

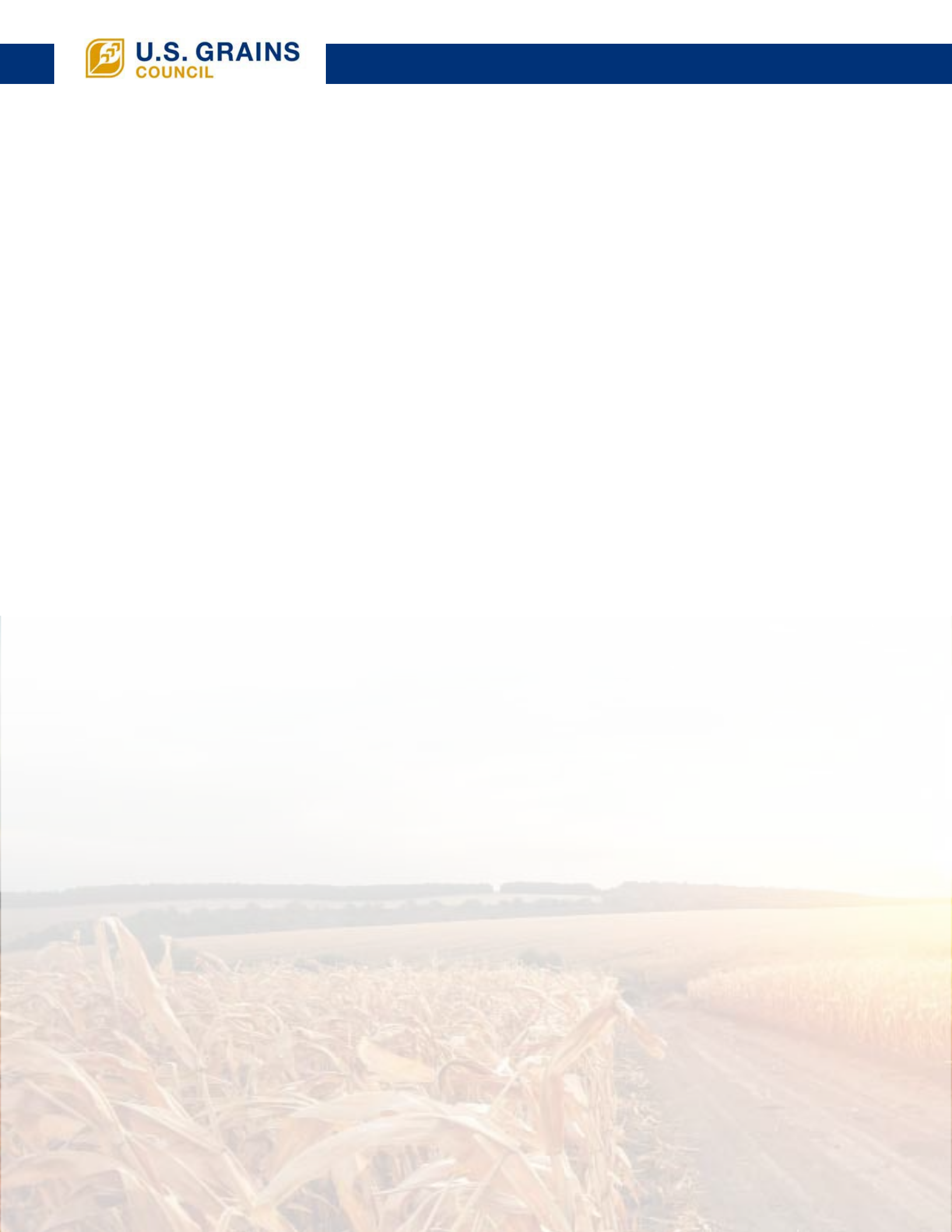


**U.S. GRAINS**  
COUNCIL

**2023/2024**

トウモロコシ収穫時  
品質報告書





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・ホフリング氏、リー・シングレトン氏、リサ・エッケル氏、アレックス・ハーベイ氏およびディー・アン・ホフマン氏に対し、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いただきました。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）とシャーンペーン-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。

アメリカ穀物協会は、米国農務省（USDA）プログラムの参加団体として連邦、州および地方の公民権法で定める無差別政策と USDA 無差別政策を順守することをコミットします。詳細情報については、USDA のウェブページ (<https://www.usda.gov/non-discrimination-statement>) をご覧ください。

**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. 2023 年収穫ハイライト .....	59
B. 作付と初期生育の状況 .....	60
C. 受粉と登熟の状況 .....	62
D. 収穫の状況 .....	64
E. 2022 年、2021 年および 5 年平均と比較した場合の 2023 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 .....	72

**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 .....	81
B. 水分含量 .....	82
C. 化学組成 .....	82
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** 米国産トウモロコシ補足情報

**BC** USGC 連絡先情報

アメリカ穀物協会（USGC）は本書「2023/2024 年トウモロコシ収穫時品質報告書」において、13 回目の年次品質調査結果をご報告いたします。

当協会は本書を提供することにより、米国産トウモロコシの品質に関して信頼性の高い情報を適時に提供し、業界のリーダーが十分な情報を得た上で購入決定を行えるよう支援します。当協会は取引を通じて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所存です。

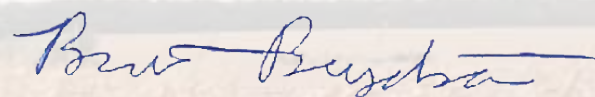
2023 年の米国産トウモロコシの作付は、4 月と 5 月の比較的暖かく乾燥した気象条件のおかげで過去 5 年の平均ペースよりわずかに早まりました。6 月の乾燥条件によってコーンベルトの多くの重要な地域でトウモロコシがストレスにさらされ、おそらく生産力が抑えられました。7 月、8 月はほぼ平年並みの気温と降雨量が戻りましたが、9 月が暖かく乾燥していたため、トウモロコシの成熟と乾燥が早まりました。

米国農務省は、2023 年に 3526 万ヘクタール（8710 万エーカー）でトウモロコシが収穫され、平均単収は 1 ヘクタール当たり 10.97 メートルトン（1 エーカー当たり 174.9 ブッシェル）と予測しています。生育期に問題があったものの、単収は過去 5 年の平均である 1 ヘクタール当たり 10.86 メートルトン（1 エーカー当たり 173.1 ブッシェル）を上回ると見込まれ、収穫面積は過去 10 年で最も大きいと予想されています。これが実現すると、2023/2024 年の収穫量は 3 億 8697 万メートルトン（152 億 3400 万ブッシェル）と予測され、記録を塗り替えることとなります。

2023 年の米国産トウモロコシは記録的な収穫量に加えてその穀粒品質が高かったため、市場年度中の世界のトウモロコシ輸出量の 26.4%（予測値）を占めることができるでしょう。

「2023/2024 年トウモロコシ収穫時品質報告書」は国内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品質情報を提供するものです。バイヤーの皆様が今後目にするようになるトウモロコシの品質は、収穫後の取扱い、ブレンドおよび保管条件の影響を受けます。当協会が作成する報告書の第二弾、「2023/2024 年トウモロコシ輸出貨物品質報告書」は積載である輸出ターミナルにおけるトウモロコシの品質を分析するもので、2024 年初頭での発行が予定されています。

当協会は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本報告書をお届けしています。そして、本報告書は市場を開拓し、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手段のひとつとなっています。



Brent Boydston  
アメリカ穀物協会会長  
2023 年 11 月



2023年のトウモロコシは、暖かく乾燥した気象条件のおかげで適時に作付できましたが、生育期は早かったものの不均等な発芽で、受粉期は雨不足で、登熟期は高温と干ばつで、収穫期は急速な乾燥でそれぞれ特徴付けられます。このようなストレスの多い条件にもかかわらず、平均単収は依然、過去5年間の平均値（5YA<sup>1</sup>）を上回ると見込まれています。このような条件で適時の収穫も可能になったため、2023年のトウモロコシの全体的な品質が保たれます。「アメリカ穀物協会 2023/2024年トウモロコシ収穫時品質報告書（2023/2024年収穫時報告書）」の試験対象となった代表的サンプル全体の平均的な品質は、米国（US）No.1等級の等級ファクター要件を上回り、2023年は質の高い大量のトウモロコシが流通経路に向かうことを示唆しています。本報告書はサンプルの88.0%が米国（US）No.1等級の等級ファクター要件を満たしており、96.7%が米国（US）No.2等級の等級ファクター要件を満たしていることを示しています。

流通経路に向かう2023年米国産トウモロコシは、各品質ファクターの5YAより容積重が高く、破損粒&異物（BCFM）と総損傷は少なく、水分含量はほぼ同じとなっています。一方、生育期終わり頃の高温乾燥条件が、今年のサンプルに見られるストレスクラックの増加の原因である可能性があります。2023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58.4ポンド（lb/bu）（1ヘクトリットル当たり75.2キログラム（kg/hl））で2022年とほぼ同じだが、5YAを上回っている。

2023年米国集計BCFM平均値（0.5%）は2022年（0.9%）および5YA（0.8%）を下回っている。

2023年米国集計総損傷平均値（0.9%）は2022年（1.2%）および5YA（1.5%）を下回っている。

2023年サンプルの米国集計熱損傷平均値は0.0%で、2022年および5YAと同じである。

2023年米国集計水分含量の平均値（16.3%）は2022年と同じで、5YA（16.4%）とほぼ同じである。

## 化学組成

2023年米国集計タンパク質含量平均値（乾物ベース8.8%）は2022年と同じで、5YA（8.5%）を上回っている。

2023年米国集計デンプン含量平均値（乾物ベース71.9%）は2022年と同じだが、5YA（72.2%）を下回っている。

2023年米国集計油分含量平均値（乾物ベース3.8%）は2022年および5YA（いずれも3.9%）を下回っている。

<sup>1</sup> 5YA は2018/2019年、2019/2020年、2020/2021年、2021/2022年および2022/2023年の「収穫時報告書」の品質ファクターの平均値または偏差の単純平均を示している。

## 物理的ファクター

2023 年米国集計**ストレスクラック率**平均値（19.2%）は 2022 年（6.9%）および 5YA（6.3%）を上回っている。

2023 年米国集計**百粒重**の平均値は 35.52 グラムで、2022 年（33.94 グラム）および 5YA（34.62 グラム）を上回り、以前の報告書のものより穀粒が大きいことを示している。

2023 年米国集計**真の穀粒密度** 1 方センチメートル当たり 1.250 グラム（g/cm<sup>3</sup>）は 2022 年（1.253 g/cm<sup>3</sup>）とほぼ同じだが、5YA（1.255 g/cm<sup>3</sup>）を下回っている。

2023 年米国集計**完全粒**の平均値は 92.5%で、2022 年（91.0%）および 5YA（91.9%）を上回っている。

2023 年米国集計**硬胚乳**の平均値（85%）は、2022 年（88%）を下回っているが、5YA（82%）を上回っている。

## マイコトキシン

2023 年は 99.5%の試験対象サンプルが米国食品医薬局（FDA）の**アフラトキシンの**規制レベルである 20.0 ppb 以下であり、試験対象サンプルの 93.9%が 5.0 ppb を下回り、2022 年の割合を上回っている。

2023 年の試験対象サンプルのすべて（100.0%）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 以下となった。さらに、試験対象サンプルの 93.4%が 1.5 ppm を下回った。この割合は 2022 年をわずかに下回っている。

2023 年試験対象となったサンプルの 98.3%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。この割合は 2022 年をわずかに下回った。

「収穫時報告書」による**オクラトキシシン A**、**トリコテセン（T-2）**および**ゼアラレノン**の試験は今年で 4 年目を迎えた。追加した各マイコトキシン試験の 181 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。

「2023/2024 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当初の品質について理解するために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 13 回目となりました。13 年間の結果により、圃場から出荷された時点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。

2023 年の生育期は、適時の作付、受粉期・登熟期の多くの地域での高温と干ばつ、収穫期の急速な乾燥で特徴付けられます。適度なストレスを受けたにもかかわらず、平均単収は 5YA を上回ると予測されています。比較的多い単収の予測と 2013 年以降で最も広い収穫面積の予測が相まって、生産量は 3 億 8697 万メートルトン（152 億 3400 万ブッシェル）と予測されています。これが現実になると、2023 年の米国産トウモロコシはこれまでの記録で最大の生産量になるでしょう。

生育期が概して暖かく乾燥していたため、適時の収穫が促されて良質な穀粒の生産に奏功しました。2023 年のトウモロコシの容積重は 5YA を上回り、損傷粒率と BCFM は 5YA を下回りました。一方、生育期のこれらの条件が、これまでの報告書に見られる最も高い平均ストレスクラックの原因になったようです。

2023 年流通経路に入るトウモロコシには、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るという特徴があります。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 88.0%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 96.7%です。

13 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、報告の積み重ねにより、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「2023/2024 年収穫時報告書」の内容は、トウモロコシ生産・輸出の上位 12 州内の特定の地域から入手した 611 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は、原点での品質を計測・分析し、様々な地域の品質特性のばらつきを示す情報を提供するために各地域の穀物エレベーターから採取されました。

## 輸出拠点地域 (ECA)

### 米国北西部

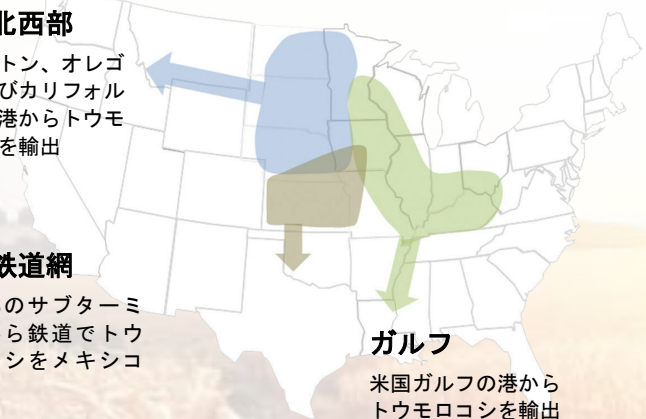
ワシントン、オレゴンおよびカリフォルニアの港からトウモロコシを輸出

### 南部鉄道網

内陸部のサブターミナルから鉄道でトウモロコシをメキシコに輸出

### ガルフ

米国ガルフの港からトウモロコシを輸出





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、「2023/2024 年収穫時報告書」は、当協会が 2024 年初頭に発表した「2023/2024 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、T-2 およびゼアラレノン

これらに加えて、「2023/2024 年収穫時報告書」には米国産トウモロコシの作柄および気象条件、トウモロコシの生産量、消費量および見通しについての簡単な説明、調査方法、統計分析方法ならびに試験分析方法についての詳細な説明を記載し、さらに、過去の所見のセクションでは対象となった全 13 年間の報告から得た各品質ファクターの平均値を記載しています。

## A. 等級ファクター

米国農務省 (USDA) の連邦穀物検査部 (FGIS) は、様々な品質特性の測定に用いる等級や定義、基準の数値を定めています。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補足情報」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値は、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各年のサンプルの割合を表している。概ねサンプルの 88.0%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、サンプルの 96.7%は米国 (US) No.2 等級の等級ファクター要件を満たしている。
- 容積重の米国集計平均値 (58.4 lb/bu または 75.2 kg/hl) は米国 (US) No.1 等級の下限值 (56.0 lb/bu) をはるかに上回り、2022 年 (58.5 lb/bu または 75.3 kg/hl) および 2021 年 (58.3 lb/bu または 75.1 kg/hl) とほぼ同じであったが、5YA (58.2 lb/bu または 75.0 kg/hl) および 10YA (58.2 lb/bu または 74.9 kg/hl) は上回っている。
- 2023 年の BCFM の米国集計平均値 (0.5%) は 2022 年 (0.9%)、2021 年 (0.7%)、5YA および 10YA (いずれも 0.8%)、米国 (US) No.1 等級の上限値 (2.0%) を下回っている。
- BCFM のレベルはトウモロコシのサンプルの 98.5%が No.2 等級に認められている上限値の 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 の平均 BCFM レベルはそれぞれ 0.6、0.5 および 0.5%で、いずれも米国 (US) No.1 等級の限界値を下回っている。
- 2023 年の破損粒の米国集計平均値は 0.4%で、2022 年 (0.7%)、2021 年 (0.6%)、5YA および 10YA (いずれも 0.6%) を下回っている。
- 2023 年の異物混入率の米国集計平均値 (0.1%) は 2022 年、2021 年、5YA および 10YA (いずれも 0.2%) を下回っている。
- 2023 年の総損傷率の米国集計サンプルの平均値 (0.9%) は、2021 年 (0.7%) を上回ったが、2022 年 (1.2%)、5YA および 10YA (いずれも 1.5%) を下回り、米国 (US) No.1 等級の限界値 (3.0%) を大きく下回っている。
- 損傷粒の割合が 3.0%以下のサンプルは全体の 95.1%である。ガルフ ECA、米国北西部 ECA および南部鉄道網 ECA のサンプルの総損傷平均値はそれぞれ 1.0%、0.6%および 0.9%であり、いずれも米国 (US) No.1 等級の限界値 (3.0%) を下回っている。

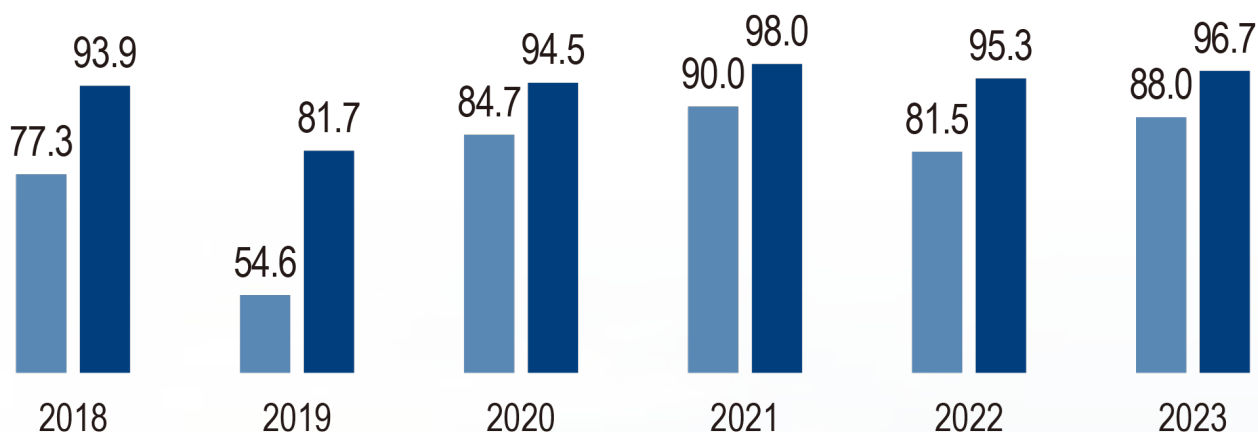


概要：等級ファクターおよび水分含量

- 2023年のサンプルの熱損傷米国集計平均値は0.0%であり、これは2022年、2021年、5YAおよび10YAと同じである。
- 2023年の水分含量米国集計平均値（16.3%）は2022年および2021年と同じで、5YAおよび10YA（いずれも16.4%）とほぼ同じである。
- 2023年のガルフECA、米国北西部ECAおよび南部鉄道網ECAの水分含量平均値はそれぞれ16.4%、16.5%および15.8%である。水分含量が17.0%を超える2023年のサンプルの割合は30.8%だが、これに対し2022年は32.3%、2021年は32.4%だった。水分含量を常に観察して十分に低いレベルに維持し、カビが増殖して貯蔵寿命が短くなる可能性を回避するよう注意する必要がある。

すべての等級別要件を満たすサンプル (%)

■ 米国 (US) No.1 ■ 米国 (US) No.2



米国産トウモロコシの等級および等級要件

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

## 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。通常、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は、容積重が変わる可能性に影響を与える場合があります<sup>1</sup>。

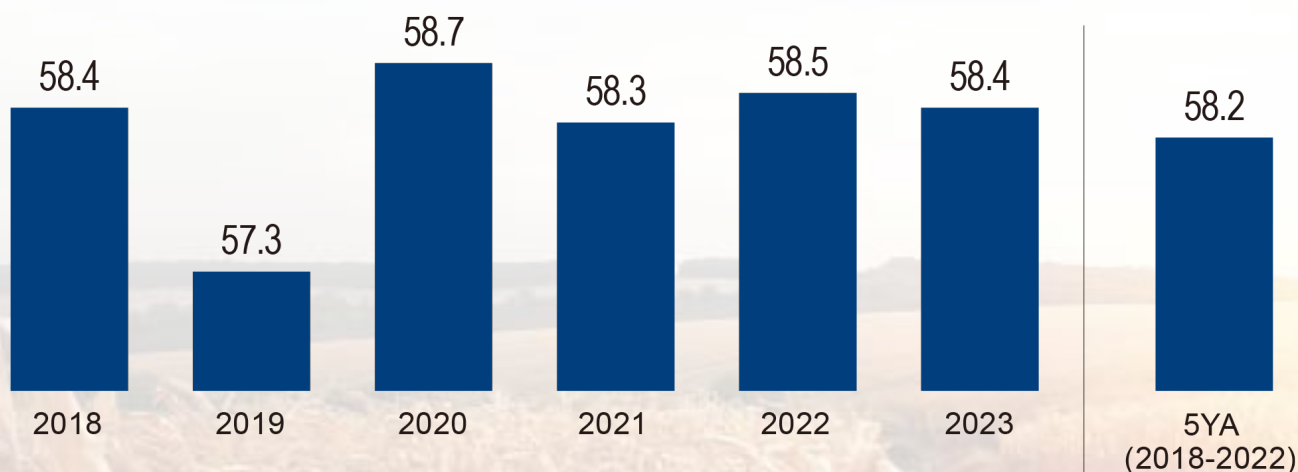
圃場から搬入された地点でサンプルを採取・測定した場合、一般的に、水分含量が一定であれば、高い容積重の値は高い品質、高い硬胚乳率、かつ、完全で破損や異物のないトウモロコシであることを示唆します。容積重は真の密度と正の相関関係にあり、穀粒の硬さと成熟度を反映します。

## 結果

- 2023年の容積重米国集計平均値（58.4 lb/bu または 75.2 kg/hl）は米国（US）No.1 等級の最小値（56.0 lb/bu）を大きく上回っている。2022年（58.5 lb/bu または 75.3 kg/hl）、2021年（58.3 lb/bu または 75.1 kg/hl）とほぼ同じであるが、5YA（58.2 lb/bu または 75.0 kg/hl）および10YA（58.2 lb/bu または 74.9 kg/hl）を上回っている。

容積重（lb/bu & kg/hl）

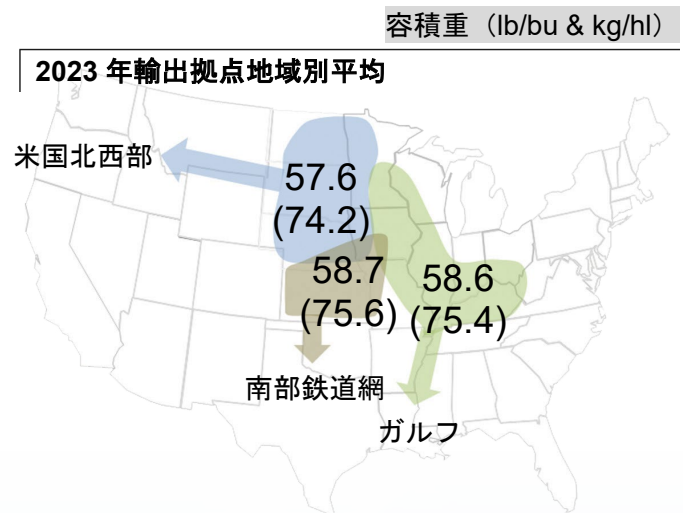
### 米国集計結果の概要



<sup>1</sup> 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



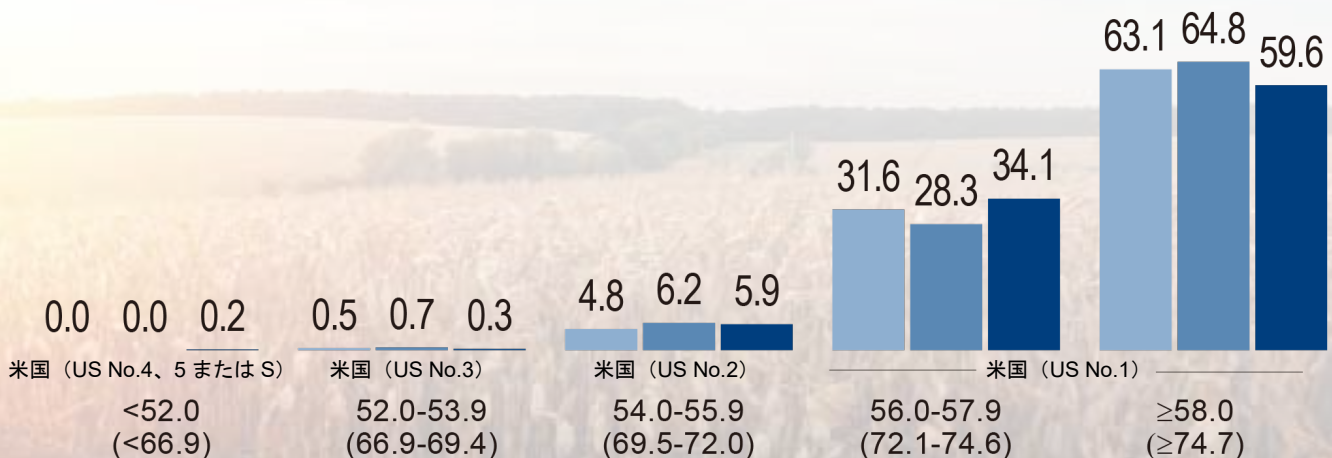
- 2023年の容積重米国集計の標準偏差（1.23 lb/bu）は2022年（1.30 lb/bu）、2021年（1.18 lb/bu）、5YA（1.26 lb/bu）および10YA（1.27 lb/bu）とほぼ同じである。
- 2023年の収穫時サンプルのばらつき幅は16.6 lb/bu（46.4～63.0 lb/bu）で、2022年のばらつき幅である10.8 lb/bu（52.3～63.1 lb/bu）および2021年の収穫ばらつき幅である8.8 lb/bu（53.3～62.1 lb/bu）を上回っている。
- 2023年の容積重の分布をみると、米国（US）No.1等級の限界値（56.0 lb/bu）以上のサンプルは93.7%で、これに対し2022年は93.1%、2021年は94.7%である。2023年のサンプルで米国（US）No.2等級の限界値（54.0 lb/bu）を上回るものは99.6%で、これに対し2022年は99.3%、2021年は99.5%である。
- 2023年の容積重平均値は米国北西部 ECA（57.6 lb/bu）が最も低い。ガルフ ECA および南部鉄道網 ECA の容積重は、それぞれ 58.6 lb/bu、58.7 lb/bu である。



容積重 (lb/bu & kg/hl)

## 収穫年別サンプル割合

■ 2021 ■ 2022 ■ 2023



## 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量る目安となります。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 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。

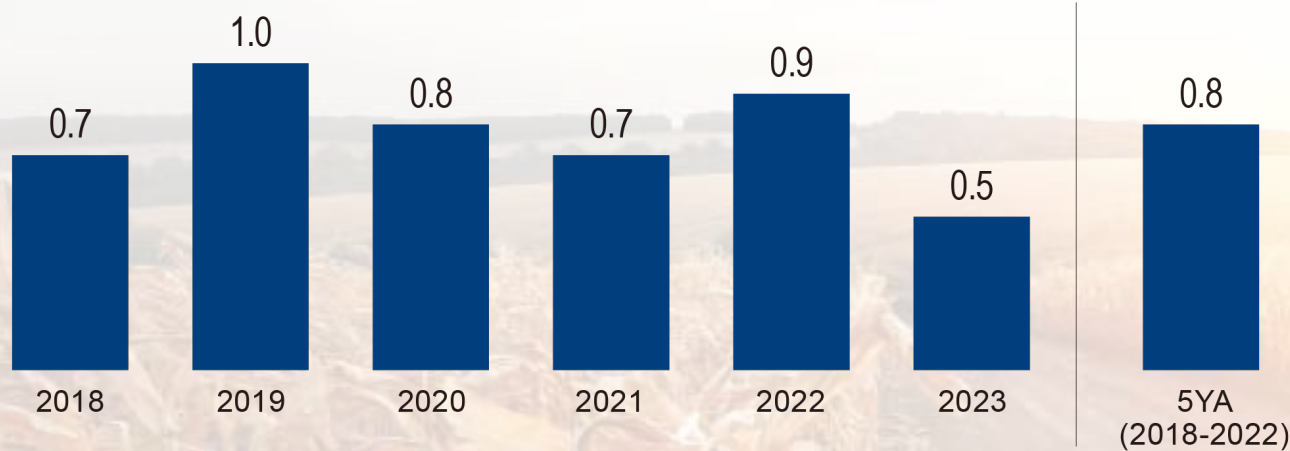
次ページの図は米国産トウモロコシ等級で用いられる破損粒および異物を測定するための方法を示したものです。

## 結果

- 2023 年の BCFM 米国集計平均値 (0.5%) は 2022 年 (0.9%)、2021 年 (0.7%)、5YA および 10YA (いずれも 0.8%)、米国 (US) No.1 等級の上限値 (2.0%) を下回っている。
- 標準偏差 (0.45%) に基づく 2023 年トウモロコシの BCFM のばらつきは 2022 年 (0.59%)、5YA (0.54%) および 10YA (0.55%) を下回り、2021 年 (0.46%) とほぼ同じである。

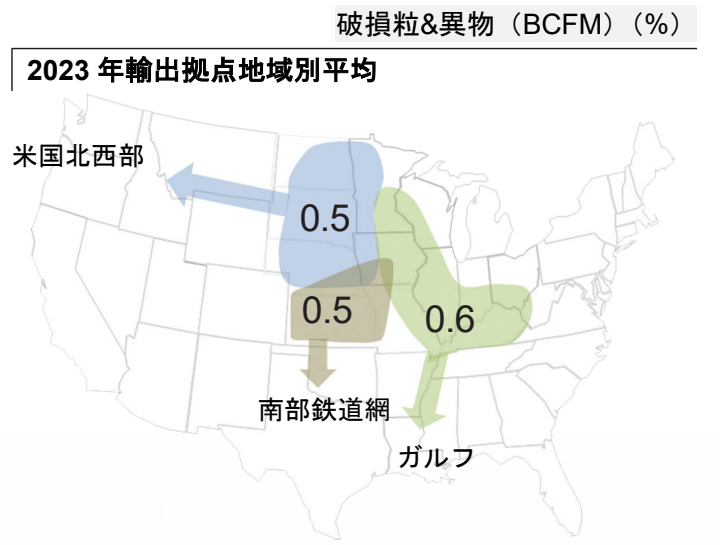
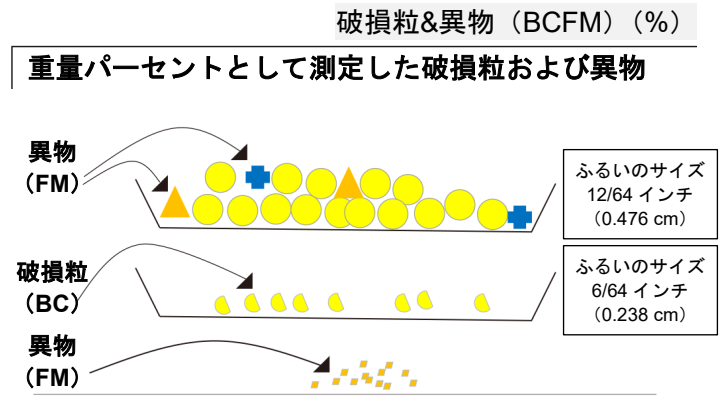
破損粒&異物 (BCFM) (%)

### 米国集計結果の概要





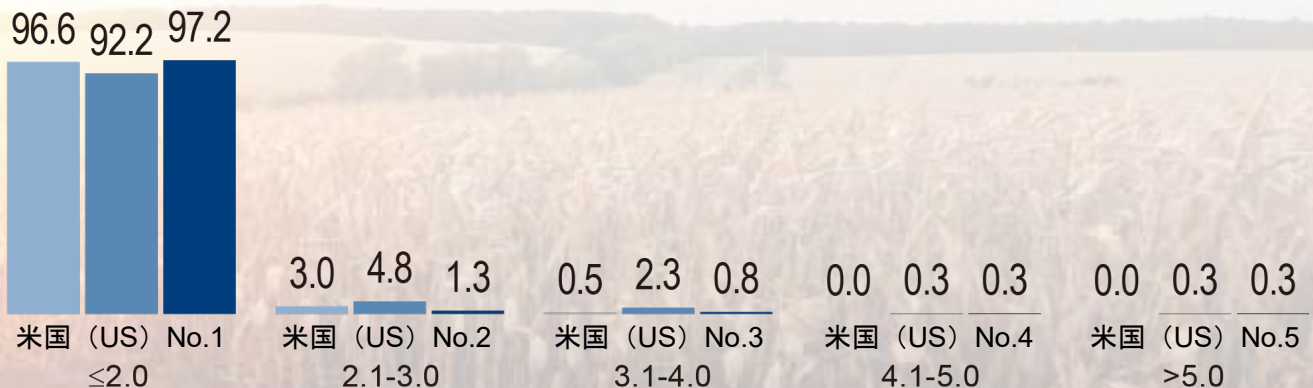
- 2023 年収穫時サンプルの BCFM の最小値と最大値の幅は 5.9% (0.0~5.9%) である。この値は 2022 年サンプルの 7.0% (0.0~7.0%) と 2021 年サンプルの 3.4% (0.0~3.4%) の間にある。
- 2023 年のサンプル分布では、米国 (US) No.1 等級の BCFM レベルの上限値 (2.0%) 以下の割合は 97.2%で、これに対し 2022 年は 92.2%、2021 年は 96.6% である。サンプルのほぼすべて (98.5%) が米国 US No.2 等級の BCFM 上限値である 3.0%以下である。
- ガルフ ECA、米国北西部 ECA および南部鉄道網 ECA の BCFM 平均値はそれぞれ 0.6%、0.5%および 0.5%であり、米国 (US) No.1 等級の限界値を下回っている。



破損粒&異物 (BCFM) (%)

## 収穫年別サンプル割合

■ 2021 ■ 2022 ■ 2023



## 破損粒

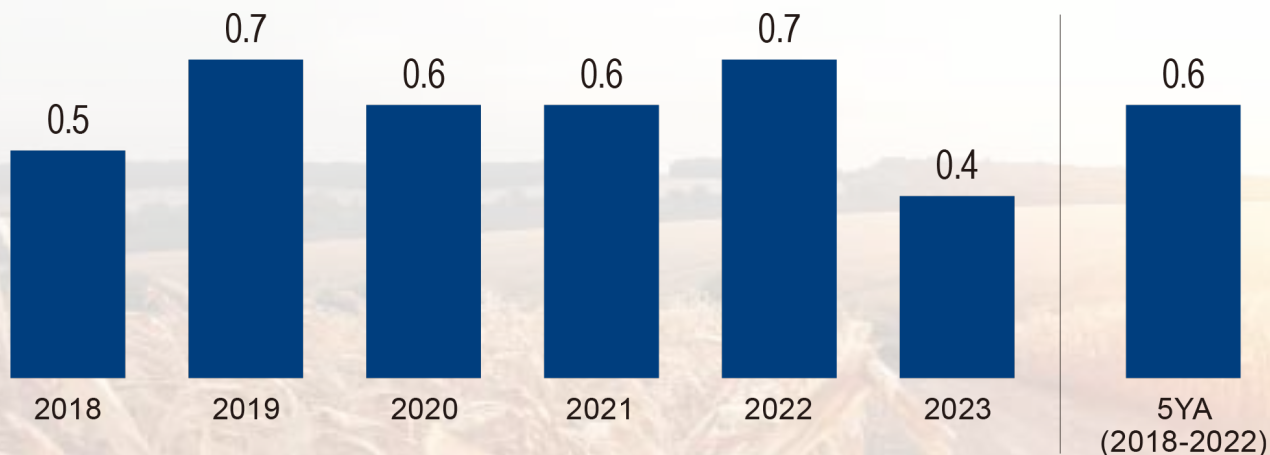
米国等級では破損粒は穀粒のサイズに基づいて測定され、通常わずかな割合ながらトウモロコシ粒以外の物質が含まれます。破損粒は完全粒よりもカビや害虫の被害を受けやすく、取扱いや加工上の問題を引き起こすことがあります。貯蔵大型ビン内で拡散させたりかき混ぜたりしなければ、破損粒はビン内の中央にたまりやすく、完全粒は外縁に移動する傾向があります。破損粒が集まりやすい中央部分は「スパウトライン」として知られています。必要に応じて、ビンの中央からこうしたトウモロコシ粒を引き出すことでスパウトラインを低減することができます。

## 結果

- 2023年のサンプルの破損粒米国集計平均値は0.4%で、2022年(0.7%)、2021年、5YA および 10YA (いずれも 0.6%) を下回っている。
- 2023年のトウモロコシでは、サンプル間の破損粒のばらつきは標準偏差からわかるように2022年をわずかに下回るが、過去数年とほぼ同じである。2023年、2022年、2021年、5YA および 10YA の標準偏差はそれぞれ 0.35%、0.44%、0.33%、0.38%、および 0.39%である。
- 2023年の破損粒のばらつき幅は 5.0% (0.0~5.0%) で、2022年の 6.6% (0.0~6.6%) と2021年の 2.3% (0.0~2.3%) の間にある。

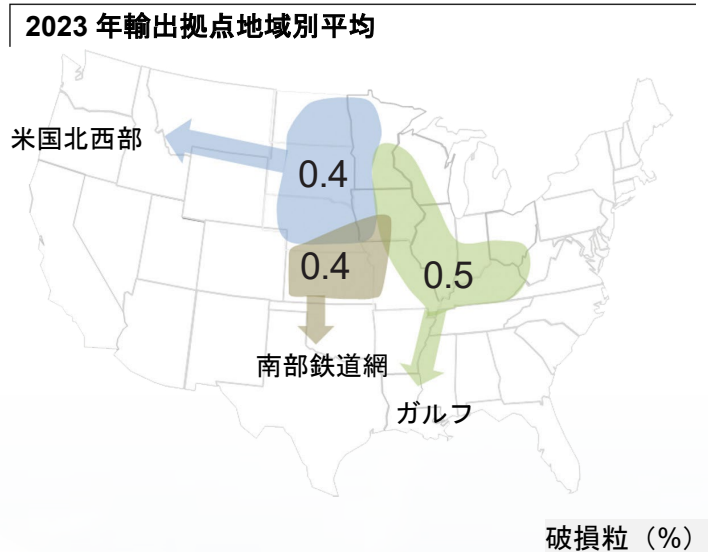
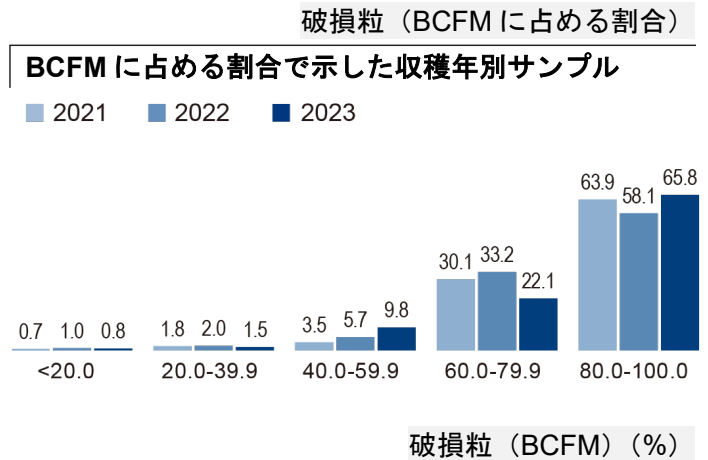
破損粒 (%)

### 米国集計結果の概要



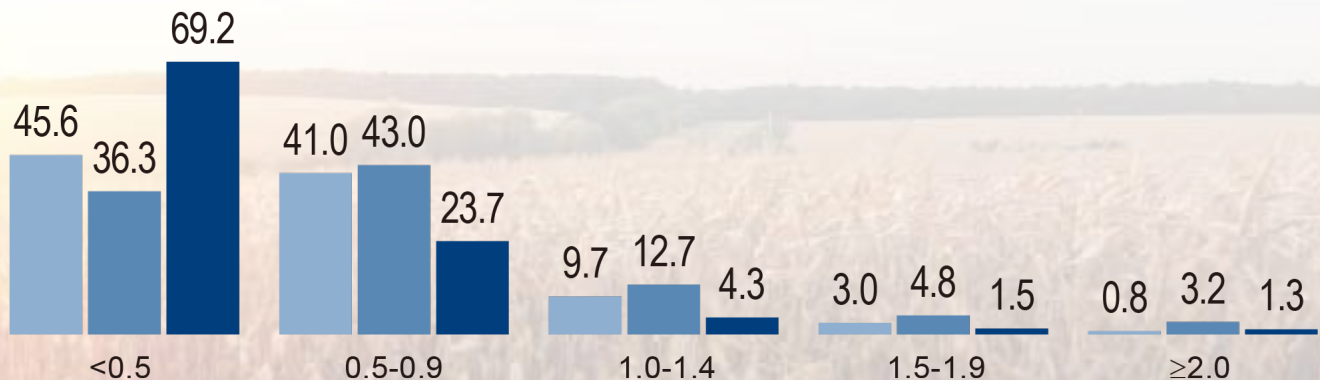


- 2023年のサンプルの分布をみると、破損粒の値は1.0%以上のものが7.1%を占め、これに対し2022年は20.7%、2021年は13.5%である。
- BCFMに占める破損粒の割合を示した右の分布図では、65.8%のサンプルにおいて、BCFMが80.0%以上破損粒により構成されていることを示している。
- 破損粒の割合は、ガルフ ECA、米国北西部 ECA および南部鉄道網 ECA はそれぞれ0.5%、0.4%および0.4%である。



## 収穫年別サンプル割合

■ 2021 ■ 2022 ■ 2023



## 異物

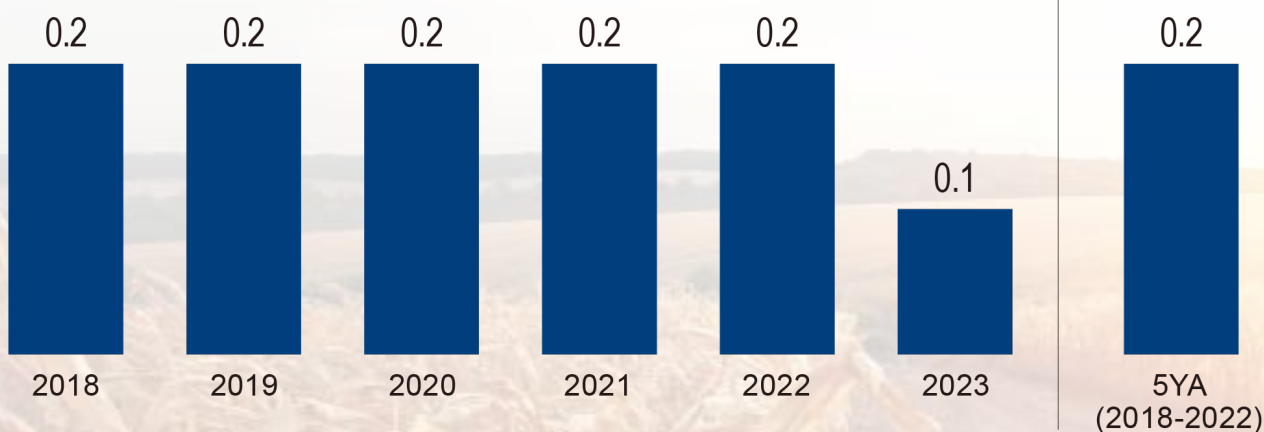
異物は、飼料や加工用としての価値を落とす重大な要因です。一般に、異物はトウモロコシよりも水分含量が高く、そのため保管中のトウモロコシの質を低下させる可能性があります。加えて、異物は（「破損粒」のセクションで述べたように）スパウトラインの原因にもなります。水分含量が多いために破損粒よりも一層品質問題を引き起こす可能性が高くなります。

## 結果

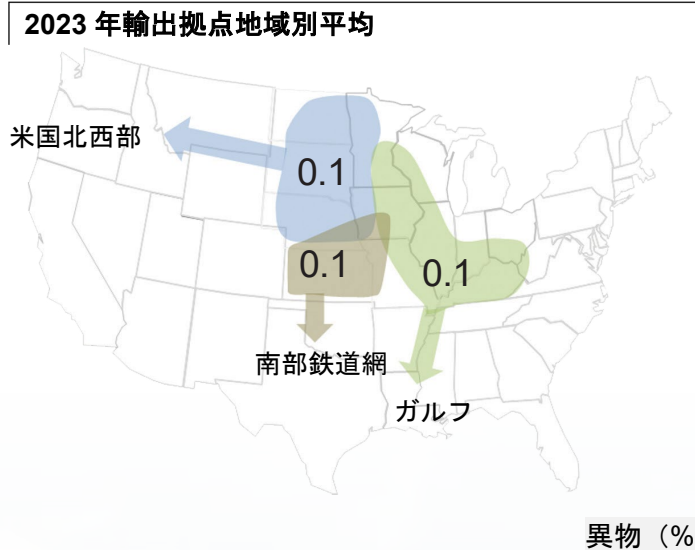
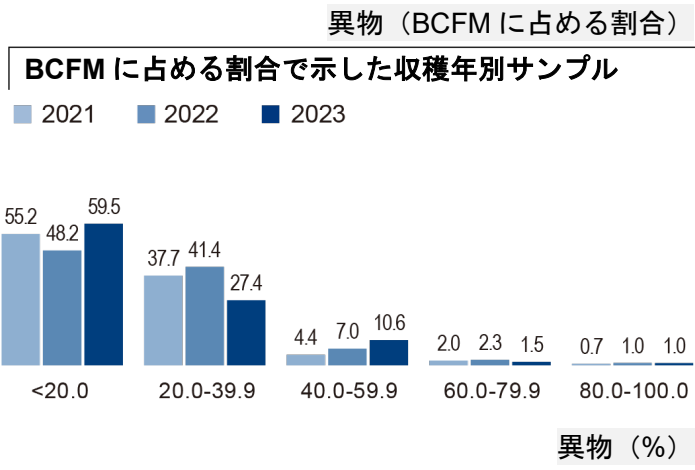
- 2023年の米国集計サンプルに占める異物の割合の平均値は0.1%で、2022年、2021年、5YA、10YA（いずれも0.2%）を下回る。コンバインは極小の物質でも除去するように設計されており、対象年を通して混入異物の割合が一貫して低いことから判断して、コンバインの機能が十分に発揮されていると考えられる。
- 標準偏差で示されるばらつきについては、2023年の米国集計サンプル(0.16%)は2022年(0.23%)、2021年(0.18%)、5YAおよび10YA（いずれも0.23%）を下回っている。
- 2023年サンプルの異物のばらつき幅は0.0~2.3%で、2022年(0.0~3.0%)を下回るが2021年(0.0~1.8%)とほぼ同じである。

異物 (%)

### 米国集計結果の概要



- 2023 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 95.1%で、2022 年（89.5%）および 2021 年（93.4%）を上回る。
- BCFM に占める異物の割合を示す右の分布図は、サンプルの 59.5%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（いずれも 0.1%）は、2022 年を下回っている。どの ECA の異物平均値も、2023 年、2022 年、2021 年、5YA および 10YA のすべてで 0.3%以下となっている。



収穫年別サンプル割合

■ 2021 ■ 2022 ■ 2023





## 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。

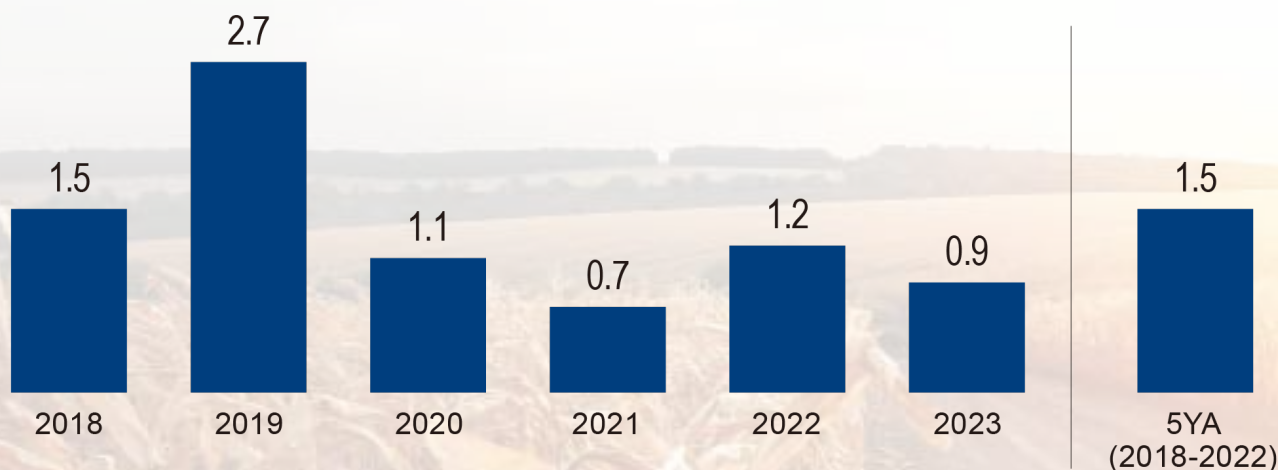
熱損傷は、暖かく湿ったトウモロコシ中の微生物の活動や乾燥工程で加えた高熱により発生することがあります。収穫時に圃場から直接運ばれてくるトウモロコシに熱損傷が存在することは稀です。

## 結果

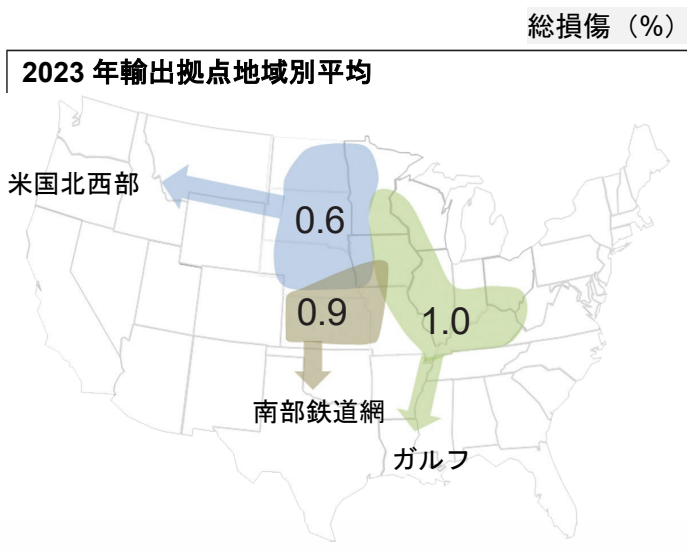
- 2023年の米国集計の総損傷平均値（0.9%）は2021年（0.7%）を上回るが、2022年（1.2%）、5YAおよび10YA（いずれも1.5%）を下回っている。2023年の総損傷平均値は米国（US）No.1等級の限界値（3.0%）を大きく下回っている。

総損傷（%）

### 米国集計結果の概要



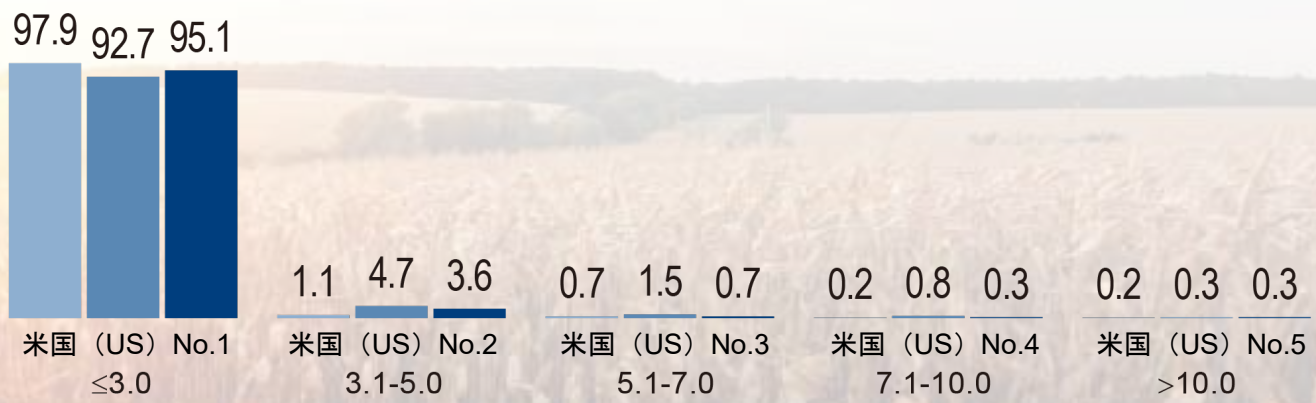
- 標準偏差に基づく 2023 年の総損傷のばらつき (0.88%) は、2021 年 (0.59%) と 2022 年 (1.08%)、5YA (1.28%) および 10YA (1.23%) の間にある。
- 2023 年の総損傷のばらつき幅 (0.0~26.0%) は 2022 年 (0.0~21.2%) とほぼ同じだが、2021 年 (0.0~13.4%) を上回っている。
- 2023 年、総損傷が 3%以下のサンプルの割合 (95.1%) は 2022 年 (92.7%) および 2021 年 (97.9%) とほぼ同じである。
- 総損傷平均値はガルフ ECA が 1.0%、米国北西部 ECA が 0.6%、南部鉄道網 ECA が 0.9%となっている。すべての ECA の総損傷平均値は米国 (US) No.1 等級の限界値 (3.0%) 以下である。
- 2023 年サンプルの熱損傷の集計平均値は 0.0%であり、これは 2022 年、2021 年、5YA および 10YA と同じである。試験した 2023 年の調査対象サンプルで 0.0%を上回るものはなかった。
- 熱損傷がなかった理由のひとつは、おそらく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、人工乾燥が最小限に抑えられていたためと考えられる。



総損傷 (%)

**収穫年別サンプル割合**

■ 2021 ■ 2022 ■ 2023



## 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。

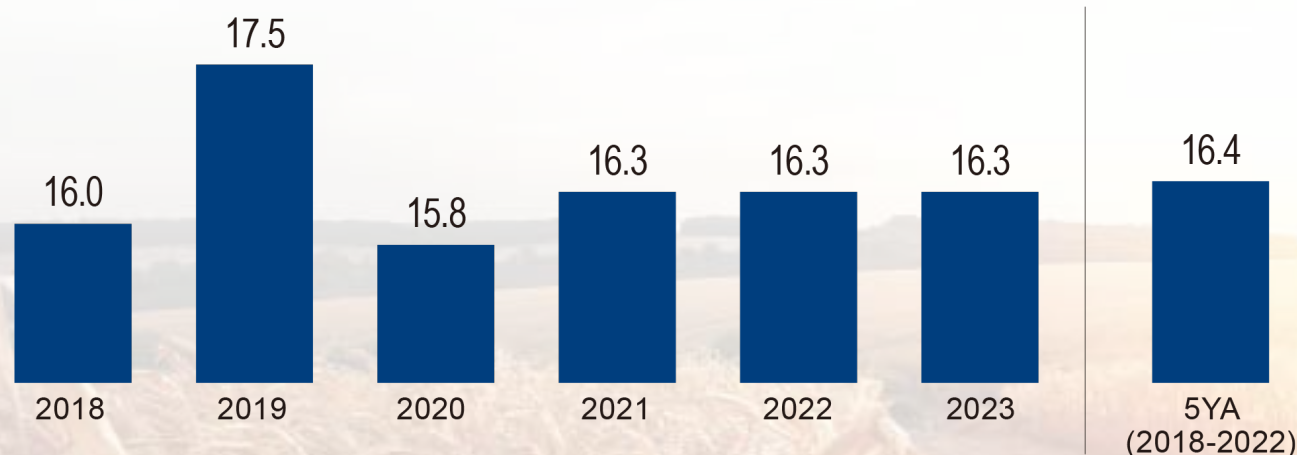
極端に水分が多く含まれるトウモロコシでは、後の保管や輸送の期間中にカビにより著しい損傷が発生しやすくなることがあります。生育期間中、トウモロコシの単収や穀粒の組成・成長は気候の影響を受ける一方、収穫時のトウモロコシの水分含量は主に作物の成熟度や収穫のタイミング、収穫時の気象条件の影響を受けます。水分と保管についての一般的なガイドラインでは、米国コーンベルト地帯の典型的な条件下において、良好な品質で損傷なくトウモロコシを通気のある場所で 6~12 か月間保管するには 14.0%以下、1年を超える保管には 13.0%以下の水分含量を推奨しています<sup>2</sup>。

### 結果

- エレベーターにおいて記録された 2023 年の米国集計水分含量の平均値 16.3%で、2022 年および 2021 年と同じで、5YA および 10YA（いずれも 16.4%）とほぼ同じである。過去 13 年の米国集計水分含量の平均値の幅は、干ばつに見舞われた 2012 年の 15.3%が最小値で、2019 年の 17.5%が最大値である。

水分含量 (%)

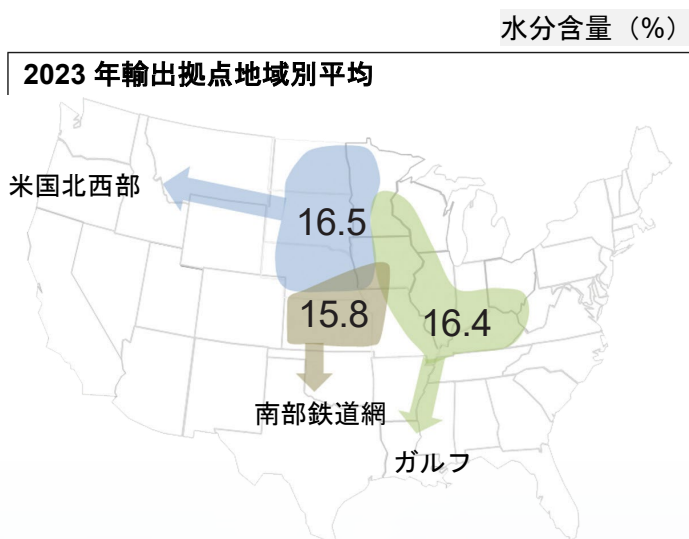
#### 米国集計結果の概要



<sup>2</sup> 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



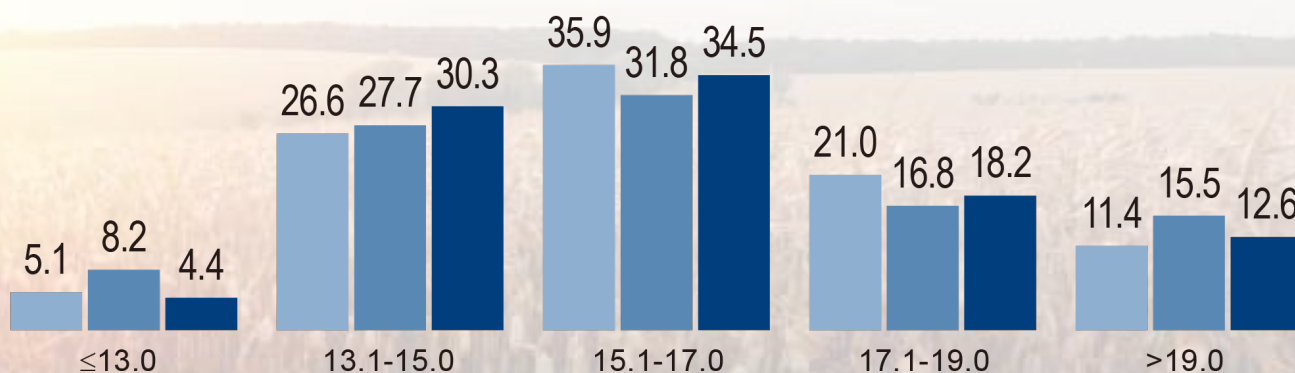
- 2023 年米国集計水分含量の標準偏差 (1.95%) は 2022 年 (2.09%)、2021 年 (1.79%)、5YA (1.96%) および 10YA (1.88%) とほぼ同じである。
- 水分含量が 17.0% を超える 2023 年サンプルの割合は 30.8% で、これに対し 2022 年は 32.3%、2021 年は 32.4% である。水分含量レベルを監視して十分低く維持し、カビが増殖する可能性を回避し貯蔵寿命が短くなることのないよう注意する必要がある。
- 2023 年の分布をみると、サンプルの中で水分含量が 15.0% 以下のものの割合は 34.7% である。一般に、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。
- 水分含量が 13.0% 以下の 2023 年サンプルは 4.4% で、これに対し 2022 年は 8.2%、2021 年は 5.1% である。13.0% 以下の水分含量と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。
- 2023 年のガルフ ECA、米国北西部 ECA および南部鉄道網 ECA の水分含量平均値は、それぞれ 16.4%、16.5%、15.8% である。2023 年、2021 年、5YA および 10YA のいずれにおいても、南部鉄道網 ECA の水分含量平均値がすべての ECA 地域の中で最も低かった。



水分含量 (%)

## 収穫年別サンプル割合

■ 2021 ■ 2022 ■ 2023



**まとめ：等級ファクターと水分含量**

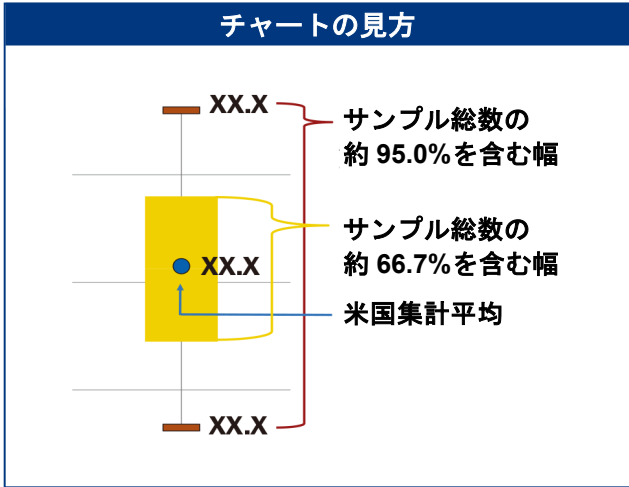
2023収穫						2022収穫		2021収穫		5年平均 (2018~2022)		10年平均 (2013~2022)	
	サンプル 数 <sup>1</sup>	標準				平均	標準 偏差	平均	標準 偏差	平均	標準 偏差	平均	標準 偏差
		平均	偏差	最小	最大								
<b>米国集計</b>						<b>米国集計</b>		<b>米国集計</b>		<b>米国集計</b>		<b>米国集計</b>	
容積重 (lb/bu)	596	58.4	1.23	46.4	63.0	58.5	1.30	58.3	1.18	58.2*	1.26	58.2*	1.27
容積重 (kg/hl)	596	75.2	1.58	59.7	81.1	75.3	1.67	75.1	1.51	75.0*	1.62	74.9*	1.63
BCFM (%)	608	0.5	0.45	0.0	5.9	0.9*	0.59	0.7*	0.46	0.8*	0.54	0.8*	0.55
破損粒 (%)	608	0.4	0.35	0.0	5.0	0.7*	0.44	0.6*	0.33	0.6*	0.38	0.6*	0.39
異物 (%)	608	0.1	0.16	0.0	2.3	0.2*	0.23	0.2*	0.18	0.2*	0.23	0.2*	0.23
総損傷 (%)	588	0.9	0.88	0.0	26.0	1.2*	1.08	0.7*	0.59	1.5*	1.28	1.5*	1.23
熱損傷 (%)	588	0.0	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.0*	0.00	0.0*	0.00
水分含量 (%)	571	16.3	1.95	7.4	25.7	16.3	2.09	16.3	1.79	16.4	1.96	16.4	1.88
<b>ガルフ</b>						<b>ガルフ</b>		<b>ガルフ</b>		<b>ガルフ</b>		<b>ガルフ</b>	
容積重 (lb/bu)	543	58.6	1.26	46.4	63.0	58.5	1.38	58.3*	1.25	58.4*	1.26	58.3*	1.26
容積重 (kg/hl)	543	75.4	1.62	59.7	81.1	75.3	1.78	75.0*	1.61	75.2*	1.62	75.1*	1.63
BCFM (%)	554	0.6	0.51	0.0	5.9	0.9*	0.60	0.7*	0.45	0.8*	0.54	0.8*	0.54
破損粒 (%)	554	0.5	0.39	0.0	5.0	0.7*	0.46	0.6*	0.32	0.6*	0.38	0.6*	0.38
異物 (%)	554	0.1	0.17	0.0	2.3	0.2*	0.22	0.2*	0.17	0.2*	0.23	0.2*	0.23
総損傷 (%)	540	1.0	0.92	0.0	15.8	1.4*	1.24	0.8*	0.66	1.7*	1.45	1.8*	1.43
熱損傷 (%)	540	0.0	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.0*	0.00	0.0*	0.00
水分含量 (%)	549	16.4	2.08	7.4	25.7	16.8*	2.22	16.8*	1.90	16.8*	2.04	16.7*	1.95
<b>米国北西部</b>						<b>米国北西部</b>		<b>米国北西部</b>		<b>米国北西部</b>		<b>米国北西部</b>	
容積重 (lb/bu)	245	57.6	1.03	53.4	62.2	58.1*	1.14	58.1*	1.05	57.5	1.31	57.4*	1.30
容積重 (kg/hl)	245	74.2	1.33	68.7	80.1	74.8*	1.47	74.8*	1.35	74.1	1.68	73.9*	1.67
BCFM (%)	253	0.5	0.31	0.0	3.5	0.9*	0.57	0.8*	0.51	0.9*	0.60	0.9*	0.60
破損粒 (%)	253	0.4	0.23	0.0	2.8	0.7*	0.39	0.6*	0.36	0.7*	0.41	0.7*	0.42
異物 (%)	253	0.1	0.12	0.0	1.7	0.3*	0.26	0.2*	0.20	0.2*	0.25	0.2*	0.25
総損傷 (%) <sup>2</sup>	240	0.6	0.73	0.0	26.0	0.8*	0.87	0.4*	0.34	1.0*	1.14	0.8*	0.85
熱損傷 (%)	240	0.0	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.0*	0.00	0.0*	0.00
水分含量 (%)	251	16.5	1.74	8.0	23.6	15.7*	1.81	15.7*	1.57	16.2*	1.97	16.1*	1.85
<b>南部鉄道網</b>						<b>南部鉄道網</b>		<b>南部鉄道網</b>		<b>南部鉄道網</b>		<b>南部鉄道網</b>	
容積重 (lb/bu)	357	58.7	1.35	46.4	63.0	58.9	1.27	58.7	1.12	58.8	1.19	58.6	1.23
容積重 (kg/hl)	357	75.6	1.74	59.7	81.1	75.8	1.64	75.6	1.45	75.7	1.53	75.4	1.58
BCFM (%)	364	0.5	0.46	0.0	5.9	0.9*	0.59	0.7*	0.42	0.8*	0.47	0.8*	0.48
破損粒 (%)	364	0.4	0.35	0.0	5.0	0.7*	0.44	0.6*	0.29	0.6*	0.34	0.6*	0.35
異物 (%)	364	0.1	0.17	0.0	2.3	0.2*	0.24	0.2*	0.19	0.2*	0.21	0.2*	0.21
総損傷 (%) <sup>2</sup>	355	0.9	0.94	0.0	26.0	1.1*	0.93	0.8	0.72	1.4*	0.97	1.4*	1.04
熱損傷 (%)	355	0.0	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.0*	0.00	0.0*	0.00
水分含量 (%)	363	15.8	1.83	7.4	25.7	15.9	2.13	15.5*	1.74	15.5*	1.68	15.7	1.61

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

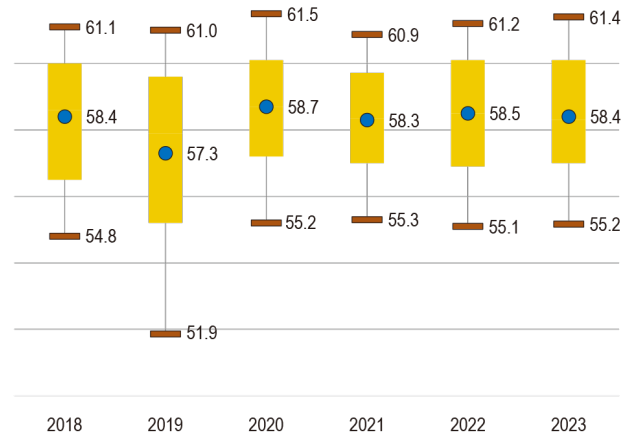
<sup>1</sup> ECAの結果は複合統計であるため、ECAのサンプル数の合計は米国集計を超える。本年の報告書では611サンプルを試験したが、重量が1000グラム以下のサンプルがいくつか含まれていたため、等級ファクターごとの試験結果は611未満である。40サンプルに参加したエレベーターのサンプルバッグ上には流入水分含量が示されていないため、水分含量が含まれたサンプルは571しかない。

<sup>2</sup> 収穫時母集団の平均値を予測するための相対許容誤差は±10.0%を超える。

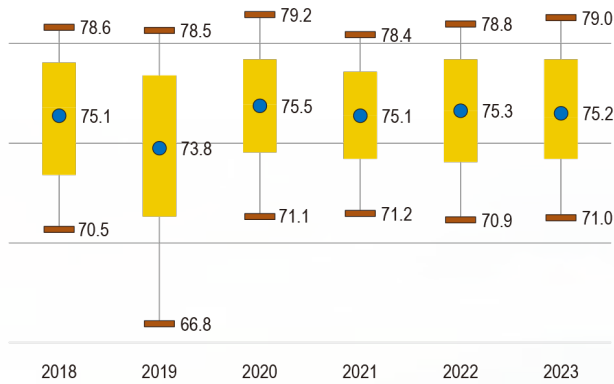
等級ファクター  
6年集計比較



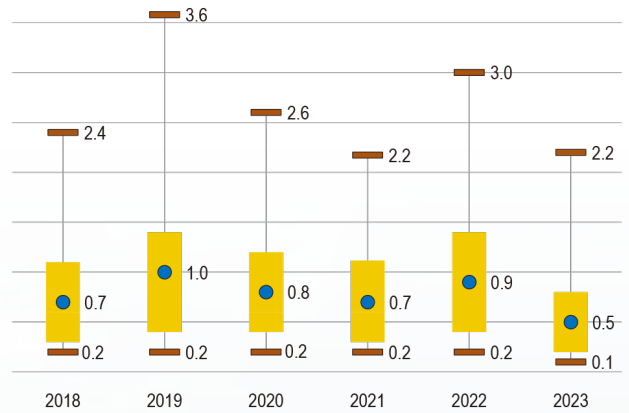
容積重 (lb/bu)



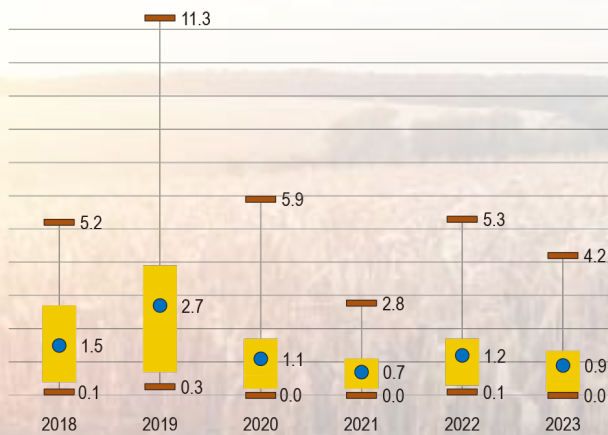
容積重 (kg/hl)



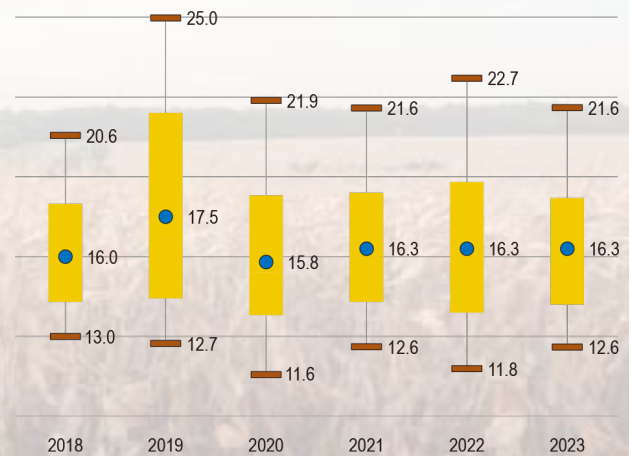
BCFM (%)



総損傷 (%)



水分含量 (%)





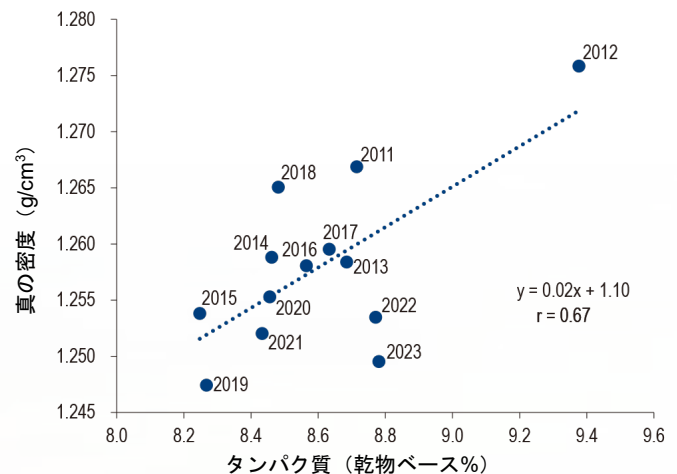
## C. 化学組成

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

- 2023年の米国集計タンパク質含量平均値(乾物ベース 8.8%)は2022年と同じだが、2021年(8.4%)、5YA および 10YA (いずれも 8.5%) を上回っている。
- ガルフ ECA は、2023年、2022年、2021年、5YA および 10YA のいずれでもすべての ECA の中でデンプン含量平均値が最も高く、タンパク質含量平均値は最も低い。
- 右図に示すように、過去 13 年の米国集計平均値を基準として、タンパク質含量が増加すると、真の密度も上昇している(結果として相関係数は 0.67)。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。
- 2023年の米国集計デンプン含量平均値(乾物ベース 71.9%)は2022年と同じだが、2021年、5YA(いずれも 72.2%)および 10YA (72.7%) を下回っている。

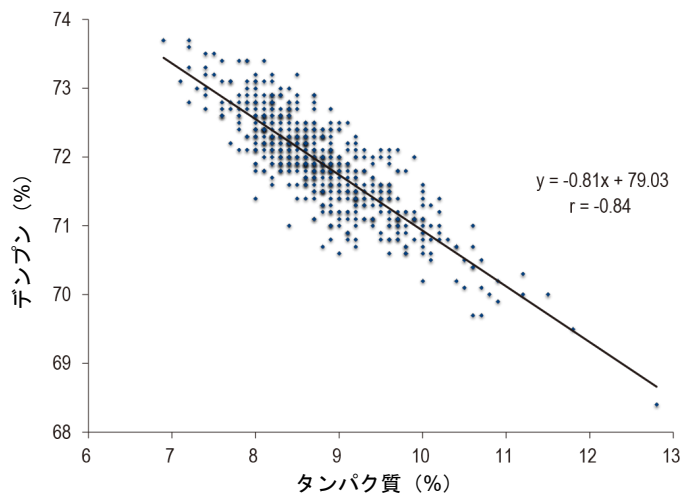
真の密度とタンパク質の相関  
13年間の米国集計



## 概要：化学組成

- 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。
- 2023 年の米国集計油分含量平均値（乾物ベース 3.8%）は 2022 年、5YA および 10YA（いずれも 3.9%）を下回るが、2021 年と同じである。
- 2023 年のガルフ 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 3.8% である。2023 年、2022 年、2021 年、5YA および 10YA の油分含量平均値のばらつきは、ECA 間で一貫して 0.1% 以内である。

デンプンとタンパク質の相関、2023 年米国集計



## タンパク質

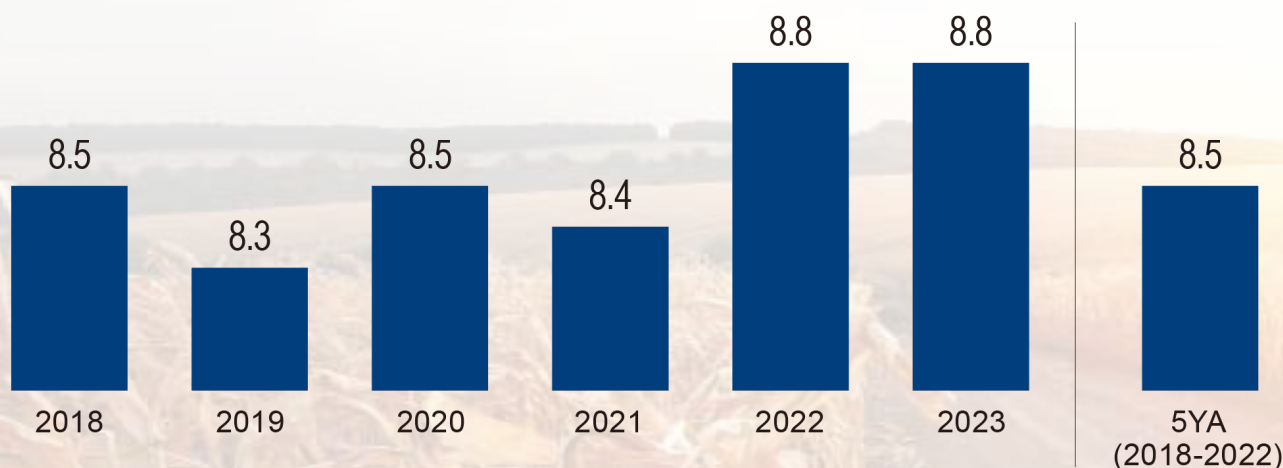
タンパク質は必須含硫アミノ酸を供給し、飼料要求効率を改善するという点で、家禽類および家畜用の飼料にとって非常に重要です。タンパク質は土壌中の可給態窒素が減ったときや収量の高い年には含量が低下する傾向があります。タンパク質の含量は、通常、デンプンの含量と負の相関関係にあります。報告結果は乾物ベースの値です。

### 結果

- 2023年の米国集計タンパク質含量平均値（8.8%）は2022年と同じだが、2021年（8.4%）、5YAおよび10YA（いずれも8.5%）を上回っている。
- 2023年の米国集計タンパク質の標準偏差平均値（0.56%）は2022年および2021年（いずれも0.53%）、5YA（0.54%）および10YA（0.55%）とほぼ同じである。
- 2023年のタンパク質含量のばらつき幅（6.9~12.8%）は2022年（6.4~11.9%）および2021年（6.4~11.8%）の幅とほぼ同じである。
- 2023年のタンパク質含量の分布では、8.0%未満のものが7.7%、8.0~8.9%のものが57.6%、9.0%以上のものが34.7%を占めている。2023年のタンパク質含量分布から、タンパク質含量の多いサンプル数は2022年とほぼ同じだが、2021年よりも多いことを示している。

タンパク質（乾物ベース%）

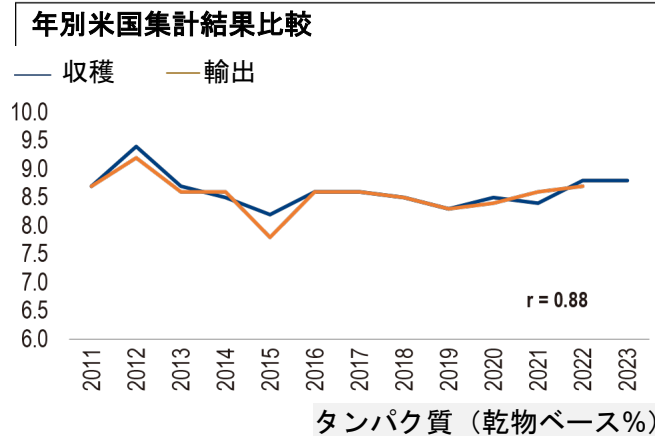
#### 米国集計結果の概要



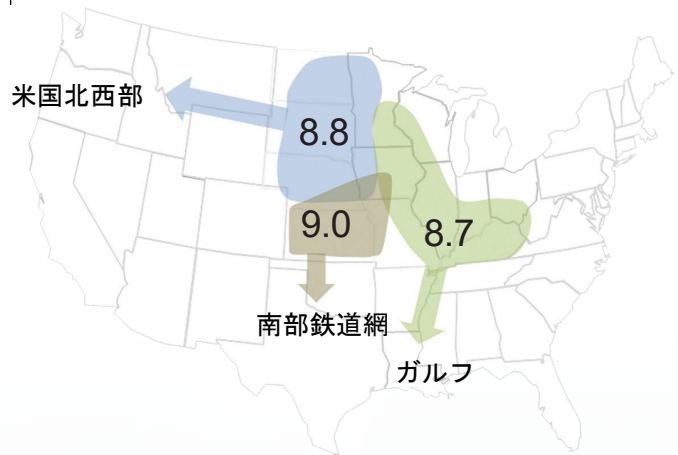


- 収穫から輸出までの追加的な取扱い、ブレンドおよび保管は化学組成の平均値にほとんど影響を及ぼしていない。各年の「収穫時報告書」と「輸出貨物報告書」では、ほぼ同じ化学組成が見られる。右の折れ線グラフは、2011年から2023年までの報告書に記載される米国集計タンパク質含量を示している。高い相関係数 ( $r=0.88$ ) はこの一貫性を示している。
- ガルフ ECA、米国北西部 ECA および南部鉄道網 ECA のタンパク質含量平均値はそれぞれ 8.7%、8.8%および 9.0%である。ガルフ ECA のタンパク質含量の値は、2023年、2022年、2021年、5YA および 10YA のいずれにおいても ECA の中で最も低い。

タンパク質 (乾物ベース%)



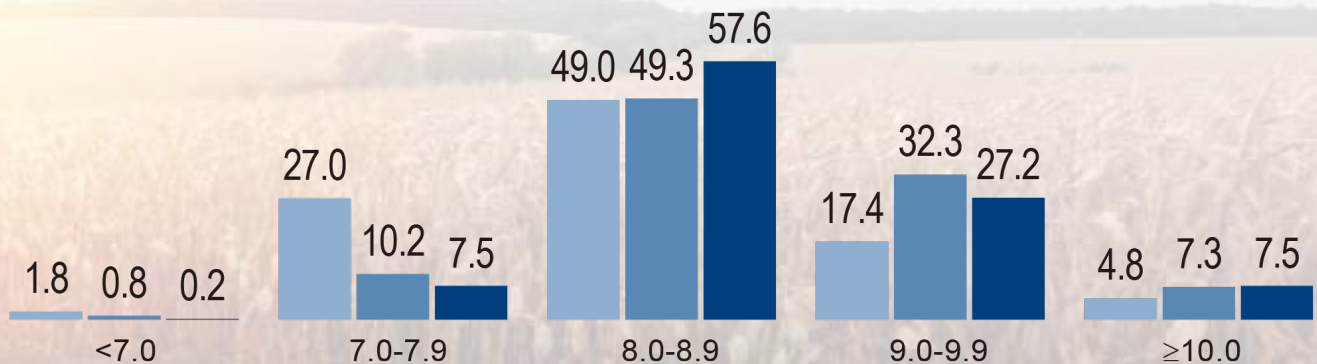
2023年輸出拠点地域別平均



タンパク質 (乾物ベース%)

収穫年別サンプル割合

■ 2021 ■ 2022 ■ 2023



## デンプン

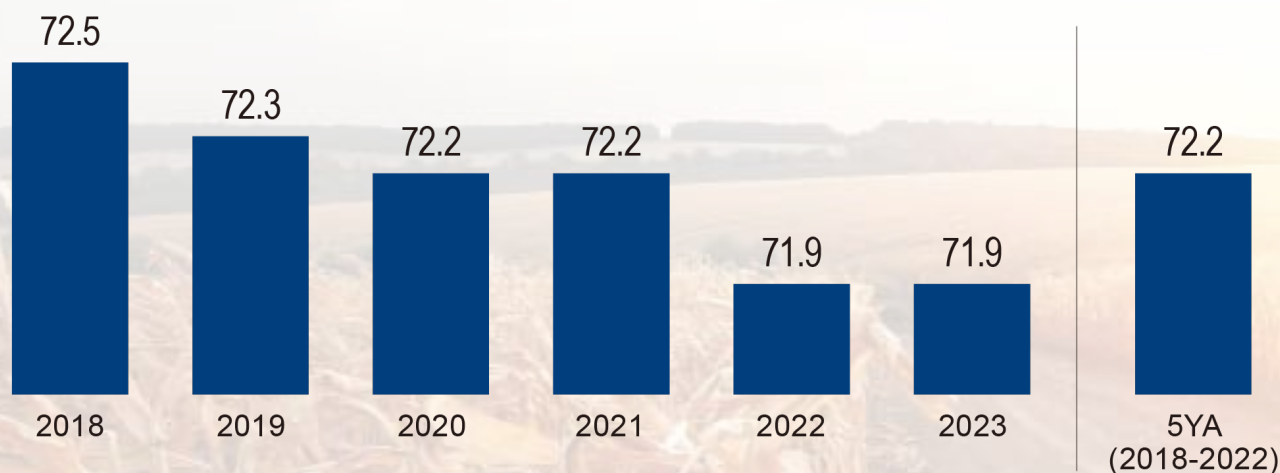
デンプンはウェットミリング業者や乾式粉碎エタノール製造業者が用いるトウモロコシには重要なファクターです。デンプン含量の高さは、多くの場合、穀粒の生育・登熟状態が良好であり、穀粒密度も適度であることを示唆します。通常、デンプン含量はタンパク質含量と負の相関関係にあります。報告結果は乾物ベースの値です。

## 結果

- 2023年の米国集計デンプン含量の平均値（乾物ベース 71.9%）は2022年と同じだが、2021年（72.2%）、5YA（72.2%）および10YA（72.7%）を下回っている。
- 2023年の米国集計デンプン標準偏差値（0.61%）は2022年（0.59%）、2021年（0.54%）、5YA（0.59%）および10YA（0.61%）とほぼ同じである。
- 2023年のデンプン含量のばらつき幅（68.4~73.7%）は2022年（69.1~74.3%）および2021年（68.8~74.0%）とほぼ同じである。
- 2023年のデンプン含量の分布では、72.0%未満のサンプルが50.7%、72.0~72.9%のものが44.0%を占め、73.0%以上のものはわずか5.2%しか占めていない。この分布は、2023年と2022年は高デンプンのサンプル数が2021年より少ないことを示している。

デンプン（乾物ベース%）

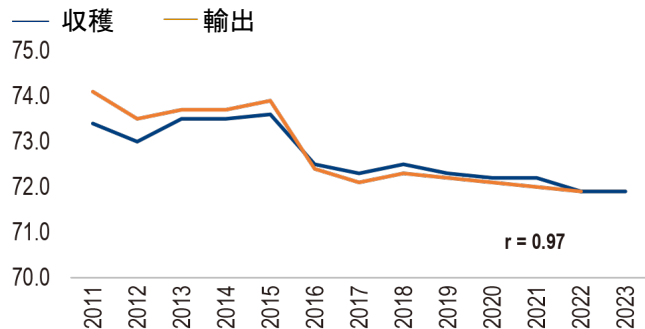
### 米国集計結果の概要



- 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」では、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。高い相関係数 ( $r=0.97$ ) はこの一致性を示している。
- 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 72.0%、71.9%および 71.8%である。2023 年、2022 年、2021 年、5YA および 10YA のいずれでも、ガルフ ECA のデンプン含量平均値は最も高い。ガルフ ECA はまた 2023 年、2022 年、2021 年、5YA、10YA のいずれでも、タンパク質含量は最も低い。

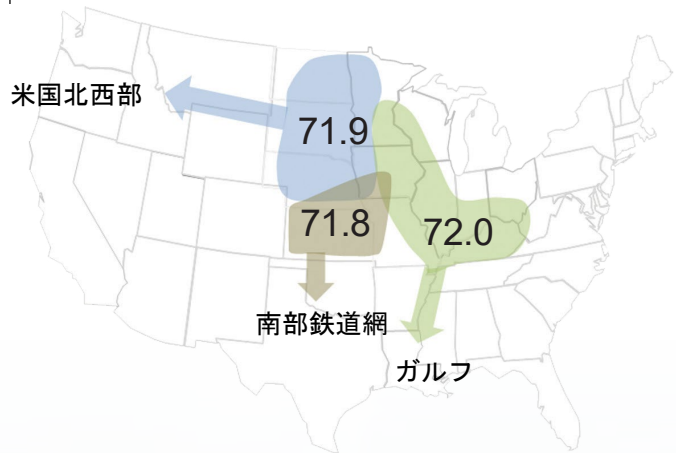
デンプン (乾物ベース%)

年別米国集計結果比較



デンプン (乾物ベース%)

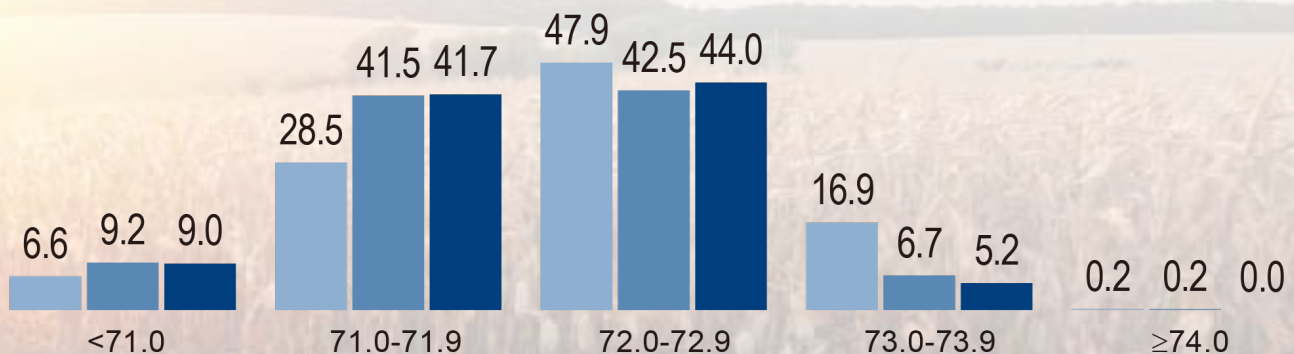
2023 年輸出拠点地域別平均



デンプン (乾物ベース%)

収穫年別サンプル割合

■ 2021 ■ 2022 ■ 2023





油分

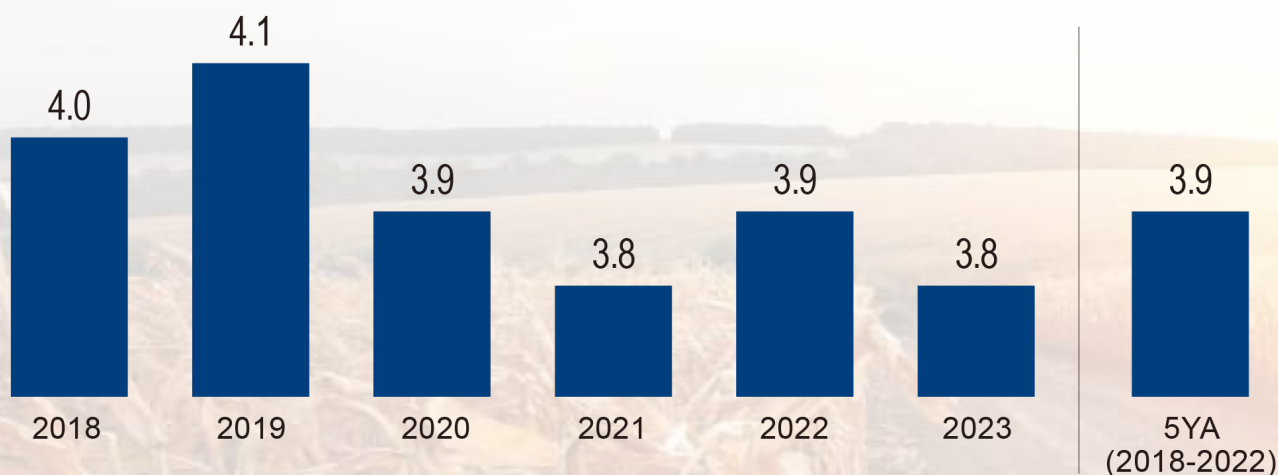
油分は家禽類および家畜用の飼料にとって必須の成分です。油分はエネルギー源であり、脂溶性ビタミンを利用可能にし、特定の必須脂肪酸をもたらします。油分はトウモロコシのウェットミリングおよびドライミリング工程の重要な併産物でもあります。報告結果は乾物ベースの値です。

結果

- 2023年の米国集計油分含量の平均値（3.8%）は2022年、5YA および 10YA（いずれも 3.9%）を下回るが、2021年と同じである。
- 2023年の米国集計油分含量サンプルの標準偏差（0.23%）は2021年および5YAと同じで、2022年（0.24%）および10YA（0.25%）とほぼ同じである。
- 2023年の油分含量のばらつき幅（3.2~4.6%）は2022年（3.0~4.8%）および2021年（3.0~4.5%）とほぼ同じである。
- 2023年の油分含量の分布では、3.7%未満のサンプルが24.4%、3.7~4.2%のものが71.2%、4.3%以上のものが4.5%を占めている。この分布は、油分含量が4.0%以上のサンプル数が2022年または2021年を下回っていることを示している。

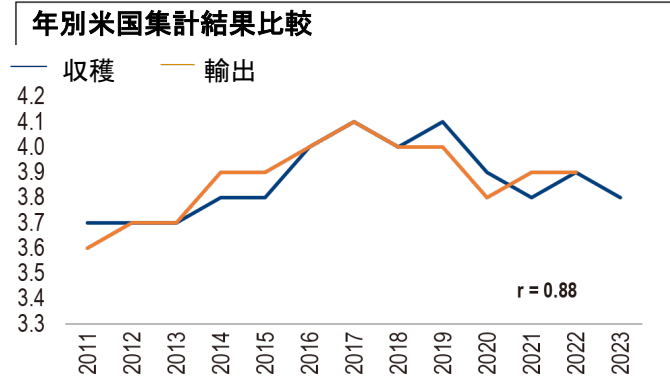
油分（乾物ベース%）

米国集計結果の概要

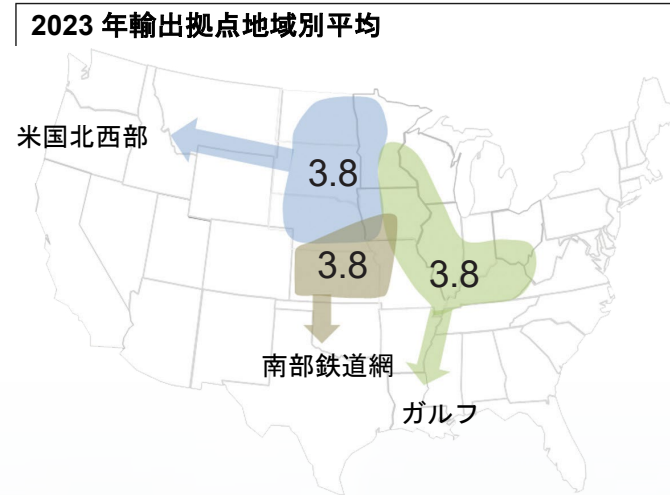


- 収穫から輸出までの追加的な取扱い、ブレンドおよび保管は化学組成の平均値にほとんど影響を及ぼしていない。各年の「収穫時報告書」と「輸出貨物報告書」では、ほぼ同じ化学組成が確認される。右の折れ線グラフは、これらの報告書のそれぞれで確認される米国集計油分含量を示している。高い相関係数 ( $r = 0.88$ ) はこの一致性を示している。
- ガルフ ECA、米国北西部 ECA および南部鉄道網 ECA の油分含量平均値はいずれも 3.8%である。2023 年、2022 年、2021 年、5YA および 10YA のいずれにおいても、ECA 間の油分含量平均値のばらつきは 0.1%以下である。

油分（乾物ベース%）



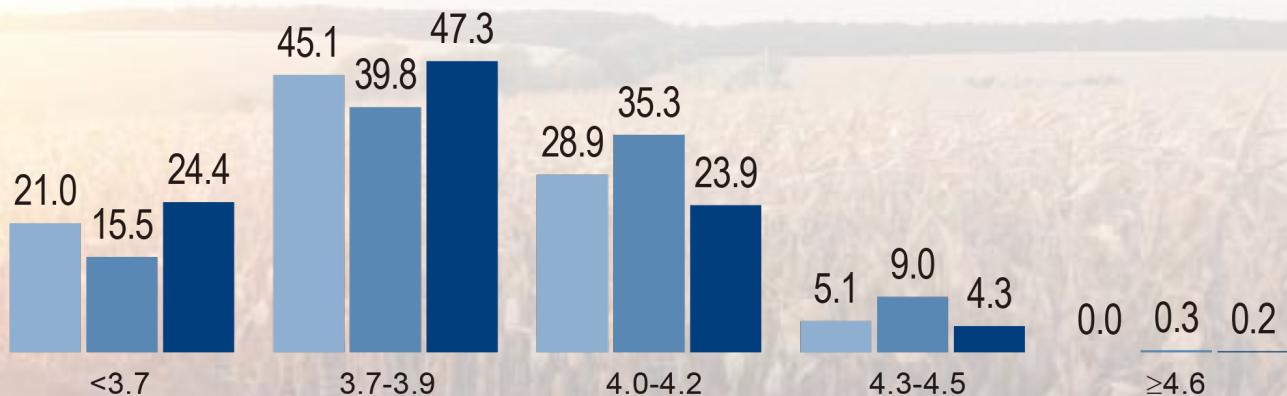
油分（乾物ベース%）



油分（乾物ベース%）

### 収穫年別サンプル割合

■ 2021 ■ 2022 ■ 2023



**まとめ：化学組成**

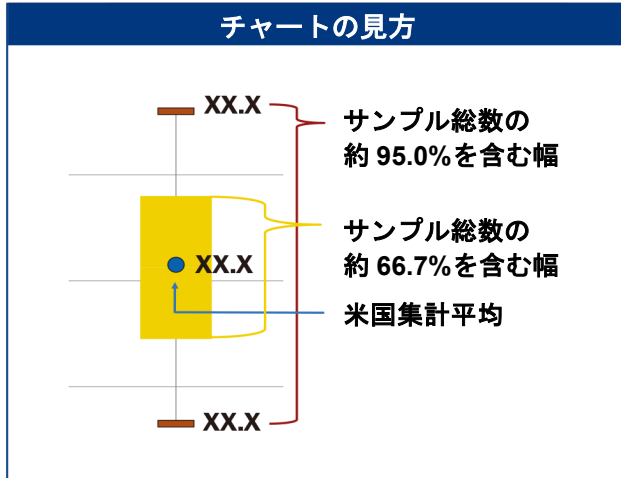
2023収穫					2022収穫		2021収穫		5年平均 (2018~2022)		10年平均 (2013~2022)		
サンプル数 <sup>1</sup>	平均	標準偏差	最小	最大	平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差	
													米国集計
<b>米国集計</b>					<b>米国集計</b>		<b>米国集計</b>		<b>米国集計</b>		<b>米国集計</b>		
タンパク質 (乾物ベース%)	611	8.8	0.56	6.9	12.8	8.8	0.53	8.4*	0.53	8.5*	0.54	8.5*	0.55
デンプン (乾物ベース%)	611	71.9	0.61	68.4	73.7	71.9	0.59	72.2*	0.54	72.2*	0.59	72.7*	0.61
油分 (乾物ベース%)	611	3.8	0.23	3.2	4.6	3.9*	0.24	3.8	0.23	3.9*	0.23	3.9*	0.25
<b>ガルフ</b>					<b>ガルフ</b>		<b>ガルフ</b>		<b>ガルフ</b>		<b>ガルフ</b>		
タンパク質 (乾物ベース%)	557	8.7	0.51	6.9	12.8	8.6*	0.50	8.2*	0.52	8.3*	0.53	8.4*	0.54
デンプン (乾物ベース%)	557	72.0	0.59	68.4	73.7	72.1*	0.59	72.4*	0.53	72.4*	0.58	72.8*	0.61
油分 (乾物ベース%)	557	3.8	0.24	3.2	4.6	3.9*	0.25	3.8	0.24	3.9*	0.24	3.9*	0.26
<b>米国北西部</b>					<b>米国北西部</b>		<b>米国北西部</b>		<b>米国北西部</b>		<b>米国北西部</b>		
タンパク質 (乾物ベース%)	254	8.8	0.66	7.1	11.8	9.0*	0.55	8.9*	0.53	8.6*	0.57	8.7	0.58
デンプン (乾物ベース%)	254	71.9	0.65	69.5	73.7	71.7*	0.57	71.7*	0.53	72.0*	0.59	72.5*	0.61
油分 (乾物ベース%)	254	3.8	0.23	3.2	4.6	3.9*	0.21	3.9	0.21	4.0*	0.22	3.9*	0.24
<b>南部鉄道網</b>					<b>南部鉄道網</b>		<b>南部鉄道網</b>		<b>南部鉄道網</b>		<b>南部鉄道網</b>		
タンパク質 (乾物ベース%)	365	9.0	0.57	7.2	12.8	9.0	0.55	8.5*	0.53	8.7*	0.54	8.7*	0.56
デンプン (乾物ベース%)	365	71.8	0.62	68.4	73.4	71.8	0.61	72.2*	0.57	72.1*	0.59	72.5*	0.60
油分 (乾物ベース%)	365	3.8	0.22	3.2	4.4	3.9*	0.24	3.9*	0.22	3.9*	0.22	3.9*	0.24

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

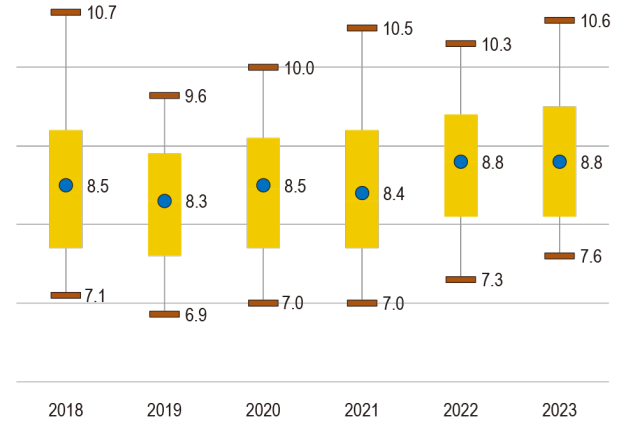
<sup>1</sup> ECA の結果は複合統計であるため、3ECA のサンプル数の合計は米国集計を超える。



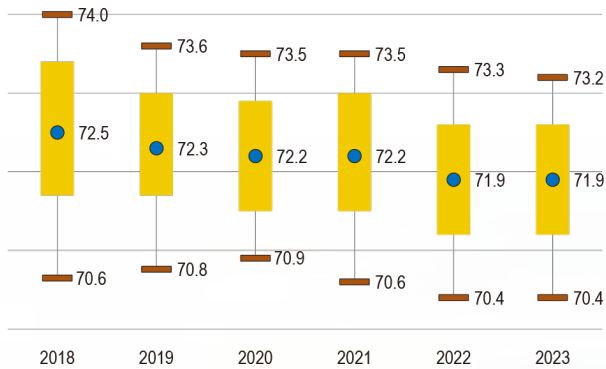
化学組成  
6年集計比較



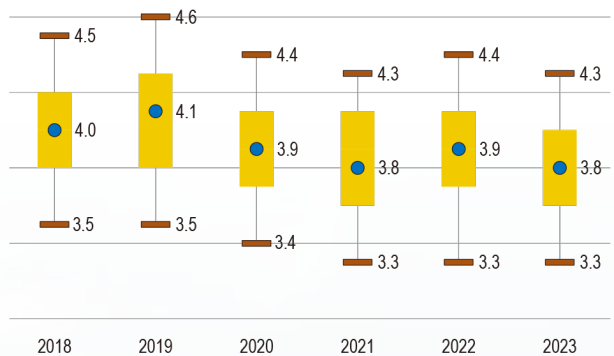
タンパク質（乾物ベース%）



デンプン（乾物ベース%）



油分（乾物ベース%）

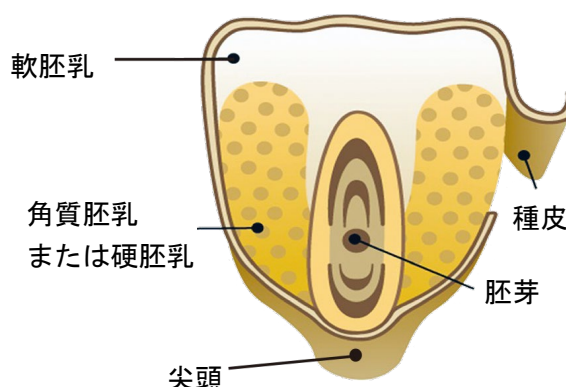


## D. 物理的ファクター

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res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（角質胚乳または硬胚乳とも呼ばれる）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

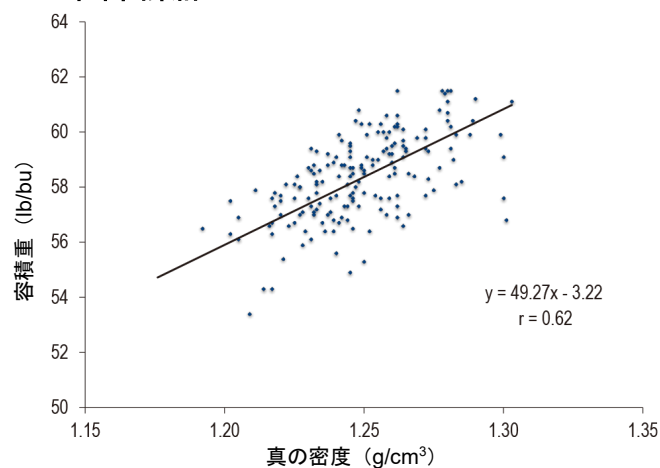
- 2023年の米国集計ストresクラックの平均値（19.2%）は2022年（6.9%）、2021年（5.1%）、5YA（6.3%）および10YA（6.0%）を上回っている。
- ガルフECA、米国北西部ECAおよび南部鉄道網ECAのストresクラック平均値はそれぞれ22.9%、11.5%および17.7%である。2023年、2022年、2021年、5YAおよび10YAのいずれにおいても、ガルフECAのストresクラック平均値がすべてのECAの中で最も高い。
- 2023年の米国集計の百粒重平均値は35.52gで、2022年（33.94g）を上回るが、2021年（34.98g）、5YAおよび10YA（いずれも34.62g）とほぼ同じである。
- 2023年の米国集計穀粒容積平均値は0.28 cm<sup>3</sup>であり、2022年（0.27 cm<sup>3</sup>）を上回り、2021年と同じである。2023年の穀粒容積平均値は、5YAおよび10YA（いずれも0.28 cm<sup>3</sup>）と統計的な差異がある（上回っている）。
- 2023年、2022年、2021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

- 2023年の米国集計の真の穀粒密度の平均値は  $1.250 \text{ g/cm}^3$  で 2022年 ( $1.253 \text{ g/cm}^3$ )、2021年 ( $1.252 \text{ g/cm}^3$ ) とほぼ同じであり、5YA ( $1.255 \text{ g/cm}^3$ ) および 10YA ( $1.256 \text{ g/cm}^3$ ) を下回っている。
- 3ECAのうち、米国北西部は 2023年、2022年、2021年、5YA および 10YA のいずれにおいても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。右図に示すように、容積重は真の密度の影響を受ける ( $r = 0.62$ )。容積重は、水分含量、種皮の損傷(完全粒)、破損、その他のファクターの影響も受ける。
- 2023年の米国集計完全粒の平均値は 92.5% で 2022年 (91.0%) および 5YA (91.9%) を上回るが、2021年 (92.3%) および 10YA (92.6%) とほぼ同じである。
- 2022年 (67.3%) および 2021年 (76.2%) に対し、2023年のサンプルのうち完全粒が 90.0%以上のサンプルは 78.2%である。この分布は 2023年の完全粒の割合が 2022年より高いことを示し、これは 2023年に見られた BCFM が前年より少ないことと一致している。
- 2023年米国集計硬胚乳率平均値 (85%) は 2022年 (88%) を下回るが、2021年 (81%)、5YA および 10YA (いずれも 82%) を上回っている。

### 容積重と真の密度の相関

#### 2023年米国集計





## 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、または乾燥中の低湿度条件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もある。

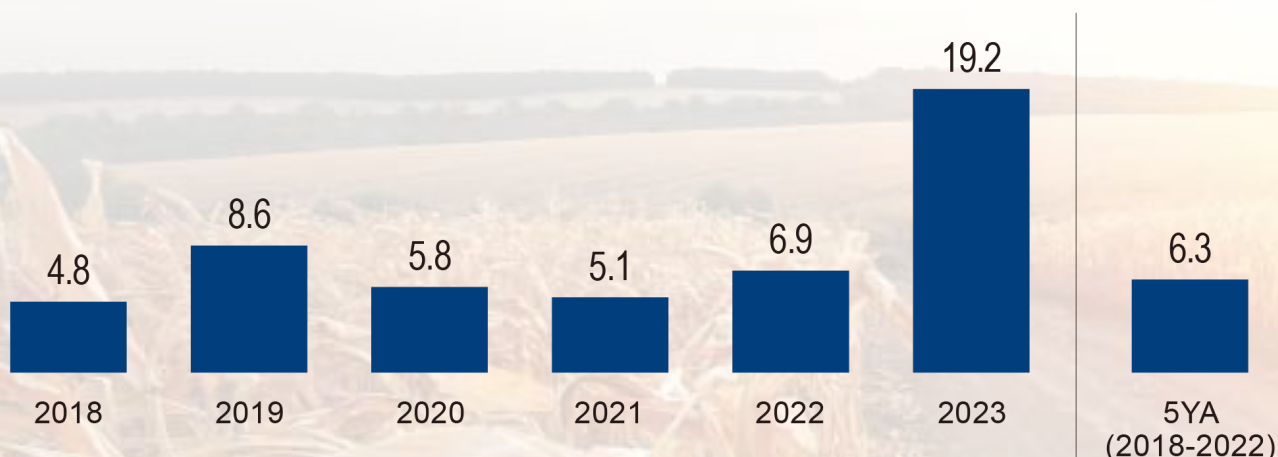
**ドライミリング**：大型フレーキンググリッツの収量が低下する。

**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、これらの要素はすべて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もあり、そのためにストレスクラックの発生も増える傾向にあります。

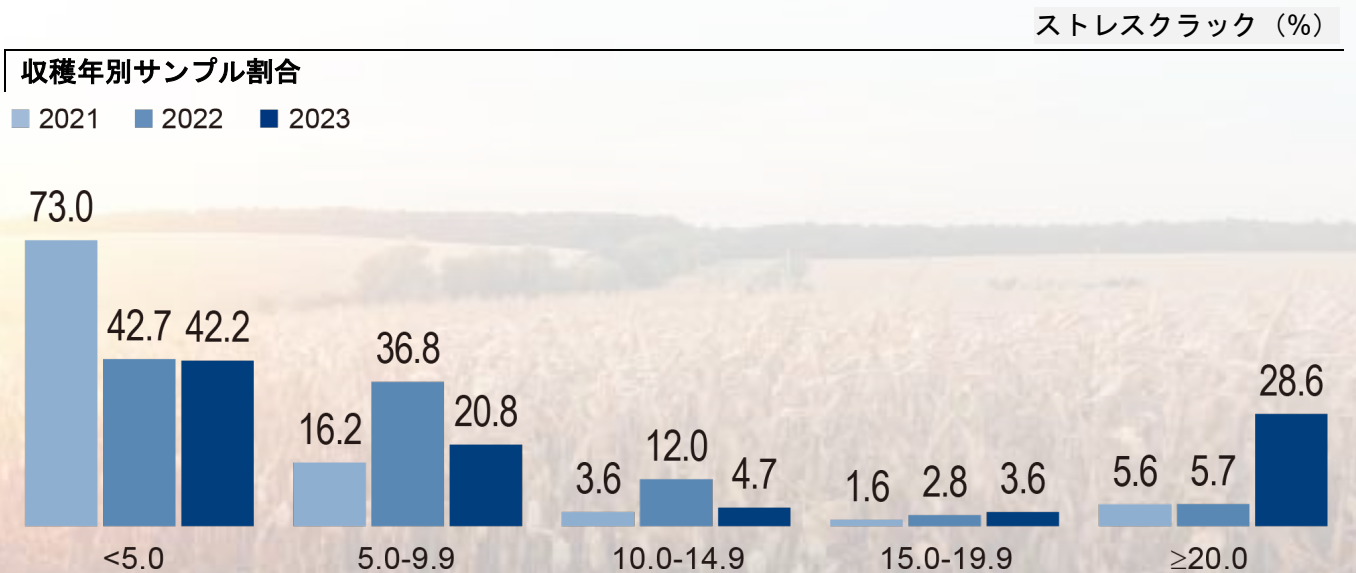
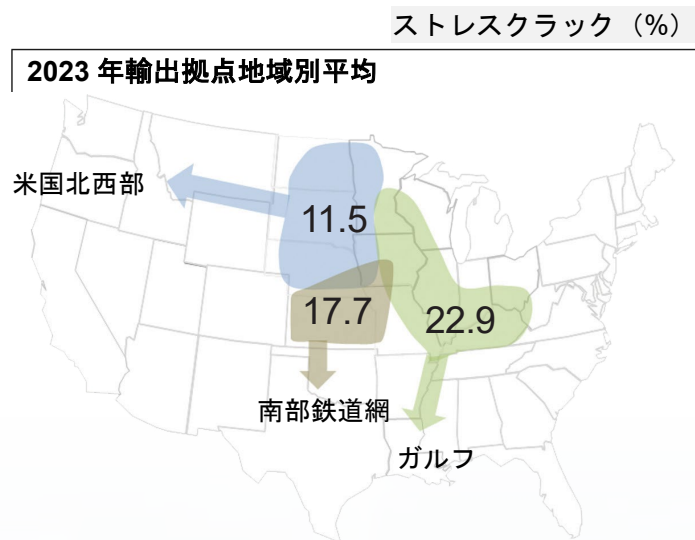
ストレスクラック (%)

### 米国集計結果の概要



結果

- 2023年の米国集計のストレスクラック率の平均値は19.2%で、2022年(6.9%)、2021年(5.1%)、5YA(6.3%)および10YA(6.0%)を上回っている。
- 2023年の米国集計ストレスクラック率の標準偏差(18.6%)は2022年(5.2%)、2021年(6.0%)、5YA(6.0%)および10YA(6.7%)を上回っている。
- 2023年のストレスクラック率5.0%未満のサンプルの割合(42.2%)は2022年(42.7%)および2021年(73.0%)を下回っている。ストレスクラック率の分布は、2023年のトウモロコシの方が2022年および2021年のトウモロコシより破損しやすい可能性を示唆している。
- ガルフ ECA、米国北西部 ECA および南部鉄道網 ECA の米国集計ストレスクラック率の平均値は、それぞれ 22.9%、11.5% および 17.7% である。2023 年、2022 年、2021 年、5YA および 10YA のいずれにおいても、ガルフ ECA のストレスクラック率平均値がすべての ECA の中で最も高い。破損レベルは比較的低いままであったにもかかわらず 2023 年にストレスクラックレベルが上昇したのは、干ばつストレスがあったことと、初期に圃場が乾燥したことが組み合わさったからかもしれない。



## 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。

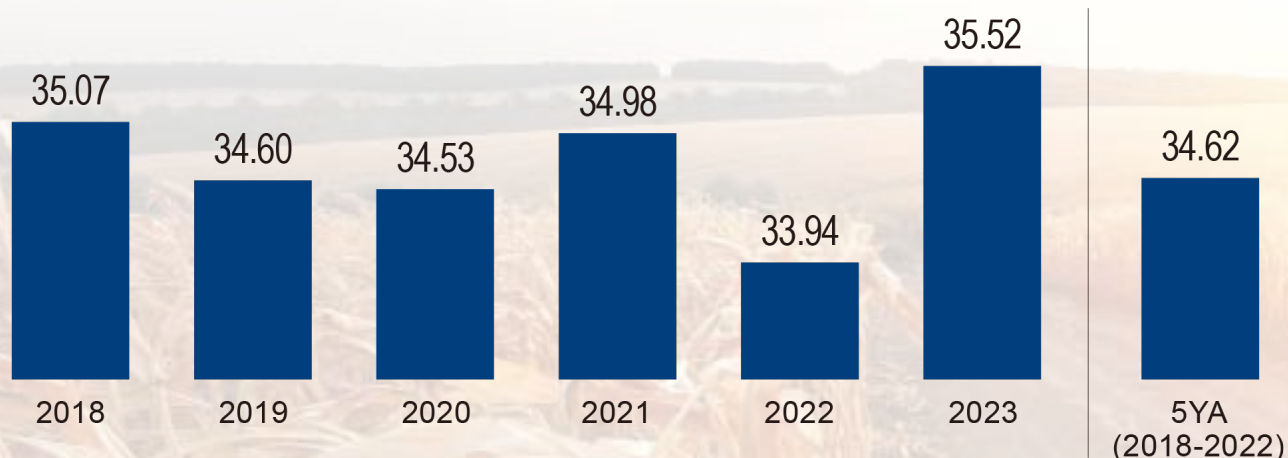
「2020/2021 年収穫時報告書」から、マイコトキシン試験用のサンプルに限定して百粒重試験が実施されることになりました。このプロトコルにより、今回の「収穫時報告書」では百粒重試験を実施するサンプル数が 181 に減りましたが、この品質ファクターの相対許容誤差は目標精度レベルである 10.0%以下をはるかに下回ったままになると予想されました。この調査に用いたサンプリング基準の詳細は「調査および統計分析の方法」のセクションに記載されています。

## 結果

- 2023 年米国集計百粒重平均値は 35.52 g であり、これは 2022 年（33.94 g）を上回るが、2021 年（34.98 g）、5YA および 10YA（いずれも 34.62 g）とほぼ同じである。
- 2023 年米国集計百粒重のばらつき（標準偏差 3.76 g）は 2022 年（4.13 g）を下回るが、2021 年（3.50 g）、5YA（3.31 g）および 10YA（2.97 g）を上回っている。

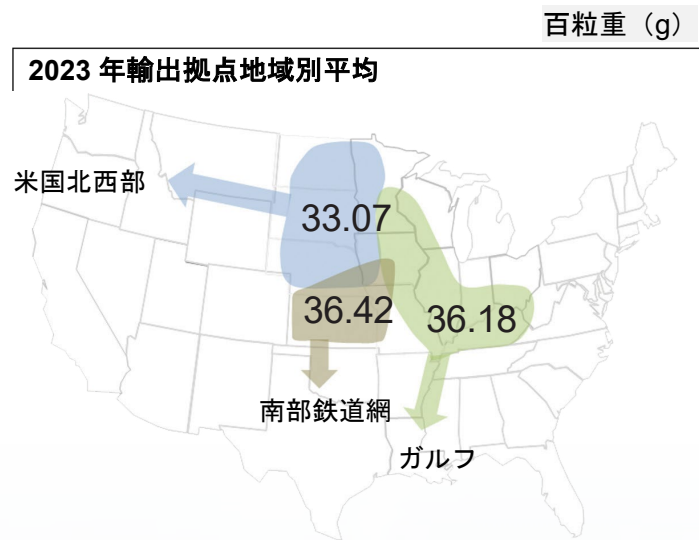
百粒重 (g)

### 米国集計結果の概要





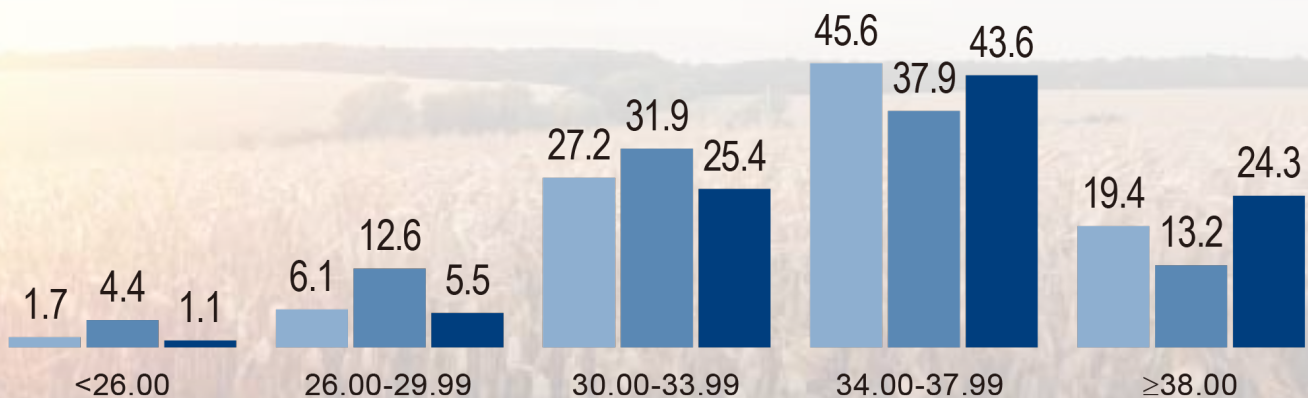
- 2023年の百粒重のばらつきの幅（17.60～45.40 g）は2022年（22.05～43.32 g）および2021年（23.52～43.87 g）を上回っている。
- 2023年の百粒重の分布をみると、百粒重が34.0 g以上のものはサンプルの67.9%となり、これに対し2022年は51.1%、2021年は65.0%である。この分布は、2023年のサイズの大きな穀粒の割合が2022年を大きく上回ることを示している。
- 米国北西部 ECA の百粒重平均値が最も低く（33.07 g）、これに対しガルフ ECA は36.18 g、南部鉄道網 ECA は36.42 gである。2023年、2022年、2021年、5YA および 10YA のいずれにおいても、米国北西部 ECA の百粒重が最も軽い。



百粒重 (g)

## 収穫年別サンプル割合

■ 2021 ■ 2022 ■ 2023



## 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<sup>3</sup>) 単位で表示します。穀粒容積は、多くの場合生育条件の指標となります。乾燥した条件下では穀粒の体積は平均値を下回ることがあります。シーズン後半で干ばつに見舞われると登熟度が低下する可能性があります。小さい粒あるいは丸い粒では胚芽を取り除くことが困難になります。加えて、粒が小さいと加工業者の洗浄損が増加し、繊維収率が高まる可能性があります。

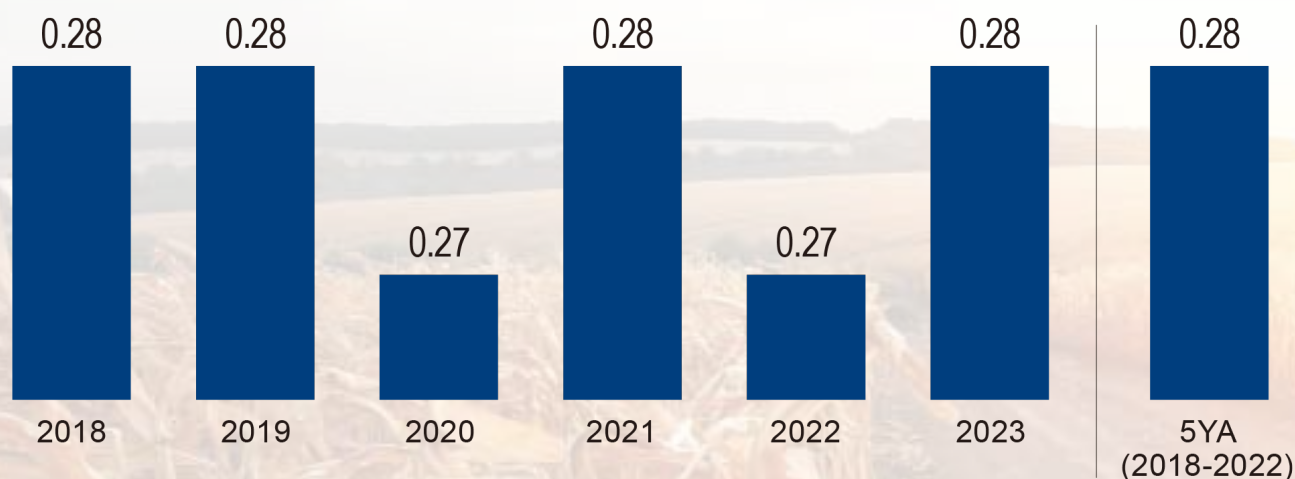
「2020/2021 年収穫時報告書」から、マイコトキシン試験用のサンプルに限定して穀粒容積試験が実施されることになりました。このプロトコルにより、「2023/2024 年収穫時報告書」では穀粒容積試験を実施するサンプル数が 181 に減りましたが、この品質ファクターの相対許容誤差は目標精度レベルである 10.0% 以下をはるかに下回ったままになると予想されました。この調査に用いたサンプリング基準の詳細は「調査および統計分析の方法」のセクションに記載されています。

## 結果

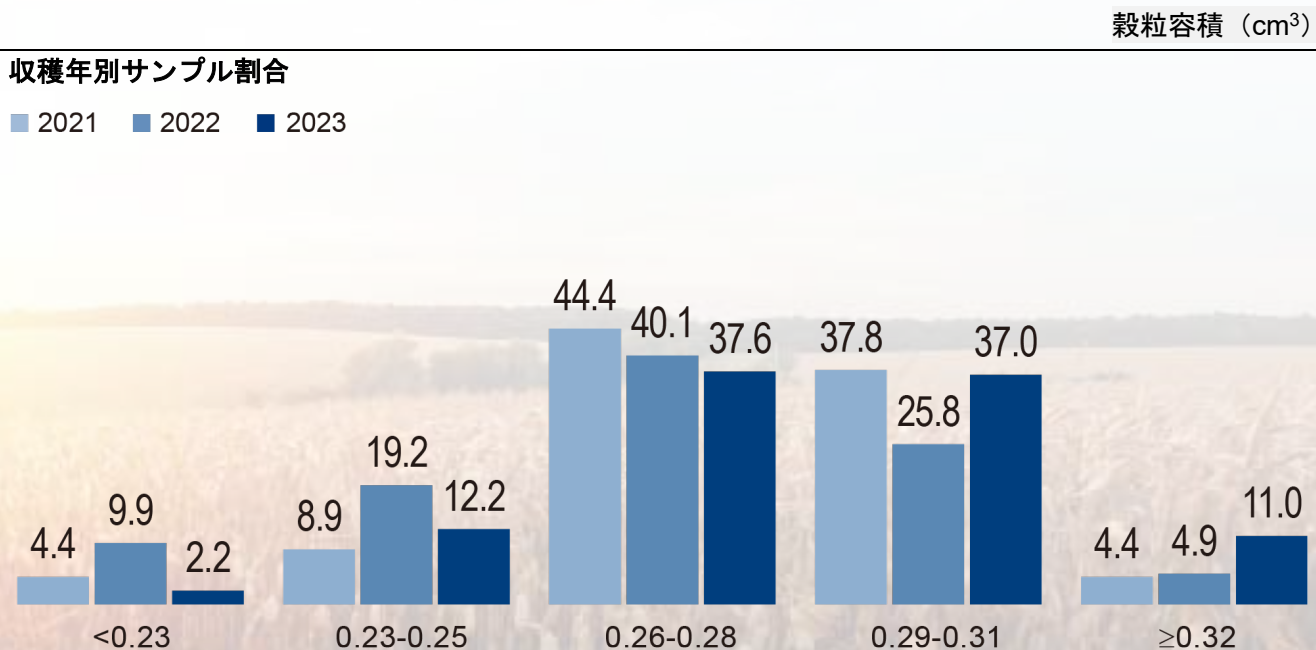
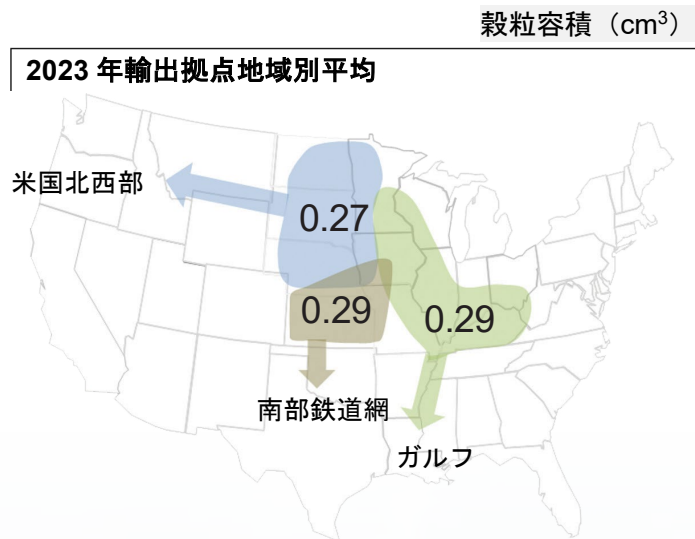
- 2023 年の米国集計穀粒容積の平均値は 0.28 cm<sup>3</sup> で、2022 年 (0.27 cm<sup>3</sup>) を上回り、2021 年と同じである。2023 年の穀粒容積平均値は、5YA および 10YA (いずれも 0.28 cm<sup>3</sup>) と統計的な差異がある (上回っている)。
- 2023 年、米国集計穀粒容積の標準偏差は 0.03 cm<sup>3</sup> で、2022 年および 2021 年と同じだが、5YA および 10YA (いずれも 0.02 cm<sup>3</sup>) を上回る。

穀粒容積 (cm<sup>3</sup>)

### 米国集計結果の概要



- 2023年の穀粒容積のばらつき幅 (0.15~0.36 cm<sup>3</sup>) は 2022年 (0.18~0.33 m<sup>3</sup>) および 2021年 (0.19~0.35 cm<sup>3</sup>) とほぼ同じである。
- 2022年 (30.7%)、2021年 (42.2%) に対し、2023年の穀粒容積の分布では、0.29 cm<sup>3</sup> 以上のものがサンプルの 48.0%となった。この分布は 2023年の大きな穀粒の割合が 2022年および 2021年の割合を上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 の穀粒容積の平均値はそれぞれ、0.29、0.27 および 0.29 cm<sup>3</sup> である。2023年、2022年、2021年、5YA および 10YA のいずれにおいても、米国北西部 ECA の穀粒容積平均値が 3ECA の中で最も低い。





## 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、すなわち押し分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<sup>3</sup>) 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<sup>3</sup> 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<sup>3</sup> 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。

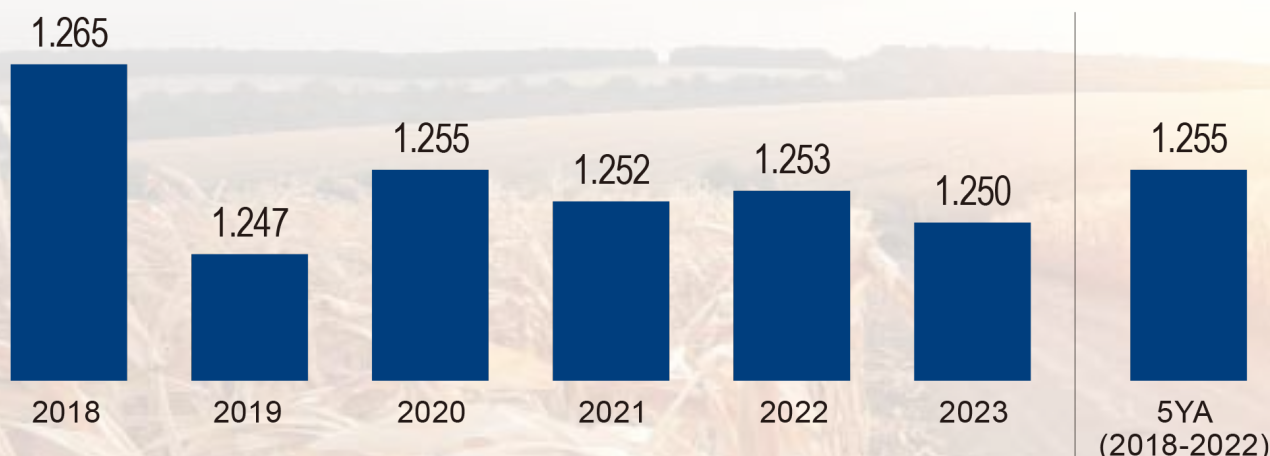
「2020/2021 年収穫時報告書」から、マイコトキシン試験用のサンプルに限定して、真の密度を計算するのに必要な 2 つの分析試験である百粒重および穀粒容積試験が実施されることになりました。このプロトコルにより、「2023/2024 年収穫時報告書」では真の密度の結果を調べるサンプル数が 181 に減りましたが、この品質ファクターの相対許容誤差は目標精度レベルである 10.0%以下をはるかに下回ったままになると予想されました。この調査に用いたサンプリング基準の詳細は「調査および統計分析の方法」のセクションに記載されています。

## 結果

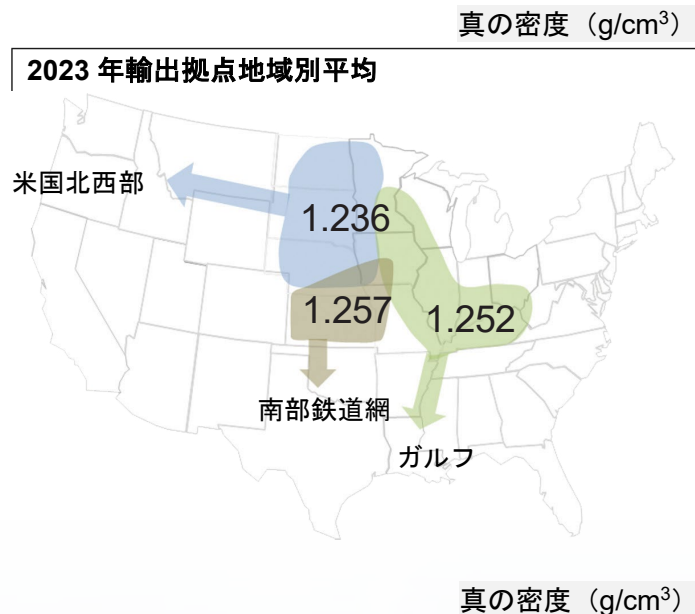
- 2023 年の米国集計真の穀粒密度の平均値 (1.250 g/cm<sup>3</sup>) は、2022 年 (1.253 g/cm<sup>3</sup>) および 2021 年 (1.252 g/cm<sup>3</sup>) とほぼ同じであるが、5YA (1.255 g/cm<sup>3</sup>) および 10YA (1.256 g/cm<sup>3</sup>) は下回っている。過去 13 年にわたり、真の密度はタンパク質含量が多いほど上昇する傾向にある (相関係数は 0.67)。

真の密度 (g/cm<sup>3</sup>)

### 米国集計結果の概要

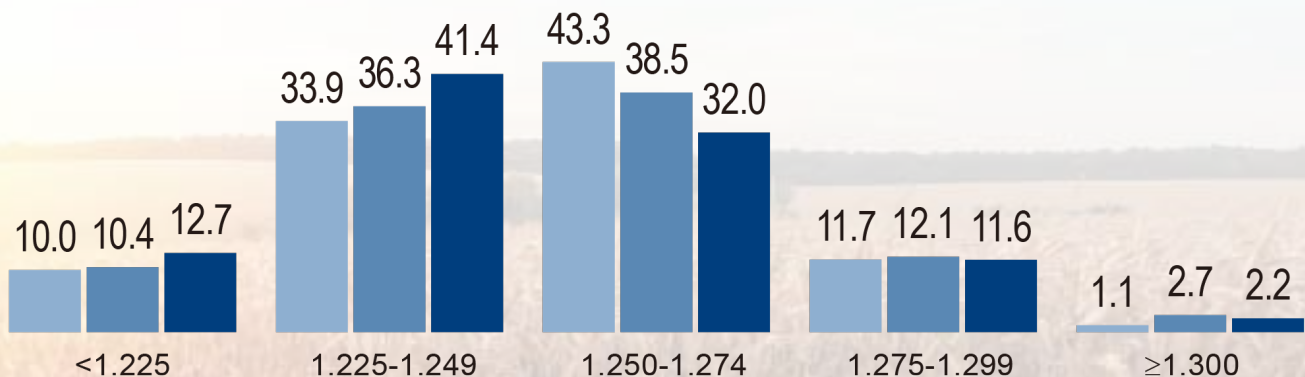


- 2023 年の標準偏差に基づく真の密度のばらつきの幅 (0.023 g/cm<sup>3</sup>) は 2022 年 (0.022 g/cm<sup>3</sup>)、2021 年 (0.021 g/cm<sup>3</sup>)、5YA (0.021 g/cm<sup>3</sup>)、および 10YA (0.020 g/cm<sup>3</sup>) とほぼ同じである。
- 2023 年の真の密度のばらつきは、1.176~1.303 g/cm<sup>3</sup> で、これに対し、2022 年は 1.169~1.316 g/cm<sup>3</sup>、および 2021 年は 1.196~1.305 g/cm<sup>3</sup> である。
- 2023 年のサンプル中、真の密度が 1.275 g/cm<sup>3</sup> 以上のものは 13.8%で、これに対し 2022 年は 14.8%、2021 年は 12.8%である。多くの場合、1.275 g/cm<sup>3</sup> を上回る値は硬いトウモロコシ、1.275 g/cm<sup>3</sup> を下回るものは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 2023 年サンプルの硬度が過去 2 年とほぼ同じ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 の真の穀粒密度の平均値はそれぞれ 1.252、1.236 および 1.257 g/cm<sup>3</sup> である。2023 年、2022 年、2021 年、5YA および 10YA のいずれにおいても、米国北西部 ECA の真の密度およびかさ密度 (容積重) の平均値は他の ECA 地域の数値を下回っている。



**収穫年別サンプル割合**

■ 2021 ■ 2022 ■ 2023



完全粒

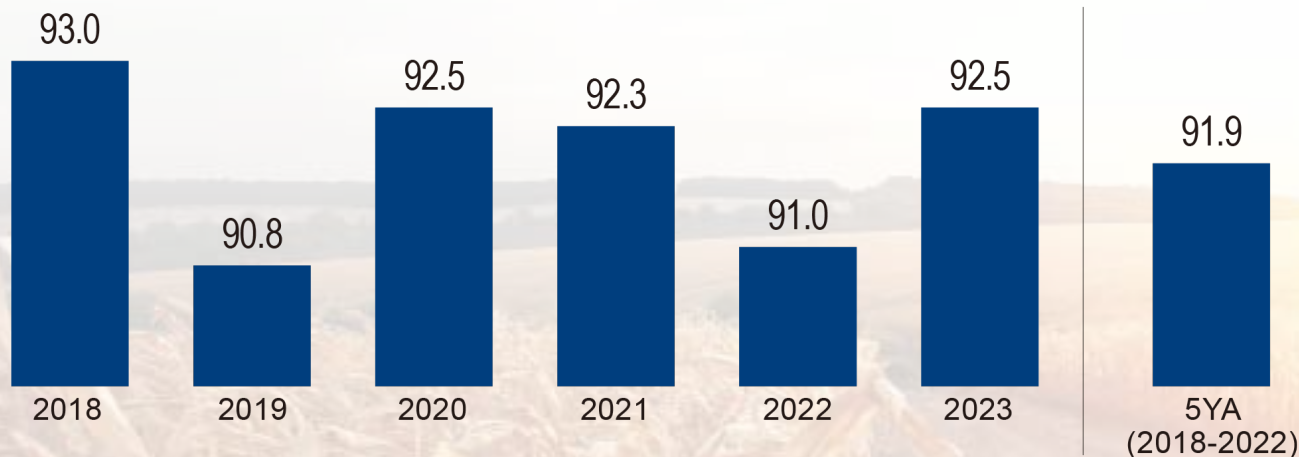
その名称から、完全粒と BCFM との間に何らかの負の相関関係があるかのように思われますが、完全粒試験は BCFM 試験による破損粒の割合とは異なる情報を提供するものです。破損粒は物質のサイズだけで決まります。完全粒というのはその名が示すように、サンプルに含まれる完全無傷で、種皮に損傷がなく、欠損のない穀粒のことで、値はパーセントで示されます。

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、可溶性画分の損失、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<sup>3</sup>。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

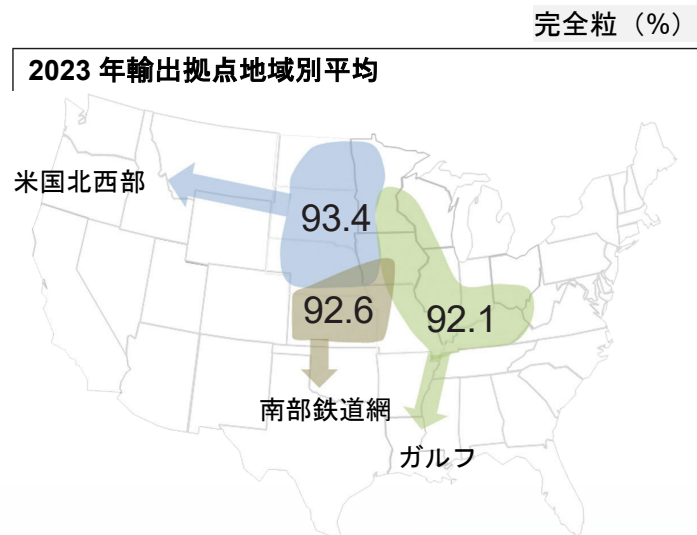


<sup>3</sup> Foster, G. H. および L. E. Holman (1973 年) 「Grain Breakage Caused by Commercial Handling Methods」 USDA. ARS Marketing Research Report Number 968



結果

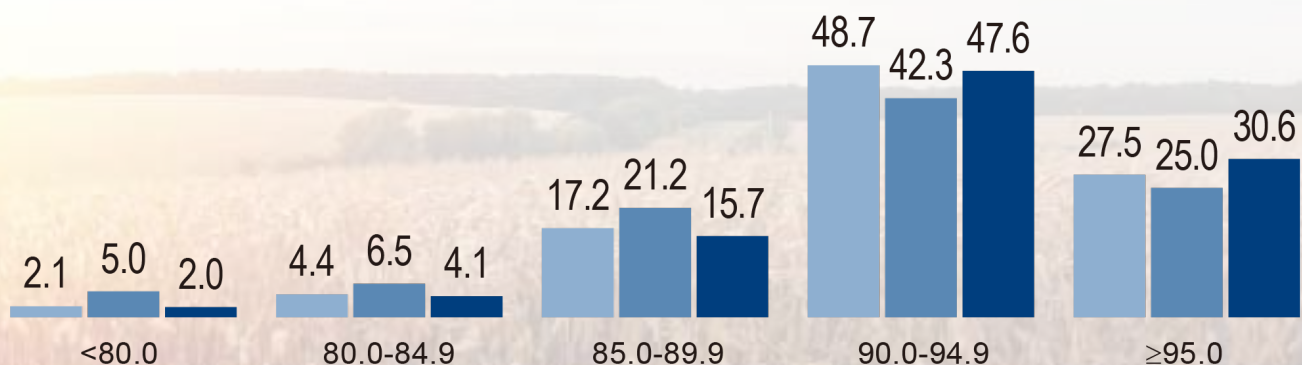
- 2023年の米国集計完全粒平均値は92.5%で2022年(91.0%)および5YA(91.9%)を上回るが、2021年(92.3%)および10YA(92.6%)とほぼ同じである。
- 2023年の完全粒サンプルの標準偏差(3.9%)は2022年(4.6%)を下回り、2021年(3.7%)とほぼ同じ、5YAと同じ、10YA(3.7%)とほぼ同じである。
- 2023年の完全粒のばらつき幅(63.2~100.0%)は、2022年(65.2~100.0%)とほぼ同じであるが、2021年(72.0~99.4%)を上回る。
- 完全粒が90.0%以上のサンプルは、2022年(67.3%)および2021年(76.2%)に対し、2023年は78.2%である。この分布は2023年のサンプルの完全粒の割合が2022年を上回っていることを示している。完全粒のこの高い割合は、2023年に見られたBCFMの割合が2022年より低いことと一致している。
- 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92.1%、93.4%および92.6%である。



完全粒 (%)

収穫年別サンプル割合

■ 2021 ■ 2022 ■ 2023



## 硬胚乳

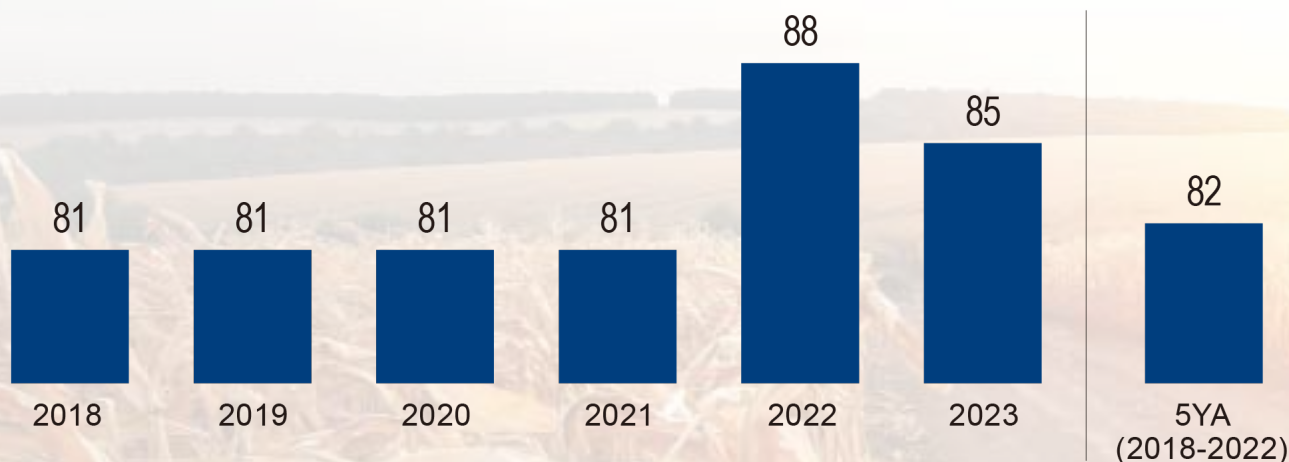
硬胚乳試験では穀粒の全胚乳中に硬胚乳が占める割合を測定しますが、この値は通常 70～100%の間となります。軟胚乳と比較して硬胚乳の量が多いほどトウモロコシ粒は硬くなると言われています。加工の種類によって硬さの程度が重要になってきます。ドライミリングで加工される大型フレーキンググリッツの収率を高くするためには硬いトウモロコシが必要です。アルカリ処理には中～高程度の硬さのトウモロコシが望ましく、ウェットミリングや家畜飼料には低～中程度の硬さのトウモロコシが用いられます。硬さは破損しやすさ、飼料効率およびデンプン消化率と相関関係があります。軟質の粉状胚乳では硬胚乳ほどストレスクラックを生じる内部ス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、「2023/2024 年収穫時報告書」では合計 181 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。

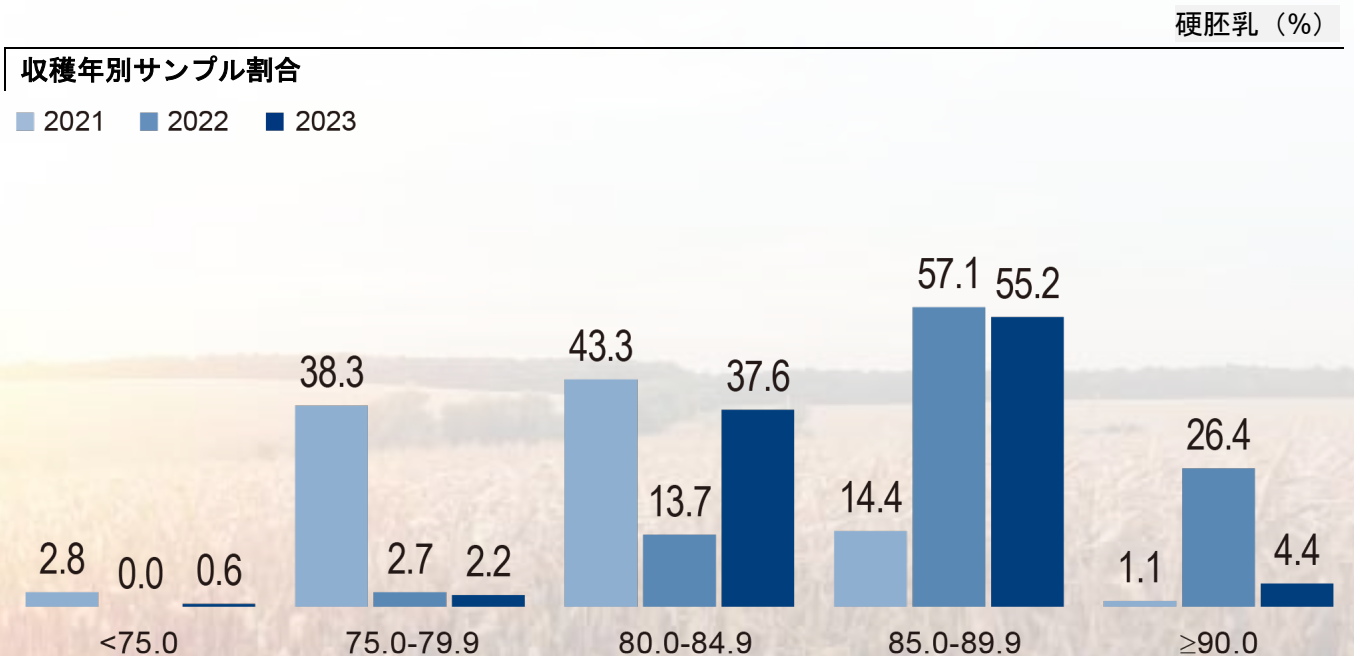
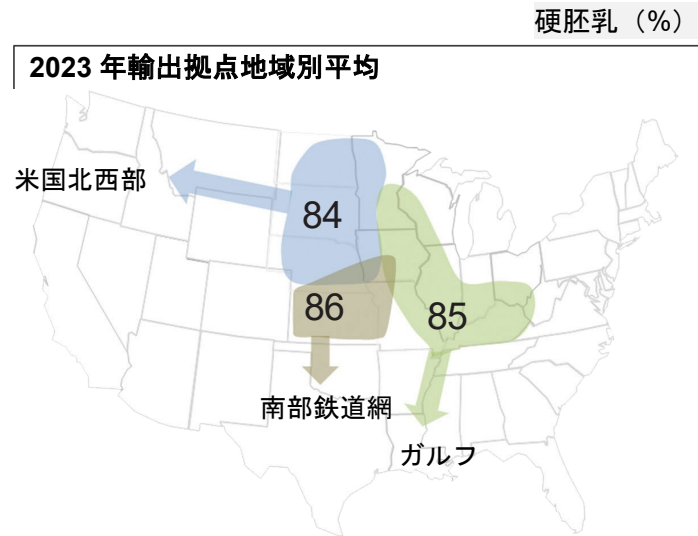
硬胚乳 (%)

### 米国集計結果の概要



結果

- 2023年の米国集計完全粒平均値は85%で2022年(88%)を下回るが、2021年(81%)、5YAおよび10YA(どちらも82%)を上回っている。
- 2023年、2022年および5YAの米国集計硬胚乳率の標準偏差は3%で、2021年および10YA(いずれも4%)を下回っている。
- 2023年の硬胚乳率のばらつき幅(75~94%)は2022年(78~95%)および2021年(72~90%)とほぼ同じである。
- 2023年のサンプル中、硬胚乳率が80%を超えるものは97.2%で、2022年と同じだが、2021年(58.8%)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85%、84%および86%である。





**まとめ：物理的ファクター**

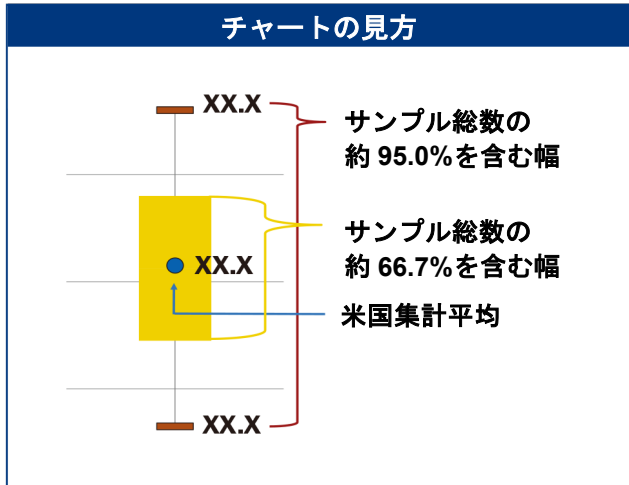
2023収穫						2022収穫		2021収穫		5年平均 (2018~2022)		10年平均 (2013~2022)	
サンプル 数 <sup>1</sup>	平均	標準		最小	最大	平均	標準 偏差	平均	標準 偏差	平均	標準 偏差	平均	標準 偏差
		偏差	偏差										
<b>米国集計</b>						<b>米国集計</b>		<b>米国集計</b>		<b>米国集計</b>		<b>米国集計</b>	
ストレスクラック (%)	611	19.2	18.6	0	98	6.9*	5.2	5.1*	6.0	6.3*	6.0	6.0*	6.7
百粒重 (g)	181	35.52	3.76	17.60	45.40	33.94*	4.13	34.98	3.50	34.62*	3.31	34.62*	2.97
穀粒容積 (cm <sup>3</sup> )	181	0.28	0.03	0.15	0.36	0.27*	0.03	0.28	0.03	0.28*	0.02	0.28*	0.02
真の密度 (g/cm <sup>3</sup> )	181	1.250	0.023	1.176	1.303	1.253	0.022	1.252	0.021	1.255*	0.021	1.256*	0.020
完全粒 (%)	611	92.5	3.9	63.2	100.0	91.0*	4.6	92.3	3.7	91.9*	3.9	92.6	3.7
硬胚乳 (%)	181	85	3	75	94	88*	3	81*	4	82*	3	82*	4
<b>ガルフ</b>						<b>ガルフ</b>		<b>ガルフ</b>		<b>ガルフ</b>		<b>ガルフ</b>	
ストレスクラック (%)	557	22.9	22.0	0	98	7.8*	6.1	5.9*	6.8	6.9*	6.7	6.6*	7.4
百粒重 (g)	163	36.18	3.74	17.60	45.40	35.08*	3.99	35.82	3.19	35.52*	3.19	35.37*	2.92
穀粒容積 (cm <sup>3</sup> )	163	0.29	0.03	0.15	0.36	0.28*	0.03	0.29	0.02	0.28*	0.02	0.28*	0.02
真の密度 (g/cm <sup>3</sup> )	163	1.252	0.023	1.176	1.303	1.256	0.022	1.253	0.021	1.257*	0.021	1.259*	0.020
完全粒 (%)	557	92.1	4.1	63.2	100.0	90.1*	5.15	91.8	3.9	91.7	4.0	92.5*	3.7
硬胚乳 (%)	163	85	3	75	94	87*	3	81*	3	82*	3	82*	4
<b>米国北西部</b>						<b>米国北西部</b>		<b>米国北西部</b>		<b>米国北西部</b>		<b>米国北西部</b>	
ストレスクラック (%) <sup>2</sup>	254	11.5	10.8	0	92	5.8*	4.4	4.3*	5.4	6.1*	5.8	5.9*	6.3
百粒重 (g)	80	33.07	5.04	22.00	42.90	31.71*	3.65	33.40	3.29	32.76	3.04	32.55	2.76
穀粒容積 (cm <sup>3</sup> )	80	0.27	0.04	0.18	0.34	0.25*	0.03	0.27	0.03	0.26	0.02	0.26	0.02
真の密度 (g/cm <sup>3</sup> )	80	1.236	0.138	1.202	1.281	1.247	0.022	1.248	0.018	1.245	0.021	1.247	0.020
完全粒 (%)	254	93.4	3.2	64.0	99.8	92.2*	3.88	93.1	3.3	92.0*	3.9	92.5*	3.7
硬胚乳 (%)	80	84	10	75	90	88*	3	81*	4	82	3	81*	3
<b>南部鉄道網</b>						<b>南部鉄道網</b>		<b>南部鉄道網</b>		<b>南部鉄道網</b>		<b>南部鉄道網</b>	
ストレスクラック (%) <sup>2</sup>	365	17.7	17.8	0	97	5.5*	3.7	4.0*	4.3	4.6*	4.1	4.3*	4.5
百粒重 (g)	100	36.42	3.65	17.60	45.40	33.77*	4.12	34.59*	3.38	34.61*	3.27	34.88*	2.97
穀粒容積 (cm <sup>3</sup> )	100	0.29	0.03	0.15	0.36	0.27*	0.03	0.28*	0.03	0.27*	0.02	0.28*	0.02
真の密度 (g/cm <sup>3</sup> )	100	1.257	0.022	1.176	1.303	1.255	0.022	1.256	0.021	1.261	0.020	1.262*	0.019
完全粒 (%)	365	92.6	4.4	63.2	100.0	92.1	3.85	92.5	3.8	92.4	3.5	92.8	3.4
硬胚乳 (%)	100	86	3	75	94	88*	3	81*	4	83*	3	82*	4

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

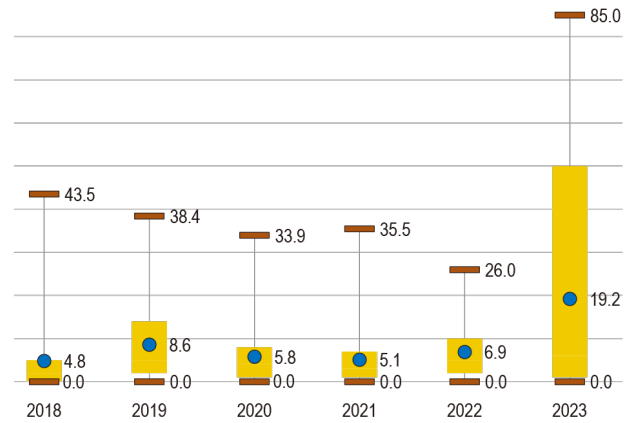
<sup>1</sup> ECAの結果は複合統計であるため3ECAのサンプル数の合計は米国集計を超える。

<sup>2</sup> 収穫時母集団の平均値を予測するための相対許容誤差は±10.0%を超える。

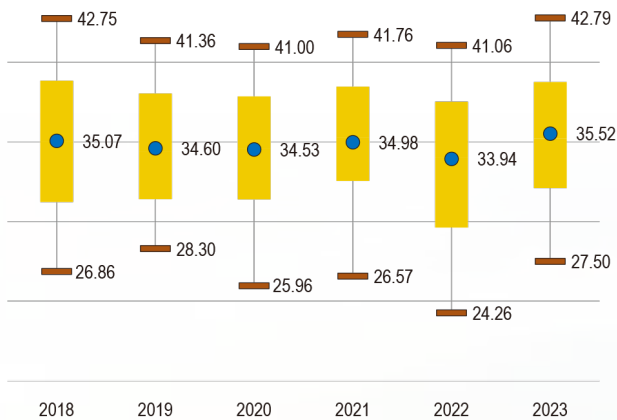
物理的ファクター  
6年集計比較



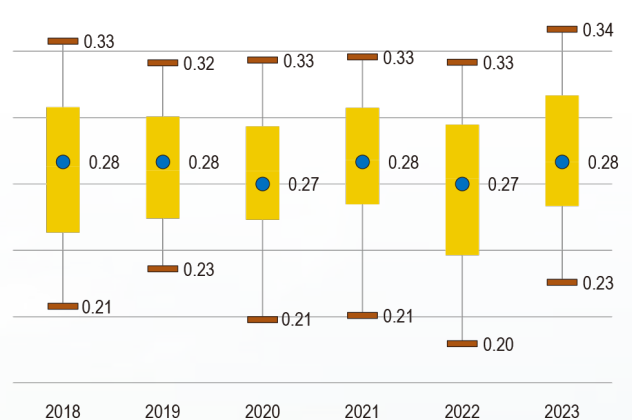
ストレスクラック (%)



百粒重 (g)

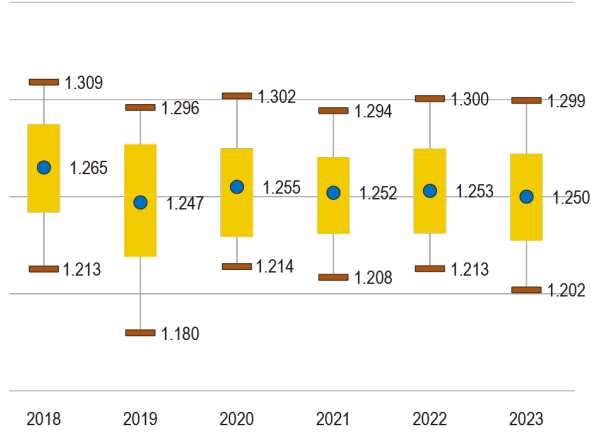


穀粒容積 (cm<sup>3</sup>)

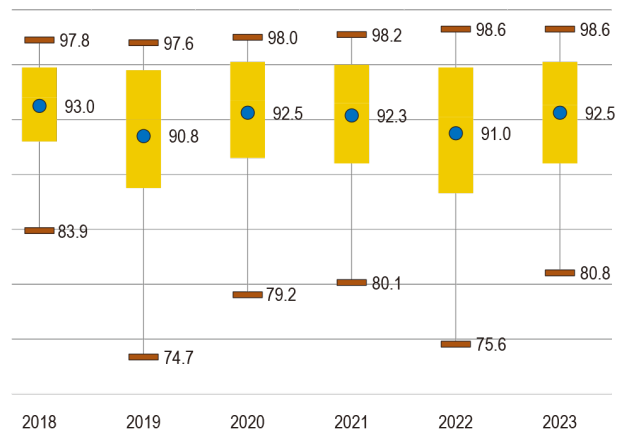


物理的ファクター  
6年集計比較

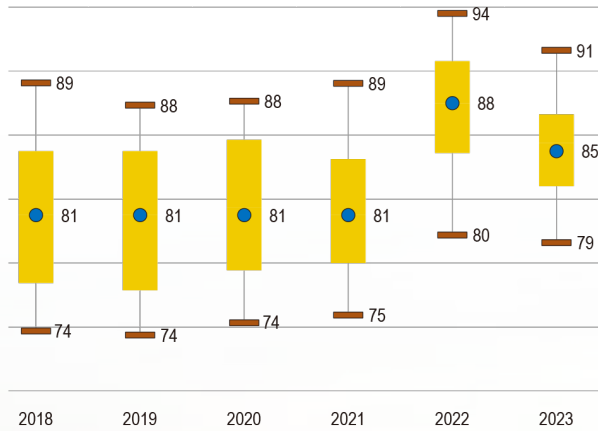
真の密度 (g/cm<sup>3</sup>)



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。

13 年の「収穫時報告書」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、試験対象であるマイコトキシンのリストにフモニシンを追加しました。「2020/2021 年収穫時報告書」ではサンプルのオクラトキシン A、T-2 およびゼアラレノン試験も開始しました。

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、州境を越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。「2023/2024 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となります。

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 181 となりました。このマイコトキシン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に数粒に過ぎず、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絹糸から個々の穀粒へと進行していくこともあります。

食品の中で自然に見つかるアフラトキシンはアフラトキシン B1、B2、G1、G2 の 4 種類です。一般にこれらの 4 種類を「アフラトキシン」または「総アフラトキシン」と呼んでいます。アフラトキシン B1 は食品および飼料から最もよく検出されるアフラトキシンで、かつ最も毒性が強い種類でもあります。研究により、B1 は動物に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\\_eOtsRmxZ5RrTnYu7NC1r896KGX/view](https://drive.google.com/file/d/1tqeS5_eOtsRmxZ5RrTnYu7NC1r896KGX/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

2023年は、アフラトキシン試験用として合計181のサンプルを分析しましたが、これに対し2022年および2021年は180サンプルが試験対象でした。2023年の調査結果は以下のとおりです。

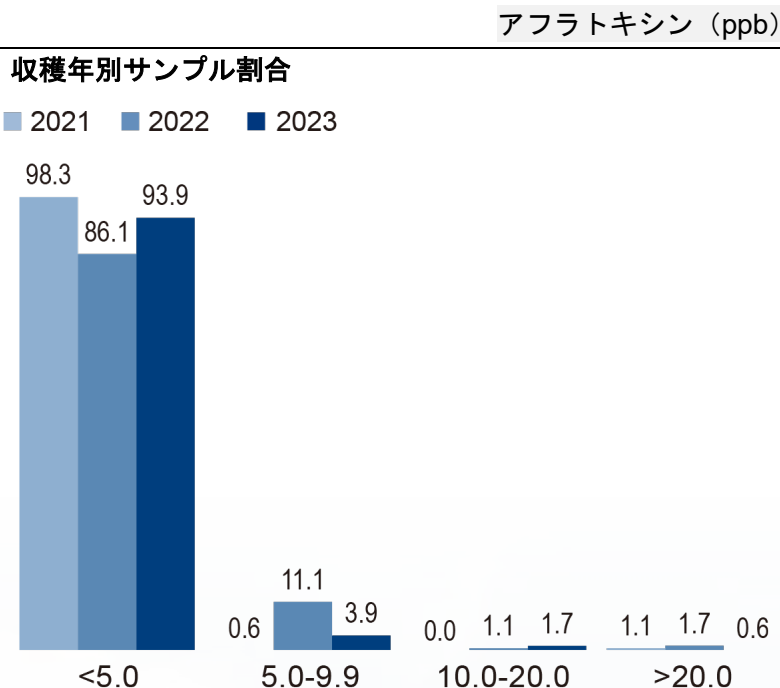
- 181のサンプル中170サンプル、すなわち93.9%に検出可能レベルFGIS低準拠レベル5.0 ppb未満のアフラトキシンは認められなかった。これは、試験で検出可能レベルのアフラトキシンが認められなかった2022年(86.1%)を上回り、2021年(98.3%)をわずかに下回っている。

- 181サンプル中7サンプル、すなわち3.9%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2022年(11.1%)を下回り、2021年(0.6%)を上回る。

- 181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以下のものは3サンプル、すなわち1.7%である。この割合は2022年(1.1%)および2021年(0.0%)をわずかに上回るもののほぼ同じである。

- 181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を上回っている。この割合は2022年(1.7%)および2021年(1.1%)をわずかに下回っている。

こうした結果は、2023年の調査対象収穫期サンプル中のアフラトキシンが2022年の収穫期サンプルをわずかに下回り、2021年とほぼ同じレベルであることを示しています。これらのサンプルから好ましい結果が得られた一因と考えられるのが、2023年はアフラトキシンが発生しにくい気象条件だったことです(2023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絹糸から下に広がって穂に入り、デオキシニバレノールを産生するだけでなく、穀粒にはっきりとわかる赤い変色を起こします。トウモロコシを圃場でそのままにしておくとう菌は広がり続け、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、そうすると様々な感染症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

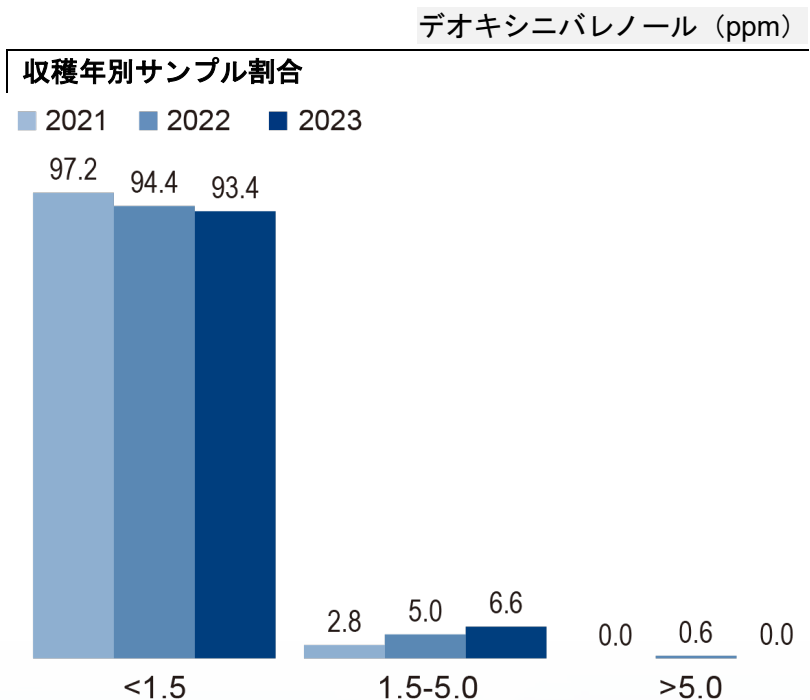
出典：www.ngfa.org

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\\_eOtsRmxZ5RrTnYu7NCI896KGX/view](https://drive.google.com/file/d/1tqeS5_eOtsRmxZ5RrTnYu7NCI896KGX/view)) を参照してください。

## 結果

2023年のデオキシニバレノールについては、合計181サンプルをまとめて分析しました。2022年および2021年のデオキシニバレノール試験サンプル数はそれぞれ180件でした。2023年の調査結果は以下のとおりです。

- 試験対象の181サンプル中169サンプル、すなわち93.4%が1.5 ppmを下回っている。2023年のこの割合は2022年(94.4%)および2021年(97.2%)をわずかに下回っている。
- 試験対象の181サンプル中12サンプル、すなわち6.6%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。2023年のこの割合は2022年(5.0%)および2021年(2.8%)をわずかに上回る。
- 試験対象の181サンプル中ゼロ、すなわち0.0%がFDAの勧告レベルである5.0 ppmを上回っているが、2022年(0.6%)とほぼ同じで、2021年と同じである。



2023年の試験対象サンプルのうち1.5 ppmを上回ったものの割合が比較的高かったのは、デオキシニバレノールが発生しやすかった2023年の気象条件によるものと考えられます。

## 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を低減するために、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](http://www.ngfa.org)

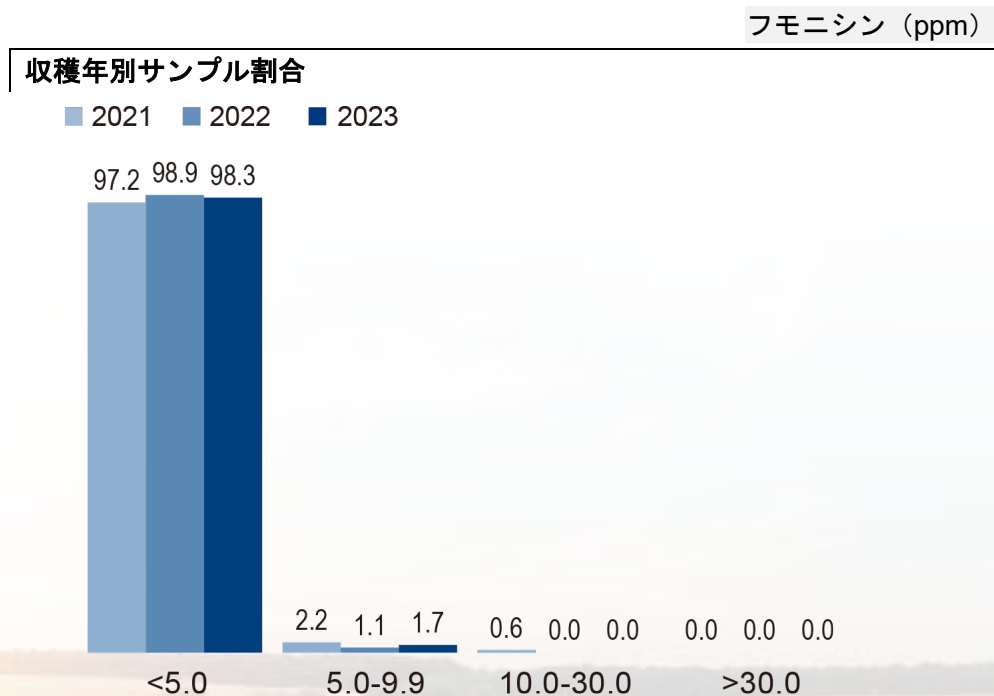
詳細情報については、米国穀物飼料協会のガイダンス文書「FDA Mycotoxin Regulatory Guidance」([https://drive.google.com/file/d/1tqeS5\\_eOtsRmxZ5RrTnYu7NC1r896KGX/view](https://drive.google.com/file/d/1tqeS5_eOtsRmxZ5RrTnYu7NC1r896KGX/view)) を参照してください。



## 結果

2023 年は合計 181 のサンプルをまとめてフモニシンを分析しました。フモニシンの試験は「2019/2020 年収穫時報告書」から実施しています。2023 年の試験結果は以下のとおりです。

- 試験対象 181 サンプル中 178 サンプル、すなわち 98.3%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。2023 年のこの割合は 2022 年（98.9%）とほぼ同じで、2021 年（97.2%）をわずかに上回っている。
- 試験対象 181 サンプル中 3 サンプル、すなわち 1.7%が 5.0 ppm 以上 10.0 ppm 未満である。2023 年のこの割合は 2022 年（1.1%）をわずかに上回り、2021 年（2.2%）をわずかに下回っている。
- 試験対象 181 サンプル中ゼロ、すなわち 0.0%が 10.0 ppm 以上 30.0 ppm 以下である。2023 年のこの割合は 2022 年と同じで、2021 年（0.6%）とほぼ同じである。
- 試験対象 181 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。2023 年のこの割合は 2022 年および 2021 年と同じである。



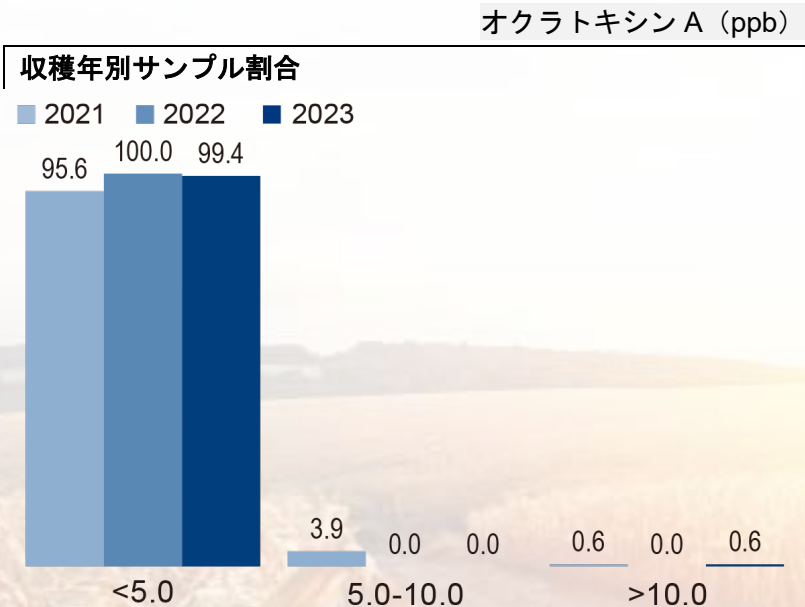
## オクラトキシン A

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、穀類、穀物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、穀類や穀物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。穀類や穀物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穀物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、未加工穀物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

調査サンプルでのオクラトキシン A の試験は「2020/2021 年収穫時報告書」から実施しています。2023 年にオクラトキシン A について行った 181 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 99.4%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。この割合は 2022 年 (100.0%) とほぼ同じで、2021 年 (95.6%) を上回っている。
- 試験したサンプル中、5.0 ppb 以上、10.0 ppb 以下のものはゼロ、すなわち 0.0%である。2023 年のこの割合は 2022 年と同じで、2021 年 (3.9%) を下回っている。
- 試験したサンプル中 10.0 ppb を上回ったものは 1 サンプル、すなわち 0.6%である。2023 年のこの割合は、2022 年 (0.0%) をわずかに上回り、2021 年と同じである。



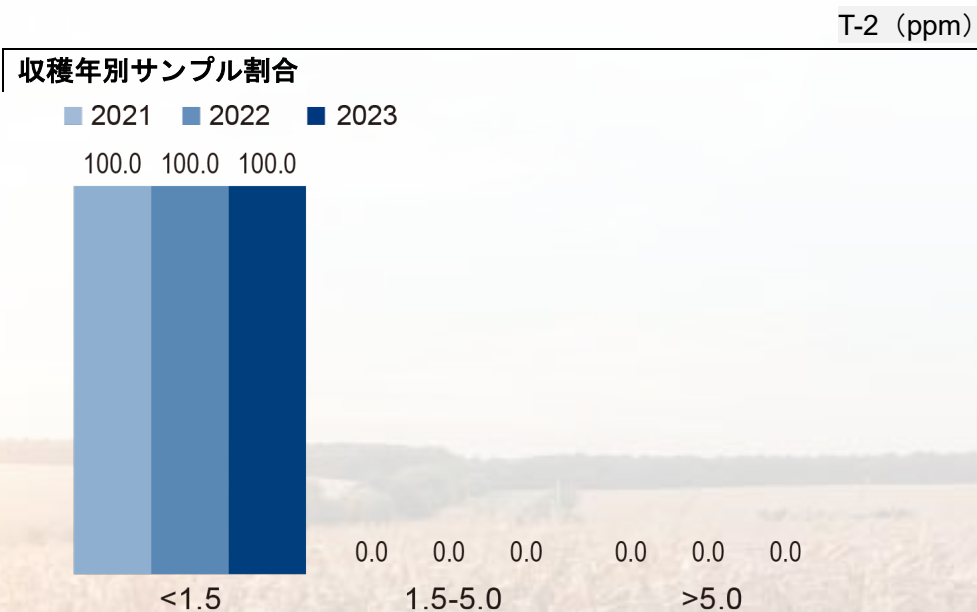
## T-2

T-2 は、トリコテセ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

調査サンプルでの T-2 の試験は「2020/2021 年収穫時報告書」から実施しています。2023 年に T-2 について行った 181 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 181 サンプル、すなわち 100.0% が 1.5 ppm を下回っている。2023 年のこの割合は 2022 年および 2021 年と同じである。
- 試験したサンプル中、1.5 ppm 以上、5.0 ppm 以下のものはゼロ、すなわち 0.0% であり、これは 2022 年および 2021 年と同じである。
- 試験したサンプル中、5.0 ppm を上回ったものはゼロ、すなわち 0.0% であり、これは 2022 年および 2021 年と同じである。





## ゼアラレノン

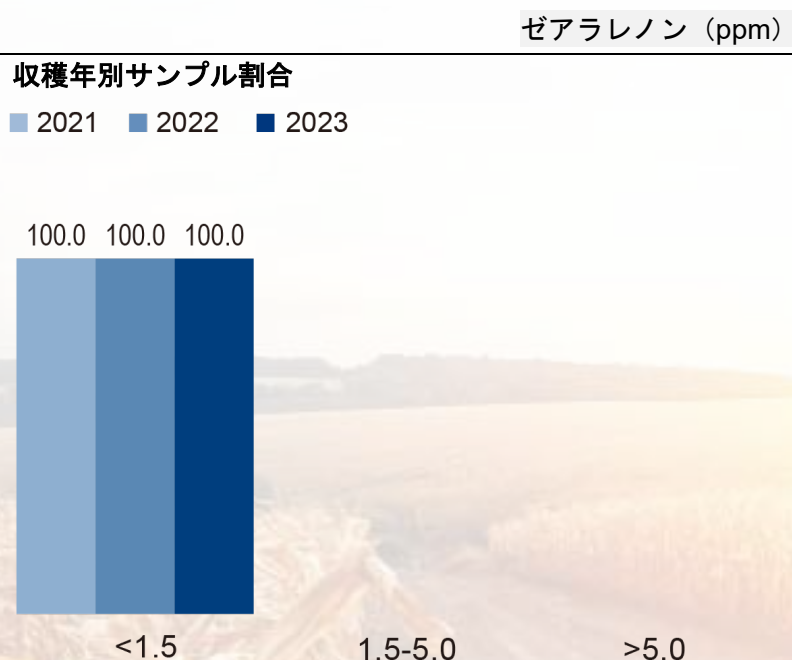
ゼアラレノンは、いくつかの例外を除く多くの点でデオキシニバレノール（DON）に非常に類似したマイコトキシンです。いずれもフザリウム属の菌類から産生されます。したがって、穀物と穀物製品内から両方のマイコトキシンが同時に見つかることは珍しくありません。ゼアラレノンとデオキシニバレノールの産生に対する生育条件は非常に類似しており、最適温度範囲は 65~85°F です。生育中の温度低下もまた、菌類によるトキシンの産生を刺激します。菌類がゼアラレノンを産生するのに必要な水分含量は 20%以上であり、この値もデオキシニバレノールの産生に必要な値とほぼ同じです。一方、生育中に水分含量が 15%未満に低下する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、汚染の可能性の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。

181 サンプルを試験してゼアラレノンに関する今年の生育条件の影響を評価した結果を以下に示します。用いたサンプリング基準と試験方法は、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

「2020/2021 年収穫時報告書」から調査サンプルにゼアラレノンの試験を実施しています。2023 年の 181 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 181 サンプル、すなわち 100.0%が 1.5 ppm 未満である。この割合は 2022 年および 2021 年と同じである。
- 試験したサンプル中、1.5 ppm 以上だが 5.0 ppm 以下のものはゼロ、すなわち 0.0%である。この割合は 2022 年および 2021 年と同じである。
- 試験した 181 サンプル中、5.0 ppm を上回ったものはゼロ、すなわち 0.0%であり、これは 2022 年および 2021 年と同じである。



## A. 2023 年収穫ハイライト

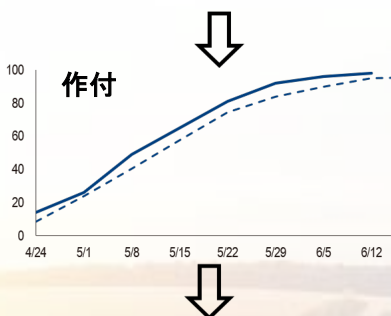
天候は、圃場におけるトウモロコシの作付作業、生育条件および穀粒の成長に大きな役割を果たします。そして、これらの要素は最終的な収量や品質に影響を及ぼします。全体的に、2023 年には適時の発芽、受粉期の雨不足、登熟期の高温と干ばつ、そして急速な乾燥と収穫という特徴があります。トウモロコシは平年より早く作付され、全体的に乾燥した生育期を過ごしましたが、「良い」から「とても良い」の作柄評価<sup>1</sup>はシーズン初期に急速に 5YA を下回りました。気象条件により、トウモロコシの穀粒重量およびタンパク質レベルの平均値は 5YA を上回りました。以下に 2023 年生育期の重要な状況をハイライトとして記載します。

- 暖かく乾燥した条件によって作付は適時に行われたが、干ばつが続いて成長期にストレスが加わったために作柄が急速に悪化した。
- 受粉（シルキング期）は 5YA よりわずかに早く、受粉した穀粒が少なかったために穀粒重量が増えた。
- 穀粒が全般に暖かく乾燥した条件で生育したため、タンパク質と硬胚乳の濃度が高まった。
- シーズン終盤の高温で乾燥した条件によって圃場での乾燥が急速に進み、破損粒の少ないトウモロコシを適時に収穫することができた。

### 生育条件と作物成長への影響

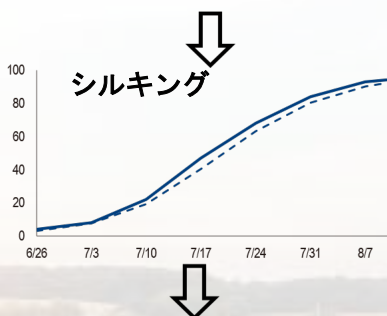
— 2023 — 2018-2022

4 月と 5 月上旬は暖かく乾燥した条件により適時に作付できる。



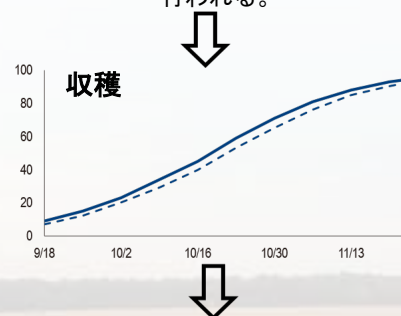
干ばつが続いて成長期にストレスが加わったため、作柄が急速に悪化する。

受粉は 5YA よりわずかに早まる。



この時期のストレスにより受粉した穀粒が少なかったため、穀粒重量が増える。

高温で乾燥した条件によって圃場での乾燥が急速に進み、収穫は適時に行われる。



BCFM と破損は少ないが、ストレスクラックが多発する。

<sup>1</sup> 米国農務省は、米国産トウモロコシの生産サイクル中に作柄を毎週評価しています。評価の基準は、単収見込みの他、極端な気温、水分の過多や不足、病害、虫害、雑草の影響といった多くの要因による植物体へのストレスです。

## B. 作付と初期生育の状況

### 作付時期は適時であったが、干ばつによるストレス

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水量と気温が挙げられます。こうした気象ファクターは作付されたトウモロコシの品種や土壌の肥沃度に相互に影響を及ぼします。穀物の単収は1 エーカー当たりの植物体数、1 植物体当たりの穀粒数、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。根系が土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、植物体の成育後期に窒素肥料が有効に保たれるので、作付時期や生育初期のある程度乾燥した天候は有利に働きます。

### 2023 年

2023 年は全体的に圃場が乾燥して暖かかったため、トウモロコシの発芽は 5YA より数日早まりました。しかし、暖かさと干ばつによって発芽が不均一であった上、ストレスも加わりました。6 月の後期成長期に続いた干ばつのストレスはカナダでの野火の煙によって緩和され、熱ストレスが抑えられました。こういった条件により、多くの植物体の穂に穀粒が付きにくくなりました。一方、乾燥のために植物体が水に届くように根を深く伸ばしたことでシーズン後期に救われました。

米国北西部 ECA では、暖かく乾燥した条件の下で苗が初期に成長しました。

ガルフ ECA では植物体の初期成長期に約 85% の地域での異常な乾燥や干ばつストレスにさらされ、2012 年より急速に干ばつが進んだため、作柄の急速な悪化に至りました。

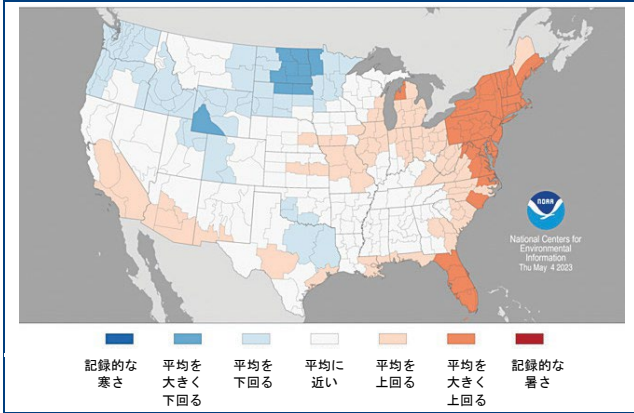
当初、南部鉄道網 ECA の植物体も干ばつに見舞われましたが、灌漑によっていくらか救われました。



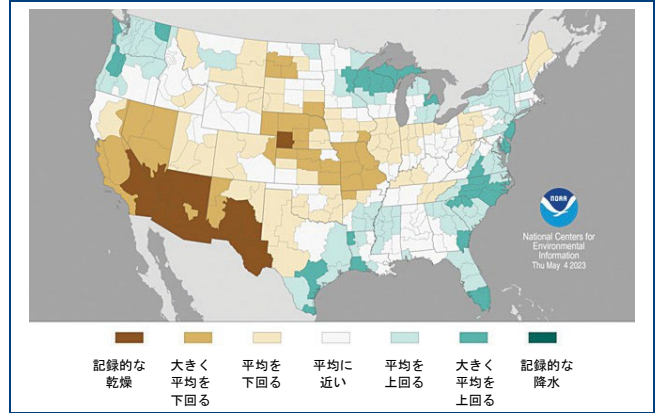
地域別平均気温レベル  
(期間：1895～2023)

地域別降雨量レベル  
(期間：1895～2023)

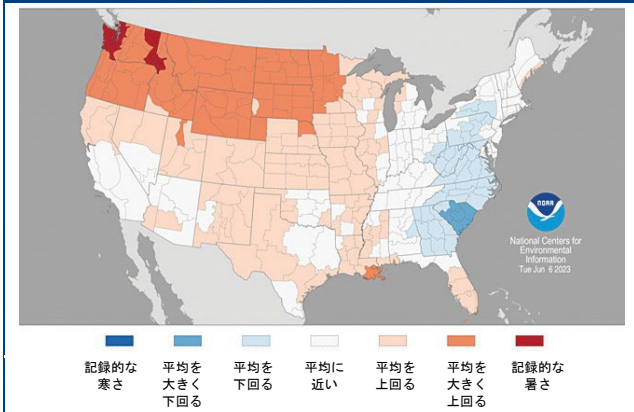
2023年4月



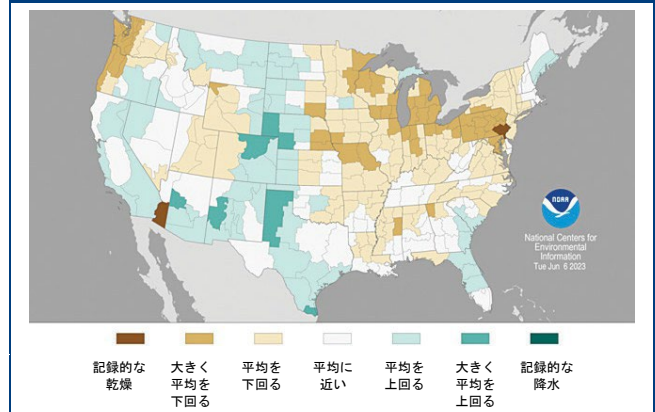
2023年4月



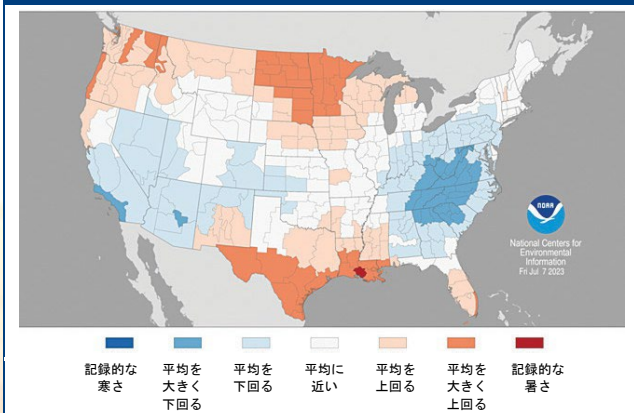
2023年5月



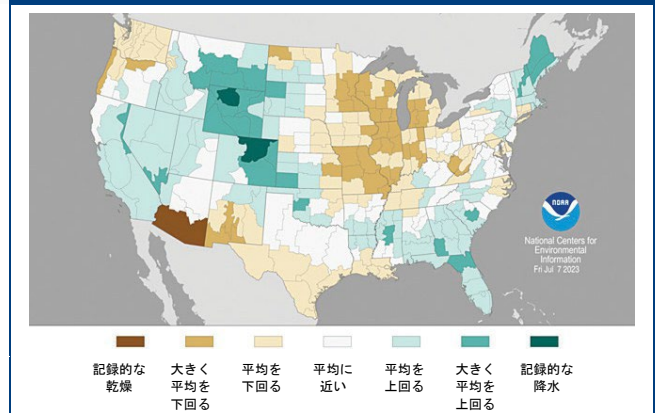
2023年5月



2023年6月



2023年6月



出典：NOAA／地域気候センター

出典：NOAA／地域気候センター

## C. 受粉と登熟の状況

### 干ばつストレスにより穀粒数が減少したが、穀粒タンパク質は増加

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絹糸を通じた感染による受粉後3週間以内に生じた低温（26～28℃）や湿った状況によって促進されます。

### 2023年

2023年は全体的に温和な気温の下で受粉が行われ、ガルフ ECA と米国北西部 ECA ではいくらかの降雨がありました。南部鉄道網 ECA では乾燥が進みました。受粉前と受粉中に受けたストレスのために受粉した穀粒数は減少しましたが、その結果、登熟した穀粒の容積は増えました。このような気象条件により光合成が妨げられたため、デンプンと油分の生産も妨げられましたが、硬胚乳レベルは上昇しました。登熟期半ばにガルフ ECA 南部と南部鉄道網 ECA で乾燥した空気を記録的な熱波が襲ったことが、いくらか早い圃場乾燥とストレスクラックの一因になったかもしれません。気象条件に懸念がありましたが、アフラトキシシンやデオキシニバレノール（DON）が広がることはありませんでした。

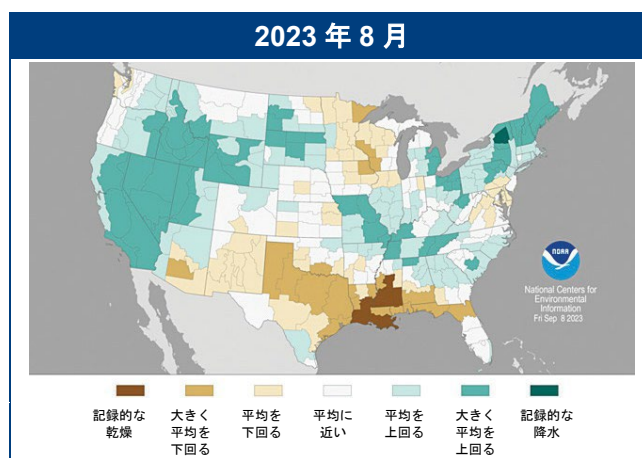
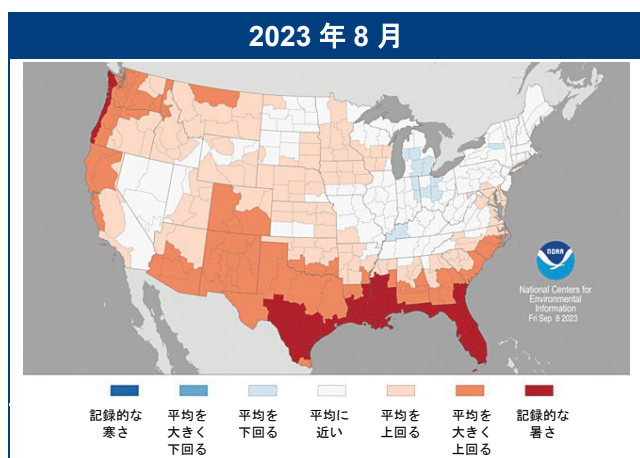
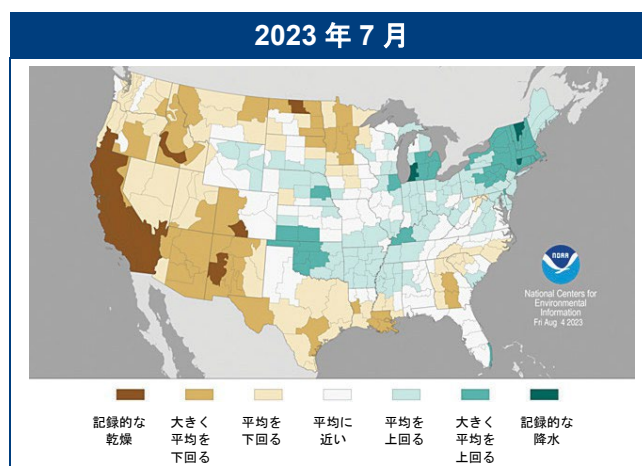
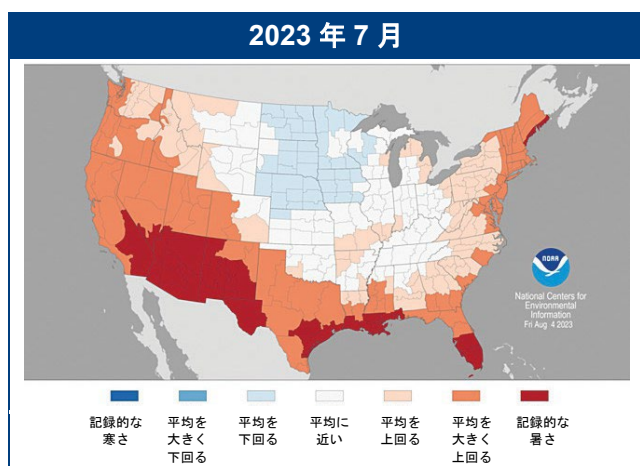
ガルフ ECA の東部と南部で7月に降雨があったことが、受粉の助けになりました。これに対し、西側の地域は気温が高く乾燥し、タンパク質および硬胚乳の蓄積に適した条件となりました。

米国北西部 ECA と南部鉄道網 ECA では南部地域に豊富な降雨があり、受粉期と登熟期の干ばつストレスが緩和されました。受粉に適した条件はありましたが、登熟初期から中期にかけて熱ストレスが見られました。



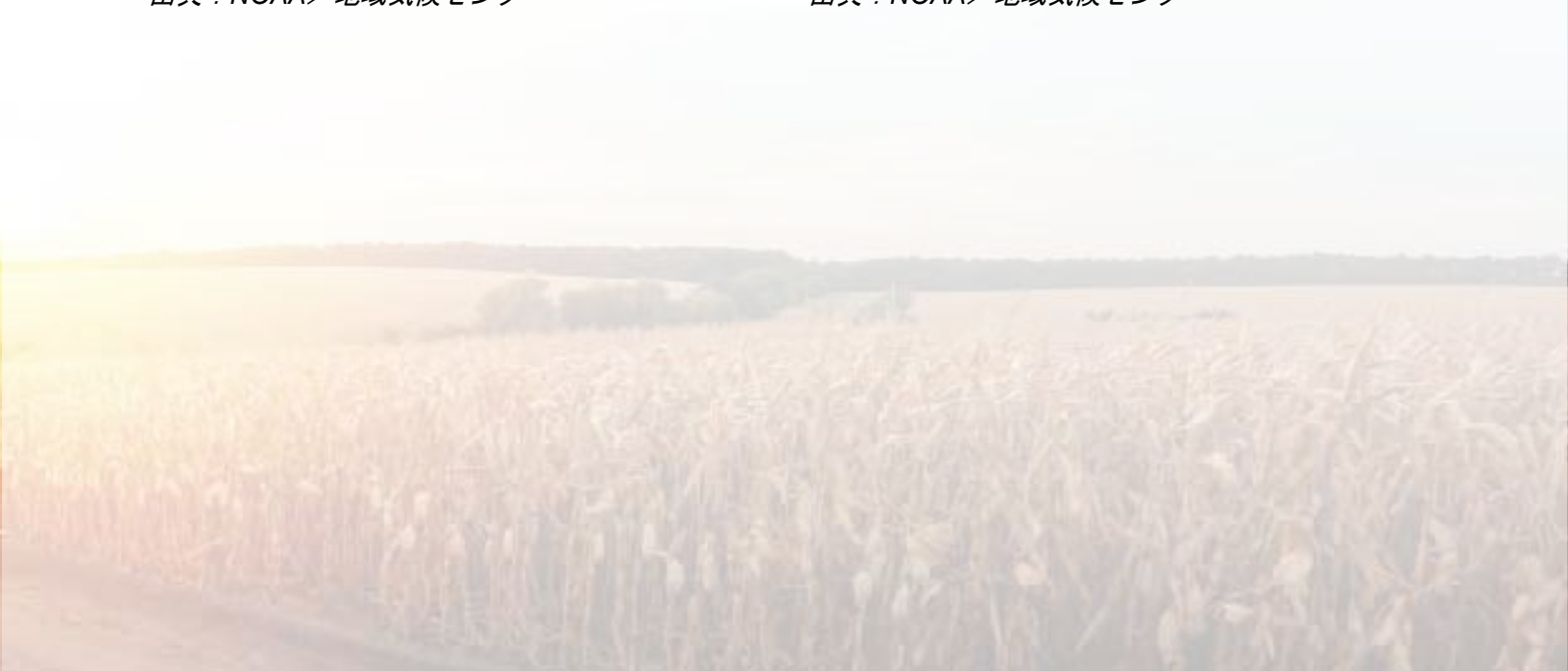
地域別平均気温レベル  
(期間：1895～2023)

地域別降雨量レベル  
(期間：1895～2023)



出典：NOAA／地域気候センター

出典：NOAA／地域気候センター





## D. 収穫の状況

### 乾燥と早期の収穫

成熟したトウモロコシの水分含量の範囲は 25～35% 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。晴天で暖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。非常に固い穀粒はストレスクラックも増えやすくなります。

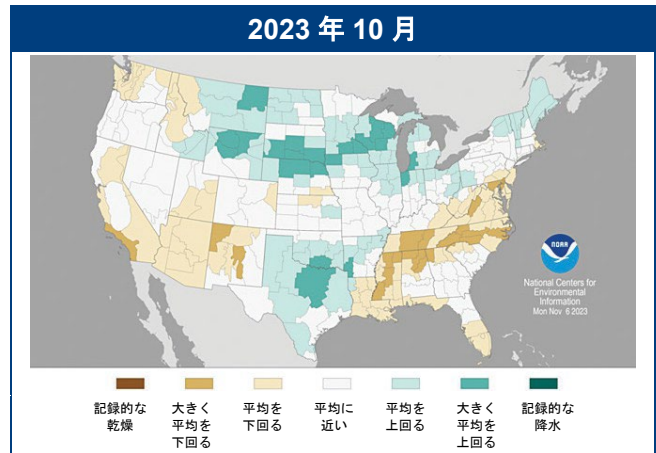
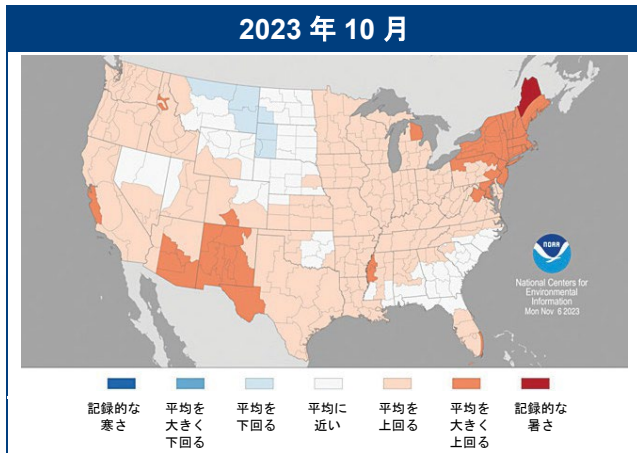
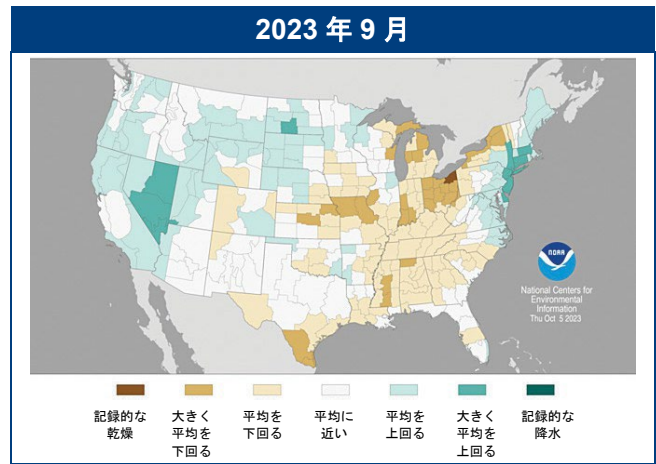
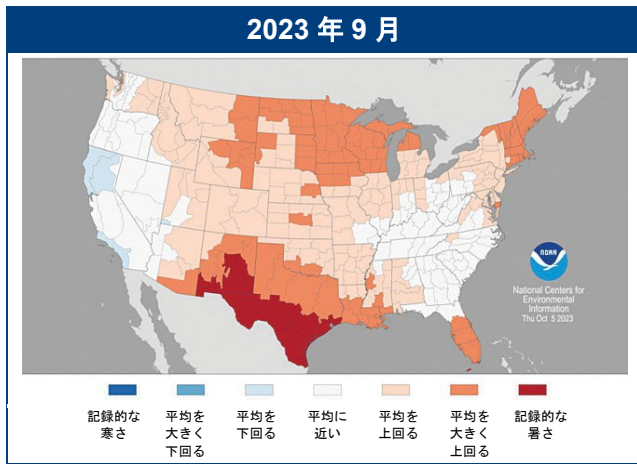
### 2023 年

暖かく乾燥した条件で葉の病害は抑えられましたが、穀粒の水分がばらつき、急速に乾燥したトウモロコシが生じました。成熟後も乾燥条件が続き、生産者は雨で遅れることも凍てつく天候に遭遇することもなく 5YA より早く穀粒を収穫することができました。

生育期終盤が暖かかったことにより、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大発生が食い止められました。

地域別平均気温レベル  
(期間：1895～2023)

地域別降雨量レベル  
(期間：1895～2023)



出典：NOAA／地域気候センター

出典：NOAA／地域気候センター

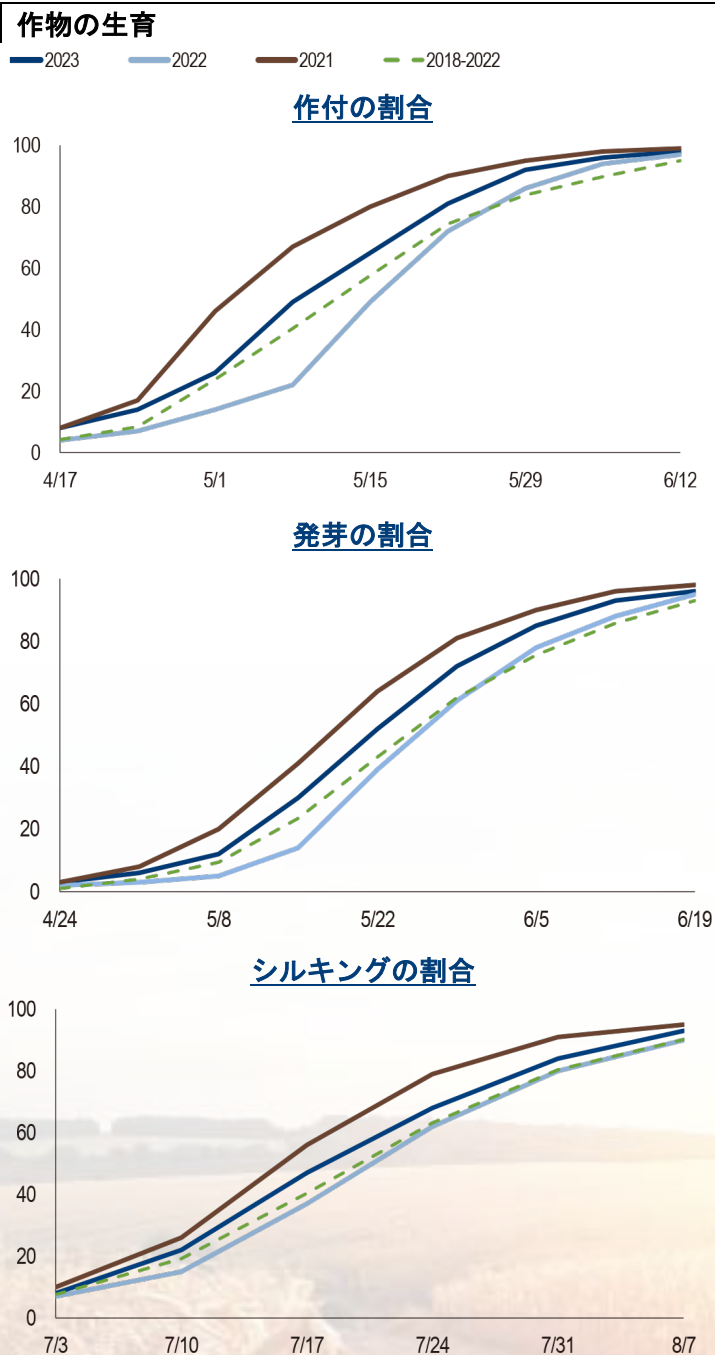
E. 2022 年、2021 年および 5 年平均と比較した場合の 2023 年

2023 年トウモロコシは適度な干ばつストレス下で成長する

暖かく乾燥した条件により、2023 年の作付は 2021 年および 5YA からわずかに早まりました。4 月の低温多雨により 2022 年の作付は 2021 年および 2023 年より 2 週間遅れました。

暖かく乾燥した条件により、2023 年のトウモロコシの発芽は 2021 年よりわずかに遅れましたが、2022 年および 5YA より早まりました。2023 年は植物体成長期にわたって高温と干ばつが続いたため、穀粒数が抑えられました。

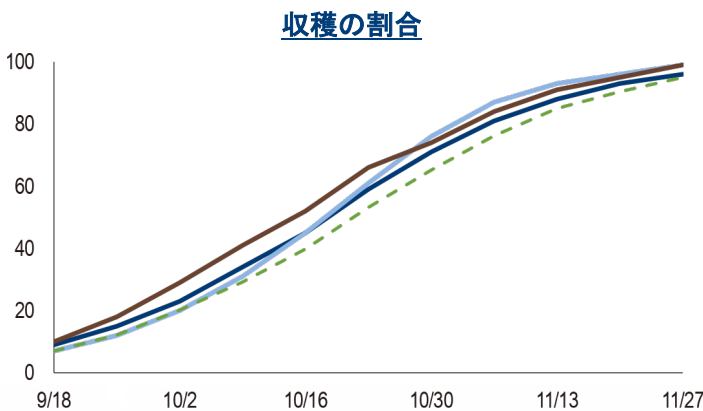
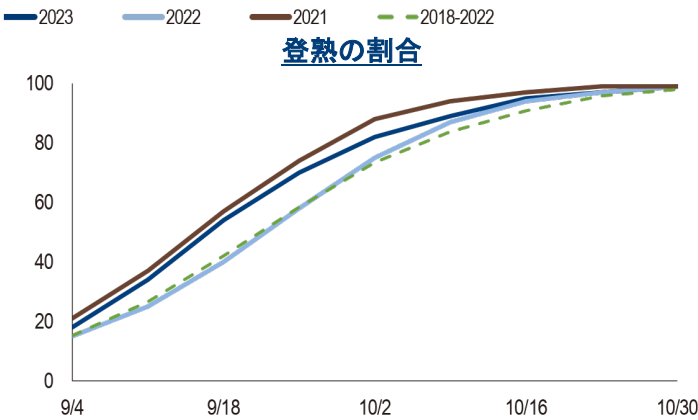
2023 年は、シルキング／受粉の時期が 2022 年および 5YA よりわずかに早まりましたが、作付が早かった 2021 年ほど早くはありませんでした。2023 年の降雨と 2021 年の涼しい気温が受粉に奏功しました。



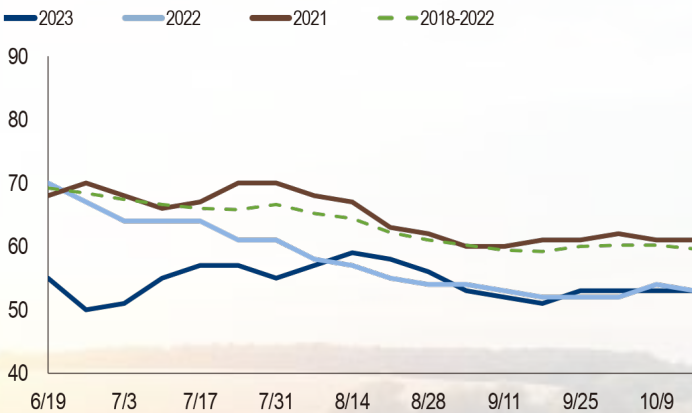
出典：USDA NASS



## 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

2023年の乾いた条件によりトウモロコシは2022年および5YAとほぼ同じように成熟しました。2021年は、カナダの野火から発生した煙のために気温が低下し、光合成やデンプンの蓄積がいくらか妨げられました。2022年と2023年には高温乾燥条件により光合成も妨げられたため、デンプンと油分の蓄積が妨げられましたが、タンパク質と硬胚乳に望ましい状況となりました。

2023年、干ばつ条件と高温により急速に成熟したためトウモロコシは早期に収穫されました。2023年および2021年の収穫も、乾燥した条件と植物体の問題がなくなったために5YAより早いペースで進みました。

2023年、作柄は「良い」から「とても良い」というやや低い格付けで始まりました<sup>2</sup>。過度な高温と干ばつにより、格付けは穀粒の植物体登熟期のために2021年、2022年および5YAを下回るまで急速に下がり、その後安定しました。2022年のトウモロコシは干ばつストレスと熱ストレスを受けたため、格付けは徐々に低下しました。2021年には、当初「良い」から「とても良い」の高い評価を受けていましたが、シーズン全体では5YAとほぼ同じという評価にとどまりました。

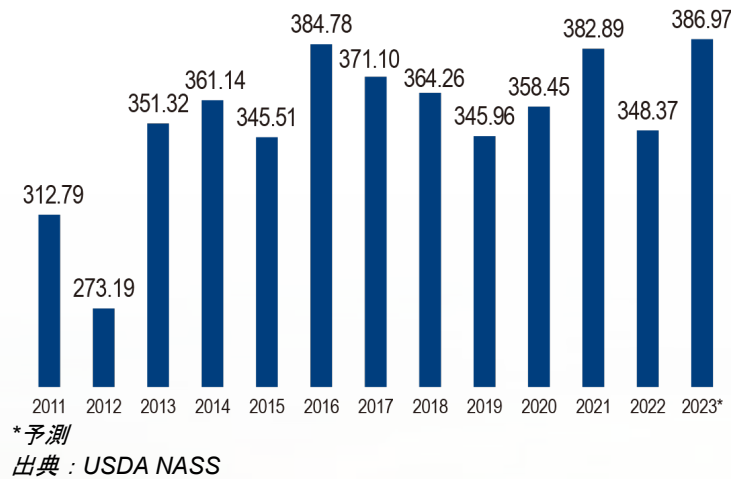
<sup>2</sup> 「良い」の評価は通常の単収が見込まれることを意味する。水分レベルは適切で、病害、虫害および雑草圧力の程度は低い。「とても良い」の評価は単収見込みが通常以上で、作物にストレスがほとんどまたは全くないことを意味し、病害、虫害および雑草圧力は取るに足りないレベルである。

## A. 米国産トウモロコシの生産量

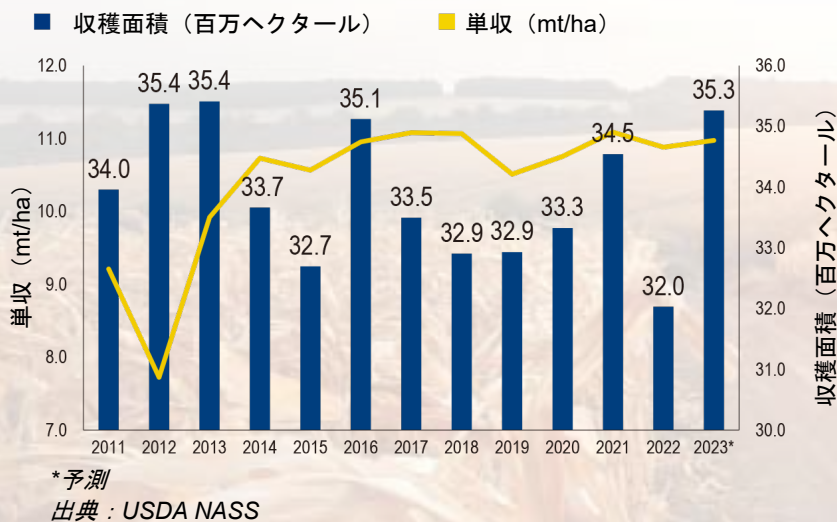
### 米国平均生産量および単収

2023年11月USDA世界農業需給予測(WASDE)報告書では、2023年の米国産トウモロコシ生産量は3億8697万メートルトン(152億3400万ブッシェル)と予測されています。これが現実になると、この量は2016/2017年穀物年度(3億8478万メートルトンまたは151億4800万ブッシェル)を超え、米国のトウモロコシ収穫記録になるでしょう。2023年のこの高い予測生産量は高い収穫面積および単収が予測された結果です。2023年は計3526万ヘクタール(8710万エーカー)で収穫が予測されていますが、これに対し5YAは3344万ヘクタール(8260万エーカー)でした。平均単収もまた5YAを上回ると予想されています。単収平均値は1ヘクタール当たり10.97メートルトン(1エーカー当たり174.9ブッシェル)と予測されていますが、これに対し過去5年のトウモロコシは1ヘクタール当たり平均10.86メートルトン(1エーカー当たり173.1ブッシェル)でした。

米国産トウモロコシの生産量 (mmt)



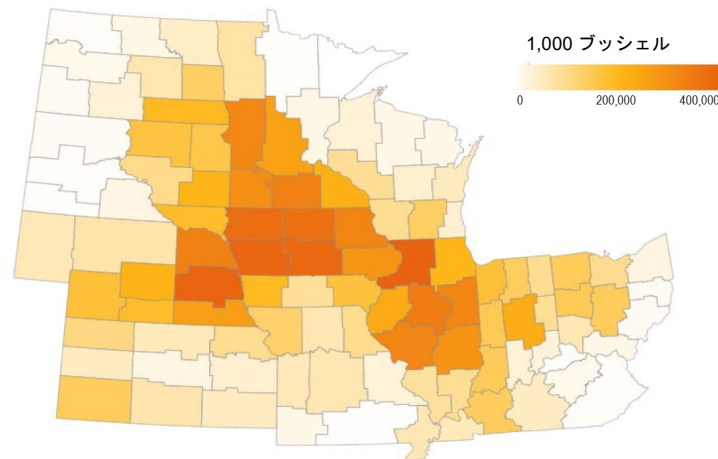
米国産トウモロコシの単収と収穫面積



## ASD と州レベルの生産量

「2023/2024 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 2023 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 90%超を占めています<sup>1</sup>。

### 2023 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

<sup>1</sup> 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 2022 年生産量と 2023 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 2023 年の予測値を 2022 年と比較した場合の相対的な増加を、赤色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 2022 年を大きく上回る（10%以上）生産量が見込まれています。2023 年の生産量は、イリノイとウィスコンシンのみ前年度から減少すると予測しています。イリノイ、ウィスコンシン、ミネソタ、ミズーリのみ 2022 年より単収が減少すると予測していますが、収穫面積は 12 の主要トウモロコシ生産州のそれぞれで広くなると見込んでいます。

**州別米国産トウモロコシ生産量**

州	2022	2023*	差異		相対変化 (%) †	
			MMT	パーセント	面積	単収
イリノイ	57.62	56.72	(0.90)	-1.6%		
インディアナ	24.76	27.33	2.57	10.4%		
アイオワ	62.74	64.01	1.27	2.0%		
カンザス	12.97	16.38	3.41	26.3%		
ケンタッキー	5.35	6.97	1.62	30.3%		
ミネソタ	37.10	37.70	0.60	1.6%		
ミズーリ	12.72	13.70	0.99	7.7%		
ネブラスカ	36.97	42.14	5.18	14.0%		
ノースダコタ	8.82	13.59	4.77	54.1%		
オハイオ	15.11	16.69	1.59	10.5%		
サウスダコタ	16.80	21.58	4.78	28.5%		
ウィスコンシン	13.85	13.47	(0.39)	-2.8%		
<b>米国計</b>	<b>348.37</b>	<b>386.97</b>	<b>38.60</b>	<b>11.1%</b>		

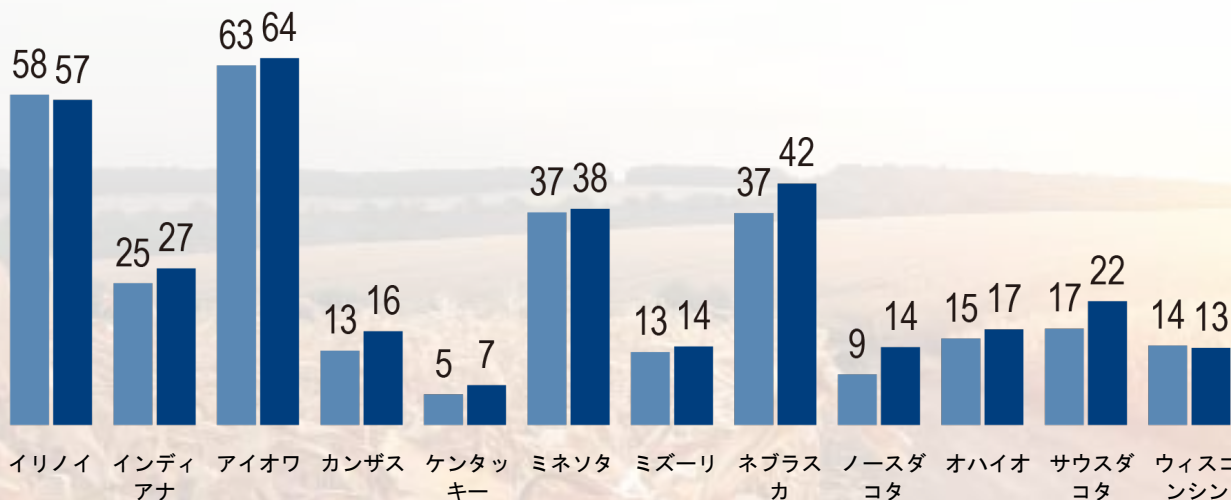
† 緑は前年からの増加、赤は前年からの減少を示し、バーの高さは相対的な増減量を表す。

\* 予測

出典：USDA NASS

**州別米国産トウモロコシ生産量 (mmt)**

■ 2022 ■ 2023\*



\* 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

トウモロコシ生産量が対前年比で 9.0%減少したことを受けて、市場年度 22/23 の米国産トウモロコシのすべてのカテゴリーでの消費量と最終在庫量は市場年度 21/22 より減少しました。

食品、種子およびエタノール以外のその他産業用途でのトウモロコシ消費量は、一般に長期にわたって一定ですが、市場年度 22/23 は市場年度 21/22 より 3.8%減少しました。

国内のエタノール生産に用いられるトウモロコシは、米国がコロナ禍から復興するにつれて市場年度 20/21 と 21/22 に徐々に増加しましたが、22/23 には前年より 2.7%減少しました。国内のエタノール生産に用いられるトウモロコシの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 22/23 にトウモロコシの消費量が前年より減少した一因は、最終製品であるガソリンを米国の精製業者が供給した量の週ごとの平均値が前年より減少したことで説明できます<sup>2</sup>。

市場年度 22/23 の国内の家畜・家禽用飼料原材料としてのトウモロコシの直接消費量もまた減少し、市場年度 21/22 を 3.1%下回りました。

市場年度 22/23 の総国内消費量は 21/22 より 3.0%減少しましたが、2022 年に米国産トウモロコシ収穫量が少なかった影響は、米国のトウモロコシ輸出量が市場年度 21/22 より 32.8%減少したことでわかるように、米国の輸出量に最も大きく表れました。

市場年度 22/23 では、前年度比で最終在庫は 1.1%減少しました。総国内消費量が減少したにもかかわらず、収穫量が少なかった 2022 年の米国産トウモロコシはその最終在庫を市場年度 13/14 以来過去 2 番目に低いレベルで維持しました。

<sup>2</sup> 米国エネルギー情報局「週次石油ステータスレポート」、2023 年 11 月 15 日に <https://www.eia.gov/petroleum/supply/weekly/> から評価した。最終製品である自動車用ガソリンとして供給された米国製品の週間見積もり (1000 バレル/日) は、9 月から 8 月までの平均を取って米国トウモロコシ市場年度に合わせて比較できるようにした。

## C. 見通し

### 米国の見通し

2023年の米国産トウモロコシ収穫量は過去最大となり、2022年の収穫量を3860万メートルトン（15億1900万ブッシェル）（11.1%）上回ると予測されています。記録的な収穫量から、市場年度23/24は消費量と輸出量のレベルが上昇すると予想されています。

市場年度23/24のエタノール用トウモロコシ消費量は、22/23を2.9%上回って21/22に近いレベルに戻ると予測されています。

市場年度23/24の飼料およびその他の用途での国内トウモロコシ消費量は1億4352万メートルトンと見込まれています。この予想は市場年度22/23を258万メートルトン（1.8%）上回りますが、依然として21/22（1億4546万メートルトン）を194万メートルトン（1.3%）下回ります。

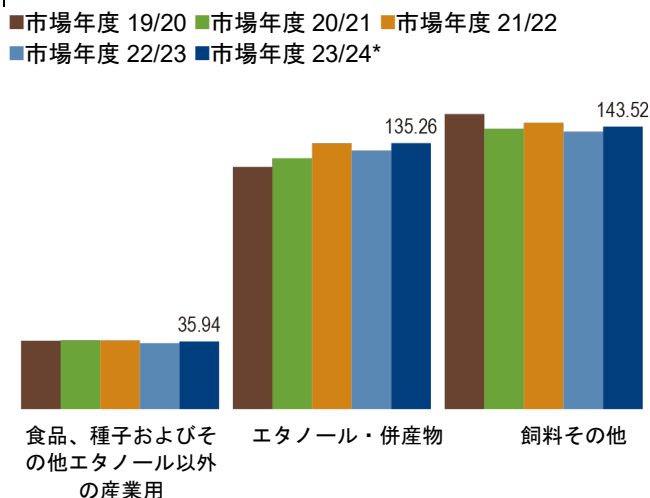
食品、種子およびエタノール以外の産業用途でのトウモロコシ消費量は3594万メートルトンと見込まれ、5YA（3608万メートルトン）に近いレベルに戻ります。

市場年度23/24の米国産トウモロコシ輸出量は、記録的なトウモロコシ収穫量が予想されることから増加すると予測されています。市場年度23/24の米国産トウモロコシ輸出量は5271万メートルトンと予測され、これは市場年度22/23を1051万メートルトン（24.9%）上回りますが、依然として5YAを179万メートルトン（3.3%）下回ります。

市場年度23/24の米国最終在庫は5477万メートルトンと予測され、前年から2019万メートルトン（58.4%）増加します。これが現実になると、5641万メートルトンであった市場年度18/19以来最も多い米国最終在庫となるでしょう。

対消費在庫率に関しては、市場年度23/24は14.9%と予測されています。これは、15.5%であった市場年度18/19以来最も高い値です。

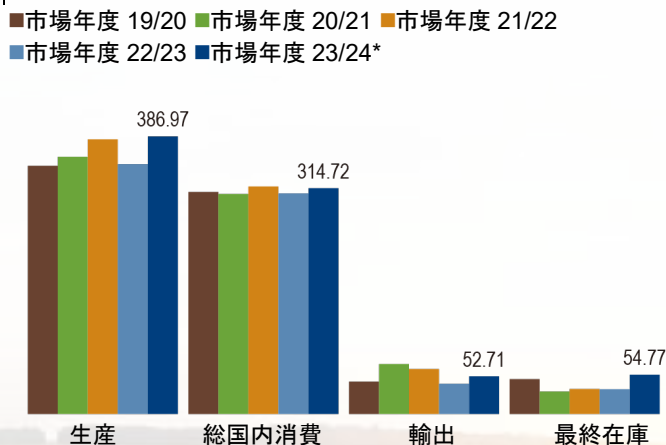
市場年度別米国産トウモロコシ消費量 (mmt)



\*予測

出典：USDA WASDE およびERS

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<sup>3</sup>

### 世界の供給

市場年度 23/24 の世界のトウモロコシ生産量は 12 億 2079 万メートルトンと見込まれています。生産量が市場年度 22/23 から 6371 万メートルトン（5.5%）増加するのは、主として米国およびアルゼンチンの生産量の増加が予想されているためです。

さらに、市場年度 23/24 の世界のトウモロコシ輸出は 1 億 9962 万メートルトンと見込まれ、市場年度 22/23 を 1868 万メートルトン（10.3%）上回ります。米国およびアルゼンチンからの輸出量の増加が、ブラジルおよびウクライナからの輸出量の減少を埋め合わせると予想されています。

### 世界の需要

市場年度 23/24 には、世界のトウモロコシ消費量は市場年度 22/23 の 11 億 6820 万メートルトンから 3.2%増加して、12 億 503 万メートルトンになると見込まれています。市場年度 23/24 では、米国、中国、欧州連合、ブラジルおよびアルゼンチンの消費量はいずれも前年度を 200 万メートルトン以上上回ると予想されています。これに対し、市場年度 23/24 のトウモロコシ消費量はインドのみ昨市場年度を 100 万メートルトン超下回ると予想されています。

中国、エジプト、イラン、サウジアラビア、カナダおよび欧州連合では、対前年度比で 100 万メートルトン以上の輸入の増加が予想されています。市場年度 23/24 のトウモロコシ輸入量は、トルコのみ昨市場年度を少なくとも 50 万メートルトン下回ると予想されています。

<sup>3</sup> USDA/Foreign Agricultural Service-Production, Supply and Distribution Database。データは 2023 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)	19/20	20/21	21/22	22/23	23/24*
<b>面積 (百万ヘクタール)</b>					
作付	36.33	36.72	37.77	35.87	38.42
収穫	32.93	33.33	34.54	32.03	35.26
単収 (トン/ヘクタール)	10.51	10.75	11.09	10.88	10.97
<b>供給量 (百万トン)</b>					
期首在庫	56.41	48.76	31.36	34.97	34.58
生産量	345.96	358.45	382.90	348.37	386.97
輸入量	1.06	0.62	0.62	0.98	0.64
<b>総供給量</b>	<b>403.44</b>	<b>407.82</b>	<b>414.87</b>	<b>384.33</b>	<b>422.19</b>
<b>消費量 (百万トン)</b>					
食品、種子、その他エタノール以外の産業用	36.31	36.55	36.50	35.10	35.94
エタノール・併産物	123.37	127.71	135.14	131.48	135.26
飼料その他	149.83	142.43	145.46	140.94	143.52
輸出量	45.18	69.78	62.80	42.20	52.71
<b>総消費量</b>	<b>354.68</b>	<b>376.46</b>	<b>379.89</b>	<b>349.72</b>	<b>367.43</b>
最終在庫	48.76	31.36	34.97	34.58	54.77
平均農家出荷価格 (ドル/トン**)	140.15	178.34	236.21	257.47	190.93

英国単位	19/20	20/21	21/22	22/23	23/24*
<b>面積 (百万エーカー)</b>					
作付	89.7	90.7	93.3	88.6	94.9
収穫	81.3	82.3	85.3	79.1	87.1
単収 (ブッシェル/エーカー)	167.5	171.4	176.7	173.4	174.9
<b>供給量 (百万ブッシェル)</b>					
期首在庫	2,221	1,919	1,235	1,377	1,361
生産量	13,620	14,111	15,074	13,715	15,234
輸入量	42	24	24	39	25
<b>総供給量</b>	<b>15,883</b>	<b>16,055</b>	<b>16,333</b>	<b>15,130</b>	<b>16,621</b>
<b>消費量 (百万ブッシェル)</b>					
食品、種子、その他エタノール以外の産業用	1,429	1,439	1,437	1,382	1,415
エタノール・併産物	4,857	5,028	5,320	5,176	5,325
飼料その他	5,899	5,607	5,726	5,549	5,650
輸出量	1,778	2,747	2,472	1,661	2,075
<b>総消費量</b>	<b>13,963</b>	<b>14,821</b>	<b>14,956</b>	<b>13,768</b>	<b>14,465</b>
最終在庫	1,919	1,235	1,377	1,361	2,156
平均農家出荷価格 (ドル/ブッシェル**)	3.56	4.53	6.00	6.54	4.85

\* 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2023年11月予測価格に基づく23/24平均農家出荷価格

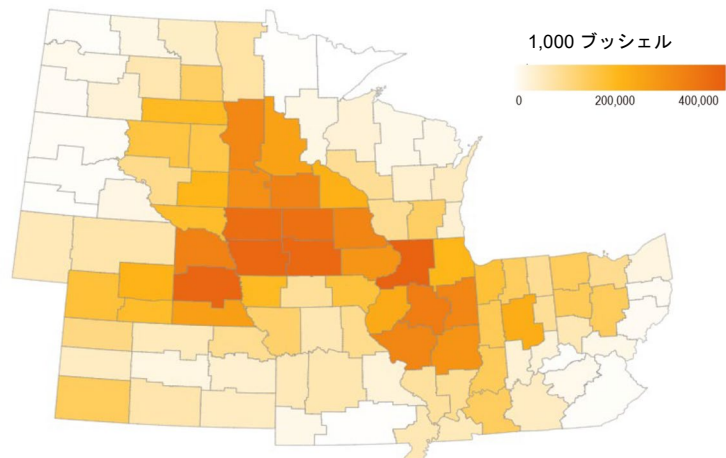
出典: USDA WASDEおよびERS

## A. 概要

本「2023/2024 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 12 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 90%超を占める 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、信頼度 95.0%での米国集計の品質ファクター予測で最大 10.0%の相対許容誤差を達成することを目指した。
- ブレンドされていない合計 611 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、2023 年 8 月 23 日から 11 月 17 日の間に地域のエレベーター業者によって農家からトラックで搬入された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、181 のサンプルをアフラトキシン、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。一方、米国北西部 ECA の総損傷とストレスクラックの相対許容誤差はそれぞれ 16.0%と 11.6%であった。南部鉄道網 ECA の総損傷とストレスクラックの相対許容誤差も 10.0%を上回っていた (それぞれ 11.5%と 10.3%)。これらの精度レベルは望ましいレベルより低いものの、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、5YA および 10YA の品質ファクターの平均値の統計的差異を求めるために、信頼度 95.0%で両側 t 検定を実施した。

2023 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



## B. 調査設計とサンプリング

### 調査設計

本「2023/2024 年収穫時報告書」では、米国産トウモロコシ輸出量の 90%超を占める米国の 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<sup>1</sup>。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、「2023/2024 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。「2023/2024 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、異なる数のサンプルが必要となります。

<sup>1</sup> 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 16 の品質ファクターの母分散は未知であるため、「2022/2023 年収穫時報告書」からの分散推計値を代用しました。2022 年の 600 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を 10.0%以下にするのに必要なばらつきと、最終的にはサンプル推定数を計算しました。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。

2022 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 12 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。「2023/2024 年収穫時報告書」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す。しかし、過去の報告書でストレスクラックの相対許容誤差が 12%を超えたことは一度もありませんでした。

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。同じサンプリング手法を用いることに加えて、95.0%の信頼度で推定した相対許容誤差が 10.0%以下という同じ精度レベルが望まれました。

最低サンプル数 (600) の 25%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、150 個以上のサンプルを試験すると、試験したサンプルのうち FDA のアフラトキシン規制レベル (20.0 ppb) を下回るサンプルの割合、FDA のデオキシニバレノール勧告レベル (5.0 ppm) を下回る割合の相対許容誤差が 10.0%以下であることが信頼度 95.0%で示されることとなります。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。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。これらの品質ファクターの相対許容誤差は「2020/2021 年収穫時報告書」より前の 10 年間の報告書の試験サンプルで 0.6%を超えたことがなく、目標最大精度である 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、穀粒容積試験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、これらの品質ファクターの推定値は目標最大レベルである 10.0%を優に下回る精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。

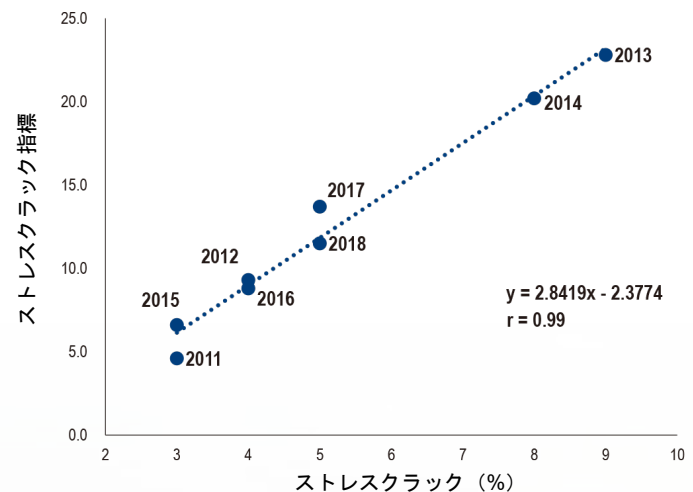
$$[\text{SSC} \times 1] + [\text{DSC} \times 3] + [\text{MSC} \times 5]$$

ここで、

- SSC は亀裂が 1 本だけの粒の割合 (%)
- 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。要求した 2050~2250 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たエレベーター宛てに、返送料金前払いのサンプリング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 611 のブレンドされていないトウモロコシのサンプルは、農場からトラックで地域のエレベーターに搬入され、そこから採取・提出され検査に供されました。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 2023 年 8 月 23 日から 11 月 17 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。

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**<sup>2</sup>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。

「2023/2024 年収穫時報告書」には過去 5 年の「収穫時報告書」(2018/2019 年、2019/2020 年、2020/2021 年、2021/2022 年および 2022/2023 年) の品質ファクター平均値の単純平均値および標準偏差が含まれています。これらの単純平均値は米国集計と 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、「2013/2014 年収穫時報告書」から本「2022/2023 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値を表します。

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。一方、米国北西部 ECA の総損傷とストレックの相対許容誤差はそれぞれ 16.0% と 11.6% でした。南部鉄道網 ECA の総損傷とストレックの相対許容誤差も 10.0% を上回っていました (それぞれ 11.5% と 10.3%)。これらの精度レベルは望ましいレベルより低いものの、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」セクションにある、本年の品質ファクターの平均値と過去 2 年間の報告書、5YA および 10YA の品質ファクターの平均値の信頼度 95.0% での統計的差異 (有意差) への言及の妥当性を両側 t 検定で確認しました。本年の品質ファクターの平均値と過去 2 年間の報告書、5YA および 10YA の品質ファクターの平均値間の差異は、信頼度 95.0% で統計的に有意でない限り、「ほぼ同じ」と表現します。

### 輸出拠点地域 (ECA)

#### 米国北西部

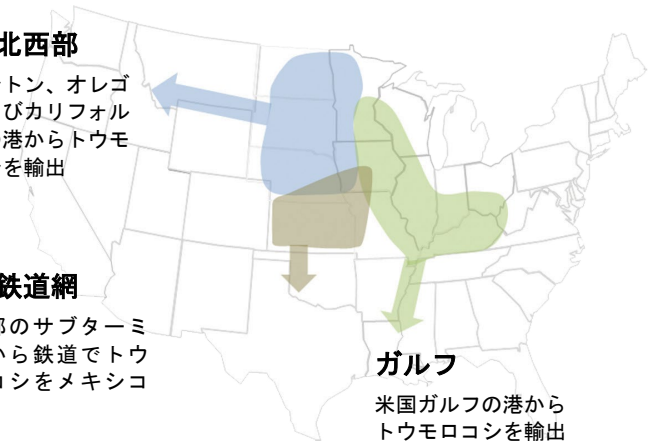
ワシントン、オレゴンおよびカリフォルニアの港からトウモロコシを輸出

#### 南部鉄道網

内陸部のサブターミナルから鉄道でトウモロコシをメキシコに輸出

#### ガルフ

米国ガルフの港からトウモロコシを輸出



<sup>2</sup> 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加重平均していない。

「2023/2024 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。プロセスの概要は以下のとおりです。

- サンプル到着後すぐに、その化学組成と水分含量を近赤外透過分光法（NIR）で分析しました。この分析により、サンプルのタンパク質、デンプンおよび油分含量の試験結果が得られます。
- 参加したエレベーターには、エレベーター自体にある電子水分計で測定した水分含量を供給時に各サンプルバッグに記録するよう依頼しました。各サンプルの到着時に実施した NIR 分析の結果ではなく、この水分含量の結果を報告します。
- 各サンプルの到着時に実施した NIR 分析で得られた水分含量の結果は、報告しないものの、試験期間中にそれ以上劣化しないようにするために、さらに乾燥させてサンプルの水分含量を適切なレベルまで減らす必要があるかどうかを決定するために使用しました。水分含量が 16.0%を超えるサンプルは、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分割しました。
- 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。
- その他のサブサンプルについては、業界の基準または十分に確立された手順のいずれかに従って、IPG ラボで物理的ファクターとマイコトキシン汚染を分析しました。IPG ラボは、化学組成、ストレスクラック、百粒重、穀粒容積および真の穀粒密度に対する国際規格 ISO/IEC17025:2017 に基づく認証を受けています。この認証の全容については <https://www.ilcrop.com/about/lab-services/> 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（2150.42 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時点まで注ぎます。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別することができます。目開き 12/64 インチのふるいを通過し、目開き 6/64 インチのふるいの表面に残るすべての物質を破損粒と定義します。目開き 6/64 インチのふるいを通過する物質と目開き 12/64 インチのふるいの表面に残るトウモロコシ以外の粗い物質はすべて異物と定義します。BCFM は当初サンプルに占める割合を重量比（パーセント）で報告します。

### 総損傷/熱損傷

総損傷は穀物等級基準のための FGIS 米国公式規格の一部です。

損傷粒を調べるため、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

### 近赤外透過分光法（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（ $\text{cm}^3$ ）で表します。1 穀粒当たりの容積は通常 0.14～0.36  $\text{cm}^3$  の範囲にあり、前者は小型トウモロコシ粒、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（押しわけ容積）で除して求めます。2 反復群のそれぞれの結果の平均を取ります。真の密度は 1 立方センチメートル当たりのグラム数（ $\text{g}/\text{cm}^3$ ）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  $\text{g}/\text{cm}^3$  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、50g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50g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20粒の平均硬胚乳等級を報告します。70~100%の範囲で硬胚乳の等級を定めませんが、大半のトウモロコシ粒は70~90%の範囲に入ります。

## E. マイコトキシン試験

トウモロコシのマイコトキシン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「2023/2024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。



「2023/2024 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。

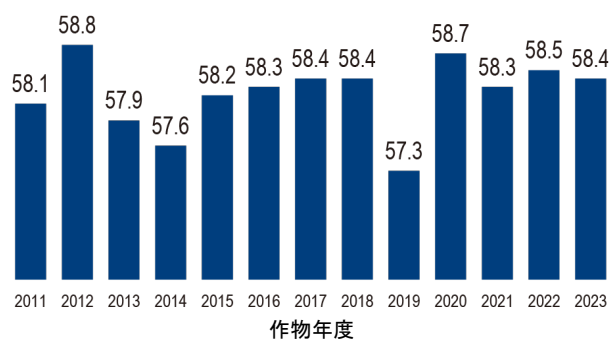
「2020/2021 年収穫時報告書」から開始した、オクラトキシン A、T-2 およびゼアラレノンが分析対象のマイコトキシンのリストに追加され、アフラトキシン、デオキシニバレノールおよびフモニシンの試験結果によってもたらされた情報を補足しています。追加されたこれらの 3 つのマイコトキシンの試験は本年の「収穫時報告書」でも継続して行われました。EnviroLogix AQ 113 BG、AQ 314 BG および AQ 412 BG 定量化試験キットは、それぞれオクラトキシン A、T-2 およびゼアラレノンに用いました。オクラトキシン A の試験に用いた EnviroLogix AQ 113 BG 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。



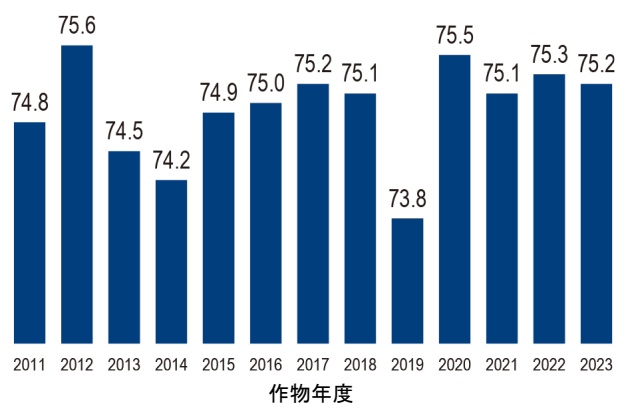
## A. 等級ファクターと水分含量

2011年以降、アメリカ穀物協会の「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产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、全収穫時報告書から抜粋した、試験対象の各品質ファクターの米国集計平均値を示し、今期の結果と過去の履歴とを照らし合わせるようにしています。

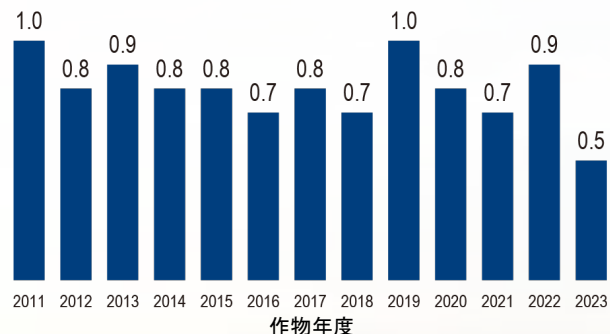
作物年度別容積重 (lb/bu)



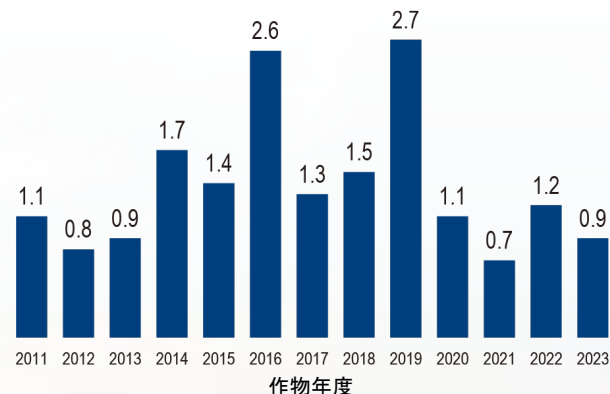
作物年度別容積重 (kg/hl)



作物年度別 BCFM (%)



作物年度別総損傷 (%)

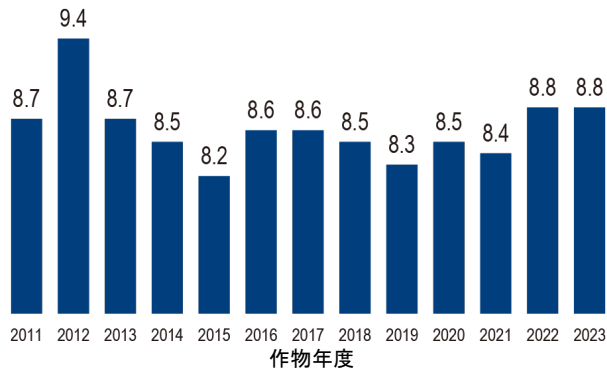


作物年度別水分含量 (%)

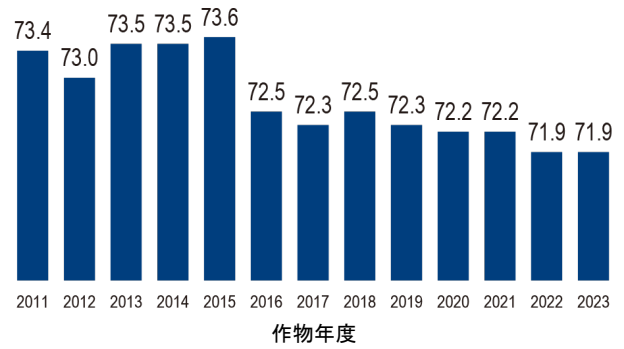


B. 化学組成

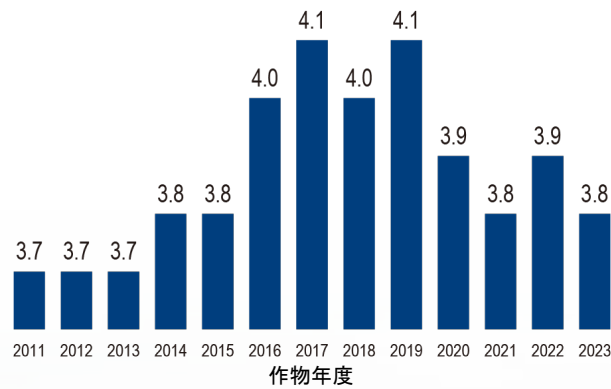
作物年度別タンパク質（乾物ベース%）



作物年度別デンプン（乾物ベース%）

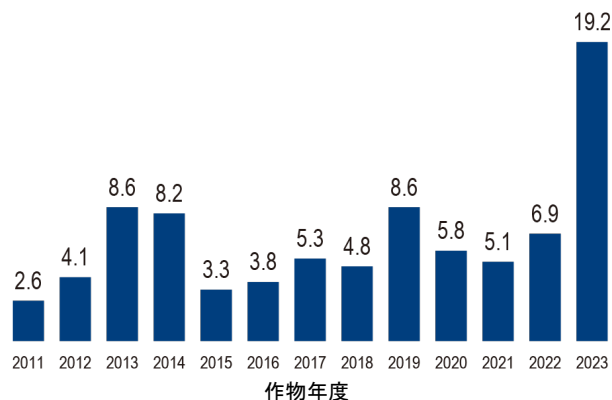


作物年度別油分（乾物ベース%）

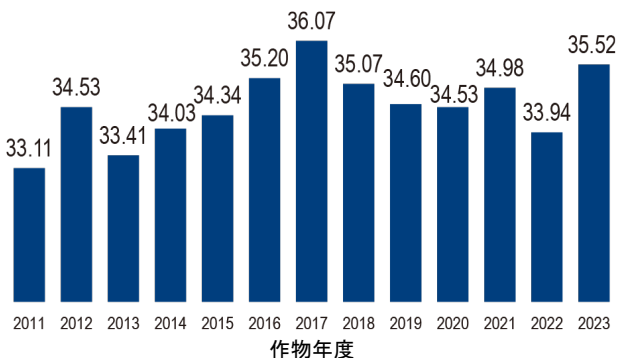


C. 物理的ファクター

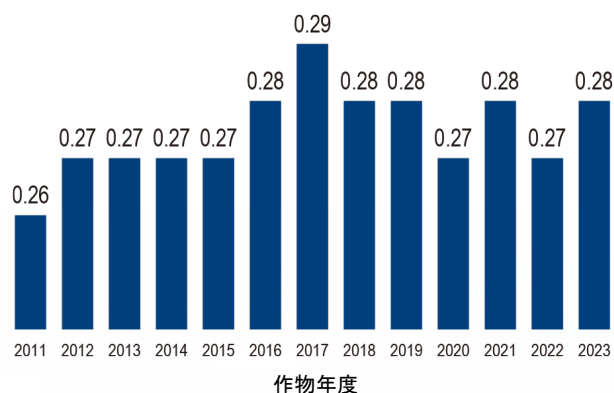
作物年度別ストレスクラック (%)



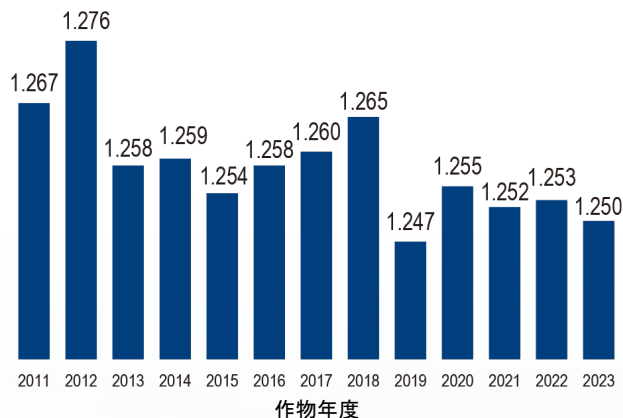
作物年度別百粒重 (g)



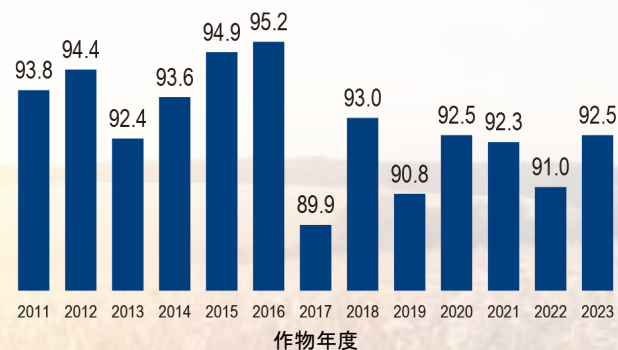
作物年度別穀粒容積 (cm<sup>3</sup>)



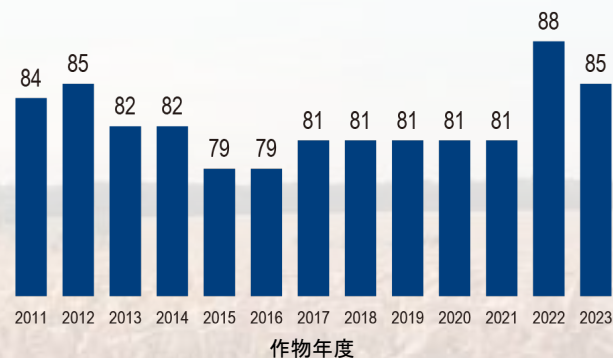
作物年度別真の密度 (g/cm<sup>3</sup>)



作物年度別完全粒 (%)



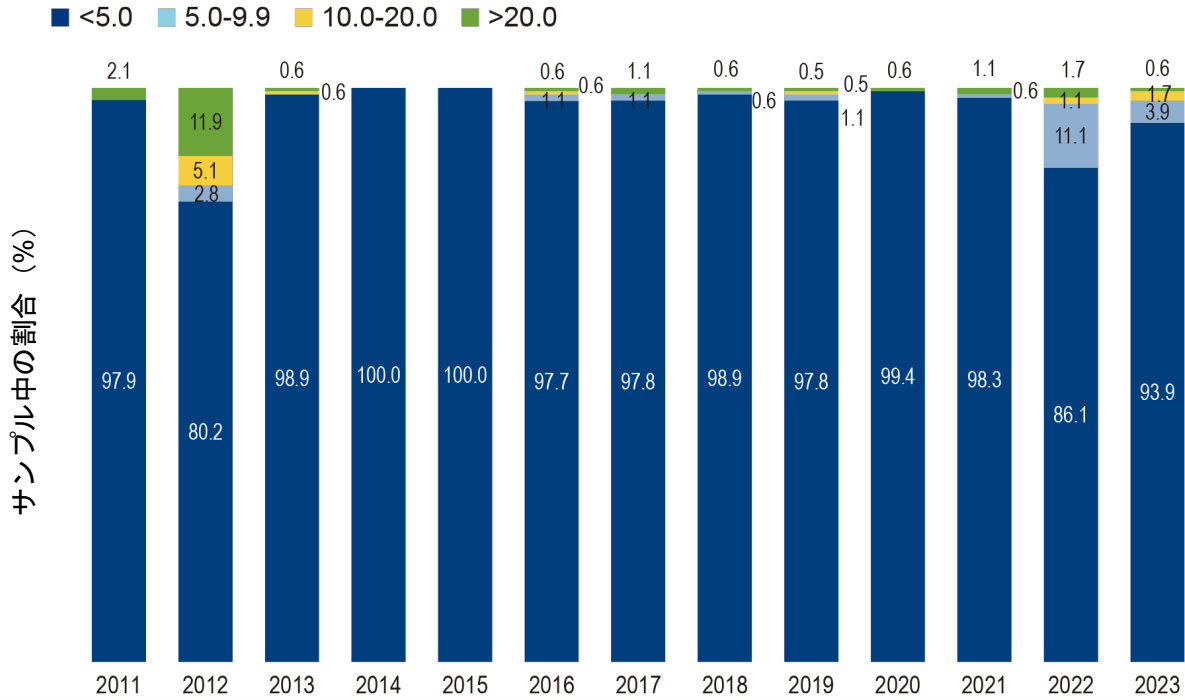
作物年度別硬胚乳 (%)



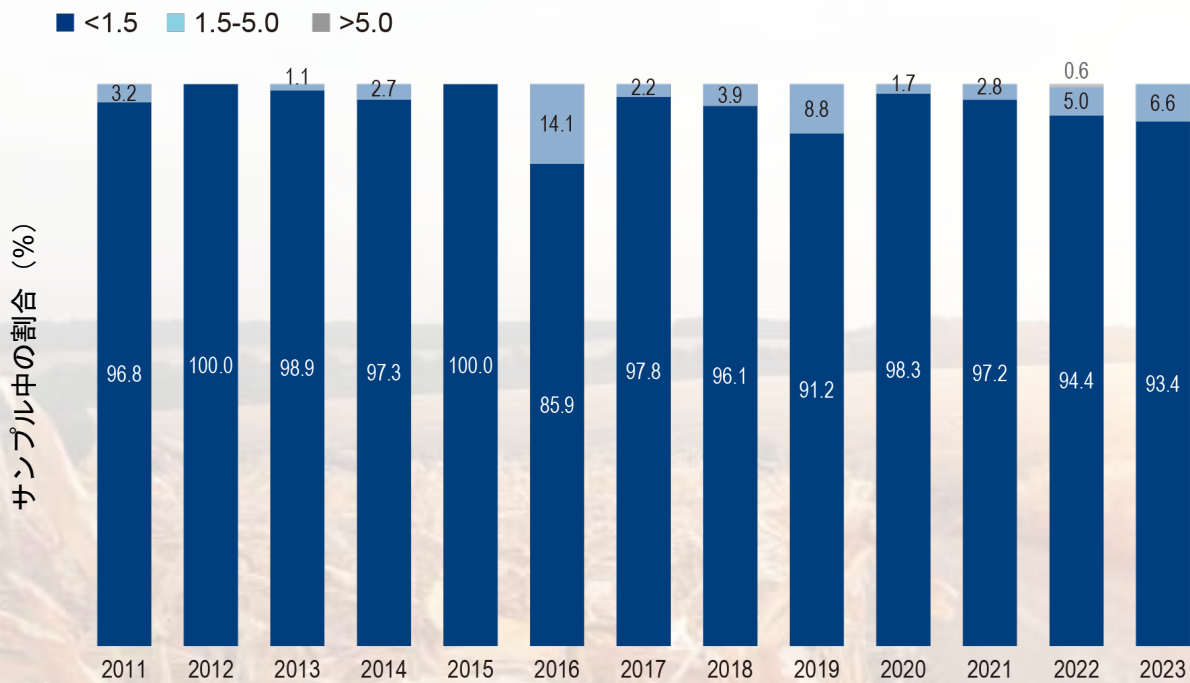


D. マイコトキシン

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 またはポミトキシン) 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が一般に有害・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キントール/ヘクタール	1メートルトン = 10キントール
56ポンド/ブッシェル = 72.08キログラム/ヘクトリットル	1キントール = 100キログラム
	1ヘクタール = 2.47エーカー

### 略語

cm <sup>3</sup> = 立方センチメートル
g = グラム
g/cm <sup>3</sup> = 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, D.C., 20001  
Phone: 202-789-0789 • Fax: 202-898-0522  
Email: [grains@grains.org](mailto:grains@grains.org) • Website: [grains.org](http://grains.org)

### PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA: Beijing

Tel1: 011-86-10-6505-1314 • Tel2: 011-86-10-6505-2320  
Fax: 011-86-10-6505-0236 • [china@grains.org](mailto:china@grains.org)

### JAPAN: Tokyo

Tel: 011-81-3-6206-1041 • Fax: 011-81-3-6205-4960  
[japan@grains.org](mailto:japan@grains.org) • [www.grainsjp.org](http://www.grainsjp.org)

### KOREA: Seoul

Tel: 011-82-2-720-1891 • Fax: 011-82-2-720-9008  
[seoul@grains.org](mailto:seoul@grains.org)

### TAIWAN: Taipei

Tel: 011-886-2-2523-8801 • Fax: 011-886-2-2523-0189  
[taipei@grains.org](mailto:taipei@grains.org)

### MIDDLE EAST, AFRICA AND EUROPE: Tunis

Tel: 011-216-71-191-640 • Fax: 011-216-71-191-650  
[tunis@grains.org](mailto:tunis@grains.org)

### INDIA: New Delhi

Tel: +91-11-4603-6437 • [usgcindia@grains.org](mailto:usgcindia@grains.org)

### SOUTH EAST ASIA: Kuala Lumpur

Tel: 011-603-2093-6826 • [kl@grains.org](mailto:kl@grains.org)

### LATIN AMERICA: Panama City

Tel: 011-507-315-1008 • [lta@grains.org](mailto:lta@grains.org)

### MEXICO: Mexico City

Tel1: 011-52-55-5282-0244 • Tel2: 011-52-55-5282-0973  
Tel3: 011-52-55-5282-0977 • Fax: 011-52-55-5282-0974  
[mexico@grains.org](mailto:mexico@grains.org)