

令和4年度中国四国地域飼料増産推進研修会  
R4年12月21日

# 子実用トウモロコシの 収穫・調製技術について

農研機構畜産研究部門  
河本英憲

## ✿はじめに

～子実用トウモロコシについて～

## ✿子実用トウモロコシの収穫調製について

～収穫時期、収穫機械、乾燥調製～

## ✿今後の調製貯蔵技術について

～低コスト乾燥、子実サイレージ～

## 畜産経営をめぐる情勢

★配合・混合飼料原料の約5割を占めるトウモロコシは、そのほぼ全てを輸入に依存し、輸入量は年間1000万tを超える

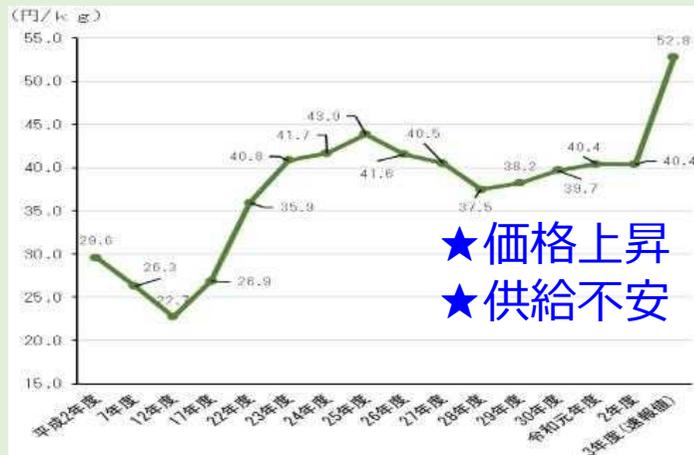


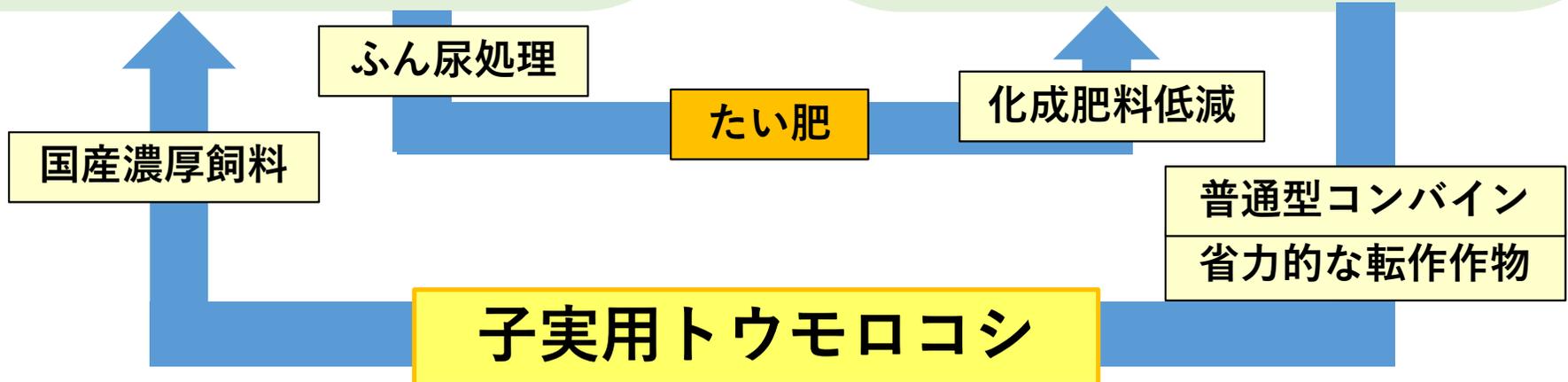
図1. 単体飼料用トウモロコシの工場渡価格の推移  
農水省「国産濃厚飼料をめぐる情勢 R4年6月」

## 水田農業をめぐる情勢

★米一辺倒から麦大豆等への作付転換  
→ 普通型（汎用）コンバインの普及  
★担い手へ農地集積 → 大規模化(労力不足)



図2. 主食用米の需要量の推移  
農水省「米をめぐる状況について R4年5月」



# 全国の子実用トウモロコシ作付面積の推移

- ★乾燥子実を収穫するトウモロコシの作付けが明治から平成にかけて行われていた
- ★安価な輸入品の増加で消滅。平成13年以降は桑とともに統計調査の対象外に

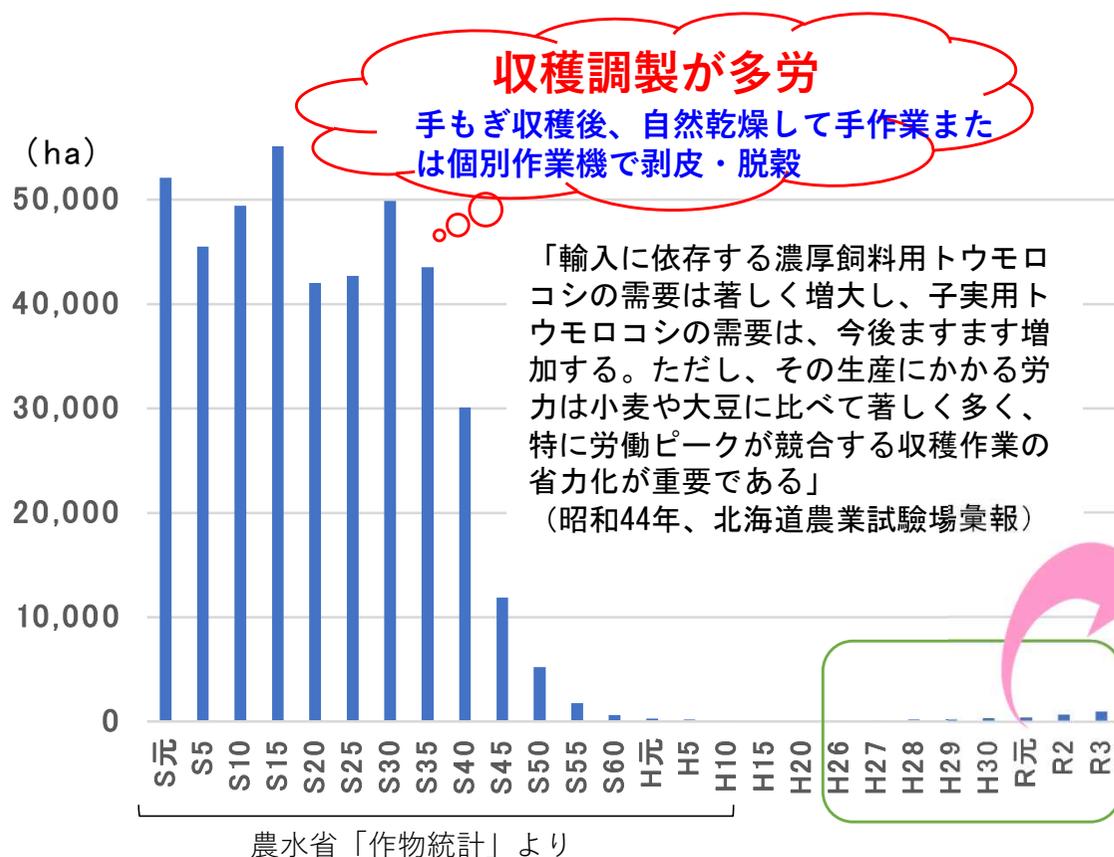


図3. 子実用トウモロコシの作付面積

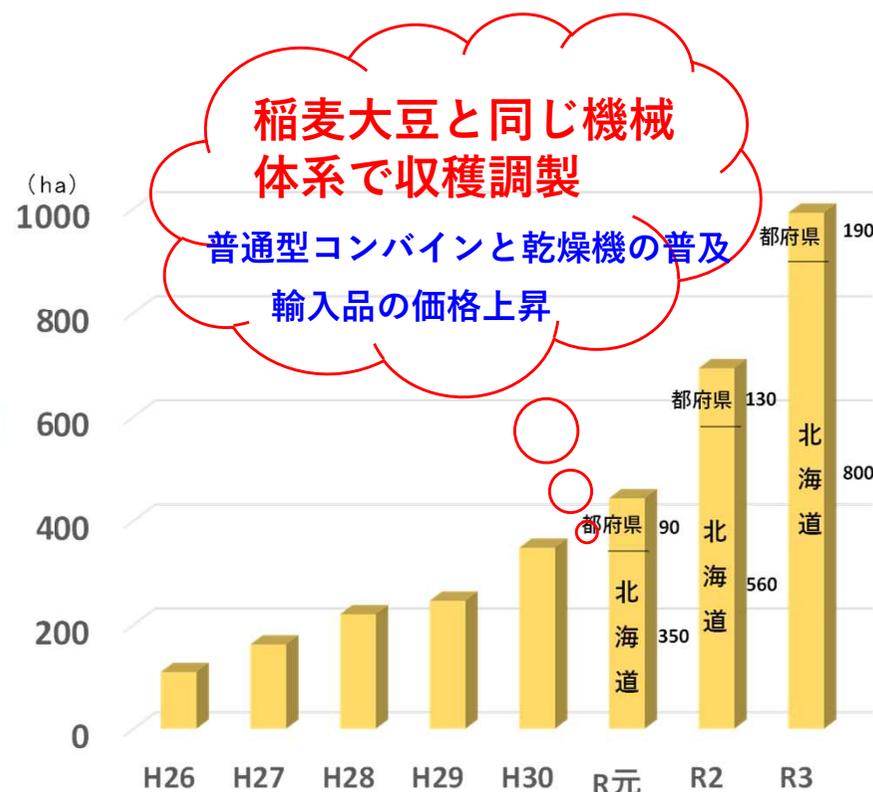


図4. 最近の子実トウモロコシ作付面積

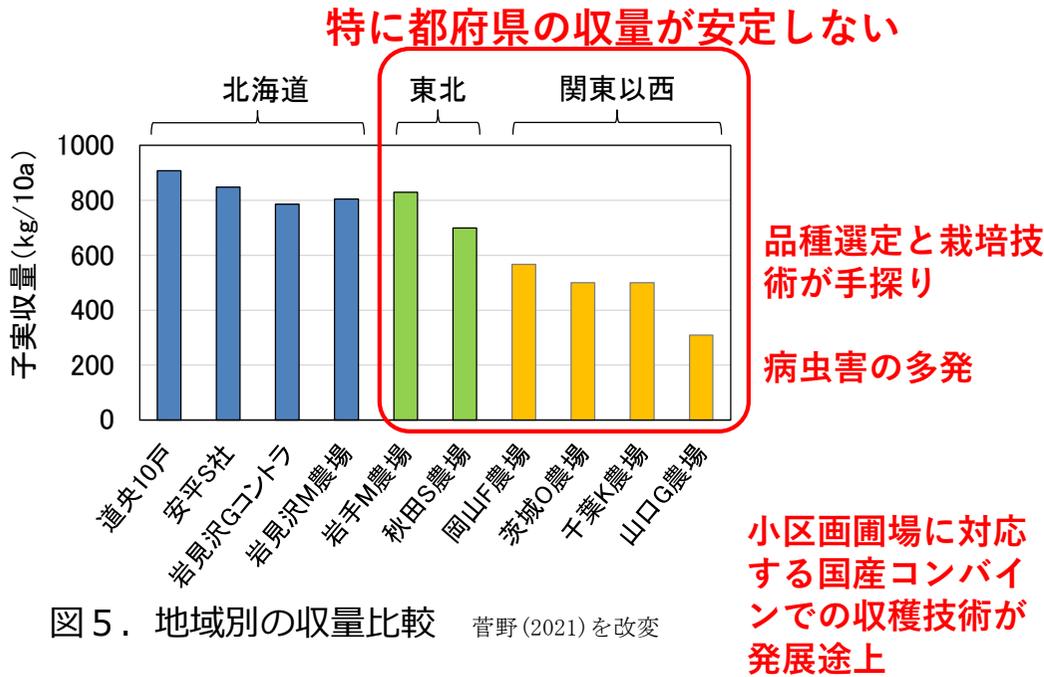


図5. 地域別の収量比較 菅野(2021)を改変

## 品種選定

- ・青刈りトウモロコシ品種からの転用
- ・湿害の出やすい水田転換畑での収量向上
- ・完熟期まで栽培期間が延びることによる赤かび病、虫害、倒伏リスク上昇への対応

## 肥培管理技術

化学肥料への依存度を低減しつつ、子実の多収を確保する栽培技術

## 持続的生産体系への転換

国産化・たい肥利用における温室効果ガスの排出・炭素貯留等の環境への影響を明らかにし、環境への負荷軽減を図る技術開発が必要

## 収穫調製技術



国産コーンヘッド（汎用コンバイン用トウモロコシ専用収穫ヘッド）が市販開始(R2年)

- ・小区画圃場にも対応できる専用収穫体系が整いつつある
- ・収穫能率向上に対応した調製施設の能力向上が必要

## ✿はじめに

～子実用トウモロコシについて～

## ✿子実用トウモロコシの収穫調製について

～収穫時期、収穫機械、乾燥調製～

## ✿今後の調製貯蔵技術について

～低コスト乾燥、子実サイレージ～

# 子実用トウモロコシの収穫時期(米国での例)

★子実水分30～33%で子実基部にブラックレイヤー(黒層)が出現して成熟(完熟)。その後1日あたり0.6%(高い場合は1%)ずつ水分が低下(乾燥が進行)

★多くの生産者は、子実水分が15～18%に低下したら収穫することを目指している(最も経済的だと信じられている)

★子実水分が20%を下回ると雌穂落下がはじまる  
子実水分26%が最も収穫損失が少ない(1～3%)

(子実水分15%では、10～15%の収穫損失が発生)

子実水分19～24%での収穫が最も損傷粒が少ない



★子実水分のみでなく、嵐による倒伏、虫害、カビ毒、収穫損失、早期出荷時の市場プレミアム価格など、様々な状況を見極めて収穫時期を判断せよ

★子実水分18%以下で収穫することは多くの状況に適合する。一方、リスクを見極めて20%以上で収穫することもまた正しい判断である。高度なマネジメントによれば、人工乾燥・保管施設コストを十分に相殺することができる

# 推奨される収穫時期

(人工乾燥が前提の日本において)

- ★ 完熟に達した以降は、子実への養分蓄積・移動はなく、乾燥と茎葉損耗が進むのみ  
= 倒伏、折損や雌穂脱落等の損失リスクが高まる
- ★ 完熟（子実水分30%程度）に達したといっても、茎葉水分は70%を越える  
= 茎葉が枯れ上がる過熟期まで待たないと詰まりや夾雑物が増加(特にリールヘッド)  
茎葉水分75%の場合、茎・穂軸片の混入が5%超(長野畜試2016)
- ★ 子実乾燥コスト低減のためには、なるべく圃場での乾燥を期待したい



- ・ 収穫損失の最小は26%
- ・ 損傷粒の最小は19~24%

★ **子実水分25%程度  
(24~26%) が収穫適期**

(注意点)

品種・栽培地域・天候によって  
水分低下が大きく異なる

(事前の品種選定が重要)

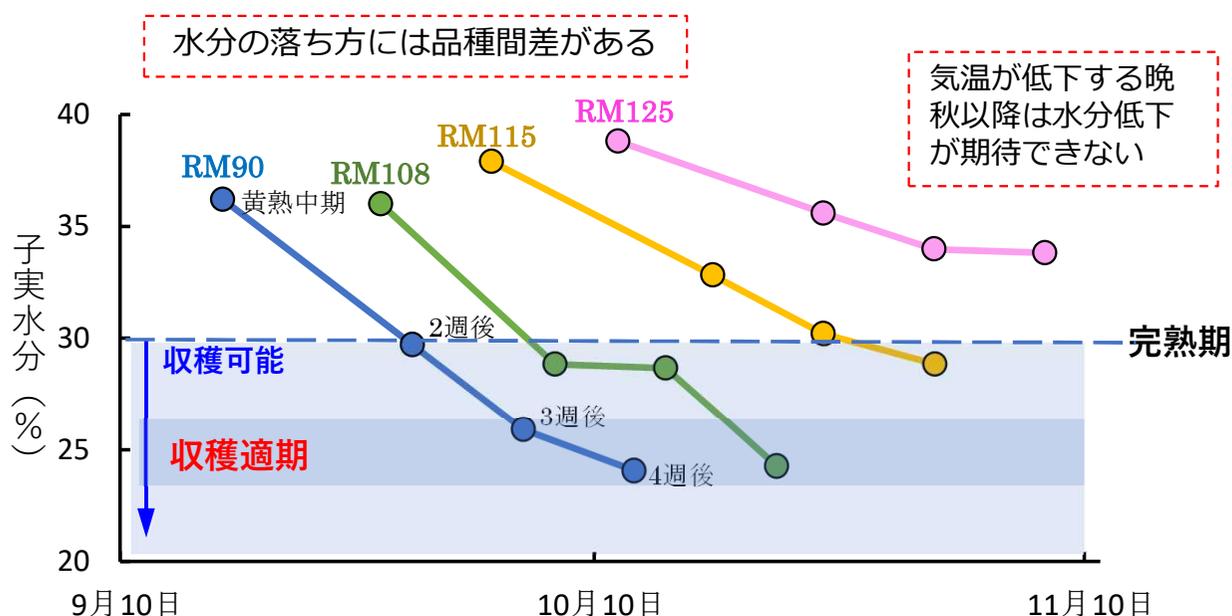


図6. 各早晩性品種における黄熟中期以降の子実水分の推移  
東北農業研究センター(盛岡)における試験結果(2016年5月30日播種)

- ★ 海外の主産地では、コンバインにトウモロコシ収穫に特化したコーンヘッドを装着して収穫される
- ★ 【コーンヘッド】 トウモロコシの雌穂のみを削ぎ取ってコンバインへ。茎葉部分はヘッド下部で細断排出される(茎葉はコンバインに送らない)
- ★ 【リールヘッド】 稲麦大豆ソバと同じくトウモロコシも収穫できる。ただし、トウモロコシはリールによる押し倒しや雌穂脱落が発生しやすい。また、茎葉ごとコンバインに掻き込むために脱穀負荷が大きく、速度をあげにくい



コーンヘッド



リールヘッドを装着した普通型（汎用）  
コンバイン（外国製）

- ★国内でもトウモロコシに対応可能なコンバインが発売
- ★リールヘッドにおいて、**収穫ロスを低減できるトウモロコシ専用キット**が販売
- ★国産コンバイン対応のコーンヘッド（3条刈）が発売



専用キットを取り付けたリールヘッド  
（トウモロコシ収穫用のフィンガープレート、デバイダ、  
強化型タイヤを装着）

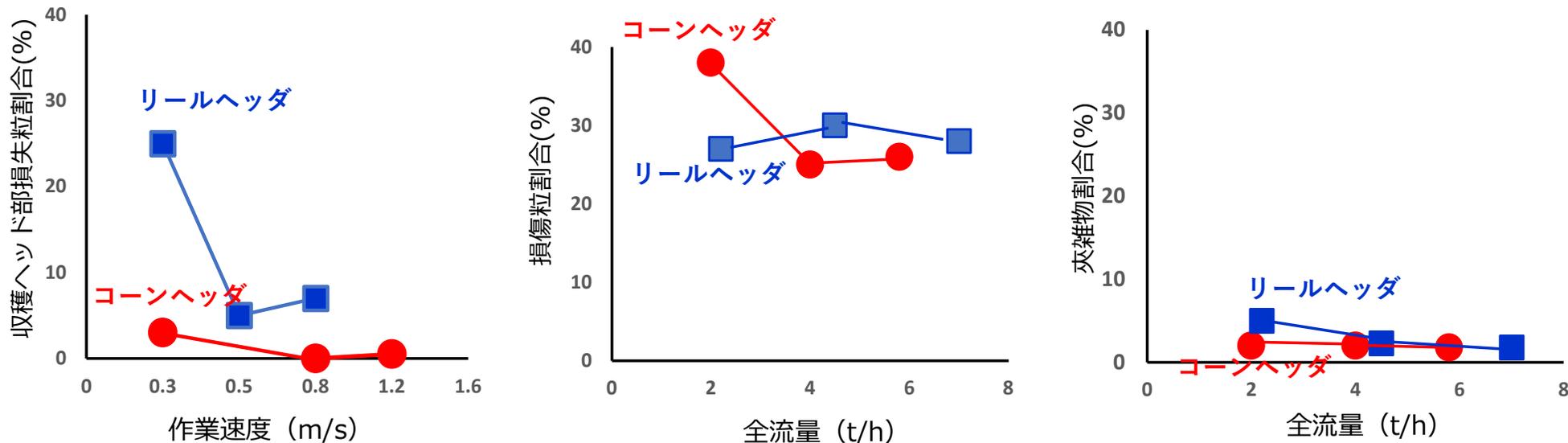


国産コンバイン用コーンヘッド

# 高速高精度収穫が可能なコーンヘッド

国産コンバインにコーンヘッドを装着した場合は、リールヘッド装着と比較して

- ★ 1.2倍～1.6倍の作業速度で収穫が可能
- ★ 収穫ヘッド部での損失は低下、コンバイン内での脱穀選別損失に差は無い
- ★ 損傷粒割合、夾雑物割合に大きな差は無いが、それらの発生量自体は高い  
(こぎ胴がスクリュウタイプのコンバインでの試験例)

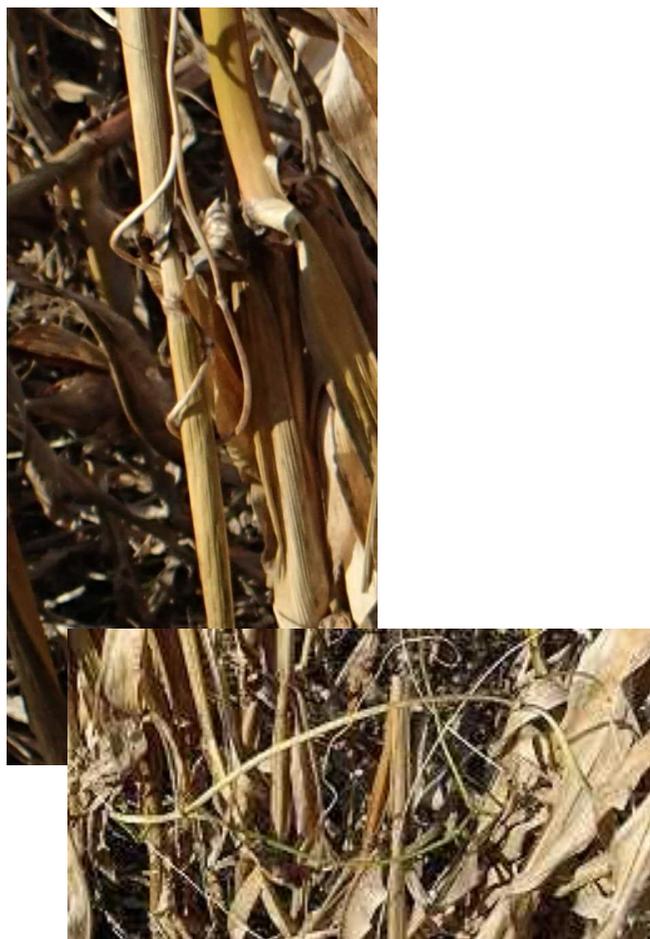


(品種 : P1690、絹糸抽出71日後、子実水分26.5%、茎葉水分70.1%)

図7. 国産コンバインに装着したコーンヘッドとリールヘッドの作業精度の比較 (阿部ら(2022)を改変)

# 蔓性雑草にはご注意を

★蔓性の雑草（セイヨウヒルガオ、ガガイモ等）が繁茂すると、収穫できなくなる。



コーンヘッドに絡みついた蔓性雑草

# 滞りなく収穫するために

★国産コンバイン + リールヘッダの収穫能力 = 27~47a/h



国産コンバイン + コーンヘッダの収穫能力 = 42~52a/h

海外製コンバイン + コーンヘッダの収穫能力 = 1.3ha/h (6条刈)

(長野畜試2019,2020、道総研2018、阿部2022)

★子実水分、収穫能力、乾燥能力、との兼ね合いが重要(図6)

いずれも乾減率0.6%/hで  
仕上げ水分15%の条件



収穫時の子実水分が  
30%では乾燥に25時  
間必要 = 翌日に乾燥  
機が空かない

子実水分27%



収穫時の子実水分  
が27%では乾燥に  
20時間 = 2日目も  
同じサイクルで収  
穫可能

図8. 収穫乾燥作業の工程図 (稲野ら(2017)を改変)

- ★ トウモロコシ対応の循環式乾燥機が国内メーカーから販売開始
- ★ 対応でなくとも、乾燥機の容積充填率50%以下、平均送風温度30℃以上の確保で乾減率1~1.5%/h →水分30%程度の子実を12~16時間で15%程度へ(表1)
- ★ 圃場で子実水分25%でも茎葉水分が70%を越えるため、コンバイン内部等で茎葉破片から吸湿し、張込み時には子実水分が数%(場合によっては5%)高くなる場合がある(金井ら、2018)

表1. 遠赤外線循環式乾燥機によるトウモロコシ子実の乾燥

充填率 (%)	初期水分 (%)	仕上水分 (%)	所要時間 (h)	平均通風温度(℃)	気温(℃)	乾燥機設定	乾減率 (%/h)	出典
51.5	32.2	15.7	13.0	29.8	9.5	小麦13h	1.3	金井ら(2018)
33.7	39.5	15.1	16.0	33.1	16.2	小麦10h→大豆6h*	1.5	"
46.7	31.1	15.1	14.0	27.5	9.4	小麦5h→大豆6h→小麦6h*	1.1	"
36.0	29.8	16.0	12.0	29.7	8.0	上限値のみ50℃	1.2	稲野ら(2017)
42.0	29.0	14.5	14.3	30.4	4.9	上限値のみ50℃	1.0	"
97.0	25.1	14.5	18.0	34.7	7.6	上限値のみ50℃	0.6	"
95.0	22.6	14.3	14.9	38.5	10.5	上限値のみ50℃	0.6	"

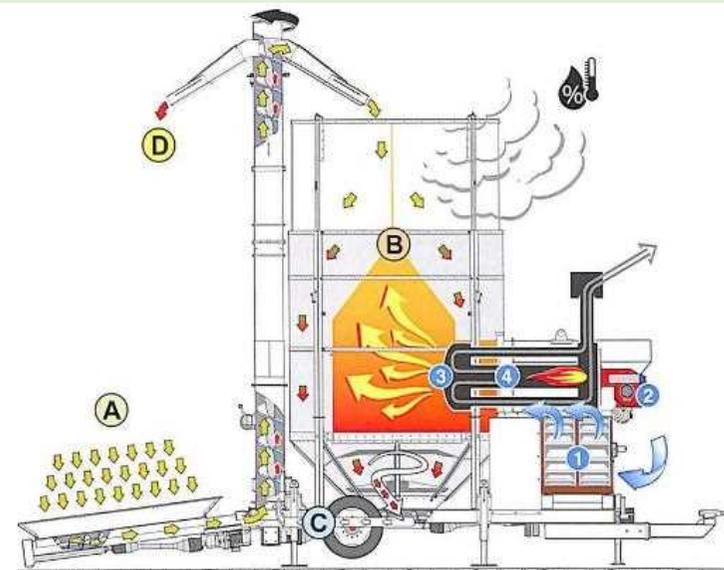
※大豆設定では水分20%以上の場合、しわ粒防止用の安全機構が働いてしまうため内蔵水分計を取り外して設定。

# 海外製移動式穀物乾燥機(モバイルドライヤー)

- ★トラクター駆動型の海外製乾燥機が北海道を始め府県の先進農家で稼働を始めている
- ★日本の米麦大豆で行われている外観品質を高める「低温でゆっくり乾かす」乾燥プログラムとは異なる。高温で一気に乾かすので乾減率が2-5%/hと高い



AGREX SpA社 (イタリア) 製 AGD-10



サイロ容量：10m<sup>3</sup>  
必要トラクター：50馬力  
熱源：軽油  
乾燥能力：35t/24h  
乾減率：**2-5%/h**

(製品カタログより)

かなりの**高温高速乾燥**が可能

## ✿はじめに

～子実用トウモロコシについて～

## ✿子実用トウモロコシの収穫調製について

～収穫機械、収穫時期、乾燥調製～

## ✿今後の調製貯蔵技術について

～低コスト乾燥、子実サイレージ～

# 低コストで環境への負荷が少ない乾燥技術 (開発中)

- ★ 今後、栽培技術の向上(多収)、コーンヘッドの導入など、米麦大豆などを前提とした乾燥能力を上回る場面が考えられる
- ★ 既存施設的能力を超えたトウモロコシを通風乾燥した後に仕上げ乾燥する別ルート  
の設置により、乾燥機で全量を乾燥調製する場合よりも灯油の消費量を削減

## 開発技術のイメージ



予備乾燥ルートを作ることによって、全体の灯油消費量20%削減を目指す

令和4年度農林水産省委託プロジェクト研究「子実用とうもろこし(国産濃厚飼料)の安定多収生産技術の開発」JP22677450の補助を受けて実施中

- ★貯蔵期間を通して、適切な子実水分・温度を保持する必要がある。たとえ子実水分14%でも貯蔵寿命があり、翌夏を越える場合は13%が推奨されている(表2、米国での試験例)
- ★穀粒間の相対湿度を65%未満に保てないと子実が吸湿して水分15%を越えていく  
(ケンタッキー州立大学)
- ★ちなみに、貯穀害虫(コクガ)等の殺虫には50℃以上3~4時間が必要(坪井2016)

表2. トウモロコシ子実を劣化させずに貯蔵できる日数と子実の水分含量・温度との関係

子実温度	子実水分										
	14%	15%	16%	17%	18%	20%	22%	24%	26%	28%	30%
4.4℃				280	200	90	60	40	35	30	25
10.0℃			230	130	90	50	30	15	12	10	5
15.6℃		240	120	75	50	25	15	10	8	7	8
21.1℃	200	125	70	45	30	14	8	6	5	4	3
26.7℃	140	70	40	20	15	7	3	2	2	2	1

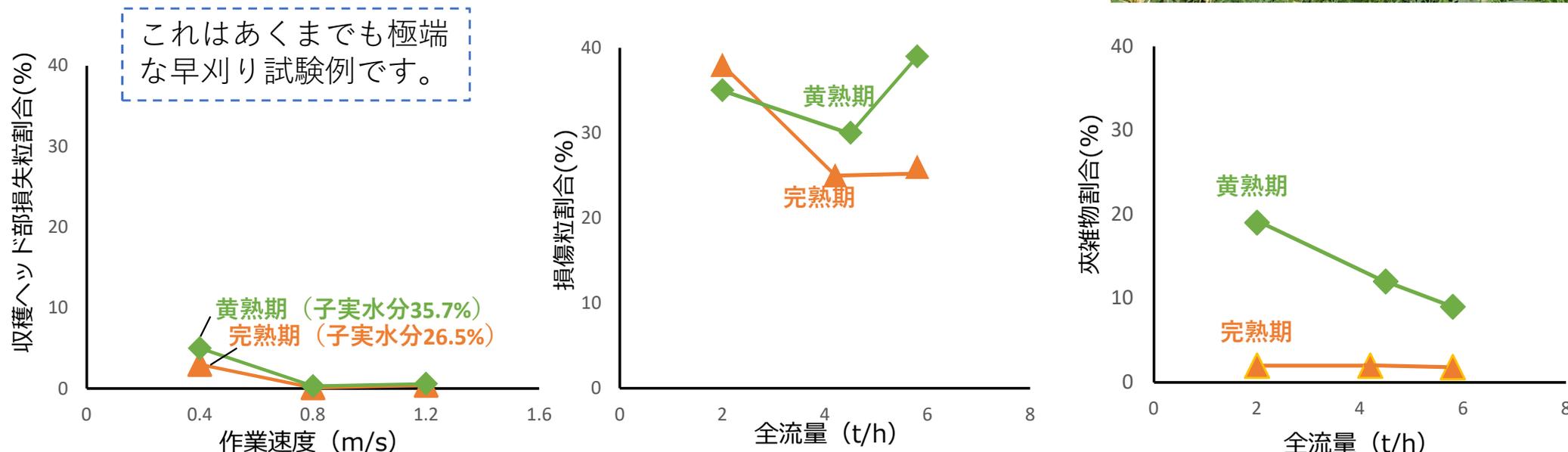
サウスダコタ州立大学普及センター(2016)を改変

密封するとサイレージ発酵 (HMSC化)が起  
こる水分域

# コーンヘッドならば早期に収穫が可能

★コーンヘッドなら、子実が完熟したら、茎葉の枯れ上がりを待たずに収穫しても収穫ヘッド部での損失や脱穀選別部での損失は小さい。 (台風等による倒伏リスクを減少、収穫期の拡大)

★早期収穫では、損傷粒や夾雑物の割合は高まるが、サイレージ化を前提とすれば大きな問題ではなくなる。



品種：P1690、黄熟期収穫（絹糸抽出51日後）と完熟期収穫（絹糸抽出71日後）

図9. コーンヘッドによる収穫時期別の作業精度 (阿部ら(2022)を改変)

- 日本の湿潤気候や輪作体系においては、乾燥させたくても25%以上の水分での収穫が多い現状がある (金井ら、2018)
- コーンヘッダの登場でより高水分域の子実が収穫される可能性



高水分域で収穫された子実をわざわざ乾燥させずにサイレージ利用することは検討する価値がある。

海外では、水分24%以上で発酵貯蔵されたトウモロコシ子実をハイモイスチャーコーン (HMC) と呼び、嗜好性高く乾燥コストがかからないことから酪農や養豚 (リキッドフィードィング) で利用されている。

HMCは芯を混入させたコーンコブミックス(CCM) も含む場合があるため、子実のみのサイレージをあえて区別する場合はHMSC (ハイモイスチャーシェルドコーン) と呼ばれる。

表3. ハイモイスチャーコーンのサイロ別推奨水分含量(%)

	最小	推奨	最大
バンカー・バックサイロ	26	28~32	40
気密タワーサイロ*	24	26~28	32

\*水分が高いとアンローダーで取り出せなくなる

ウイスコンシン州立大学普及センター(2009)

表4. 栄養成分の比較(%)

	DM	CP	TDN
乾燥子実	86	9.8	90
HMC	75	10.0	90

ノースダコタ州立大学普及センター(2016)

- ★耕種農家のみでは対応しにくい
- ★乾燥品と比べて品質がばらつく
- ★気密が破れた場合や開封後は変敗しやすい

大量安定調製技術が未確立

- ★気密さえ維持できればカビ・虫が抑制
- ★嗜好性高く、デンプン消化性も高い可能性

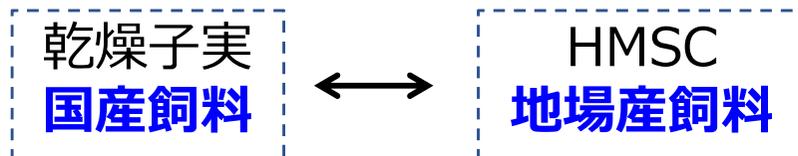
「サイレージならではのメリット、デメリットがある」

☆嗜好性が高いは本当か？

- ・配合飼料にHMSCを20%混合すると子牛はHMSC入りを選択採食する（東山ら,未発表）

☆デンプン消化性が高いとは？

- ・発酵中にデンプンを取り囲む疎水性タンパクが分解するため（Hoffmanら,2011）、ルーメン内デンプン消化性は、乾式圧ぺん79%(61-93%)、蒸気圧ぺん84.5%(79-94%)、HMSC89.5%(89-90%)の順に高い傾向（大成,2013）



乾燥品とは異なるサイレージならではの利点をアピールできる

## 【乳牛への給与】

給与乾物中2割含まれる圧ペントウモロコシを全量HMSCで置き換えた場合、CPとデンプンの消化率が高まり、窒素利用性が改善した。

表5. 泌乳牛におけるHMSC給与時の栄養価、乳量および窒素利用性

	圧ペントウ モロコシ区*	HMSC区*	SEM	P値
消化率(%)				
DM	65.4	67.5	0.46	0.113
CP	58.3	62.2	0.62	0.048
デンプン	89.3	92.8	0.58	0.055
TDN(DM%)	67.3	69	0.51	0.181
日乳量(kg)				
	33.46	32.16	0.41	0.175
乳脂肪率(%)				
	3.91	3.74	0.08	0.361
乳タンパク(%)				
	3.51	3.46	0.01	0.147
乳糖率(%)				
	4.5	4.55	0.01	0.034
N出納(g/日)				
摂取N	502.6	499	2.77	0.557
乳中N	191.6	181.7	2.79	0.138
糞中N	211.3	188.7	4.12	0.138
尿中N	132.4	131.7	1.36	0.803
体蓄積N	-32.6	-3.1	3.29	0.006

\*圧ペントウモロコシまたはHMSCを給与飼料乾物中20%混合

多田ら(2019)から抜粋

## 【肥育牛への給与】

濃厚飼料の3割をHMSCで置き換えても26カ月齢出荷時で市販配合飼料給与牛と増体や肉質に違いは認められず、濃厚飼料の3割の置き換えが可能である。

表6. 配合飼料の3割をHMSCで置き換えた黒毛和種の枝肉特性(26カ月と畜)

	対照区		HMSC区	
肉質等級	3.5	± 0.3	3.3	± 0.3
歩留基準値	73.8	± 0.3	73.5	± 0.6
枝肉重量(kg)	397.3	± 30.0	429.0	± 19.1
BMS NO.	5.0	± 0.6	4.0	± 0.4
格付	A4×2、A3×2		A4、A3×2、B3	

柴・今成(2020)から抜粋

## 収穫



## 破碎



## 密封



## 貯蔵



敷地内空きスペース



そのまま養豚場  
へ出荷

出荷先で破碎は  
不要

乾燥機を使って  
夾雑物を除去



上段：フレコンラップ法  
下段：細断ペーラ利用

**耕種農家にとって、破碎が一番のネック**

収穫後丸粒のまま  
一次貯蔵



  
**ブランド牛へ給与**

移動破碎サイレージコントラクターを  
利用して冬場に破碎・密封  
(粃米サイレージシステムの応用)

★収穫と同時に、圃場内で未破碎のままフレコン+プラスチックシート内袋で簡易に密封梱包して劣化を抑制し、一次貯蔵・輸送対応する水田農家でも採用可能な技術を開発中(取り組みやすいHMSC調製 = 調製方法の選択肢を増やす)



**TMR  
センター等**

- ・**破碎**→TMR原料
- ・**粃米サイレージ調製システム**の活用

耕種農家が用意できる  
資材と簡易な方法で未  
破碎・密封貯蔵

令和4年度農林水産省委託プロジェクト研究「畜産生産の現場に濃厚飼料を安定・低コストに供給できるシステムの開発」JP21453217の補助を受けて実施中

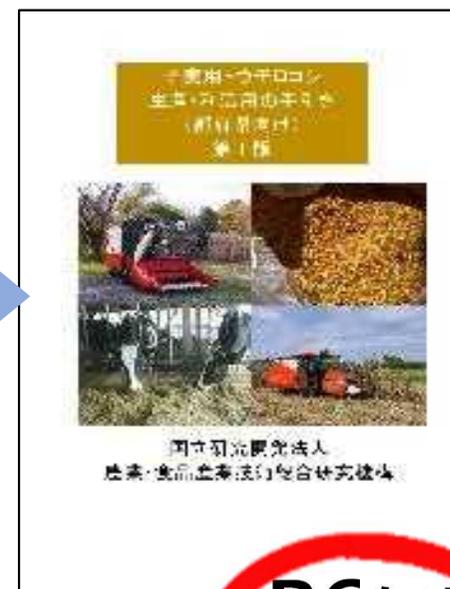
**大量安定調製技術の  
開発へ**

現在、我々農研機構畜産部門は、北海道から九州まで全国の公設試験場等18機関と連携して、令和4年度農林水産省委託プロジェクト研究「子実用とうもろこし(国産濃厚飼料)の安定多収生産技術の開発」JP22677450において、技術マニュアルの作成に取り組んでいます。

各気候区分（寒地、寒冷地、温暖地、暖地）  
に対応した

- 高能力品種の選定
- 堆肥主体の肥培管理
- 生育モニタリング技術
- 収穫調製技術
- 生産コスト調査等

子実用トウモロコシ生産・  
利活用の手引き（都府県向  
け）第1版、（2019年）



**R6年度  
全面改定**