

世界の各地域で生産された輸出用トウモロコシの ウェットミリング分画の特性評価と比較

トウモロコシのデンプン抽出性—産地の異なるトウモロコシ(2)

アメリカ穀物協会では、米国のトウモロコシが工業用デンプン製造の際に他の産地のトウモロコシよりも高いデンプン収量を与えることを実証する研究プロジェクトを実施しています。その中間報告はNETWORK 第180号(2022年11月号)にて公表しています。今回は2021年産の異なる産地のトウモロコシについての検討結果を報告します。

なお、この記事はオリジナル文献(Characterization and Comparison of Wet Milling Fractions of Export Commodity Corn Originating from Different International Geographical Locations. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/star.202200280>)を仮和訳したものです。また、表1、表2と参考文献リストなどはスペースの都合で割愛しましたので、オリジナル文献をご参照ください。

概要

軟胚乳トウモロコシはウェットミリングに適合する顕著な特性を持つが、輸送中に破損や破砕を生じやすい。本研究では世界各地で生産され様々な胚乳硬度を有するトウモロコシのサンプルの粉碎性を比較し、この粉碎性がウェットミリング用途のトウモロコシを輸入する業者に及ぼす経済的影響について考察する。軟胚乳の米国産トウモロコシの破損粒&異物(BCFM)は1.13%から5.57%の範囲で、他の地域から同じ国に輸出されるトウモロコシの値を上回る。世界の様々な市場に輸出される米国産トウモロコシのデンプン収率は他の地域から同じ市場に輸出されるトウモロコシのデンプン収率よりも5~8%高い。米国産トウモロコシのデンプンの過剰分は、日産2,540MT⁻¹のウェットミリングプラントにとって、そのまま年813~1,300万USDの追加収入となることを意味する。したがって、破損率が高いにもかかわらず、軟胚乳を有する米国産トウモロコシは、比較的BCFMの値が低い世界の他の地域の硬胚乳トウモロコシを上回る優れた粉碎性と高いデンプン収率をもたらすと結論づけることができる。最初のクリーニング工程後、破損粒を分離して処理するために用いることのできる技術が存在する。

1. 緒言

一般に、トウモロコシ穀粒(*Zea mays* L.)はデンプン、タンパク質、油分、糖、粗繊維から構成される。トウモロコシのウェットミリングは、こうした成分の分画化と、デンプンや、グルコース、デキストロース、高果糖コーンシロップ等の価値の高い産物、コーングルテンミールや、コーングルテンフィード、胚芽等の併産物の生産につながる。⁽¹⁾デンプンとデンプン加水分解物はウェットミリングの主要産物で、主に食品、飲料、燃料アルコールおよび工業バイオテクノロジーの分野で用いられる。

2021年には米国で生産された合計3億5,800万メートルトンのト

ウモロコシのうち約1億6,400万トンのトウモロコシが食品、アルコールおよび工業用としてウェットミリングにより加工された。^(2,3)同時期(2020-2021)、米国は価格にして186億3,000万USD分、6,980万トンのトウモロコシを中国、エジプト、台湾、韓国、コロンビア、インドネシア、サウジアラビアといった国々に輸出したが、こうしたトウモロコシの大半がウェットミリング用途である。⁽⁴⁾ウェットミリングのデンプン収率はこうしたトウモロコシのエンドユーザーの費用対効果に貢献する重要なファクターである。しかしながら、ウェットミリングの際の主たる懸念事項は輸送時の破損トウモロコシと異物(BCFM)である。BCFMやその他のトウモロコシ品質の変化は、混合、保管、荷積み、荷卸し、積み替えといった複数の取扱いの過程を含む長距離輸送によって引き起こされる。⁽⁵⁾こうしたトウモロコシ品質の変化は穀物取扱業者やエンドユーザーに経済的損失をもたらす。多様な世界市場で売買されているトウモロコシは様々な作物栽培法や気象条件の下で生産され、様々な遺伝形質であるため、結果として物理特性、胚乳硬度およびウェットミリング特性が異なることになる。トウモロコシの胚乳の硬さはウェットミリングにおけるデンプン抽出性に大きな影響を及ぼす。胚乳の硬さは胚乳の構造、組成、顆粒成分の構造およびタンパク質分布と関係する。硬度が増すと保管、取り扱いおよび輸送に望ましい品質となるが、デンプンの抽出性には負の影響を及ぼす。⁽⁶⁾米国産トウモロコシは何十年もの間、より高いデンプン収率を目指して育種されてきた結果、デンプン抽出性が高まっている。ただし、米国中西部の気候の関係で米国産トウモロコシの収穫期間は短く、そのためトウモロコシの収穫時水分含量は通常13%を上回る。長期保管や輸出には人工的な乾燥が求められるが、これがストレスクラックに結び付く。^(7,8)そのため、概して胚乳の柔らかい米国産トウモロコシは運搬中や世界各地に委託輸送している間にストレスクラックを原因とする破損が起こりやすい。^(5,9)一方、例えば南米産のトウモロコシのように他の地域で生産されるトウモロコシは一般に胚乳が硬く、収穫前に圃場で乾燥させて水分含量を下げており、ストレスクラックが起こらない。

トウモロコシのウェットミリング業者は米国、南米、その他の地域からトウモロコシを輸入するが、ダストの量が多くBCFM値が高い米国産トウモロコシは、ダストやBCFMが少なく保管や輸送に最適である南米産のトウモロコシに劣ると考えられることが多い。⁽⁹⁾破損トウモロコシやダストは浸漬時に浸漬タンクのスクリーンの汚れや浸漬液のチャネリングといった問題を引き起こし(結果として不十分な浸漬となる)、浸漬液中の可溶分を増加させる。このため、ウェットミリング業者は破損トウモロコシやダストの取り扱いという問題に直面し、クリーニングのために余分な労力が必要になる。⁽¹⁰⁾こうした処理上の問題を回避するため、クリーニング後の破損トウモロコシをコーングルテンフィード(CGF)と直接混ぜ合わせることで浸漬およびミリング工程を省略することも多いが、これはCGF中のデンプン損失や

全体的なデンプン収率の減少という結果をもたらす。こうした理由から、ウェットミリング用として米国産トウモロコシを好まない輸入業者も世界には存在する。ウェットミリングではトウモロコシの物理的品質に基づいてトウモロコシ積送品が承認されるからである。しかしながら、ウェットミリング工程の経済的妥当性はこの方法で得られるデンプン収率に大いに依存することから、評価すべきはトウモロコシのウェットミリング特性である。デンプン収率が1年に1パーセント増加するとトウモロコシのウェットミリングプラントの追加収入は相当額にのぼる可能性がある。そのため、ウェットミリング用トウモロコシを選択する際の主たる根拠は物理特性ではなく、主にデンプン収率を意味するウェットミリング収率とすべきである。様々なトウモロコシサンプルのウェットミリング特性はラボでのウェットミリング試験によって確認することができる。^[11]この試験は筆者らのグループが2019年に地理的に異なる地域(コロンビア、台湾およびチュニジア)から入手した米国産および南米産(ブラジルとアルゼンチン)のトウモロコシの粉碎性の評価を公表した前回の試験を引き継いだものである。^[12]今回の試験では、前穀物年度と比較した場合のウェットミリング特性の変化を評価するため、2020年に収穫したトウモロコシの粉碎性を評価した。産地については3か所(ウクライナ、セルビア、インドネシア)を追加し、収集地については、4か所、すなわちエジプト、韓国、インドネシア、サウジアラビアを、台湾とコロンビアに追加した。

2. 結果と考察

2.1. ウェットミリングのデンプン収率

トウモロコシのウェットミリングにおいてデンプン収率が最も重要なファクターであると考えられている。地理的に異なる地域で栽培され(異なる産地)、世界の様々な場所から収集したトウモロコシのサンプルを用いたラボスケールの100gウェットミリング試験では、処理されたデンプン収率は61.61% から68.11% w/wの範囲となり、米国産トウモロコシサンプルのみが66.64% から69.11% w/wの範囲となった(図1a)。産地別のトウモロコシのデンプン収率の平均値を図1bに示した。デンプン含有率とデンプン収率のデータに基づく、いずれのトウモロコシサンプルもデンプン含有率はほぼ同じ(70.57%- 72.60%) (表1、示さず)であるにも関わらず、ウェットミリングのデンプン収率に61.61-69.11%のばらつきがあるということは明らかである。この結果は、トウモロコシサンプルの粉碎性はデンプン含有率に依存するのではなく、遺伝形質、栽培条件および収穫後の作業に依存することを示している。^[5,13]米国トウモロコシサンプルの高いデンプン収率は、米国から輸出された軟胚乳トウモロコシの粉碎性が優れていることを示唆している。

2.2. トウモロコシサンプルの物理特性

容積重のみならずフローテーションインデックスと破損トウモロコシ(BCFM)もトウモロコシサンプルすべてについて評価される物理特性である。フローテーションインデックスは穀粒密度の指標で

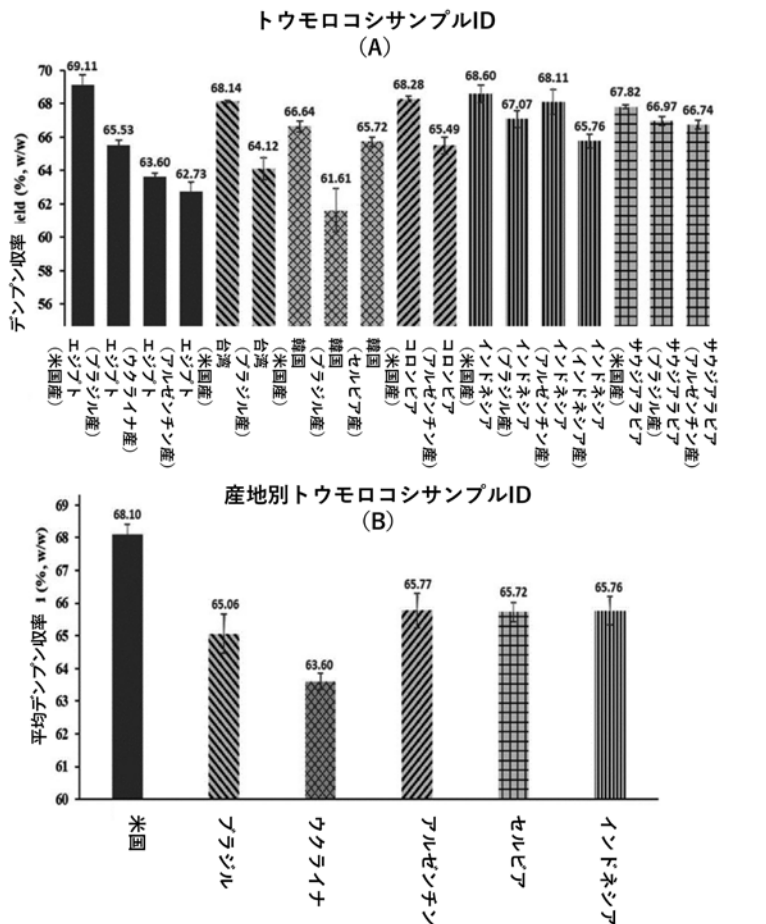


図1. トウモロコシのウェットミリングによるデンプン収率の比較。a) 各サンプルのデンプン収率(% w/w) b) 各産地のサンプルの平均デンプン収率(% w/w)。トウモロコシサンプルのIDは米国(USA)、ブラジル(BRA)、ウクライナ(UKR)、アルゼンチン(ARG)、セルビア(SRB)から輸出先国であるエジプト(EGY)、台湾(TWN)、韓国(KOR)、コロンビア(COL)、インドネシア(IDN)およびサウジアラビア(SAU)に輸出されたトウモロコシであることを示している。

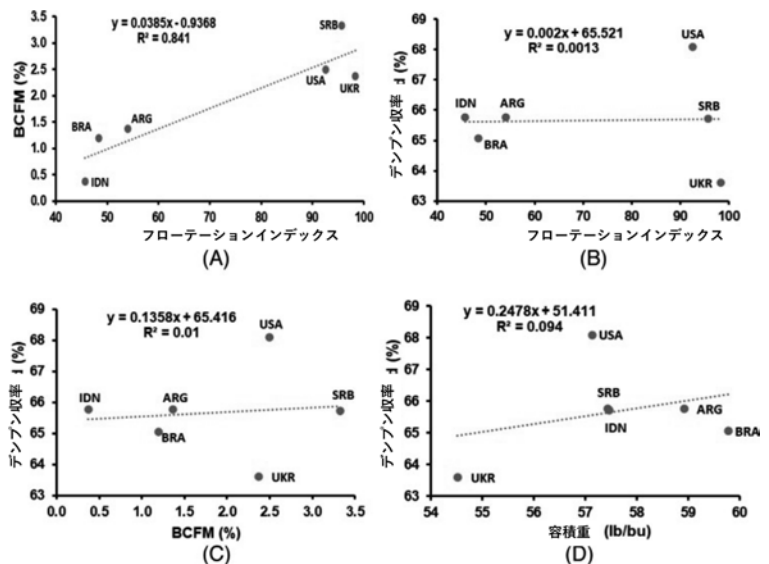


図2. 異なる産地のトウモロコシサンプルの(a)フローテーションインデックス平均値とBCFM平均値(b)ウェットミリングデンプン収率平均値とフローテーションインデックス平均値(c)ウェットミリングデンプン収率平均値とBCFM平均値(d)ウェットミリングデンプン収率平均値と容積重平均値との間の相関関係図。IDN、BRA、ARG、USA、UKR、およびSRBで表示されるトウモロコシサンプルIDは、パラメータ値が、それぞれ、同産地であるインドネシア、ブラジル、アルゼンチン、米国、ウクライナ、およびセルビアのトウモロコシの平均値であることを示している。これらは地理的に異なる地域から収集された。

あり胚乳硬度を示すものである。米国産トウモロコシサンプルはいずれもフローテーションインデックスの範囲が87.33から99.00%で、他のサンプル(21.33から72.33%の範囲)よりも高いが、EGY(UKR)(98.33%)とKOR(SRB)(95.67%)のサンプルのフローテーションインデックスとは同程度であった。フローテーションインデックスのば

軟胚乳トウモロコシはより高温で乾燥させるとより多くの可溶性固形分とタンパク質を浸漬液中に遊離させる可能性がある。^[18]同様の観察結果は今回の試験でも記録されていて、グルテン回収率は、大半の軟胚乳トウモロコシサンプル、すなわち米国産トウモロコシで有意に低下し、こうしたトウモロコシサンプルの浸漬液固形分の値はわずかに上昇している。

2.4. 経済的影響と破損トウモロコシの処理技術

この試験の結果から、米国産トウモロコシのデンプン回収率は比較的高いため、他の地域で生産されたトウモロコシよりも粉碎性に優れていることは明らかである。ウェットミリングにより抽出されるデンプン回収率が1パーセント増加すると、製品の販売価格とプラント生産能力によって異なってくるものの、1ブッシェル当たりおおよそ4.6セント増になる。^[19]米国産トウモロコシのデンプン回収率は他のトウモロコシサンプルの値を5-8%上回っているため、大規模なウェットミリングプラントでは米国産トウモロコシの使用による価値増加は莫大なものとなる可能性がある。酵素を用いたウェットミリング(E-Milling)^[20-23]あるいは間欠ミリング・ダイナミック浸漬(IMDS)^[24-27]といった技術を使用して、クリーニング後に破損トウモロコシを別途処理することで、より高いデンプン回収率の達成が可能となる。破損トウモロコシは、E-Millingプロセスではタンパク質分解酵素を、IMDSプロセスでは硫黄水を用いて、短時間別途浸漬することができる。短時間の浸漬後、破損トウモロコシを粉碎し(完全粒の)メインプロセスから得られるコーンストリーと混合することができる。破損トウモロコシだけを別に処理することで浸漬液タンクのスクリーンの目詰まり、浸漬タンク内の水のチャネリングおよび浸漬液中の可溶分の損失に関わる処理上の問題を回避することになるが、同時に破損トウモロコシに含まれるデンプンの回収も可能となる。年間330日稼働する日産100,000ブッシェルの生産能力を持つウェットミリングプロセスのプラントでは、デンプン回収率が1パーセント増加すると収入は約165万USD増加する。^[28]米国産トウモロコシのデンプン回収率は他のトウモロコシを5-8%上回るため、原材料に米国産トウモロコシを用いるウェットミリングプラントの1年あたりの追加収入は813万-1,300万USDに及ぶことになる。さらに、経済的恩恵はウェットミリングの効率やデンプン回収率にも左右される。米国産のトウモロコシは軟胚乳であることから、BCFMを除去して単独処理したり、輸送中の取扱いを丁寧にして破損を最小限に抑えたりするための追加の単位操作が必要になるが、こうした追加コストは高デンプン回収率による収入増加によって十分賄うことができる。結果として、ウェットミリング用のトウモロコシの輸入業者にとって、米国産トウモロコシは他の産地のトウモロコシよりも優れた価値を提案することができるものとなる。

3. 結論

世界の他の地域から輸入されるトウモロコシと比較して、デンプン回収率が実質66-69%得られる米国産トウモロコシのウェットミリングは収入増に結び付く。軟胚乳トウモロコシ、すなわち本試験の米国産トウモロコシから得られるデンプンの粉状はその性質ゆえに、ウェットミリングでは他の硬胚乳のトウモロコシよりも好まれるが、それは

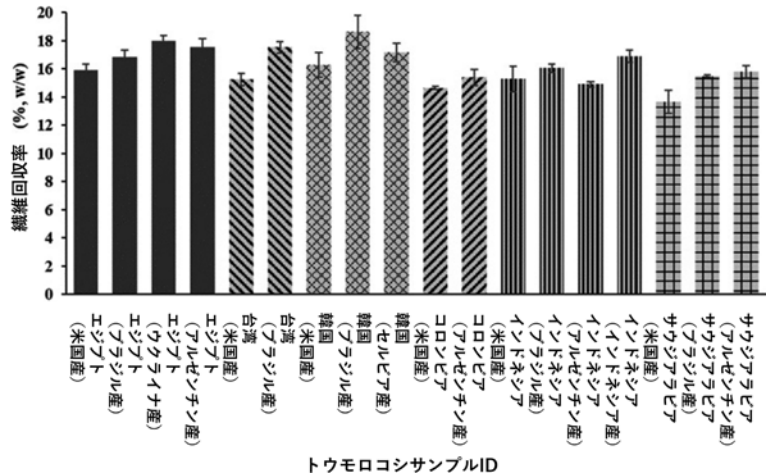


図5. ウェットミリングでの繊維回収率の比較。トウモロコシサンプルのIDは米国(USA)、ブラジル(BRA)、ウクライナ(UKR)、アルゼンチン(ARG)、セルビア(SRB)から輸出先国であるエジプト(EGY)、台湾(TWN)、韓国(KOR)、コロンビア(COL)、インドネシア(IDN)、およびサウジアラビア(SAU)に輸出されたトウモロコシであることを示している。

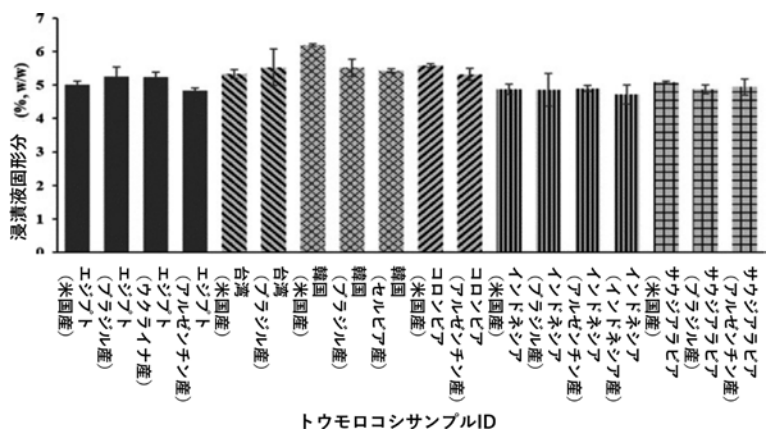


図6. ウェットミリングでの浸漬液固形分回収率の比較。トウモロコシサンプルのIDは米国(USA)、ブラジル(BRA)、ウクライナ(UKR)、アルゼンチン(ARG)、セルビア(SRB)から輸出先国であるエジプト(EGY)、台湾(TWN)、韓国(KOR)、コロンビア(COL)、インドネシア(IDN)、サウジアラビア(SAU)に輸出されたトウモロコシであることを示している。

ウェットミリングプロセスでは粉状デンプンの方が回収しやすいためである。輸送中の破損率が上昇する結果となる軟胚乳トウモロコシの好ましからざる物理的性質上の制限があるものの、ウェットミリングプロセスでは軟胚乳トウモロコシの方が抽出性の高いデンプンが得られる。効率的なウェットミリングプロセスに軟胚乳の米国産トウモロコシを用いた場合には、世界の他の産地の硬胚乳トウモロコシを使用するプラントと比較して、年間813-1,300万ドルの収入増が達成されることとなる。

ネットワークに関するご意見、
ご感想をお寄せ下さい。

U.S. GRAINS COUNCIL アメリカ穀物協会

〒105-0001 東京都港区虎ノ門1丁目2番20号
第3虎の門電気ビル11階

Tel: 03-6206-1041 Fax: 03-6205-4960
E-mail: Japan@grains.org

本部ホームページ (英語) : <https://www.grains.org>
 日本事務所ホームページ (日本語) : <https://grainsjp.org/>