
水分含量（%）	585	15.8	1.97	9.2	29.0	17.5*	2.35	16.0*	1.58	16.4	1.77	16.2	1.82
ガルフ						**ガルフ**		**ガルフ**		**ガルフ**		**ガルフ**	
容積重（lb/bu）	549	58.8	1.25	53.4	62.5	57.8*	1.27	58.6*	1.13	58.3	1.18	58.3	1.27
容積重（kg/hl）	549	75.7	1.61	68.7	80.4	74.4*	1.64	75.4*	1.46	75.1	1.52	75.1	1.64
BCFM（%）	549	0.8	0.53	0.1	8.8	0.9*	0.61	0.7*	0.50	0.8	0.56	0.8	0.55
破損粒（%）	549	0.6	0.36	0.0	2.8	0.7*	0.43	0.5*	0.32	0.6	0.38	0.6	0.40
異物（%）	549	0.2	0.25	0.0	8.3	0.2	0.26	0.2	0.26	0.2	0.25	0.2	0.23
総損傷（%）	549	1.5	1.42	0.0	18.3	3.0*	2.50	1.8*	1.41	2.2	1.66	1.8	1.43
熱損傷（%）	549	0.0	0.00	0.0	0.1	0.0*	0.00	0.0	0.00	0.0	0.00	0.0	0.00
水分含量（%）	549	16.6	2.16	9.2	29.0	17.6*	2.32	16.1*	1.58	16.5	1.79	16.6	1.89
米国北西部						**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）	293	58.3	1.19	52.6	61.9	55.7*	1.80	57.5*	1.37	57.3	1.33	57.4	1.35
容積重（kg/hl）	293	75.0	1.53	67.7	79.7	71.7*	2.31	74.0*	1.77	73.8	1.71	73.9	1.74
BCFM（%）	293	0.8	0.44	0.1	4.1	1.2*	0.88	0.8	0.58	0.9	0.62	0.9	0.62
破損粒（%）	293	0.6	0.32	0.0	2.8	0.9*	0.60	0.6	0.39	0.7	0.44	0.7	0.45
異物（%）	293	0.2	0.19	0.0	2.0	0.3*	0.37	0.2	0.24	0.2	0.24	0.2	0.24
総損傷（%）	293	0.5	0.64	0.0	8.4	2.6*	3.02	0.9*	0.83	1.1	1.12	0.8	0.81
熱損傷（%）	293	0.0	0.00	0.0	0.1	0.0*	0.00	0.0	0.00	0.0	0.00	0.0	0.00
水分含量（%）	293	14.9	1.74	9.2	22.7	18.3*	2.96	16.1*	1.75	16.4	1.91	15.8	1.78
南部鉄道網						**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）	319	58.9	1.18	53.4	62.5	58.6*	1.18	58.9	1.19	58.6	1.17	58.5	1.25
容積重（kg/hl）	319	75.8	1.51	68.7	80.4	75.4*	1.52	75.8	1.53	75.5	1.51	75.4	1.61
BCFM（%）	319	0.8	0.44	0.1	8.8	0.8	0.47	0.7*	0.44	0.7	0.46	0.8	0.50
破損粒（%）	319	0.6	0.32	0.0	2.8	0.6	0.35	0.5*	0.28	0.6	0.33	0.6	0.37
異物（%）	319	0.2	0.20	0.0	8.3	0.2	0.18	0.2	0.25	0.2	0.19	0.2	0.20
総損傷（%）	319	0.9	0.68	0.0	14.1	2.3*	1.27	1.8*	1.23	1.8	1.25	1.4	1.02
熱損傷（%）	319	0.0	0.00	0.0	0.1	0.0*	0.00	0.0	0.00	0.0	0.00	0.0	0.00
水分含量（%）	319	14.8	1.77	9.2	29.0	16.0*	1.42	15.5*	1.35	15.7	1.43	15.6	1.54

**は有意水準 95.0% で実施した両側 t 検定に基づき、平均値が 2020 年との間で有意な差を示していることを意味する。*

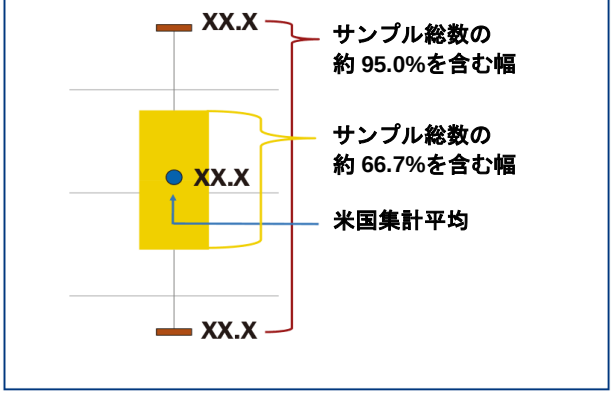
[1] *ECA の結果は複合統計であるため、3ECA のサンプル数の合計は米国集計を超える。*

[2] *収穫密度平均を予測する相対 ME が±10% を超える。*

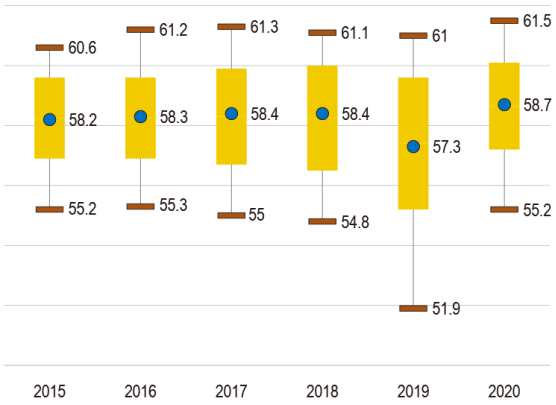
U.S. GRAINS COUNCIL

等級ファクター
6 年集計比較

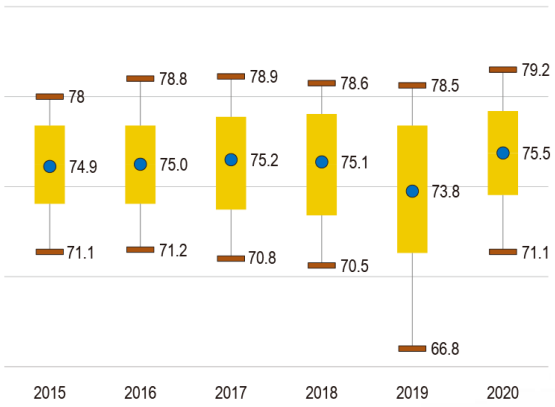
チャートの見方



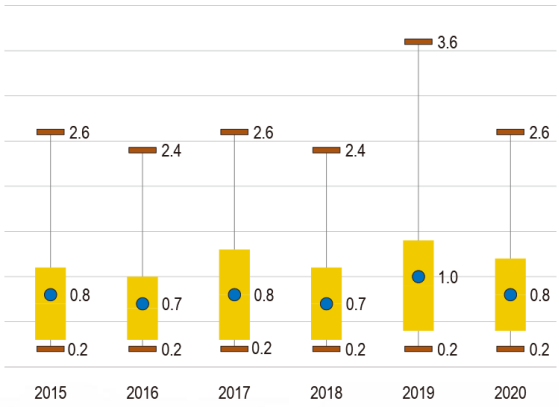
容積重（lb/bu）



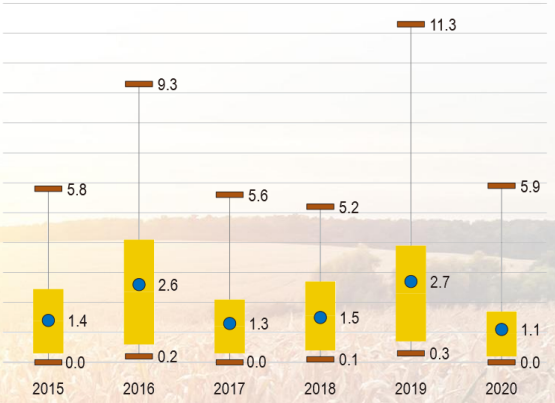
容積重（kg/hl）



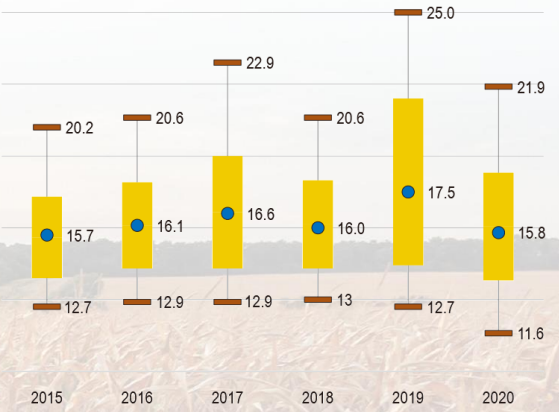
BCFM（%）



総損傷（%）



水分含量（%）



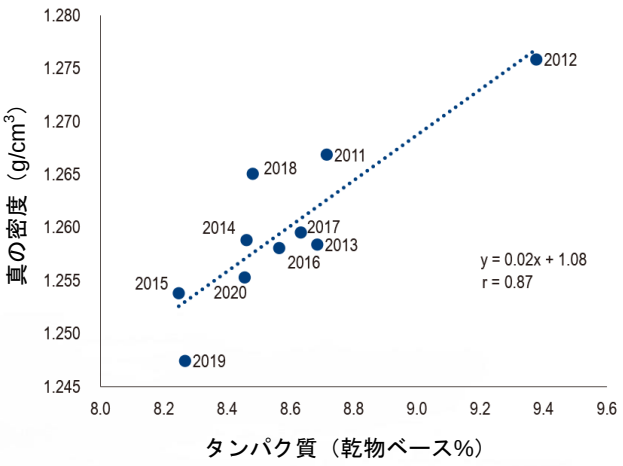
C. 化学組成

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

- 2020 年の米国集計タンパク質含量平均値（乾物比 8.5%）は 2019 年（8.3%）を上回り、2018 年と同じで 5YA（8.4%）を上回っている。
- 2020 年、2019 年、2018 年および 5YA のいずれでも、ガルフ ECA のタンパク質含量の値がすべての ECA の中で最も低いか、最も低い値で並んでいる。
- 右図に示すように、過去 10 年の米国集計平均値から、タンパク質含量が増加すると真の密度も上昇することがわかる（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量が低下し、真の密度が高い年はタンパク質含量が上昇する。
- 2020 年の米国集計デンプン含量平均値（乾物比 72.2%）は 2019 年（72.3%）、2018 年（72.5%）および 5YA（72.6%）を下回っている。

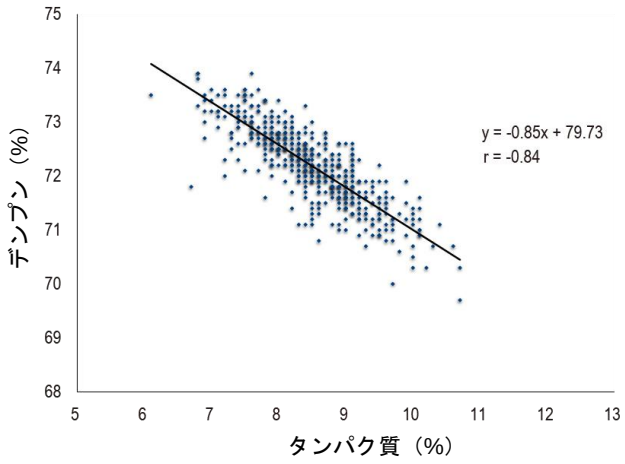
真の密度とタンパク質の相関
10 年間の米国集計



概要：化学組成

- ガルフ ECA のデンプン含量平均値は 2020 年、2019 年、2018 年および 5YA のいずれでもすべての ECA の中で最も高い。
- デンプンとタンパク質はトウモロコシの二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（r = -0.84）があることがわかる。

デンプンとタンパク質の相関、2020 年米国集計



- 2020 年の米国集計油分含量平均値（乾物比 3.9%）は 2019 年（4.1%）、2018 年（4.0%）および 5YA（4.0%）を下回っている。
- 2020 年、2019 年および 2018 年の化学含量のばらつきがほぼ同じであるのは、タンパク質、デンプンおよび油分の標準偏差の値がほぼ同じ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 の油分含量はいずれも 3.9%である。2020 年、2019 年、2018 年および 5YA のいずれにおいても、油分含量の平均値の ECA 間のばらつきは 0.1%以内である。

タンパク質

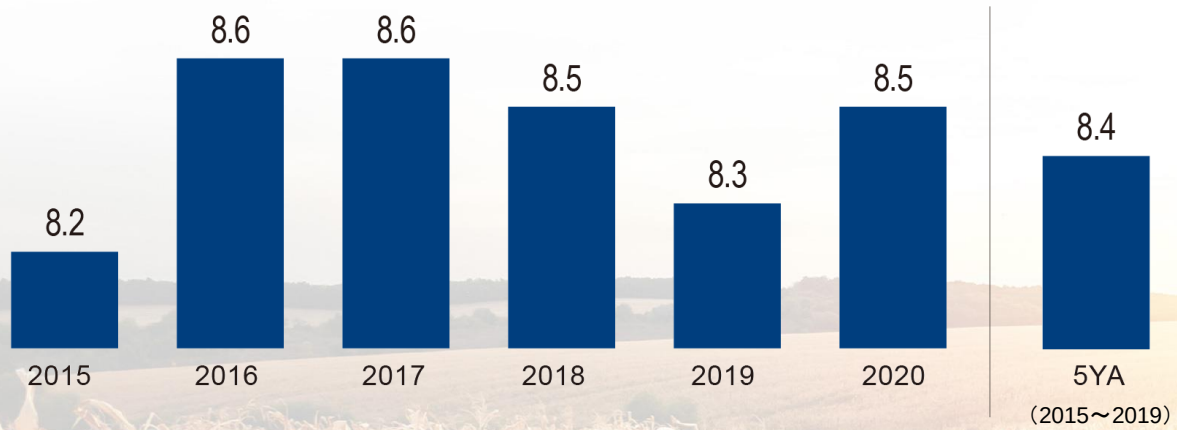
タンパク質は必須含硫アミノ酸を供給し、飼料要求効率を改善するという点で、家禽類および家畜用の飼料にとって非常に重要です。タンパク質は土壌中の可給態窒素が減ったときや収量の高い年には含量が低下する傾向があります。タンパク質の含量は、通常、デンプンの含量と負の相関関係にあります。報告結果は乾物ベースの値です。

結果

- 2020 年の米国集計タンパク質含量平均値は 8.5%であった。この値は 2019 年（8.3%）および 5YA（8.4%）を上回り、2018 年（8.5%）と同じであり、10YA（8.6%）を下回っている。
- 2020 年の米国集計タンパク質含量の標準偏差平均値（0.58%）は 2019 年（0.54%）、2018 年（0.53%）および 5YA（0.53%）とほぼ同じである。
- 2020 年のタンパク質含量のばらつき幅（6.1～10.7%）は 2019 年（6.2～10.4%）および 2018 年（6.6～11.9%）の幅とほぼ同じである。
- 2020 年のタンパク質含量の分布では、8.0%未満のものが 25.5%、8.0～8.9%のものが 48.4%、9.0%以上のものが 26.1%を占めている。2020 年のタンパク質含量分布は、2019 年よりもタンパク質含量の多いサンプル数が多いことを示している。

タンパク質（乾物ベース%）

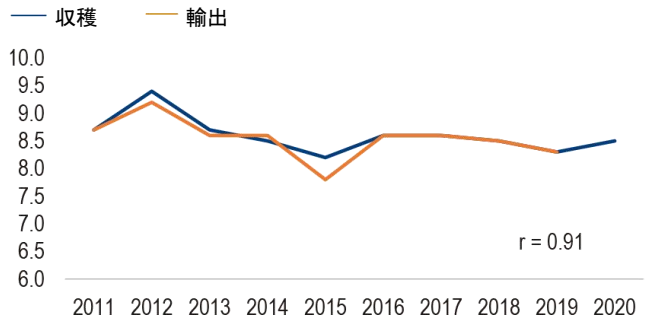
米国集計結果の概要



- 収穫から輸出までの追加的な取扱い、ブレンドおよび保管は化学組成の平均値にほとんど影響を及ぼしていない。各年の「収穫時報告書」と「輸出貨物報告書」の間には、ほぼ同じ化学組成が見られる。右の折れ線グラフは、これらの報告書のそれぞれに見られる米国集計タンパク質含量を示している。相関係数が高い（r = 0.91）のはこの一貫性を示している。
- ガルフ ECA、米国北西部 ECA および南部鉄道網 ECA のタンパク質含量平均値はそれぞれ 8.4%、8.5%および 8.7% である。2020 年、2019 年、2018 年、5YA および 10YA のいずれにおいてもガルフ ECA のタンパク質含量の値が最も低いか、最も低い値で並んでいる。

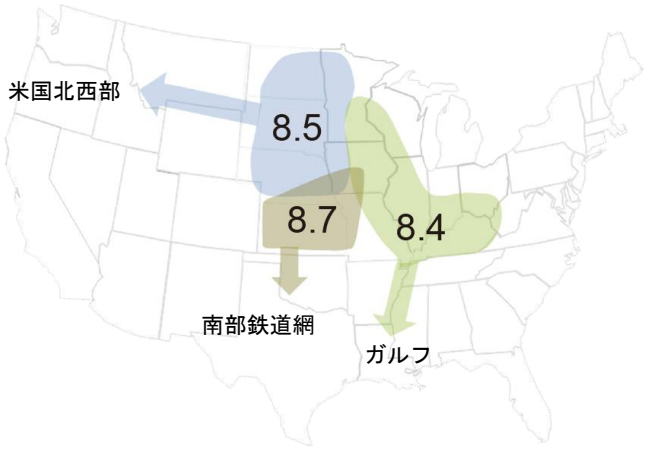
タンパク質（乾物ベース%）

年別米国集計結果比較



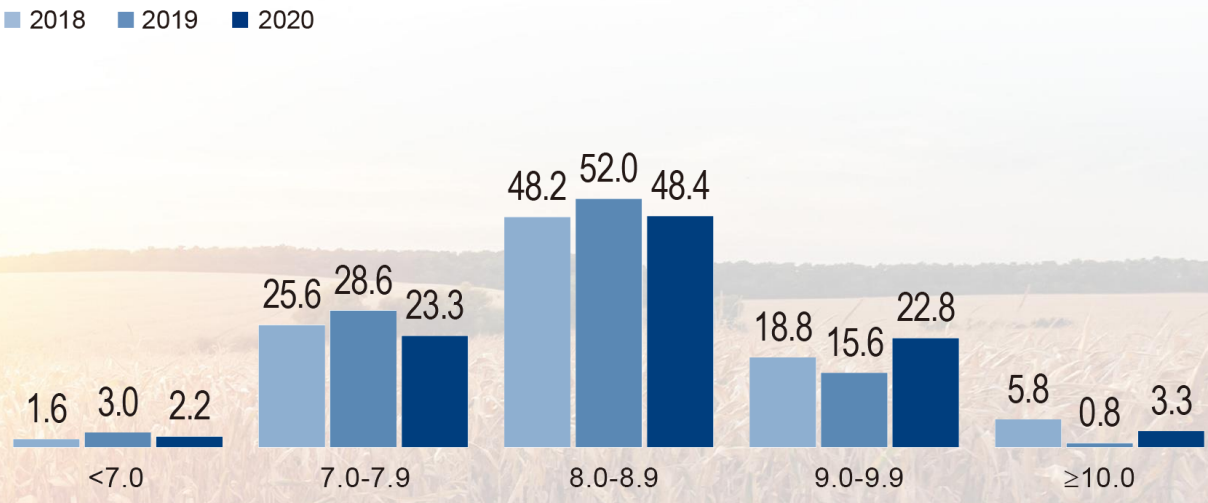
タンパク質（乾物ベース%）

2020 年輸出拠点地域別平均



タンパク質（乾物ベース%）

収穫年別サンプル割合



デンプン

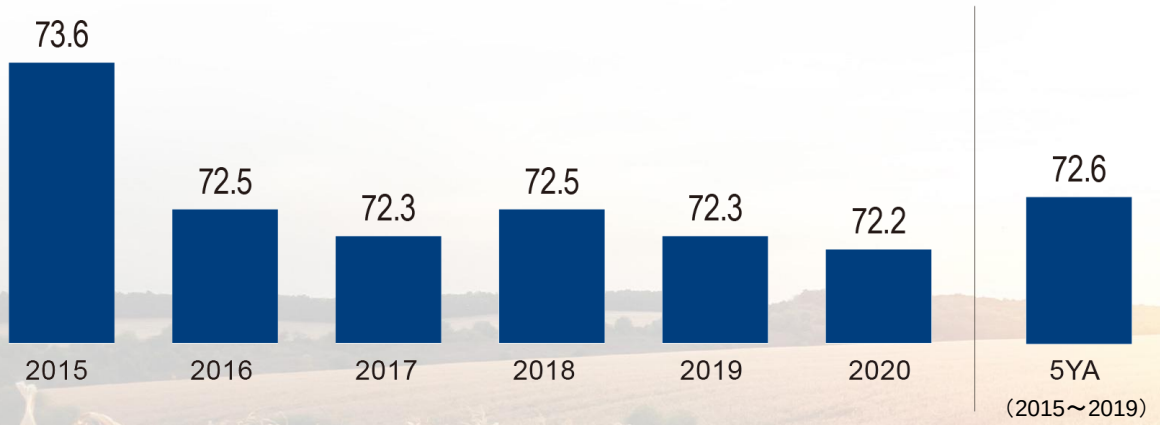
デンプンはウェットミリング業者や乾式粉砕エタノール製造業者が用いるトウモロコシには重要なファクターです。デンプン含量の高さは、多くの場合、穀粒の生育・登熟状態が良好であり、穀粒密度も適度であることを示唆します。通常、デンプン含量はタンパク質含量と負の相関関係にあります。報告結果は乾物ベースの値です。

結果

- 2020 年の米国集計デンプン含量の平均（乾物比 72.2%）は 2019 年（72.3%）、2018 年（72.5%）および 5YA（72.6%）を下回っている。
- 2020 年の米国集計デンプン標準偏差の値（0.61%）は 2019 年（0.58%）、2018 年（0.62%）および 5YA（0.61%）と同程度である。
- 2020 年のデンプン含量のばらつき幅（69.7～74.5%）は 2019 年（69.8～74.4%）および 2018 年（68.9～74.6%）と同程度である。
- 2020 年のデンプン含量の分布では、72.0%未満のものがサンプルの 34.6%を占め、72.0～72.9%のものが 49.8%、73.0%以上のものが 15.6%を占めている。この分布は 2020 年の高デンプン含量レベルのサンプル数が 2019 年および 2018 年よりも少ないことを示している。

デンプン（乾物ベース%）

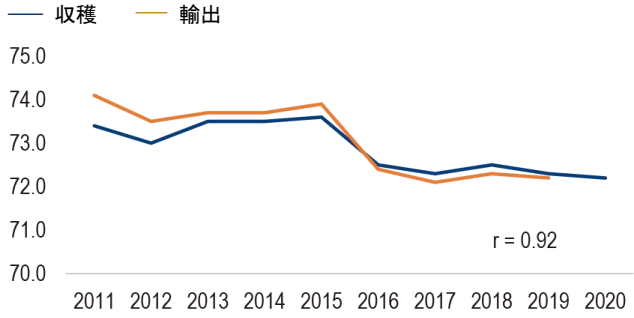
米国集計結果の概要



- 収穫から輸出までの追加的な取扱い、ブレンドおよび保管は化学組成の平均値にほとんど影響を及ぼしていない。各年の「収穫時報告書」と「輸出貨物報告書」の間には、ほぼ同じ化学組成が見られる。右の折れ線グラフは、これらの報告書のそれぞれに見られる米国集計デンプン含量を示している。相関係数が高い（r = 0.92）のはこの一貫性を示している。
- ガルフ ECA、米国北西部 ECA および南部鉄道網 ECA のデンプン含量平均値はそれぞれ 72.3%、72.2%および 72.1%である。2020 年、2019 年、2018 年、5YA および 10YA のいずれでも、ガルフ ECA のデンプン含量は最も高く、タンパク質含量は最も低いか最も低い値で並んでいる。

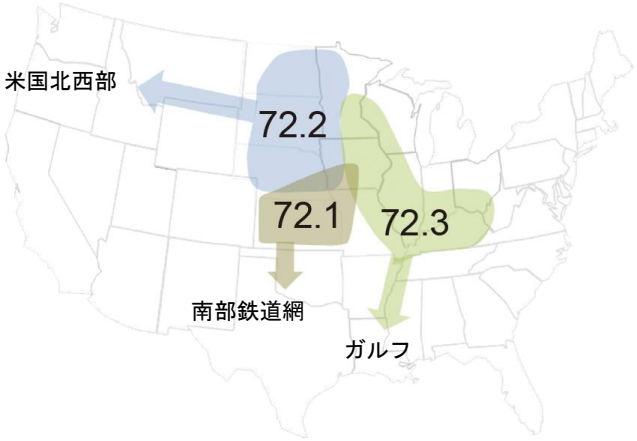
デンプン（乾物ベース%）

年別米国集計結果比較



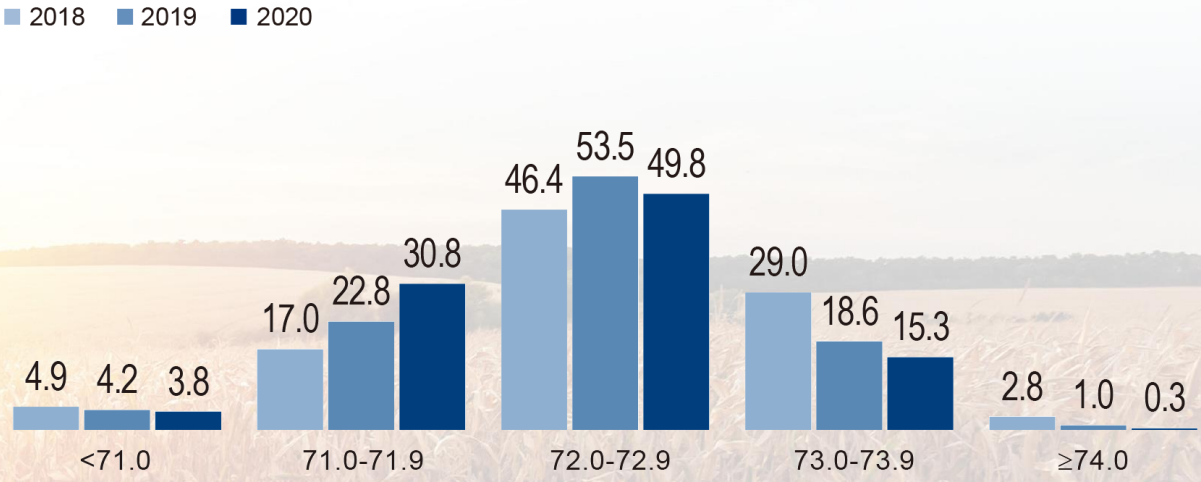
デンプン（乾物ベース%）

2020 年輸出拠点地域別平均



デンプン（乾物ベース%）

収穫年別サンプル割合



油分

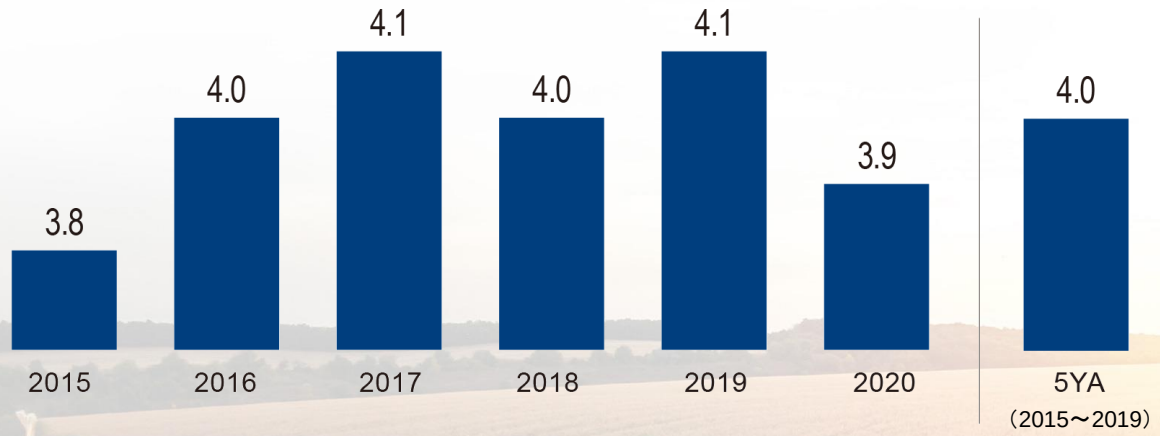
油分は家禽類および家畜用の飼料にとって必須の成分です。油分はエネルギー源であり、脂溶性ビタミンを利用可能にし、特定の必須脂肪酸をもたらします。油分はトウモロコシのウェットミリングおよびドライミリング工程の重要な併産物でもあります。報告結果は乾物ベースの値です。

結果

- 2020 年の米国集計油分含量の平均値（3.9%）は 2019 年（4.1%）、2018 年（4.0%）および 5YA（4.0%）を下回っているが、10YA（3.9%）と同じである。
- 2020 年の米国集計油分含量の標準偏差（0.22%）は 2019 年（0.23%）、2018 年（0.22%）および 5YA（0.24%）と同程度である。
- 2020 年の油分含量のばらつき幅（3.2～4.8%）は 2019 年（3.2～5.0%）および 2018 年（3.3～5.2%）と同程度である。
- 2020 年の油分含量の分布では、3.7%未満のものがサンプルの 15.5%を占め、3.7～4.2%のものが 77.5%、4.3%以上のものが 7.0%を占めている。2020 年の分布をみると、油分含量 4.0%以上のサンプル数が過去 2 年よりも少ないことがわかる。

油分（乾物ベース%）

米国集計結果の概要

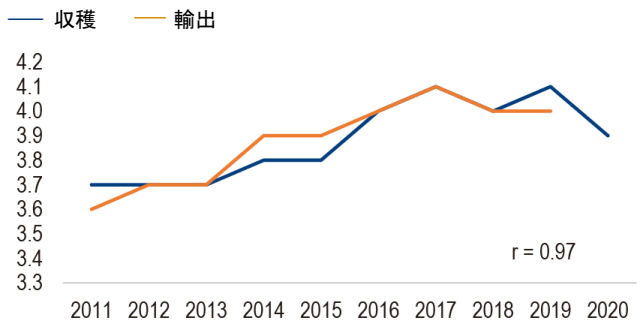


- 収穫から輸出までの追加的な取扱い、ブレンドおよび保管は化学組成の平均値にほとんど影響を及ぼしていない。各年の「収穫時報告書」と「輸出貨物報告書」の間には、ほぼ同じ化学組成が見られる。右の折れ線グラフは、これらの報告書のそれぞれに見られる米国集計油分含量を示している。相関係数が高い（r = 0.97）のはこの一貫性を示している。

- ガルフ ECA、米国北西部 ECA および南部鉄道網 ECA の油分含量平均値はいずれも 3.9%である。2020 年、2019 年、2018 年、5YA および 10YA のいずれにおいても、ECA 間の油分含量平均値のばらつきは 0.1%以下である。

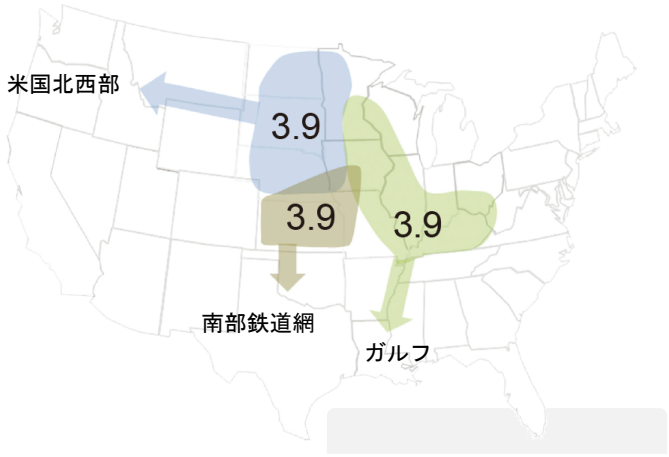
油分（乾物ベース%）

年別米国集計結果比較



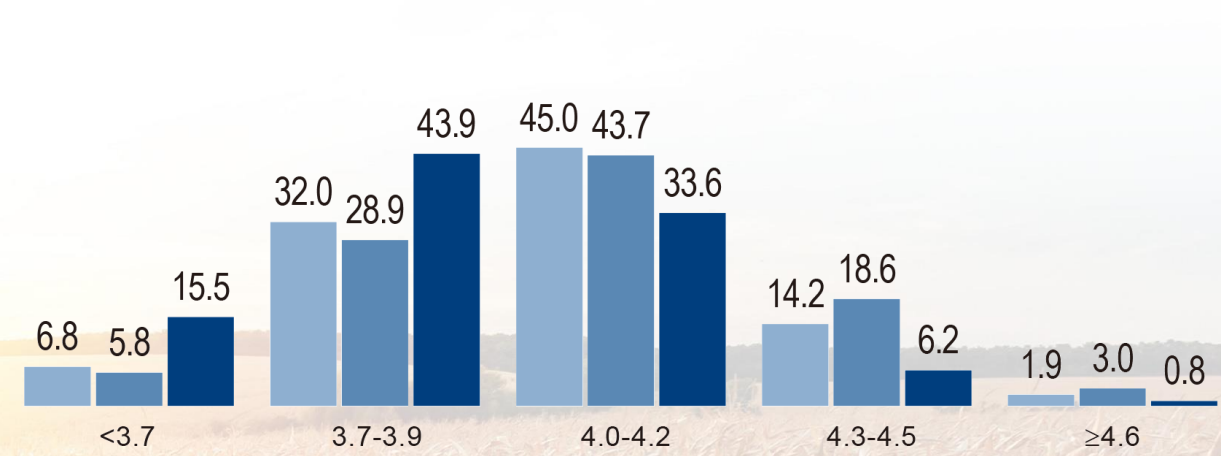
油分（乾物ベース%）

2020 年輸出拠点地域別平均



油分（乾物ベース%）

収穫年別サンプル割合



まとめ：化学的ファクター

	2020収穫					2019収穫		2018収穫		5年平均（2015～2019）		10年平均（2011～2020）	
	サンプル数[1]	平均	標準偏差	最小	最大	平均	標準偏差	平均	標準偏差	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**		**米国集計**	
タンパク質（乾物ベース%）	601	8.5	0.58	6.1	10.7	8.3*	0.54	8.5	0.53	8.4	0.53	8.6	0.57
デンプン（乾物ベース%）	601	72.2	0.61	69.7	74.5	72.3*	0.58	72.5*	0.62	72.6	0.61	72.9	0.62
油分（乾物ベース%）	601	3.9	0.22	3.2	4.8	4.1*	0.23	4.0*	0.22	4.0	0.24	3.9	0.27
ガルフ						**ガルフ**		**ガルフ**		**ガルフ**		**ガルフ**	
タンパク質（乾物ベース%）	549	8.4	0.56	6.1	10.7	8.2*	0.54	8.3	0.50	8.3	0.52	8.5	0.56
デンプン（乾物ベース%）	549	72.3	0.60	70.0	74.5	72.4*	0.58	72.7*	0.61	72.8	0.61	73.0	0.62
油分（乾物ベース%）	549	3.9	0.23	3.2	4.8	4.0*	0.24	4.0*	0.23	4.0	0.25	3.9	0.28
米国北西部						**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%）	293	8.5	0.63	6.1	10.7	8.2*	0.54	8.6*	0.60	8.6	0.57	8.7	0.59
デンプン（乾物ベース%）	293	72.2	0.65	69.7	74.5	72.2	0.58	72.4*	0.64	72.4	0.62	72.8	0.62
油分（乾物ベース%）	293	3.9	0.21	3.2	4.8	4.1*	0.25	4.0*	0.21	4.0	0.23	3.8	0.25
南部鉄道網						**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%）	319	8.7	0.54	6.8	10.7	8.6*	0.54	8.8*	0.55	8.6	0.53	8.8	0.58
デンプン（乾物ベース%）	319	72.1	0.58	70.0	73.9	72.2*	0.56	72.3*	0.63	72.5	0.60	72.7	0.62
油分（乾物ベース%）	319	3.9	0.21	3.3	4.7	4.0*	0.21	4.0*	0.21	4.0	0.23	3.9	0.26

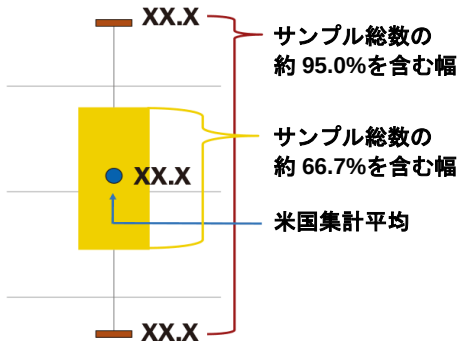
**は有意水準 95.0% で実施した両側 t 検定に基づき、平均値が 2020 年との間で有意な差を示していることを意味する。*

[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。*

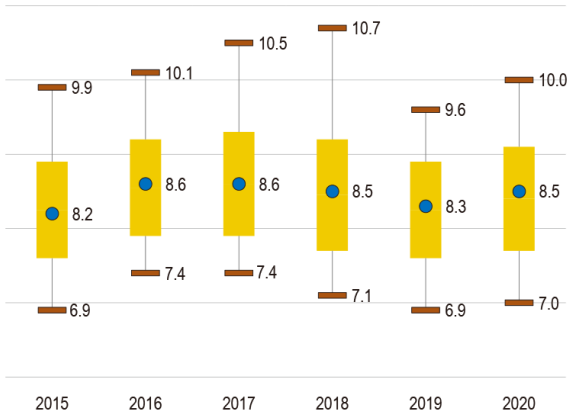
U.S. GRAINS COUNCIL

化学組成
6 年集計比較

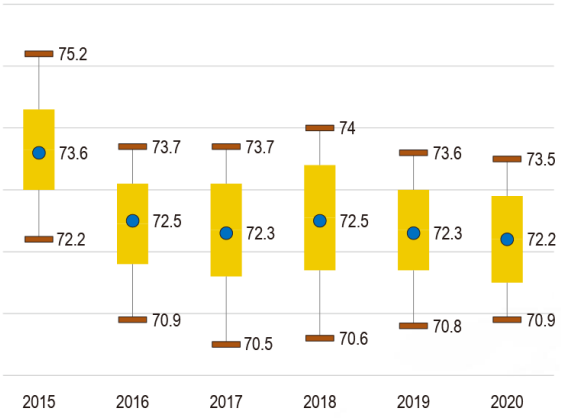
チャートの見方



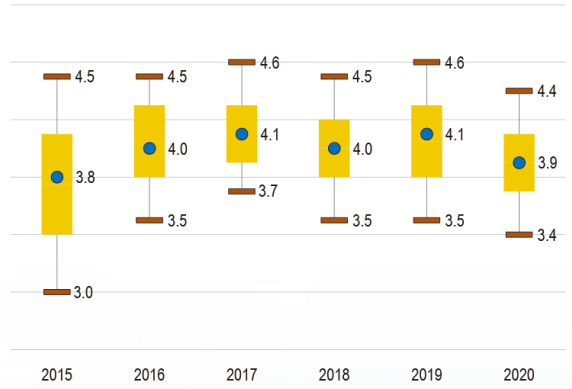
タンパク質（乾物ベース%）



デンプン（乾物ベース%）



油分（乾物ベース%）

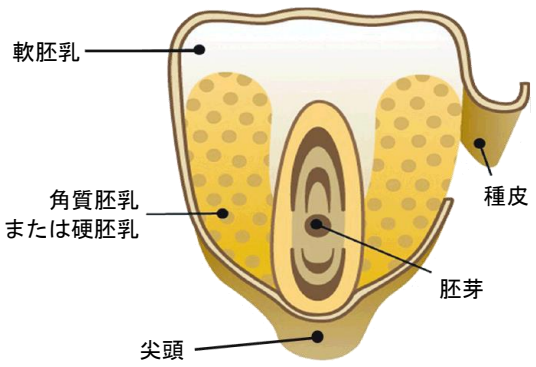


D. 物理的ファクター

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的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。胚乳は穀粒の約 82%を占めています。右図に示すように、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。胚乳には主にデンプンとタンパク質が、胚芽には油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。

トウモロコシ穀粒



出典：Corn Refiners Association, 2011

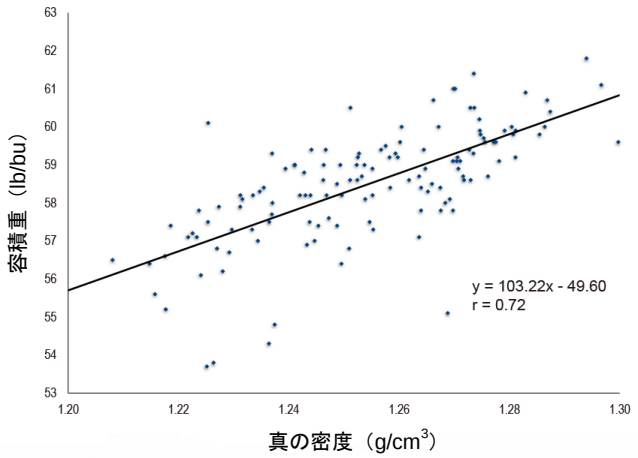
概要：物理的ファクター

- 2020 年の米国集計ストレスクラックの平均値（6%）は 2019 年（9%）を下回ったが、2018 年および 5YA（いずれも 5%）を上回り、2020 年の損傷しやすさは 2019 年を下回るが 2018 年および 5YA とほぼ同じであ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 7%、5%、5%である。2020 年、2019 年、2018 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 の中で最も低いか、最も低い値で並んでいる。
- 2020 年の米国集計の百粒重平均値（34.53 g）は 2019 年（34.60 g）とほぼ同じであるが、2018 年（35.07 g）および 5YA（35.06 g）を下回っている。
- 2020 年の米国集計穀粒容積平均値（0.27 cm^3）は 2019 年、2018 年および 5YA（いずれも 0.28 cm^3）を下回る。
- 2020 年、2019 年、2018 年、5YA、10YA 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。

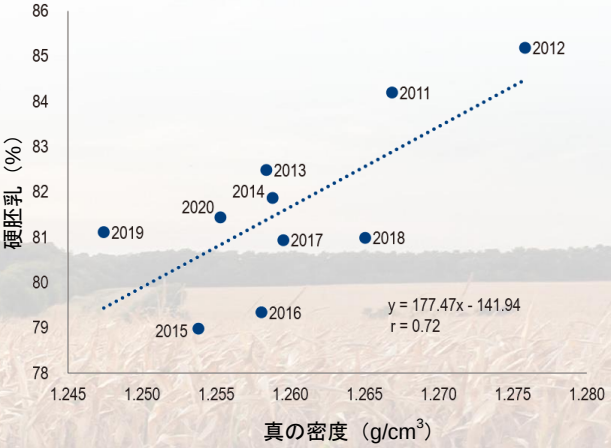
概要：物理的ファクター

- 2020 年の米国集計の真の穀粒密度の平均値は 1.255 g/cm^3 で 2019 年を上回るが、2018 年を下回っている。2020 年、2019 年、2018 年、5YA および 10YA 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。
- 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。下図に示すように、容積重は真の密度の影響を受ける（r = 0.72）。容積重は、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。2020 年と 2018 年の容積重はそれぞれ 58.7、58.4 lb/bu で、この値は 2019 年（57.3 lb/bu）を上回る。2020 年および 2018 年の真の密度と容積重の平均値は 2019 年を上回っている。
- 2020 年の米国集計の完全粒の平均値は 92.5%で、2019 年（90.8%）を上回っているが、2018 年（93.0%）および 5YA（92.8%）をわずかに下回っている。
- 2020 年の米国集計の硬胚乳の平均値（81%）は 2019 年および 2018 年と同じであるが、5YA（80%）を上回っている。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。
- 右図は過去 10 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わかる（r = 0.72）。したがって、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。

容積重と真の密度の相関
2020 年米国集計



硬胚乳と真の密度の相関
10 年間の米国集計



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原因は穀粒の硬胚乳内の水分含量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。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の除去です。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：取扱い中に破損しやすさが増し、洗浄処理中に除去しなければならない破損粒が増える。

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がある。

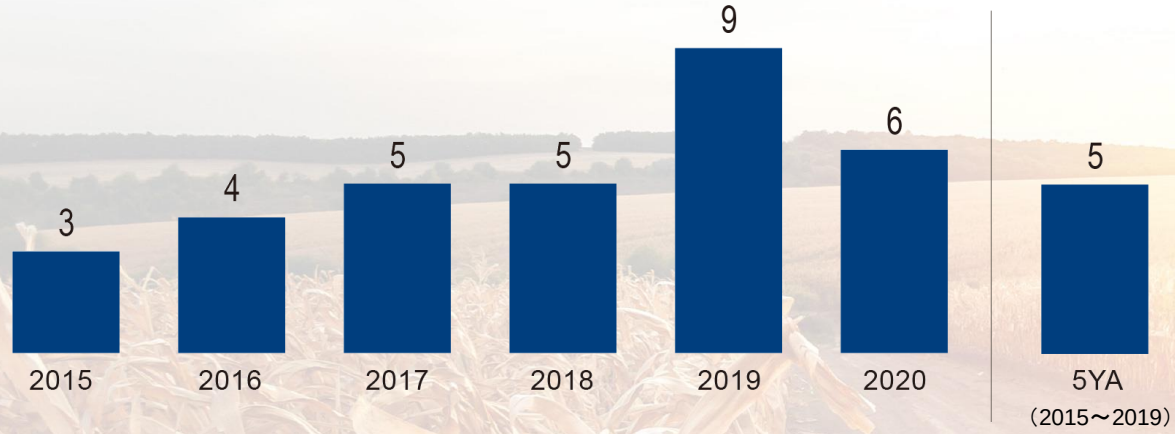
ドライミリング：大型フレーキンググリッツの収量が低下する。

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、こうした要素はストレスクラックの程度に影響を与えます。例えば、降雨による作付の遅れや低温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があり、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。

ストレスクラック（%）

米国集計結果の概要

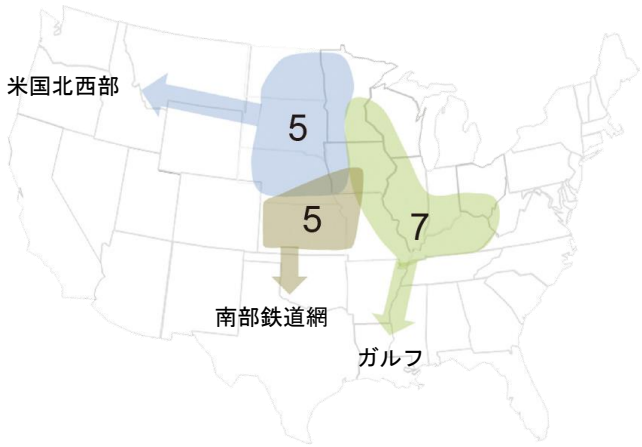


結果

- 2020 年の米国集計のストレスクラック率の平均値は 6%で、2019 年（9%）を下回っているが、2018 年および 5YA（いずれも 5%）を上回っている。
- 2020 年の米国集計ストレスクラック率の標準偏差（5%）は 2019 年（7%）、2018 年（6%）および 5YA（6%）を下回っている。
- 2020 年のストレスクラック率 10.0%未満のサンプルの割合（87.2%）は 2019 年（74.0%）を上回っているが、2018 年（89.0%）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 2020 年のサンプル中 4.3%で、2019 年（10.8%）および 2018 年（6.3%）を下回っている。ストレスクラック率の分布は、2020 年のトウモロコシの破損しやすさが 2019 年を下回るが、2018 年と同程度であることを示唆している。
- 2020 年、2019 年、2018 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か、最も低い値で並んでいる。
- 2020 年は、トウモロコシの多くの作付が時宜を得て行われたため、良好な乾燥状態で予定どおり収穫が行われた。このため、収穫時の水分含量が低く、人工乾燥の必要性が薄れ、結果としてストレスクラックの可能性が低く抑えられた。平均水分含量（15.8%）は 2019 年、2018 年および 5YA を下回っている。

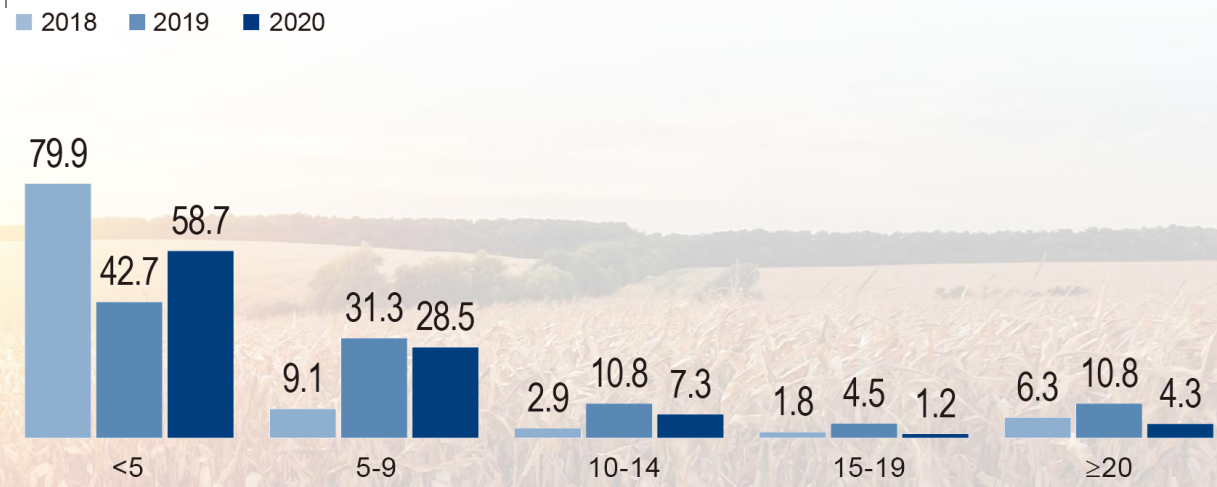
ストレスクラック（%）

2020 年輸出拠点地域別平均



ストレスクラック（%）

収穫年別サンプル割合



百粒重

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。

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。

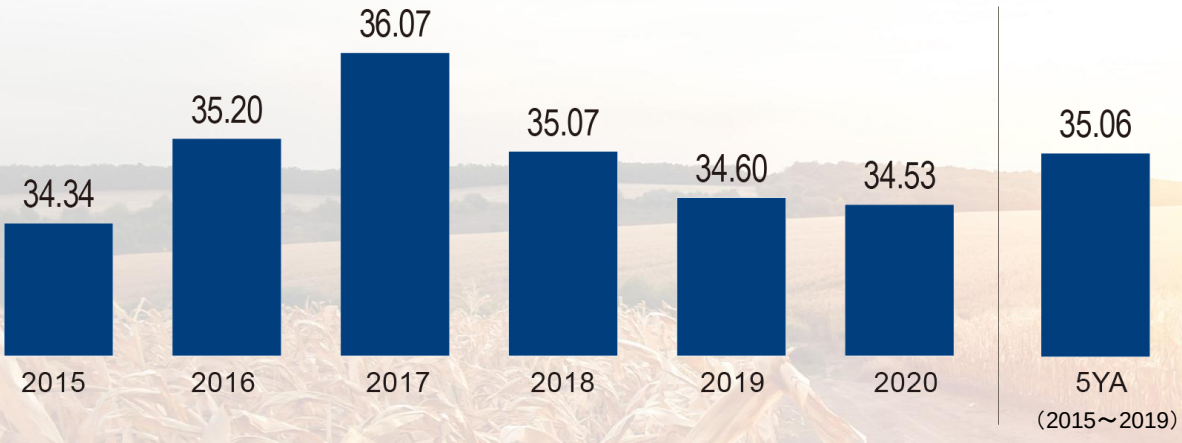
「2020/2021 年収穫時報告書」から、マイコトキシン試験用のサンプルに限定して百粒重試験が実施されることになりました。このプロトコルにより、「2020/2021 年収穫時報告書」で百粒重試験を実施するサンプル数が 180 に減りましたが、この品質ファクターの相対的許容誤差は目標精度レベルである±10.0%をはるかに下回ったままになると予想されました。この調査に用いたサンプリング基準の詳細は「調査および統計分析の方法」のセクションに記載されています。

結果

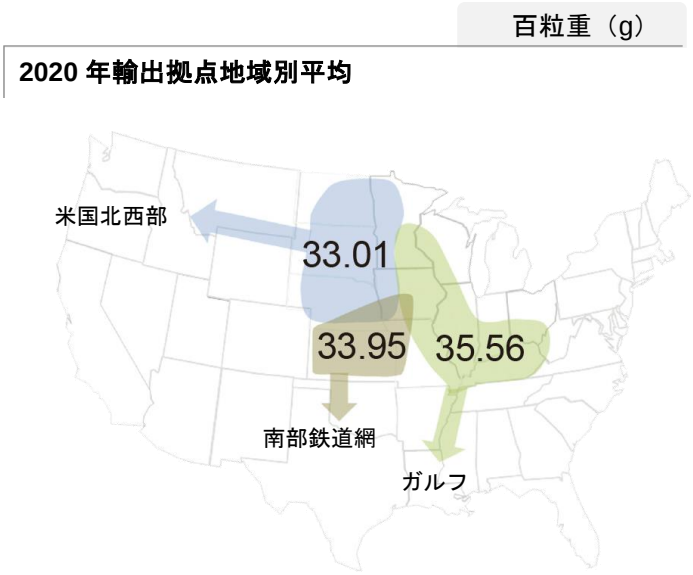
- 2020 年米国集計サンプルの百粒重平均値は 34.53 g で、2019 年（34.60 g）、2018 年（35.07 g）および 5YA（35.06 g）を下回るが、10YA（34.49 g）に近い。
- 2020 年米国集計の百粒重のばらつき（標準偏差 3.64 g）は 2019 年（2.48 g）、2018 年（2.84 g）および 5YA（2.54 g）を上回っている。

百粒重（g）

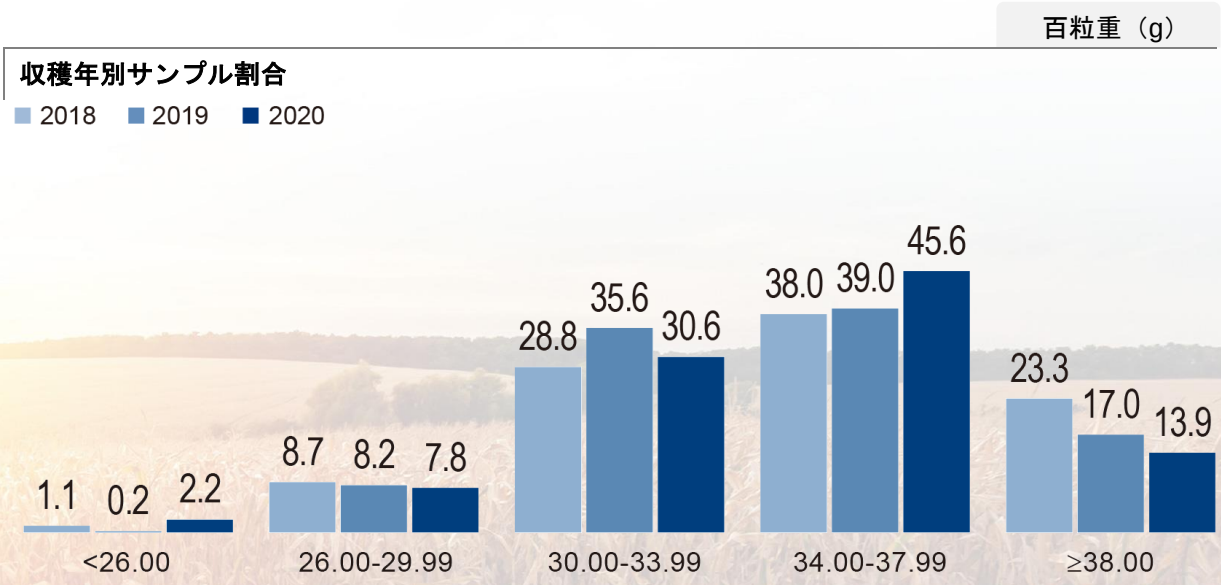
米国集計結果の概要



- 2020 年の百粒重のばらつきの幅（22.32～43.18 g）は 2019 年（25.11～43.93 g）および 2018 年（23.86～45.88 g）と同程度である。
- 2020 年の百粒重の分布をみると、百粒重 34.0 g 以上のものがサンプルの 59.5%を占め、これに対し 2019 年は 56.0%、2018 年は 61.3%である。この分布は 2020 年のサイズの大きな穀粒の割合が 2019 年および 2018 年と同程度であることを示している。
- 米国北西部 ECA の平均百粒重が最も軽く（33.01 g）、これに対しガルフ ECA は 35.56 g、南部鉄道網 ECA は 33.95 g である。2020 年、2019 年、2018 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

穀粒容積はヘリウム比重瓶を用いて計算し、立方センチメートル（cm^3）単位で表示します。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、繊維収率が高まることがあります。

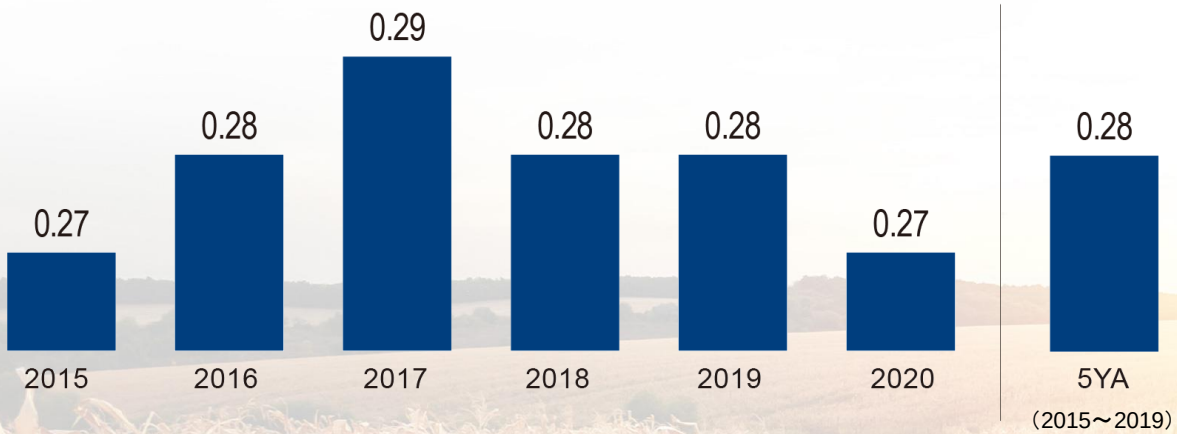
「2020/2021 年収穫時報告書」から、マイコトキシン試験用のサンプルに限定して穀粒容積試験が実施されることになりました。このプロトコルにより、「2020/2021 年収穫時報告書」で穀粒容積試験を実施するサンプル数が 180 に減りましたが、この品質ファクターの相対的許容誤差は目標精度レベルである±10.0%をはるかに下回ったままになると予想されました。この調査に用いたサンプリング基準の詳細は「調査および統計分析の方法」のセクションに記載されています。

結果

- 2020 年の米国集計の穀粒容積の平均値は 0.27 cm^3 で、2019 年、2018 年および 5YA（いずれも 0.28 cm^3）を下回る。
- 2020 年の米国集計の穀粒容積の標準偏差は 0.03 cm^3 で、2019 年、2018 年および 5YA（いずれも 0.02 cm^3）をわずかに上回る。

穀粒容積（cm^3）

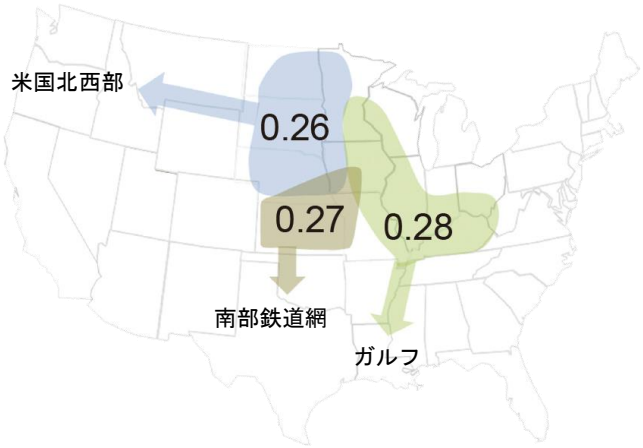
米国集計結果の概要



- 2020 年の穀粒容積のばらつき幅（0.19～0.33 cm^3）は 2019 年（0.22～0.34 cm^3）および 2018 年（0.19～0.36 cm^3）とほぼ同じである。
- 2020 年の穀粒容積の分布では、穀粒容積が 0.29 cm^3 以上のものがサンプルの 32.8%を占め、これに対し 2019 年は 36.3%、2018 年は 38.5%である。この分布は 2020 年のサイズの大きな穀粒の割合が 2019 年および 2018 年の割合をわずかに下回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、0.26、および 0.27 cm^3 である。2020 年、2019 年、2018 年、5YA および 10YA 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。

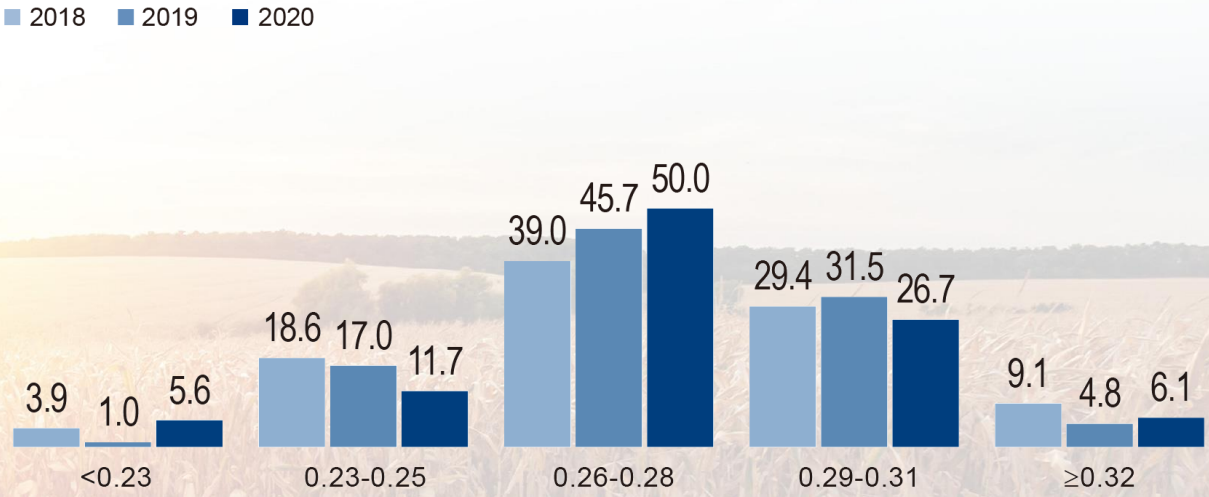
穀粒容積（cm^3）

2020 年輸出拠点地域別平均



穀粒容積（cm^3）

収穫年別サンプル割合



真の穀粒密度

真の穀粒密度は百粒のサンプルの重量を同じ百粒の容積、すなわち押しのけ容積で除して求め、1 立方センチメートル当たりのグラム数（g/cm^3）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扱い中に破損が発生しにくいものの、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/cm^3 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/cm^3 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。

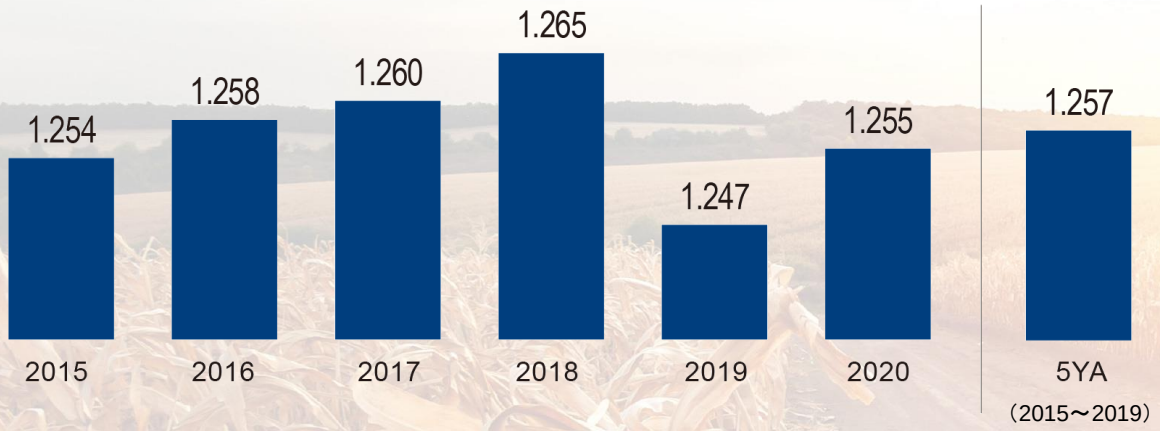
「2020/2021 年収穫時報告書」から、マイコトキシン試験用のサンプルに限定して、真の密度を計算するのに必要な 2 つの分析試験である百粒重および穀粒容積試験が実施されることになりました。このプロトコルにより、「2020/2021 年収穫時報告書」では真の密度の結果を持つサンプル数が 180 に減りましたが、この品質ファクターの相対的許容誤差は目標精度レベルである±10.0%をはるかに下回ったままになると予想されました。この調査に用いたサンプリング基準の詳細は「調査および統計分析の方法」のセクションに記載されています。

結果

- 2020 年の米国集計の真の穀粒密度の平均値（1.255 g/cm^3）は 2019 年（1.247 g/cm^3）を上回っているが、2018 年（1.265 g/cm^3）、5YA（1.257 g/cm^3）および 10YA（1.260 g/cm^3）を下回っている。過去 10 年にわたり、真の密度はタンパク質含量が多いほど上昇する（相関係数は 0.87）傾向にある。

真の密度（g/cm^3）

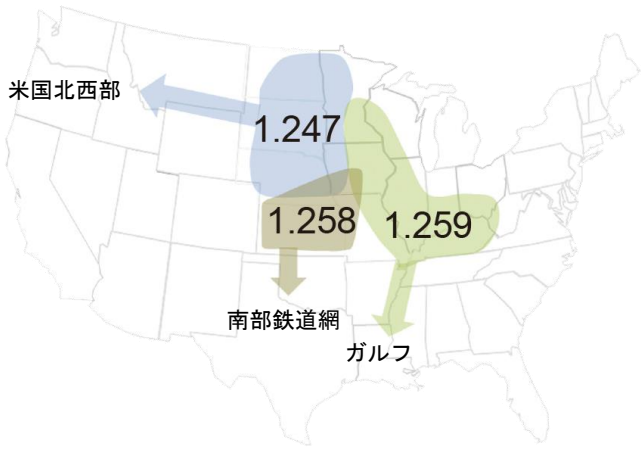
米国集計結果の概要



- 2020 年の標準偏差に基づく米国集計の真の密度のばらつき（0.023 g/cm^3）は 2019 年（0.021 g/cm^3）、2018 年および 5YA（いずれも 0.018 g/cm^3）をわずかに上回っている。
- 2020 年の真の密度のばらつきの幅は 1.171～1.312 g/cm^3 で、これに対し 2019 年は 1.116～1.322 g/cm^3、2018 年は 1.167～1.374 g/cm^3 である。
- 2020 年のサンプル中、真の密度が 1.275 g/cm^3 以上のものは約 16.1%で、これに対し 2019 年は 18.5%、2018 年は 36.0%である。多くの場合、1.275 g/cm^3 を超える値は硬いトウモロコシ、1.275 g/cm^3 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 2020 年のトウモロコシが 2018 年より柔らかいが、2019 年とほぼ同じであることを示唆している。
- 2020 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 1.259、1.247、1.258 g/cm^3 である。2020 年、2019 年、2018 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。

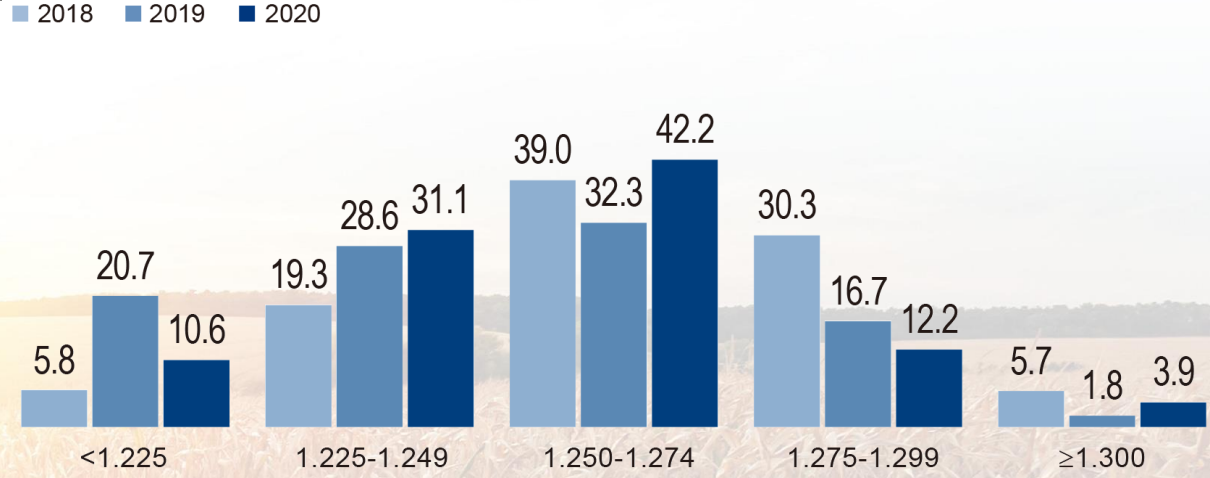
真の密度（g/cm^3）

2020 年輸出拠点地域別平均



真の密度（g/cm^3）

収穫年別サンプル割合



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 2 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[5]。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。

完全粒（%）

米国集計結果の概要

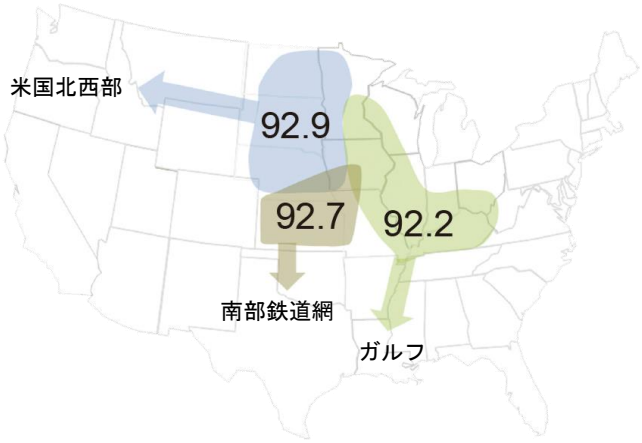
[5] *Foster, G. H.およびL. E. Holman（1973 年）「Grain Breakage Caused by Commercial Handling Methods」USDA. ARS Marketing Research Report Number 968*

結果

- 2020 年の米国集計トウモロコシの完全粒平均値は 92.5%で、2019 年（90.8%）を上回るが、2018 年（93.0%）、5YA（92.8%）および 10YA（93.0%）を下回っている。
- 2020 年の完全粒の標準偏差（3.9%）は 2019 年（4.2%）を下回るが、2018 年（3.0%）および 5YA（3.4%）を上回っている。
- 2020 年の完全粒のばらつき幅（35.8～99.6%）は 2019 年（25.4～99.6%）と 2018 年（66.0～98.6%）の間にある。
- 2020 年のサンプル中、完全粒が 90.0%以上のものが 79.9%を占め、これに対し 2019 年は 68.7%、2018 年は 85.6%である。この分布は 2020 年および 2018 年のサンプルの完全粒の割合が 2019 年のサンプルを上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 92.2%、92.9%、および 92.7%である。

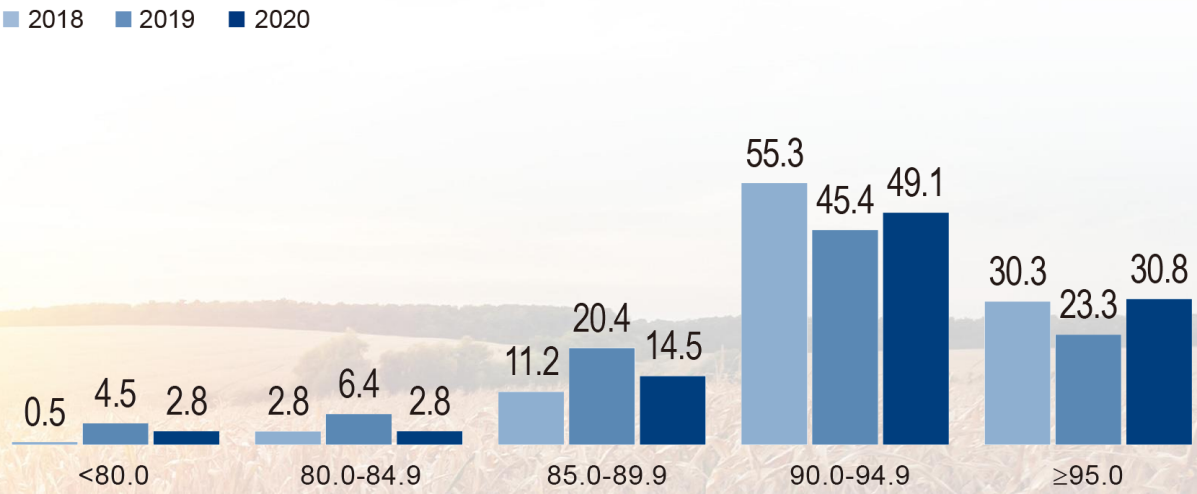
完全粒（%）

2020 年輸出拠点地域別平均



完全粒（%）

収穫年別サンプル割合



硬胚乳

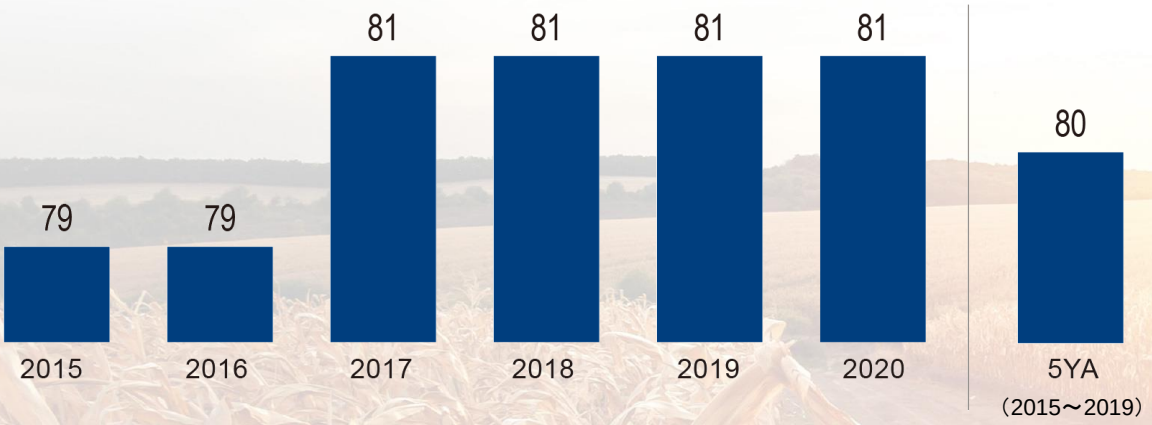
硬胚乳試験では穀粒の全胚乳中に硬胚乳が占める割合を測定しますが、この値は通常 70～100%の間となります。軟胚乳と比較して硬胚乳の量が多いほどトウモロコシ粒は硬くなると言われています。加工の種類によって硬さの程度が重要になってきます。ドライミリングで加工される大型フレーキンググリッツの収率を高くするためには硬いトウモロコシが必要です。アルカリ処理には中～高程度の硬さのトウモロコシが望ましく、ウェットミリングや家畜飼料には低～中程度の硬さのトウモロコシが用いられます。硬さは破損しやすさ、飼料効率およびデンプン消化率と相関関係があります。軟質の粉状胚乳では硬胚乳ほどストレスクラックを生じる内部ス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

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過ぎません。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。このプロトコルにより、「2020/2021 年収穫時報告書」では合計 180 のサンプルに硬胚乳試験が実施されました。この品質ファクターの相対的許容誤差は、この品質ファクターについてすべてのサンプルを試験した際に、「2011/2012 年収穫時報告書」から「2018/2019 年収穫時報告書」において 0.4%を上回ったことはありません。この調査に用いたサンプリング基準の詳細は「調査および統計分析の方法」のセクションに記載されています。

硬胚乳（%）

米国集計結果の概要

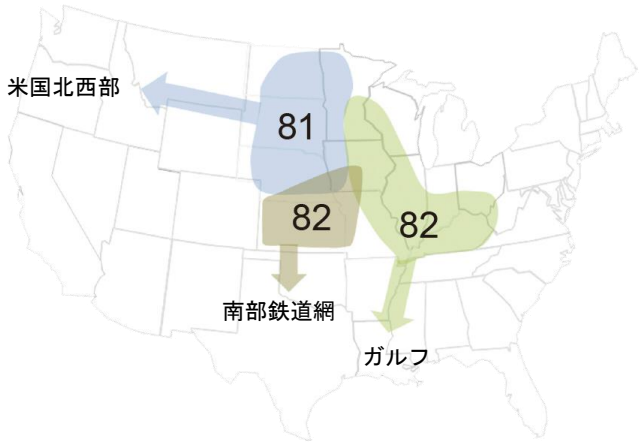


結果

- 2020 年の米国集計硬胚乳率の平均（81%）は 2019 年および 2018 と同じであるが、5YA（80%）と 10YA（82%）の間にあった。
- 2020 年の米国集計の硬胚乳率の標準偏差は 4%で、2019 年、2018 年および 5YA（いずれも 3%）をわずかに上回っている。
- 2020 年の硬胚乳率のばらつき幅（72～92%）は 2019 年（71～96%）および 2018 年（72～92%）とほぼ同じである。
- 2020 年のサンプル中、硬胚乳率が 80%を超えるものは 65.0%で、2019 年（63.3%）および 2018 年（59.5%）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 の硬胚乳率平均値は、それぞれ 82%、81%、82%となっている。2020 年、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 で最も高いか同率 1 位である。

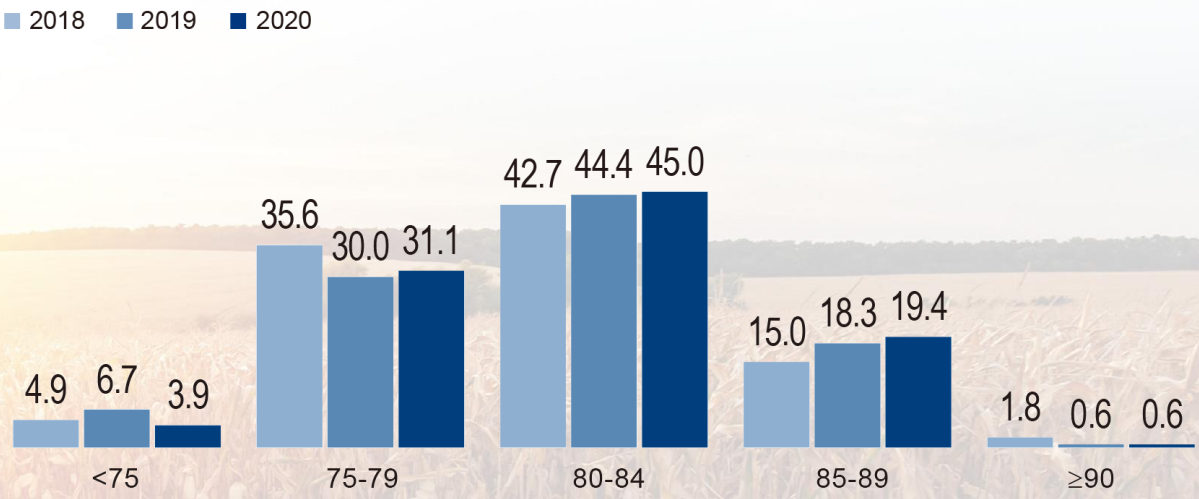
硬胚乳（%）

2020 年輸出拠点地域別平均



硬胚乳（%）

収穫年別サンプル割合



まとめ：物理的ファクター

	2020収穫					2019収穫		2018収穫		5年平均（2015～2019）		10年平均（2011～2020）	
	サンプル数[1]	平均	標準偏差	最小	最大	平均	標準偏差	平均	標準偏差	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**		**米国集計**	
ストレスクラック（%）	601	6	5	0	80	9*	7	5*	6	5	6	6	6
百粒重（g）	180	34.53	3.64	22.32	43.18	34.60	2.48	35.07	2.84	35.06	2.54	34.49	2.75
穀粒容積（cm^3）	180	0.27	0.03	0.19	0.33	0.28	0.02	0.28	0.02	0.28	0.02	0.27	0.02
真の密度（g/cm^3）	180	1.255	0.023	1.171	1.312	1.247*	0.021	1.265*	0.018	1.257	0.018	1.260	0.019
完全粒（%）	601	92.5	3.9	35.8	99.6	90.8*	4.2	93.0*	3.0	92.8	3.4	93.0	3.6
硬胚乳（%）	180	81	4	72	92	81	3	81	3	80	3	82	4
ガルフ						**ガルフ**		**ガルフ**		**ガルフ**		**ガルフ**	
ストレスクラック（%）	549	7	6	0	80	10*	9	4*	5	5	7	6	7
百粒重（g）	160	35.56	3.31	23.47	43.18	35.39	2.60	35.74	2.86	35.65	2.58	35.12	2.74
穀粒容積（cm^3）	160	0.28	0.02	0.19	0.33	0.28	0.02	0.28	0.02	0.28	0.02	0.28	0.02
真の密度（g/cm^3）	160	1.259	0.024	1.171	1.312	1.252*	0.019	1.266*	0.017	1.259	0.018	1.262	0.019
完全粒（%）	549	92.2	4.2	35.8	99.6	91.5*	3.8	93.1*	3.0	92.9	3.4	93.1	3.6
硬胚乳（%）	160	82	4	72	92	81	3	81*	3	80	4	82	4
米国北西部						**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（%）	293	5	4	0	52	9*	7	7*	8	6	7	6	6
百粒重（g）	89	33.01	3.37	22.32	39.71	32.73	2.19	32.97	2.67	33.23	2.41	32.57	2.58
穀粒容積（cm^3）	89	0.26	0.03	0.19	0.32	0.27	0.02	0.26	0.02	0.27	0.02	0.26	0.02
真の密度（g/cm^3）	89	1.247	0.022	1.171	1.285	1.229*	0.025	1.257*	0.018	1.247	0.019	1.250	0.020
完全粒（%）	293	92.9	3.9	59.0	99.6	88.9*	5.2	92.9	3.1	92.3	3.7	92.7	3.7
硬胚乳（%）	89	81	4	72	89	80*	3	81	3	80	3	81	4
南部鉄道網						**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（%）	319	5	4	0	69	6*	5	3*	4	4	4	4	4
百粒重（g）	92	33.95	3.32	23.47	41.09	35.16*	2.54	35.59*	2.98	35.55	2.63	34.77	2.80
穀粒容積（cm^3）	92	0.27	0.02	0.19	0.33	0.28*	0.02	0.28*	0.02	0.28	0.02	0.27	0.02
真の密度（g/cm^3）	92	1.258	0.021	1.171	1.305	1.262	0.018	1.274*	0.019	1.263	0.018	1.265	0.018
完全粒（%）	319	92.7	3.5	35.8	98.8	91.7*	3.8	92.8	2.7	92.9	3.2	93.2	3.3
硬胚乳（%）	92	82	4	72	88	82	3	82	3	81	3	82	4

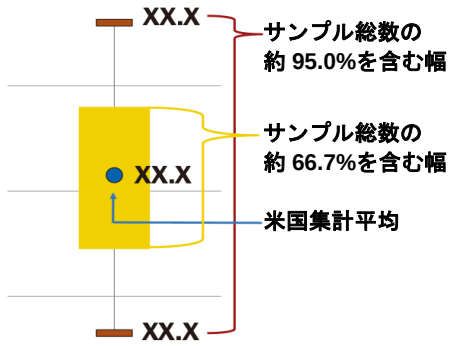
**は有意水準 95.0% で実施した両側 t 検定に基づき、平均値が 2020 年との間で有意な差を示していることを意味する。*

[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。*

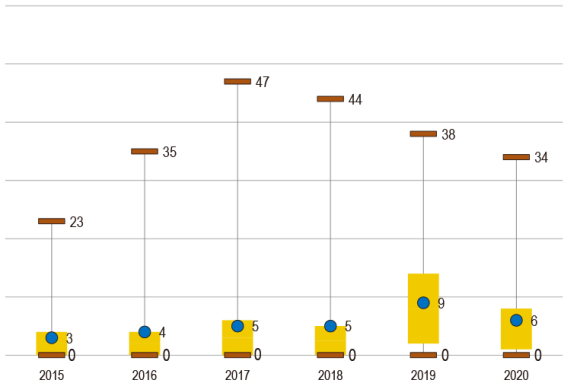
U.S. GRAINS COUNCIL

物理的ファクター
6 年集計比較

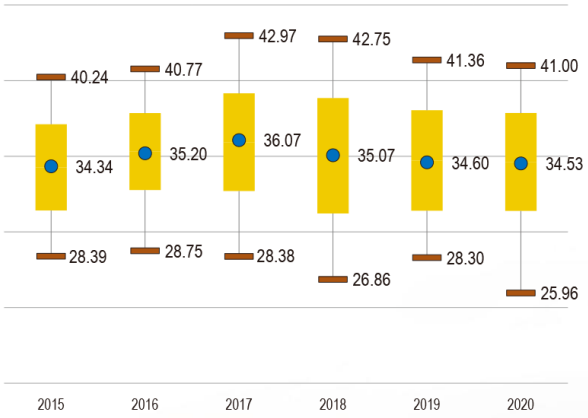
チャートの見方



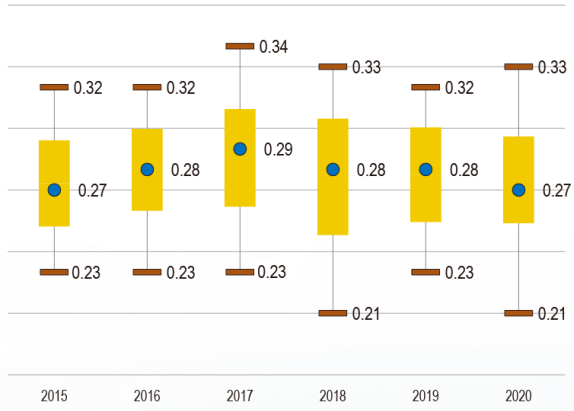
ストレスクラック（%）



百粒重（g）

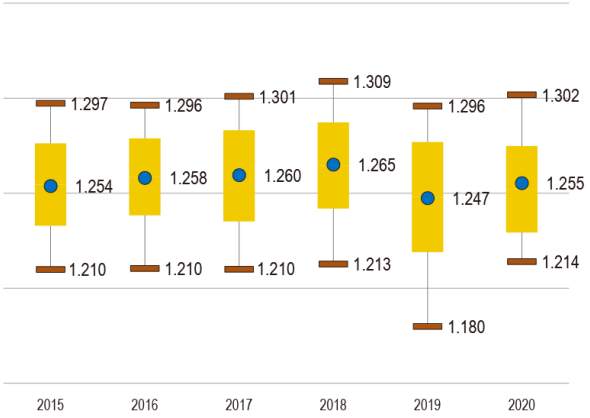


穀粒容積（cm^3）

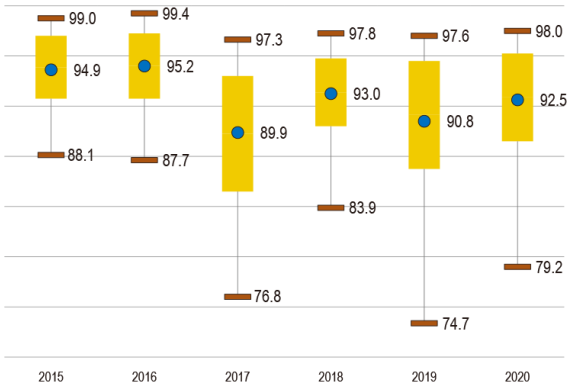


物理的ファクター
6 年集計比較

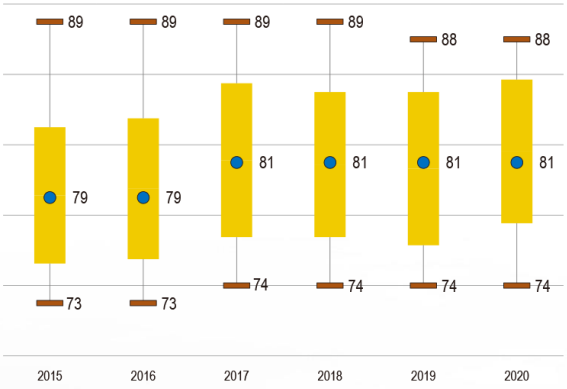
真の密度（g/cm^3）



完全粒（%）



硬胚乳（%）



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。

10 年間の「収穫時報告書」のすべてにおいて、収穫時サンプルのサブセットにアフラトキシンおよびデオキシニバレノールの試験を実施しました。「2019/2020 年収穫時報告書」から、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ました。「2020/2021 年収穫時報告書」では、調査サンプルに対するアフラトキシン、デオキシニバレノールおよびフモニシン試験に加えて、収穫時サンプルに対するオクラトキシン A、T-2 およびゼアラレノン試験も実施されました。追加されたこれら 3 種のマイコトキシンの試験は暫定的なもので、毎年実施される 3 種のマイコトキシン（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）の試験結果から得られる情報を補足することを目的としています。

年度ごとに、トウモロコシの栽培や保管の環境条件によって、特定のマイコトキシンの産生がヒトや家畜によるトウモロコシの消費に影響を及ぼすレベルまで上昇する年としない年があります。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とフモニシンには勧告レベルを設定しています。

規制レベルでは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。規制レベルはシグナルで、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るべきデータが存在することを示します。輸入品または国産の飼料サプリメントを正当な方法で分析し、適用される規制レベルを上回っていることが明らかになった場合には、粗悪品とみなされ、FDA によって押収されたり、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。

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マイコトキシンが検出された事例を報告することに限定され、輸出される米国産トウモロコシに存在する可能性のあるマイコトキシンのレベルを予測することではありません。米国穀物物流経路には複数の段階があり、業界に適用される法律や規制が存在するため、輸出トウモロコシのマイコトキシンレベルは、収穫時の当初のマイコトキシンレベルを下回る場合があります。「収穫時報告書」の結果は、収穫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。「2020/2021 年トウモロコシ輸出貨物品質報告書」は輸出時点でのトウモロコシの品質を報告するもので、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になります。

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されていますが、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 180 となりました。この調査に用いた試験方法の詳細は「試験分析法」のセクションに記載されています。

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物内部へと侵入していきます。干ばつ条件下ではトウモロコシの毛から個々の穀粒へと進行してくこともあります。

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）。

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、アフラトキシン含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ることを認めていません。

アフラトキシン規制レベル	基準
20.0 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
100.0 ppb	繁殖用の肉牛、繁殖用の豚、成長後の家禽類
200.0 ppb	100ポンド以上の仕上げ豚
300.0 ppb	仕上げ肉牛（飼養場等）

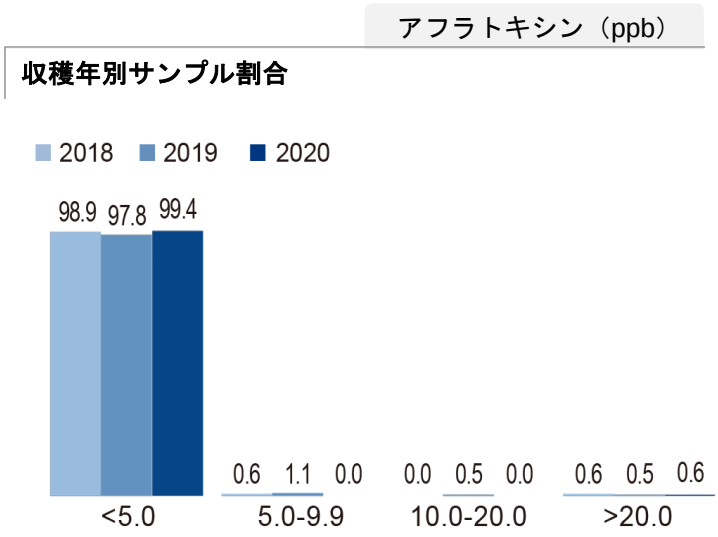
出典：www.ngfa.org

詳細情報については、米国穀物飼料協会のガイダンス文書「FDA Mycotoxin Regulatory Guidance」（https://drive.google.com/file/d/1tqeS5_eOtsRmxZ5RrTnYu7NCIr896KGX/view）を参照してください。

米国から輸出されるトウモロコシについては、契約によりこの要件が免除される場合を除き、連邦法に従ったアフラトキシン試験を FGIS で実施しなければなりません。FDA の規制レベルである 20.0 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。

結果

2020 年は、アフラトキシン試験用として合計 180 のサンプルを分析しましたが、これに対し 2019 年および 2018 年のアフラトキシン試験サンプル数はそれぞれ 182 と 181 でした。2020 年の調査結果は以下のとおりです。



- 180 のサンプル中 179 サンプル、すなわち 99.4%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 5.0 ppb 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 2019 年（97.8%）と 2018 年（98.9%）のサンプルの割合をわずかに上回る。
- 180 サンプル中ゼロサンプル、すなわち 0.0%は、アフラトキシンのレベルが 5.0 ppb 以上かつ 10.0 ppb 未満である。この割合は 2019 年（1.1%）と 2018 年（0.6%）とほぼ同じである。
- 180 サンプル中、アフラトキシンのレベルが 10.0 ppb 以上かつ FDA の規制レベルである 20.0 ppb 以下のサンプルはゼロ、すなわち 0%である。この割合は 2019 年（0.5%）と 2018 年（0.0%）とほぼ同じである。
- 180 サンプル中 1 サンプル、すなわち 0.6%は、アフラトキシンのレベルが FDA の規制レベルである 20.0 ppb を上回る。この割合は 2019 年（0.5%）と 2018 年（0.6%）とほぼ同じである。
- こうした 2020 年の試験結果は、180 サンプルのうち 179、すなわち 99.4%が FDA の規制レベルである 20.0 ppb 以下であることを示しており、これに対し 2019 年は試験サンプルの 99.4%および 2018 年は 99.5%である。

今年度の FGIS 低準拠レベルの 5.0 ppb を下回るサンプルの割合（99.4%）が比較的高いのは、ひとつに 2020 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（2020 年の生育条件の詳しい情報については、「作柄と気象条件」のセクションを参照してください）。

デオキシニバレノール（DON またはボミトキシン）

デオキシニバレノール（DON）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（Gibberella 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やすくなります。菌はトウモロコシの毛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るためです。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、そうなると様々な感染病にかかりやすくなります。

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。

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。

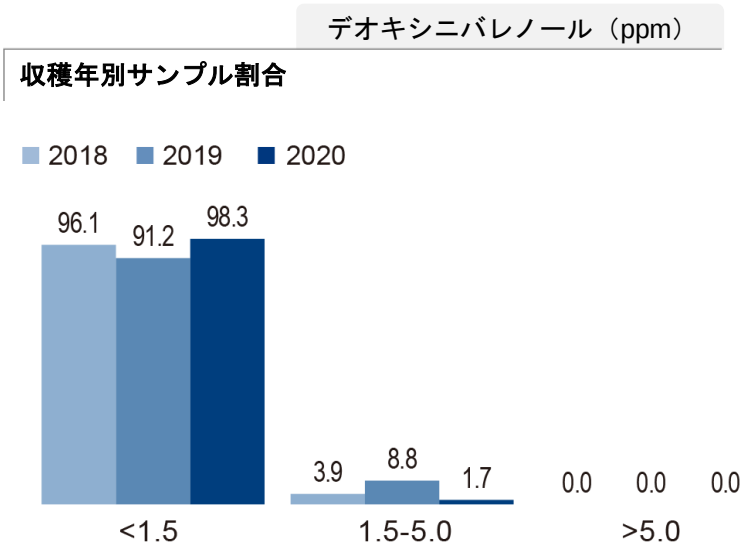
デオキシニバレノール勧告レベル	基準
5.0 ppm	豚については飼料の20%を超えてはならない。
5.0 ppm	記載のない他の動物すべてについては飼料の40%を超えてはならない。
10.0 ppm	鶏については飼料の50%を超えてはならない。
10.0 ppm	月齢4か月を超え、反芻を開始した肉牛および乳牛

出典：www.ngfa.org

詳細情報については、米国穀物飼料協会のガイダンス文書「FDA Mycotoxin Regulatory Guidance」（https://drive.google.com/file/d/1tqeS5_eOtsRmxZ5RrTnYu7NCIr896KGX/view）を参照してください。

結果

2020 年のデオキシニバレノールについては、合計 180 サンプルをまとめて分析しました。これに対し 2019 年および 2018 年のデオキシニバレノール試験サンプル数はそれぞれ 182 と 181 でした。2020 年の調査結果は以下のとおりです。



- 試験対象の 180 サンプル中 177 サンプル、すなわち 98.3%が 1.5 ppm を下回っている。2020 年のこの割合は 2019 年（91.2%）を上回り、試験対象サンプルの 96.1%が 1.5 ppm を下回った 2018 年も上回っている。
- 試験対象の 180 サンプル中 3 サンプル、すなわち 1.7%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。2020 年のこの割合は 2019 年（8.8%）および 2018 年（3.9%）を下回っている。
- 試験対象の 180 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 2019 年および 2018 年と同じである。

2020 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 年の割合を上回っていますが、これは、2020 年の例年以上に乾燥していた気象条件に起因し、このためデオキシニバレノールが発生しにくくなったと考えられています。

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含量が関係しています。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。

フモニシン勧告レベル	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。

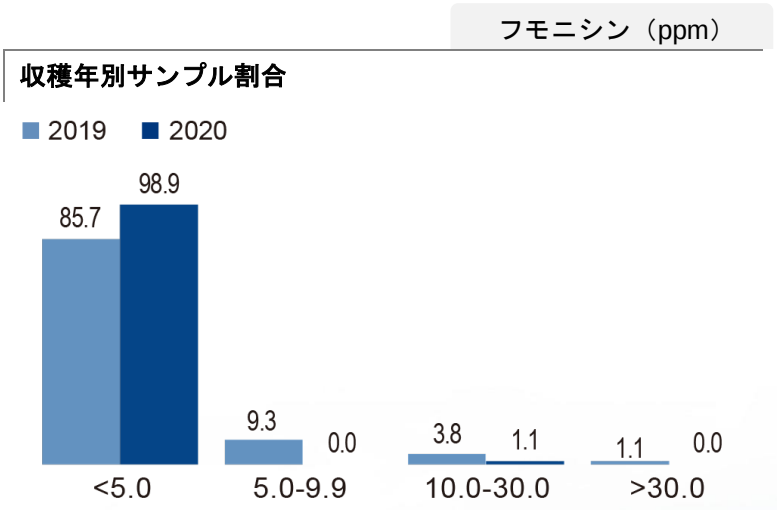
出典：www.ngfa.org

詳細情報については、米国穀物飼料協会のガイダンス文書「FDA Mycotoxin Regulatory Guidance」（https://drive.google.com/file/d/1tqeS5_eOtsRmxZ5RrTnYu7NCIr896KGX/view）を参照してください。

結果

2020 年は合計 180 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 2 回目です。2020 年の試験結果は以下のとおりです。

- 試験対象 180 サンプル中 178 サンプル、すなわち 98.9%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 5.0 ppm を下回っている。2020 年のこの割合は 2019 年（85.7%）を上回っている。
- 試験対象 180 サンプル中ゼロ、すなわち 0.0%が 5.0 ppm 以上 10.0 ppm 未満である。2020 年のこの割合は 2019 年（9.3%）を下回っている。
- 試験対象 180 サンプル中 2 サンプル、すなわち 1.1%が 10.0 ppm 以上 30.0 ppm 未満である。2020 年のこの割合は 2019 年（3.8%）を下回っている。
- 試験対象 180 サンプル中ゼロ、すなわち 0.0%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。2020 年のこの割合は 2019 年（1.1%）を下回っている。



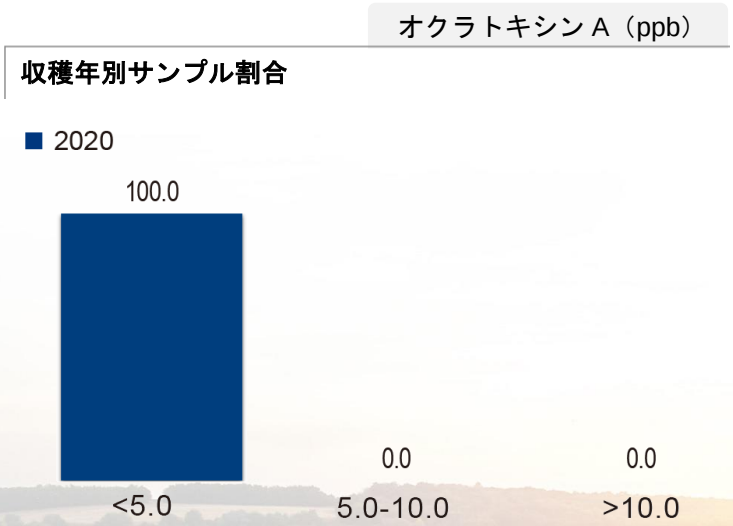
オクラトキシン A

オクラトキシンは、ペニシリウム・ベルコーサム（*Penicillium verrucosum*）やアスペルギルス・オクラセウス（*Aspergillus ochraceus*）など、穀物、シリアルやその他の様々な食品にコロニーを形成できる多くの菌種から産生される危険なマイコトキシンと考えられています。これらの食品の中で、穀物とシリアルが摂取されるオクラトキシンの 50～80%を占めると考えられています。菌類はオクラトキシン A、B および C を産生できますが、オクラトキシン A が最も大量に産生されます。オクラトキシン A は圃場から保管に至る製造経路のどこでも発生しますが、主に保管問題と考えられています。高水分含量・多湿（14%超）、暖かさ（20°C 超）、および／または乾燥が不適切であった状況下で保管した穀物は、菌類に汚染されてオクラトキシンを産生する可能性があります。さらに、機械的、物理的な方法または害虫による損傷を受けた穀物は、菌類の侵入口になることがあります。菌類が穀物で最初に増殖すると代謝により十分な水分を形成でき、さらなる増殖とマイコトキシンの形成が可能になります。穀物とシリアル食品は人間の食べ物の大きな割合を占めるため、いくつかの国では未加工シリアル内のオクラトキシン A の最大レベルを設定しています。欧州委員会は、未加工シリアル内のオクラトキシン A の最大レベルを 5.0 ppb に設定しました。FDA はオクラトキシン A に対する勧告レベルを設定していません。

結果

本年は、調査サンプルでオクラトキシン A の試験を行った最初の年になります。2020 年にオクラトキシン A について行った 180 サンプルの分析結果は次のとおりです。

- 試験したサンプル中 180 サンプル、すなわち 100.0%が、欧州委員会が設定したオクラトキシン A の最大レベルである 5.0 ppb を下回っている。
- 試験したサンプル中、5.0 ppb 以上であるものの、10.0 ppb は上回っていないものはゼロ、すなわち 0.0%である。
- 試験したサンプル中 10.0 ppb を上回っているものはゼロ、すなわち 0.0%である。



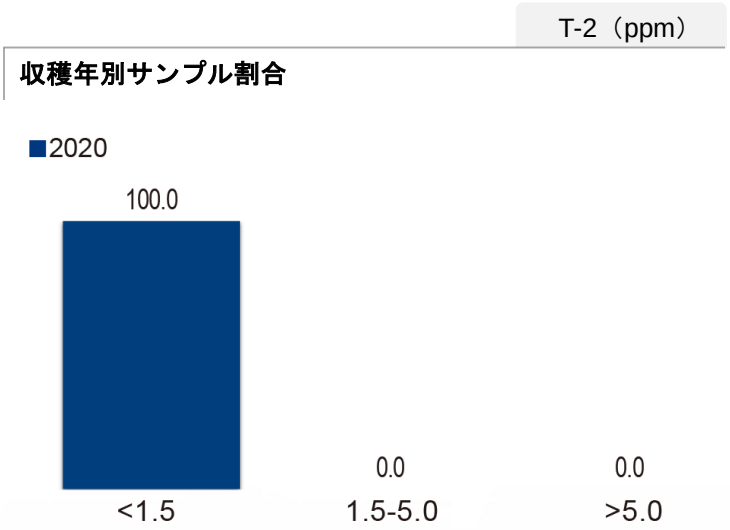
T-2

T-2 は、トリコテシンと呼ばれるマイコトキシン類に属するいくつかのマイコトキシン（デオキシニバレノール（DON）を含む）のひとつです。T-2 トキシンは、様々なフサリウム属の菌類によって生育中の穀物粒に産生します。この菌類は、広い温度範囲（-2～35°C）と 0.88 を超える水分活性でのみ増殖できます。その結果、T-2 は収穫時の穀物には通常見られず、収穫後（特に冬季に）圃場に放置されて水害を被った穀物に見られます。一方、保管中に穀物が水害を被った場合は保管中に生じることがあります。FDA は T-2 トキシンに対する勧告レベルを設定していません。

結果

本年は、調査サンプルで T-2 の試験を行った最初の年になります。2020 年に T-2 について行った 180 サンプルの分析結果は次のとおりです。

- 試験したサンプル中 180 サンプル、すなわち 100.0%が 1.5 ppm を下回っている。
- 試験したサンプル中、1.5 ppm 以上であるものの、5.0 ppm は上回っていないものはゼロ、すなわち 0.0%である。
- 試験したサンプル中、5.0 ppm を上回っているものはゼロ、すなわち 0.0%である。



ゼアラレノン

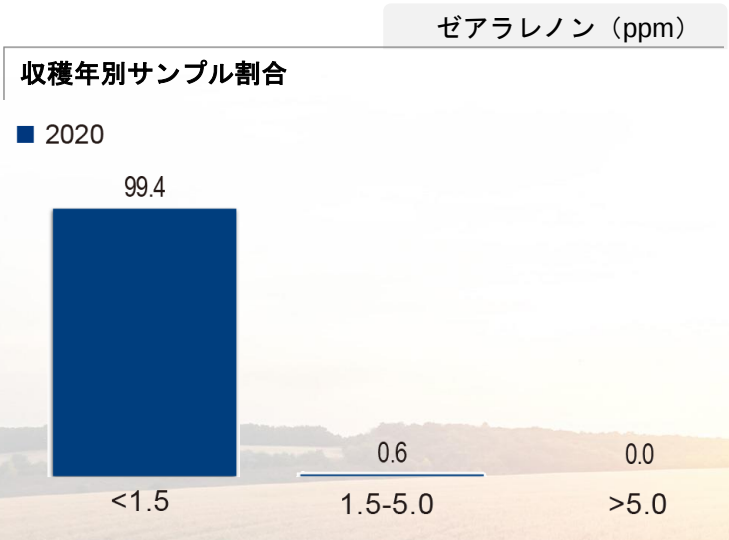
ゼアラレノンは、いくつかの例外を除く多くの点でデオキシニバレノール（DON）に非常に類似したマイコトキシンです。いずれもフザリウム属の菌類から産生されます。したがって、穀物と穀物製品内から両方のマイコトキシンが同時に見つかるのは珍しくありません。ゼアラレノンとデオキシニバレノールの産生に対する生育条件は非常に類似しており、最適温度範囲は 65～85°F です。生育中の温度低下もまた、菌類によるトキシンの産生を刺激します。菌類がゼアラレノンを産生するのに必要な水分含量は 20%以上であり、この値もデオキシニバレノールの産生に必要な値と同程度です。一方、生育中に水分含量が 15%未満に低下するとトキシンの産生が停止します。これは、保管中のトウモロコシの水分含量レベルを 15%未満まで乾燥させることが推奨される理由のひとつになっています。0.1～5.0 ppm という低いレベルでも豚に生殖問題が発生することが示されているため、汚染の可能性がある穀物を豚に与える場合は十分な注意が必要です。FDA はゼアラレノンに対する勧告レベルを設定していませんが、デオキシニバレノールに対する懸念レベルを守ることは推奨しています。

その他のマイコトキシンと同様に、対象サンプル（600）の少なくとも 25%を試験してオクラトキシン A、T-2 およびゼアラレノンに対する本年の生育条件の影響を評価しました。サンプリング基準と用いた試験方法は、それぞれ「調査および統計分析の方法」および「試験分析法」のセクションに記載されています。

結果

本年は、調査サンプルでゼアラレノンの試験を行った最初の年になります。2020 年にゼアラレノンについて行った 180 サンプルの分析結果は次のとおりです。

- 試験したサンプル中 179 サンプル、すなわち 99.4%が 1.5 ppm 未満である。
- 試験したサンプル中 1 サンプル、すなわち 0.6%が 1.5 ppm 以上であるものの、5.0 ppm は上回っていない。
- 試験したサンプル中、5.0 ppm を上回っているものはゼロ、すなわち 0.0%である。

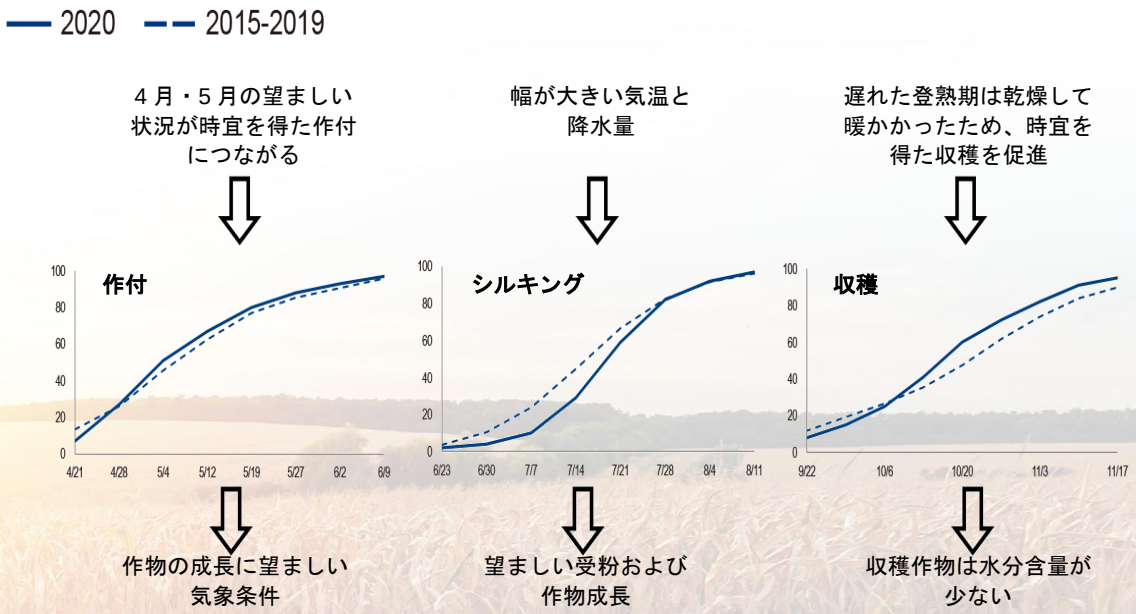


A. 2020 年収穫ハイライト

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になります。全体的に 2020 年は平均的な栄養成長期（発芽から受粉までの育成期間）が続き、窒素肥料の欠乏が少なく、受粉期間に手助けとなる降雨があり、低温の登熟期間と素早いドライダウン、収穫を迎えました。今年度のトウモロコシの作付日は平年よりやや早まり、乾燥した生育シーズンになり、「良い」から「とても良い」の作柄[1]となったトウモロコシは生育期間を通して 5YA に近くなりました。天候条件により作物の容積重、硬胚乳およびタンパク質含量の平均値は 5YA を上回る一方、水分含量は 5YA を下回りました。下記に 2020 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。

- 低温であるが乾燥した条件によって作付期間が早まり、5YA より最大 1 週間早くなり、その後非常に温暖で乾燥した栄養成長期が続いた。
- 受粉（シルキング期）は 5YA とほぼ同じ時期に訪れ、7 月の恵みの降雨によってトウモロコシの毛が現れ、後でタンパク質を蓄積するための窒素肥料が蓄積された。
- 穀粒の成長初期である 8 月は米国コーンベルト中部から南部のほとんどの地域で低温乾燥となり、タンパク質の蓄積が促進されたが、北部ガルフ ECA と米国北西部 ECA は暖かく湿っていた。
- 登熟期の後半は、地域全体で平均～低めの気温であった。中央ガルフ ECA は湿っていた一方、その他の地域は乾燥していたため容積重の増加に恵まれた。
- トウモロコシが早めに成熟したために圃場がさらに乾燥し、ストレスクラックの減少に好ましい乾燥した穀物収穫を促した。

生育条件と作物成長への影響



[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が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

低温で乾燥した4 月の後、湿った5 月と暑い6 月が続いた

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け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 エーカー当たりの植物体数、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。

2020 年を総括すると、トウモロコシの作付は 5YA より 1 週間程度早まりましたが、低温気象により初期作付圃場では 5YA に近い発芽になりました。5 月も低温状況が続いて生育がわずかに遅れたものの、5 月にコーンベルトの多くの地域で時宜を得た雨が降るまで植物体へのストレスが減り、良好な早期栄養成長を助長しました。6 月にはいくらか暖かい気温となりました。

米国北西部 ECA では、湿った土壌と昨年から未収穫であった作物が残る北端（ノースダコタ）を除き、作付が 5YA より早まりました。北部にかけて暑く乾燥した状況で栄養成長が続きましたが、地域南部では 5 月に平均を超える降雨があったため、高温によるストレスが和らげられました。

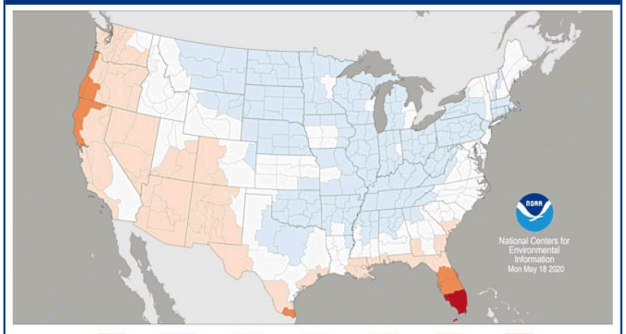
ガルフ ECA では 4 月と 5 月が低温で、平年を上回る降雨によって良好な栄養成長が助長されました。6 月は中緯度帯にわたる乾燥帯を除いて平年より暖かく、雨もよく降りました。

南部鉄道網 ECA は平年を上回る降雨があり、良い作付が行われました。6 月の栄養成長期に暑さが襲った際は、余るほどの土壌水分が供給されて植物のストレスが抑えられました。

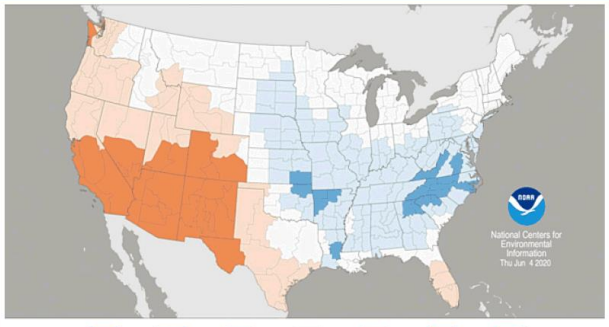
U.S. GRAINS COUNCIL

地域別平均気温レベル
（期間：1895～2020）

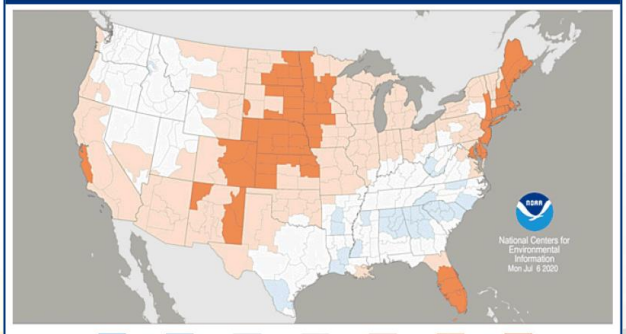
2020 年 4 月



2020 年 5 月



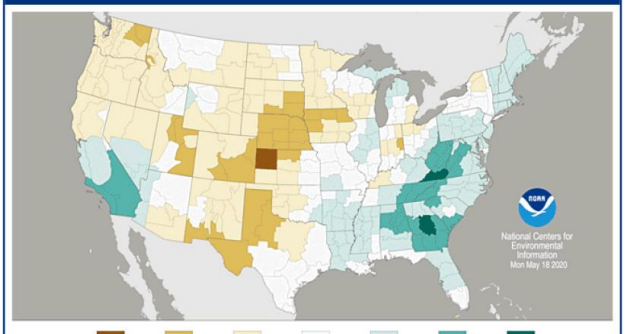
2020 年 6 月



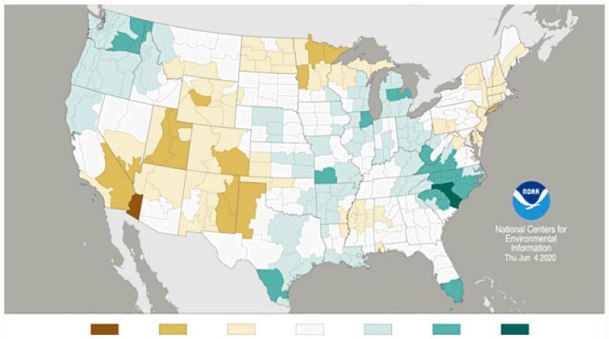
出典：NOAA／地域気候センター

地域別降雨量レベル
（期間：1895～2020）

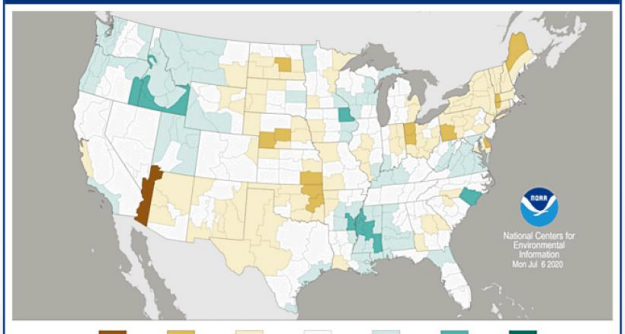
2020 年 4 月



2020 年 5 月



2020 年 6 月



出典：NOAA／地域気候センター

C. 受粉および登熟の状況

容積重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、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。

マイコトキシンの発生に関して、アフラトキシンの産生は、開花時期とそれに続く高温多湿期間中の熱ストレス、少雨および干ばつ状況によって誘発されます。デオキシニバレノールの産生は収穫の遅れや高水分含量のトウモロコシの保管に関連付けられますが、デオキシニバレノールを産生する真菌感染は、トウモロコシの穂の毛を通した感染による受粉後 3 週間以内に生じた低温（26～28°C）や湿った状況によって促進されます。

2020 年を総括すると、受粉前はトウモロコシの生育地域全体で気温が高く概ね乾燥していました。暖かく湿った気象は受粉に役立ちましたが、登熟期間中はほとんど低温で乾燥した状況でした。このような気象条件により、アフラトキシンやデオキシニバレノールの発生は促進されませんでした。トウモロコシは受粉期間中に豊富な水分を蓄えていましたが、暖かい気温と短期間の降雨によってデオキシニバレノールを発生させる感染が予防されたようです。

米国北西部 ECA での受粉は、気温が残りの登熟期間中に下がる前に、平年を上回る雨が降って暖かかった 7 月に始まりました。暖かく乾燥した登熟期間の条件が容積重と穀粒のタンパク質に有利に働きました。

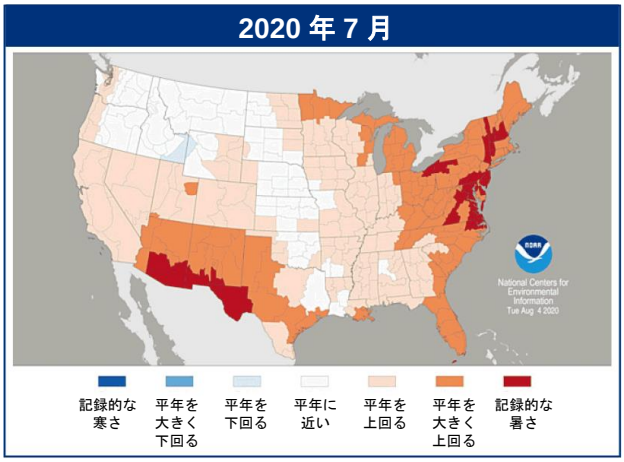
ガルフ ECA は 7 月の受粉期間中に比較的暑く湿っていて、8 月の登熟初期には中央地域が涼しく乾燥していました。9 月は平年並みから涼しい気温になり、周辺部では干ばつが起き、ECA 中心部は過剰な降雨に見舞われました。

南部鉄道網 ECA では雨がよく降って受粉に適した気温になりました。その後、8 月と 9 月は涼しく乾燥した理想的な登熟条件になりました。南部鉄道網 ECA の生育条件は、容積重とタンパク質含量に有利なものになりました。

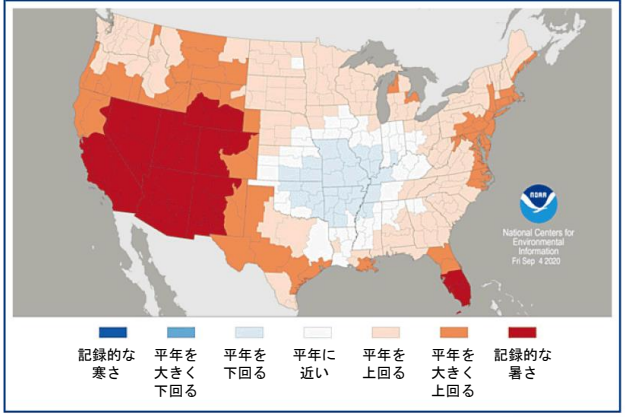
U.S. GRAINS COUNCIL

地域別平均気温レベル
（期間：1895～2020）

2020 年 7 月



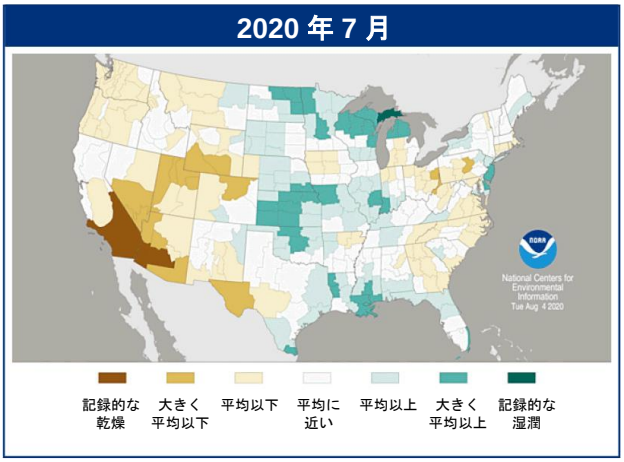
2020 年 8 月



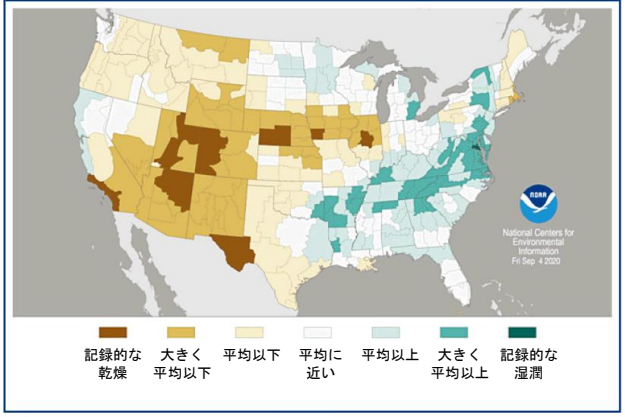
出典：NOAA／地域気候センター

地域別降雨量レベル
（期間：1895～2020）

2020 年 7 月



2020 年 8 月



出典：NOAA／地域気候センター

D. 収穫の状況

早期の乾燥した収穫

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物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含量に左右されます。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ひとつは、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、水分含量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。

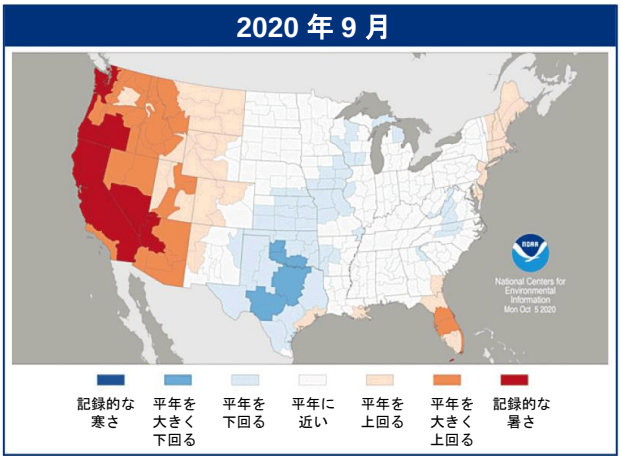
主に米国北西部および南部鉄道網 ECA での 9 月のかなり乾燥して異常なほど寒冷な条件が、5YA のタンパク質蓄積と容積重を上回る早期の成熟と収穫につながりました。10 月の雨天によってガルフ ECA 東側半分の収穫が遅れましたが、トウモロコシは全般に 5YA を上回るペースで収穫されました。今年の水分含量平均値も 5YA を下回りましたが、これはトウモロコシの時宜を得た収穫をもたらした条件を反映しています。

生育期間の終盤は涼しく乾燥していましたが、これがデオキシニバレノール、フモニシン、オクラトキシン A、T-2、ゼアラレノンなどのマイコトキシンの発生を食い止めました。これらの同じ条件がトウモロコシの成熟も促進し、早期の収穫に寄与し、これらのマイコトキシンの発生をさらに防ぎました。

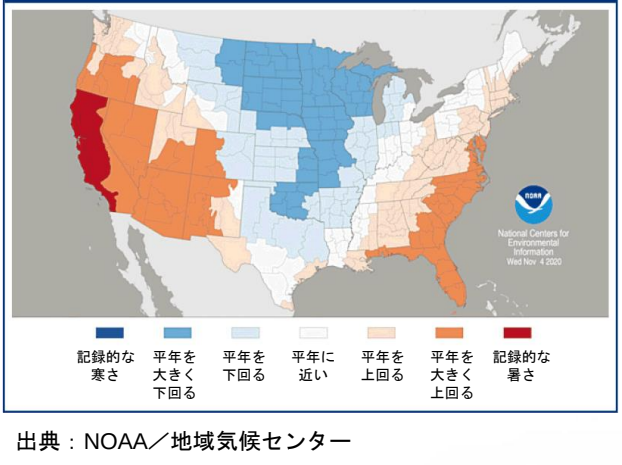
U.S. GRAINS COUNCIL

地域別平均気温レベル
（期間：1895～2020）

2020 年 9 月



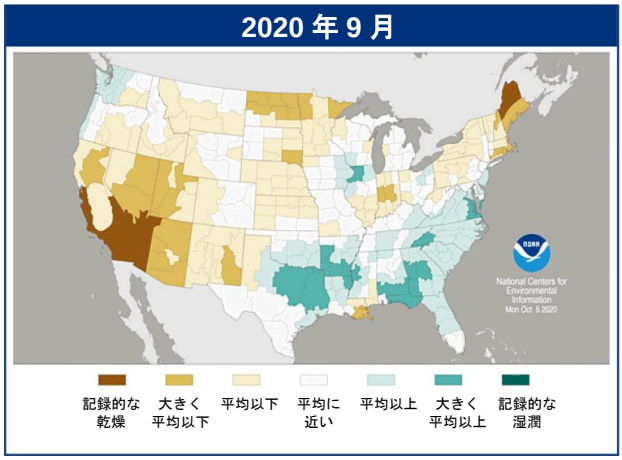
2020 年 10 月



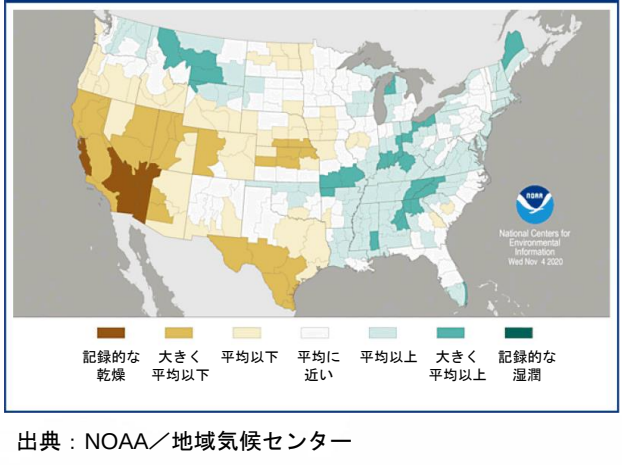
出典：NOAA／地域気候センター

地域別降雨量レベル
（期間：1895～2020）

2020 年 9 月



2020 年 10 月



出典：NOAA／地域気候センター

E. 2019 年、2018 年および 5 年平均と比較した場合の 2020 年

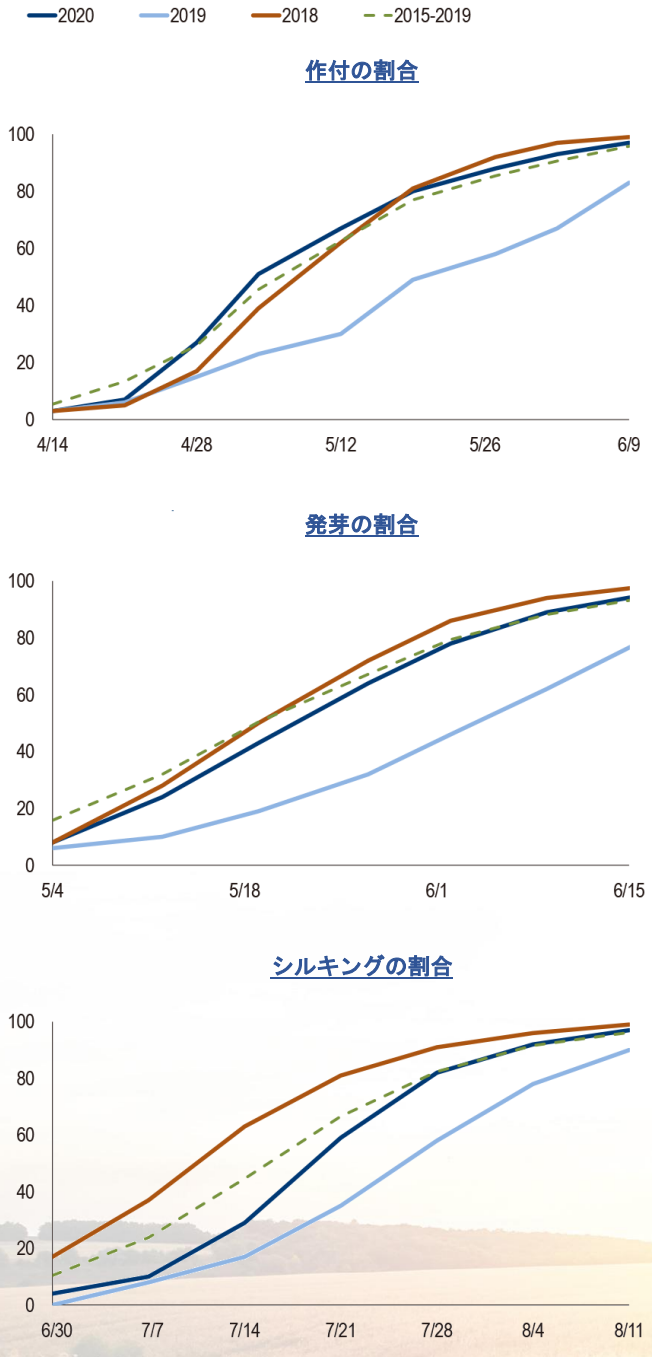
2020 年トウモロコシは適度なストレス下で早く成長

春の涼しく乾燥した気候が、5YA よりも早い 2020 年の作付につながりました。2018 年の作付は、涼しい気候によって 5YA のペースよりもわずかに遅れました。2019 年トウモロコシの作付は、これと対照的に 5 月から 6 月を通して大幅に遅れ、湿った条件によって広い地域で作付が妨げられました。

2020 年と 2018 年のトウモロコシの発芽は 5YA 並みでしたが、2019 年は 5YA よりも 2〜3 週間遅れました。2020 年は低温状況が継続して 5YA よりも栄養成長が遅れた一方、2018 年は温暖な気候によってこの期間が縮まりました。

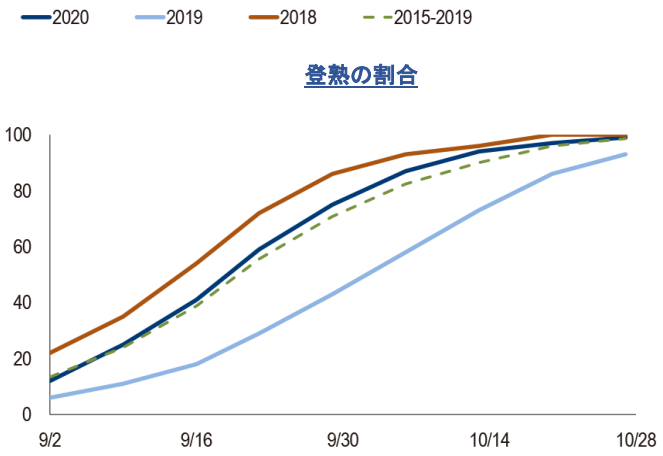
2020 年の受粉では、早期の乾燥を和らげる雨が降りました。2019 年には植物が急に成長したため、5YA からわずか 2 週間の遅れで受粉しました。2018 年のガルフ ECA では降雨が概ね次第に弱まりましたが、これによって最大限の受粉が行われました。

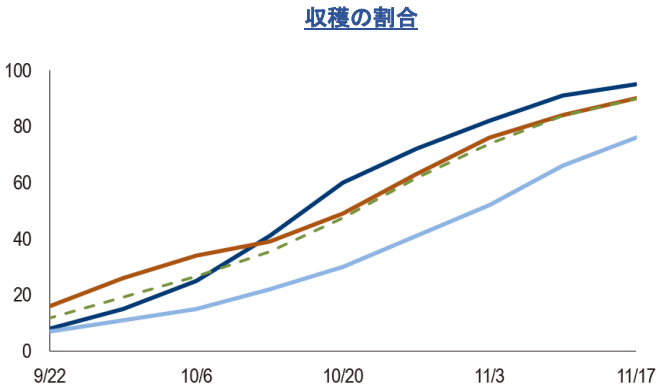
作物の生育



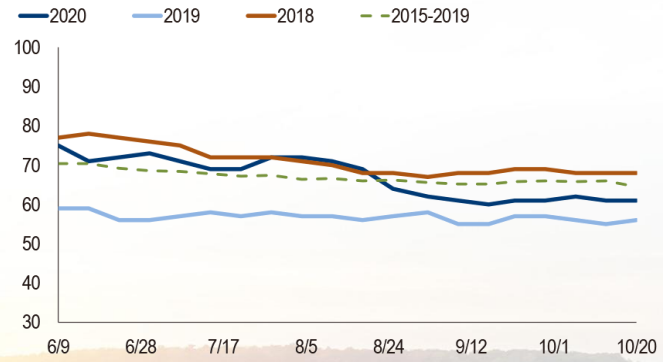
出典：USDA NASS

作物の生育





米国産トウモロコシの作柄
「良い」から「とても良い」の評価の割合



出典：USDA NASS

2019 年は 8 月の低温によって登熟が遅れた一方、記録的な 9 月の暑さで生育が早まることはありませんでした。2018 年の登熟期間は温暖な気候が続いたガルフ ECA で 5YA よりも早くなりましたが、米国北西部 ECA と南部鉄道網 ECA では気温が低かったために穀粒が大きく成長しました。

2020 年の収穫は乾燥した状況によって 5YA を上回るペースでした。2019 年の収穫は、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。

2020 年の生育期間は「良い」から「とても良い」といった高い作柄で始まりましたが[2]、受粉期間中に長引いた乾燥と暑さが作柄を着実に下げる傾向につながりました。2019 年トウモロコシは 5YA に比べて控えめな作柄でしたが、これは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。

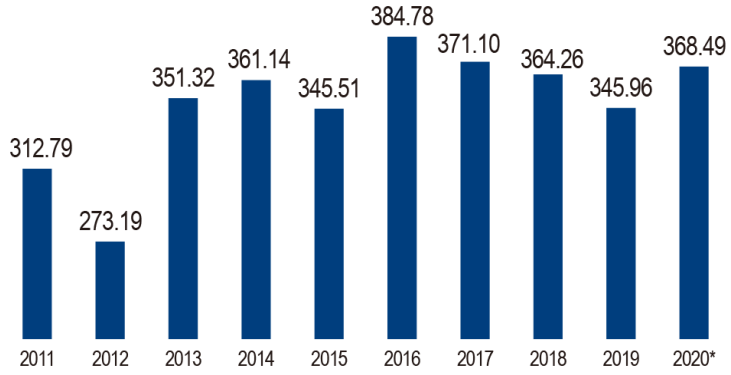
[2] *「良い」の評価は通常の単収が見込まれることを意味する。水分レベルは適切で、病害、虫害および雑草圧力の程度は低い。「とても良い」の評価は単収見込みが通常以上で、作物にストレスがほとんどまたは全くないことを意味する。病害、虫害および雑草圧力はほんのわずかである。*

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

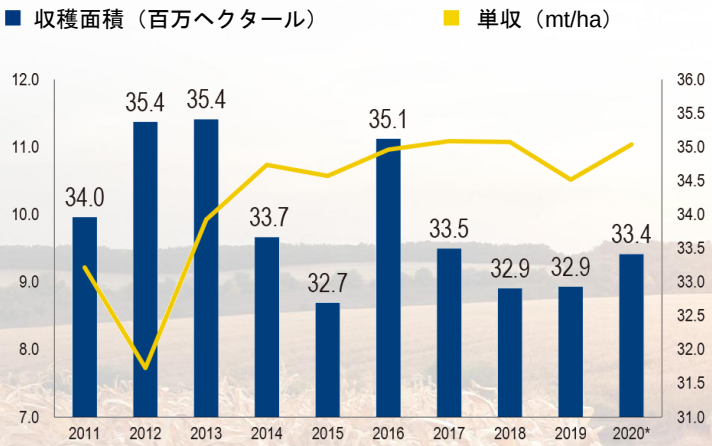
2020 年 11 月に発表された USDA 世界農業需給予測（World Agricultural Supply and Demand Estimates: WASDE）によると、2020 年の米国産トウモロコシの生産量は 3 億 6849 万メートルトン（145 億 700 万ブッシェル）と予測されています。これが正しければ、本年の収穫は 2016 年と 2017 年に続く歴代第 3 位となります。この高い 2020 年の予測生産量は、収穫面積の増加によるものではなく、歴史的な高平均単収に主に起因します。収穫面積をみれば、予測される 3341 万ヘクタール（8250 万エーカー）は 5YA の 3343 万ヘクタール（8260 万エーカー）をわずかに下回っています。しかし、2020 年の平均予測単収である 11.04 mt/ha（175.8 bu/ac）は、米国産トウモロコシの歴代第 3 位の平均単収となります。

米国産トウモロコシの生産量（mmt）



** 予測*
出典：USDA NASS

米国産トウモロコシの単収と収穫面積

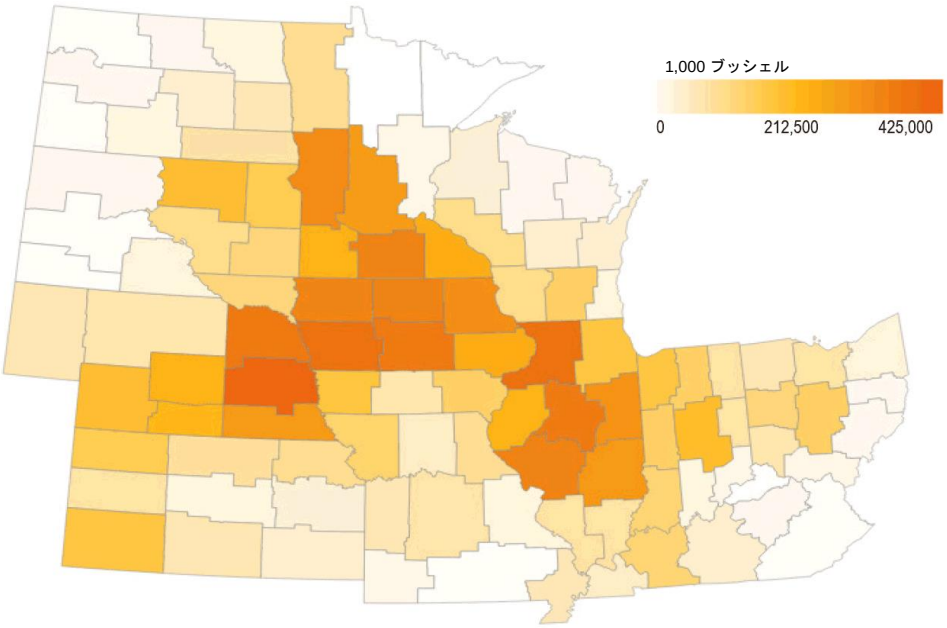


** 予測*
出典：USDA NASS

ASD と州レベルの生産量

「2020/2021 年収穫時報告書」の対象地域には米国最大のトウモロコシ生産地域が含まれています。下の地図は USDA 農業統計地域（ASD）の 2020 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]。

2020 年 ASD 別米国産トウモロコシ生産量予測



出典：USDA NASS および Centrec の予測値

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

州別米国産トウモロコシ生産量の図と表は各州の 2019 年生産量と 2020 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 2020 年予測値を 2019 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。

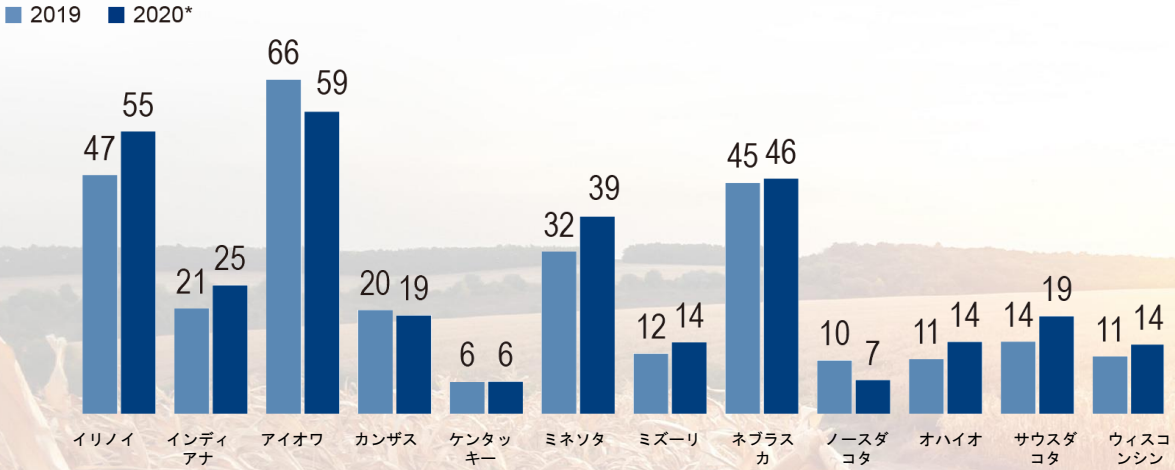
12 の主要トウモロコシ生産州のうち 7 州で、生産量が 2019 年から大幅に（18%超）増加することが予測されています。2019 年の作付の遅れが、主要な州で昨年の生産量が減少する原因となったことに注意することが重要です。それらの州の 2018 年の生産量と比較して、2019 年にはイリノイ州、インディアナ州、オハイオ州、サウスダコタ州およびウィスコンシン州のすべてで 15%を上回る生産量の減少が生じました。これら 5 つの州は、2019 年より生産量が 18%超増加すると予測される 7 つの州に含まれます。ノースダコタ州とアイオワ州のみ、2020 年に前年比 5%超の生産量減少が予測されています。

州別米国産トウモロコシ生産量

州	2019	2020*	差異 MMT	差異 パーセント	相対変化（%）† 面積	相対変化（%）† 単収
イリノイ	46.9	55.5	8.6	18.3%		
インディアナ	20.7	25.2	4.5	21.8%		
アイオワ	65.6	59.4	(6.3)	-9.6%		
カンザス	20.3	19.3	(1.1)	-5.2%		
ケンタッキー	6.2	6.3	0.0	0.5%		
ミネソタ	31.9	38.7	6.9	21.6%		
ミズーリ	11.8	14.0	2.2	18.9%		
ネブラスカ	45.3	46.2	0.8	1.9%		
ノースダコタ	10.4	6.6	(3.8)	-36.7%		
オハイオ	10.7	14.1	3.4	31.5%		
サウスダコタ	14.2	19.1	5.0	35.0%		
ウィスコンシン	11.3	13.6	2.3	20.4%		
米国計	**345.9**	**368.5**	**22.5**	**6.5%**		

† 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

州別米国産トウモロコシ生産量（mmt）



* *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 16/17 から 18/19 の間に国内ガソリン消費量が停滞した後、市場年度 19/20 には新型コロナウイルス感染症の世界的流行中に国内ガソリン消費量が落ち込みました。年々エタノールの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。この国内ガソリン消費量の減少と相まってエタノールの輸出量がわずかに減少したことにより、市場年度 19/20 のエタノール生産用トウモロコシの消費量は市場年度 18/19 より 9.8%減少しました。

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類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。2019 年のトウモロコシの国内消費量は横ばいで、生産量は減少したため、市場年度 19/20 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。

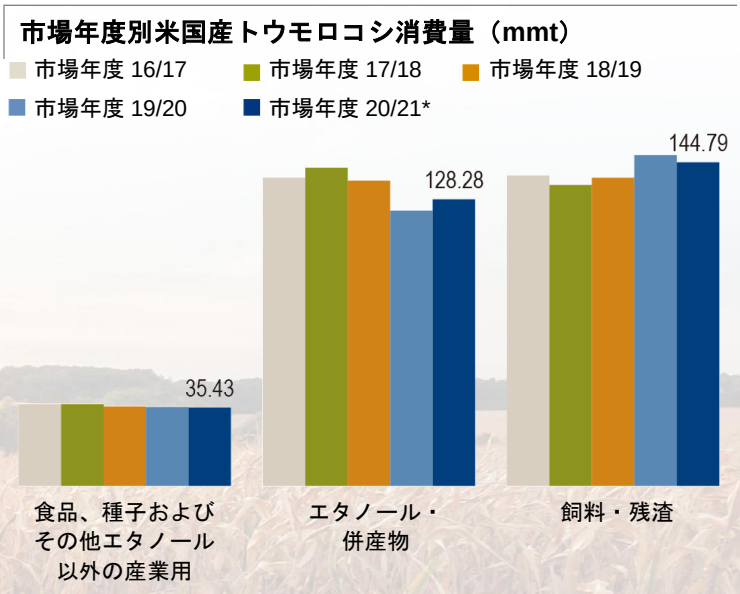
記録的な数値となった 2016 年以降、米国産トウモロコシの最終在庫量は横ばいを続けています。

C. 見通し

米国の見通し

2020 年米国産トウモロコシは、最大の生産量を記録した 2016 年と 2017 年に次ぐものと予測されています。これが正しければ、本年の収穫量によって市場年度 20/21 の国内消費と輸出向けにトウモロコシが豊富に供給され、依然トウモロコシ価格への下方圧力が続くでしょう。

市場年度 20/21 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市場年度 19/20 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。



* *予測*

出典：USDA WASDE および ERS

市場年度 20/21 のエタノール用トウモロコシの予測消費量は市場年度 19/20 をわずかに上回りますが、市場年度 16/17～18/19 を下回ると予測されています。市場年度 19/20 における前年比 9.8%の減少に続き、市場年度 20/21 におけるエタノール用トウモロコシの消費量の増加予測は、国内のガソリン需要が昨年から回復することに依存します。

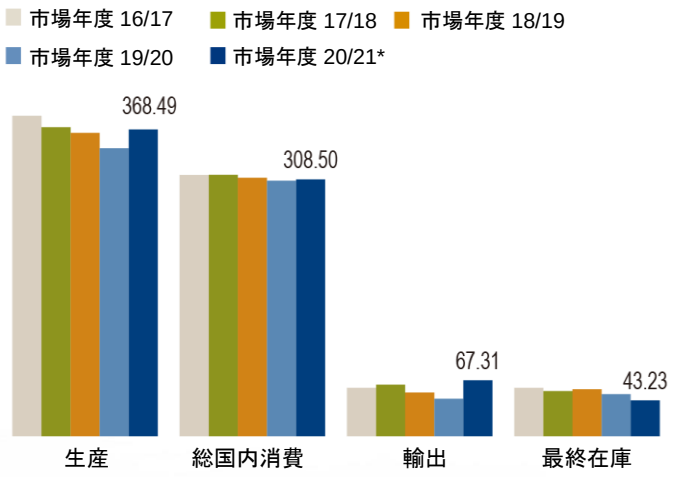
市場年度 20/21 の飼料およびその残滓物用国内トウモロコシ消費量は、市場年度 19/20 を 323 万メートルトン（2.2%）下回ると予測されます。本年の飼料およびその残滓物用国内トウモロコシ予測消費量である 1 億 4479 万メートルトンは、5YA（1 億 3791 万メートルトン）を 688 万メートルトン（5.0%）上回っています。

市場年度 20/21 にはトウモロコシ生産量の増加が見込まれるため、米国産トウモロコシ輸出量の増加が予測されます。米国産トウモロコシ輸出量は市場年度 20/21 に 6731 万メートルトンとなると予測され、これは市場年度 19/20 から 2214 万メートルトン（49.0%）の増加となり、5YA（5322 万メートルトン）を 1409 万メートルトン（26.5%）上回ります。

市場年度 20/21 はトウモロコシ生産量の予測増加量が輸出と総国内消費の予測増加量より少ないため、米国最終在庫も減少すると予測されます。最終在庫は 4323 万メートルトンと予測され、これは昨市場年度を 745 万メートルトン（14.7%）下回り、5YA（5277 万メートルトン）を 953 万メートルトン（18.1%）下回ります。

市場年度 20/21 の対消費在庫率は 11.5%と予測されています。この割合は市場年度 13/14（9.2%）以降最も低い予測対消費在庫率となります。

米国産トウモロコシ生産量および消費量（mmt）



** 予測*
出典：USDA WASDE および ERS

世界の見通し[2]

世界の供給

市場年度 20/21 の世界のトウモロコシ生産量は 11 億 4463 万メートルトンと予測されています。市場年度 19/20 からのこの 2844 万メートルトン（2.5%）の増加は、主に米国生産量の増加によるものです。

加えて、市場年度 20/21 の世界のトウモロコシ輸出量は 1 億 8477 万メートルトンと予測されています。市場年度 19/20 の生産量からのこの 1376 万メートルトン（8.0%）の増加は、米国を除く総輸出量が市場年度 19/20 より 838 万メートルトン（6.7%）減少することから、主に米国の輸出量の増加によるものです。

世界の需要

市場年度 20/21 の世界のトウモロコシ消費量は、市場年度 19/20 の 11 億 3268 万メートルトンから 11 億 5654 万メートルトンに増加し、年間増加率は 2.1%になると予測されています。アルゼンチン、ブラジル、中国、イラン、ロシア、ベトナムおよび米国はすべて、前年度より少なくとも 100 万メートルトン多くのトウモロコシを市場年度 20/21 に消費すると予測されています。一方、主要トウモロコシ消費国・地域の中で、前年度より 40 万メートルトンを超えて消費量が減少するものはないと予測されています。

予測消費量の増加に続き、市場年度 20/21 の世界のトウモロコシ輸入量は前年比 2386 万メートルトン（7.5%）の増加が予測されています。中国、EU、イランおよびベトナムでは、少なくとも前年比 100 万メートルトンの輸入量の増加が見込まれています。中国では、最大の前年比増加（540 万メートルトン）が見込まれています。主要トウモロコシ消費国・地域の中で、前市場年度より 50 万メートルトンを超えて輸入量が減少するものはないと予測されています。

[2] *USDA/Foreign Agricultural Service-Production, Supply and Distribution Database。データは 2020 年 11 月に取得した。*

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）	16/17	17/18	18/19	19/20	20/21*
面積（百万ヘクタール）					
作付	38.06	36.50	35.99	36.32	36.84
収穫	35.12	33.50	32.91	32.93	33.41
単収（トン/ヘクタール）	10.96	11.09	11.07	10.51	11.04
供給量（百万トン）					
期首在庫	44.12	58.25	54.37	56.41	50.68
生産量	384.78	371.10	364.26	345.96	368.49
輸入量	1.45	0.91	0.71	1.06	0.64
総供給量	430.35	430.27	419.34	403.44	419.81
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	36.92	36.88	35.93	35.54	35.43
エタノール・併産物	137.98	142.37	136.61	123.26	128.28
飼料・残渣	138.89	134.73	137.91	148.02	144.79
輸出量	58.31	61.92	52.48	45.17	67.31
総消費量	372.10	375.90	362.93	351.99	375.81
最終在庫	58.25	54.37	56.41	50.68	43.23
平均農家出荷価格（ドル/トン**）	132.28	132.28	142.12	140.15	157.47

英国単位	16/17	17/18	18/19	19/20	20/21*
面積（百万エーカー）					
作付	94.0	90.2	88.9	89.7	91.0
収穫	86.7	82.7	81.3	81.3	82.5
単収（ブッシェル/エーカー）	174.6	176.6	176.4	167.5	175.8
供給量（百万ブッシェル）					
期首在庫	1,737	2,293	2,140	2,221	1,995
生産量	15,148	14,609	14,340	13,620	14,507
輸入量	57	36	28	42	25
総供給量	16,942	16,939	16,509	15,883	16,527
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	1,453	1,452	1,415	1,399	1,395
エタノール・併産物	5,432	5,605	5,378	4,852	5,050
飼料・残渣	5,468	5,304	5,429	5,827	5,700
輸出量	2,296	2,438	2,066	1,778	2,650
総消費量	14,649	14,798	14,288	13,857	14,795
最終在庫	2,293	2,140	2,221	1,995	1,702
平均農家出荷価格（ドル/ブッシェル**）	3.36	3.36	3.61	3.56	4.00

** 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 11 月予測に基づく 20/21 平均農家出荷価格*

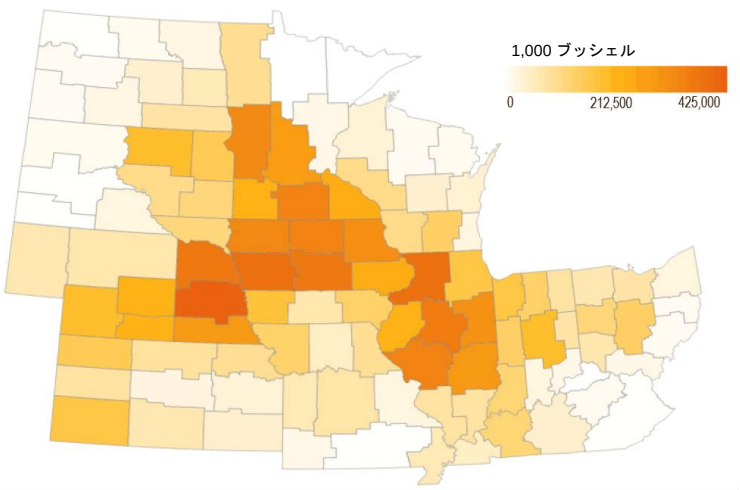
出典：USDA WASDE および ERS

A. 概要

本「2020/2021 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とおりです。

- 過去 9 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 の主要トウモロコシ生産州を対象とし、農業統計地域（ASD）に従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 600 のサンプルを対象として、信頼度 95.0%で最大±10.0%の相対許容誤差（相対 ME）を達成することを目指した。

2020 年 ASD 別米国産トウモロコシ生産量予測



- ブレンドされていない合計 601 のトウモロコシのサンプルを入手し、報告するために試験した。これらのサンプルは、2020 年 9 月 2 日から 11 月 13 日の間に地域のエレベーター業者によって農家から搬入されたトラックのトウモロコシから抜き出した。
- 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、フモニシン、オクラトキシン A、T-2 およびゼアラレノン試験に採用した。
- 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。いずれの品質ファクターについても、相対許容誤差は米国集計の±10.0%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 14.7%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。
- 本年の品質ファクターの平均値と、過去 2 年間の報告書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 95.0%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「2020/2021 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、「2020/2021 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。「2020/2021 年収穫時報告書」のために採用した正確度は相対許容誤差（ME）が±10.0%以内で、信頼度は 95.0%で推算されます。

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（すなわ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。したがって、各品質ファクターについて同じレベルの精度を得ようとすると、異なる数のサンプルが必要となります。

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

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、「2019/2020 年収穫時報告書」からの分散推計値を代用しました。2019 年の 623 サンプルの結果を用いて、13 の品質ファクターについて相対許容誤差が±10.0%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。

2019 年の米国集計でのストレスクラックの相対許容誤差は±10.0%以内でしたが、過去 9 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±10.0%をわずかに上回りました。2020 年報告書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した。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。

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 95.0%のレベルで推定して、相対許容誤差が±10.0%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）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 95.0%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 20.0 ppb 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 5.0 ppm を下回っているのかを相対許容誤差±10.0%で示すことができるということです。フモニシン、オクラトキシン A、T-2 およびゼアラレノンについては、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でした。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。この試験プロトコルは、「2020/2021 年収穫時報告書」における百粒重、穀物容積および真の穀粒密度試験にも適用しました。この品質ファクターの相対許容誤差は過去 9 年の報告書の試験サンプルで 0.6%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。したがって、硬胚乳試験、百粒重試験、穀粒容積および真の穀粒密度試験を実施するサンプル数を減らしても、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。

当初 8 年の「収穫時報告書」では、ストレスクラック比率に加えてストレスクラック指標も報告してストレスクラックの深刻度がわかるようにしていました。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。

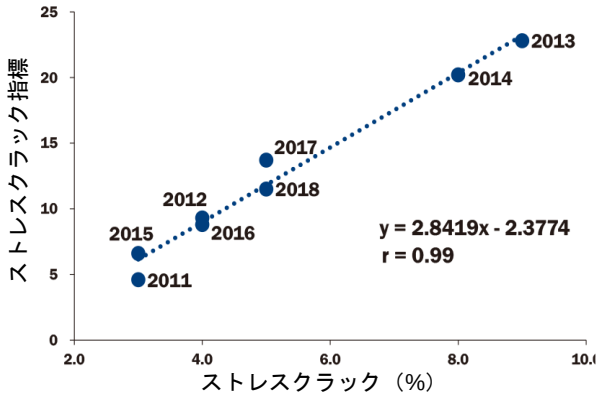
$$[SSC \times 1] + [DSC \times 3] + [MSC \times 5]$$

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「収穫時報告書」で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右の散布図に示します。ストレスクラック比率との強い相関関係（r = 0.99）を考慮すると、ストレスクラック指標を追加する価値は限られているため、「2018/2019 年収穫時報告書」を最後にストレスクラック指標は報告しないことに決定しました。

ストレスクラック指標とストレスクラック（%）の相関
8 年間の米国集計



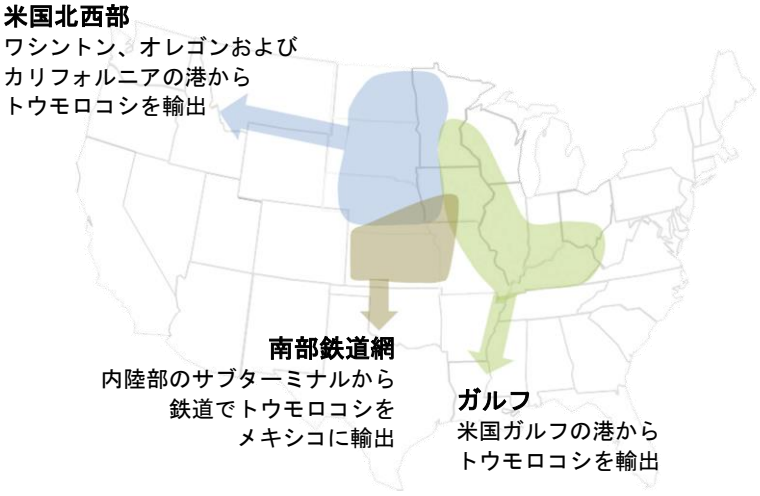
サンプリング

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。依頼どおり 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合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にはそれぞれ、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 601 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 2020 年 9 月 2 日から 11 月 13 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。

輸出拠点地域（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***[2]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。

「2020/2021 年収穫時報告書」には過去 5 年の「収穫時報告書」（2015/2016 年、2016/2017 年、2017/2018 年、2018/2019 年および 2019/2020 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。本報告書を通して「10YA」にも言及しています。10YA は、「2011/2012 年収穫時報告書」から本「2020/2021 年収穫時報告書」までの品質ファクターの平均値の単純平均を表します。

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±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 の総損傷率では 14.7%でした。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±10.0%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「2019/2020 年収穫時報告書」と「2020/2021 年収穫時報告書」の間、および「2018/2019 年収穫時報告書」と「2020/2021 年収穫時報告書」の間の試験結果の統計差または有意差については、信頼度 95.0%で両側 t 検定においてその妥当性を確認しています。

[2] *報告した硬胚乳、百粒重、穀粒容積および真の穀粒密度の標準偏差は、試験を実施したサンプル数が少ないため重みを付けていない。*

「2020/2021 年収穫時報告書」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に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約 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配分されるよう配置しました。片方のサブサンプルは等級付けのためにイリノイ州アーバナのシャンペーン-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 17025:2017 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、あらかじめ容積がわ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。

破損粒&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分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。

損傷粒の含量を調べるため、訓練を受けラインセンスを有する試験担当官が BCFM の存在しないトウモロコシの代表的なサンプル 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*）、芽損傷粒などがあります。総損傷粒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官が 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従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量）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量を予測するために、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穀粒密度

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方センチメートル（cm^3）で表します。1 穀粒当たりの容積は通常 0.14～0.36 cm^3 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/cm^3）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/cm^3 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立って見えるよう、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。

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 97.0%というのは亀裂&破損率 3.0%に相当します。

硬胚乳

硬胚乳試験ではバックライトの付いた観察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すが、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の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含量・分布に決定的に左右されることになります。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含量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「2020/2021 年収穫時報告書」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。

「2020/2021 年収穫時報告書」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 411 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。

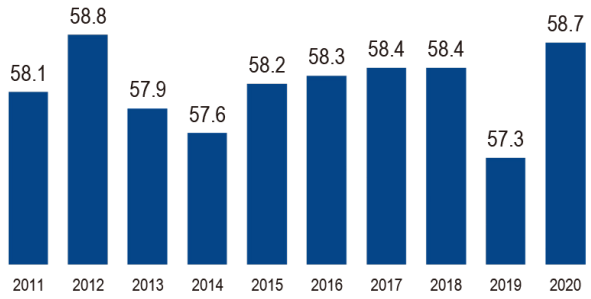
EnviroLogix 定量化試験キットは、マイコトキシン含量が「検出限界」と呼ばれる特定のレベルを超えた場合にその個別の含量を知らせるものです。検出限界は分析上の空白（マイコトキシンが存在しない）を測定する方法とは統計的に異なる分析方法を用いて測定することのできる最低含量と定義されます。マイコトキシンの種類、テストキット、コモディティの組み合わせが異なれば、この検出限界も変化します。EnviroLogix AQ 309 BG のアフラトキシン検出限界値は 2.7 ppb です。EnviroLogix AQ 304 BG を用いるデオキシニバレノールの検出限界値は 0.1 ppm です。フモニシンの試験に用いられる EnviroLogix AQ 411 BG の検出限界値は 0.1 ppm です。EnviroLogix AQ 309 BG、AQ 304 BG および AQ 411 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。

「2020/2021 年収穫時報告書」では、収穫時サンプルでオクラトキシン A、T-2 およびゼアラレノンも試験しました。これら 3 種の追加マイコトキシンに対する試験は暫定的なものです。これらの試験は、毎年実施する 3 種のマイコトキシン（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）の試験結果から得られる情報を補足するためのものです。EnviroLogix AQ 113 BG、AQ 314 BG および AQ 412 BG 定量化試験キットは、それぞれオクラトキシン A、T-2 およびゼアラレノンに用いました。オクラトキシン A の試験に用いた EnviroLogix AQ 113 BG 定量化試験キットの検出限界値は 1.5 ppb です。オクラトキシン A は穀物バッファー（1 グラム当たり 5 ml）を用いて抽出しました。T-2 の試験に用いた AQ 314 BG 定量化試験キットの検出限界値は 50 ppb です。T-2 は水（1 グラム当たり 5 ml）を用いて抽出しました。ゼアラレノンの試験に用いた EnviroLogix AQ 412 BG 定量化試験キットの検出限界値は 50 ppb です。ゼアラレノンの試験には、試験に用いるトウモロコシのうち 25 グラムを用います。ゼアラレノンは、EB17 抽出試薬パウダーとサンプル当たり 75 ml の水バッファーを用いて抽出しました。

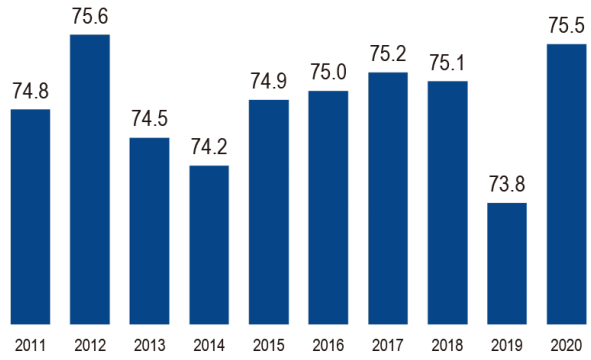
A. 等級ファクターと水分含量

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すことができるようにしています。

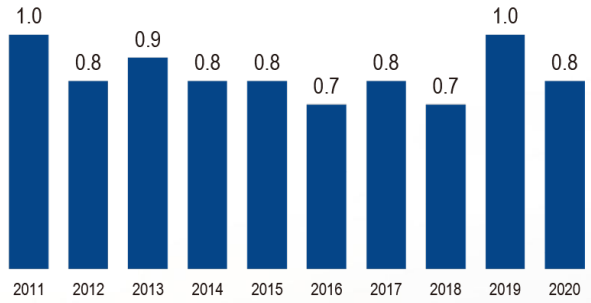
作物年度別容積重（lb/bu）



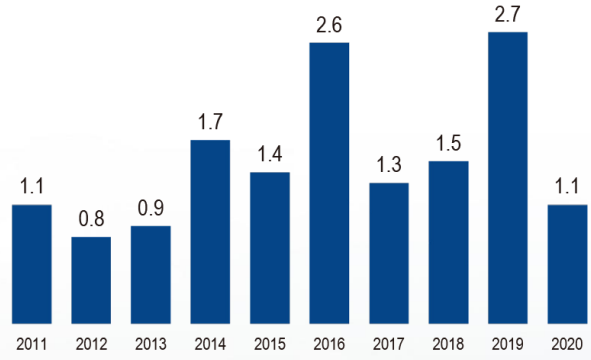
作物年度別容積重（kg/hl）



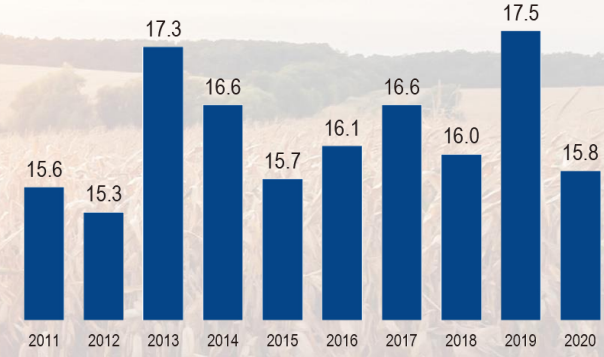
作物年度別 BCFM（%）



作物年度別総損傷（%）

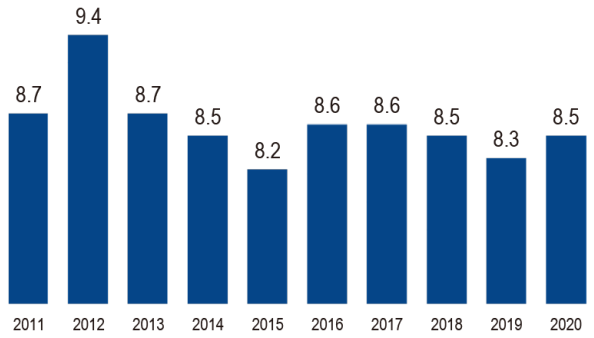


作物年度別水分含量（%）

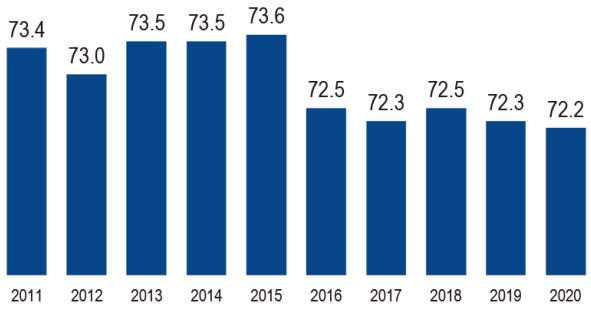


B. 化学組成

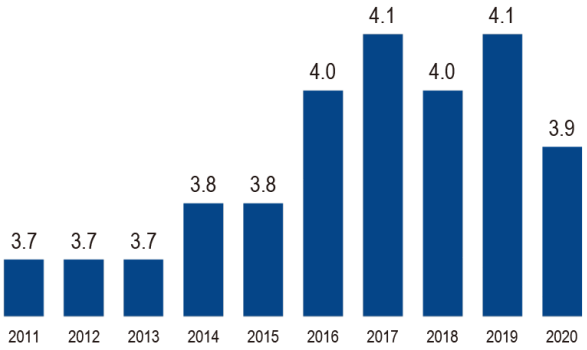
作物年度別タンパク質（乾物ベース%）



作物年度別デンプン（乾物ベース%）

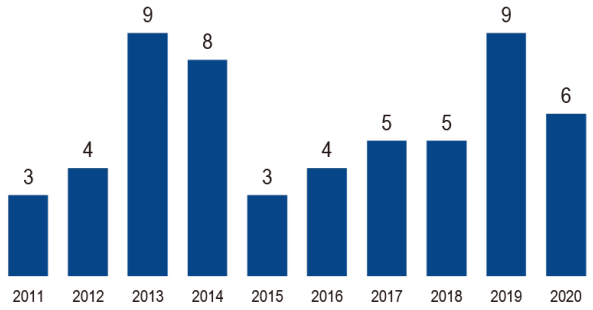


作物年度別油分（乾物ベース%）

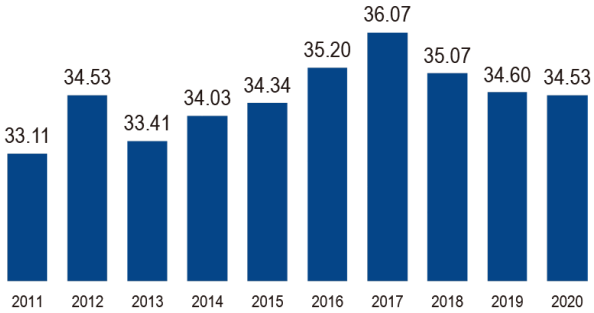


C. 物理的ファクター

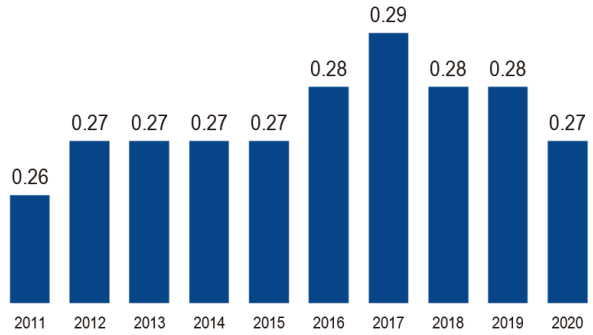
作物年度別ストレスクラック（%）



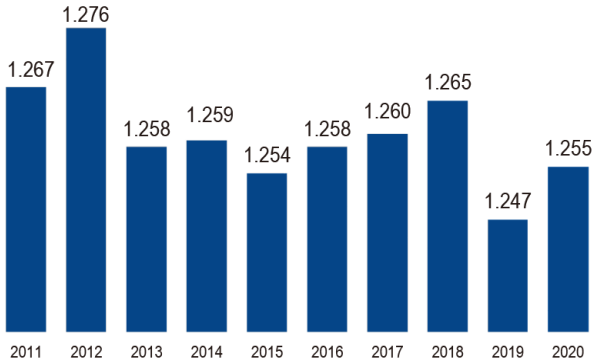
作物年度別百粒重（g）



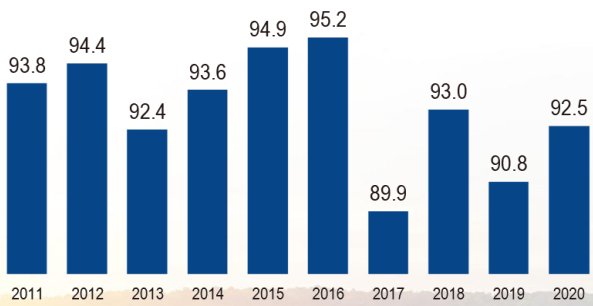
作物年度別穀粒容積（cm^3）



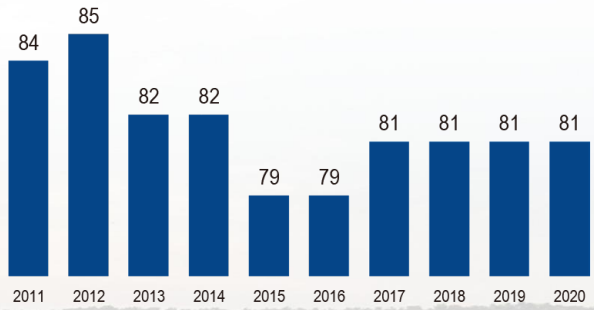
作物年度別真の密度（g/cm^3）



作物年度別完全粒（%）

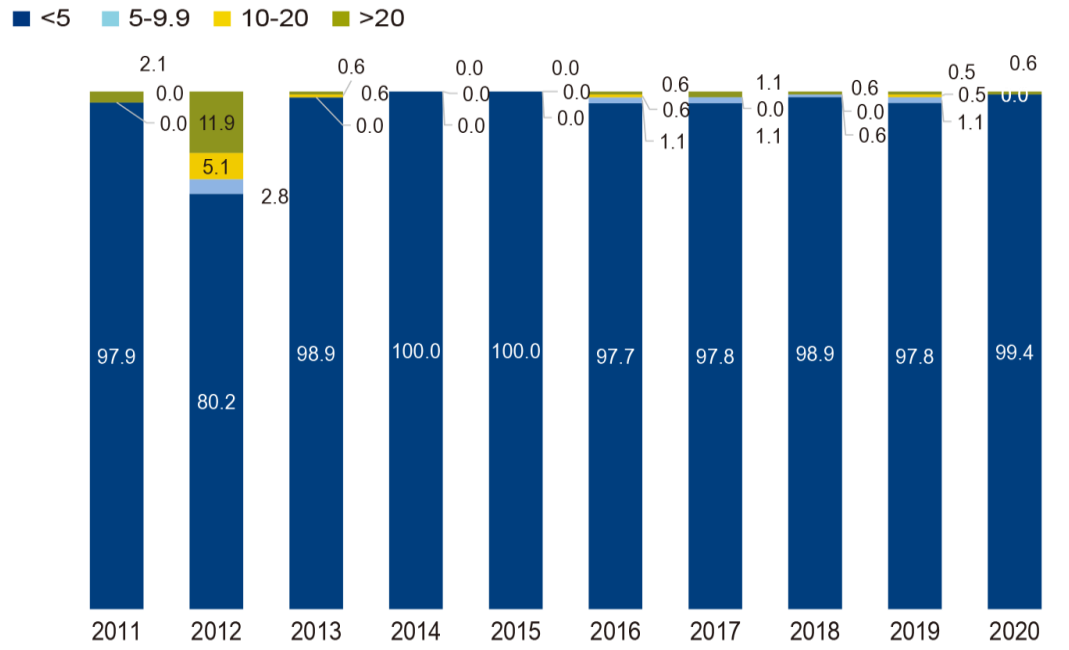


作物年度別硬胚乳（%）

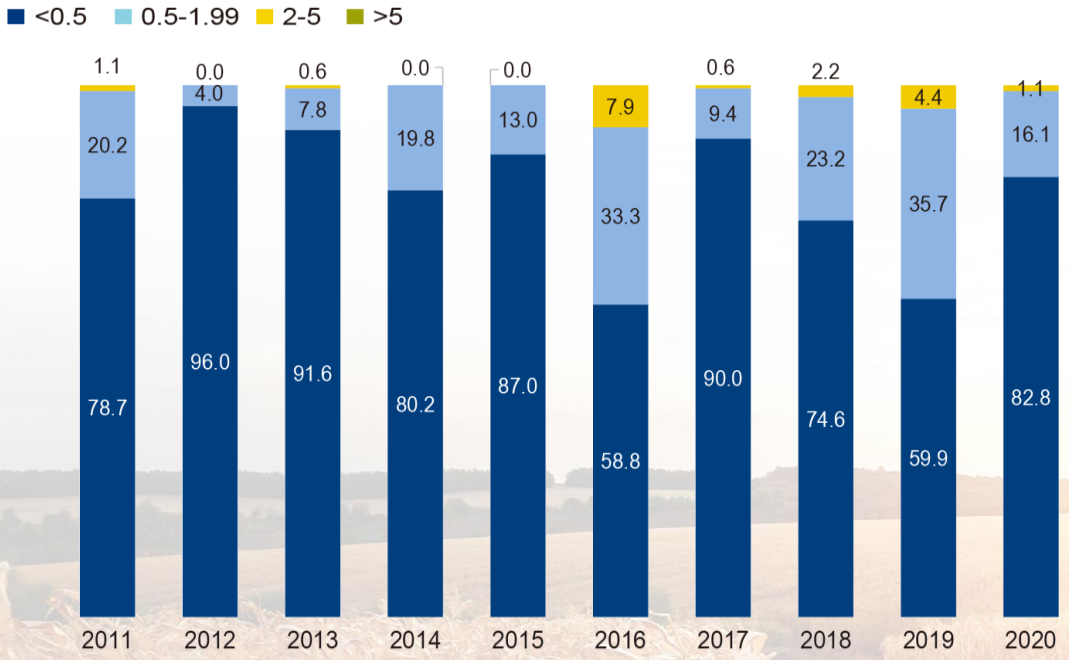


D. マイコトキシン

作物年度別アフラトキシンの結果（ppb）



作物年度別デオキシニバレノール（DON またはボミトキシン）の結果（ppm）



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（%）
米国（US）No.1	56.0	0.1	3.0	2.0
米国（US）No.2	54.0	0.2	5.0	3.0
米国（US）No.3	52.0	0.5	7.0	4.0
米国（US）No.4	49.0	1.0	10.0	5.0
米国（US）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とおり：(a) 1、2、3、4、5 の等級要件を満たさないもの、(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 0.2%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、または (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	1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/ヘクトリットル	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 =	立方センチメートル
g =	グラム
g/cm^3 =	グラム/立方センチメートル
kg/hl =	キログラム/ヘクトリットル
lb/bu =	ポンド/ブッシェル
ppb =	十億分率
ppm =	百万分率

U.S. GRAINS COUNCIL

米国産穀物とエタノールの世界的な需要を確立し、市場を発展させる専門家のグローバルネットワーク

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

MIDDLE EAST AND AFRICA: Tunis

Tel: +216-71-191-640 • Fax: +216-71-191-650
tunis@grains.org

SOUTH ASIA

adcastillo@grains.org

SOUTH EAST ASIA: Kuala Lumpur

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

Developing Markets ■ Enabling Trade ■ Improving Lives