

子実トウモロコシ
生産・利活用の手引き
(都府県向け)
第2版



国立研究開発法人
農業・食品産業技術総合研究機構

用語解説について

本書では、青刈りトウモロコシ、ホールクロップサイレージ用トウモロコシなど、複数の呼び方が存在する用語や、専門用語など普段使用する機会が少ない用語については、その用語が最初に記載される箇所をアンダーラインで示し、その説明を第8章でローマ字綴りのアルファベット順に一覧として示しています。必要に応じてご参照ください。

なお、本書で扱う子実トウモロコシはすべて飼料用途を対象にしています。

はじめに

新興国・途上国での畜産物の消費拡大に加え、このところの歴史的な円安など様々な要因により輸入飼料価格の高騰が続いており、かつての手頃な飼料価格に戻る見通しは得られていません。濃厚飼料の9割を輸入に依存しているわが国の畜産経営はますます厳しい環境下に置かれ、国産濃厚飼料の生産拡大と安定供給に向けた取り組みの重要性が改めて見直されています。

このような情勢の中で、2010年ころから北海道で試験的に生産が始まった子実トウモロコシは、「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」が発行された令和元年の国内作付面積が443haであったのに対し、その後は毎年1.5倍の高い伸び率で作付面積が拡大して令和5年は2,457haとなっています。これまでの主な生産地は北海道でしたが、令和5年の子実トウモロコシ作付面積の4割は都府県が占めるようになり、都府県での関心の高さがうかがえます（濃厚飼料をめぐる情勢、令和6年10月）。そこで今回、私たち編集委員会では、「子実トウモロコシ生産・利活用の手引き（都府県向け）第2版」（以下、本書）を都府県の農業技術指導者や先導的な生産者に向けて発行することにしました。

本書は、第1版の発行後に得られた研究成果や新しい知見を加えて全面改訂したものです。農研機構の内部プロジェクト研究「横串プロ（自給飼料）子実トウモロコシ安定生産・利用技術の開発（令和元年～2年）」においては、子実トウモロコシに関わる生産現場での技術的課題に分野や研究所を横断して取り組むとともに、研究開発の方向性を明確にしました。その後、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（令和3～7年）」（JPJ009818）や「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（令和4～6年）」（JPJ011278）のほか、山形大学が事業実施主体の日本中央競馬会（JRA）特別振興資金助成事業「国産トウモロコシ子実の有用性の検証事業（令和4～6年）」等でも技術開発が進められ、これら研究事業で得られた研究成果の多くが本書に盛り込まれています。

研究に当たっては、新型コロナウイルス感染症の拡大により物品調達が滞り人や物の移動制限の中で取り組まざるを得ないことも多く、天候不順など種々の影響も加わりデータセットは都府県全てを網羅できるには未だに至っていません。しかしながら、本書では、地域や作型に合わせた高能力品種や令和5年に適用拡大された殺虫剤とドローンを組み合わせた虫害対策、家畜糞堆肥で化学肥料の使用量を30%代替する肥培管理など、最新の研究成果や技術情報を可能な限り盛り込みました。また、子実トウモロコシの生産コストやかび毒について、新たな情報を事例やコラムとして紹介しています。子実トウモロコシの生産から利用に至るまで一連の技術情報を体系的に整理し、研修会や講習会等でのテキストとして、あるいは、必要な工程や分野へのガイダンスとしても利用いただけるように編集しました。

今後も、研究の進展に従って本書の改訂を更に進めて行く予定ですが、まずは令和6年度現在の子実トウモロコシ利活用情報（都府県版）としてお届けいたします。

（編集委員長：畜産研究部門 畜産飼料作研究領域長 石崎 宏）

子実トウモロコシ生産・利活用の手引き（都府県向け）第2版

目次

はじめに

1章 子実トウモロコシとは

- 1) 飼料用トウモロコシの中の子実トウモロコシ・・・・・・・・・・ 1
- 2) 都府県における子実トウモロコシ生産・利活用上の技術的課題・・・・・・ 2

2章 品種の選定

- 1) 基本的な考え・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 4
 - ①早晩性・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 4
 - ②収量性・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 4
 - ③耐倒伏性・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 5
 - ④耐病性・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 5
- 2) 選定された子実トウモロコシの有望品種・・・・・・・・ 7
 - ①寒冷地向け品種・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 8
 - ②温暖地向け品種・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 9
 - ③暖地向け品種・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 10
 - ④寒地向け品種・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 12
- 3) 品種選定試験の詳細・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 14
 - ①寒冷地向け品種・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 14
 - ②温暖地向け品種・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 19
 - ③暖地向け品種・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 26
 - ④寒地向け品種・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 31
 - 【コラム】高雌穂収量トウモロコシ「トレイヤ」・・・・・・ 34

3章 栽培管理

- 1) 基本的な考え・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 36
- 2) 播種・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 37
 - ①播種の手順・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 37
 - ②圃場の準備・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 38
 - ③播種及び播種機・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 42
- 3) 肥培管理・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 46
 - ①肥培管理の基本・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 46
 - ②土壌診断・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 46
 - ③堆肥の利用・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 48
- 4) 雑草防除・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 53

①物理的（機械的）防除法	53
②化学的防除法	53
③生態的（耕種的）防除法	55
④生物的防除法	55
⑤主な雑草種	56
【コラム】子実トウモロコシの雑草リスク管理	60
5) 病害虫対策	
①病害虫対策の基本的な考え方・留意点	62
②主要病害の発生生態と対策	63
③主要害虫の発生生態と対策	69
④飼料用の子実トウモロコシ栽培で使用可能な殺虫剤、殺菌剤	76
⑤アワノメイガ対策の実際	78
【コラム】かび毒の迅速簡易分析法	82
【コラム】かび毒汚染防止・低減に向けて～飼料用トウモロコシ子実のかび毒汚染防止・低減に向けた技術指導について～	85
6) 収穫	
①収穫時期	87
②収穫機（汎用コンバイン）	88
7) 残茎・残渣処理	95
【コラム】空撮画像によるトウモロコシの生育診断	96
4章 調製・貯蔵	
1) 基本的な考え	97
2) 乾燥調製・貯蔵	
①汎用穀物乾燥機の利用	98
②モバイルドライヤの利用	100
3) サイレージ調製・貯蔵	
①サイレージ化の影響	106
②フレコン内袋法	107
③フレコンラップ法	111
4) 粉碎・蒸気加熱加工	116
①粉碎加工	116
②蒸気加熱加工	117
5章 飼料利用	
1) 基本的な考え	119
2) 飼料品質	
①外観品質	120
②飼料成分	125
③消化性	126

3) 乳牛への給与	
①破碎の必要性	129
②圧ぺんトウモロコシを代替する場合	130
③配合飼料を代替する場合（実証試験の結果）	131
4) 肉牛への給与	
①破碎の必要性	132
②配合飼料を代替する場合	132
5) 豚への給与	134
6) 鶏への給与	
①卵用鶏雄ヒナを用いた栄養価（代謝エネルギー価）の評価	135
②肉用鶏（ブロイラー）への給与試験	135

6章 トウモロコシ子実の国産化による温室効果ガスの削減効果

1) システム境界	138
2) 生産過程（畑）での発生量	139
3) 乾燥工程での発生量	140
4) 輸送時の発生量	140

7章 取組事例

1) 岩手県花巻市（寒冷地）	142
①取り組みの経過と概要	143
②経営概要	143
③生産概要	144
④生産コスト	146
⑤今後の課題	148
2) 千葉県成田市（暖地）	149
①取り組みの経緯と概要	150
②経営概況	150
③子実トウモロコシの生産	151
④生産費	152
⑤出荷	152
⑥今後の課題・展望	153
3) 山形県庄内地域における取り組み（スマート・テロワールプロジェクト）	
①スマート・テロワール構想	155
②スマート・テロワール構想における子実トウモロコシの位置づけ	155
③庄内地域における子実トウモロコシの作付面積の推移と収量	156
④子実トウモロコシを地域産飼料資源として活用した豚肉生産	157
⑤スマテロプロジェクトから産まれた加工品	157
⑥課題と展望	158

4) 国産子実トウモロコシ給与豚肉「みちのくの心意気」のブランド化と販売について～飼料会社と東北地域の耕畜連携に向けた新たな挑戦～	
①取り組み開始の経緯	159
②伊藤忠飼料と涌谷町との出会いと取り組み	159
③子実トウモロコシの取り組みで見えてきたこと～実現できれば一石六鳥～	159
④「みちのくの心意気」の誕生	160
⑤環境省主催第11回グッドライフアワードにて特別賞受賞	160
⑥今後の課題	161
8章 用語解説	163

1章 子実トウモロコシとは

1) 飼料用トウモロコシの中の子実トウモロコシ

トウモロコシは食料や飼料、工業原料、燃料などさまざまな利用される中で、本書で扱う子実トウモロコシは飼料用途を対象としている。飼料用トウモロコシは、収穫部位（図 1-1）や調製方法により呼称が変わる。このうち子実トウモロコシは、穀実（子実）のみを収穫・利用する目的で栽培されたトウモロコシであり、その子実は、通常は完熟期に汎用コンバインなどで収穫され家畜の飼料となる。

表 1-1 に飼料用トウモロコシの収穫部位と飼料としての一般名称、収穫機械、可消化養分総量（TDN）含量などを示す。子実トウモロコシはコーンサイレージやイアコーンサイレージより栄養価が高く、ほぼ全ての家畜で利用できるが、給与に際しては加工（粉砕、蒸気加熱等）が必要である。一部はサイレージとしても利用される。

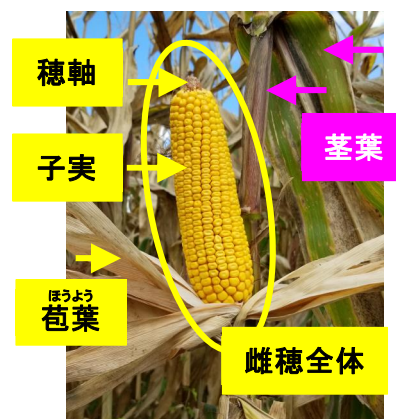
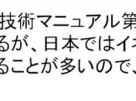


図 1-1 飼料用トウモロコシの収穫部位

表 1-1 飼料用トウモロコシの収穫部位と飼料としての一般名称¹⁾

	飼料としての一般名称	収穫部位	収穫機械	TDN含量 (%DM)	対象家畜
青刈りトウモロコシ (黄熟期収穫)	コーンサイレージ	地上部全体 	・コーンハーベスタ ・フォレージハーベスタ +ロークロップユニット 	65-70	牛 
	イアレージ	高刈りした地上部全体 		70-75	牛 
	イアコーンサイレージ	雌穂（穂軸（芯）、苞葉、子実）、茎葉の一部 	自走式フォレージハーベスタ +コーンヘッダ 	75-85	牛 
子実用トウモロコシ (完熟期収穫)	コーンコブミックス	子実、穂軸（芯）の一部 	 海外メーカー製の 普通コンバイン	85-90	牛、豚、鶏 
	子実トウモロコシ（乾燥子実） トウモロコシ子実サイレージ （ハイモイスターシェルド コーン） 本書が対象とする子実トウモロコシ	子実のみ 	 国内メーカー製の 汎用コンバイン ²⁾	90-94	

1) イアコーンサイレージ生産・利用技術マニュアル第2版（青木 2017）より（一部改変）

2) 当該機種は普通コンバインであるが、日本ではイネ専用の自脱コンバインに対してイネ、ムギ、ダイズ等にも対応できることから「汎用コンバイン」と呼ばれることが多いので、本書でも汎用コンバインと呼ぶ。

2) 都府県における子実トウモロコシ生産・利活用上の技術的課題

トウモロコシは 16 世紀に日本に伝来したと言われており、その後、明治初めや第二次大戦後などにも導入された（諸説あり）。1920 年前後のピーク時には作付面積は 6 万 ha に達して食料や飼料として利用されてきたが、1970 年代に入って安価な輸入品に押されると、子実トウモロコシの国内栽培は消滅していった（戸澤 2005）。

最近になって、飼料価格の高騰や水田の有効利用の観点から、水田転換畑で子実トウモロコシを生産する取り組みに関心が高まっている。2010 年ころ北海道立総合研究機構中央農業試験場での試験栽培を契機にして地元の生産者組合が商業生産を本格化して以降（北海道子実コーン組合 2024）、子実トウモロコシの生産は 2023 年現在全国で 2,457ha にまで広まり、このうち北海道が 6 割、都府県が 4 割の割合となっている。この割合を生産量で見ると、北海道が 7 割、都府県が 3 割となり（農林水産省 2024）、都府県は北海道に比べて収量が低い傾向にある。

これまで都府県向けの子実トウモロコシの生産方法については、本書の第 1 版のように多くは青刈りトウモロコシの栽培技術をベースにしてきた。しかし、子実用と青刈り用では収穫部位やその後の利用方法が異なるために、子実生産に向けた品種や水田経営体でも取り組める作型の見直しのほか、収穫作業やその後の工程についても子実用の検討が必要となっている。また、収穫適期が黄熟期である青刈り用に比べて収穫適期が完熟期となる子実用では栽培期間を少なくとも 2~4 週間延長する必要がある、この間の病害虫対策や倒伏への対応など栽培管理上のさらなる検討も重要である。現状の子実トウモロコシに関する生産・利用上の解決すべき技術的課題を整理すると以下が考えられる。

1. 地域条件や作型に応じた高能力品種の選定
2. 安定多収に向けた栽培管理技術
3. 国内流通・利用に向けた低コスト調製・加工技術
4. 畜種に応じた飼料特性の解明と飼料利用技術
5. 国産化に伴う生産コストの解明と環境への影響評価

1 については本書の 2 章において、青刈り用に国内で販売されている飼料用トウモロコシ品種を主な対象として、子実多収で機械収穫適性（特に完熟期以降の子実含水率の速やかな低下）があり、耐倒伏性や耐病性などの観点から地域別、作型別に高能力品種を紹介する。

2 については 3 章において、これまでの青刈り用の栽培技術を踏襲しつつも、水田転換畑での栽培で重要となる排水対策や生産費の低減につながる家畜糞堆肥主体の肥培管理技術、栽培期間の延長に伴う害虫・雑草対策など含め、子実トウモロコシの安定多収に向けた栽培・収穫方法について説明する。

3 については 4 章において、イネ・ムギ・ダイズ等での装備を汎用利用する乾燥調製や低コスト化に向けた乾燥を要しないサイレージ調製について紹介する。また、粉碎や蒸気加熱フレーク加工など、調製・貯蔵後の飼料原料向け加工方法についても紹介する。

4 については 5 章において、国産品を輸入品と比較しつつその飼料成分等の特徴を明らかにして、畜種毎に利用方法を説明する。

5 の環境への影響評価については 6 章において、子実トウモロコシの国内生産に伴う温室効果ガスの発生量に着目して輸入品と比べた場合の削減効果を説明する。子実トウモロコシの生産コストについては 7 章において、取り組み事例の中で紹介する。さらに 7 章では、子実トウモロコシ生産を地域で取り組み、畜産物のブランド化に発展させる事例も紹介する。

<引用文献>

- 青木康浩（編）（2017）イアコーンサイレージ生産・利用技術マニュアル第 2 版，農研機構 北海道農業研究センター，札幌，https://www.naro.go.jp/publicity_report/publication/pamphlet/tech-pamph/074438.html [2024 年 12 月 26 日参照]
- 北海道子実コーン組合（監修）（2024）子実トウモロコシ栽培マニュアル，北海道協同組合通信社，札幌，p9
- 農林水産省（2024）濃厚飼料をめぐる情勢，農林水産省畜産局飼料課，東京，https://www.maff.go.jp/j/chikusan/sinko/lin/l_siryoku/#sijituyou，[2024 年 12 月 26 日参照]
- 戸澤英男（2005）トウモロコシ 歴史・文化，特性・栽培，加工・利用，農山漁村文化協会，東京，p58-62

2章 品種の選定

1) 基本的な考え

現在のところ、日本国内において子実トウモロコシ専用の品種は市販されておらず、子実トウモロコシ生産を行う場合は青刈り利用向けの「飼料用トウモロコシ」品種を流用することとなる。飼料用トウモロコシでは相対熟度（RM；**Relative Maturity**）という品種間の相対的な早晩性を数値（RM60～150）で示しており、数値が大きいほど晩生である。早晩性と収量の関係では、一般的に晩生品種は早生品種と比較して栽培期間が長いいため収量性に優れている。ただし、栽培する地域ごとに最適の熟期があり、適した熟期帯の品種以外では、晩生品種でも収量が低くなることがあるので注意が必要である。

また、早晩性に関わらず早まき（播種時期が早い）のほうが遅まきより高収量となる傾向がある（表 2-1-1）。栽植密度は 6,000～8,000 本/10a（地域により異なる）が推奨されるが、その範囲内において早生品種は高い栽植密度、晩生品種は低い栽植密度を選択する。

本書においては、その地域の水稻の田植え時期を基準として、田植え前の播種を「早まき」、田植え後の播種を「遅まき」としている。寒冷地の中でも、気温条件のさらに厳しい地域での品種選定の参考となるように、北海道道東地域、北海道道央地域での品種比較データも掲載した。

品種比較試験では、以下の様な観点で試験を実施し、子実トウモロコシとして利用可能な品種についてのデータを示す。本書利用者には、栽培する地域に近いデータを参考にし、品種を選択する際の参考とされたい。

① 早晩性

子実トウモロコシの機械収穫の適期は子実含水率が 30%以下に到達する時期以降である。また、子実含水率が低いほど収穫後の乾燥調製のコスト削減にもつながる。そのため、各地域において想定される子実トウモロコシ収穫期の子実含水率が、30%以下に到達できる品種を選定し、余裕を持って 20%近くにまで低下する様な品種が望ましい。

「早晩性」は前述したとおり、早生品種の方が収穫適期に早く達するが、収量が少ない傾向がある。晩生品種は収量が高くなる傾向があるが、収穫適期が遅くなる。そのため、**その地域の栽培体系の中で、子実含水率が十分に低下する早晩性の品種を選ぶことが重要である**。また、冷害による収穫適期の遅延や、南方であれば台風襲来時期前までの収穫を目指すなど、リスクを考慮した品種選択が重要である。子実含水率が 30%以下で収穫する理由としては、収穫機の効率性向上と、収穫後の乾燥調製のコスト削減にも重要である。そのため、収穫時の子実含水率が 30%以下にギリギリ到達する品種ではなく、余裕を持って 20%近くにまで低下する様な品種が望ましい。

② 収量性

「収量性」は、子実収量（子実含水率 15%換算）が本州以南及び北海道道東地域では 800kg/10a 以上、北海道道央地域では 1,000kg/10a 以上を目安に品種を選定した。なお、北海道道央地域の農家の実規模栽培の反収は、本州での栽培よりも高い現状であることから、選抜基準を高く設定した。

農家の栽培においては、子実トウモロコシの収穫には汎用コンバインにトウモロコシ収穫用の「ヘッダ」（コーンヘッダ、リールヘッダなど）を取り付け、収穫を行う。今回の試験においては、良好な栽培条件で栽培していること、また、機械収穫ではなく、小区画の試験区から手で収穫する方法で収穫調査を行なっているため、機械収穫で発生する収穫ロスほぼ発生していないことから、農家で実際に栽培した場合よりも高く数値が出ていることに留意すること。

③ 耐倒伏性

「耐倒伏性」は、倒伏が発生した年でのみ選定を行っている。

子実トウモロコシは青刈りトウモロコシよりも栽培期間が長くなることから、倒伏が発生するリスクも当然高くなる。一部の試験では、全ての品種で大きく倒伏が発生したが、倒伏については、「折損（雌穂より下の部分の茎で折れた状態）」「倒伏 30（茎が直立状態から 30° 以上 60° 未満傾いている状態）」「倒伏 60（茎が直立状態から 60° 以上傾いている状態）」の発生率を調査し、機械収穫が不可能なほどの倒伏が発生した品種（倒伏 60 の程度が多いもの）は、子実トウモロコシ品種としての適性はないと判断し、選定していない。

④ 耐病性

「耐病性」は、トウモロコシの重要病害について調査し、栽培するにあたり、収量性や品質等に影響を与える病害が発生しない、もしくは病害による被害が軽微な品種を選定した。地域によって、発病する病害の程度が異なるため、病害程度が高い場合でも、その地域での栽培に差し支えない病害の発生程度の場合は子実用品種として選定した。

調査した病害の種類は、「すす紋病」「ごま葉枯病」「紋枯病」「南方さび病」「黒穂病」「根腐病」「赤かび病」である。

この中で、「赤かび病」は雌穂に発生し、かび毒を産生することから、子実トウモロコシでは青刈りトウモロコシ以上に気をつける必要がある。寒冷地ではデオキシニバレノール（DON）産生菌が優勢であり、本州以南ではフモニシン（FUM）産生菌が優勢である。一部の試験では、かび毒濃度の調査を行ない、かび毒が検出限界以下もしくは管理基準値よりも低い品種を選定した。かび毒検査をしなかった試験においても、雌穂のかびの程度（罹病面積率、発生初期では赤かびと他のかびの判別が難しいため、かび様症状の全ての面積率）を調査しており、明らかに問題になるようなレベルで雌穂の広範囲にかびが発生するような品種は選定していないが、実際の栽培下で雌穂にかびがみられるなど、かび毒の懸念がある場合には検査を行うことが望ましい。

なお、各病害の詳細については、農研機構ホームページの飼料作物病害図鑑（<https://www.naro.affrc.go.jp/org/nilgs/diseases/dtitle.html>）を参考にされたい。

本章で示したデータは、播種は手まきによる点播で、収穫も手刈りによる坪刈りで行った数値であり、機械播種、機械収穫でのデータよりも高く示されていることに留意すること。なお、その他の栽培方法は各試験地での慣行により行っている。

表 2-1-1 トウモロコシ早晩性・播種時期毎の雌穂乾物収量と収穫時期（栃木県那須地域）

相対熟度 RM	調査 品種 数	播種 時期 (旬)	雌穂収量 (kg/10a)		収穫時期 (旬)	
			黄熟中期 (40日後)	子実利用 (70日後)	黄熟中期 (40日後)	子実利用 (70日後)
95 (超極早生)	2	4月下	854	1000	8月中	9月下
		5月中	832	928	8月上～下	9月下～10月上
		5月下	830	849	8月上～9月下	10月上～中
100 (極早生)	3	4月下	892	1042	8月中	9月下
		5月中	894	1000	8月下	10月上～中
		5月下	851	923	9月上	10月中
115 (早生)	5	4月下	1027	1204	8月下	10月上
		5月中	997	1164	8月下	10月上
		5月下	929	1063	9月上	10月中
125 (中生)	2	4月下	951	1170	8月下	10月上
		5月中	899	1029	9月上	10月中
		5月下	816	1006	9月中	10月下

2015～2017 年の平均値.

黄熟中期：トウモロコシを青刈りで利用する場合
(40 日後) (70 日後) は絹糸抽出からの日数を示す

2) 選定された子実トウモロコシの有望品種

選定された子実トウモロコシの有望品種は以下の通りである。

表 2-2-1 本章にて選定された子実トウモロコシの有望品種一覧

気候	播種期	調査地 (4月－10月平均気温℃)		相対熱度 RM	選定品種*	
寒冷地	早まき (4月)	山形県	山形大学（鶴岡市） (18.6℃)	90-118	KD420、 P9027 、タラニス、エスパス95 (SL0746)、KD105(リコッタ)、 34N84 、 KD641 、TX1334、SH5702	表2-2-2
	遅まき (6月)	岩手県	農研機構東北農業研究センター（盛岡市） (16.9℃)	105-110	KD551、Z-Corn105、34N84、LG30500	表2-2-3
温暖地	早まき (4月)	栃木県	農研機構畜産研究部門（那須塩原市） (18.4℃)	93-100	P9027 、タラニス、P9400、LG3457	表2-2-4
				108-115	34N84 、LG30500、タカネスター、KD641、 P1341	
	遅まき (6月)	茨城県	茨城県畜産センター（石岡市） (19.6℃)	93-118	P9027、KD502、LG2533、34N84、TX1334、SH5702、P2088	表2-2-5
		茨城県	農研機構中日本農業研究センター（つくばみらい市） (20.1℃)	105-114	KD551、34N84、KD641	表2-2-6
		新潟県	新潟県農業総合研究所畜産研究センター（三条市） (18.8℃)	93-115	P9027、KD551、34N84、 LG30500 、KD641、LG31.588	表2-2-7
暖地	早まき (3-4月)	熊本県	農研機構九州沖縄農業研究センター（合志市） (22.2℃)	90-105 3月中旬播種	KD421、P9400、KD551	表2-2-8
				108-123 4月上旬播種	34N84、P1204、KD641、P1341、TX1334、P2105	表2-2-9
	遅まき (6月)	神奈川県	神奈川県畜産技術センター（海老名市） (21.1℃)	93-123	P9027、エスパス95（SL0746）、KD551、34N84、P1341、P2105	表2-2-10
寒地 (参考)	標準まき (5月)	北海道道東	道総研畜産試験場（新得町） (13.6℃)	75-93	KD254、 ソリード 、LG31207、TH1513スピーダ82、 KD320 、P8025、 エリオット 、KD085ペローナ、 トレイヤ 、KD421、P8284、 P9027	表2-2-11
		北海道道央	農研機構北海道農業研究センター（札幌市） (15.0℃)	75-90	KD254、 LG31207 、TH1513(スピーダ82)、エリオット、 KD085(ペローナ) 、 TH1475(フレック85) 、 トレイヤ 、 KD421 、P8284、 TH2154(フォルトナ90)	表2-2-12
				90-98	KD420 、P8888、 P9027 、 だいち 、 P9074 、KD460、みとりゆたか、エスパス95（SL0746）、TH13101(プロフィ95)、SHY4041（マグナス95）	表2-2-13

*：特に優良な品種は太字下線で示した

各地域の子実トウモロコシの有望品種及び、収穫適期は以下の表のとおりである。前述の通り、播種は手まき、収穫は手刈りでの調査であることから、機械播種＋機械収穫の収量データよりも高い値になっているので留意すること。

なお、各試験地での選定試験の詳細や、倒伏、虫害、その他データを章の後半に記載した。いずれも参考となる情報であり、品種を選ぶにあたっては併せて参照してほしい。

表の見方

○は播種時期、△は絹糸抽出期、×は収穫適期（水分含量が30%以下となる時期）。絹糸抽出期及び収穫適期の幅は試験の期間において到達した時期を示す。なお、2023年は夏季の気温が非常に高く推移したことから、平年より早く生育している。そのため、平年並みの気温を想定する場合には収穫時期は後ろよりの×を参考にすることが望ましい。子実乾物収量は複数年での収量の幅を示す。

同じRMであっても、地域ごとにRMと早晚性の対応は異なるため、本表の収穫時期を参考にすること。

① 寒冷地向け品種

a 早まき（山形県鶴岡市） 4月下旬播種

表 2-2-2 東北日本海地域（山形県鶴岡市）で選定した有望品種の概要（RM90～118）

品種名	相対熟度 (RM)	4月	5月	6月		7月			8月			9月		子実収量・kg/10a (水分15%換算)
		下		上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中
KD420	90													1,233 - 1,328
P9027	93													1,206 - 1,312
タラニス	95	○					△					×××		1,096 - 1,271
エスパス95 (SL0746)	95													1,124 - 1,194
KD105*	105	○						△				×××		1,445
34N84	108													1,284 - 1,489
KD641	110													1,365 - 1,688
TX1334	115	○						△				×××		1,416 - 1,557
SH5702	118													1,463 - 1,486

2022-2024年データ。*は2024年データ。

b 遅まき（岩手県盛岡市） 5 月下旬播種

表 2-2-3 岩手県盛岡市で選定された品種の概要（RM105～110）

品種名	相対熟度 (RM)	5月			6月			7月			8月			9月			10月			子実収量・kg/10 a (水分15%換算)
		上	中	下				上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	
KD551 (DKC5144)	105			○	—			△	△	△	—			×	×	×				968 - 1,101
Z-Corn105*	105																			1,000
34N84	108			○	—			△	△	△	—			×	×	×				1,053 - 1,257
LG30500*	110																		×	1,001

2022-2023年データ。*は2023年データ。

② 温暖地向け品種

a 早まき（栃木県那須塩原市） 4 月下旬播種

表 2-2-4 栃木県県北地域で選定された品種の概要（RM93～115）

品種名	相対熟度 (RM)	4月			5月			6月			7月			8月			9月			子実収量・kg/10 a (水分15%換算)
		上	中	下							上	中	下	上	中	下	上	中	下	
P9027	93			○	—			△	△	△	—			×	×	×				985 - 1,315
タラニス	95																			837 - 1,155
P9400	100			○	—			△	△	△	—			×	×	×				913 - 1,281
LG3457	100																			889 - 1,287
34N84	108			○	—			△	△	△	—			×	×	×				966 - 1,372
LG30500	110																		×	1,113 - 1,330
タカネスター	113																			968 - 1,177
KD641	114			○	—			△	△	△	—			×	×	×				996 - 1,322
P1341*	115																			1289 - 1,504

2022-2024年データ。*は2023-2024年データ。

b 早まき（茨城県石岡市） 4 月下旬播種

表 2-2-5 茨城県早まき栽培で選定された品種の概要（RM93～118）

品種名	相対熟度 (RM)	4月			5月			6月			7月			8月			9月			子実収量・kg/10 a (水分15%換算)
		上	中	下				上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	
P9027	93			○	—			△	△	△	—			×	×	×				970 - 978
KD502	100																			853
LG2533	105																			990 - 1,082
34N84	108			○	—			△	△	△	—			×	×	×				1,219
TX1334	115																			1,033 - 1,056
SH5702	118																			929 - 1,108
P2088	118																			953 - 1,444

P9027、LG2533、TX1334は2023-2024年のデータ。SH5702は2022-2024年のデータ。

P2088は2022-2023年のデータ。KD502は2023年のデータ。34N84は2024年のデータ。

c 遅まき（茨城県つくばみらい市） 6 月下旬播種

表 2-2-6 茨城県遅まき栽培で選定された品種の概要（RM105～114）

品種名	相対熟度 (RM)	6月			7月	8月			9月			10月			子実収量・kg/10 a (水分15%換算)
		上	中	下		上	中	下	上	中	下	上	中	下	
KD551	105			○	—	△	...	△	—			×	×		872 - 988
34N84	108														859 - 865
KD641	114			○	—			△	△	—			×	×	821 - 916

2022-2023年データ。

d 遅まき（新潟県三条市） 6 月上旬播種

表 2-2-7 新潟県で選定された品種の概要（RM93-115）

品種名	相対熟度 (RM)	6月			7月			8月			9月			10月		子実収量・kg/10 a (水分15%換算)
		上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	
P9027	93						△	...	△	—	×	...	×			725 - 1,181
KD551	105	○	—				△	△	—		×	...	×			631 - 1,169
34N84	108															493 - 1,246
LG30500	110	○	—				△	...	△	—	×	...	×			718 - 1,300
KD641	114															393 - 1,069
LG31.588*	115	○	—				△	—					×	...	×	1,071

2022-2024年データ。*は2024年データ。

③ 暖地向け品種

a 早まき（熊本県合志市）

3 月中旬播種

表 2-2-8 熊本県の 3 月中旬播種で選定された品種の概要（RM90～105）

品種名	相対熟度 (RM)	3月			4月	5月			6月			7月			8月	子実収量・kg/10 a (水分15%換算)
		上	中	下		上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	
KD421	90															1,068 - 1,092
P9400	100		○	—				△	△	—		×	×			1,213 - 1,222
KD551* (DKC5144)	105															1,255

2022-2024年データ。*は2023-2024年データ。

4月上旬播種

表 2-2-9 熊本県の4月上旬播種で選定された品種の概要 (RM108~123)

品種名	相対熟度 (RM)	4月			5月	6月			7月			8月			子実収量・kg/10 a (水分15%換算)
		上	中	下		上	中	下	上	中	下	上	中	下	
34N84	108														1,196 - 1,366
P1204	110														1,291 - 1,359
KD641	114	○	●	●			△	△				×	×		1,198 - 1,271
P1341*	115														1,444
TX1334	115														1,227 - 1,351
P2105	123														1,419 - 1,531

2022-2024年データ。*は2023-2024年データ。

b 遅まき（神奈川県海老名市） 6月上旬播種

表 2-2-10 神奈川県遅まき栽培で選定された品種の概要 (RM93~123)

品種名	相対熟度 (RM)	6月			7月			8月			9月			10月	子実収量・kg/10 a (水分15%換算)
		上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	
P9027	93	○	○	●			△	△			×	×	×		444 - 731
エスパス95 (SL0746)	95														413 - 706
KD551	105														408 - 941
34N84	108	○	○	●			△	△					×	×	391 - 717
P1341*	115														970
P2105*	123														1,046

2022-2024年データ。*は2024年データ。

マニュアルの対象地域外であるが、参考として北海道向け品種も以下に記載する

④ 寒地向け品種

a 北海道道東地域（北海道新得町） 5月中旬播種

本地域は道央地域と異なり子実トウモロコシ栽培の限界地帯であり、3年間の試験期間中、下表で紹介するいずれの品種も完熟期に至らない年があった。そのため、本地域で子実トウモロコシの栽培に取り組む場合には小面積で試験的に複数年栽培し、予定した時期に収穫できることを必ず確認した上で取り組むこと。また、安定した登熟が見込めない場合には作付けを避けること。

表 2-2-11 北海道道東地域で選定された品種の概要（RM75～93）

品種名	相対熟度 (RM)	5月			6月	7月			8月			9月			10月			子実収量・kg/10 a (水分15%換算)
		上	中	下		上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	
KD254	75																	944 - 1,106
ソリード	78																	1,049 - 1,102
LG31207	80																	1,057 - 1,151
TH1513 (スピーダ82)	82																	1,083 - 1,224
KD320	82																	1,158 - 1,177
P8025	85																	1,029 - 1,127
エリオット	85																	1,109 - 1,120
KD085 (ペローナ)	85																	1,105 - 1,323
トレイヤ	89																	1,111 - 1,142
KD421	90																	1,032 - 1,274
P8284	90																	1,106 - 1,132
P9027	93																	1,289 - 1,206

2022年は子実含水率が30%を下回らなかったため、2023年～2024年のみのデータ（2023年と2024年は、6～8月の気温として北海道での統計史上1番目と2番目の高温を記録）。
低温年にあたると、収穫時の子実含水率が30%以下に到達しないこともあるため、それらのリスクも考慮して子実トウモロコシの作付けの可否の判断および、品種を選択すること。

b 北海道道央地域（北海道札幌市） 5月中旬播種

表 2-2-12 北海道道央地域で選定された品種の概要（RM75～90）

品種名	相対熟度 (RM)	5月			6月	7月			8月			9月			10月			子実収量・kg/10 a (水分15%換算)
		上	中	下		上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	
KD254	75																	1,090 - 1,423
LG31207	80																	1,152 - 1,398
TH1513 (スピーダ82)	82		○					△		△			×		×			1,051 - 1,415
エリオット	85																	1,096 - 1,327
KD085 (ペローナ)	85																	1,121 - 1,483
TH1475 (フレック85)	85																	1,079 - 1,425
トレイヤ	89		○					△		△			×		×			1,095 - 1,417
KD421	90																	1,075 - 1,455
P8284	90																	1,009 - 1,342
TH2154 (フォルトナ90)	90																	1,241 - 1,478

2022-2024年データ

表 2-2-13 北海道道央地域で選定された品種の概要（RM90～98）

品種名	相対熟度 (RM)	5月			6月	7月			8月			9月			10月			子実収量・kg/10 a (水分15%換算)
		上	中	下		上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	
KD420	90																	1,241 - 1,515
P8888	90																	1,124 - 1,392
P9027	93		○					△		△			×		×			1,337 - 1,561
だいち	95																	1,143 - 1,342
エスパス95* (SL0746)	95																	1,180 - 1,468
TH13101* (プロフィ95)	95																	1,220 - 1,513
P9074	95		○					△		△			×		×			1,376 - 1,506
KD460	95																	1,294 - 1,570
SHY4041* (マグナス95)	95																	1,294 - 1,560
みとりゆたか	98																	1,242 - 1,453

2022-2024年データ。*は2023-2024年データ。

3) 品種選定試験の詳細

ここでは、前項の有望品種の選定結果において説明できなかった詳細を示すので、品種選定結果と合わせて利用していただきたい。

① 寒冷地向け品種

a 早まき（山形県）

<有望品種>

東北日本海地域に位置する山形県において、耕種農家が子実トウモロコシを導入する場合、水稻作との作業競合を回避した作型としては、田植え前の4月下旬の早まき栽培か、6月以降の遅まき栽培になる。本稿では東北日本海地域における早まき栽培に適した有望品種は以下の9品種である（表2-2-2）。なお、品種名の後ろの（）内に有望とした理由を記載する（以後同じ）。

RM90-95：KD420（収量性）、P9027（収量性）、タラニス（収量性）、
エスパス 95（SL0746）（収量性）

RM105-108：KD105（リコッタ）（収量性）、34N84（収量性）

RM110-118：KD641（収量性）、TX1334（収量性）、SH5702（収量性）

<試験の概況>

供試品種は、RM90～95をグループⅠ（早生系）、RM105～108をグループⅡ（中生系）、RM110～118をグループⅢ（晩生系）の3グループに分け、各年とも12品種の延べ18品種を供試して試験を実施した。なお、絹糸抽期によって再度グループ分けを行い、生育収量等を比較して品種を選定した。

各年の気象概要は、2022年は気温、降水量とも平年並、2023年は極端な高温少雨、2024年は生育期間を通して雨天の日が多かった。そのため、絹糸抽出期は変わらないものの、2023年は成熟期に達する日（子実含水率が30%以下に到達する時期）は7日から10日早くなった。また、2024年は受粉時期の降雨の影響によって、子実の不稔割合が多く認められ、充実度合いも悪かった。なお、倒伏については、2022～2024年の調査年では全品種とも認められなかった。

<耕種概要>

本圃準備は各年度とも、豚糞堆肥1,000kg/10aと苦土石灰200kg/10aを表層施用した後、に土壌混和した。播種月日は、2022年は4月24日、2023年と2024年は4月23日、播種密度は7,407本/10a（条間75cm×株間18cm）、施肥は基肥で窒素、リン酸、カリ各の成分で20kg/10aを側条施用、除草体系は土壌処理剤としてジメテナミドP・ペンディメタリン乳剤（モーティブ乳剤）を播種後に土壌表面に散布し、6葉期頃に茎葉処理剤としてトプラメゾン液剤（アルファード液剤）とアトラジン水和剤（ゲザプリムフロアブル）の混合処理である。

＜試験結果＞

当該地域における早まき栽培での絹糸抽出期は、各年ともに RM90～95（山形での早生）は 7 月 1 日頃、RM100～108（山形での中生）は 7 月 5 日頃、RM110～118（山形での晩生）は 7 月 10 日頃であったが、収穫可能時期（成熟期）は、2022 年と 2024 年では各グループとも絹糸抽出後 60 日頃、2023 年については極端な高温少雨ではあったことから、絹糸抽出後 50 日から 55 日頃になると子実含水率は 30%以下にまで低下した。以上のことから、当該地域の平年の気象条件下において、早まき栽培での子実トウモロコシの収穫可能時期は絹糸抽出後 60 日頃、黄熟期から約 20 日後が目安であり、早生では 8 月下旬、中生と晩生では 9 月上旬になる。なお、当該地域では水稻の収穫作業が始まる時期は 9 月 10 日頃であり、子実トウモロコシを導入する場合、RM118 日までの品種を用いて早まき栽培を行うと、稲刈りが始まる前に子実トウモロコシの収穫を終えることができる。また、子実乾物収量については、早晩性が遅い品種ほど多収になる傾向がある。

＜注意事項＞

子実を最大限確保するためには、早晩性が遅い品種を選定した方が有利であるが、収穫可能時期に達するのが遅くなるため、雨天による作業の遅れを想定すると、稲刈り作業が始まるまでに子実トウモロコシの収穫作業を終わらせるためには、厳しいスケジュールでの作業になる。そのため、早晩性の異なる品種を組合せて、余裕のある作付け計画を策定することが重要である。

b 遅まき（岩手県）

＜有望品種＞

岩手県における子実トウモロコシとしての有望品種選定の経緯を以下に紹介する。殺虫剤の散布を前提とするならば RM105 以上の品種から KD551、Z-Corn105、34N84、LG30500 が選定される（表 2-2-3）。

＜選定の方針＞

寒冷地における子実トウモロコシ生産では、暖地・温暖地と比べ平均気温が低く作期が短い中で、子実含水率が収穫可能な水準まで確実に低下する品種を選定することが重要になる。それと同時に大規模水田営農への導入を想定した場合、他品目（移植水稻、麦大豆など）と作業が重ならない栽培時期となる品種を選定することも重要となる。

これは経営体が装備する機械の台数や所属する作業人員の数は集積の進む土地面積に対して必ずしも十分ではないこと、また乾燥機械の台数が限られる場合などに他品目の混入や内部清掃の負担を避けるため、播種や収穫などの作業を一つの品目ごとに集中して行うことが多いためである。

東北地域を例にとると、春期の作業が乾田直播（4 月）～水稻移植（5 月）～大豆播種（6 月中下旬）～麦収穫（6 月下旬～7 月上旬）の順番に進むと考えた場合、経営への影響が大きい移植水稻を中心に据え、その前後となる 4 月下旬（早まき）もしくは 5 月下旬～6 月上旬（遅まき）に子実トウモロコシの播種を行うと大豆の播種も含めて作業競合の回避が

可能となる（表 2-3-1）。また収穫についても移植水稻（9 月中旬～10 月上旬）や大豆（10 月下旬～11 月中旬）の作業時期を避けることで繁忙期の発生を回避できる。そのため本試験における子実トウモロコシ品種の選定では、制約された作業時期や栽培期間の中で収量が確保でき、かつコンバイン収穫に適する子実含水率 30%以下に低下する品種を選定の目標とした。

またトウモロコシの害虫であるアワノメイガに対する耐性についても併せて調査を行い、選定のための判断材料とした。

<耕種概要>

岩手県盛岡市において子実トウモロコシの栽培試験を行い適品種の選定を行った（2022～2024 年）。播種日は岩手県の移植水稻の栽培暦（表 2-3-2）から田植え作業が終了した直後に設定した。作業日や施肥量などの栽培条件は表 2-3-3 に示した。

<試験の概況>

黄熟期以降の子実含水率と収量の推移から RM95 以下の品種は子実の水分低下が早く訪れ、水稻の収穫適期内で既に子実含水率が 25%を下回っていた。子実含水率の低下は乾燥コストの低減につながるため必ずしも不利なことではないが、過度な乾燥の進行は植物体の劣化に伴う折損・倒伏が発生する可能性もあり、また寒冷地で RM95 以下の品種を子実用として使用する場合は他品目と作業が重複する可能性に注意が必要であると考えられた。RM113 以上の品種では子実の含水率の低下に時間を要し、30%以下に到達するのは 10 月最終週と次の大豆収穫作業を考慮するとやや遅いとみられた。これらの結果から、2023 年は RM100～110 の品種について同様の調査を行ったが、夏期が高温で推移したため、いずれの品種も岩手県内における稲刈り終了直後の時点で子実含水率が既に 25%を下回っていた。

目視によりトウモロコシ雌穂へのアワノメイガ幼虫の侵入や、子実収穫時におけるトウモロコシの茎折損、雌穂の垂れ下がりや離断など、アワノメイガ幼虫による食害調査を行ったところ、雌穂柄への幼虫の侵入が少ない、また雌穂の垂れ下がり・離断が少ない品種として品種 B（RM95）や品種 F（RM106）などが見られた（表 2-3-4、表 2-3-5）。しかし、収量性の調査（2023 年、表 2-2-3）から、目標とする 800kg/10a（子実含水率 15%換算）を安定的に超えるのは RM105 以上の品種であった。

アワノメイガ防除のための殺虫剤散布（3 章参照）を前提とするならば、RM105 以上の品種において KD551、Z-Corn105、34N84、LG30500 が選定される（表 2-2-3）。

<試験結果>

表 2-3-1 東北地域で想定される主要品目の作業スケジュール

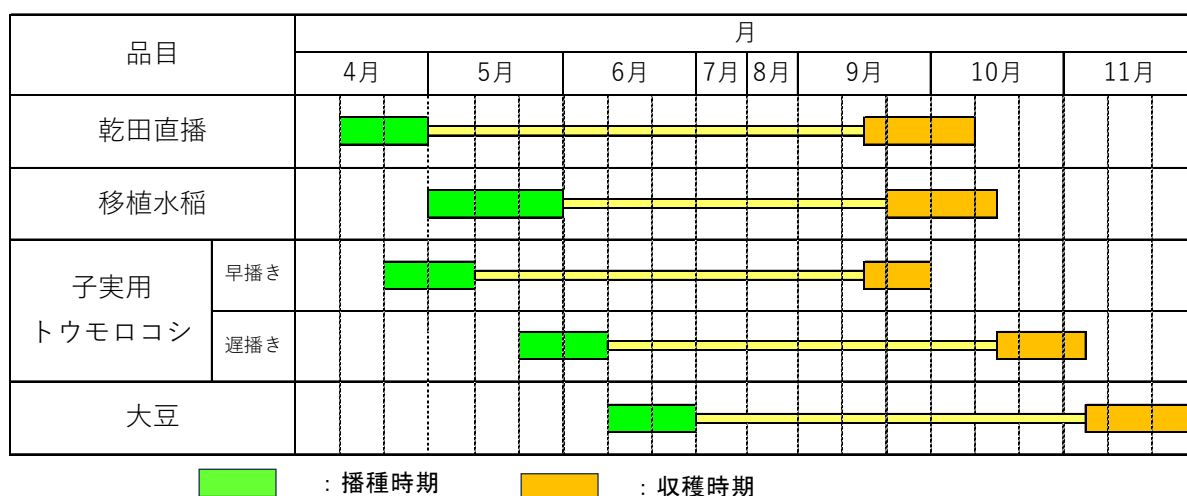


表 2-3-2 岩手県内における移植水稻の田植え、稲刈りの平年スケジュール

岩手県地域	田植え（月/日）平年値			稲刈り（月/日）平年値		
	始期	盛期	終期	始期	盛期	終期
北上川上流	5月16日	5月21日	5月26日	9月23日	10月4日	10月15日
北上川下流	5月10日	5月15日	5月22日	9月25日	10月4日	10月12日
東部	5月12日	5月16日	5月23日	9月23日	10月1日	10月11日
北部	5月19日	5月24日	5月28日	9月27日	10月5日	10月15日
県全体	5月12日	5月17日	5月24日	9月24日	10月4日	10月13日

表 2-3-3 耕種概要（2022～2024 年）

	2022	2023	2024
栽植密度（本/10a）	7407本/10a（75cm×18cm）		
播種日	5/26	5/26	5/27
施肥量（N-P-K）	各16kg/10a		
堆肥施用	2トン/10a		
土壌処理剤	播種直後		
茎葉処理剤	6月中旬		

表 2-3-4 供試したトウモロコシ品種の雌穂へのアワノメイガ幼虫
の侵入数（2022～2024 年）

品種	2022年（匹/雌穂）				2023年（匹/雌穂）				2024年（匹/雌穂）			
	先端	胴	柄	合計	先端	胴	柄	合計	先端	胴	柄	合計
品種A（RM93）	1.00	0.03	0.20	1.23	-	-	-	-	-	-	-	-
品種B（RM95）	0.83	0.00	0.07	0.90	-	-	-	-	-	-	-	-
品種C（RM100）	1.50	0.13	0.13	1.77	0.83	0.28	0.72	1.83	1.13	0.20	0.20	1.53
品種D（RM100）	-	-	-	-	0.78	0.06	0.28	1.11	-	-	-	-
品種E（RM100）	0.93	0.07	0.17	1.17	0.56	0.06	0.22	0.83	0.77	0.17	0.17	1.10
KD551（RM105）	1.47	0.20	0.00	1.67	1.17	0.11	0.39	1.67	0.97	0.10	0.53	1.60
Z-Corn105（RM105）	-	-	-	-	1.39	0.06	0.56	2.00	-	-	-	-
品種F（RM106）	1.07	0.03	0.03	1.13	0.83	0.00	0.11	0.94	1.01	0.06	0.00	1.07
品種G（RM108）	0.93	0.10	0.10	1.13	0.78	0.22	0.22	1.22	1.30	0.20	0.03	1.53
品種H（RM108）	-	-	-	-	1.28	0.00	0.17	1.44	-	-	-	-
34N84（RM108）	1.70	0.10	0.07	1.87	1.11	0.00	0.28	1.39	1.08	0.07	0.17	0.97
LG30500（RM110）	-	-	-	-	0.78	0.17	0.28	1.22	-	-	-	-
品種I（RM113）	1.30	0.30	0.20	1.80	-	-	-	-	-	-	-	-
品種J（RM118）	1.29	0.06	0.12	1.47	-	-	-	-	-	-	-	-

先端：トウモロコシ雌穂の上3分の1、または穂軸に侵入したアワノメイガ幼虫数を示す

胴：トウモロコシ雌穂の下3分の2に侵入したアワノメイガ幼虫数を示す

柄：雌穂柄の内部もしくはその周囲に侵入したアワノメイガ幼虫数を示す

表 2-3-5 試したトウモロコシ品種のアワノメイガによる茎折損
及び雌穂の垂れ下がり、離断の発生数（2022～2024 年）

品種	2022年（％）			2023年（％）			2024年（％）		
	折損 （上）	折損 （下）	下垂 /離断	折損 （上）	折損 （下）	下垂 /離断	折損 （上）	折損 （下）	下垂 /離断
品種A（RM93）	50.7	4.0	48.7	-	-	-	-	-	-
品種B（RM95）	42.7	2.0	11.3	-	-	-	-	-	-
品種C（RM100）	40.7	2.7	61.3	87.1	9.0	83.7	-	-	86.6
品種D（RM100）	-	-	-	76.0	9.4	16.1	-	-	-
品種E（RM100）	34.0	1.3	26.7	76.6	3.1	33.2	-	-	37.0
KD551（RM105）	40.0	6.7	18.7	71.5	3.6	33.7	-	-	48.8
Z-Corn105（RM105）	-	-	-	87.9	4.9	30.3	-	-	-
品種F（RM106）	27.3	0.7	6.0	79.8	2.4	5.0	-	-	7.7
品種G（RM108）	27.0	9.0	40.7	64.2	1.8	36.2	-	-	46.3
品種H（RM108）	-	-	-	72.3	12.3	9.0	-	-	-
34N84（RM108）	39.0	6.0	16.0	77.1	2.3	31.0	-	-	41.8
LG30500（RM110）	-	-	-	73.2	3.9	45.2	-	-	-
品種I（RM113）	52.0	6.0	34.0	-	-	-	-	-	-
品種J（RM118）	41.0	3.0	13.3	-	-	-	-	-	-

折損：アワノメイガ幼虫の食害により稈が折れたものを着雌穂節で上、下に分け目視で計測

下垂・離断：アワノメイガの食害により垂れ下がった、もしくは稈から離断した雌穂を目視で計測

② 温暖地向け品種

a 早まき（栃木県）

<有望品種>

栃木県県北地域での子実トウモロコシとしての有望品種のデータは表 2-2-4 参照。その中で特に優良であった品種は以下のとおりである。

RM93～100 : P9027（収量性）

RM108～115 : 34N84（収量性）、P1341（収量性）

<試験の概況>

供試品種は、極早生に相当する RM93 から 100 と、早生に相当する RM108 から 115 日の 9 品種である（表 2-3-6）。

倒伏は試験を実施した 3 年間ほとんど発生しなかった。

病害については、ごま葉枯病、根腐病、黒穂病が一部で発生したが、被害が収量へ大きく影響する品種はなかった。3 年間とも雌穂にアワノメイガ等による食害が確認され、雌穂の食害面積は 0.2～7.5%程度であった（表 2-3-7）。

収量特性は、絹糸抽出日より約 40 日後（黄熟期）、約 55 日後、約 70 日後の 3 回調査した。

2022 年は絹糸抽出後約 55 日で極早生の 3 品種（LG3457 を除く）と早生の LG30500 が収穫の目安となる子実含水率 30%を下回り、絹糸抽出後約 70 日ですべての品種が子実含水率 30%を下回った。

2023 年は記録的な猛暑により、子実含水率の低下が非常に早く、絹糸抽出後約 55 日で、極早生・早生のすべての品種が子実含水率 30%を下回った。子実収量は 3 年間で最も高かった（表 2-2-4）。

2024 年は絹糸抽出後約 55 日で極早生の 4 品種が子実含水率 30%を下回り、絹糸抽出後約 70 日で早生の 5 品種が子実含水率 30%を下回った。子実収量は 2022 年、2023 年と比較して低い傾向にあった（表 2-2-4）。

これら調査の結果、倒伏や病害が問題となる品種はなかった。極早生 3 品種（LG3457 を除く）は絹糸抽出後約 55 日までに、早生 5 品種は絹糸抽出後約 70 日までに収穫の目安となる子実含水率 30%を下回った。この結果から、収穫日を極早生品種は絹糸抽出後約 55 日、早生品種は絹糸抽出後約 70 日とした。2022 年、2023 年は供試したすべての品種が子実収量（子実含水率 15%換算）1,000kg/10a 以上となった。

<耕種概要>

表 2-3-6 栃木県県北地域品種比較試験（耕種概要）

年次	供試品種の 相対熟度	供試 品種数	播種日 (月/日)	収穫日 (月/日)	栽植密度 (本/10a)
2022	RM90-100	4	4/25	8/30, 9/2	7018
	RM108-115	5	4/25	9/16, 9/20	7018
2023	RM93-100	4	4/24	8/29	7018
	RM108-115	5	4/24	9/13, 9/20	7018
2024	RM93-100	4	4/22	8/23,8/27	7018
	RM108-115	5	4/22	9/12,9/17	7018

<試験結果>

表 2-3-7 栃木県県北地域での虫害被害状況

品種名	RM	雌穂の食害面積 (%)
P9027	93	1.1 - 3.6
タラニス	95	0.2 - 2.5
P9400	100	1.6 - 3.8
LG3457	100	0.5 - 4.1
34N84	108	1.9 - 5.8
LG30500	110	2.4 - 7.5
タカネスタ	113	1.0 - 7.5
KD641	114	2.7 - 5.7
P1341*	115	5.1 - 6.7

*：2023年～2024年のみの試験

<注意事項>

P9027 は那須塩原市の5月中旬播種（遅まき）で根腐病の発生を確認しており、根腐病の常発圃場での栽培をさけるなど注意が必要である。

b 早まき（茨城県）

<有望品種>

茨城県での子実トウモロコシとしての有望品種のデータは表 2-2-5 参照。

RM93～100：P9027（収量性）、KD502（収量性）

RM105～118：LG2533（収量性）、34N84（収量性）、TX1334（収量性）、SH5702（収量性）、P2088（収量性）

＜試験の概況＞

供試品種数は表 2-3-8 の通り。播種は 4 月下旬に行い、収穫は 8、9 月に行った（表 2-3-8）。

耐倒伏性調査では、2022 年において倒伏折損が見られなかった（表 2-3-9）。2023 年 7 月中旬に発生した突風により全体的に倒伏・折損の被害を多く受けた（表 2-3-10）。2024 年の倒伏折損は極僅かだった（表 2-3-11）。

耐病性調査では、2022 年に黒穂病が SH5702、P2088 では発生がなかった（表 2-3-9）。2023 年に黒穂病が SH5702、P2088 で有意に少なく、紋枯病が供試した全 6 品種で発生が見られなかった（表 2-3-10）。2024 年に紋枯病は供試した全 6 品種で発生はなく、黒穂病、根腐病も極僅かの発生だった（表 2-3-11）。

病虫害調査では、2022 年に SH5702、P2088 のどちらの品種も 3 割程虫害による雌穂折損がみられた（表 2-3-9）。2023 年は雌穂折損、雌穂脱落、雌穂食害の発生はわずかだったが、TX1334 で雌穂食害が多い傾向だった（表 2-3-10）。2024 年は虫害による雌穂脱落の発生はなく、雌穂折損は僅かだった。雌穂食害の発生は僅かだったが、LG2533 で雌穂食害が多い傾向だった（表 2-3-11）。

収量特性の子実含水率は、黄熟期（絹糸抽出期から約 30 日後）、黄熟期から完熟期（絹糸抽出期から約 40 日後）、完熟期（絹糸抽出期から約 50～60 日後）の 3 回調査を行った。2022 年完熟期の本刈りではいずれの品種も子実含水率 25%以下となった。2023 年は子実乾物収量で P2088 が有意に多く、次いで LG2533、TX1334、P9027、SH5702、KD502 の順となり供試した 6 品種すべて子実収量（子実含水率 15%換算）が 800kg/10a 以上となった。完熟期の収穫調査時にはいずれの品種も子実含水率は 25%を下回った。2024 年は 34N84 が有意に多く、次いで SH5702、TX1334、LG2533、P9027 の順となり 5 品種で子実乾物収量（子実含水率 15%換算）が 800kg/10a 以上となった。完熟期の収穫調査時には P9027、LG2533、34N84、TX1334、SH5702 の 5 品種で子実含水率は 30%を下回った。

<耕種概要>

表 2-3-8 茨城県品種比較試験（耕種概要）

年次	供試品種の 相対熟度	供試品種 数	播種日 (月/日)	収穫日 (月/日)	栽植密度 (本/10a)
2022	RM93	1	4/25	8/19	7142
	RM100-118	5	4/25	9/13	7142
2023	RM93	1	4/24	8/21	7142
	RM100-118	5	4/24	8/28	7142
2024	RM93	1	4/23	8/13	7142
	RM100	1	4/23	8/15	7142
	RM105	1	4/23	8/29	7142
	RM108	1	4/23	8/27	7142
	RM115	1	4/23	9/5	7142
	RM118	1	4/23	9/2	7142

<試験結果>

表 2-3-9 倒伏・病虫害発生状況（2022 年）

品種名	RM	倒伏個体 率 (%)	病害(%)			虫害(%)		
			黒穂	紋枯	根腐	雌穂折損	雌穂脱落	雌穂食害
SH5702	118	0.0	0.0	15.4	2.5	32.5	5.0 ^a	10.6
P2088	118	0.0	0.0	16.7	7.5	34.2	7.5 ^{ab}	8.2

倒伏個体率は倒伏および折損の合計

※異符号間に有意差あり(p<0.05,Tukey)

表 2-3-10 倒伏・病虫害発生状況（2023 年）

品種名	RM	倒伏個体 率 (%)	病害(%)			虫害(%)		
			黒穂	紋枯	根腐	雌穂折損	雌穂脱落	雌穂食害
P9027	93	78.8	0.8 ^{ab}	0.0	12.9	1.3	1.7	2.3
KD502	100	63.4	1.3 ^{ab}	0.0	10.4	0.0	0.0	4.4
LG2533	105	63.8	0.8 ^{ab}	0.0	5.4	0.0	0.0	1.7
TX1334	115	72.6	2.1 ^b	0.0	8.8	0.0	0.4	8.6
SH5702	118	87.0	0.0 ^a	0.0	12.1	0.0	0.0	2.2
P2088	118	87.5	0.4 ^a	0.0	5.4	0.0	0.0	3.7

倒伏個体率は倒伏および折損の合計

※異符号間に有意差あり(p<0.05,Tukey)

表 2-3-11 倒伏・病虫害発生状況（2024 年）

品種名	RM	倒伏個体率 (%)	病害(%)			虫害(%)		
			黒穂	紋枯	根腐	雌穂折損	雌穂脱落	雌穂食害
P9027	93	5.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.1
LG2533	105	3.3	0.0	0.0	0.0	1.3	0.0	9.9
34N84	108	2.9	0.0	0.0	0.8	0.4	0.0	4.8
TX1334	115	1.6	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	4.2
SH5702	118	2.1	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	4.9

倒伏個体率は倒伏および折損の合計

<注意事項>

2023 年 7 月中旬に発生した突風により試験地のトウモロコシに倒伏、折損の被害が出たこともあり、台風襲来期（8 月ごろ）より前に収穫できる RM90～100 の早生品種を選ぶ必要がある。

c 遅まき（茨城県）

<有望品種>

茨城県南部で 6 月下旬に播種する場合の有望品種は表 2-2-6 参照。

KD551（収量性）、34N84（収量性）、KD641（収量性）

<試験の概況>

試験は茨城県つくばみらい市にある農研機構谷和原水田圃場で実施した。試験には、極早生から中生に相当する RM93 から RM123 までの 6 品種を供試した。播種は、6 月下旬に 7,400 本/10a（条間 75cm×株間 18cm）の栽植密度で、各品種 3 反復で実施した。播種前に窒素、リン酸、カリをそれぞれ 16kg/10a ずつ施用して耕起し、4～6 葉期に硫酸を窒素として 6 kg/10a 追肥した。各圃場において絹糸抽出期（+1 日～+7 日）でクロラントラニリプロール水和剤（プレバソンフロアブル 5）（2,000 倍）を 300L/10a 相当量で 1 回散布した。

播種～発芽期までの日数に品種間差はなく、5～9 日で出芽した（表 2-3-12）。絹糸抽出期は、出芽日の遅い 2023 年で遅く、また RM の大きい品種で遅かった。収穫は子実含水率が 30%より低下してから行い、絹糸抽出期から収穫までに要した登熟日数は、RM の大きい品種で長くなった。また子実含水率の低下速度は品種により異なり、RM の大きい品種で含水率の低下が緩やかな傾向があった（図 2-3-1）。その理由として、RM の大きな品種では絹糸抽出期が遅く、登熟期間の気温が低いことが関係していると考えられた。子実含水率が 30%程度まで低下してから収穫する場合、極早生品種と中生品種では一か月程度、収穫時期が異なることとなる。

折損や不稔などの被害株率の影響により、子実収量の品種順位は 2 年間で異なった。そ

れゆえ、適切な栽培管理の重要性が確認された。また、2年間で平均するとRM105～RM114のKD551、34N84、KD641の3品種で、子実収量で860kg/10a以上と多収で、有望と考えられた（表2-2-6）。

<耕種概要>

表 2-3-12 茨城県での耕種概要

選定 品種	品種	RM	年	播種日 (月/日)	発芽日 (月/日)	収穫日 (月/日)	登熟日数 (日)
	品種A	93	2022	6/23	6/29	9/27	50
			2023	6/26	7/4	10/4	50
	品種B	100	2022	6/23	6/28	10/5	54
			2023	6/26	7/4	10/4	49
○	KD551	105	2022	6/23	6/29	10/11	58
			2023	6/26	7/3	10/4	49
○	34N84	108	2022	6/23	6/28	10/11	59
			2023	6/26	7/4	10/11	56
○	KD641	114	2022	6/23	6/29	10/18	61
			2023	6/26	7/5	10/25	64
	品種C	123	2022	6/23	6/29	10/25	64
			2023	6/26	7/4	10/25	63

<試験結果>

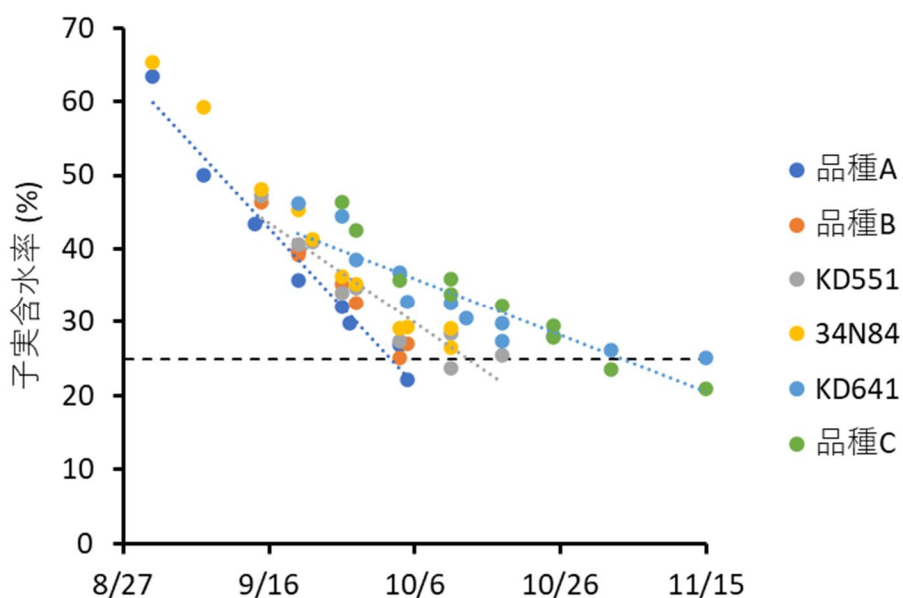


図 2-3-1 子実含水率の推移（2022、2023 年）

d 遅まき(新潟県)

<有望品種>

温暖地である新潟県での水稻栽培と大豆栽培との競合を回避した遅まき子実トウモロコシとしての有望品種のデータは表 2-2-7 参照。その中で特に優良であった品種は以下のとおりである。

LG30500（収量性、耐湿性）

<試験の概況>

RM118以上の品種では完熟期（9月下旬）の子実含水率が高いまま（データ略）であったため、供試品種は、RM93から115日クラスとした。一部の品種は、例年湿害の発生を確認している圃場（湿害常発圃場）で栽培した。

耐倒伏性調査では、2022年、2024年に倒伏は発生せず、2023年には強風による倒伏及び折損が発生したが、多くても16%程度で問題とならなかった（表2-3-14）。また、試験期間を通じ病虫害が問題となる品種は認められなかった。

耐病性調査は、黒穂病、赤かび病について調査をした。試験期間を通じて、病害が問題となる品種は認められなかった。また、虫害は虫孔が散見される程度であった。

収量特性の子実含水率は、黄熟中期、完熟1～3日後（収穫期）、完熟2週後の3回調査した。

試験期間中、発芽期や絹糸抽出期などの生育ステージの進展に大差は認められず、収穫作業は安定的にできると考えられる。収量の変動については、2023年は干害により最低値をとり、2024年は適時降雨があったため概ね最高値を記録している（表2-2-7）。2023年は7/22～8/21まで連続干天日数22日、8月降水量56mm/月（平年比29%）を記録しており、少雨条件下での結果である。

また、圃場条件による収量の変動について、2024年の湿害常発圃場では、通常の遅まき区より平均で30%以上減収した（表2-3-15）。

これら調査の結果、耐倒伏性および耐病虫害性に問題がなく、収穫時の子実含水率30%以下へ到達し、遅まき栽培で子実収量（子実含水率15%換算）800kg/10a以上を記録した品種を表2-2-7に示した。供試品種の中でLG30500は、2024年において収穫期の子実含水率が低く（24.7%）、本試験における最高収量1,300kg/10aを記録した。LG30500は、湿害常発圃場でも1,000kg/10aを上回った（表2-3-15）。

<耕種概要>

表 2-3-13 新潟県品種比較試験（耕種概要）

年次	試験	供試 品種数	播種日 (月/日)	収穫日 (月/日)	栽植密度 (本/10a)
2022	遅まき	7	6/2	9/21	7353
2023	遅まき	6	6/7	9/24	7353
	湿害常発圃場	3	6/7	9/23	7353
2024	遅まき	6	6/6	9/24	7353
	湿害常発圃場	4	6/6	9/24	7353

<試験結果>

表 2-3-14 2023 年試験での倒伏発生状況

試験	品種名	RM	倒伏個体率 (%)	試験	品種名	RM	倒伏個体率 (%)
遅まき	P9027	93	16.0	湿害常発圃場	P9027	93	16.0
	KD551	105	10.6		34N84	108	5.9
	34N84	108	5.9		LG30500	110	7.7
	LG30500	110	7.7				
	KD641	114	9.9				

倒伏個体率は倒伏および折損の合計

表 2-3-15 選定品種（一部）の湿害常発圃場での収量

品種名	相対熟度 (RM)	子実収量・kg/10 a (水分15%換算)
P9027	93	234 (24)
34N84	108	889 (79)
LG30500	110	1,028 (79)
KD641	114	815 (76)

2024 年データ。子実収量データ後の () 内は普通畑での収量に対する比 (%)。

<注意事項>

試験地である三条市は新潟県の県央地域に属し、標高 80m 程度であるため、供試品種について広範な適用が可能と思われる。完熟期の到達が遅れる場合は、栽培する地域の標高や気温に応じて、成熟期の適温が確保できるよう、より早生の品種を利用する、播種時期を早めるなど、作付計画に一定の留意が必要である。また、2023 年のように連続干天日数が 20 日以上、月降水量が平年比 30%以下となるような干ばつ年では、著しい収量の低下を招くことがある。

③ 暖地向け品種

a 早まき（熊本県）

<有望品種>

熊本県の早まきでの子実トウモロコシとしての有望品種は表 2-2-8、表 2-2-9 参照。

RM90-105 : KD421 (収量性)、P9400 (収量性)、KD551 (収量性)

RM108-123 : 34N84 (収量性)、P1204 (収量性)、KD641 (収量性)、P1341 (収量性)、TX1334 (収量性)、P2105 (収量性)

＜試験の概況＞

品種選定試験は2つの播種時期で実施した。具体的には、青刈りトウモロコシで子実多収が期待できる4月上旬播種とそれよりやや早い3月中旬播種で行った。3月中旬播種はRM90～105の青刈り用としてはほとんど利用されない早晩性の品種を供試した。3月中旬に九州では超極早生にあたる品種を播種することによって7月中に収穫できれば、子実トウモロコシを収穫したあとに、飼料作では夏まきの青刈りトウモロコシなど、新たに子実トウモロコシの作付けが期待できる、水田輪作ではダイズを作付けすることができるなど圃場を有効活用できる。RMの小さい品種を利用するため、栽植密度を高くして収量を確保できる品種の選定を目標とした。4月上旬播種ではRM115前後の品種を供試した。RM115前後は九州では早生にあたり、青刈り用では中生以降の品種と同等以上の雌穂収量が得られる。

調査項目は生育特性、耐倒伏性、耐病性、耐虫性、収量特性を調査した。

2022年と2023年の3月中旬播種では生育初期に晩霜が降りたが、その後の生育に影響が出るような被害はなかった。2024年は生育初期に雨が多く、絹糸抽出は早かったが収量は2022年、2023年より低かった。

倒伏は3年間とも発生しなかったが、2022年、2023年は根腐病への罹病があり、罹病によって稈基部での折損が生じた（表2-3-17）。

耐病性調査は、ごま葉枯病、すす紋病、北方斑点病、根腐病、雌穂のかびについて調査をした。根腐病、雌穂のかびは罹病が問題と考えられた品種は、有望品種として選定しなかった。また、虫害の発生はあったが、問題と考えられるほどではなく品種間差もなかった。

収量特性の子実含水率は、2022年は黄熟後期及びそのおよそ14日後の収穫日の2回、2023年と2024年は黄熟後期からおよそ10日後、さらにそのおよそ10日後も加えて3回調査した。3月中旬播種では7月中に収穫可能と考えられる子実含水率30%以下になること、子実収量（子実含水率15%換算）が1,000kg/10a以上であること、4月上旬播種では子実収量（子実含水率15%換算）が1,200kg/10a以上であることを重視して有望品種を選定した。（表2-2-8、表2-2-9）

<耕種概要>

表 2-3-16 暖地向け早まき（熊本県）品種比較試験（耕種概要）

年次	供試品種の 相対熟度	供試品種数	播種日 (月/日)	栽植密度 (本/10a)
2022	RM90-105	9	3/24	7843
	RM108-123	10	4/5	7018
2023	RM90-105	16	3/16	7843
	RM108-123	14	3/30	7018
2024	RM90-105	10	3/19	7843
	RM108-123	10	4/2	7018

<試験結果>

表 2-3-17 根腐病発症個体率

品 種 名	RM	2022年 (%)	2023年 (%)
KD421	90	0.2	4.4
P9400	100	1.2	2.2
KD551	105	—	1.5
34N84	108	3.2	0.0
P1204	110	2.0	0.0
KD641	114	12.8	0.0
P1341	115	—	2.8
TX1334	115	14.8	0.0
P2105	123	7.0	1.1

<注意事項>

試験を実施した3年間では台風害はなかったが、台風害のリスクは考慮する必要がある。特に、これまで九州で栽培されていないRM100未満の品種を利用する場合、九州での耐倒伏性が不明である。また、3月中旬播種では晩霜害の心配もある。試験を実施した3年間では生育に影響が出るような被害はなかったが、リスクは考慮する必要がある。

b 遅まき（神奈川県）

<有望品種>

神奈川県では、水稻の作業時期（移植期6月、収穫期9月中旬以降）と重ならず、作業分散できる品種を選定した（表2-2-10）。

神奈川県での子実トウモロコシとしての有望品種のデータは試験結果で述べる。RM93から105の品種については栽植密度8,000～8,400本/10a、RM108から123の品種につい

ては栽植密度 7,000～7,500 本/10a での栽培を推奨する。

① 9 月上旬（水稻収穫前）に収穫が見込める品種

P9027（子実含水率）、エスパス 95（SL0746）（子実含水率）

② 9 月中旬以降（水稻収穫後）に収穫が見込める品種

KD551（収量性、子実含水率）、34N84（子実含水率）、P1341（収量性、子実含水率）、
P2105（収量性、子実含水率）

<試験の概況>

供試品種は、2022 年は RM93 から 118 の 10 品種、2023 年は RM93 から 115 の 7 品種、2024 年は RM93 から 123 の 8 品種で行った。播種は 6 月上旬から中旬に行い、収穫は 9 月下旬から 10 月中旬に行った（表 2-3-18）。虫害対策として、2024 年のみクロラントラニプロール水和剤（プレバソンフロアブル 5）を 6～8 葉期及び絹糸抽出期にそれぞれ 1 回ずつ散布した。調査項目は一般特性、耐倒伏性、耐病性、収量特性を調査した。

耐倒伏性調査では、いずれの年においても供試品種すべてで倒伏または折損が発生した。

耐病性調査は、すす紋病、根腐病、赤かび病について調査をした。すす紋病は、すべての品種で発生しなかった。根腐病は、すべての品種で確認されたが、SL0746、KD551、34N84 は発生が少なかった。赤かび病及び虫害は、すべての品種で確認された。

収量特性の子実含水率は、黄熟期、絹糸抽出から約 50 日後、及び収穫日（完熟期）の 3 回調査した。

2022 年は、発芽後の生育は順調で、発芽遅れによる品種間差への影響はなかった。

2023 年は記録的な猛暑により、例年より 5 日程度早く黄熟期を迎え、絹糸抽出から約 50 日後（9 月中旬から下旬）にはすべての供試品種で、子実トウモロコシ収穫適期である子実含水率 30%以下に到達していた。子実収量は、2022 年よりも少なかった。

2024 年は、発芽後の生育は順調で、絹糸抽出から約 45～50 日後には P9027 を除くすべての品種で子実含水率 30%以下に到達していた。

これら調査の結果、子実収量（子実含水率 15%換算）800kg/10a 以上となった品種及び 800kg/10a 未満ではあるが耐倒伏性及び耐病性に問題がなく、収穫時の子実含水率 30%以下へ到達した品種は表 2-2-10 に示した。

<耕種概要>

表 2-3-18 暖地遅まき向け品種比較試験（耕種概要）

年次	供試品種の 相対熟度	供試品種数	播種日 (月/日)	収穫日 (月/日)	栽植密度 (本/10a)
2022	RM93-118	10	6/17	9/27～10/11	7,142
	RM93-115	7	6/16	9/26～10/3	7,407
2023	RM93-115	7	6/19	9/29～10/10	7,937
	RM93-105	3	6/15	9/25～10/2	8,333
2024	RM93-123	8	6/7	9/17～9/26	7,407
	RM93-105	3	6/7	9/17～9/20	8,333

<注意事項>

暖地における遅まき栽培は、早まきと比べ低収であることに留意する。遅まき栽培は、早まき栽培に比べ不稔が出やすいため、できる限り早めに播種を行う。また、アワノメイガやツマジロクサヨトウ等の発生が多い時期での栽培となるため、殺虫剤を活用することで子実収量の増加やアワノメイガの幼虫による子実の食害を軽減することによりかびの発生抑制が期待できる。中生品種の方が早生品種よりも収量性に優れるが、収穫適期までの在圃期間が長くなるため、子実の品質低下や台風等による倒伏リスクが高まることに留意する。

(以下参考情報)

④ 寒地向け品種

a 北海道道東地域

<有望品種>

北海道道東地域での子実トウモロコシとしての有望品種のデータは表 2-2-11 参照。その中で特に優良であった品種は以下のとおりである。

ソリード（収量性、耐病性）、KD320（収量性、耐病性）、エリオット（収量性、耐病性）、トレイヤ（収量性）、P9027（収量性）

<試験の概況>

供試品種は、RM75 日から RM93 日クラスを用いた。

耐倒伏性調査では、2022 年及び 2023 年の収穫時の倒伏・折損はわずかであった。2024 年は 7 月上旬の強風（7/1、7/2、7/3；日平均風速 2.8、3.3、3.2m/s、日最大瞬間風速 16.3、14.1、12.0m/s）により、倒伏・折損被害が発生した（7/4 時点で折損が 3 反復平均で 1.3～51.3%）。倒伏個体の多くはその後枯死したが、生存した個体は持ち直した。なお、枯死個体は調査から除外した。

耐病性調査では、すす紋病、ごま葉枯病、根腐病、赤かび病について調査をした。2023 年および 2024 年は、一部の品種で根腐病や赤かび病様の病徴が多く認められ、一部の品種で罹病面積率が大きかった。虫害の発生は 3 カ年とも認められなかった。

収量特性は、黄熟期、黄熟期の 10 日および 20 日後、および収穫日の 4 回調査した。

2022 年はすべての品種で、10/12 の最終調査日まで子実トウモロコシの収穫の目安となる子実含水率 30%を下回らなかった。

そこで 2023 年は、最終調査日を 10/27 まで伸ばしたが、記録的な猛暑により絹糸抽出期およびその後の生育が非常に早く、10 月上旬には全ての品種で子実含水率 30%を下回った。子実収量（水分 15%換算）はすべての品種で 800kg/10a を上回り、1 品種を除けばいずれの品種とも 1,000kg/10a を上回った。

2024 年は、生育期間の積算気温は 2023 年より低かったものの 2022 年より高かったことから、10 月中旬には全ての品種で子実含水率 30%を下回った。また、子実収量（水分 15%換算）は極早生の「KD254」で 944kg/10a、それ以外の品種で 1,000kg/10a を上回った。

<耕種概要>

表 2-3-19 北海道道東地域品種比較試験（耕種概要）

年次	供試品種の 相対熟度	供試 品種数	播種日 (月/日)	収穫日 (月/日)	栽植密度 (本/10a)
2022	RM75-93	10	5/18	10/12	7716
2023	RM75-93	12	5/17	10/27	7716
2024	RM75-93	12	5/16	10/24	7716

＜注意事項＞

2023 年及び 2024 年のような猛暑年では、収穫時期が早まる一方で収量が低下することもある。低温年にあたると、収穫時の子実含水率が 30%以下に到達しないこともあるため、それらのリスクも考慮した品種を選択すること。

b 北海道道央地域

＜有望品種＞

北海道道央地域での子実トウモロコシとしての有望品種のデータは表 2-2-12、表 2-2-13 参照。その中で特に優良であった品種は以下のとおりである。

RM75-90 : LG31207 (収量性)、TH1475 (フレック 85) (収量性、耐倒伏性)、TH2154 (フォルトナ 90) (収量性)、KD085 (ベローナ) (収量性)、KD421 (収量性)、トレイヤ (収量性)

RM90-110 : P9027 (収量性)、P9074 (収量性)、KD420 (収量性、耐倒伏性)、だいち (耐倒伏性)

＜試験の概況＞

供試品種は、北海道での早生に相当する RM75 から 90 日クラスと、中晩生に相当する RM90 から 110 日クラスに分けて行った。播種は 5 月上旬に行い、収穫は 10 月に行った (表 2-3-20)。調査項目は一般特性、耐倒伏性、耐病性、収量特性を調査した。

耐倒伏性調査では、2022 年に圃場全体に倒伏及び折損が発生した (表 2-3-21)。2023 年、2024 年には倒伏は発生しなかった。

耐病性調査は、すす紋病、ごま葉枯病、根腐病、赤かび病について調査をした。病害が問題となる品種はなかった。また、2022～2023 年は虫害の発生もなく、2024 年は極軽微だった。

収量特性の子実含水率は、黄熟期 (絹糸抽出期からおよそ 40～50 日)、黄熟期から 15 日から 20 日後、及び収穫日の 3 回調査した。

2022 年は播種後の干ばつにより発芽期は従来の発芽期よりも 15 日程度遅れたが、発芽後の生育は順調で、発芽遅れによる品種間差への影響はなかった。

2023 年は記録的な猛暑により、絹糸抽出期及びその後の生育が非常に早く、9 月下旬から 10 月上旬には子実トウモロコシ収穫の目安である、子実含水率 30%以下に到達していた。一方、子実収量は猛暑の影響により 2022 年よりも大きく減収した。

2024 年は、2023 年につぐ猛暑年となり平年よりも生育が早く、子実収量は 2023 年と同程度であった。

<耕種概要>

表 2-3-20 北海道道央地域品種比較試験（耕種概要）

年次	供試品種の 相対熟度	供試 品種数	播種日 (月/日)	収穫日 (月/日)	栽植密度 (本/10a)
2022	RM75-90	18	5/16	10/20	8333
	RM90-110	12	5/16	10/27	7407
2023	RM75-90	17	5/12	10/12	8333
	RM90-110	15	5/12	10/24	7407
2024	RM75-90	16	5/14	10/10	8333
	RM90-110	15	5/15	10/16	7407

<試験結果>

表 2-3-21 2022 年試験での倒伏発生状況

品種名	RM	倒伏個体 率 (%)	品種名	RM	倒伏個体 率 (%)
KD254	75	70.0	TH2154(フォルトナ90)	90	73.3
LG31207	80	42.1	P9027	93	57.1
TH1513(スピーダ82)	82	55.4	KD420	90	17.6
エリオット	85	47.6	P8888	90	67.9
KD085(ペローナ)	85	66.3	P9027	93	53.2
TH1475(フレック85)	85	3.8	だいち	95	8.8
トレイヤ	89	41.3	P9074	95	75.5
KD421	90	40.8	KD460	95	52.3
P8284	90	60.8	みとりゆたか	98	59.7

倒伏個体率は倒伏および折損の合計

<注意事項>

試験地である札幌市は北海道の中でも気温が高い地域であるため、栽培する地域の気温を札幌と比較してどの熟期の品種を使うかの検討が必要である。

2023 年及び 2024 年のような猛暑年では、収穫時期が早まる一方で収量が低下することもある。低温年にあたると、収穫時の子実含水率が 30%以下に到達しないこともあるため、それらのリスクも考慮した品種を選択すること。

【コラム】高雌穂収量トウモロコシ「トレイヤ」

農林水産省の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」の成果として、子実用、イアコーン用の飼料用トウモロコシ品種「トレイヤ」を育成しました。

「トレイヤ」は青刈り用だけでなく、雌穂利用（子実用、イアコーン用）も可能で、耐倒伏性が強く、すす紋病・ごま葉枯れ病に強い飼料用トウモロコシです。

雌穂収量が多いことが特徴なので、収穫が高いことを意味する「とれる」と、雌穂の英語「ear（イヤ）」を組み合わせ「トレイヤ」と名付けました。

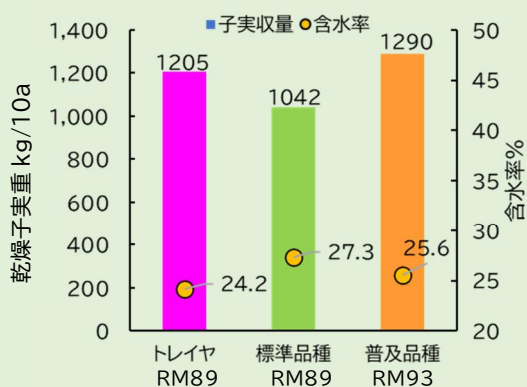
品種の特徴

- 雌穂収量が高いのでイアコーン・子実用としての利用が期待できます。
- 耐倒伏性に優れ、茎葉が少なく、子実の含水率も低いことから収穫作業の効率が高くなることが期待できます。
- 茎葉収量は少ないですが、TDN収量は同等で良好なホールクロップサイレージが生産できます。

栽培適地

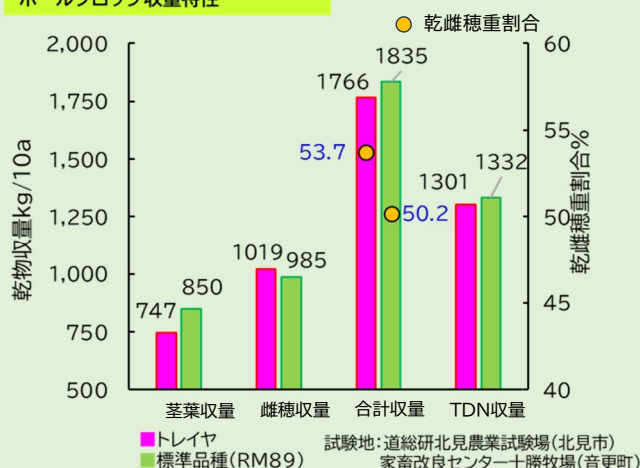
- 青刈りトウモロコシ
北海道道央北部、十勝中部、網走内陸
- イアコーンサイレージや子実トウモロコシ
北海道道央中部以南、道南エリア

子実収量(乾燥子実重 kg/10a)



RM: 相対熟度 (Relative Maturity)
試験地: 北海道農業研究センター (札幌市)

ホールクロップ収量特性



子実生産性試験の耐倒伏性

	倒伏	折損	合計
トレイヤ	41.3 (7.0)	0.0 (0.0)	41.3 (7.0)
標準品種	85.8 (23.7)	0.4 (0.5)	86.3 (24.2)

北海道農業研究センター2022年試験。下段()内はホールク
ロップ生産性試験時で3場所4試験平均(2020年、2022年)

病害抵抗性検定試験(接種検定)

	すす紋病		ごま葉枯病	赤かび病
	平均(4年)	抵抗性判定	平均(3年)	平均(3年)
トレイヤ	4.8	強	4.4	11.0
標準品種	5.5	中	6.2	26.0

すす紋病、ごま葉枯病は罹病程度1:無~9:甚、赤かび病は発病面積率%



トレイヤの草姿



トレイヤの雌穂

「トレイヤ」の市販開始は最短で2028年以降の予定です。

3章 栽培管理

1) 基本的な考え

子実トウモロコシは水稻やダイズ等に比較し、栽培管理にかかる作業時間が短く、労働生産性（単位労働時間あたりの所得）が高い（図 3-1-1）ことがメリットのひとつである。一方、安定的な収益を上げるためには安定的に多収を得る必要があり、そのためには適切な栽培管理を行うことが重要である。そこで本章においては栽培管理にかかわる基本的なポイントを次節より「播種」、「肥培管理」、「雑草防除」、「病虫害対策」及び「収穫」の順に紹介する。また、収穫後の「残茎・残渣処理」についても併せて紹介する。

【労働時間あたりの所得】

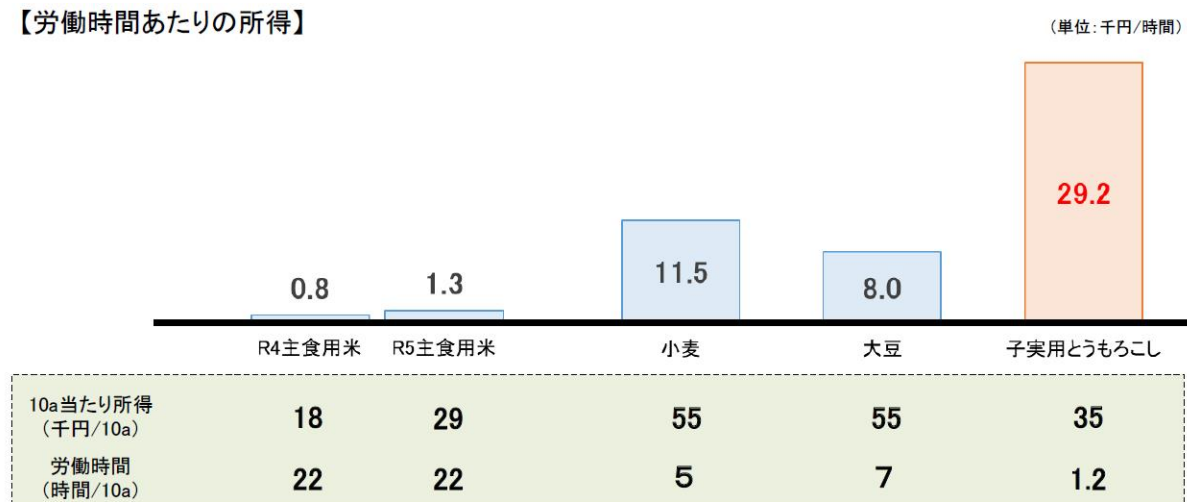


図 3-1-1 水稻、コムギ、ダイズ、子実トウモロコシにおける労働時間あたりの所得

出典：農林水産省水田農業高収益化推進プロジェクトチーム

「野菜・果樹、子実用とうもろこしの生産拡大（令和6年4月）」

2) 播種

① 播種の手順

畑地において子実トウモロコシを栽培する場合、播種に関連する作業工程は青刈りトウモロコシの場合とほぼ同様である。基本的には堆肥散布→反転耕→碎土→施肥→かくはん耕の工程により播種床を準備し、その後、播種を行い、さらに鎮圧、除草剤散布を実施する（図 3-2-1）。一方、水田において子実トウモロコシを栽培する場合は、湿害による減収を回避するため、排水対策を十分に実施するほか、生産者（主に耕種農家）が所有している作業機に応じて播種床の準備を行う。

順番	作業	作業機械	作業内容	作業風景
①	堆肥散布	マニユアスプレッダ	土壌に有機物を供給する。	
②	反転耕	プラウ	土壌を反転することで前作の刈株や雑草を埋没させ土中に堆肥を供給する。またその後の耕うん作業を容易にする。	
③	碎土	ディスクハロー	反転耕で生じた大きな土塊を碎き、その後の施肥・かくはん耕を容易にする。	
④	施肥	ブロードキャスタ	堆肥で足りない栄養素を化成肥料等で供給する。	
⑤	かくはん耕	ロータリ	土を碎き、播種作業がしやすいよう播種床を造成する。また施用した肥料を土中に混和する。	
⑥	播種	回転目皿式播種機 真空式播種機	トウモロコシを播種(点播)する。	
⑦	鎮圧	ケンブリッジローラ	土との密着により種子に吸水させ、発芽を促す。	
⑧	除草剤散布	ブームスプレーヤ	除草剤(土壌処理剤)を散布し、雑草との初期競合を作物(トウモロコシ)側に有利にする。	

図 3-2-1 トウモロコシ播種に関連する作業の流れと作業風景

トウモロコシ（デントコーン、フリントコーン）は、基本的に1粒の種子から1本の茎と雌穂しか発生せず、他作物のような分げつによる収量補償作用が期待できない。このため、欠株による密度不足や不均一な株間による生育不良が減収に大きく結びつきやすく、他作物以上に適切な播種床を造成することや高精度に播種することに留意する必要がある。

以下、圃場の準備から播種に関連する工程について解説する。

② 圃場の準備

a 排水対策

トウモロコシは湿害に非常に弱く、水稻はもちろん大豆や小麦といった他の主要な転作作物よりも耐湿性が低い（図 3-2-2、図 3-2-3）。一方、国内における子実トウモロコシの作付けの多い水田は、粘土質の土壤であることに加え、水稻作付け時に水持ちを良くするために作土層の下に透水性の低い層（鋤床（すきどこ））が形成されており、水田転換畑として利用する際も本来のトウモロコシが好む生育環境とはかけ離れた条件である。そのため、排水性の低い圃場で子実トウモロコシを栽培する場合は、積極的に排水対策を実施し、地下水位の低下を図る必要がある。

排水対策を行う前に、作付けを行う圃場選びも重要になってくる。一般に、「ザル田（漏水田）」と呼ばれる水田は、水持ちが悪く水管理が煩雑になることから、水稻作付けの上では避けられることも多いが、排水性の良い条件を好むトウモロコシにとってはかえって望ましい。一方、丘陵地などに見られる「谷津田（やつだ）」のように、雨水や湧水が流入しやすい湿田は、排水対策を実施しても湿害による生育阻害を回避することが難しいため、作付けを避けた方が無難である。また、隣接する圃場で水稻が作付けされている場合は、畦畔の高さが不十分であったり、崩壊したりしていると、漏水により排水対策の効果が低下するため、

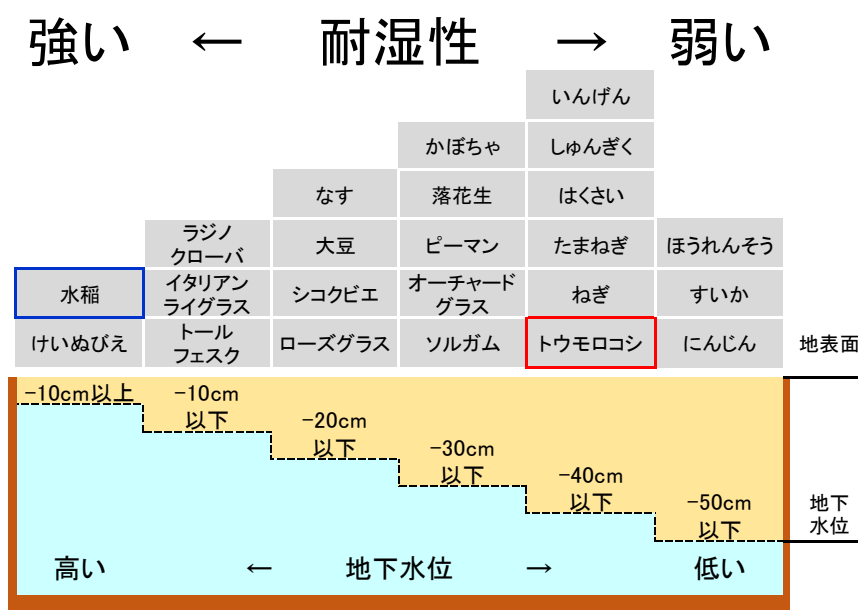


図 3-2-2 作物別の耐湿性と目標地下水位



図 3-2-3 湿害によるトウモロコシの生育阻害（写真左側で、顕著な湿害が発生）

畦畔がきちんと機能しているか確認するとともに、不十分な場合は補修等を行う。

排水対策としては「心土破碎（しんどはさい）」、「明渠（めいきょ）」、「暗渠（あんきょ）」、「畝立て播種」等がある（以下、それぞれについて説明する）。

ア 心土破碎

心土破碎は土壌に切れ込みを入れて鋤床を破碎し、垂直方向への水の浸透を促すことで排水性を高める作業で、サブソイラ等の作業機が使われる。心土破碎自体の作業は比較的簡易であるが、復田する際には改めて鋤床を形成する作業が必要となり、手間がかかる点には注意が必要である。

イ 明渠

明渠は播種前あるいは播種後に、畦畔に沿って掘った深さ 20～30cm 程度の溝のことで、施工にはバックホーや溝掘り機等の作業機が使われる（図 3-2-4）。畦畔に沿って施工された溝が額縁のように見えることから「額縁明渠（がくぶちめいきょ）」と呼ばれる。また、圃場区画が大きく水が溜まりやすい凹凸等がある場合や排水性が著しく劣る場合には圃場の内部に溝（これを「圃場内明渠」と言う）を掘り、残留する水を排水することも有効である。播種床造成の際、レーザーレベラを用いて傾斜均平を行い、緩やかな傾斜（一般的には水口側から水尻側に傾斜をつけることが多い）を付けると（図 3-2-5）、圃場に溜まった水がスムーズに明渠に流れ排水効果が高まる。また、明渠を排水口と接続させ、明渠に溜まった水を圃場外に確実に出すことも重要である。



図 3-2-4

溝掘り機による額縁明渠施工



図 3-2-5 レーザーレベラと作業風景（左：発光機 右：受光機付き作業機）

ウ 暗渠

暗渠は排水や地下水位の低下を目的として地中に設ける水路のことで、集水のための孔やスリットのついた暗渠管を埋設する「本暗渠」と、本暗渠の効果をより一層促進させる目的で施工する「補助暗渠」がある。一般に本暗渠の敷設には大規模な土木工事を要することが多いため、ここでは、生産者自身の手でも施工可能な補助暗渠について取り上げる。補助暗渠には、弾丸暗渠や穿孔暗渠等があり、それぞれ弾丸暗渠形成機（モールドレーナ）や穿孔暗渠形成機（カットドレーン）（図 3-2-6）を用いて設置する。いずれも本暗渠のような資材は使用せず、土中に孔を開けるだけの構造であることから恒久的な効果は期待できず、概ね 1～3 年ごとに再施工する必要がある。また、補助暗渠を施工する際は、本暗渠よりも浅い位置に、かつ、本暗渠と直交あるいは斜交する方向に 2～5m 間隔で設置すると良い。なお、カットドレーンを用いた暗渠施工技術については、「「カットシリーズ」を用いた営農排水施工技術標準作業手順書（農研機構 2020）」に詳細が記載されている。



図 3-2-6 カットドレーンの構造（左）と作業風景（右）

エ 畝立て播種

畝立て播種は、形成した畝の頂部に播種することにより、相対的に地下水位を低下させる技術であり、耕うん爪の配列を変更したアップカットロータリと播種機を組み合わせた「耕うん同時畝立て播種機」（図 3-2-7）、あるいは回転ディスク式の畝立て部と播種機を組み合わせた「高速畝立て播種機」（図 3-2-8）を用いる。耕うん同時畝立て播種機は耕うん＋播種＋基肥施用を同時に行える一方で多くの作業時間を要するのに対し、高速畝立て播種機は事前耕うんが必要であるものの、播種に要する作業時間は大幅に短縮することが可能である。また、畝間は地表水を排出する役割を有し、畝間を額縁明渠と接続することにより、圃場内の過剰な水を速やかに圃場外に排水する効果も期待できる。これらの畝立て播種技術の詳細は「『耕うん同時畝立て作業技術』大豆・麦・そば・野菜等への利用（農研機構 2009）」や、「大豆用高速畝立て播種機を活用した大豆栽培体系標準作業手順書（農研機構 2024）」に記載されている。

排水対策は各種を組み合わせることで効果が高まるが、湿害の程度、地域の水管理、土壌の種類や所有する機械装備と作業時間・コスト及び増収効果との兼ね合いにより組み合わせの選択を行う。



図 3-2-7 耕うん同時畝立て播種機



図 3-2-8 高速畝立て播種機

b 播種床の造成

播種床の造成工程は、土壌の条件や前作物残渣の状況、生産者の所有する作業機の種類に応じて様々なパターンが考えられるが、一般的には「堆肥散布→反転耕→碎土→施肥→かくはん耕」の順で行われる。ただし、この工程順だと堆肥が土壌深層にすき込まれるため、作土層（土壌深度 15cm 程度まで）の改良を重視する場合は、反転耕の後に堆肥散布を行うこともある。

マニユアスプレッダ等を用いて圃場内に堆肥を施用した後（堆肥施用量の考え方等については本章第 3 節「肥培管理」を参照されたい）、発土板（ボトム）プラウによる反転耕を行う。これにより、畑の土塊が切削され、天地返しされることにより土壌中への堆肥供給、土壌表層の雑草種子及び根の埋没ができる。またロータリ耕などと比較して耕深が深く、大型機械の踏圧や締め固めで発生した耕盤を破碎できるため、作土層が広がりトウモロコシ根の伸長可能な範囲が拡大するといった利点が生じる。

反転耕のみでは切削された土塊が大きく、畑の表面が凸凹し、その後の精度の高い播種の妨げとなる。そのため、碎土により土塊を崩し播種作業を容易にする必要がある。この作業は一般にディスクハローにより行われ、整地効果の他に前作である牧草や雑草などの残穂・ルートマットの切断が期待される。ディスクハローをかける回数は、圃場の状況にもよるが通常 1～2 回行う。

反転耕・碎土の次に施肥を行う（化学肥料施用量の考え方等については本章第 3 節「肥培管理」を参照されたい）。化学肥料の施用方法としては、ブロードキャストを用いた「全層施肥」が一般的である。施肥ムラによるトウモロコシ生育の偏りを避けるには出来るだけ均一に散布する必要があるが、そのためにはブロードキャストからの繰り出し量をやや抑え気味に設定し、圃場を多数回走行することで精度が上昇する。近年は、GPS による作業経路誘導及び車速度連動による施肥量調整機能を備えたブロードキャストも市販されている。また、播種機に装着された肥料ホッパに肥料を投入して施用する「側条施肥」も可能ではあるが、トウモロコシは健全な生育を確保する上で要求する肥料の量が多いため、その要求量が播種機の施用上限量を超えていないかを確認する必要がある。上限量を

超えない場合であっても、頻繁に肥料をホッパに補給する必要があり、作業性はあまり良くない点には注意が必要である。

かくはん耕は主にロータリ等で行われ、①施用された堆肥や化成肥料を土壤に混和することでトウモロコシが利用しやすくなる効果、②永年雑草の根を切断することによる防除効果、③畑の表面を平らに整地し、その後の作業を容易化する効果、④土をかくはんすることで膨軟化させ、トウモロコシの根が伸長しやすくなる効果など多くの効果が期待される。一方、作業速度が遅く、作業に時間がかかることに加え、燃料消費量が多い点には注意が必要である。また降雨の影響を受けやすく、作業前に降雨があると土の練り返しによる粗い土塊が生じ、トウモロコシの生育が抑制される危険がある。またかくはん耕後は土壤が水分を保持してトラクタの埋没が起こりやすくなるため、作業前後の気象を事前に確認してから実施すると良い。

以上のように播種床の準備には手順を踏んだ各種作業が必要となるが、より省力化を目的として、プラウによる反転耕を省略したり、かくはん耕を省略して「堆肥散布→反転耕→施肥→砕土」としたりする体系もある。また、ボトムプラウやディスクハローを所有していない耕種農家も多く、そのような場合は堆肥や化学肥料を施用した後、ロータリ耕だけで播種床を仕上げるケースもある。さらに、プラウ耕のように完全に天地返しを行うのではなく、チゼルプラウ（図 3-2-9）等で簡易的に耕起した後に、パワーハロー（図 3-2-10）で整地を行うような高速作業体系が特に大規模な圃場で増加してきている（詳細は「水田転換畑における子実用トウモロコシ栽培の高速作業体系標準作業手順書（東北地方版）（農研機構 2022）に記載）。

どのような作業工程が適しているかは、土壤の特性、前作や雑草の残存状況、圃場の大きさ、所有している作業機、投入可能な労力等を勘案し決定する。なお、トウモロコシの良好な出芽を得るために必要な砕土率は 70% 以上とされていることから、いずれの作業体系においてもその砕土率を確保することを播種床造成の目安とする。

③ 播種及び播種機

トウモロコシの発芽温度は 7～40℃とされているが、日々の気温の変動も考慮し、日平均気温が概ね 10℃を超えた時期に播種を行う。通俗的には「サクラが満開になったらトウモロコシの播種適期」と言われている。低温時に播種すると出芽までに時間を要し、苗立率が低下することがあるので注意する。

播種作業はトウモロコシの専用播種機や汎用播種機を用いて行う。前述の通り、高い精



図 3-2-9 チゼルプラウ
（トラクタ後方に装着）



図 3-2-10 パワーハロー

度で播種することが、安定的な生育や収量を確保する上で非常に重要であることから、使用する播種機の特長や注意すべき点をしっかりと理解し、播種機の持つ能力（速度等）を超えない範囲で播種を行うとともに、設定通りの密度で播種できているかを確認する。

播種機は、種子繰出機構の特徴から、「ロール式」、「回転目皿式」、「圧送式（加圧噴出式）」、「真空式（真空吸着式）」に分類される（図 3-2-11）。圧送式と真空式では、種子が1粒ずつ繰り出されるため、一定間隔で一粒点播することが可能である。ロール式や回転目皿式も基本的には点播するための機構を有しているが、種子の形状（丸型/平型）やサイズ（S/M/L）に合わせた目皿を選択する必要がある、一定間隔で種子が落下するか詰まりが生じないか等を入念に確認してから実際の作業に入る必要がある。種子の形状やサイズは品種によって、また、同一品種であっても採種年によって種子サイズが異なることがあるので注意する。目皿の選択を間違えると、目皿の切り欠き穴に種子が挟まって落下しないこと、逆に切り欠き穴に種子が複数粒入り一粒点播にならないことがあるので注意が必要である。近年は、同期して回転する2枚の目皿により種子の「分離」と「放出」を分けて行うことで、真空式と遜色ない非常に高い精度で播種することができる「ダブルプレート式」（図 3-2-12）の播種機も販売されている。

播種密度は 6,000～8,000 粒/10a となるよう、条間（60～80cm）に合わせて株間を設定する。一般的には早生品種ほど播種密度を高くするが、各種苗会社のカタログ等を確認し、適正な密度となるように調節する。播種深度は 3cm を基本とし、播種時の土壌条件やその後の降雨予想を踏まえて微調整する。播種時の土壌が乾燥している場合や、播種後の降雨がしばらく期待できない場合は 5cm 程度のやや深まきにすることで干ばつによる発芽不良を軽減することができる。

播種後はケンブリッジローラ等で鎮圧を行うことで膨軟化した土壌を締め、種子と土との密着度を高めることで吸水を促進し、発芽に至るようにする。また、土壌を締めることで生育期間中におけるトウモロコシの倒伏が軽減されることに加え、播種作業で生じた凹凸を均すことで除草剤（土壌処理剤）が均一に散布・定着され、効果のムラが出ないようになる。ただし、土壌が多量に水分を含んでいる場合に鎮圧を実施すると、土が締め過ぎ出芽が劣る場合があるので注意する。鎮圧後の土壌処理剤散布については、本章第4節「雑草防除」を参照されたい。

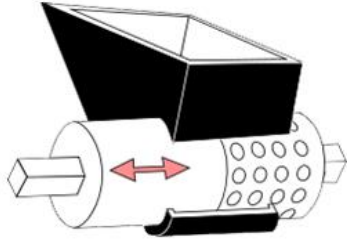
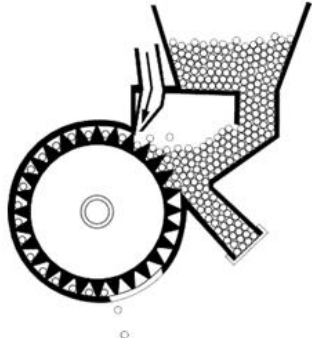
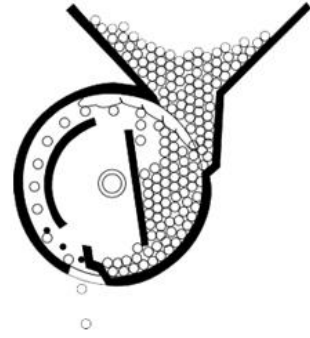
機構	ロール式	目皿式
構造		
播種方法	条播、点播	条播、点播
適応作物	牧草、トウモロコシ、ソルガム等	トウモロコシ、ソルガム等
特徴	・凹穴に種子を入れロール回転で繰り出す。 ・ロールの回転数、穴の列数、一列中の数、穴の大きさの変更で種子繰出数を変える。 ・種子の大きさに応じて、穴の大きさを選択する。	・切り欠き穴に入った種子を目皿の回転で繰り出す。 ・穴形状を種子の形状に合わせることで、不整形の種子にも適応。 ・切り欠き穴の大きさ、目皿の回転数を調節することで播種量を設定。
機構	加圧噴出式	真空吸着式
構造		
播種方法	点播、条播	点播
適応作物	トウモロコシ、ソルガム等	トウモロコシ、ソルガム等
特徴	・種子ホッパーからセルにより種子を複数個くみ出し、圧縮空気によって余分な種子を吹き飛ばすことにより1粒ずつ分離する。 ・加圧空気を送るため、PTO軸駆動の送風機が必要となる。	・播種板の裏側を負圧にして、播種板の穴に種子を吸着させ、複数個の種子が穴に吸着しないように種子制御盤で調整して1粒ずつ分離する。 ・播種板の裏側の空気を負圧にするため、PTO軸駆動の真空ポンプが必要となる。

図 3-2-11 種子繰出機構の構造と特徴

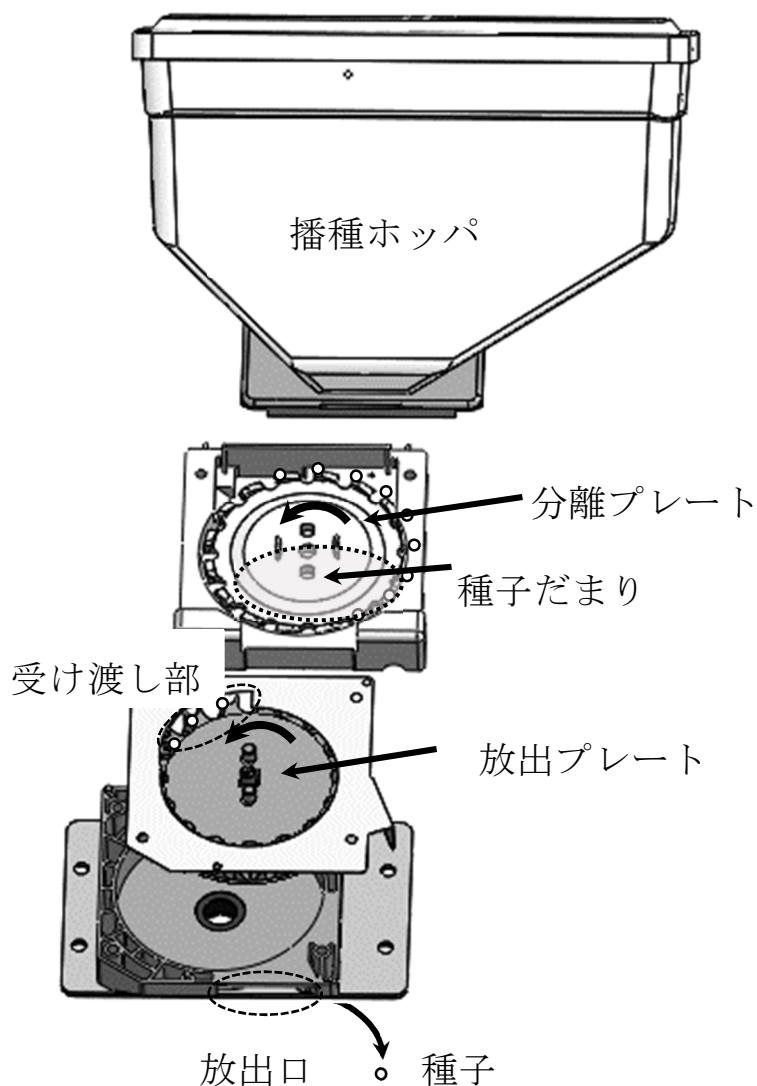


図 3-2-12 ダブルプレート式種子繰出機構

<引用文献>

- 農研機構（2009）「耕うん同時畝立て作業技術」大豆・麦・そば・野菜等への利用，農研機構，茨城，https://www.naro.go.jp/laboratory/carc/result_digest/files/dlive-p09.pdf [2024 年 8 月 26 日閲覧]
- 農研機構（2020）「カットシリーズ」を用いた営農排水施工技術標準作業手順書，農研機構，茨城，<https://sop.naro.go.jp/document/detail/13> [2024 年 8 月 26 日閲覧]
- 農研機構（2022）水田転換畑における子実用トウモロコシ栽培の高速作業体系標準作業手順書（東北地方版），農研機構，茨城，<https://sop.naro.go.jp/document/detail/67> [2024 年 8 月 26 日閲覧]
- 農研機構（2024）大豆用高速畝立て播種機を活用した大豆栽培体系標準作業手順書，農研機構，茨城，<https://sop.naro.go.jp/document/detail/116> [2024 年 8 月 26 日閲覧]

3) 肥培管理

子実トウモロコシの収量を確保するためには十分な施肥を行うことが不可欠である。しかしながら、過剰な施肥は作物の品質を低下させるだけでなく、環境負荷の増大が心配される。また、近年の肥料価格高騰から、生産費を抑えるため生産現場においては施肥量の削減が求められている。農林水産省においても生産性の向上と持続性の両立を目指して、2021年に「みどりの食料システム戦略」を策定し、その中で化学肥料使用量を30%削減するという目標を掲げている。そこで、子実トウモロコシの栽培においても、環境に配慮しつつ、化学肥料の施用量を抑えるべく、国内で生産される家畜糞堆肥（以下、堆肥とする）を積極的に活用することが求められている。

① 肥培管理の基本

子実トウモロコシの肥培管理は、基本的に青刈りトウモロコシの肥培管理に準じる。都府県の一般的な土壌においてトウモロコシを化学肥料のみで栽培する場合、肥料成分の必要量は窒素（N）20kg/10a、リン酸（ P_2O_5 ）18kg/10a、カリ（ K_2O ）20kg/10aであり、この必要量を主に化学肥料と堆肥で供給する（農林水産省草地試験場 1983）。各都道府県においてトウモロコシの安定多収、品質向上のための施肥基準が定められており、各都道府県のホームページ等のほか、農林水産省のウェブサイト「都道府県施肥基準等」より入手できるので、これらを参考に施肥量を決定する。

トウモロコシは播種時にすじ状に点播されるため、施肥播種機を用いて側条施肥することが可能である。側条施肥では全層施肥に比べて、施肥ムラが起りにくいことや、窒素利用効率の向上、リン酸の土壌固定の軽減などの利点がある。また、肥料を基肥と追肥に分けて分施することで、特に窒素では利用効率の向上が期待できる。従来の青刈りトウモロコシでは、基肥のみで栽培されることが多かったが、北海道十勝地域のイアコーンサイレージ生産においては、栽植密度の増加（7,500本/10a→9,000本/10a）、基肥と4～7葉期の追肥及び追肥時の窒素2kg/10aの増肥を組み合わせることで、雌穂乾物収量が10%程度増加することが明らかにされている（北海道農業研究センター 2017）。

② 土壌診断

施肥を行う前には土壌のpH、交換性塩基（ミネラル）含量、有効態リン酸などを正確に把握しておくことで、土壌の養分状態により、施肥量を調整することができる。関東・東海地域では飼料作物を対象にした畑土壌の診断基準（表 3-3-1）が示されているので、それらを参考にする。こうした基準に達しない場合には基準を満たすように必要な資材を補い、基準を越える場合には資材や肥料の施用量を適宜減らすことによって、土壌の状態に適合した効率的な施肥が可能となる（表 3-3-2、3-3-3）。

子実トウモロコシ栽培では、収穫により地上部全体が圃場から持ち出される従来の青刈りトウモロコシとは異なり、子実収穫時に茎葉等が残渣として圃場に還元される。例えば気象条件の異なる5地域において標準的な施肥量で子実トウモロコシを栽培したところ、平均子実収量（932kg/10a）とほぼ同じ値の乾物重の茎葉残渣（1,015kg/10a）が圃場に還元され、その茎葉残渣中には平均で窒素約8.7kg、リン酸約2.5kg、カリ約23kgが含まれていた。一般にこれらの残渣に含まれる有機物はC/N比（窒素含量に対する炭素含

量の比)が高く、土壌中での分解が緩やかなため、肥料成分のうち特に窒素の肥料効果は高くはないことが想定される。しかしながら、それら残渣の圃場還元により土壌の有機物含量を増やし、土壌肥沃度(地力)を高める効果が期待できる。子実トウモロコシを栽培するとこれらの残渣に含まれる有機物や肥料成分が圃場に還元されるため、特に堆肥を利用した場合には、土壌分析を行いその状態を把握することが望ましい。

表 3-3-1 関東東海地域における飼料畑土壌の診断基準
(農林水産省草地試験場 1988)

項 目	土 壌 ¹⁾	
	非火山灰土	火山灰土
pH(H ₂ O)	6.0～6.5	6.0～6.5
pH(KCl)	5.5～6.0	5.5～6.0
陽イオン交換容量 (meq) ²⁾	12 以上	20 以上
塩基飽和度 (%)	70～90	60～90
石灰飽和度 (%)	50～70	40～70
交換性塩基 (meq) ²⁾	Ca	6～12
	Mg	1～3
	K	0.3～0.6
交換性塩基 (mg) ²⁾	CaO	170～340
	MgO	20～60
	K ₂ O	15～30
Ca/Mg 当量比	4～8	4～8
Mg/K 当量比	2～8	2～8
有効態リン酸 ³⁾ (mg) ²⁾	10～30	10～30
腐植 (%)	3 以上	5 以上
作土の厚さ (cm)	20 以上	20 以上

1) 非火山灰土及び火山灰土として、この表においては陽イオン交換容量 10～20 及び 20～35meq/100g 程度を想定して基準値を示してある。これらに属する土壌群は次の通りである。

非火山灰土：砂丘未熟土、褐色森林土、灰色台地土、グライ台地土、赤色土、黄色土、暗赤色土、褐色低地土、灰色低地土、グライ土

火山灰土：黒ボク土、多湿黒ボク土、黒ボクグライ土

2) 乾土 100g あたりの数値、3) トルオーグ法 (0.001M H₂SO₄, pH3.0 可溶性 P₂O₅ 量)。

表 3-3-2 土壌の有効態リン酸と施肥対応 (農林水産省草地試験場 1988)

有効態リン酸*	施 肥 対 応
10 以下	リン酸資材の多量施用などの改良を考える。
10～30	施肥基準に従う。
30～45	80%程度にリン酸を減肥
45～60	50%程度にリン酸を減肥
60 以上	20%程度にリン酸を減肥、状況により施用中止 また家畜糞尿量を減少

*トルオーグ法による有効態リン酸 (mgP₂O₅/100g 乾土) の値

表 3-3-3 土壌の交換性カリウムと施肥対応（農林水産省草地試験場 1988）

交換性カリウム含量*		施 肥 対 応
非火山灰土	火山灰土	
0.3 以下 (15 以下)	0.3 以下 (15 以下)	施肥基準による。状況により増肥する。
0.3～0.6 (15～30)	0.3～1.0 (15～50)	施肥基準による。
0.6～0.9 (30～45)	1.0～1.5 (50～75)	80%程度にカリ肥料を減肥
0.9～1.2 (45～60)	1.5～2.0 (75～100)	20～50%程度にカリ肥料を減肥、 また家畜糞尿の施用量を減少
1.2 以上 (60 以上)	2.0 以上 (100 以上)	カリ肥料を施用中止、 また家畜糞尿の施用量を減少

*乾土 100g あたりのカリウム当量 (meq)、括弧内はカリ重量 (K₂Omg) を示す。

③ 堆肥の利用

堆肥の土壌還元により土壌肥沃度の維持や作物栽培に役立てることができる。畜種ごとの堆肥の肥料成分濃度は、畜種や飼養方法、糞尿の取扱い等によって異なるが、原料糞の成分組成を反映し、三要素の濃度はおおむね鶏糞堆肥＞豚糞堆肥＞牛糞堆肥の順である（表 3-3-4）。トウモロコシへの主な堆肥の施用基準は、牛糞堆肥が 3～4t/10a、豚糞堆肥が 2～3 t/10a、鶏糞堆肥が 0.5 t/10a である。

堆肥の施用量の決定には、表 3-3-5 に示されたような各成分の肥効率を利用することが多い。堆肥中の肥料成分量に肥効率をかけたものが堆肥から作物に供給される成分量と考えられる。

堆肥の施用量を多くすることで化学肥料の施肥量を削減させることが期待できる。気象条件の異なる 6 地域において、窒素・リン酸・カリの 3 要素全体の標準的な施肥量に対してその 30～80%を堆肥から供給される成分で代替しても、トウモロコシの子実収量は標準的な施肥量を化学肥料のみで栽培した時とおおむね同程度であり（図 3-3-1）、堆肥を利用することで子実収量を確保しつつ化学肥料の施肥量をみどりの食料システム戦略で示された目標 30%以上削減できることがわかる。一方、堆肥により化学肥料を代替する場合に、窒素については代替率が設定されており、その代替率の上限を越えないことが望ましいとされている（表 3-3-5）。例えば牛糞堆肥の場合、堆肥からの窒素が化学肥料として必要な窒素の 3 割を越えないことが望ましい。これは、堆肥中の窒素の肥効は原材料や施用環境などにより変動しやすいことから、堆肥からの窒素供給に依存しすぎないようにするためや、堆肥に含まれる肥料成分のバランスを考慮し、窒素以外の成分（リン酸やカリなど）が過剰に施用されないようにするためである。一般に、堆肥の施用量が多くなると、土壌にリン酸やカリなどの養分が蓄積する傾向にある。例えば、気象条件の異なる 4 地域において化学肥料の 80%を堆肥でトウモロコシを 2 年間栽培したところ、土壌中の交換性カリが大きく増加した例がある（図 3-3-2）。これに対し、堆肥による化学肥料の代替率が 50%以下の場合には、交換性カリ含量の変化量は標準的な施肥量を化学肥料のみで施肥した場合と同程度であった。これらのことから、施肥基準等で定められた化学肥料の標準施肥量（窒素・リン酸・カリの 3 要素合計）のうち 50%を上限として堆肥で代替することにより、みどりの食料システム戦略の化学肥料削減目標 30%以上を達成する

とともに、土壌への過剰な肥料成分の蓄積を抑制しつつ生産性を維持することができる。ただし、数年に一度は土壌診断を行い、必要に応じてカリやリン酸の施用量を調整することが望ましい。

また、家畜の糞尿中には雑草の種子が混入する恐れがあるが、雑草の種子は熱に弱く、堆肥化過程で十分に発酵させ温度を高めることで堆肥中の雑草種子は死滅する（西田ら 1999）。気象条件の異なる 4 地域で 2 年間堆肥を用いて子実トウモロコシを栽培したところ、適切に除草剤を使用することで、化学肥料のみで栽培した場合と同様に絹糸抽出期の雑草発生量は収穫期のトウモロコシの地上部乾物重と比較して大幅に少なく、雑草によりトウモロコシの生育が阻害されないことが示されている（図 3-3-3）。

表 3-3-4 家畜糞堆肥の肥料成分濃度（山口ら 2000）

種 類	水分 (現物あたり%)	肥料成分 (乾物あたり%)				
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
牛糞堆肥	54.8	1.9	2.3	2.4	3.0	1.0
豚糞堆肥	40.2	3.0	5.8	2.6	5.2	1.8
鶏糞堆肥	25.1	3.2	6.5	3.5	14.3	2.1

N (窒素)、P₂O₅ (リン酸)、K₂O (カリ)、CaO (石灰)、MgO (苦土)
を意味する。

表 3-3-5 家畜糞尿施用基準制定のための家畜糞堆肥等の肥効率と窒素の代替率
(農林水産省草地試験場 1983)

処理物	肥効率 ¹⁾ (%)			N の代替率 ²⁾ (%)
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	
牛糞堆肥	30	60	90	30
豚糞堆肥	50	60	90	60
乾燥鶏糞	70	70	95	60

1) 化学肥料の肥効を 100 とした場合の家畜糞堆肥成分の肥効率を示す。

2) 目標収量に必要な窒素(N)施肥量のうち家畜糞堆肥で代替する割合を示す。

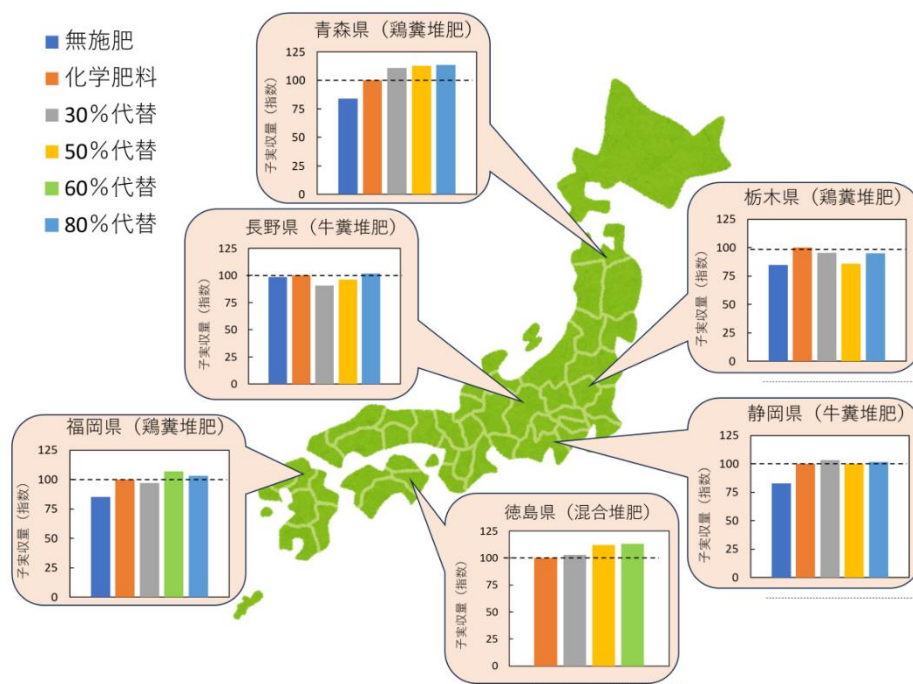


図 3-3-1 家畜糞堆肥により様々な割合で化学肥料を代替して得られた子実トウモロコシの 2 年間の平均収量（化学肥料区の平均値を 100 としたときの指数）

2022～2023 年に気象条件の異なる 6 地域で試験を行った。子実トウモロコシを 2 年間化学肥料のみで連作した場合の平均収量を 100 とした（福岡県の結果のみ 2022 年に栽培した 2 品種の収量の平均値）。「化学肥料」は各地の標準施肥量を化学肥料で施肥した処理を、「30%代替」「50%代替」「60%代替」「80%代替」はそれぞれ 3 要素（窒素・リン酸・カリ）の標準施肥量の合計のうち 30～80%を堆肥からの供給で代替した処理を示す。堆肥の肥効率は各地の推奨値を用いた。

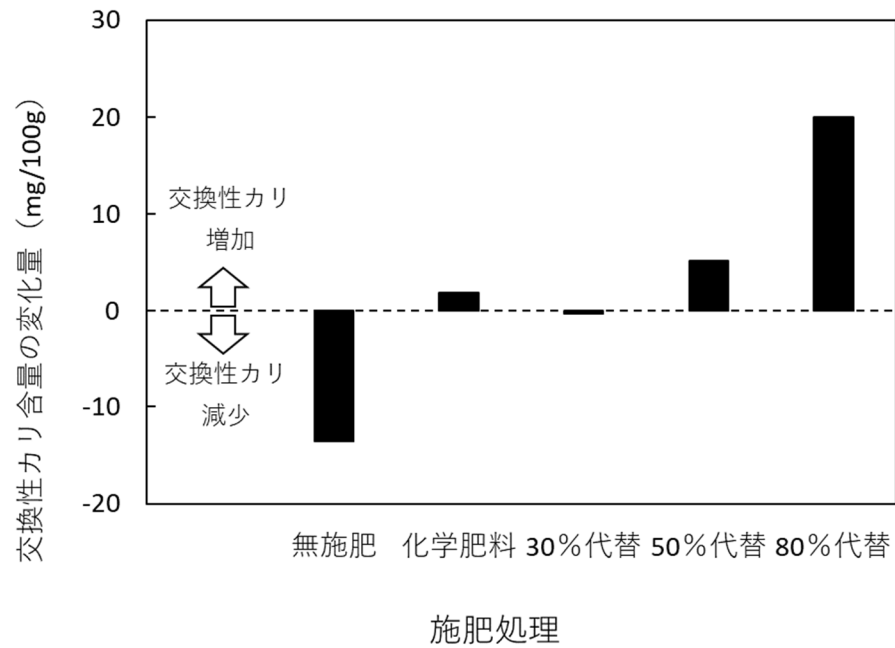


図 3-3-2 家畜糞堆肥を用いて様々な割合で化学肥料を代替し子実トウモロコシを2年間栽培したときの、栽培前と比較した土壌の交換性カリ含量の変化量
2022～2023年に気象条件の異なる4地域で行った試験結果。栽培前の交換性カリ含量に対して、2年間栽培した後の交換性カリ含量の変化量（平均値）を示す。施肥処理の詳細は図 3-3-1 と同じ。

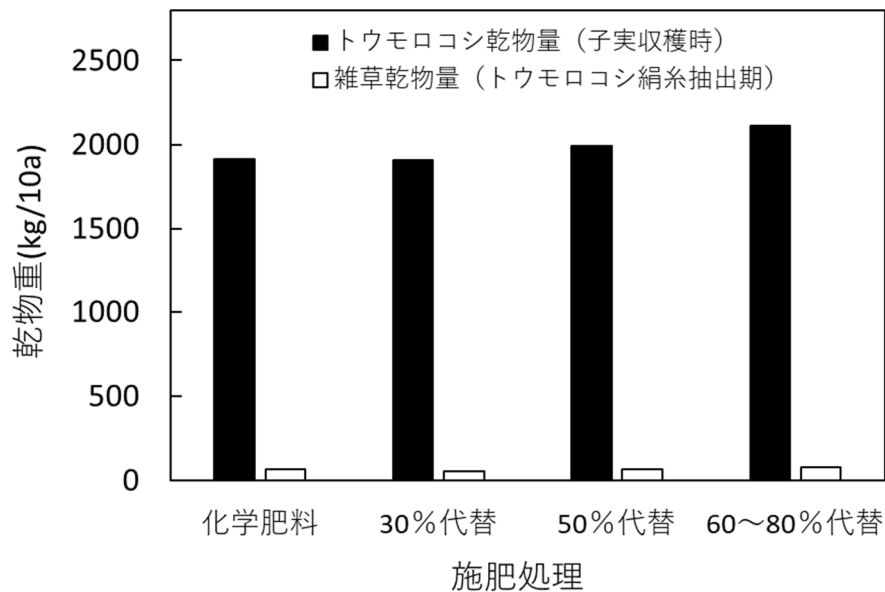


図 3-3-3 家畜糞堆肥により様々な割合で化学肥料を代替し子実トウモロコシを 2 年間栽培した場合における絹糸抽出期の雑草発生量と子実収穫期のトウモロコシ地上部乾物重

2022～2023 年に気象条件の異なる 4 地域で行った試験結果。堆肥を 2 年間連用した場合の 2 年目の結果の平均値を示す。除草剤を使用した。施肥処理の詳細は、図 3-3-1 と同じ。

<引用文献>

- 西田智子・黒川俊二・柴田昇平・北原徳久（1999）畑雑草種子の生存に及ぼす加熱時間の影響.雑草研究 44:59-66
- 農研機構北海道農業研究センター（2017）イアコーンサイレージ生産・利用技術マニュアル第 2 版.p13
- 農林水産省草地試験場（1983）家畜ふん尿処理利用研究会会議資料．草地試資料 No58-2, p31.
- 農林水産省草地試験場（1988）関東東海地域飼料畑土壌診断基準作成検討会報告書．草地試資料 No.62-15, p37.
- 山口武則・原田靖生・築城幹典（2000）家畜ふん堆肥の製造・利用の現状とその成分的特徴.農研センター研究資料 41, p1-178

4) 雑草防除

子実トウモロコシは従来の青刈りトウモロコシに比べて栽培期間が 2～4 週間程度（立毛乾燥する場合はさらに長期間）長くなるため、雑草を発生させてしまうと、トウモロコシへの被害が大きくなりやすいだけでなく、雑草種子が結実・落下することにより、後作物栽培時における雑草害を助長するリスクも高まる（本節のコラム参照）。また、特につる性の雑草は収穫用作業機への絡みつき・詰まりを発生させ、作業性の低下や収穫ロスの増大を引き起こす可能性がある。これらの雑草害を最小限に抑えるためには、雑草の発生初期の段階で防除を行う必要がある。日常的な見回りにより雑草発生量の把握や見慣れない雑草種が侵入してきていないかの確認を行うとともに、物理的（機械的）防除法、化学的防除法、生態的（耕種的）防除法、生物的防除法、あるいはこれらの防除法を組み合わせることで効率的に防除を図ることが重要である。

① 物理的（機械的）防除法

培土機、中耕機等の作業機を利用して雑草を物理的に抑制・排除する方法である。最近では、作物と雑草の引き抜き抵抗の違いを利用した株間除草機も開発されている。トウモロコシは条ごとに播種され、条間も比較的広いため、トラクタや除草機械等の作業機が入りやすい栽培方法となっているが、作業機がトウモロコシに与えるダメージを避けるため、この物理的防除が行えるのは一般にトウモロコシの節間伸長が開始される 7 葉期頃までに限られる。また、中耕は除草剤抵抗性の雑草にも有効であるが、根茎や塊茎等の地下部の栄養体で繁殖する多年生雑草では、機械的に細断されることにより栄養体が散らばって逆に蔓延を助長することもあるので留意が必要である。

② 化学的防除法

化学的防除法とは除草剤等の化学物質により防除する方法である。除草剤を利用した防除法には、主にトウモロコシや雑草の出芽前に除草剤を散布する土壌処理と出芽後に散布する茎葉処理（生育期処理とも呼ばれる）がある。

トウモロコシの栽培では、播種直後に土壌処理を行うのが一般的である。散布された薬剤は土壌の表面に吸着されることで処理層を形成し、土中で発芽した雑草の幼芽部や幼根部がその処理層に触れると薬剤が吸収され、雑草が枯死する。土壌処理剤の吸収には、ある程度の土壌水分が必要であることから、土壌が極度に乾燥している場合は除草効果がやや低下する（対策として農薬のラベルに記載された範囲内で散布水量を増やすこともある）。逆に、散布後に激しい雨が降ると薬剤が土壌に吸着される前に土壌深層へ流されてしまい、やはり除草効果が低下するので注意が必要である。また、処理層の形成ムラを避け、防除効果を高めるため、碎土を丁寧に行い、土塊を極力少なくすることや、散布前に鎮圧を行うことも有効である。播種時の土壌処理は作物が出芽していない圃場で行われるため機械作業による散布が容易である。また、生育初期に発生する雑草を防除できる（図 3-4-1）ので作物との競合の面からも重要性が高い。

茎葉処理は防除対象とする雑草の発生を確認した後に行うため、発生している雑草種に

合わせた適切な除草剤を選択することができる。
茎葉処理剤は、葉や茎に付着した薬剤が植物体内に吸収されることにより効果を発揮するため、散布後すぐに降雨があると、薬剤が吸収される前に流されてしまい効果が低下するので注意する。また、散布した薬剤は、雑草だけでなくトウモロコシ個体にも付着するため、作物には影響を与えず、雑草にのみ効果を発揮する薬剤（選択性除草剤）を使用する。選択性除草剤であっても、作物に若干の影響（薬害）を与える薬剤もあるので、使用上の注意をよく確認する。



図 3-4-1 土壌処理剤の散布が雑草の発生に及ぼす影響
(奥：散布、手前：未散布)

土壌処理剤の効果は時間が経つに従って徐々に失われていくため、土壌処理剤のみでトウモロコシ生育期間全体の雑草を防除することは難しい。一方、近年、殺草スペクトルの広い茎葉処理剤が販売されてきていることもあり、生産現場においては、土壌処理剤を使わず茎葉処理剤のみで雑草防除を行う事例も散見されるが、そのような例では殺草スペクトルから外れる雑草が繁茂・優占してしまうことや、天候不順等により散布適期を逃すと雑草害が甚大になる等の問題も生じている。

トウモロコシ栽培では条間が広く、きちんとした防除を行わなければ雑草の種類や量が多くなりがちであることから、土壌処理と茎葉処理を組み合わせた「体系処理」により、栽培期間全体を通じた効果的な防除を行うことが重要である。

以上のような除草剤の使用に当たっては、ラベルに書かれた使用上の注意事項をよく読んで登録内容に従って使用する。特に、除草剤に利用される成分毎に総使用回数が決まっているため、各除草剤のラベルに表示された使用回数の範囲内の

表 3-4-1 主要な除草剤の RAC コード

有効成分名	農薬名	RACコード
【土壌処理】		
ジメテナミドP・ベンディメタリン	モーティブ乳剤	3, 15
ジメテナミドP・リニュロン	エコトップP乳剤	5, 15
プロメリン・S-メトラクロール	コダールS水和剤	5, 15
アトラジン・S-メトラクロール	ゲザノンゴールド	5, 15
【土壌処理・茎葉処理どちらでも使用可】		
アトラジン	ゲザプリムフロアブル	5
アラクロール	ラッソー乳剤	15
【茎葉処理】		
チフェンスルフロンメチル	ハーモニーDF	2
トブラメゾン	アルファード液剤	27
トルピラレート	ブルーシアフロアブル	27
ハロスルフロンメチル	シャドー水和剤	2
ベンタゾン	バサグラン液剤(ナトリウム塩)	6
ニコスルフロン	ワンホープ乳剤	2

参考：各 RAC コードの作用機構

- 2：アセト乳酸合成酵素（ALS）阻害（アセトヒドロキシ酸合成酵素（AHAS）阻害）
- 3：微小管重合阻害
- 5：光合成（光化学系Ⅱ）阻害-セリン 264 バインダー
- 6：光合成（光化学系Ⅱ）阻害-ヒスチジン 215 バインダー
- 15：超長鎖脂肪酸合成（VLCFAs）阻害
- 27：4-ヒドロキシフェニルピルビン酸ジオキシゲナーゼ（4-HPPD）阻害

散布を行う。また、薬剤抵抗性の発達を回避する観点から、複数の薬剤を使用する際には、農薬の作用機構分類（RACコード）（表 3-4-1）が異なるものを選択することが推進されている（「指定有害動植物の総合防除を推進するための基本的な指針」（令和 4 年 11 月 15 日農林水産省告示第 1862 号））。なお、飼料用の子実トウモロコシには、「飼料作物（大作物群）」、「飼料用とうもろこし（中作物群）」（ただし「飼料用とうもろこし（青刈り）」を除く）及び「飼料用とうもろこし（子実）」を適用作物とする農薬を使用する（注意：本書の登録農薬に関する記述は 2024 年 7 月時点のものである。農薬の登録内容は更新されることがあるので、最新の情報は農林水産省の農薬登録情報提供システム（<https://pesticide.maff.go.jp/>）などで確認するようにしていただきたい）。

③ 生態的（耕種的）防除法

生態的防除法とは雑草と作物の生態的特性を利用し、耕種的な手法により雑草を制御する方法である。プラウ耕により土壌を反転し、雑草種子を出芽不能な深さまで埋没させる方法がある。また、輪作は有効な雑草防除法となりえる。田畑輪換では湛水条件と畑条件で土壌の理化学特性が大きく異なることを利用し、田及び畑の雑草を相互に防除することができる。ただし、雑草種によっては土壌中での生存年限が長く、田畑輪換では完全に埋土種子を死滅させる効果が得られず、蔓延までの年数を稼ぐ程度の効果しか期待できないこともある。飼料畑と牧草地では、耕起や収穫時期・回数など管理体系が異なるために発生する雑草相が異なり、交互に作付けすることによって雑草を抑制することも可能である。また、トウモロコシの畦間にシロクロバ等の被覆作物を生育させることにより雑草を抑制する方法（リビングマルチ）（魚住ら 2006）も生態的防除法に含まれる。

④ 生物的防除法

昆虫、小動物、微生物、アレロパシーを有する植物などの生物的手段を用いて雑草を制御する方法であるが、わが国のトウモロコシ栽培において実用的利用可能な技術はまだ開発されていない。

⑤ 主な雑草種

ここでは子実トウモロコシ栽培で問題となりやすい雑草種（一般に強害雑草や難防除雑草と呼ばれる）について紹介する。強害雑草の多くは外来雑草であることが多く、今回紹介する雑草種のうちガガイモ以外は外来雑草である。外来雑草は慣行の防除体系では防除が難しい草種が多く、イチビ、アレチウリ、オオブタクサは「日本の侵略的外来種ワースト 100」に選定されている。

a イチビ（図 3-4-2）

アジア原産のアオイ科一年生雑草。広葉で 2m を越す大型の草姿で、時にはトウモロコシを被圧し、収量に大きく影響する強害雑草である。また、独特な臭いを有し、収穫物に混入すると家畜の嗜好性が低下する恐れがあるほか、牛乳への臭いの移行も懸念されている。種子は硬実で、長期にわたり発芽能力を維持するため、一度圃場に侵入すると被害が長期化しやすい。「飼料用とうもろこし」に適用可能な土壌処理剤としてアトラジン（ゲザプリムフロアブルなど）、茎葉処理剤ではベンタゾン（バサグラン液剤（ナトリウム塩））、ハロスルフロンメチル（シャドー水和剤）、トプラメゾン（アルファード液剤）、トルピラレート（ブルーシアフロアブル）が有効である。



図 3-4-2 イチビ

b アレチウリ（図 3-4-3、3-4-4）

北アメリカ原産のウリ科一年生雑草。つる性で長さは数 m から十数 m にもなり、トウモロコシに絡みついて被圧するほか、収穫作業機の詰まりを生じさせ、収穫能率を大きく低下させる等、甚大な被害をもたらす。河川敷など非農耕地での蔓延も著しいため、生態系被害の観点から特定外来生物に指定された。種子が大きく土中深くから発生するため、土壌処理剤で十分に抑制できない場合がある。「飼料用とうもろこし」に適用可能な茎葉処理剤としてはニコスルフロン（ワンホープ乳剤）、トプラメゾン（アルファード液剤）による効果が認められるが、後発の個体も問題となり難防除である。そのため、侵入初期に防除し、蔓延を防ぐことが重要である。



図 3-4-3 アレチウリ（幼植物）

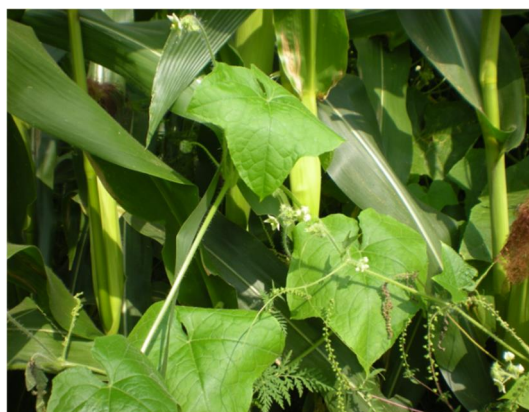


図 3-4-4 アレチウリ（成植物）

c オオブタクサ（図 3-4-5）

北アメリカ原産のキク科一年雑草。草丈が3m 以上にもなる大型の雑草で、生育速度も速いため作物と激しく競合する。トウモロコシ畑に侵入すると時には6m になることもある。従来の土壌処理剤や茎葉処理剤による防除効果は低いが、近年登録されたトプラメゾン（アルファード液剤）は防除効果が高いことが確認されている。



図 3-4-5 オオブタクサ

d 帰化アサガオ類（図 3-4-6）

ヒルガオ科一年生雑草のマルバルコウ、アメリカアサガオ、マルバアサガオ、ホシアサガオ、マメアサガオ等の総称。つる性で発生期間が長いことなどから、ダイズ畑では防除が難しい強害雑草となっている。トウモロコシ畑においても、帰化アサガオ類が蔓延する場合があります、トウモロコシ個体に絡みつくことで収穫能率の低下や、収穫ロスを増大させる可能性があるため注意が必要である。帰化アサガオ類の防除技術はダイズで先行しており（農研機構中央農業総合研究センター 2012）、ダイズ、飼料用トウモロコシ共通で使用可能な薬剤として、土壌処理剤ではプロメトリン・S・メトラクロール（コダール S 水和剤）、茎葉処理剤ではベンタゾン（飼料用トウモロコシには「バサグラン液剤」、ダイズには「大豆バサグラン液剤」）があるが、散布時のアサガオの



図 3-4-6 帰化アサガオの一種
マメアサガオ

葉齢が3葉期を超えると効果が低下するため、早めの散布が重要となる。また、近年、防除効果の高い方法として、生産現場ではトプラメゾン（アルファード液剤）とアトラジン（ゲザプリムフロアブル）の混用散布が実施されることがある。

e ワルナスビ (図 3-4-7)

北アメリカ原産のナス科多年生雑草。種子と根で繁殖するが、わが国では主に根で繁殖していると考えられている。草高は 40~100cm に達し、茎や葉には棘がある。ワルナスビは飼料畑に侵入すると耕起によって根が断片化され、その断片根から新たな個体を再生するため、瞬く間に圃場一面に蔓延する。このため、近年、トウモロコシ畑で見られるようになった雑草の中で最も防除が難しい雑草と考えられている。防除手法としては、一時的にスーダングラス等に草種を切り替え、被圧することにより経年的にワルナスビ密度を低下させる生態的防除法が有効である。また、トウモロコシ収穫後であれば非選択性除草剤を散布することにより一定程度防除することが可能であるが、トウモロコシ生育期間中に有効な化学的防除手法はないため、今後の開発が期待される。



図 3-4-7 ワルナスビ

f ショクヨウガヤツリ (キハマスゲ) (図 3-4-8)

ヨーロッパ原産のカヤツリグサ科多年生雑草。種子だけでなく塊茎からも繁殖する。草丈は 1m 前後で、最大で 1.5m に達することもあり、トウモロコシの生育初期に競合すると大きな減収を引き起こす。1 個体から数百個もの塊茎が生産され、一度侵入すると急速に拡散し根絶が難しい。圃場内でショクヨウガヤツリの発生を確認した際は、まずは塊茎を拡散させないように注意する。特にトラクタに塊茎が付着することによる他圃場への拡散が懸念されるため、耕起作業等を行う際はショクヨウガヤツリが発生していない圃場から作業を始めるとともに、発生圃場での作業後は丁寧に水洗いする必要がある。種子からの発生個体は土壌処理剤で抑制できるが、塊茎から発生する個体には土壌処理剤の効果がない。塊茎からの発生個体に対してはハロスルフロンメチル (シャドー水和剤) が卓効を示すが、ショクヨウガヤツリの 5 葉期を過ぎると防除効果が低下するため、散布のタイミングには注意が必要である。



図 3-4-8 ショクヨウガヤツリ

g ガガイモ（図 3-4-9）

キョウチクトウ科（古くはガガイモ科に分類）の多年生雑草。つる性で総長は 5m 以上にもなり、トウモロコシ個体に絡みつくことで、倒伏・折損を助長するだけでなく、収穫能率の低下や収穫ロスの増大を引き起こす。近年、北海道から東北地域での被害が拡大している。種子も形成するが、繁殖の中心は比較的浅い地下を横方向に延びる横走根で、耕うんにより切断された断片根から萌芽することで急激に生息域を拡大する。現時点においては、トウモロコシ生育期間中の有効な化学的防除体系が確立されていないため、圃場への侵入を発見し次第、根ごと抜き取り、拡大を阻止することが重要である。万が一多発してしまった圃場では、トウモロコシ栽培期間を避けてグリホサートカリウム塩液剤（ラウンドアップマックスロード）等の非選択性除草剤を散布することで密度の低下を図る。

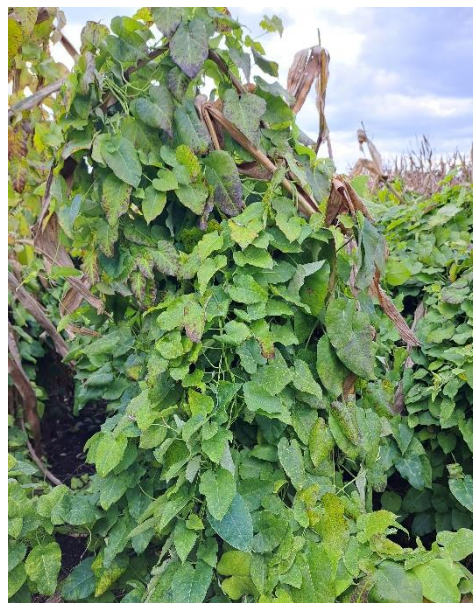


図 3-4-9 ガガイモ

<引用文献>

魚住順・出口新・田中治・河本英憲（2006）飼料用トウモロコシ栽培へのリビングマルチ導入による雑草の抑制と窒素肥沃度の向上．東北農研研報 106：15-26

農研機構中央農業総合研究センター（2012）帰化アサガオ類まん延防止技術マニュアル：大豆畑における帰化アサガオ類の防除技術．農研機構中央農業総合研究センター，茨城，

https://www.naro.go.jp/publicity_report/publication/files/publication_narc_kika_asagao_boujo.pdf [2024 年 6 月 24 日閲覧]

【コラム】子実トウモロコシの雑草リスク管理

雑草リスクは、その雑草種が対象作物にもたらす有害性とその有害性が生じる可能性の積で表すことができる。有害性には減収や品質低下などの経済的被害に加え、有毒植物による家畜や人の健康被害、それらに伴う風評被害などがある。一方で、その有害性が生じる可能性については、侵入可能性や難防除性などが挙げられる。わが国の飼料畑における雑草リスクとしては、難防除外来雑草の種子が輸入濃厚飼料を介して家畜排泄物とともに飼料畑に投入されることによって生じる飼料作物の雑草害が大きい（黒川 2017）。輸入濃厚飼料の原料である穀物は主に米国のコーンベルトで生産されていることから、米国などの穀物生産国における雑草防除プログラムを潜り抜けて来た雑草種が残草し、穀物とともに収穫されて日本に輸入されることとなるため、難防除な雑草が多い。つまり有害性及びその有害性が生じる可能性ともに大きいことから雑草リスクが非常に高くなっている。

このような中、国産濃厚飼料の生産拡大によって輸入飼料依存からの脱却を図る動きが活発となって来た。この動きは、難防除外来雑草の侵入可能性を低下させることにつながることから、新たな外来雑草の侵入による雑草リスクの低減に大きく貢献すると考えられる。一方で、従来から行われて来たサイレージ用トウモロコシ栽培と比較して、国産濃厚飼料として子実トウモロコシを栽培することによる雑草リスクの増大も考えられる（図 3-4-10）。両者は同じトウモロコシという作物ではあるが、利用部位が異なることから収穫時期に大きな差が生じる。黄熟期を収穫適期として青刈り収穫されるサイレージ用トウモロコシよりも子実が完熟するまで収穫されない子実トウモロコシは収穫時期が非常に遅い。収穫時期が遅くなると、これまでの収穫時期では十分に種子生産できなかったアレチウリなどの短日性の強い雑草も多くの子実トウモロコシは収穫時期が非常に遅い。収穫時期が遅くなると、これまでの収穫時期では十分に種子生産できなかったアレチウリなどの短日性の強い雑草も多くの子実トウモロコシは収穫時期が非常に遅い。収穫時期が遅くなると、これまでの収穫時期では十分に種子生産できなかったアレチウリなどの短日性の強い雑草も多くの子実トウモロコシは収穫時期が非常に遅い。収穫時期が遅くなると、これまでの収穫時期では十分に種子生産できなかったアレチウリなどの短日性の強い雑草も多くの子実トウモロコシは収穫時期が非常に遅い。

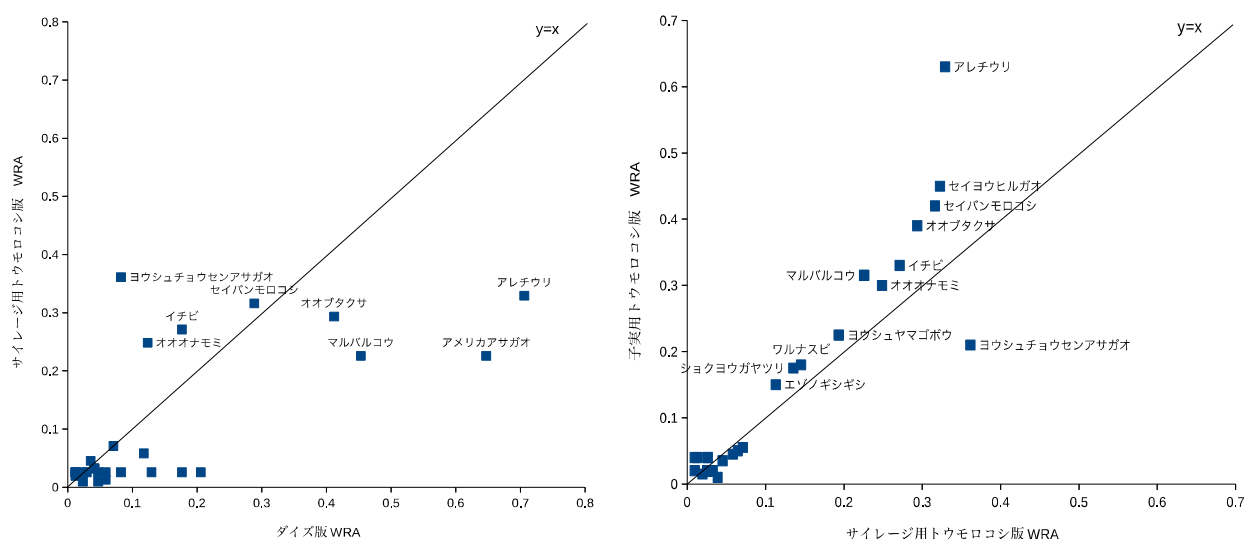


図 3-4-10 サイレージ用トウモロコシ、子実トウモロコシ及びダイズにおける主要外来雑草の雑草リスク評価値（WRA）の比較

黒川俊二（2019）より許可を得て転載。それぞれの作物ごとに設定した雑草リスク評価値（WRA; Weed Risk Assessment）の比較。値が高いほどリスクが高いと判断される。

生草種の競合性などの生育特性だけでなく、発生密度が高まることによって高まる。トウモロコシの収穫時期が遅くなることで埋土種子量が爆発的に増大すると、翌年以降の発生密度を大幅に高めることにつながるため、有害性が高まり雑草リスクが増大することとなる。同じトウモロコシ生産ということで油断せず、これまでの防除体系でこれまでと同様に雑草リスク管理ができるわけではないことに注意する必要がある。今後は茎葉処理除草剤の使用晩限であるトウモロコシ7葉期以降に発生する有害性の大きい雑草の防除技術を開発する必要があるだろう。

これまで多くの水田輪作体系の組み合わせであったイネ-ムギ-ダイズに子実トウモロコシ栽培が組み込まれるケースもある。この場合、ダイズ作で深刻な雑草害を引き起こして来た帰化アサガオ類の雑草リスクを低減できる可能性がある。帰化アサガオ類と同じ広葉作物であるダイズよりもイネ科作物である子実トウモロコシの方が防除しやすいためである。しかしながらダイズと同様に子実が完熟するタイミングでの収穫となるため、やはり短日性が強い帰化アサガオ類の結実を防ぐことは容易ではない。ダイズ栽培における帰化アサガオ類の雑草リスクを低減するためには帰化アサガオ類の結実を確実に防止し埋土種子量を効果的に削減できる防除体系の確立が必要となる。

<引用文献>

黒川俊二（2017）農耕地における外来雑草問題と対策. 雑草研究 62 : 36-47

黒川俊二（2019）飼料用トウモロコシ畑における雑草リスク評価. 雑草研究 64 : 91-94

5) 病虫害対策

① 病虫害対策の基本的な考え方・留意点

飼料用トウモロコシは、病虫害によって茎葉、根、子実等が被害を受けると、収量減少や品質低下、かび毒による子実汚染などの影響が生じる。トウモロコシを黄熟期に収穫して青刈り（ホールクロップサイレージ）利用するのに比べ、完熟期に収穫する子実トウモロコシ栽培では栽培期間が長期化し、害虫被害が顕在化することが多い。また、水田輪作体系への導入にともない湿潤環境を好む病害の発症頻度が高くなる傾向も見られる。さらに、近年の温暖化や海外からの病虫害の侵入・分布拡大により、新たな病虫害の発生状況に対応する必要が生じるなど、積極的な防除対策が求められるケースが増えている。

子実トウモロコシを栽培する際には、まず、被害を未然に防ぐための栽培管理を行うとともに、生育期間中の病虫害の発生に注意を払い、被害の程度に応じて防除実施の有無を判断する。防除にあたっては栽培する地域において問題となる病虫害の種類を把握し、対象となる病虫害について「耕種的防除法」と「化学的防除法」を効果的に組み合わせ、栽培体系の中で総合的に取り組む必要がある。

「耕種的防除法」としては、栽培時期の移動や栽培適地の選定等によって病虫害被害を回避する方法、抵抗性品種を選択する方法、前作の作物残渣を撤去し、伝染源や害虫の生き残りを除去する等の圃場衛生に努める方法のほか、密植を避けて風通しを良くする、圃場排水性の改善、窒素過多を避けた施肥や雑草の管理などの栽培管理、適期収穫等がある。

「化学的防除法」は主として農薬を使って行う防除法のことであるが、農薬によって適用となる病虫害が定められているほか、使用方法や使用回数が決められているため、農薬の使用の際はラベルに書かれた使用上の注意をよく読み、登録内容に従った使用方法を遵守する。さらに、近年、他の作物において薬剤抵抗性が問題となっている事例があるため、子実トウモロコシ栽培においても同一系統の薬剤の連用を避けた防除計画を作成するなどの留意が必要である。また、農薬の適用拡大により、2023年5月以降、適用作物として「飼料作物」「飼料用とうもろこし」「飼料用とうもろこし（子実）」が登録された農薬が子実トウモロコシ栽培で使用可能になった。無人航空機（ドローン）による散布に適した農薬も登録され、新たな防除体系が構築されつつある。

こうした病虫害対策については、かび毒汚染防止と低減に向けた農林水産省の通知「飼料用とうもろこし子実のかび毒汚染防止・低減に向けた技術指導について」（令和5年3月23日付け4消安第7174号、4畜産第2770号農林水産省消費・安全局農産安全管理課長、畜産安全管理課長、畜産局飼料課長連名通知、令和5年7月5日改正）においても、取組が重要と述べられている。

第3章5)節では、主要病虫害の発生生態と対策について、病害は②項、害虫は③項に示した。使用可能な登録農薬の概要は④項、また殺虫剤の防除効果、空中散布法については重要害虫であるアワノメイガを例として⑤項に示した。かび毒の分析法、及びかび毒汚染防止と低減に向けた農林水産省の通知についてはコラムで紹介している。

注意：本書の登録農薬に関する記述は2024年7月時点のものである。農薬の登録内容は更新されることがあるので、最新の情報は農林水産省の農薬登録情報提供システム(<https://pesticide.maff.go.jp/>)などで確認するようになりたい。

② 主要病害の発生生態と対策

トウモロコシには多様な病害が発生するが、ここでは子実での利用で特に問題になる、子実に直接的に損害を与える病害、及び植物全体を損傷し、収量減や栽培上の障害につながる病害を中心に紹介する。より詳しくは、農研機構公式サイト内の『飼料作物病害図鑑 (<https://www.naro.affrc.go.jp/org/nilgs/diseases/dtitle.html>) 』及び同図鑑中で紹介している関連文献等を参照されたい。

a 苗立枯病

発芽途中の種子や発芽直後の幼苗が、ピシウム属菌、フザリウム属菌など、土壤中に生息する糸状菌に侵されて枯死する病害である。最初、葉が灰色～暗色に変色し（図 3-5-1，写真左，上部の矢印）、その後、根も含む植物体全体に変色・枯死が進み（図 3-5-1，写真左，下部の矢印）、発芽不良・苗立ち不良の要因となる。多湿条件下で発生が多くなることが知られ、近年、水田から転換された排水が不良な圃場での栽培の増加、ゲリラ豪雨による圃場の滞水などで多発が危惧されている。圃場の排水を良くすることで発生を軽減できる可能性がある。播種前の種子に塗沫・粉衣する形で処理する殺菌剤としてチウラム水和剤等が登録されている。



図 3-5-1 苗立枯病の症状

左：ピシウム属菌によると見られる圃場での症例（矢印）。

中央：発生圃場から採集したピシウム属菌・フザリウム属菌の同時接種で再現された初期症状。写真右の健全株と比べ地上部・根部とも生育が極度に不良になっている。

b ウイルス病（モザイク病、すじ萎縮病）

いくつかの種類のウイルス病が知られているが、特に発生が多いのはモザイク病、すじ萎縮病である。前者は葉に生じる黄色いモザイク状の模様、後者は葉の変形・奇形化が特徴で（図 3-5-2）、いずれも激発すると植物体が極度に矮化して開花・結実しなくなり、

収穫が見込めなくなる。いずれもアブラムシ・ウンカ等の吸汁性昆虫によって媒介されるので、これら媒介虫の防除が病害対策となるが、一部のウイルスで種子伝染する例も知られており、地域品種の育成、自家採種等を行う場合は注意が必要である。



図 3-5-2 ウイルス病の病徴

左：モザイク病と見られる症例。

右：すじ萎縮病と見られる症例（矢印で示した楕円内の萎縮した植物株）。

c 根腐病

土壌中に生息するピシウム属の糸状菌による病害で、子実登熟の途中から茎内部や根系が腐敗し、給水不良で葉や雌穂が萎ちようして垂れ下がり、ひどい場合は内部が腐敗・空洞化して倒伏する（図 3-5-3）。萎ちよう・倒伏に伴い生育や子実の登熟が阻害され、収量・栄養価が低下するほか、機械収穫がうまくできなくなり、これに伴う収穫減も生じる。病原菌が多湿条件を好むため、圃場の排水を良くすることで発生の軽減が期待できる。また、窒素施肥が過多になると発生が増えると言われているので、適正な施肥量を心がける。発生が予想される圃場では、抵抗性品種を利用する（2章で選択された品種については、利用上問題のないレベルの抵抗性を持っていると思われるが、詳しくは各都道府県の指導機関に問い合わせること）。



図 3-5-3 根腐病が発生した圃場での健全株と罹病株の比較

引き抜いて基部を切断した健全株（左）と罹病株（右）。罹病株では健全株の切り株と比して内部が激しく腐敗・空洞化していることが判る。また、罹病株では萎ちょう・枯れ上がりに伴って雌穂が垂れ下がり、本病の外観上の特徴的な病徴となっている。

d 赤かび病

フザリウム属の糸状菌により子実が侵される病害（写真 3-5-4）で、生産される毒物、マイコトキシン（かび毒）により家畜に悪影響を及ぼすため注意が必要である。多発が予想される圃場を避けて栽培、また、生育不良の株や、虫害・気象災害等によって雌穂が損傷を受けた株では感染が増えることがあるので、適切な栽培管理・害虫防除を心がける。収穫後の乾燥が不十分で子実水分が比較的高い場合や、貯蔵中の湿度が高い場合は、収穫後にもかびの増殖が続き、子実の汚染が進むことがあるので、かびが繁殖する前の適期の収穫と、収穫後の早めの乾燥、低湿下での保管も重要である。かび毒に汚染された飼料を家畜に給与すると、家畜の健康（生産性）や畜産物の安全性に影響を及ぼす危険性があることから、例年と比べ栽培時にかびが多く繁殖した等不安がある場合は市販キット等による迅速簡易分析、より詳細には関係検査機関等での分析により、農林水産省の指導基準等を超えていないことを確認することが望ましい。かび毒については本書内のコラムにも関連記載があるので参照されたい。



図 3-5-4 赤かび病に感染した雌穂

包葉から露出した子実や、虫害・鳥害等による雌穂の傷から感染するケースが多いが、明確に病徴が生じず、外観からは感染の有無が判別できない場合もある。

e すず紋病

糸状菌による葉の病害で、葉に褐色～暗色の大きな紡錘形の病斑（写真 3-5-5）を多数生じ、やがて病斑が拡大・融合、葉全体が損傷・枯死に至る。病害の進展に伴い枯死葉が増加、やがて株全体の枯れ上がりに繋がるため、子実の収量・品質が低下する。発生が予想される地域では抵抗性品種を利用したい。病斑中央部の黒色の微小な斑点は大量に形成されたかびの胞子で、隣接する葉・植物株に飛散して感染を拡大するため、激発すると圃場全体が枯れ上がる場合もある。発生してしまった場合、罹病葉（罹病残渣）に大量の胞子が形成されて長期間生残するので、翌シーズン以降の伝染源になるのを避けるため、圃場に放置せず、地中に

すき込んで腐敗させる、圃場外に搬出して処理する、等の対策が望ましい。抵抗性の品種が販売されているので、多発が想定される地域・圃場での栽培では利用を検討する。なお、すず紋病菌には抵抗品種に感染できるレースの存在が知られているが、国内での各レースの菌系の分布状況は不詳なので、抵抗性とされる品種を栽培しても効果がなかった場合は、異なる抵抗性遺伝子を有する品種を使用する、地域で情報を共有し、地域内に分布するすず紋病菌に対して有効な抵抗性品種を



図 3-5-5 すず紋病の病斑

中央の紡錘形の病斑。病斑内の黒い微小斑点は病原菌の胞子。

推定する、などの対応が望ましい（2 章で選択された品種については、利用上問題のないレベルの抵抗性を持っていると思われるが、詳しくは各都道府県の指導機関に問い合わせること）。本病には散布用、及び無人航空機散布用の殺菌剤（プロピコナゾール乳剤（チルト乳剤 25））の登録があるので、発生後、早い時期に処置できれば被害軽減が期待できる。

f 黒穂病

糸状菌の感染で茎葉や穂が奇形化する病害。奇形化は、始め白色の異常肥大組織（ゴール、写真 3-5-6 左）として生じ、やがてゴール内部に病原菌の暗色の厚膜孢子（黒穂孢子）が大量に作られ、組織を破って飛散、穂が罹病した場合には黒穂症状（図 3-5-6 右）となり、子実が収穫できなくなる。黒穂孢子は周辺のトウモロコシ株に伝染するほか、落下して土壌中で長期間生残し、翌シーズン以降の伝染源になる。抵抗性品種の利用（2 章で選択された品種については、利用上問題のないレベルの抵抗性を持っていると思われるが、詳しくは各都道府県の指導機関に問い合わせること）である程度被害を軽減できるが、多発した圃場では連作を避ける、発病した植物株は孢子が飛散し始める前に除去する、孢子が飛散し始めてしまった植物株は圃場へのすき込みや堆肥化への利用を避ける、等、作土・圃場を病原菌による汚染から守る対策が望ましい。



図 3-5-6 黒穂病の症例

左：茎葉に生じた病徴（白色の異常肥大組織：ゴール【矢印で示したこぶ状の構造】）
右：雌穂に生じた病徴（黒穂症状：奇形化した雌穂内で形成された病原菌の厚膜孢子（黒穂孢子）が吹き出している）

③ 主要害虫の発生生態と対策

a アワノメイガ

アワノメイガはトウモロコシで最もよく見られる害虫で、幼虫が稈や雌穂の内部に侵入し、食害する。成虫の前翅長は 12mm 内外、色は灰色がかった黄褐色（図 3-5-7 左）。終齢幼虫は体長 20～25mm、頭部は暗褐色、体はやや透明な淡褐色で小黑点が点在する（図 3-5-7 右）。

発生回数は地域によって異なり、北海道は年 1～2 回、東北は年 2～3 回、関東以南は年 3～4 回と南の地域ほど多くなる。寄主植物は広範で、トウモロコシ、ソルガム、アワ、キビなどイネ科植物が多い。

幼虫は収穫後のトウモロコシ残渣の中などで越冬し、春先に蛹化する。羽化した雌は卵を葉裏に塊で産み付ける（図 3-5-8 左）。孵化した幼虫は葉を片側の表皮を残して摂食し、特徴的な食痕を残す（図 3-5-8 中央）。2～3 齢以降は植物体内に侵入し、内部を摂食するようになる。加害場所はトウモロコシの生育段階によって異なり、栄養成長期は葉身（図 3-5-8 右）や葉鞘、雄穂形成期以降は雄穂へ侵入するが、絹糸抽出前後からは雌穂へ移動し、侵入することが多くなる。稈は全生育期間を通じて食害されるが、4、5 齢幼虫によることが多い（図 3-5-9 左）。幼虫が植物体内に侵入するときに開けた侵入孔の周囲には褐色の虫糞や破碎屑が堆積するので被害を見つけやすい（図 3-5-9 中央）。食害部は組織が脆弱になるため折れやすく（図 3-5-9 右）、稈が雌穂の着生部位より下で折損すると収穫困難となる。雌穂は幼虫が苞葉の外から侵入孔を開けて侵入する事もあるが、多くの幼虫は絹糸抽出部や苞葉の隙間から侵入する（図 3-5-10 左）。この場合、侵入孔は見あたらず、虫糞や破碎屑も雌穂の外へ排出されずに苞葉内にとどまるが多いため、被害に気づきにくくなる。雌穂の中に侵入した幼虫は子実、穂軸、苞葉、絹糸を摂食し、成長する（図 3-5-10 中央）。幼虫の摂食は食害粒を発生させるだけでなく、食害部はかびに感染しやすくなり、かび毒蓄積の危険性が増すので注意を要する（図 3-5-10 右）。幼虫が雌穂柄（雌穂下部の細い柄の部分）へ侵入し、雌穂柄が食害部から折損して雌穂が垂れ下がると（図 3-5-11 左、右）、台風通過時の強風や収穫機械等の震動で雌穂が容易に落下するようになる。

このように、アワノメイガの被害は、幼虫の食害によって引き起こされる稈の折損や雌穂の落下にともなう収穫量の減少、及び食害粒やかびの発生による品質低下があげられる。幼虫に食害される株の割合は黄熟期より完熟期の方が多くなるため（図 3-5-12）、青刈り（黄熟期収穫）に比べて子実トウモロコシ（完熟期収穫）では被害が顕在化し、積極的な防除対策が必要なケースが多くなる（吉田 2021）。

対策：作物残渣の撤去 終齢幼虫はトウモロコシの稈の内部などで越冬するので、収穫後は残渣を撤去し、耕起することによって越冬個体数を減少させ、翌春の成虫発生数を抑制する（吉田 2020）。

農薬散布 被害株が多い圃場では絹糸抽出期に農薬を散布する。登録農薬は 7 剤あり、散布、及び無人航空機による散布に対応している（表 3-5-2）。第 3 章 5) 節⑤項「アワノメイガ対策の実際」では薬剤効果と空中散布法について詳しく紹介している。また、かび毒汚染防止・低減におけるアワノメイガ防除の重要性についてもコラムで紹介しているので参照していただきたい。



図 3-5-7 アワノメイガの成虫（左）と 5 齢幼虫（右）。

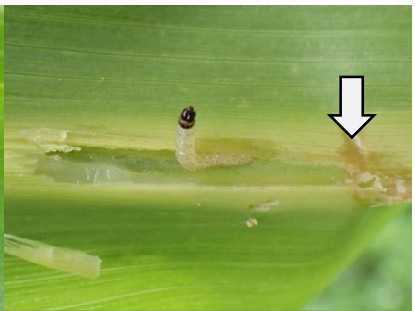


図 3-5-8 アワノメイガの卵と若齢幼虫による茎葉の被害

左：アワノメイガの卵塊。中央：1 齢幼虫の食痕。右：葉身の主脈に侵入して内部を摂食していた 2 齢幼虫。葉身は侵入孔付近（矢印）から折損。

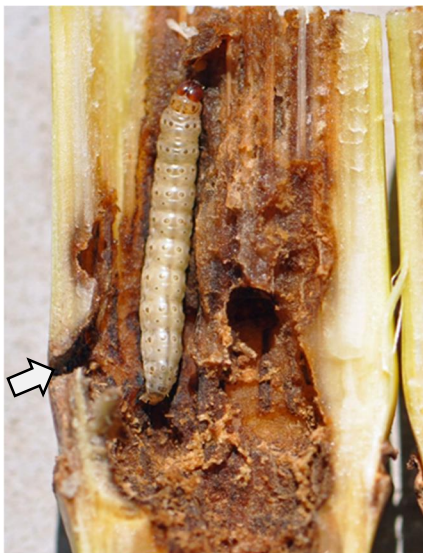


図 3-5-9 アワノメイガの幼虫による稈の被害

左：侵入孔（矢印）から稈の内部に入り、摂食する 5 齢幼虫。
中央：稈の中にいる幼虫が外に排出した虫糞や破砕屑は、侵入孔付近に付着し、堆積する（矢印）。
右：食害部（矢印）から折損した稈。



図 3-5-10 アワノメイガの幼虫による雌穂の被害

左：絹糸抽出部から侵入した 3 齢幼虫（左の矢印）と 4 齢幼虫（右の矢印）。
中央：雌穂の中で子実や穂軸を摂食する 5 齢幼虫。左上の円の中は食害された子実。
右：食害部の周辺に伸長したかびの菌糸（矢印）。白色の小粒は幼虫の糞。



図 3-5-11 アワノメイガの幼虫による雌穂柄の被害 （吉田 2021 より）

左：雌穂柄に侵入した 3 齢幼虫。右：幼虫の食害により雌穂柄が折損し（矢印）、垂れ下がった雌穂。

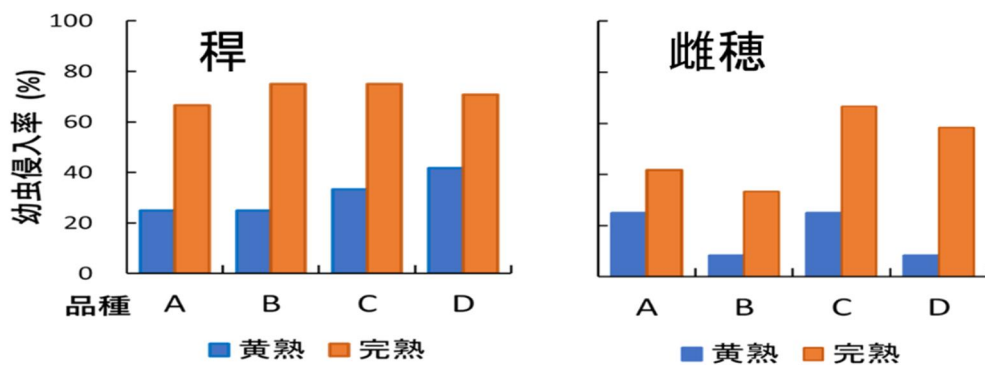


図 3-5-12 トウモロコシの黄熟期と完熟期におけるアワノメイガの幼虫侵入率

アワノメイガの幼虫に侵入されたトウモロコシの株の割合は、穂（左）、雌穂（右）とも黄熟期より完熟期の方が多い。

b イネヨトウ

イネヨトウの幼虫は、形態、生態ともアワノメイガの幼虫に良く似ており、トウモロコシの内部に侵入して食害する。成虫は前翅長約 10～15mm。終齢幼虫は体長約 20～30mm、頭部は暗褐色、体色は本種の方がアワノメイガよりやや紫赤色を帯びる（写真 3-5-13 上）。

寄主植物はイネ、サトウキビ、トウモロコシ、アワをはじめとするイネ科植物全般。卵は数列に並んだ塊としてイネ科雑草やトウモロコシの下位葉鞘に産みつけられる（図 3-5-13 下）。若齢幼虫は葉鞘を摂食するが中齢以降は稈に侵入して内部を食害し、侵入孔から虫糞を外に排出するなど、習性や加害のしかたもアワノメイガに似ている。ただし、本種の方が稈の下部を加害する傾向があり、本州中部以西での発生が多い。幼虫で越冬する。

対策：イネ科雑草へ産卵する事が多いので、圃場内外の雑草を除去して発生を抑える。



図 3-5-13 イネヨトウ

上：終齢幼虫。下：イネ科雑草に産みつけられた卵塊

c アワヨトウ

アワヨトウの幼虫は夜行性で、昼間は未展開の葉や雌穂の先端に潜み、夜間に摂食する。突発的に大発生し、トウモロコシを含むイネ科植物を食い尽くして甚大な被害を出すことで知られる（小山・松村 2019）。

成虫は前翅長 15～20mm。終齢幼虫は体長 30～45mm。頭部は褐色で、特徴的な黒色の帯状斑（八の字紋と呼ばれる）がある。幼虫は発育時の個体密度によって色彩や行動が異なる 2 タイプがある。低密度、定着型の幼虫は体色が灰褐色～灰緑色で孤独相と呼ばれ（図 3-5-14 左）、高密度、移動型の幼虫は体色が黒化し、暗褐色～暗緑色で群生相と呼ばれる（図 3-5-14 右）。

国内では西南暖地など比較的温暖な地域で幼虫または蛹で越冬するが、北日本では越冬できない。長距離移動性の害虫で、気流を利用してアジア大陸から飛来してきた成虫が発生源になることが多く、発生時期や発生量は変動が大きい。卵はイネ科植物の根元に卵塊で産み付けられる。通常の高密度時の幼虫は、昼は未展開の葉や葉鞘の中に潜み、夜間に摂食して不規則な食痕を残すが、被害はあまり問題にならない程度ですむ（図 3-5-15 左）。大発生は突発的に広い地域で同時に起き、黒化した幼虫が日中も盛んに摂食する（図 3-5-15 右）。幼虫は作物を食い尽くしながら移動し、甚大な被害をおよぼす。

対策：イネ科雑草へ産卵する事が多いので、圃場内外の雑草を除去して発生を抑える。大発生時はイネや牧草など他の作物も甚大な被害を受けるため、発生圃場を早期に見つけ、薬剤効果の高い若齢幼虫のうちに薬剤散布を行うなど、地域一帯での対応が重要となる。エトフェンプロックス乳剤（トレボン乳剤）が散布できる。



図 3-5-14 アウヨトウ

左：低密度時の幼虫（孤独相）。右：大発生時に体色が黒化した幼虫（群生相）。

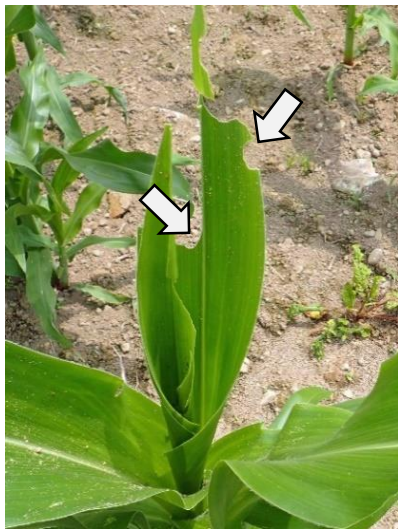


図 3-5-15 低密度時と大発生時のアウヨトウの被害

左：低密度時の幼虫は、昼は巻葉中などに潜み、夜に摂食して葉縁に不定形の食痕を残す（矢印）。
右：大発生時の幼虫の食害は激しく、葉身は主脈を残して食べ尽くされ、落下するものも多い。

d ツマジロクサヨトウ

ツマジロクサヨトウは南北アメリカ大陸原産の長距離移動性の害虫で、日本では 2019 年の初確認以降、毎年、アジア大陸から飛来している。成虫は前翅長 10～15mm。終齢幼虫は体長約 40mm、体色は緑色～褐色、頭部から前胸にかけて網目模様があり、正面から見ると淡色の「逆 Y 字」の紋がある。腹部後方の黒点（刺毛基板）は大きく、よく目立つ（図 3-5-16 左）。

寄主植物は多数、報告されているが、国内では飼料用トウモロコシの被害が多い。休眠性はなく、国内で周年発生の可能性が示唆されているのは南西諸島だけである。周年発生している中国南部や台湾から気流を利用して日本へ飛来し、移動分散する。雌は葉の裏に卵を塊として産み付け、卵塊表面を鱗粉で覆う。孵化幼虫は葉の片側の表皮を残して摂食する。成長すると未展開の葉の中などに潜むようになり、不規則な食痕と多量の糞を残す（図 3-5-16 右）。栄養成長期の若いトウモロコシを好むので、成長点や幼穂を食害されると被害が大きくなる。土中で繭を作って蛹化する。

対策：詳細な生態や防除法は、農林水産省（2024）や宮崎大学（2024）のツマジロク

サヨトウ防除マニュアルにまとめられているので、是非、参照していただきたい。

また、長距離移動は気象条件によって年に何度も起きるため、日本各地の飛来予測情報を提供している JPP NET (<https://www.jppn.ne.jp/jpp/hiraiyosoku/index.html>) を活用し、早期発見につとめて欲しい（大塚 2024）。特に、被害が頻発する九州地方の夏まきでは収量低下が懸念されるため、食害が確認された場合は薬剤効果の高い若齢幼虫のうちに薬剤散布し、防除することが推奨されている。飼料用の子実とうもろこしの登録農薬は 7 剤あり、使用方法も散布、無人航空機による散布、塗沫処理と多様である。



図 3-5-16 ツマジロクサヨトウの幼虫と被害

左：幼虫は頭部に逆 Y 字の淡色の紋、腹部後方に大きな黒点（刺毛基板）がある。
右：未展開の葉の中央（矢印）に潜んだ幼虫が生長点、幼穂、葉身を食害。

e タマナヤガ、カブラヤガ（ネキリムシ類）

タマナヤガとカブラヤガの幼虫は幼苗の茎を地際で切断し、欠株を生じることから、一般に「ネキリムシ類」と呼ばれる。成虫は前翅長 20～25mm。終齢幼虫は体長約 35～50mm。両種の幼虫は外見がよく似ており、混発することもある。頭部は褐色、黒褐色の網状斑があり、体色は灰褐色～褐色。

イネ科雑草等に産卵し、トウモロコシに直接産卵することは少ないので若齢幼虫の被



図 3-5-17 ネキリムシ類の被害

左：茎の根元を切断されて倒れ、枯れ始めたトウモロコシの幼苗。
右：倒れた株の根元に潜んでいたタマナヤガの幼虫。地際で茎を切断する（矢印）。

害はあまり問題にならないが、生育するにつれて近隣の圃場へと侵入する。トウモロコシでは幼苗期に茎の根元を食害されると株が枯れたり、倒れたりする（図 3-5-17 左）。幼虫は生育すると夜行性になり、昼は土中に潜る習性があるので、倒されたばかりの株の周囲の土を掘ると幼虫が見つかることが多い（図 3-5-17 右）。タマナヤガは暖地で越冬し、北日本では越冬困難だが、カブラヤガは北日本でも幼虫越冬できると思われる。突発的に大発生し、成虫がアジア大陸や国内の他の場所から集団で牧草地等に飛来する事が知られている。地中で蛹化し、新成虫は産卵場所を求めて飛び去るので、同一圃場で大発生が繰り返されることは少ないとされている。

対策：イネ科雑草に産卵するので、発生源となる周囲の雑草を除去する。被害が生じた場合はダイアジノン粒剤を土壌表面へ散布する。

f タネバエ

幼虫が播種後のトウモロコシの種子に食入すると発芽せず、多くの欠株を生じる。成虫は体長 4～6mm、終齢幼虫は体長約 10mm。

成虫は早春の低温期から出現し、有機物の腐敗臭に誘引されて、土の間隙などに産卵する。孵化した幼虫はおもに地中の深さ 5cm 程度の場所で活動し、種子、幼苗の芽や根、有機質を餌として成長する。播種後の種子の食害が激しい場合は発芽不良となり、再播種しなければならない場合もある。低温に適応した寒地系害虫で、北日本での発生が多く、発生数は春と秋に増加し、盛夏は減少する。

対策：成虫は家畜糞尿の臭気に誘引されて産卵するので、堆肥を施用する場合は完熟したものを使用する。低温期の早まきで被害が出やすい。発生が懸念される場合は播種前にチアメトキサム水和剤を種子に塗抹処理する。



図 3-5-18 播種後のトウモロコシ種子に食入したタネバエの幼虫（矢印）

<引用文献>

小山重郎・松村正哉（2019）日本におけるアワヨトウ（チョウ目：ヤガ科）の発生生態と防除：特に大発生と成虫の長距離移動に関連して．応動昆．63(2)：39-56．

宮崎大学（2024）ツマジロクサヨトウ防除対策マニュアル．宮崎大学農学部植物生産環境科学科．

<https://www.miyazaki-u.ac.jp/ags/bunner/4204504182b7799c2a3b93e62839580f24c31512.pdf> [2024 年 7 月 11 日参照]

農林水産省（2024）「ツマジロクサヨトウ」防除マニュアル本編（第 3 版）．消費・安全局植物防疫課横浜植物防疫所．

https://www.maff.go.jp/j/syouan/syokubo/keneki/k_kokunai/attach/pdf/tumajiro-12.pdf [2024 年 7 月 11 日参照]

大塚彰（2024）ツマジロクサヨトウの飛来実態と飛来予測．植物防疫 78:70-73.

吉田信代（2020）飼料用トウモロコシの害虫と対策．牧草と園芸 68(4):5-10.

吉田信代（2021）草地・飼料作物における主要な害虫の生態と防除－飼料用トウモロコシ編－．植物防疫 75：344-349.

④ 飼料用の子実トウモロコシ栽培で使用可能な殺虫剤、殺菌剤

トウモロコシはその用途が食用、飼料用、工業用と広く、使用される農薬の登録においても適用範囲が用途ごととなっているため、注意を要する。飼料用の子実トウモロコシ栽培における病虫害防除及び雑草防除に使用可能な農薬としては、表 3-5-1 上段に示したとおり、「飼料作物」、「飼料用とうもろこし」、及び「飼料用とうもろこし（子実）」に登録のあるものになり、青刈りトウモロコシ（表 3-5-1 下段）に登録のある「飼料用とうもろこし（青刈り）」は使用できないので注意する。

なお、「飼料用とうもろこし（子実）」に登録のある農薬は、子実と一緒に子実以外の雌穂部分（穂軸や苞葉など）を利用するイアコーンサイレージやコーンコブミックス、及びトウモロコシ全体を利用する青刈りトウモロコシには使用できない。

病虫害防除のために現在使用できる殺虫剤、殺菌剤については表 3-5-2 を参考にされたい。また、農薬による防除を行う際は、ラベルに記載されている適用作物のほか、使用時期、使用方法等も十分に確認し、適正に農薬を使用する。

表 3-5-1 トウモロコシの利用形態と使用可能な農薬

用途	利用形態	収穫時期	利用部位	ラベルに記載されている作物名
飼料用	子実トウモロコシ （乾燥子実、子実サイレージ）	完熟期	子実	「飼料作物」、「飼料用とうもろこし」、「飼料用とうもろこし（子実）」に登録のあるもの（「飼料用とうもろこし（青刈り）」は利用できない）
	青刈りトウモロコシ （ホールクロップサイレージ）	黄熟期	雌穂 （子実・穂軸・苞葉） 茎葉	「飼料作物」、「飼料用とうもろこし」、「飼料用とうもろこし（青刈り）」に登録のあるもの（「飼料用とうもろこし（子実）」は利用できない）

表 3-5-2 飼料用の子実トウモロコシ栽培で使用可能な殺虫剤・殺菌剤
(2024 年 7 月現在)

農薬系統名 (IRAC/FRACコード) 農薬名*	適用病害虫名	使用倍率・量	使用時期	本剤の 使用回数	使用方法	備考
有機リン系 (I:1B)						
MEP乳剤	アブラムシ類	2000倍・100～300l/10a	収穫30日前まで	2回以内	散布	
ダイアジノン粒剤	タマナヤガ	6kg/10a	収穫60日前まで	2回以内	散布	子実利用に限る
	ネキリムシ類		出芽時	1回	土壌表面散布	
ピレスロイド系 (I:3A)						
エトフェンプロックス乳剤	アワノメイガ, アワヨトウ, ツマジロクサヨトウ	1000倍・100～300l/10a	収穫7日前まで	4回以内	散布	子実利用に限る
エトフェンプロックス粉剤	アワノメイガ	4kg/10a	収穫7日前まで	4回以内	散布	子実利用に限る
ネオニコチノイド系 (I:4A)						
アセタミプリド水溶剤	アブラムシ類	6000倍・100～300l/10a	収穫90日前まで	3回以内	散布	
チアメトキサム水和剤	タネバエ, ハリガネムシ類	原液6ml/乾燥種子1kg	は種前	1回	塗沫処理	
アベルメクチン系 (I:6)						
エマメクチン安息香酸塩乳剤	オオタバコガ, ヨトウムシ	1000～2000倍・100～ 300l/10a	収穫30日前まで	2回以内	散布	子実利用に限る
Bacillus thuringiensis と 殺虫タンパク質生産物 (I:11A)						
BT水和剤						
ジャックポット顆粒水和剤	アワノメイガ	500～1000倍・100～ 300l/10a	発生初期(収穫 前日まで)	制限なし	散布	
チューレックス顆粒水和剤						
サブリーナフロアブル						
サンケイサブリーナフロアブル		1000倍・100～300l/10a				
トアロー水和剤CT						
エコマスターBT						
エスマルクDF		2000倍・100～ 300l/10a				
フローバックDF						
兼商デルフィイン顆粒水和剤		500倍・100～300l/10a				
デルフィイン顆粒水和剤	ツマジロクサヨトウ					
ジャックポット顆粒水和剤		500～1000倍・100～ 300l/10a				
チューレックス顆粒水和剤						
ピロール系 (I:13)						
クロルフェナビル水和剤	ハダニ類, オオタバコガ, ツマジロクサヨトウ	2000倍・100～300l/10a	収穫前日まで	2回以内	散布	子実利用に限る
ネライストキシシン類縁体 (I:14)						
カルタップ水溶剤	アワノメイガ	1000倍・100～300l/10a	収穫21日前まで	2回以内	散布	
	ツマジロクサヨトウ	1000～1500倍・100～ 300l/10a				
セミカルバゾン (I:22B)						
メタフルミゾン水和剤	アワノメイガ	1000～2000倍・100～ 300l/10a	収穫前日まで	3回以内	散布	子実利用に限る
	ツマジロクサヨトウ	1000倍・100～300l/10a				
ジアミド系殺虫剤 (I:28)						
クロラントラニリプロール水和剤	アワノメイガ, ツマジロクサヨトウ	2000～4000倍・100～ 300l/10a	収穫前日まで	3回以内	散布	・子実利用に限る ・クロラントラニリプロールを 含む農薬の総使用回数は 4回以内(ただし、播種の 塗布処理は1回以内、播 種後は3回以内)
		20～40倍・1～2l/10a			無人航空機 による散布	
		2000倍・100～300l/10a			散布	
		20倍・1～2l/10a			無人航空機 による散布	
	ツマジロクサヨトウ	乾燥種子1000粒 当り原液1.5～2.5ml	播種前	1回	塗沫処理	クロラントラニリプロールを 含む農薬の総使用回数は 4回以内(ただし、播種前 の塗布処理は1回以内、 播種後は3回以内)
フルベンジアミド水和剤	アワノメイガ, オオタバコガ, ツマジロクサヨトウ	2000～4000倍・100～ 300l/10a	収穫前日まで	2回以内	散布	子実利用に限る
	アワノメイガ, オオタバコガ	32倍・3.2l/10a			無人航空機 による散布	

DMI殺菌剤 (F:3)					
プロピコナゾール乳剤	すす紋病	1000倍・100～300l/10a	収穫7日前まで	2回以内	散布
		8倍・800ml/10a	収穫7日前まで	2回以内	無人航空機による散布
		16倍・1600ml/10a			
PP殺菌剤 (F:12)					
フルジオキシニル水和剤	根朽病	種子重量の0.3～0.5%	は種前	1回	種子粉衣
ジチオカーバメート類及び類縁体 (F:M03)					
チウラム水和剤 (忌避剤)	苗立枯病	原液20ml/乾燥種子1kg	は種前	1回	塗沫処理

†最新情報は農林水産省の農薬登録情報提供システム (<https://pesticide.maff.go.jp/>) などで確認していただきたい。

*農薬名は一般名で表記した。但し、BT水和剤は商品により使用倍率が異なるため、商品名ごとに表記した。

⑤ アワノメイガ対策の実際

アワノメイガの幼虫がトウモロコシの茎や雌穂柄を食害すると、食害された部分が物理的に弱体化し、強風雨や収穫機械が接触した際に、稈の折損、雌穂脱落などが発生しやすくなり収量低下が懸念される。また、子実粒への食害は咬痕への病原菌の侵入や輸送中の振動による欠け割れなど、品質低下を引き起こす心配がある。これまでのサイレージ（青刈り）でのトウモロコシ利用においては、おおむねアワノメイガによる被害が発生する前（黄熟期）に収穫されていたのに対し、完熟期収穫となる子実利用では立毛乾燥のため圃場で経過させる時間が長く被害が顕著になることから、子実利用で特有の問題と言える（図 3-5-12）。また、子実用トウモロコシは大規模水田営農での輪作体系などに組み込まれることが想定され、多種多様な作目が混在する生産現場で害虫の発生源となることは他作目との摩擦を引き起こしかねず、その防除が求められていくことになろう。そこで農薬（殺虫剤）散布によりアワノメイガ幼虫を防除し、被害を低減させる技術の開発が目指された。

a 空中散布によるアワノメイガ被害に対する抑制効果

トウモロコシは草丈が 3m を超える長大型作物であることから生産現場での実用的な農薬散布方法が存在しないことが技術開発のネックになっていた。また、トウモロコシは栽培時の一筆面積が広大であることが多く、農薬散布のための水補給に多くの時間を要することも技術普及において懸念されていた。近年では無人航空機（ドローン含む）が農薬散布にも活用されるようになってきており、また、農薬の空中散布（少量散布）登録も進んできたことから、トウモロコシ子実の生産において、その有効性について検討が進められた。

殺虫剤としてクロラントラニリプロール水和剤（商品名：プレバソンフロアブル 5）、散布方法として、立毛のトウモロコシに薬剤を散布できるハイクリアランスブームスプレーヤ（図 3-5-19、20）もしくは農薬散布用ドローン（図 3-5-21）を用いて、トウモロコシの出穂・絹糸抽出時期に散布を行った。その結果、トウモロコシの雌穂に侵入したアワノメイガ幼虫数が無農薬の場合と比べて約 10 分の 1 程度にまで減少するなど大きな効果が見られた（表 3-5-3）。通常、アワノメイガ幼虫は雌穂を包んでいる葉（包葉）の開口部分から侵入し雌穂先端に留まることが多く、その次に雌穂柄の部分に多いが、いずれの部位でも幼虫数は大幅に減少が見られた。このように雌穂へのアワノメイガの侵入が低減されたことにより、雌穂の垂れ下がり・離断、及び食害により損傷した子実粒が減少した（表 3-5-4）。また植物体でも稈の折損が大幅に低減された。この結果から殺虫剤の散布はアワノメイガの幼虫を原因とするトウモロコシの被害を低減できることが明らかとなっ

た。また散布方法の比較において、ハイクリアランスブームスプレーヤとドローンの間に効果の違いは見られなかったため、生産現場ではどちらの機材を用いても必要とする水準でアワノメイガの防除が可能であると考えられた。技術開発で用いたそれぞれの散布機材の運用における利点・欠点を表 3-5-5 に示した。

なお、生産現場の状況としては、生産者が空中散布の事業者による作業委託し、ドローンでの散布が行われている事例が多いようである（2024 年 6 月時点）。ドローン（無人航空機）による農薬散布には（1）機体の登録、（2）飛行許可・承認申請、（3）飛行計画の通報と飛行日誌の作成が必要である。近年は散布を請け負う事業者も各地で増えているが、独自で飛行させる場合は航空法や国土交通省航空局のマニュアル及び農林水産省消費・安全局のガイドライン（引用文献参照）を確認の上、それらに従い実施する必要がある。

<引用文献>

国土交通省航空局（2022）無人航空機飛行マニュアル②（令和 4 年 12 月 5 日版）

農林水産省消費・安全局（2023）無人マルチローターによる農薬の空中散布に係る安全ガイドライン（令和元年 7 月 30 日付け制定 元消安第 1388 号消費・安全局長通知、令和 5 年 3 月 30 日付け最終改正 4 消安第 7181 号消費・安全局長通知）



図 3-5-19 ハイクリアランスブームスプレーヤ



図 3-5-20 ハイクリアランスブームスプレーヤによる薬剤散布作業



図 3-5-21 ドローンによる薬剤散布

表 3-5-3 殺虫剤散布によるアワノメイガ幼虫の低減効果

使用薬剤	散布機材	雌穂におけるアワノメイガ幼虫数			
		先端	胴	雌穂柄	合計
無農薬	-	100	100	100	100
クロラントラニリ プロール	ハイクリアランス ブームスプレーヤ	6	2	3	5
(プレバソンフロアブル5)	ドローン	13	2	3	11

- ・表中の数値は「無農薬」の場合を 100 とした比を表す
- ・農薬（クロラントラニリプロール）の希釈倍率及び散布量はドローンでは 20 倍、2.0L/10a とし、ハイクリアランスブームスプレーヤでは 2000 倍、200L/10a とした（農薬量はいずれも 100ml/10a）

表 3-5-4 殺虫剤散布によるトウモロコシ被害の低減効果

使用薬剤	散布機材	折損		雌穂の 下垂・離断	食害粒
		上位	下位		
無農薬	-	100	100	100	100
クロラントラニリ プロール	ハイクリアランス ブームスプレーヤ	18	6	9	16
(プレバソンフロアブル5)	ドローン	21	15	14	28

- ・表中の数値は「無農薬」の場合を 100 とした比を表す
- ・折損は雌穂の着生位置で「上位」と「下位」にわけた

表 3-5-5 農薬散布機材の運用における利点・欠点

機材	利点	欠点
ハイクリアランス ブームスプレーヤ	・（ドローンと比較して）天候による作業実施への影響やドリフト発生の可能性が小さい ・植物体全体への散布が容易（下部まで薬剤が到達しやすい）	・機材が高価 ・農薬希釈水の補給に時間を要する ・トラクタマウント式のため作業時に通路が必要（減収要因） ・大型のため小面積圃場では運用が難しい ・重心が高いため作業時の運転・操作に注意が必要
ドローン	・生産現場での持ち運びが容易 ・農薬希釈水の補給（持ち運び）が容易 ・作業が圃場の面積・形状に左右されない ・機材が安価	・飛行や作業に風の影響を受けやすい（ドリフト発生など） ・雨天時は飛行できない ・現在のところ飛行可能時間が短い（電池交換が頻繁） ・長大型作物では薬剤が下部まで到達しにくい ・現状では登録農薬が少ない

b アワノメイガに対する有効な殺虫剤

3-5)-③で述べたように子実トウモロコシ栽培では、幼虫による被害が顕在化しやすい。その対策として、最も効果が高いのは化学合成殺虫剤の散布である。これまでアワノメイガ対策として飼料用トウモロコシに散布可能な殺虫剤は、カルタップ水溶剤と BT 剤の 2 剤であったが、子実を収穫する場合に限ってであるが、2023 年に 5 剤（クロラントラニリプロール水和剤、エトフェンプロックス乳剤、エトフェンプロックス紛剤、フルベンジアミド水和剤、メタフルミゾン水和剤）が適用拡大となった。そこで、地上散布による数種殺虫剤の比較試験をおこない、アワノメイガ被害に対する抑制効果について検討を行った（図 3-5-22）。その結果、チョウ目害虫に卓効を示すジアミド系殺虫剤が他の殺虫剤に比べてアワノメイガ被害の抑制効果が高く、最も実用であった。ただし、同一薬剤の連用は抵抗性発達のリスクが高まるため、他の剤を含めたローテーション散布を心掛けていただきたい。

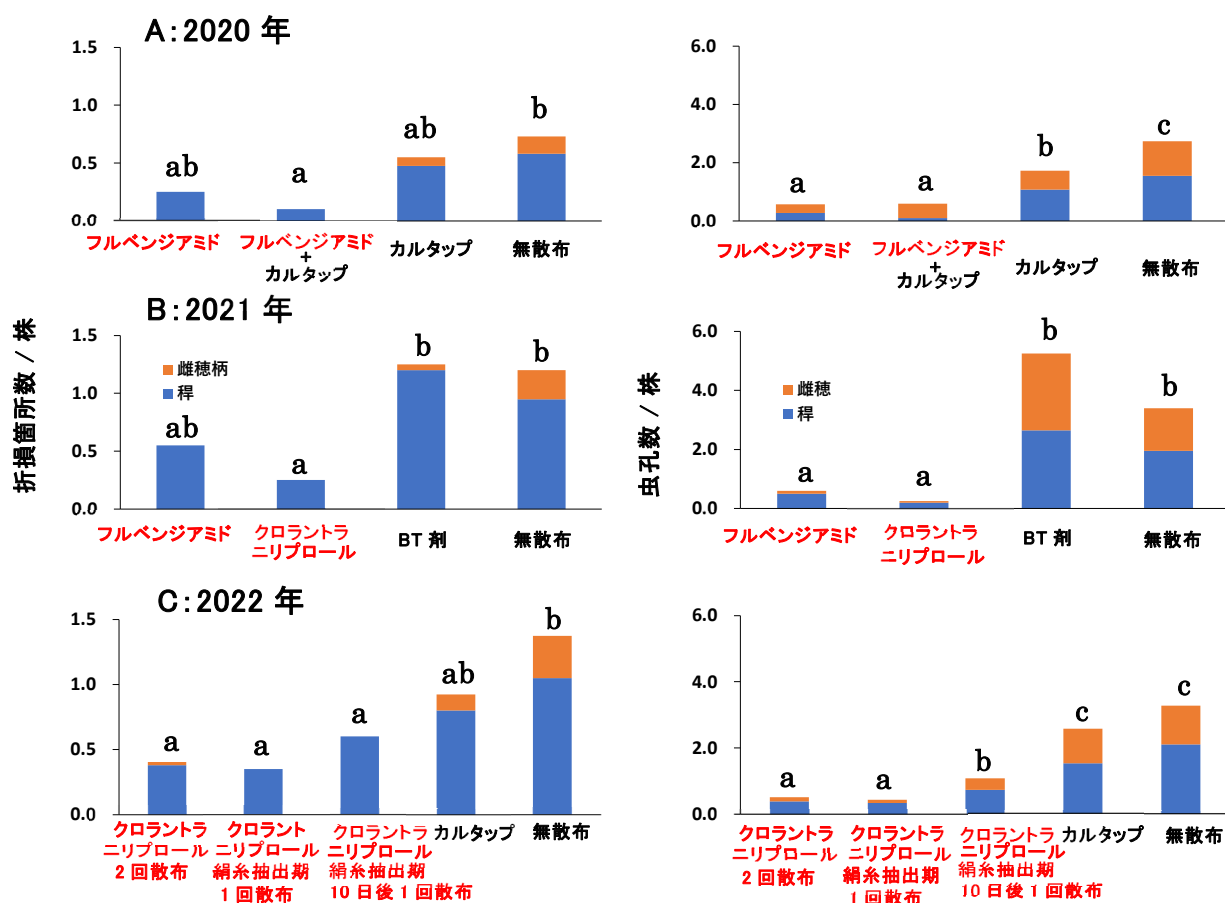


図 3-5-22 薬剤散布による飼料用トウモロコシのアワノメイガに対する被害抑制効果（石島ら 2023 年を改変）

グラフの値は 2 反復の平均値。同一英小文字を付した折損箇所数及び虫孔数の合計値の処理区間には Tukey-Kramer の多重比較検定により 5%水準で有意差がないことを示す。グラフの横軸のうち赤字はジアミド系殺虫剤であることを示す。

<引用文献>

石島力・平江雅宏（2023）飼料用トウモロコシにおけるアワノメイガの発生消長と有効な防除薬剤の探索．植物防疫：539-543.

【コラム】かび毒の迅速簡易分析法

前項で述べた通り、子実トウモロコシの利用にあたっては、収穫や給与時のかび毒濃度に留意する必要がある。正確なかび毒濃度を把握するには、質量分析機器や高速液体クロマトグラフィー等を利用した高度な知識や技術を要する測定方法が欠かせない。

他方、より簡便に濃度測定を行うため、抗原抗体反応を利用したかび毒迅速検査キットが複数開発されており、例えば米国では機関認証を受けた機種を用いた有料検査サービスも確立されている。本コラムでは、米国での機関認証を受け我が国でも現在入手可能な、代表的な 2 機種について紹介する。

○QuickScan イムノクロマトリーダーシステム：EnviroLogix 社（米国）

・ 定量範囲（基本、拡張）

アフラトキシン：2.7–30ppb、30–300ppb（50%エタノール抽出法により 1.5–10ppb）

ゼアラレノン：50–500ppb、250–2000ppb

デオキシニバレノール：0.1–8.0ppm、2.0–30ppm

フモニシン：0.1–10ppm、2.0–100ppm

・ 米国農務省穀物及び包装業者、飼育場検査管理部（USDA/GIPSA）性能認証

・ 手順

粉碎サンプルに専用バッファー液（水と専用パウダーから調製）を入れて抽出、抽出液の上澄みに 4 分間専用ストリップを挿入、その後スキャナシステムで読み込み、かび毒濃度を測定する。トウモロコシ試料では同じ抽出液から 4 種を同時に試験できる。

・ 国内の取り扱い

株式会社プラクティカル（<https://www.practical.jp/>）



写真引用元：株式会社プラクティカル公式 HP

○Charm EZ-M：Charm Sciences 社（米国）

・ 定量範囲

アフラトキシン（ROSA WET-S5）：5–100ppb、50–300ppb

ゼアラレノン（ROSA WET-S5）：50–1000ppb

デオキシニバレノール（ROSA DONQ2）：0.5–5.4ppm、4–30ppm

フモニシン（ROSA WET-S5）：0.5–5.4ppm、4–40ppm、>40ppm（トウモロコシのみ）

- ・ 米国農務省穀物検査局（USDA/FGIS）性能認証

- ・ 手順

粉碎サンプルに専用バッファー液（水と専用パウダーから調製）を入れて抽出、抽出液を遠心分離もしくはフィルターで濾過し、上澄み液もしくは濾液を一定の割合で希釈、装置にテストキットをセットし、希釈液をテストキットへ注入後、かび毒濃度を測定する。

- ・ 国内の取り扱い

フォス・ジャパン株式会社（<https://premium.ipros.jp/foss/>）



現在、農林水産省で設定されている各種かび毒の指導基準値・管理基準値は、表 3-5-6 から 3-5-10 に示す通りである。

筆者らは、今回紹介した 2 機種を用いて国産のトウモロコシ子実サンプルにおけるフモニシンの濃度測定を複数年行った結果、いずれも表 3-5-10 の基準値を超えるかどうかのスクリーニングに十分な精度を有していると考えられた。ただし、生産現場で検査キットを用いた測定において、基準値を大きく超える場合は念のため分析機関へ液体クロマトグラフ質量分析計（LC/MS/MS）等の分析を依頼し、かび毒濃度を再確認することが望ましい。なお、米国農務省穀物検査局による抗原抗体反応を利用したかび毒迅速検査キットの精度評価及び認証済みの検査キットについては、以下を参照されたい。

USDA Agricultural Marketing Service (2023) M Mycotoxin Test Kit Evaluation, <https://www.ams.usda.gov/services/fgis/standardization/tke> [2024 年 7 月 22 日参照]

表3-5-6 飼料中のアフラトキシンB1に関する農林水産省の指導基準

飼料	基準値
搾乳の用に供する牛、めん羊及び山羊に給与される配合飼料	0.01 mg/kg (10 ppb)

表3-5-7 飼料中のアフラトキシンB1に関する農林水産省の管理基準

飼料	基準値
反すう動物（ほ乳期のものを除く。牛、めん羊及び山羊にあつては、搾乳の用に供するものを除く。）豚（ほ乳期のものを除く。）鶏（幼すう及びブロイラー前期のものを除く。）及びうずらに給与される配合飼料及びとうもろこし	0.02 mg/kg (20 ppb)
反すう動物（ほ乳期のものに限る。）豚（ほ乳期のものに限る。）及び鶏（幼すう及びブロイラー前期のものに限る。）に給与される配合飼料	0.01 mg/kg (10 ppb)

表3-5-8 飼料中のゼアラレノンに関する農林水産省の管理基準

飼料	基準値
家畜及び家きんに給与される飼料（配合飼料を除く。）	1 mg/kg (1 ppm)
家畜及び家きんに給与される配合飼料	0.5 mg/kg (500 ppb)

表3-5-9 飼料中のデオキシニバレノールに関する農林水産省の管理基準

飼料	基準値
家畜（反すう動物（ほ乳期のものを除く。）を除く。）及び家きんに給与される飼料	1 mg/kg (1 ppm)
反すう動物（ほ乳期のものを除く。）に給与される配合飼料	3 mg/kg (3 ppm)
反すう動物（ほ乳期のものを除く。）に給与される飼料（配合飼料を除く。）	4 mg/kg (4 ppm)

表3-5-10 飼料中のフモニシン（B₁+B₂+B₃）に関する農林水産省の管理基準

飼料	基準値
家畜及び家きんに給与される配合飼料	4 mg/kg (4 ppm)

資料：株式会社プラクティカル公式 HP
 フォス・ジャパン株式会社公式 HP
 USDA: Mycotoxin Handbook
 農林水産省 HP 「いろいろなかび毒」

【コラム】かび毒汚染防止・低減に向けて
～飼料用トウモロコシ子実のかび毒汚染防止・低減に向けた技術指導について～

飼料用トウモロコシの子実については、栽培段階で害虫等による被害を受けることで、かび毒産生菌が侵入しやすくなる等のリスクが存在することが知られている。このため、農林水産省では飼料用トウモロコシ子実のかび毒汚染防止・低減に向けた技術指導を行う際に、参考とすべき事項を取りまとめているので紹介する（引用元：飼料用とうもろこし子実のかび毒汚染防止・低減に向けた技術指導について（令和 5 年 3 月 23 日付け 4 消安第 7174 号、4 畜産第 2770 号農林水産省消費・安全局農産安全管理課長、畜水産安全管理課長、畜産局飼料課長連名通知、令和 5 年 7 月 5 日改正））。

ア はじめに

近年、国内では飼料用トウモロコシの子実生産が拡大しつつある。トウモロコシ子実の生産は青刈りトウモロコシに比べ、栽培期間が長くなるため、害虫等による被害が顕在化することが多い。

特に、トウモロコシの害虫の一つであるアワノメイガは、東北以南を中心に発生が認められており、幼虫から穂軸の食害を受けると、機械収穫時に雌穂が脱落して収量低下の要因となるほか、食害を受けた子実は、かび毒産生菌が侵入しやすくなることが知られている。

この際、かび毒に汚染された飼料が原因となって、人にとって有害な畜産物が生産され、又は家畜に被害が生ずることのないよう、飼料の安全性の確保及び品質の改善に関する法律（昭和 28 年法律第 35 号）に基づき、飼料の製造、流通等を適切に管理することが求められている。

このため、トウモロコシ子実の生産においては、化学的防除（農薬の散布）及び耕種的防除（収穫後の残渣の撤去又は地中へのすき込み）を組み合わせたアワノメイガ対策等の取組を行うことが重要である。

また、収穫後は、貯蔵中の子実におけるかび毒の汚染を防止するため、速やかに乾燥・サイレージ調製を行うことも重要である。

1 品種の選定

飼料用トウモロコシでは、経験的にかび毒の発生が低い品種があることが知られている。品種の選定に当たっては、地域の気象条件や栽培体系の適性を考慮して選ぶことが基本ではあるが、必要に応じて種苗メーカーから情報を収集し、かび毒に関する情報が得られた場合には品種選定の参考とすること。

2 播種時期の調整

早期に播種するほど、トウモロコシ中のかび毒濃度が低く抑えられることが知られていることから、播種可能時期を迎えたら速やかに播種すること（例えば、田植え後よりは田植え前の播種）を検討する。

3 農薬（殺虫剤）の散布

絹糸抽出期前後にアワノメイガが産卵すると、幼虫による子実等の食害リスクが高くなることから、絹糸抽出期前後に散布する。また、農薬の使用に当たっては、当該農薬のラベルに記載されている、作物名、適用害虫名、希釈倍数、使用時期等の使用基準を守ること。

子実のみ（イアコーンサイレージを含まない）を収穫・利用するために栽培する飼料用トウモロコシに使用可能であって、アワノメイガに登録のある農薬は以下のとおりである（令和6年7月現在）。

農薬の種類※
カルタップ水溶剤
BT 水和剤
クロラントラニリプロール水和剤
エトフェンプロックス乳剤
エトフェンプロックス粉剤
フルベンジアミド水和剤
メタフルミゾン水和剤

※詳細については表 3-5-2 を参照のこと

4 収穫後の速やかな乾燥・サイレージ調製

収穫後、子実水分が高い状態で保管すると腐敗やかび毒の汚染リスクが高くなることから、速やかに乾燥又はサイレージ調製する。

5 収穫後の残渣の撤去又は地中へのすき込み

アワノメイガの幼虫は、トウモロコシ子実を収穫した後の植物残渣で越冬することから、収穫後は圃場から植物残渣を撤去するか地中へのすき込みを行う。

6) 収穫

① 収穫時期

子実トウモロコシの収穫時期は、ミルクラインが子実の基部にまで完全に下がり、ブラックレイヤーと呼ばれる黒い層が基部に確認できるようになる完熟期であり、青刈りトウモロコシの収穫適期とされる黄熟期よりも 2 週間以上遅い収穫となる（図 3-6-1～3-6-3）。絹糸抽出から完熟期に達するまでの期間は品種や播種時期、気象条件により異なるが、完熟期に達した子実乾物率は 70%以上に高まる（図 3-6-4）。

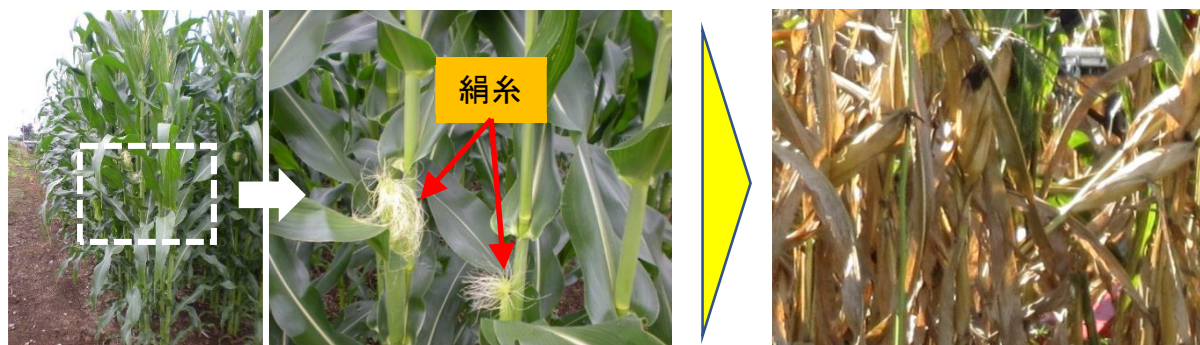


図 3-6-1 抽出した絹糸（けんし、左写真）と完熟期に達したトウモロコシ（右写真）



図 3-6-2 基部に生じたブラックレイヤー

写真左から右へ生育が進むにつれて、はっきり確認できる、
写真提供：サナテックシード株式会社

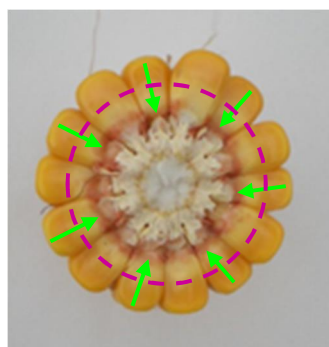


図 3-6-3 子実に現れるミルクライン

ミルクライン（赤い破線）は子実の表面から基部へ向かって移動し、完熟期には基部に達する

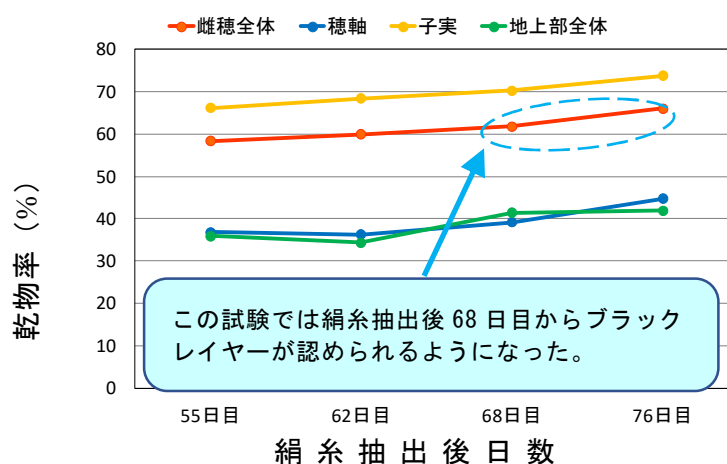


図 3-6-4 黄熟期から完熟期にかけての雌穂、穂軸、子実及び地上部全体の乾物率の変化

2014 年畜草研圃場試験結果、品種「なつむすめ」（晩生品種）、5 月 13 日播種、7 月 31 日絹糸抽出始め。図 3-6-1、3、4 は「平成 27 年度関東地域飼料増産行動会議現地研修会」資料（菅野、2015）より作図

② 収穫機（汎用コンバイン）

子実トウモロコシの収穫には、穀物の収穫に用いられる普通コンバインが利用される。一枚の圃場面積が大きな北海道や東北の一部では、ムギ等の収穫用に導入された外国製の大型の普通コンバインに専用のアタッチメントを装着して利用されることもある（図 3-6-5）。都府県の場合は、比較的小型軽量で水田での走行性に優れ、ダイズやムギなども収穫可能な国産の普通コンバイン（以下、「汎用コンバイン」と呼ぶ）が利用される（図 3-6-6）。これは、水田輪作体系の中で1つの作物として子実トウモロコシが栽培されるためである。なお、日本ではイネ等の収穫用に穂先だけを脱穀部に供給して脱穀を行う自脱コンバインが開発されて広く普及しているが、子実トウモロコシの大きさや形状から自脱コンバインの適用は困難である。



図 3-6-5 外国製の普通コンバイン



図 3-6-6 国産の汎用コンバイン

汎用コンバインは、ヘッダ、搬送部（チェーンコンベヤ等）、脱穀部（こぎ胴、受け網等）、選別部（チャフシーブ、圧送ファン等）、穀粒処理部（穀粒タンク等）、わら処理部、走行部、原動機などで構成される（図 3-6-7）。ヘッダで刈り取られたトウモロコシの収穫部位が搬送部を経て脱穀部に投入され、回転するこぎ胴で機体後方向へ送られる間に脱穀される。脱穀された子実は選別部で揺動選別と風力選別を受けて、くずやごみと分離され、コンベヤ等で送られて穀粒タンクに回収される。トウモロコシの茎葉や穂軸は脱穀部からわら処理部に送られ、チョッパ（オプション）により細断されて、くずやごみとともに拡散装置により圃場へ均一に散布される。

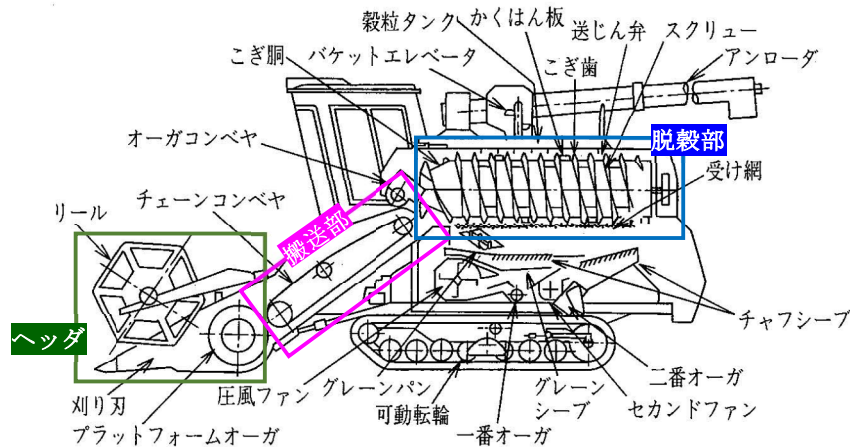


図 3-6-7 国産の汎用コンバインの構造例

「生物生産機械ハンドブック」p614 の図 6.4（農業機械学会編、コロナ社、1996）を転載したものに各構成部を枠で図示

a ヘッド

子実トウモロコシ用の汎用コンバインの刈り取り部には、専用のリールヘッドもしくはコーンヘッドが採用されている（図 3-6-8、3-6-9）。リールヘッドは、トウモロコシを引き込む際に生じる雌穂の落下等による頭部損失を低減することが収穫作業上のポイントとなるため、落下した雌穂を受けられるよう専用のヘッドディバイダが装備されている（図 3-6-10）。リールヘッドでトウモロコシを収穫する場合は、雌穂直下 10cm 程度を狙って収穫する（高刈り）が、茎葉を含む全ての部位を脱穀選別部に送り、分別して子実のみを穀粒タンクへ送る（図 3-6-11）。収穫時期のトウモロコシの茎葉は、子実と比べると水分が高いため、十分に乾燥が進まないと脱穀選別部に水分が付着し選別能力の低下等が懸念される。子実含水率が 25%以下で、作業速度 0.8m/s を限度とした使用が推奨されている。リールヘッドではセカンドモアを装着して低く刈ることができ、必要に応じて残渣の処理を行う。

コーンヘッドは、2 本のローリングカッタの作用により立毛状態のトウモロコシを下方へ引き落とす。雌穂は、ローリングカッタの隙間を通過するときに茎葉から分離される（図 3-6-12）。コーンヘッドでの刈り高は、リールヘッドほどこだわる必要はないが、ローリングカッタへの負荷を考慮すると高刈りがよい。茎葉部をヘッドで除去するため脱穀選別部には主に雌穂が送られ、包皮、穂軸と子実に分けられ子実を穀粒タンクへ送る（図 3-6-13）。茎葉水分の影響が少ないため子実含水率が 30%までであれば、コーンヘッド取扱書での推奨作業速度 1.2m/s の収穫作業が可能であるが、収穫物の反収や水分、圃場形状によって収穫作業速度は調整が必要である。セカンドモアの装着はできないため、高刈りの場合は収穫後に別途作業機での残渣処理が必要である（本章 7 節で解説）。



図 3-6-8 子実トウモロコシ収穫用のリールヘッダ



図 3-6-9 子実トウモロコシ収穫用のコーンヘッダ



図 3-6-10 ヘッドディバイダ

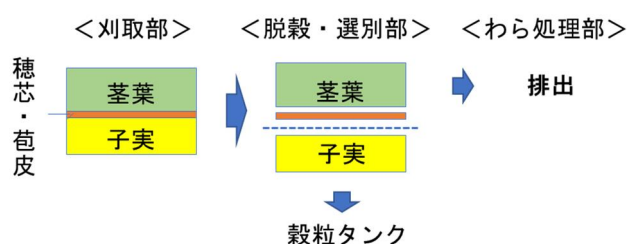
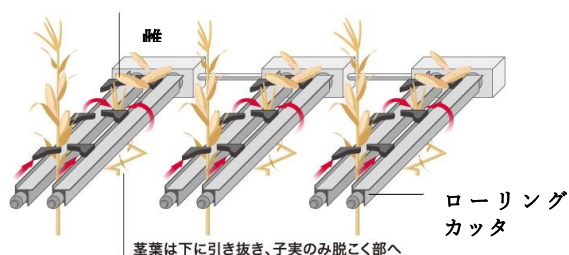


図 3-6-11 リールヘッダ収穫したトウモロコシ部位と流れ



ヤンマーアグリ株式会社 (2022)

図 3-6-12 ローリングカッタ

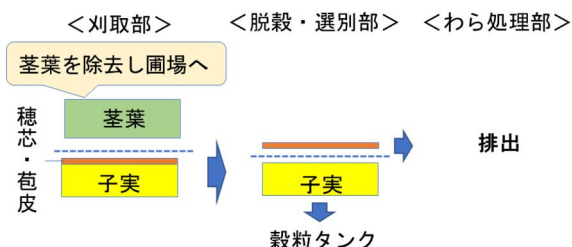


図 3-6-13 コーンヘッダで収穫したトウモロコシ部位と流れ

b 脱穀・選別

汎用コンバインのこぎ胴にはスクリータイプとバータイプがあり、前者はスクリーとこぎ歯の作用で脱穀が行われ、未脱防止のため拡散板が採用されているのに対し（図 3-6-14）、後者はバーロータで作物を叩いて脱穀する方式となっている（図 3-6-15）。いずれも専用の受け網（コンケーブ）に入れ替えたうえでこぎ胴の回転速度をイネ・ムギの場合より低く抑えることや、風力選別の送風量を高めるなど選別条件を変えることなどで子実トウモロコシの脱穀や選別を可能としている。



図 3-6-14 スクリュータイプのこぎ胴
左上写真はスクリューロータに装着されている拡散板



図 3-6-15 バータイプのこぎ胴

c 作業能率・作業精度

子実トウモロコシを収穫する際の作業能率は、収穫作業面積を圃場作業時間で割った値である圃場作業量で比較されることが多く、圃場作業量の値が大きい方が作業能率は高い。圃場作業量は、一工程で収穫できる条数と作業速度に大きく影響され、圃場の規模、形状、走行性によって異なる。ヘッダ部で解説したように、ヘッダの種類によって可能な作業速度が異なっているため、ヘッダ毎の圃場作業量はリールヘッダの場合で 35a/h 程度（白旗ら 2017；宮路ら 2020）、コーンヘッダの場合で 39～49a/h と報告されており（阿部ら 2022）、高い速度で作業可能なコーンヘッダを用いた方が作業能率は向上する（図 3-6-16）。

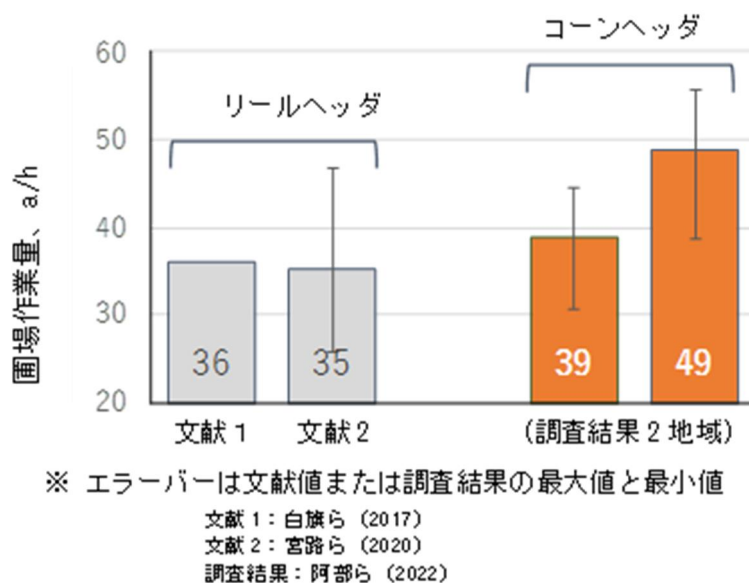


図 3-6-16 ヘッダの種類と圃場作業量

作業精度は、ヘッダ部や収穫時の子実含水率等により影響を受ける。ヘッダのみを交換し、同じ収穫物を同じ汎用コンバインで収穫し、最低速度 0.3m/s としてヘッダ毎の最高速度とその中間速度での頭部損失（子実総量に占めるヘッダで刈り取った際に脱穀選別部へ送られず圃場へ脱落する子実の乾物重量割合）、脱穀選別損失（子実総量に占める夾雑物とともに排塵口から排出した子実の乾物重量割合）、製品夾雑物割合（製品口から排出される子実に含まれる夾雑物の乾物重量割合）を調査した（図 3-6-17）。頭部損失はリールヘッダであること、また、作業速度が遅いほど大きかった。しかし、脱穀選別損失と製品夾雑物割合については、推奨作業速度内で大きな違いはなかった（阿部ら 2022）。全流量は、作業時間あたりに汎用コンバインが処理した脱穀選別量であり、コンバインが排出した製品と排塵を全て回収した合計量を回収時間で割った値である。

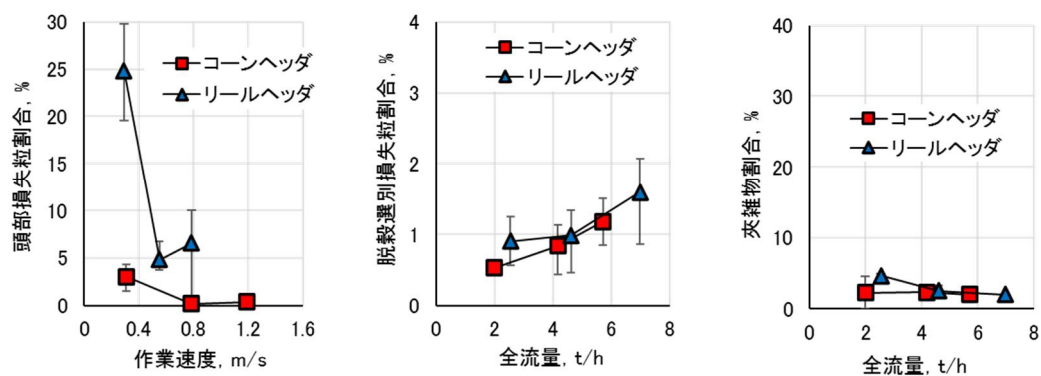


図 3-6-17 ヘッダの違いと作業精度調査

収穫時条件：品種は P1690 で絹糸抽出後 71 日

（茎葉含水率 70.1%、子実含水率 26.5%）

収穫時期をずらした条件で、コーンヘッダを用いて最低速度 0.3m/s と最高速度 1.2m/s とその中間速度 0.8m/s での頭部損失、脱穀選別損失、製品夾雑物割合を調査した（図 3-6-18）。作業速度を高めることで頭部損失は減少し、全流量が多いほど脱穀選別損失は増加、製品夾雑物割合は減少する傾向がみられた。絹糸抽出後日数が 51 日の条件では脱穀選別と夾雑物の混入についての性能は大きく低下した。リールヘッダで収穫できる推奨子実含水率 25%を少し超えていた絹糸抽出後 71 日の収穫作業精度は、その約 10 日前の 60 日の作業精度とほぼ同等であった。このため、コーンヘッダはリールヘッダと比べ 10 日ほど早く収穫作業に取り掛かることが可能と考えられる（阿部ら 2022）。

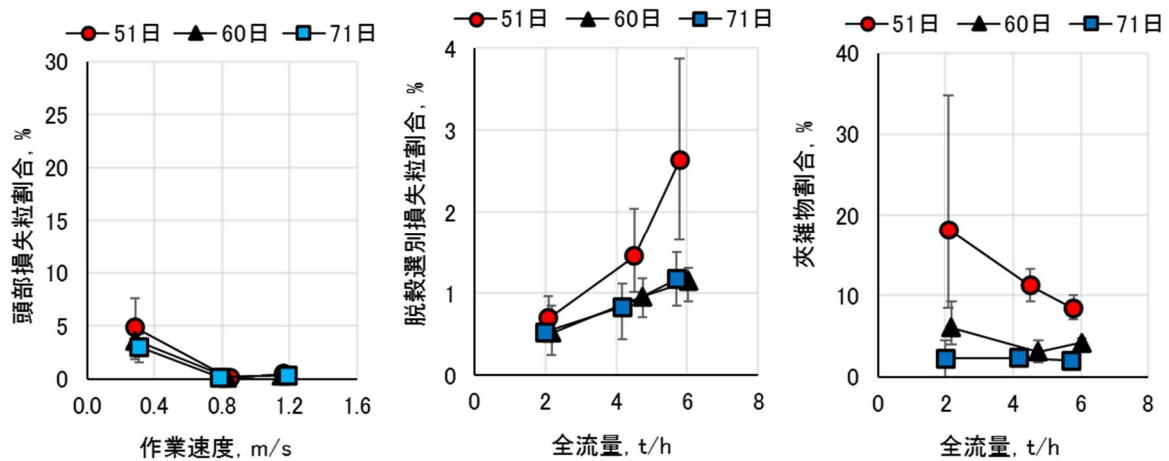


図 3-6-18 絹糸抽出後日数と収穫時の作業精度

表 3-6-1 に現在までに市販されている子実トウモロコシ収穫用の汎用コンバインの主な諸元を各社のカタログを参考にまとめた。2〜3 条刈りを想定して刈幅 2.1m の機種を掲載しているが、A 社、B 社ともに同 2.6m と 3.2m の機種も取り揃えている。子実トウモロコシの収穫には脱穀・選別に要する相応の所要動力が必要であり、いずれの場合も汎用コンバインの中でも 80kW を超える大型の機種が主流だったが、圃場間移動や狭い圃場であっても作業しやすい 50kW 前後の機種も販売されている。

<引用文献>

- 阿部佳之・住田憲俊・松尾守展・小島陽一郎・菅野 勉・赤松佑紀・佐々木梢・吉田信代
(2022) コーンヘッダを装着した国産汎用コンバインによる子実トウモロコシ収穫の作業性能. 農作業研究 57(3) : 145-153
- 宮路広武・篠遠善哉・嶺野英子 (2020) 国産子実用トウモロコシの生産に係る経費と定着に向けた課題. 農業経営研究 58(3) : 9-14
- 農業機械学会編 (1996) 生物生産機械ハンドブック、コロナ社、東京、p614
- 白旗雅樹・石井耕太・吉田邦彦・鈴木 剛 (2017) 専用キットを利用した汎用コンバインによる子実用とうもろこし収穫技術. 北農 84(4) : 25-30
- ヤンマーアグリ株式会社 (2022) ローリングカッターイメージ図. ヤンマーアグリ株式会社、岡山、<https://www.yanmar.com/jp/agri/products/harvest/attachment/cornheader/> [2024 年 7 月 16 日参照]

表 3-6-1 子実トウモロコシ収穫に対応した汎用コンバインの諸元（リールヘッドで刃幅2mクラス（3条刈り）の場合、2024年6月時点）

		A社		B社	C社
		型式D	型式E	型式F	型式G
機体寸法(全長×全幅×全高)	mm	6240×2370×2760	5280×2395×2780	6310×2490×2860	5520×2340×2700
機体質量	kg	4950	3945	5410	3870
総排気量	L	3.053	3.318	3.769	3.331
エンジン					
最大出力/回転速度	kW (PS)/rpm	86.0 (117.0)/2500	50.4 (68.6)/2600	88.3(120)/2600	55.4 (75.3)/2600
燃料タンク容量	L	110	115	120	60
幅×設置長	mm	550×1960	500×1750	500×2160	450×1670
クローラ 中心距離	mm	1235	1135	1400	1105
平均設置圧	kPa (kgf/cm ²)	22.5 (0.23)	22.0 (0.225)	24.7 (0.252)	25.4 (0.26)
変速方式	—	HST 無段変速			
前進の走行速度 (エンジン定格回転速度 時)	m/sec	低速:0~1.00 標準:0~2.00 走行:0~2.81	低速:0~1.00 標準:0~1.55 走行:0~2.09	低速:0~1.08 標準:0~2.03 走行:0~2.80	標準:0~1.60 走行:0~2.60
刈取装置形式	—	リールヘッドまたはコーンヘッド			
刈取部					
刃幅	mm	1976	1975	1980	1970
刈高さ範囲	mm	-100~1000	-50~1000	-60~970	-25~830
形式	—	スクリュータイプ	バートタイプ		
脱穀・選別部					
ロータ長さ	mm	2170	1850	2210	1700
総選別面積	m ²	1.74	1.53	1.92	1.04
タンク容量	L	1900	1550	2300	1300
穀粒処理部					
排出長さ	mm	4300	3600 (排出パイプ長)	4300	4100 (オーガ長さ)
適応作物(子実トウモロコシ以外)		稲・麦・大豆・小豆・ そば	麦・大豆・小豆・そば	稲、麦、大豆、そば	稲・麦・大豆・そば・ ナタネ・はと麦

7) 残茎・残渣処理

コンバイン収穫後の圃場には、刈り高に応じて地表面から30～80cm程度の茎が立ったままの状態に残存する。残存した茎（残茎）は、圃場での次の作業の邪魔になるだけでなく、有機物分解を促進する観点から、後作をすぐに栽培する場合であっても、翌春まで休閑する場合であっても、収穫からあまり時間を空けずにフレールモア等で破碎処理することが望ましい（図3-7-1）。また、破碎された茎葉残渣が強風等で周辺に飛散する事例もあることから、特に近隣に住宅地等がある場合は、破碎後にディスクハローやロータリ等により残渣を速やかに土壌にすき込むことが好ましい（図3-7-2）。

これらの残茎破碎やすき込みは、有機物分解を促進する観点からだけでなく、虫害やかび毒を低減させる観点からも推奨される。子実トウモロコシ栽培における主要な害虫の一種であるアワノメイガは、潜入した茎の内部において幼虫の形態で越冬する。そのため、越冬部位である茎をすき込むことで、翌春の成虫発生を抑制する効果が期待できる。また、かび毒については、前作物の残渣が後作物の赤かび病罹病に影響を及ぼす可能性が指摘されており、前作トウモロコシの残渣が露出している圃場においては赤かび病胞子の飛散量や後作物のかび毒濃度が高まることが報告されている（Dill-

Macky・Jones 2000；竹永 2024）。一方、こうした影響はトウモロコシ残渣をすき込むことによって低減できることが知られている（Dill-Macky・Jones 2000；Leslie ら 2021）。

以上のことから、収穫時期が積雪期直前になるような栽培体系では難しいものの、子実トウモロコシ収穫後には残茎を放置せずに破碎し、残渣をすき込むことが多くの観点から望ましい。



図3-7-1
フレールモアによるトウモロコシ残茎の破碎



図3-7-2
ディスクハローによるトウモロコシ残渣のすき込み

<引用文献>

Dill-Macky R, Jones R (2000) The effect of previous crop residues and tillage on Fusarium head blight of wheat. Plant. Dis. 84: 71–76

Leslie JF, Moretti A, Mesterházy Á, Ameye M, Audenaert K, Singh PK, Richard-Forget F, Chulze SN, Del Ponte EM, Chala A, Battilani P, Logrieco AF (2021) Key global actions for mycotoxin management in wheat and other small grains. Toxins 13: 725.

竹永 遵一 (2024) V 小麦の病害とその予防. 北海道の小麦づくり, 北海道農産協会, 北海道, p107-152

【コラム】空撮画像によるトウモロコシの生育診断

2010年頃から小型無人航空機（UAV, ドローン）が普及し、空撮画像による作物生育の診断が容易となってきた。トウモロコシは草高が3mを超す品種もあり、生育後半に圃場内部の生育状態を把握することは容易ではなかったが、空から圃場全体の生育診断をすることで、栽培管理に役立つ情報を得やすくなっている。

これまで、カラー画像やマルチスペクトル画像から植生の旺盛さや葉内の窒素濃度を診断する手法が開発されている。例えば、代表的な診断指標である正規化植生指数（NDVI）を用いると、生育の良否を診断できる（図 3-8-1）。また、レッドエッジと呼ばれる波長域を利用した Chlorophyll Index などの診断指標から葉内の窒素濃度を診断できるとされる（図 3-8-1）。

また、三次元形状の解析手法である Structure from Motion 解析を用いて、複数の空撮画像からトウモロコシの草高を測量でき（図 3-8-2）、この測量方法のマニュアルが公開されている（石塚ら 2021）。葉色による生育診断手法では天候や撮影時間の違いが葉色の見え方を変え、診断結果に影響を及ぼすが、草高の測量手法では天候や時間の影響を受けにくい長所がある。

ここで、ストレスがない環境下でのトウモロコシの草高の推移を示すと、トウモロコシの草高は播種後からの積算気温に応じて、S 字の曲線を描いて生長する（図 3-8-3）。この特徴を活かし、日々の気温データから健全な場合の草高を予測し、UAV で測定した実際の草高と比較することでトウモロコシの生育を診断できると考えられる（図 3-8-4）。トウモロコシは窒素不足や湿害などで草高が顕著に低くなるが、この診断手法で生育低下が把握しやすくなると期待される。

一方で、草高のみでは生育低下の原因を判断することは容易でない。生育低下の原因を的確に把握するためには葉色や土壌特性の診断を合わせて行うことも必要である。葉色や土壌特性についても UAV を用いた解析手法の開発が進んでいる。今後はこうした技術の総合的な活用により、トウモロコシの生育低下の原因解明が容易になると予想される。

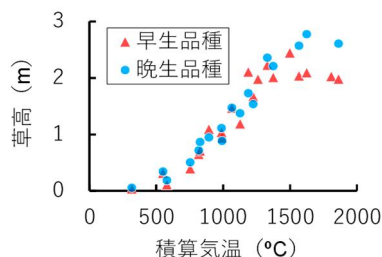


図 3-8-3 トウモロコシの草高と播種後からの積算気温の関係

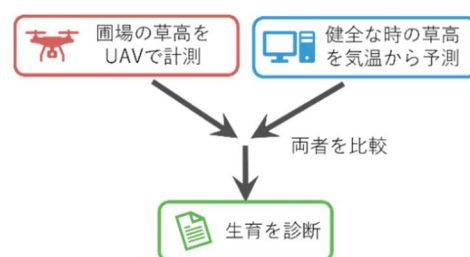


図 3-8-4 草高に基づく生育診断のイメージ図

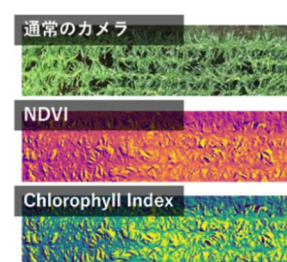


図 3-8-1 植生指数の解析例
NDVI と Chlorophyll Index の画像では生育量の違いを色で表している。

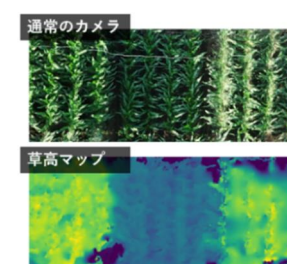


図 3-8-2 草高の解析例
草高マップでは草高の違いを色で表している。

<引用文献>

石塚直樹・岩崎亘典・坂本利弘・森下瑞貴（2021）ドローンを用いたほ場計測マニュアル（不陸(凹凸)編改訂版)+(応用事例編)。国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構農業環境変動研究センター，茨城，https://www.naro.go.jp/publicity_report/publication/files/drone_unevenness_2021.pdf [2024年7月5日参照]

4 章 調製・貯蔵

1) 基本的な考え

コンバインでの収穫適期である含水率 25%程度の子実は、収穫後 1 日も経たずに発熱して品質劣化が始まる。速やかに乾燥調製またはサイレージ調製を行って、有害微生物の活動を抑える必要がある。特にかび毒汚染リスクを抑えるためには、収穫後の迅速な調製が重要であり、収穫作業能率と調製作業能率のバランスを考慮しなければならない。コーンヘッダの導入やコンバインの大型化によって収穫作業能率が向上しており、それに見合った調製作業能率の向上が求められる。

乾燥調製については、含水率 15%未満でかび毒の産生が停止することから（アメリカ穀物協会 2023）、この水分域に素早く到達させることが必要である。汎用穀物乾燥機を利用する場合、乾燥温度を高めに設定することで、子実の乾燥の速度（乾減率）を上げることができる。また、海外製のモバイルドライヤでは、予め高い温度での乾燥が可能な能力の高いバーナが付属しており、十分な乾燥の速度が確保できる。迅速に適切な含水率までに乾燥調製されてこそ、既存の穀物保管施設の活用、広域流通、飼料工場への出荷に対応することができる。

米国では、含水率 24%以上で収穫した子実を、バンカーサイロをはじめ気密タワーサイロやチューブバッグサイロ等でサイレージ調製し、乳牛や肉牛へ給与している（Lardy 2016; Rankin 2009）。また、ヨーロッパでは、養豚場がトウモロコシ畑を持ち、コントラクターによって豚舎脇のバンカーサイロで子実サイレージを調製し、リキッドフィーディングで利用している（川島 2011）。このような事例から、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、日本でも検討する価値がある。そこで、日本版の調製法として、乾燥調製の他、粳米サイレージのようにフレキシブルコンテナバッグ（フレコンバッグ）を用いてサイレージに調製する技術を紹介する。

<引用文献>

アメリカ穀物協会（2023）2023/2024 トウモロコシ収穫時品質報告書, U.S.GRAINS COUNCIL, 東京, https://grainsjp.org/report/c-2023-2024_hrvst-qlty-rpt/ [2024 年 12 月 26 日参照]

川島知之（2011）欧州におけるソフトグレインを活用したリキッドフィーディングによる豚肉生産に関する調査, 平成 22 年度畜産をめぐる国際問題等対応調査支援事業, 公益社団法人畜産技術協会, 東京, p1-52

Lardy G (2016) Harvesting, storing and feeding High-moisture Corn. North Dakota State University Extension Service, North Dakota State University, North Dakota, <https://www.ndsu.edu/agriculture/sites/default/files/2021-05/as1484.pdf> [2024 年 7 月 3 日参照]

Rankin M (2009) High Moisture Corn Harvest and Storage Considerations. The University of Wisconsin-Extension, The University of Wisconsin, Wisconsin, <https://fyi.extension.wisc.edu/grain/files/2009/12/High-Moisture-Corn-Harvest-and-Storage-Considerations.pdf> [2024 年 12 月 26 日参照]

2) 乾燥調製・貯蔵

① 汎用穀物乾燥機の利用

a 循環式乾燥機の概要

循環式乾燥機では、投入された穀物は自動で乾燥機内を循環し、その間に加熱空気による通風乾燥と穀物内の水分を均一化するテンパリングを繰り返す仕組みである。乾燥原理は、加熱空気を穀物に通風させることによるが、遠赤外線による加熱を組み合わせた方式もある。特に収穫されたトウモロコシの子実の乾燥にはコメやムギの他、ダイズやソバの乾燥が可能な汎用乾燥機が用いられている。汎用型乾燥機は、粒の大きさに関係する部分などの交換が必要な部品は容易に交換可能で、主要部分を汎用利用している。現在では、トウモロコシ子実にも対応した汎用乾燥機も市販化されている。

b 内蔵水分計による水分測定

循環式乾燥機には水分計が搭載されており、一定間隔で穀粒の含水率を測定し、設定した仕上水分になると自動的に乾燥が停止するようになっている。筆者らの検討では、トウモロコシ子実に対応した汎用乾燥機に搭載されている水分計の精度は非常に高いと考えられた。しかし、含水率は、乾燥後の製品の取引時の品質確認や保管時のかびの発生防止などの観点から大変重要な品質の項目であるため、乾燥終了前に複数回の含水率測定を行い、正確な水分把握に努めることが望ましい。

c 配穀均平器（均分器）の設定

配穀均平器（均分器）は貯留槽の上部にあり、張込や循環時に穀物が貯留部の中央に集中せず、槽内に均一に堆積させる装置である（図 4-2-1）。槽内に均一に張込むことにより槽内の空間を有効に利用できるため、張込量を確保することができる特徴がある。回転盤によって穀粒を外縁部にも拡散させる装置が回転均分装置である。一方、拡散させずに均分板によって穀物を貯留部の中央部に落下させる方法が落下均分であり、穀物の損傷が小さいのが特徴である。コメやコムギでは一般的に回転均分とするが、ダイズは損傷を少なくするために落下均分によって堆積させる方法が取られることが一般的である。



(a) 落下均分

(b) 回転均分

図 4-2-1 配穀均平器（均分器）の各動作設定の様子

筆者らの検討では、トウモロコシ子実については、回転均分による場合でも損傷粒の増加割合は非常に低かった。トウモロコシは他の穀物よりも収量が非常に多く、大量処理が求められる場合も多いことから、一回あたりの張込量を増やすため、必要に応じて回転均分を選択しても支障はないと考えられる。

d 乾燥機の送風温度の違いと乾燥速度及び燃料消費

乾燥機の設定条件として、送風温度を上げると乾燥時間は短くなり、乾減率（乾燥速度）は増して乾燥時間が短くなることで消費電力量は小さくなる。一方で、送風温度を上げると灯油消費量、つまり、燃料費が増加する。一日の収穫可能量は乾燥機の処理量（張込可能量）に制約されるため、圃場作業の高速作業化が進む中で、乾燥機の処理量を増やすために乾減率を上げる必要性も出てくるが、乾燥経費は収穫物に掛かる経費であることにも留意する必要がある。乾燥機の設定によって、乾燥時間や乾燥経費が変わってくるため、乾燥時間を優先させるのか、あるいは乾燥経費を下げるために燃料消費量の低減を優先するのかなどを検討し、設定の方針を決めることが求められる。

e 環境要因と穀物条件の違いによる乾燥効率

子実トウモロコシの作付拡大によって収穫期間が長くなり、乾燥時期も初秋から晩秋までの時期になるため、時期の違いによって乾燥時の気温や湿度も異なってくる。一方、子実トウモロコシの収穫可能時期の目安は、子実含水率が 30% 以下になった時期であるが、生産現場ではこの水分域を目安に様々な含水率の子実が搬入され、乾燥させることになる。さらに、張込量についても、収穫作業に合わせて子実が搬入されてくるため、乾燥機には満量で乾燥させることが基本であるが、その日の作業計画によって、乾燥機への張込量が少ない状態で乾燥させる場合もある。

表 4-2-1 異なる環境要因と穀物条件によるトウモロコシ子実の乾燥調製試験結果

項目	試験 実施 月日	環境条件		穀物条件		仕上 水分 %	乾減率 %/h	効率		比エネルギー 消費量 MJ/kg
		外気温	湿度	重量	水分			灯油	電力	
		℃	%RH	kg	%			kg/kg	kg/kWh	
case 1	9/11	26.6	77.2	3,500	24.5	13.1	1.5	18.0	24.8	2.7
case 2	9/12	31.0	61.9	3,800	24.5	13.3	1.9	19.3	26.5	2.5
case 3	9/17	27.3	74.7	3,663	24.5	13.3	1.2	15.3	31.1	3.1
case 4	9/29	19.4	69.2	3,900	26.2	13.4	1.2	14.4	18.0	3.4
case 5	9/30	23.0	73.8	2,586	24.1	12.7	1.6	15.4	29.8	3.1
case 6	10/2	22.5	46.6	3,074	23.2	12.1	1.5	13.0	25.4	3.6

注）乾燥機の設定温度と送風量の設定は全て同じ設定である。

表 4-2-1 は、環境要因として外気温と湿度、穀物要因として張込み重量と含水率であり、これらが異なる条件で子実を乾燥させた場合の乾燥時間や燃料及び電力消費量などの違いを調査した結果である。また、灯油効率（灯油 1kg あたり乾燥対象物中からの除水量）を目的変数とし、灯油効率との関係が大きいと想定される要因の中から、環境条件として外気温と湿度の 2 要因、穀物条件として張込み重量と子実含水率の 2 要

因の合計 4 つの要因を説明変数とした重回帰分析を行ったところ、環境条件では外気温、穀物条件では初期含水率が灯油効率に大きく寄与していた。

f まとめ

循環式乾燥機でトウモロコシ子実を乾燥する際のポイントは次のとおりである。

- トウモロコシ子実にも対応した汎用乾燥機は市販化されている。他の穀物と同様、仕上水分まで自動で乾燥でき、搭載されている水分計の精度も高い。
- 配穀均分器は落下均分、回転均分のどちらでも対応できる。回転均分であっても損傷粒の増大に繋がる危険性は低い。
- 乾燥時の設定条件について、送風温度を上げれば乾燥時間は短くできるが、灯油消費量は増大する。また、乾燥経費を下げるために送風温度を下げた場合、乾燥時間が長くなる。利用者側で効率重視か低コスト重視かを判断して乾燥条件を設定することが望ましい。
- 環境要因について、荷受時の子実含水率が低いほど、また、外気温が高いほど、乾燥に必要な灯油消費量を削減することができる。しかし、子実含水率の低下を過度に追い求めることは、刈り遅れによるかび毒の汚染リスクの顕在化、品種選定を含めた作付体系の見直し等に繋がる点に留意する必要がある。

② モバイルドライヤの利用

a モバイルドライヤとは

ここでは、海外製の移動式の穀物乾燥機（モバイルドライヤ）について紹介する。前項で紹介したように、既にトウモロコシ子実に対応した国産汎用穀物乾燥機も販売が開始され、普及が始まっている。一方で、早期から子実トウモロコシ栽培に取り組んでいる事例や、大規模に穀物生産を行っている事例では、トウモロコシ子実にも対応している乾燥機で、高温通風による高速乾燥による大量処理が可能な海外製の移動式乾燥機を導入している場合もある（パイオニアエコサイエンス 2022）。

モバイルドライヤの一例（AGREX 社製 AGD-10）を図 4-2-1 に示す。乾燥槽は、丸穴が開けられた鋼板（パンチングメタル）でできた円筒が 2 重になった構造をしており、内側の円筒の丸穴を通して熱風が外側に吹き出す。その際、2 つの円筒の間に充填された穀物層が通風される。穀物層を通過した熱風は、外側の円筒の丸穴から排出される。外側の円筒は、下部が漏斗（ろうと）状になっており、乾燥槽を通過した穀物は下側から排出される。穀物は、その下にある水平のスクリーオーガ（横送りオーガ）で横送りされ、垂直のスクリーオーガ（エレベータ）で持ち上げられ、乾燥槽の円筒上側に放出され、循環する仕組みとなっている。テンパリング部は設けられておらず、オーガによる搬送中以外、穀物は常に通風されている状態となる。また、熱源のバーナ燃料は軽油である。トラクタからの PTO 軸入力により通風ファン及び内蔵発電機を駆動し、張込用モータや制御系統を動かす仕組みとなっている。

b 乾燥事例の紹介

モバイルドライヤでトウモロコシ子実を乾燥させた試験事例を表 4-2-2 に示す。

乾燥機諸元 (2017/12 英語版カタログより抜粋翻訳)

機体サイズ [m]	L: 8.16、W: 2.5、H: 5.2
乾燥槽容量 [m ³]	10
最大発生熱量 [kW] (kcal/h)	697.3 (600 000)
トウモロコシ乾減率 [%/h]	2～5
トウモロコシ処理量目安 [t/24h] (かさ密度 0.72、水分 30%→14%)	35

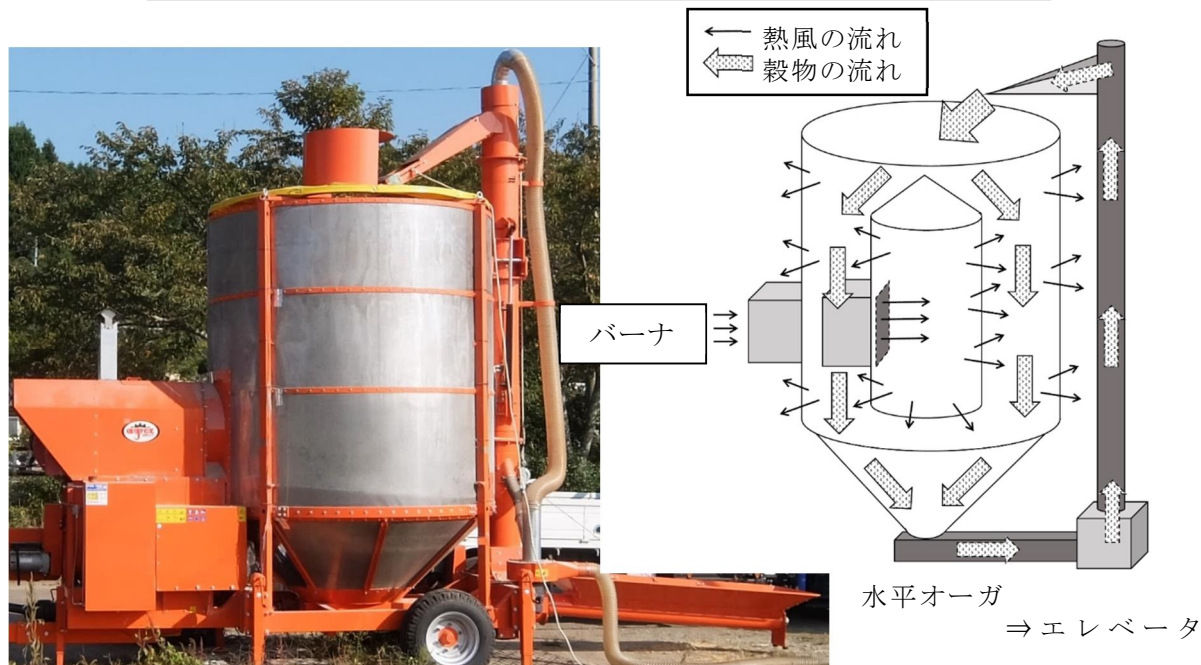


図 4-2-1 モバイルドライヤ (AGREX 社製 AGD-10) の概要

表 4-2-2 乾燥試験の概要

試験番号	容積重*1 [kg/L]、 [lb/bu]	張込量*2 [kg] (充填率 [%])	初期 水分 [%]	仕上 水分 [%]	乾燥 時間 [h]	平均 乾減率 [%/h]	平均 外気温 [°C]	平均 通風 温度*3 [°C]	平均 排気 温度 [°C]	熱源のみ 比エネルギー 消費量*4 [MJ/kg]
I- トラブル無	0.720、 55.9	6151 (85.4)	30.0	15.1	4.1	3.7	26.1	79.0	34.8	3.5
II- トラブル無	0.746、 57.8	5982 (80.2)	28.4	13.4	4.4	3.4	17.5	88.6	39.4	2.9
III- 吹抜け	0.747、 58.0	4168 (55.8)	27.8	13.9	4.0	3.6	30.6	82.2	40.2	5.6
IV- 設定ミス	未計測	6077 (-)	31.2	14.7	6.3	2.6	25.9	76.4	33.8	4.7
V-バーナ 故障	0.691 54.0	5326 (77.1)	27.8	13.3	5.0	2.9	18.2	88.6	35.0	6.6

*1 容積重は乾燥後に測定した。また、米国産が国内で多く流通していることを踏まえて、US グレード規格の単位である [lb/bu] (ポンド / ブッシェル) を併記した。

*2 張込量は子実含水率 15% 換算とした。

*3 熱風路内での温度分布を考慮すると、測定点数は 1～2 点と少ない点数であったことに留意。

*4 除水量 1 kg あたり消費熱量を「比エネルギー消費量」(戸次 1999) とした。

試験番号 I 及び II については問題なく乾燥作業を行えた事例、同 III～V は乾燥作業に何らかの問題があった事例である。表 4-2-2 では比エネルギー消費量（除水量あたり消費熱量）として通風空気の加熱用バーナの燃料について算定しており、PTO 動力の入力に要するエネルギーについては加算していない。トラクタによる違いがあること、発電所にて発電される商用電源からの電源供給と同等に比較することが困難であることが理由である。なお、乾燥機に PTO 動力を供給するトラクタ燃料を加算した場合、I：5.4MJ/kg である。

試験番号 III については、張込量が少なく充填率 55.8% で、通風空気が穀物を通過しないで外部に排出される吹抜けが発生した。そのため、試験番号 I、II と比較して、除水量 1 kg あたりの消費エネルギーである比エネルギー消費量が、I:3.5 MJ/kg、II:2.9 MJ/kg と比較して、III:5.6 MJ/kg と高い値となった。本方式の乾燥機では、通風空気が発生する中央の円筒が隠れるまで穀物を張り込まないと吹き抜けが発生してしまう。本機では必要な張込量は満量の 8 割程度が目安であるため、吹き抜けが発生した。また、乾燥初期には問題無くても、穀物が乾燥するに従って収縮することで、乾燥工程の後期には張込時より子実の体積が少なくなり、吹き抜けが発生してしまうこともあるため、注意が必要である。

試験番号 IV については、設定ミスで乾燥途中でバーナ停止が発生してしまったことにより、乾燥時間が 6.3h と I:4.1 h、II:4.4 h と比較して長くなり、平均乾減率も 2.6%/h と I:3.7 %/h、II:3.4 %/h と比較して低く、比エネルギー消費量も 4.7MJ/kg と高い値となった。設定ミスによるバーナ停止の内容であるが、筆者の理解不足で、バーナを緊急停止するための設定温度が低すぎたため、バーナが安定運転すると停止してしまうという事案で、試験中 3 回発生した。トウモロコシ子実の乾燥温度は、国産の穀物乾燥機と比較して高めであること、また、外国製乾燥機の設定項目は国産乾燥機と異なることから、マニュアルを十分に確認する必要がある。なお、トウモロコシ子実の乾燥温度について、主要産地であるアメリカ合衆国イリノイ州ネイブルズの乾燥施設での筆者らの聞き取り調査（篠遠ら 2018 にて一部発表）によると、「穀温 60℃を上限として制御しており、通風温度は 120℃くらいのこともある」とのことで、本機での乾燥事例の 75～90℃は、特段の高温というわけではない。また、実際に栄養価による比較評価を行った結果でも、40℃以下の乾燥と 60～80℃乾燥温度による違いは認められていない（篠遠ら 2020、2021）。

試験番号 V については、本機にはメインとサブの 2 機のバーナがあるが、運転時に気付かずに、メインのバーナが故障した状態で乾燥機を運転した事例である。乾減率については遜色のないものの、比エネルギー消費量が I:3.5 MJ/kg、II:2.9 MJ/kg と比較して、V:6.6 MJ/kg と高い値となった。国産機と比較して、警告ランプも最低限であり、稼働状況を把握するためにバーナや循環状況など直接機械を見て確認する必要がある項目も多いため、注意が必要である。

c 品質評価

トウモロコシ子実について現状で国内の品質評価基準は無いため、ここでは国内に多く流通している米国産トウモロコシの評価基準である US ナンバーによる評価を行

った結果を紹介する。US ナンバーの品質評価方法については、5 章にて解説する。US ナンバーの評価方法に準じて評価した結果を表 4-2-3 に示す。なお、正式な US ナンバーは、資格のある検査官が判定する必要があるため、本測定値は参考値とされたい。

表 4-2-3 トウモロコシ子実品質評価

試験番号	容積重 [lb/Bu]	熱損傷粒 割合 [%]	総損傷粒 割合 [%]	破碎・異種穀粒 割合 [%]
US ナンバー No.3 基準値	52.0 (=0.669 [kg/L])	0.5	7.0	4.0
I	55.9	0.0	0.3	2.4
II	57.8	0.0	1.4	2.5
III	58.0	0.0	1.6	0.9
IV	未計測	0.0	0.7	1.8
V	54.0	0.0	4.4	1.8

まず、通風温度が国産機に比べて高いため、最も懸念された熱損傷については、平均通風温度 79.0～88.6 ℃以上と国産循環式乾燥機に比較して高い温度で通風を行ったものの、基準で示されるような変色した粒は認められなかった。しかしながら、試験番号 III の事例では、乾燥作業後の乾燥機の掃除の際に、熱損傷が発生した子実が熱風路付近の循環経路から外れた部分に見つかった。あふれ出て滞留したものと考えられるが、このような熱損傷が発生した子実が製品に混入すると品質の低下につながるため、乾燥作業後の掃除の際に留意する必要がある。



図 4-2-2 熱損傷粒が発生している部分

総損傷粒割合について、基準値 7.0 %に対して 0.3～4.4 %の範囲であり、いずれの試験番号も基準値を下回った。本評価項目は、主にアワノメイガなどによる虫害やかびによる変色などを評価するもので、本結果では栽培管理条件について大きな問題はなかったと考えられる。

砕粒・異種穀粒について、0.9～2.5 %の範囲であった。国産トウモロコシでは、海

外の主要産地に比較して高水分条件で収穫されることが多いほか、高効率作業を目指して乾減率を高く設定することがある。その際、イネの胴割（小林ら 1976）と同じく、乾燥工程で穀粒内の急激な水分変化で、水分の不均一が発生し、歪みによるひび割れ発生が起こりやすいと予想され、また、初期水分が高いほうがひび割れ（Stress Cracks）が多い傾向があるとの既報（Thompson and Foster 1963）もあり、懸念される項目であるが、ここでは、U.S.No.3 の品質基準 4.0%以下で基準を満たしていた。

d 利用上の留意事項

1 機種での試験事例ではあるが、本事例に基づき、熱効率を保ち、製品品質を確保するためのモバイルドライヤ利用上の留意事項として、以下の点が挙げられる。

- ・通風空気が吹き抜けないように、十分な張込量を確保すること、
- ・80℃程度の高湿通風であっても、穀粒が循環していれば熱損傷は発生しないが、熱風路付近での滞留により発生した熱損傷粒が製品に混入しないように、乾燥作業後の掃除などで留意する必要がある。
- ・乾燥時にひび割れ（Stress Cracks）が発生しやすい懸念があるため、不必要な高温高速乾燥は避ける。

その他、モバイルドライヤは、車輪がついており、その名称のとおり機構的にはけん引移動が可能であるが、国内法規に照らした場合、公道を走行できない場面が大半と考えられる。トラクタでのけん引により、やむなく道路を走行させる必要がある場合、農林水産省のウェブサイト「作業機付きトラクタの公道走行について」等の情報を参考に、道路走行の是非、必要に手続き等をご自身で確認していただきたい。

<引用文献>

金井源太・篠遠善哉・山下善道（2018）トウモロコシ子実の循環式乾燥機による乾燥試行および市販水分計による水分測定，農業施設，49(2)，86-92.

小林一・三輪精博・松田良一(1976) 粳乾燥中における玄米の乾燥歪と胴割に関する研究(第2報)，農業機械学会誌，38(3)，367-377.

農林水産省（2021）作業機付きトラクターの公道走行について，

https://www.maff.go.jp/j/seisan/sien/sizai/s_kikaika/kodosoko.html#1guide

〔2024年12月26日参照〕

パイオニアエコサイエンス(2022) 栽培事例紹介，<https://corngrain.pioneer.co.jp/news/case/> 〔2025年1月31日参照〕

篠遠善哉・宮路広武・金井源太（2018）アメリカの子実用トウモロコシに関する調査，畜産の研究，72(7)，521-528.

篠遠善哉・金井源太・芦原茜(2021) 国産トウモロコシ子実の乾燥温度および貯蔵条件がトウモロコシの栄養価に及ぼす影響，食肉に関する助成研究調査成果報告書，39，434-439.

篠遠善哉・金井源太・嶺野英子・芦原茜(2022) 国産子実用トウモロコシの乾燥温度および貯蔵条件がトウモロコシの栄養価に及ぼす影響(Ⅱ)，食肉に関する助成研究調

査成果報告書, 40, 372-377.

戸次英二(1999) 穀物水分 1 kg の乾減に要するエネルギー量, 農業施設, 30(2), 193-203.

Thompson, R.A.and Foster, G.H.(1963) : Stress cracks and breakage in artificially dried corn, USDA Marketing research report No.631, 5-24.

U.S. Grains Council(2022)試験分析法, 2022/2023 トウモロコシ収穫時品質報告書, 80-81 , https://grainsjp.org/cms/wp-content/uploads/dlm_uploads/2022-2023-CornHarvestReport-Full-Report-J.pdf [2024 年 12 月 26 日参照]

3) サイレージ調製・貯蔵

① サイレージ化の影響

子実サイレージは、畜種（鶏、豚、牛）に関わらず嗜好性が高いことが確認されている。きちんと密封されて調製された子実サイレージは、原料子実と飼料成分含量がほとんど変わらず、貯蔵によるロスが極めて少ない（表 4-3-1）。このため、給与飼料全体の成分含量に影響を及ぼさずに乾燥子実を子実サイレージで代替できる。

表 4-3-1 子実サイレージの原料とサイレージ化後の飼料成分含量（大下ら 2016 を改変）

	乾物率 (%)	粗蛋白質	粗脂肪	粗灰分	aNDFom	ADFom	デンプン
		(乾物中%)					
原料子実	73.6	8.9	5.3	1.3	9.2	3.6	67.6
子実サイレージ	72.7	9.0	4.8	1.5	12.8	3.5	67.7
有意性	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

NS：有意差なし

一方、サイレージ貯蔵過程でデンプンを取り囲む疎水性タンパク質が分解していくため（Hoffman ら 2011）、子実サイレージはデンプン分解率が高まることが知られている。加工法が異なるトウモロコシの牛の第一胃内でのデンプン分解率を比較すると、子実サイレージ 89.5%（89～90%）、蒸気圧ぺん 84.5%（79～94%）、乾式圧ぺん 79%（61～93%）の順に高い傾向であることが報告されている（大成 2013）。乳牛において、給与飼料に圧ぺんトウモロコシが乾物比で 20%含まれる場合、それを子実サイレージで置き換えると、デンプンや粗蛋白質の消化率が高まり、体蓄積窒素量の減少が抑えられて窒素利用効率が改善する（表 4-3-2）。よって、牛に対する子実サイレージ給与では、給与飼料中の乾物比 20%程度ならば利点が認められ、市販の圧ぺんトウモロコシ等を問題なく子実サイレージで代替することができる。

表 4-3-2 トウモロコシ子実を乾物比 20%含む乳牛用混合飼料の消化率、栄養価及び窒素利用性（多田ら 2019 を改変）

	乾物 (消化率%)	粗蛋白質	粗脂肪	aNDFom	aADFom	デンプン	TDN (乾物中%)	体蓄積窒素 (g/日)
乾燥子実(圧ぺん)区	65.4	58.3	64.3	59.7	59.7	89.3	67.3	-32.6
破碎子実サイレージ区	67.5	62.2	62.1	58.2	57.7	92.8	69.0	-3.1
有意性(p値)	NS	<0.05	NS	NS	NS	0.055	NS	<0.01

NS: 有意差なし

<引用文献>

Hoffman PC, Esser NM, Shaver RD, Coblenz WK, Scott MP, Bodnar AL, Schmidt

- RJ, Charley RC (2011) Influence of ensiling time and inoculation on alteration of the starch-protein matrix in high-moisture corn. J. Dairy Sci.94:2465-2474
- 大下友子・根本英子・青木康浩・上田靖子・青木真理 (2016) ハイモイスターシェルドコーンとイアコーンサイレージの飼料成分組成、栄養価および圃場収量の比較. 日草誌 62(3): 140-145
- 多田慎吾・青木康浩・上田靖子・青木真理・宮地 慎 (2019) ハイモイスターシェルドコーンの給与が泌乳牛の消化率, 窒素出納, 飼養成績および血液性状に及ぼす影響. 日草誌 64 (4): 225-231
- 大成 清 (2013) 肉牛飼育におけるデンプン問題(2). 畜産の研究 67(11):1113-1116

② フレコン内袋法

フレコン内袋法とは、ポリエチレン製等の内袋を入れたフレキシブルコンテナバッグ（以下、フレコンバッグ）を用いて子実トウモロコシ等の飼料作物を迅速・省力的に調製貯蔵する方法である。ここでは主に、ベールラップやベールグラブなど畜産向けの装備を持たない水田農家が子実トウモロコシを収穫し、簡易に貯蔵する方法について説明する。

汎用コンバインで収穫した子実は、ポリエチレン製の内袋を入れたフレコンバッグに密封し、空気を遮断することで（図 4-3-1）、乳酸菌による乳酸発酵を促し、無乾燥のまま通年貯蔵が可能となる。乳酸発酵を促進するためには子実含水率は 25～35%程度が望ましく、子実トウモロコシの収穫は機械収穫が可能となる子実含水率 30%以下で行うとよい。熟期が進み含水率が低い子実であっても、内袋の中を酸素の無い嫌気状態に保てれば通年貯蔵が可能である。子実の詰め込み作業時にヘテロ発酵型乳酸菌製剤を添加することで、天面部の酵母の生育抑制や開封後の好気的変敗の遅延効果が期待できる（図 4-3-2）。



図 4-3-1 トウモロコシ子実の詰め込み作業

圃場内でコンバインから直接内袋を入れたフレコンバッグへ詰め込んで調製することも可能。



図 4-3-2 貯蔵 10 ヶ月後のトウモロコシ子実

天面部の白色部は酵母の増殖による。酵母が気になる場合は市販乳酸菌製剤の添加を検討する。

詰め込み後は内袋の中の空気を出来るだけ排除しつつ内袋の口をねじり、手縛り、もしくは結束バンド等により密封する（図 4-3-3）。子実を詰め込んだ後の数日間は、微生物等の活動から生じるガスにより内袋が膨張することがある（図 4-3-4）。その場合は内袋の破損を防ぐために一度開封してガスを逃し、再び内袋を密封する。ガス抜き作業の効率化や内袋の膨張による荷崩れ防止のために、フレコンバッグの段積み貯蔵は避ける。

内袋の損傷（擦れによるピンホールの発生等）はかび等の繁殖による腐敗につながるため、詰め込み作業や運搬作業、貯蔵中の取り扱いに注意する。フレコン内袋法を用いた粳米サイレージの調製では、強度や取り扱い性の点から厚さ 0.08mm のポリエチレン内袋 1 枚を使用することが推奨されており、トウモロコシ子実についてもこれを準用する。1,000L 容量のフレコンバッグでは、完熟期に達した含水率 30% 程度の子実を詰め込むと重量が 700kg 程度になるが、フレコンバッグと内袋の組み合わせで荷重に耐えつつ密封を維持できる。



図 4-3-3 詰め込み後の内袋密封作業
空気は出来るだけ排除しつつ、素早く密封する。内袋に傷をつけないよう慎重に作業する。



図 4-3-4 発生したガスにより膨張した内袋
発生したガスにより内袋の損傷が懸念される場合は、内袋の結束部をほどいてガス抜きを行う。

トウモロコシ子実を詰め込んだフレコンバッグを屋外で貯蔵する場合は、耐候性フレコンバッグ（図 4-3-5）を使用する。耐候性フレコンバッグは通常フレコンバッグの 2 倍程度の価格となるが、子実の飼料品質を維持し、劣化したフレコンバッグのハンドリング不能によるロスを避けることができる。なお、耐候性ではない通常フレコンバッグを秋から屋外で通年暴露した試験では、遮光率 80% 以上の遮光ネットを被せた場合でも 6 ヶ月経過後には強度が半減した（図 4-3-6）。そのため、通常フレコンバッグを屋外で使用する場合は、遮光ネット等で覆うなどの対策を取ったうえで、一時的な使用（3 ヶ月以内）に留める。



図 4-3-5 耐候性フレコンバッグ
屋外で長期間貯蔵する場合は、耐候性フレコンバッグを使用する。

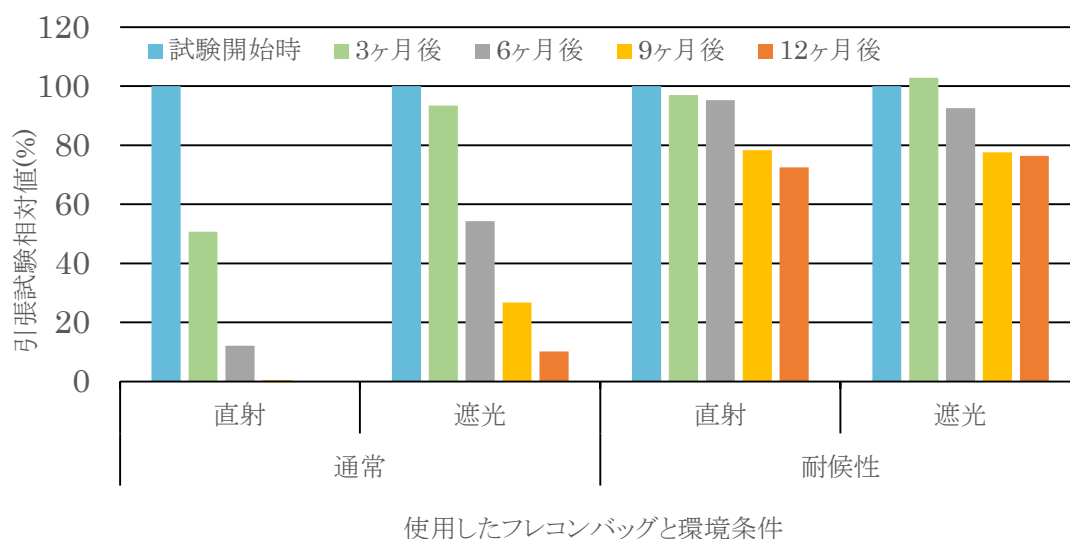


図 4-3-6 屋外で管理したフレコンバッグの引張試験

未使用時のフレコンバッグの最大引張力を 100 とし、時間経過したフレコンバッグの最大引張力を割合として数値化した。「遮光」条件は遮光率 80%のネットで覆った環境下で定置したもの。2023 年 10 月から試験を開始。なお、「直射」条件で 12 ヶ月間定置した通常のフレコンバッグは破損が激しく、試験に供していない。

屋外貯蔵中にカラスやネズミ等による鳥獣害が懸念される場合は、鳥害対策として防鳥ネットやカラス除けテグスを設置し、ネズミ害対策としてフレコンバッグを密集させずに間隔を空けて配置し、天敵からネズミが隠れやすい場所を作らないようにするなどの対策が重要となるが、これらの対策については「稲発酵粗飼料貯蔵中のネズミ対策マニュアル（農研機構東北農業研究センター 2009）」が参考になる。



図 4-3-7 ネズミによる内袋の破損

矢印下に穴が開いており、貯蔵したトウモロコシ子実が茶色く腐敗している。

本項では、子実トウモロコシの収穫と同時に子実をフレコンバッグ内袋に詰め込むことを想定したが、コントラクターや TMR センターなど収穫作業後に本章 4 節で説明するように子実を破砕あるいは粉碎作業をしたのち密封調製できれば、無破砕の場合よりも乳酸発酵が進むと報告されている（神園・嶺野 2021）。また、掃除機を使って内袋内の空気を脱気した場合、内袋内が乳酸菌の増殖に有利な嫌気状態に迅速に遷移することができる。加えて、金属製のワイヤーやクリップを空気圧により結紮する空気圧式クリップの利用により内袋密封に要する労力と時間を節約できる。これらの施設内作業の要点については、粳米サイレージ調製技術に関する文献が参考になる（浦川ら 2015；遠野ら 2018）。

本項で説明したいずれの場合であっても、適切に密封が保たれた子実サイレージは、長期貯蔵後にもかびや酪酸は検出されず、良質な飼料として用いることが可能である。しかしながら、好気的変敗を避けるために開封後は可能な限り早く使い切ることが望ましい。

<引用文献>

神園巴美・嶺野英子（2021）耕畜連携を目指した国産トウモロコシ子実の高品質サイレージ化に向けた調製条件の探索. 令和 2 年度食肉に関する助成研究調査報告書 39: 411-4153

農研機構東北農業研究センター（2009）稲発酵粗飼料貯蔵中のネズミ対策マニュアル，農研機構東北農業研究センター，岩手，p1-6

遠野雅徳・川出哲生・井上秀彦（2018）高品質な粳米サイレージの調製と給与を目指して～成功のためのヒント その 1～. 牧草と園芸 66（4）5-9

浦川修司・井上秀彦・齋野 弘・石山 徹（2015）既存の穀物用施設を活用した粳米サイレージ調製技術マニュアル<第 2 版>. 浦川修司・伊吹俊彦（編），農研機構畜産草地研究所，栃木，p1-12

③ フレコンラップ法

フレコンラップ法とはロールベールラップサイレージ技術を応用して、トウモロコシ子実などの穀実を迅速・省力的に貯蔵する方法である。

コンバインで収穫した子実を内袋の無いフレキシブルコンテナバッグ（以下「フレコン」と略す）に入れて、簡易結束後、ベールラップで密封することで空気を遮断してサイレージ化する（図 4-3-8）。フレコンラップ法ではラッピングにより気密性を高めるため、脱気処理の必要がなく、また、発酵ガスもラッピングフィルムを通して排出されるため、従来法で行われていた再脱気の必要もない。ラッピングフィルムは紫外線耐性があるため、長期の屋外貯蔵が可能であるが、第 4 章 3) -②フレコン内袋法の場合と同様ネズミやカラス等の鳥獣害対策は必要である。また、トウモロコシ子実サイレージを家畜に給与する際に必要な破碎作業については、ラッピング前にハンマーミル（ミリングマシン U500T、タカキタ、名張）（図 4-3-9）のような大型破碎機で迅速に粉碎するか、給与時にロールミル（飼料用米破碎機 DHC-4010M、デリカ、松本）（図 4-3-10）のような破碎機で粉碎するか、各経営体の調製規模や現有機器に合わせて選択する。

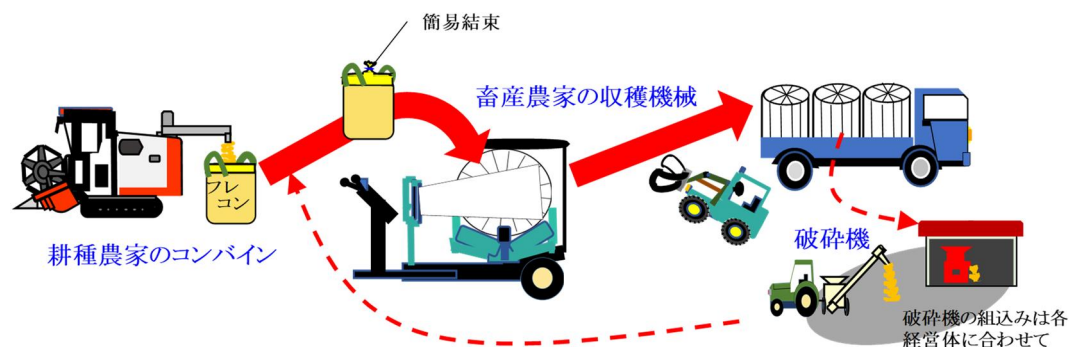


図 4-3-8 フレコンラップ法の概要



図 4-3-9 ハンマーミル
（ミリングマシン U500I、（株）タカキタ）



図 4-3-10 ロールミル
（飼料用米破碎機 DHC-4010M、（株）デリカ）

＜フレコンラップ法の必要資材と機械＞

フレコンラップ法に必要な資材はフレコン（再利用は不可）、結束バンド、手動結束機、ラッピングフィルムである。

使用可能なフレコンは 40L 容のガラ袋から 100L、500L、1,000L 容のフレコンまで、各経営体の規模に合わせて選択する（図 4-3-11）。なお、フレコン直径とベールラップの適応ベール寸法を合わせることが重要である。手動結束機はラップ時に結束バンドがフレコン口から抜けるのを防ぐため、結束強度が 30kg 程度のものを用いる（図 4-3-12）。なお、ラップによって密封を実施するため、フレコン内袋は不要である。



図 4-3-11 各種フレコンバッグ



図 4-3-12 必要資材

フレコンラップ法を行うために必要な機械はパレットフォーク付きフロントローダ、グラブ付きフロントローダ、ベールラップである（図 4-3-13）。各種フレコンに対応するベールラップは表 4-3-3 のとおりである。



パレットフォーク付き
フロントローダ



グラブ付き
フロントローダ



ベールラップ

図 4-3-13 必要機器

表 4-3-3 使用フレコンと対応ベールラッパ

対応ベールラッパ	
40Lまたは100L容(直径50cm×高さ50cm)	ロール直径50cm(例:タカキタWM-510)
500L容(直径90×高さ80cm)	ロール直径90cm(例:稲WCS用)
1000L容(直径110cm×高さ108cm)	ロール直径110cm(例:牧草ロールベール用)

<フレコンラップ法の工程と必要人員(図 4-3-14)>

- ①収穫機で収穫した子実をフレコンに投入する。破碎トウモロコシ子実サイレージを調製する場合は、この段階で大型破碎機を用いて破碎をする。
- ②フレコンに子実を満杯に詰めた後、パレットフォーク付きフロントローダでフレコンを吊り出す。この吊り出し操作によりフレコン内の子実の密度が上がり、後のグラブ付きフロントローダでの運搬が容易になる。
- ③手動結束機と結束用ビニール帯でフレコンの口を結束する。このときフレコン上部の投入口部分にたるみができないようにすることがポイントである。なお、フレコンの吊りベルト(2本)はラッピングの際に機械等に引っかからないように、簡単に縛っておく。
- ④グラブ付きフロントローダで結束済みフレコンを掴み、ベールラッパのターンテーブルに乗せ、ラッピングを行う。

フレコンの生地は滑りやすいため、使用するグラブはフレコン直径にあったものを用い、図 4-3-15 のように素早くかつ慎重にフレコンを倒して運搬する。



①詰め込み



②吊り出し



③結束



④フレコン運搬とラップ

図 4-3-14 無破碎穀実のフレコンラップ法の工程



図 4-3-15 フレコン及びフレコンラップの掴み方

ラップは牧草ロールと同様にラップフィルムを半分ずつ重ねて巻き、6層となるようにする。フレコンラップは牧草ロールのように整った円柱状の形にはならないが、発酵品質に影響はない。この様にして調製されたフレコンラップの重量は、トウモロコシ子実サイレージでは500L容フレコンの場合380kg程度、1,000L容フレコンの場合730kg程度となる。

また、フレコンラップ法の必要人員は破碎工程がなければ3人である。大型破碎機とフレコンラップ法（1,000L容フレコン使用）を用いて、破碎トウモロコシ子実サイレージを調製した場合、1時間あたり5～7tのサイレージを調製できる。

* 詳細については農研機構東北農業研究センター作成の以下の資料に掲載している。

- ・ 技術紹介 DVD「フレコンラップ法」
- ・ YouTube 版動画「フレコンラップ法」(<https://youtu.be/0n2NlqsUrao>)
- ・ 「フレコンラップ法活用マニュアル」

(https://www.naro.go.jp/publicity_report/publication/pamphlet/tech-pamph/130163.html)

4) 粉碎・蒸気加熱加工

トウモロコシ子実の調製・貯蔵が乾燥の場合であってもサイレージの場合であっても、子実を粉碎加工することで丸粒のままよりも家畜の消化性が高まる。さらに、蒸気圧ぺん加工や蒸気加熱フレーク加工など加熱加工することで糊化度が高まり、子実の栄養価を最大に引き出すことができる。

① 粉碎加工

トウモロコシ子実の粉碎加工には、他の穀物と同様にハンマーミルやロールミル、ディスクミルなどの粉碎機が利用される（農業食料工学会 2020）。多くの場合は乾いた子実の加工に利用されるため、本章の 3 節 2 項のフレコン内袋法や 3 項のフレコンラップ法のように高水分で収穫された子実や無乾燥のまま調製貯蔵された子実を粉碎あるいは破砕する場合には、当初計画に対して十分な処理能力や精度が得られることを確認してから機種を選定する必要がある。

ハンマーミルは、高速回転するハンマーやケーシング内に固定された衝撃板によって子実に衝撃を与えて粉碎する仕組みであり、粉碎物の出口側にスクリーンなどを設置して粒度の調整ができる（図 4-4-1）。



図 4-4-1 ハンマーミルによるトウモロコシ子実の粉碎

動力源をトラクタ（PTO 軸出力の実測値で平均 27kW）とする写真のハンマーミル（タカキタ社製ミリングマシン U500T）では、含水率 30%前後の高水分子実であっても 4~5 t/h の作業能率で安定して粉碎できた（写真左）。写真中は粉碎作機のスクリーン（穴径 15mm）、写真右はケーシング内にあるハンマー。

ロールミルは、二つのロール間に原料を通して圧縮とせん断によって原料を粉碎あるいは破砕する仕組みであり、ロール表面は平滑面や V 字型溝付きなど特殊加工されたものもある（図 4-4-2）。また二つのロールの回転数が等しいものと、せん断力を増すため異なった回転数にする場合がある。飼料工場でロールミルを使用する場合、粉碎後に篩い分けしていくつかに分級し、粒度別に畜種など用途別に使い分けるケースが多い。

ディスクミルは、石臼のように 2 枚の対向するディスク（溝、鋸歯状、またはスパイク状）の中心部に供給された原料が外周部へ移動しながら粉碎され、ディスクの外周部から排出される。丸粒のトウモロコシ子実を養豚用に自家配合する場合に利用されるケースが多い。

粉碎機別の粒度分布を過去の調査事例（阿部ら 1984）と比較したものが図 4-4-3 で

ある。調査事例では水分 10～12%に乾燥した子実を飼料用粉碎機で 4 つ割程度にしたものが「粗びき」、平均粒度を 1mm 程度にした場合が「粉碎」とされ、乳牛の場合の TDN 含量は「丸粒」、「粗びき」、「粉碎」でそれぞれ 48.7、68.1、86.4%（乾物あたり）となり粒度が細かいほど TDN 含量が高くなった。今回のハンマーミルで処理したものは、0.59mm 未満の区分が「粉碎」の約 2 倍であったが、2.38mm 未満の区分は 9 割以上となり「粉碎」とほぼ同じであった。また、ロールミル処理については、0.59mm 未満の区分は「粉碎」の粒度分布とほぼ同じで、0.59～2.38mm の区分は「粗びき」に近く、両者の特徴を併せていた。いずれにせよ、子実水分が 30%程度でも今回供したハンマーミルでは乾いた子実を粉碎した場合と同程度に、ロールミルの場合では乾いた子実の粉碎と粗びきの中間程度に加工可能であった。



図 4-4-2 ロールミルによるトウモロコシ子実の破碎

最大出力 7.5kW の飼料用米破碎機（デリカ社製 DHC-4000、写真左）では、含水率 30%前後の高水分子実でも 1～2t/h の作業能率で安定して粉碎できた（写真中）。この機種種の 2 本のロールは V 字溝付きで、ロール間隔は約 1mm（写真右）。

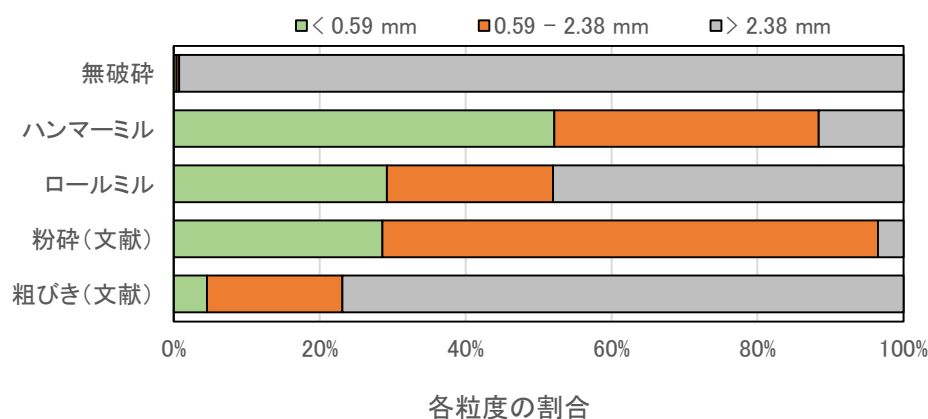


図 4-4-3 粉碎機の種類による粒度分布の比較

「ハンマーミル」と「ロールミル」はそれぞれ図 4-4-1 と図 4-4-2 の調査で得られた試料、「無破碎」は丸粒の試料の分析結果。「粉碎」と「粗びき」は過去の調査事例（阿部ら、1984）を引用。凡例の数値は阿部ら（1984）と同様に設定した篩の目開き。

② 蒸気加熱加工

飼料用穀物の加熱加工のうち最も一般的なものが蒸気圧ぺん加工や蒸気加熱フレーク加工である。これらの加工方法では、トウモロコシ子実などの穀物は蒸気により加熱・加湿されるためデンプンの糊化度（ α 化度）が 20～30%程度にまで高まり、加熱

にさらに時間をかけて蒸煮することで糊化度を 60～70%にまで高めることができる（浅野・石橋 2009）。図 4-4-4 に示した蒸気加熱フレーク加工では、圧ぺん加工よりもロール間隔を狭めてより薄いフレーク状とするため家畜に給与した際の消化性は蒸気圧ぺん加工より高くなる。なお、蒸気加熱フレーク加工では加工品の水分が高くなることから、長期貯蔵や広域流通に向けては加工後にドライヤで乾燥する必要がある。

表 4-4-1 に蒸気加熱フレーク加工時の糊化度を示した。比較した粉碎加工の場合はハンマーミルであってもロールミルであっても品温はあまり上昇しないため、糊化度は粉碎前とほとんど変わらない一方で、蒸気加熱フレーク加工では、加工時の品温はローラの通過直後で 80℃以上となり、糊化度は 10%前後から 20%にまで上昇した。



図 4-4-4 トウモロコシ子実の蒸気加熱フレーク加工

蒸気で子実を加熱するためのチャンバー（写真左）と蒸気加熱フレーク加工機（写真中）。蒸気加熱フレーク加工時にローラ直後で採取したサンプル（写真右）。

表 4-4-1 蒸気加熱フレーク加工による品温や糊化度の変化

		粉碎加工 (ハンマーミル)	粉碎加工 (ロールミル)	蒸気加熱 フレーク加工
加工時の周辺温度、℃		25	24	14
加工前の子実水分、%		34.0	測定せず	18.9～19.9
加工直後 *1	品温、℃	33.0	28.8	84.5
	水分、%	34.4	31.8	21.0
ドライヤクーラ ー後 *1	品温、℃	－	－	12.1
	水分、%	－	－	18.7
糊化度*2	加工前、%	8～10%		9%または 11%
	加工後、%	6	10	20%

*1 機械が稼働して 60 分後に品温測定と加工品のサンプリングを実施。*2 日本穀物検定協会に分析依頼（グルコアミラーゼ法）

<引用文献>

阿部亮・岩崎薫・篠田満（1984）反芻家畜による飼料の消化試験-トウモロコシ子実の破碎粒度と乳牛，緬羊による成分消化率，TDN 含量との関係-．日畜会報 55(10): 755-759

浅野朋浩・石橋晃（2009）飼料学（57）．畜産の研究 63(5): 543-547

農業食料工学会（編）（2020）農業食料工学ハンドブック．コロナ社，東京，p880-881

5章 飼料利用

1) 基本的な考え

今後の国産子実トウモロコシの大規模な増産に伴って、配合飼料工場が輸入品と同様に国産品を配合飼料原料として受け入れ、配合飼料中に混合される事例も増加すると考えられる。このため、国産品のよりいっそうの高品質化、品質の安定化が求められる。

輸入品の多くを占める米国産トウモロコシ子実は、標準化された分析方法によって容積重、損傷粒や異物割合などの外観品質を測定して5つの等級（U.S. No.1～No.5）に格付けされている。本項では、この外観品質による等級分けが具体的にどのように測定されているのか紹介する。また、米国産と国産トウモロコシ子実の飼料成分含量や消化性の比較についても紹介する。

将来的には、先に述べたように国産トウモロコシ子実の多くが配合飼料中に混合されて使われると思われるが、現状では、相対取引によって耕種経営から直接に畜産農家が供給を受けて使われる例が多い。この場合、もともと単味飼料としてトウモロコシ子実を利用していた場合や自身で飼料工場を備える場合は、容易に国産トウモロコシ子実を利用できる。一方、配合飼料を購入利用している場合、配合飼料を減じて国産トウモロコシ子実を給与するには特に給与飼料中のタンパク質を補充（再調整）する必要がある。また、配合飼料にはミネラルや消化酵素などの各種サプリメントが混合されている場合があるので、それらの濃度低下にも留意する。トウモロコシは収量が高いとデンプン含量が高まるため、相対的にタンパク質含量が低下する傾向があり、土壌中の可給態窒素が不足する場合もタンパク質含量が低下する傾向にある（アメリカ穀物協会2023）。デンプンをはじめとする飼料成分は、粉碎または蒸気加熱加工（圧ぺん加工等）における粉碎粒度や圧ぺんの厚さ、加熱処理等によって消化性が大きく影響を受けることにも留意する（関根ら 1983）。子実サイレージを給与する場合は含水率（乾物率）の変化にも注意する。これらのことを考慮したうえで、本項で紹介する家畜への給与事例（乳牛、肉牛、豚、鶏）を参考に国産トウモロコシ子実の飼料利用を行う。

<引用文献>

アメリカ穀物協会（2023）2023/2024 トウモロコシ収穫時品質報告書, U.S.GRAINS COUNCIL, 東京, https://grainsjp.org/report/c-2023-2024_hrvst-qlty-rpt/ [2024年12月26日参照]

関根純二郎・多田重雄・大久保正彦・朝日田康司（1983）蒸気圧ぺん処理が穀実の消化率におよぼす影響. 北海道大学農学部農場研究報告 23:61-66

2) 飼料品質

① 外観品質

本項では、乾燥したトウモロコシ子実の外観品質について紹介する。

これまで、子実トウモロコシの取り組みは生産側である耕種経営と実需側である畜産経営の相対取引が主体であったため、イネやダイズ、ムギ類のような外観品質についてはほとんど検討されてこなかった。しかし、近年、子実トウモロコシの取り組みに配合飼料会社が参画するようになり、外観品質の標準化に関する検討がはじまった。配合飼料会社を通じてトウモロコシ子実を売買する場合、相対取引のように品質に関して相互の同意がある関係とは異なってくる。そのため、配合飼料会社を通じて耕種経営と畜産経営が安心して一定の品質を確保した子実をそれぞれ供給及び利用するには、他の穀物（イネ、ダイズ、ムギ類等）と同様に外観品質の標準化がトウモロコシ子実でも求められる。

外観品質の標準化の意義として次の点が挙げられる。目指すべき外観品質が定まることで、耕種経営は栽培管理や収穫時の子実含水率、収穫後の乾燥調製等の方法が具体的に決まり、配合飼料会社は一定の品質を確保した子実を畜産経営に供給することが可能となる。また、外観品質の標準化が進むことで、必要な作業と省略できる作業が明確となり子実トウモロコシの栽培管理から調製及び出荷までの作業が標準化される。

国内にはトウモロコシ子実の外観品質の等級は存在しない。そこで、輸入される子実の多くを占めるアメリカにおける等級が外観品質の標準化へ向けて最も参考になる（表 5-2-1）。アメリカの等級は U.S. No.1 から U.S. No.5 まで 5 等級あり、U.S. No.1 が最上位で U.S. No.5 が最下位である。飼料用として輸入されるトウモロコシ子実の多くが U.S. No.3 の等級である。

表 5-2-1 アメリカにおけるトウモロコシ子実の等級

級要件	ブッシェル に対しての 最低容積重(ポンド)	最大限界値		
		損傷粒		破損粒
		熱 (パーセント)	合計 (パーセント)	(パーセント)
U.S.No.1	56	0.1	3	2
U.S.No.2	54	0.2	5	3
U.S.No.3	52	0.5	7	4
U.S.No.4	49	1	10	5
U.S.No.5	46	3	15	7

「Grain Inspection Handbook Book II Grain Grading Procedures」(USDA 2020)の Table 4.1-Grades and grade requirements for cornの表部分を和訳した。出典元: USDA(2020) Grain Inspection Handbook Book II Grain Grading Procedures, USDA, Washington DC, <https://www.ams.usda.gov/sites/default/files/media/Book2.pdf> [2024年6月25日参照 cited 25 June 2024]

アメリカの等級は、「ブッシェルに対しての最低容積重」(1 ブッシェルは約 25.4kg)、「損傷粒」、「破損粒と異物」の3項目で構成されている。そこで各項目と各項目に関連した栽培管理について紹介する。

a 「ブッシェルに対しての最低容積重」

トウモロコシ子実の容積重を測定できる装置(図 5-2-1)で測定する。写真の計測装置は子実含水率も同時に測定できる。アメリカでは USDA(アメリカ農務省)認定の装置が使用されている。乾燥後の含水率が低いほど容積重は増大傾向となる。

b 「損傷粒」の調査

「損傷粒」は目視で調査する(図 5-2-2、損傷の詳細や定義は、USDA(2020)の「Grain Inspection Handbook Book II Grain Grading Procedures」の 4.18 (P4-16~4-18)を参照)。熱損傷について、海外製の乾燥機と比較して国内の乾燥機の乾燥温度は高くないため、現時点の乾燥方法では国内でほとんど発生しないと想定される。損傷粒にはかびによる損傷や穂発芽による損傷が含まれる。そのため、かびによる損傷を防ぐにはアワノメイガの食害を防除するための殺虫剤の適期散布が、穂発芽を軽減するには適期収穫が重要である。



図 5-2-1 容積重を測定する計測装置
写真は、Dicky John 社製の GAC2500。



図 5-2-2 国産トウモロコシ子実にお
ける損傷粒の一例

c 「破損粒」と「異物」の調査

「破損粒 (Broken corn : BC) と異物 (Foreign material : FM) (以下、BCFM)」について、破損粒は 12/64 インチ (直径 4.76 mm) の篩を通過するほど小さく、6/64 インチ (直径 2.38 mm) の篩は大きすぎて通過しない穀粒及びその他物質 (雑草の種子、穂軸等) と定義され、異物は 12/64 インチの篩を通過しない物質でトウモロコシ子実以外の全ての物質と 6/64 インチの篩を通過する全ての小さな物質と定義されている (USDA 2020)。アメリカにおいて農務省連邦穀物検査局 (FGIS) による BCFM の検査では Carter Dockage Tester が使われている (図 5-2-3)。また、アメリカにおける民間のカントリーエレベータでは、荷受け時に職員が篩を手で篩って簡易的に BCFM を調査する (図 5-2-4)。

Carter Dockage Tester による調査は導入経費等を含めて現時点では難しい。そのため、まずは篩 (図 5-2-5) と加振器 (図 5-2-6、5-2-7) を使って、Herrman・Reed (2000) に従って BCFM の調査が進められている (図 5-2-8)。破損粒 (BC) は欠けたトウモロコシ子実であり (図 5-2-9)、異物 (FM) は脱穀過程で砕かれた穂軸の一部とほとんど粉砕された子実等であった。破損粒と異物 (BCFM) には、収穫時の子実含水率やコンバインの設定、乾燥方法 (循環式と平型式) と乾燥温度、調製方法 (篩目や選別機の使用の有無) が関係していると考えられ、BCFM を低減させる収穫時の条件や乾燥調製方法が今後、明らかになることが期待される。



図 5-2-3 Carter Dockage Tester



図 5-2-4 アメリカのカントリーエレベータでの荷受け時の破損粒と異物の調査



図 5-2-5 BCFM の調査で使用する篩
(左側が 6/64 インチ、右側が 12/64
インチ)



図 5-2-6 加振器

現在、アメリカのトウモロコシ子実の等級に準じて国産トウモロコシ子実の調査が進められている。今後、データの解析が行われ、国産トウモロコシ子実の高品質化へ向けた栽培管理（栽培～収穫）や乾燥調製の手法が明らかにされることが期待される。

アメリカにおけるトウモロコシ子実の等級には項目として含まれていないが、乾燥調製後の子実含水率も非常に重要である。一般的に、乾燥調製後の子実含水率は配合飼料会社から 13～14.5%以下で求められることが多い。トウモロコシ子実仕様がある誘電率式（静電容量式、高周波式）水分計では、穀温やかさ密度の影響を受けるため、乾燥調製後に穀温が安定してから測定する必要がある。トウモロコシ子実仕様の水分計の調達が難しい場合には、ダイズ仕様の水分計で測定した数値から、換算によって推定する方法もある（金井ら 2018）。



図 5-2-7 加振器を使用するには子実が飛散しないようにカバーを装着する

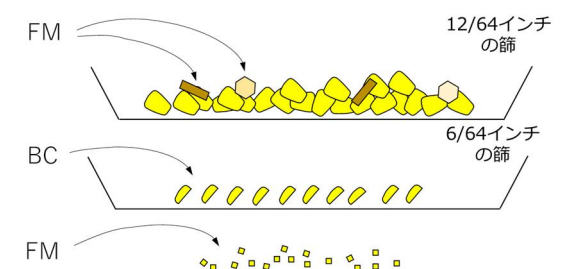


図 5-2-8 篩による BCFM の調査法の模式図

BC : 破損粒、FM : 異物。

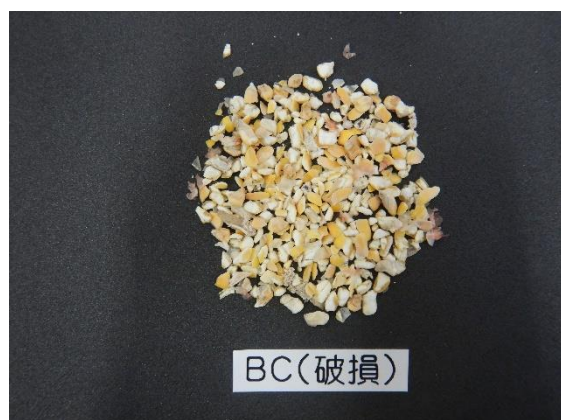


図 5-2-9 破損粒の一例



図 5-2-10 異物の一例

<引用文献>

Herrman, TJ, Reed C (2000) Corn grading procedures. Kansas State University Agricultural Experiment Station and Cooperative Extension Service, Manhattan, https://bookstore.ksre.ksu.edu/download/corn-grading-procedures_EP96 [2024 年 12 月 26 日参照]

金井源太・篠遠善哉・山下善道 (2018) トウモロコシ子実の循環式乾燥機による乾燥試行および市販水分計による水分測定. 農業施設 29: 86-92.

USDA (2020) Grain Inspection Handbook Book II Grain Grading Procedures, USDA, Washington DC, <https://www.ams.usda.gov/sites/default/files/media/Book2.pdf> [2024 年 12 月 26 日参照]

② 飼料成分

トウモロコシ子実の飼料成分は、主としてタンパク質、デンプン及び脂肪から構成される。2023年に東北6県の圃場で生産された国産トウモロコシ子実（30サンプル）の乾物当たりのこれら3成分の含量について、2023年の米国産トウモロコシ子実（アメリカ穀物協会 2023）と比較した結果を表5-2-2に示す。

表 5-2-2 東北6県で生産されたトウモロコシ子実と米国産との成分含量の比較
(乾物中%)

	粗タンパク質		デンプン		粗脂肪	
	米国産	国産	米国産	国産	米国産	国産
範囲	6.9～12.8	6.8～10.5	68.4～73.7	63.6～72.3	3.2～4.6	2.9～5.9
平均値	8.8	8.4	71.9	69.0	3.8	4.0
頻度が最大となる範囲	57.6%の子実が8.0-8.9%の範囲にある	50%の子実が8.0-8.9%の範囲にある	91%の子実が71%以上の範囲にある	86.7%の子実が71%未満の範囲にある	71.2%の子実が3.7-4.2%の範囲にある	40%の子実が3.7-4.2%の範囲にある

国産トウモロコシ子実の粗タンパク質、デンプン及び粗脂肪含量の平均値は、米国産のものと著しい違いはなかった。ただし、各成分値は国産及び米国産ともにばらつきが見られた。特に、デンプン・脂肪含量のばらつきは、国産が米国産よりも大きかった。これは品種や生育期間の違いが影響したものと考えられる。

米国産のトウモロコシ子実は品質規格で格付けされており、飼料用には上から3番目（U.S. No.3）の等級のものを中心に輸入されている。子実の成分値は、国産品や輸入品のいずれもばらつきが認められるため、家畜・家禽への給与前に成分分析を行うことは必須である。しかし、配合飼料に混合されている輸入品は生産地やロットを選ぶことができない。一方、国産品は生産地や品種などの来歴や飼料成分を見定めた利用が期待できる。

<引用文献>

アメリカ穀物協会（2023）2023/2024 トウモロコシ収穫時品質報告書，U.S.GRAINS COUNCIL, 東京, https://grainsjp.org/cms/wp-content/uploads/dlm_uploads/2023-24-USGC-Corn-Harvest-Report_J.pdf [2024年7月12日参照]

③ 消化性

前項でも述べたように、国産のトウモロコシ子実の飼料成分は外国産の飼料成分の分布範囲内であった。しかし、同様の飼料成分であっても消化性が同様であるわけではない。本項では特に反すう家畜の第一胃（ルーメン）内での子実の分解性について述べる。

トウモロコシ子実は穀粒の性質や特徴から7種類（デントコーン、フリントコーン、スイートコーン、ポップコーン、フラワーコーン、ワキシーコーン、ポッドコーン）に分類され、デントコーン、フリントコーン、スイートコーンなどが有名である。食品としては生食用にはスイート系品種、コーングリッツ用にはフリント系品種、コーンフラワー用にはデント系品種が多く使用されるなど、穀粒の特徴に沿って選別されている。デント系品種は、子実の成熟につれて穀粒の冠部にくぼみができ、馬歯のようになるのが特徴で、フリント系品種は黄色く蠟状に見える硬い澱粉層が穀粒の表面全体に広がり、穀粒の冠部にくぼみがない。飼料用にはデント系品種及びフリント系品種が用いられているが、一般的にデント系品種よりもフリント系品種においてルーメン内のデンプン分解性が劣るとされている（Philippeau and Michalet-Doreau 1998）。また、黄色く蠟状に見えるガラス質の胚乳部分（角質胚乳部）と白く見える胚乳の部分（粉質胚乳部）の割合（硬質化度）によってルーメン内のデンプン分解性が異なるという報告もあり（Philippeau ら 2000）、一般的にデント系品種はフリント系品種に比べ硬質化度が低いとされている。図 5-2-11 に国産の子実の中割画像を示す。国内で用いられている品種はデント系列とフリント系列の交雑に由来するものが多いため、デント系、フリント系の品種がそれぞれ存在する。硬質化度はデント系品種の角質胚乳部：粉質胚乳部＝14：86 に対し、フリント系品種は 44：56 と角質胚乳部の割合が多くなっている。

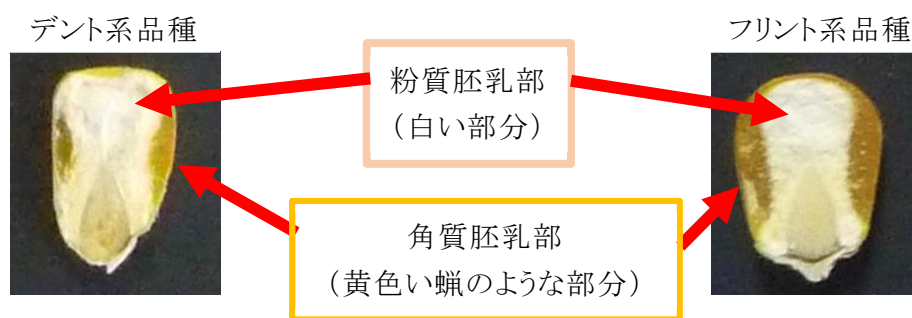


図 5-2-11 国産トウモロコシ子実の中割画像

このような違いのあるトウモロコシ子実について、国産トウモロコシ子実（乾燥物・サイレージ）と輸入トウモロコシ子実（乾燥物）のルーメン内の乾物及び粗タンパク質消失率を測定した（Touno ら 2024）。その結果、国産トウモロコシ子実のサイレージは乾燥物よりもルーメン内での消失が速く、サイレージ化によってルーメン内分解性が大きく向上することがわかる。

乾燥物に関しては産地によって子実のルーメン内乾物消失率が異なっていた（図 5-2-12）。アメリカ産及び南アフリカ産のトウモロコシ子実が培養 0～24 時間の消失率が高く、次いでブラジル産となり、国産トウモロコシ子実が最も低かった。この原因としては産地別の違いではなく、上記で述べたような、トウモロコシ粒の構造上の違いが大

大きく影響している。試験に用いた品種は国産及びブラジル産トウモロコシ子実はフリント系の品種であり、アメリカ産及び南アフリカ産トウモロコシ子実がデント系の品種であった。子実の硬質化度はフリント系品種とデント系品種で 20 ポイントほど異なっており、フリント系品種の国産トウモロコシ子実が最も高く、次いでブラジル産、デント系品種の南アフリカ産、アメリカ産の順であった。今回の試験に用いた国産の品種がフリント系であったため、国産トウモロコシ子実のルーメン内分解性が最も低い結果になったと考えられる。この試験からは、家畜での利用性を考えた場合には、デント系の品種の選択が有用であることがわかる。

ここに国産トウモロコシ子実を用いることの最も重要な利点がある。つまり輸入のトウモロコシ子実は品種を選ぶことはできず、輸出国側の影響を受けやすいが、国産トウモロコシ子実は耕種農家がより消化性の高い品種を栽培品種として選ぶことができる。品種による消化性の違いは国内では多く研究されていないため、今後、さらなるデータの蓄積が進めば、消化性の面からの国産トウモロコシ子実の栽培品種選定に大きく貢献できると考える。

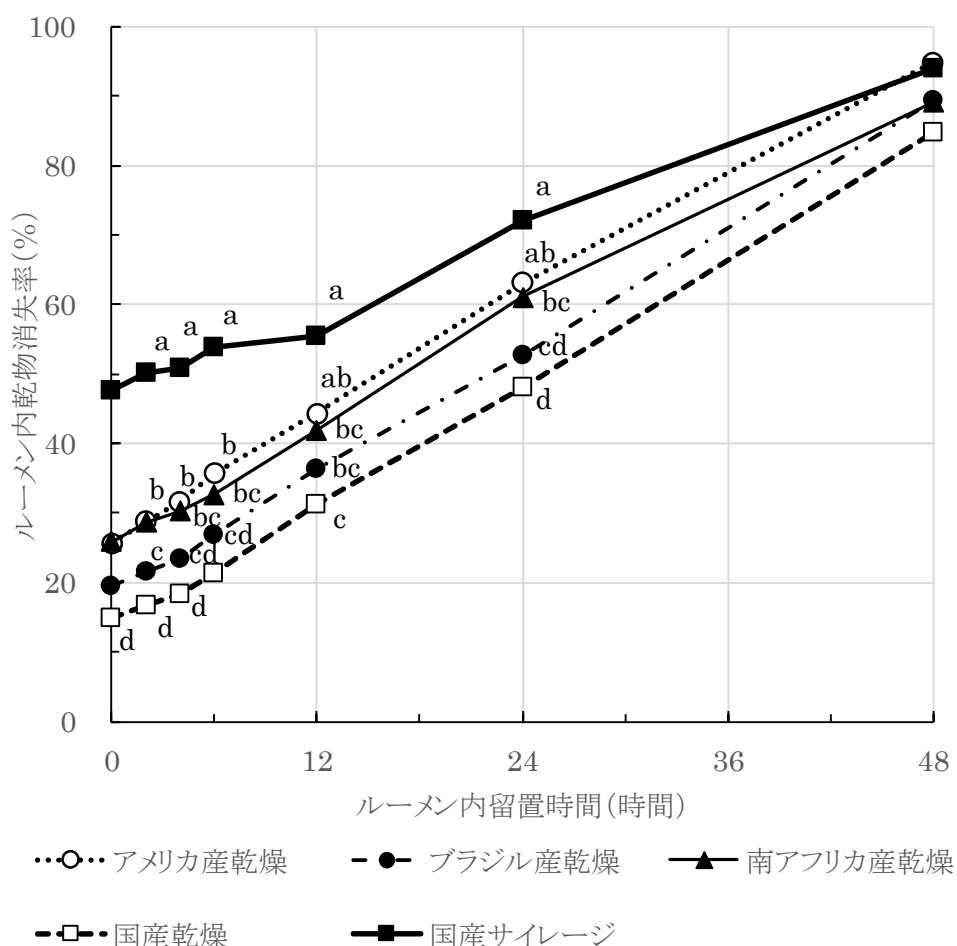


図 5-2-12 輸入・国産トウモロコシ子実のルーメン内乾物消失率

<引用文献>

- Philippeau C, Michalet-Doreau B (1998) Influence of genotype and ensiling of corn grain on in situ degradation of starch in the rumen. *Journal of Dairy Science*, 81, 2178–2184.
- Philippeau C, Landry J, Michalet-Doreau B (2000) Influence of the protein distribution of maize endosperm on ruminal starch degradability. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80, 404–408.
- Touno E, Tagawa S, Kamizono T, Kunizane H, Uchino H, Kawamoto H, Uozumi S, Deguchi S (2024) Feed characteristics of dried corn grain and corn grain silage produced in Japan compared with imported corn grain. *Animal Science Journal*, 95(1), e13938.

3) 乳牛への給与

① 破碎の必要性

トウモロコシ子実サイレージは収穫時の含水率が 25%以上であれば未破碎でも良質なサイレージ発酵をし、長期の貯蔵が可能となる。しかし、未破碎のトウモロコシ子実サイレージ（図 5-3-1）を乳牛に給与すると、破碎したものに比べて第一胃内での消失率が低く（図 5-3-2）、糞への排出も多くなる（図 5-3-3）。また、破碎の有無によって乳量、乳脂肪率等への影響はないが、未破碎区では MUN（乳中尿素窒素）が正常範囲内ではあるが高い値となり（図 5-3-4）、第一胃内でのエネルギーとタンパク質のアンバランスが生じる。このため、未破碎のまま子実をサイレージ化した場合も、TMR 調製時などに飼料用米破碎機などで破碎して給与する必要がある。

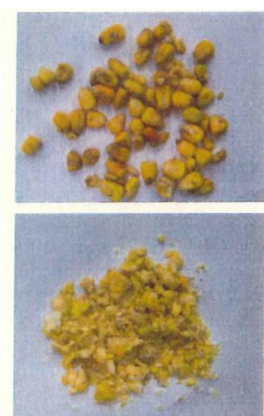


図 5-3-1 試験に供したトウモロコシ子実サイレージ
上：未破碎、下：破碎
（破碎はデリカの飼料米破碎機でローラー間隔 1.0mm とした）

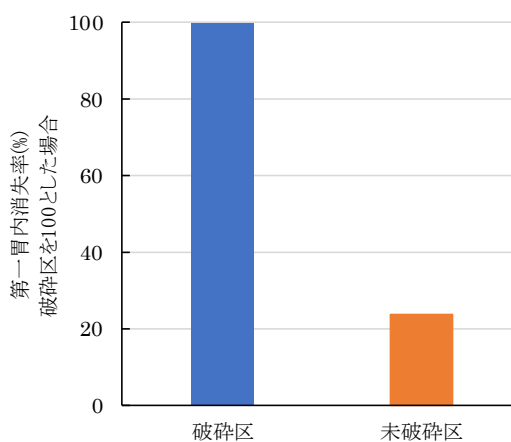


図 5-3-2 トウモロコシ子実サイレージの破碎処理の違いが乳牛の第一胃内消失率におよぼす影響
（破碎区を 100 とした場合）
（岩手畜研実施データより）

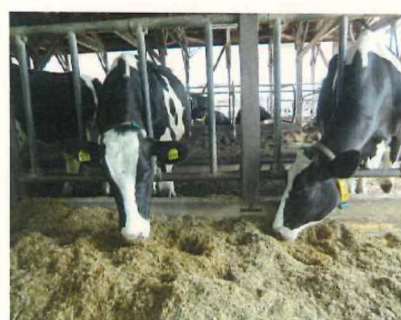
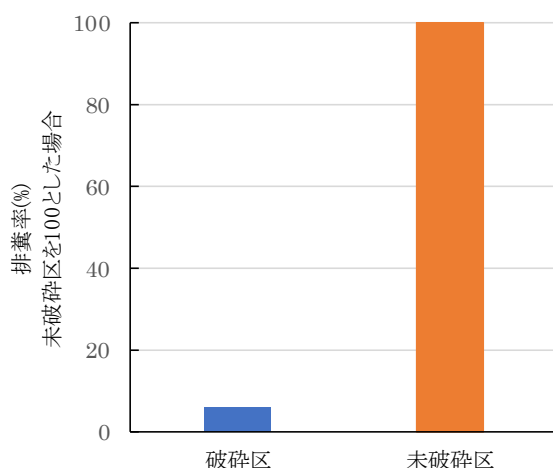


図 5-3-3 トウモロコシ子実サイレージの破碎処理の違いが乳牛における糞への排出率におよぼす影響
（未破碎区を 100 とした場合）
（岩手畜研実施データより）

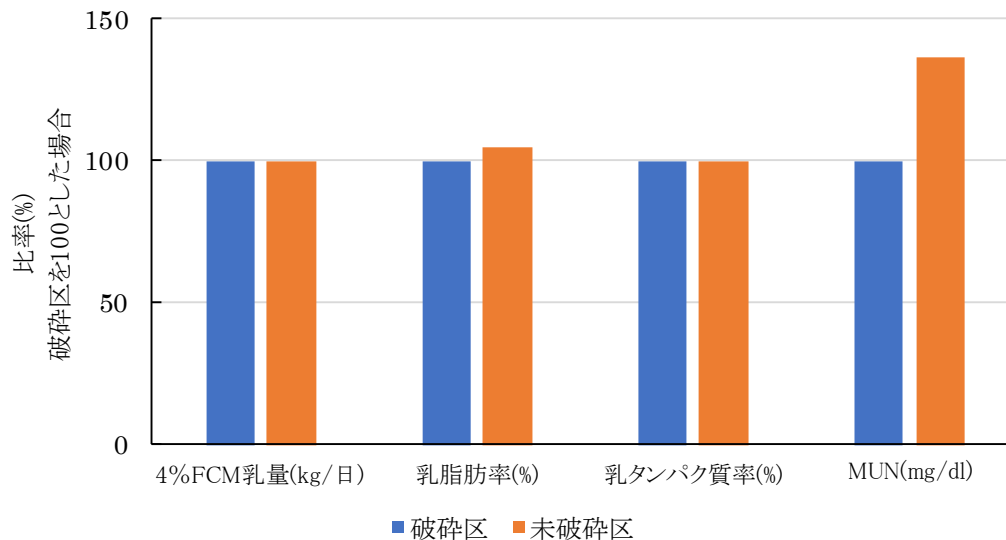


図 5-3-4 トウモロコシ子実サイレージの破砕処理の違いが乳牛の乳質等におよぼす影響（破砕区を 100 とした場合）

（岩手畜研実施データより）

② 圧ペントウモロコシを代替する場合

北海道では TMR 原料としてのトウモロコシ子実サイレージの給与試験が行われており（青木ら 2016; 多田ら 2019）、乾物中 20%の代替が可能であるとされている。都府県でもトウモロコシ子実サイレージの最大給与量把握のための試験が行われており、圧ペントウモロコシの代替として飼料乾物中 25%までであれば、産乳性等への影響無く給与することができる（図 5-3-5）。しかし、給与量が上昇するにつれ軟便傾向が増えるという報告もあるため、給与に当たっては、牛体、糞の状態等を観察し、給与量を調整する必要がある。

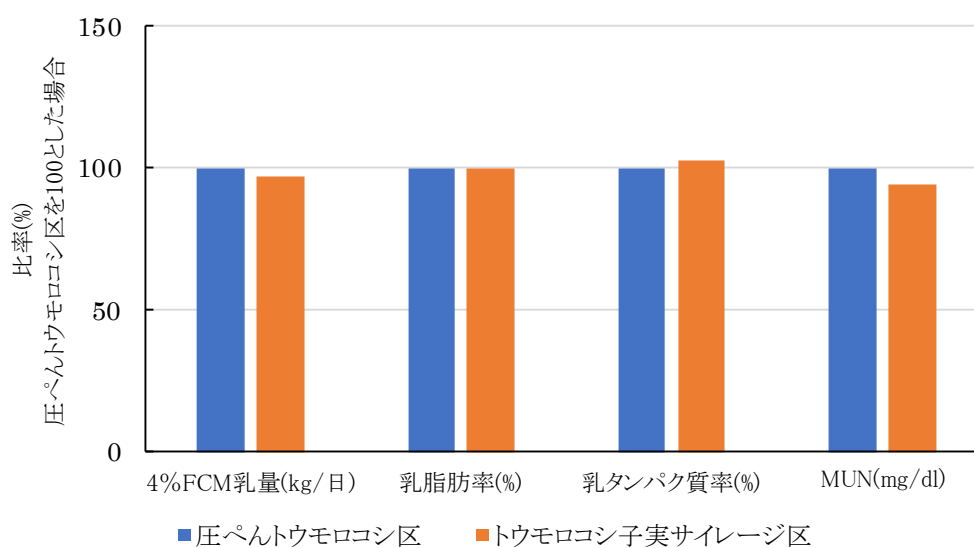


図 5-3-5 トウモロコシ子実サイレージによる圧ペントウモロコシ代替が産乳性におよぼす影響（圧ペントウモロコシ区を 100 とした場合）

（岩手畜研実施データより）

③ 配合飼料を代替する場合（実証試験の結果）

岩手県一戸町にある酪農家において泌乳牛全頭を対象に乳牛用配合飼料の原物 10% を破砕したトウモロコシ子実サイレージ（含水率 37.5%）で代替した飼料を 2.5 カ月間給与した。破砕したトウモロコシ子実サイレージの嗜好性は高く、乳量への影響はなかった（図 5-3-6）。

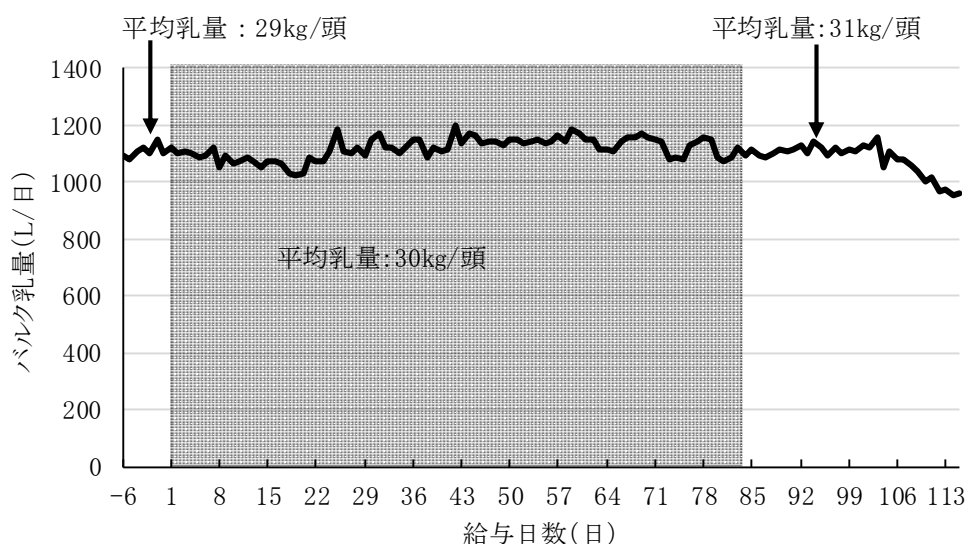


図 5-3-6 トウモロコシ子実サイレージによる配合飼料代替が乳量におよぼす影響
（グラフ内のハイライトで示した部分がトウモロコシ子実サイレージを給与した期間）

<引用文献>

青木康浩・大下友子・上田靖子・根本英子・青木真理（2016）イアコーンサイレージ，ハイモイスチャーシェルドコーンおよび乾燥トウモロコシ子実の給与が泌乳牛の飼養成績および血液性状に及ぼす影響．日草誌 62(3)：146-151.

多田慎吾・青木康浩・上田靖子・青木真理・宮地慎（2019）ハイモイスチャーシェルドコーンの給与が泌乳牛の消化率，窒素出納，飼養成績および血液性状に及ぼす影響．日草誌 64(4)：225-231.

4) 肉牛への給与

① 破碎の必要性

黒毛和種肥育牛において、乾燥した丸粒トウモロコシは圧ぺんしたものに比べて消化性が低く、糞への排出も多いとされている（浅田ら 2005）。トウモロコシ子実サイレージについても、未破碎の場合は乾燥丸粒トウモロコシと比べて第一胃内での消失率がわずかに高いが（図 5-4-1）、逆に糞への排出は多くなる傾向を示す（図 5-4-2）。これは、乾燥丸粒トウモロコシに比べてトウモロコシ子実サイレージの嗜好性が高いためあまり咀嚼されず、消化管内で利用されずに糞へ排出されたためと考えられる。よって、消化性の点から考えると、未破碎のままサイレージ化した場合でも、乳牛と同様に、肉牛においても給与時の破碎が必要である。

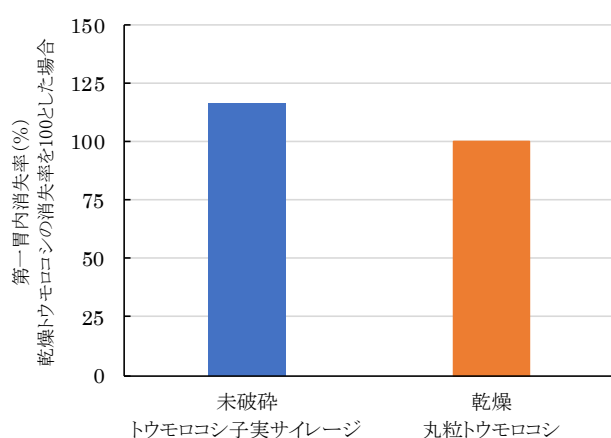


図 5-4-1 未破碎トウモロコシ子実サイレージの肉牛における第一胃内消失率（乾燥丸粒トウモロコシを 100 とした場合）

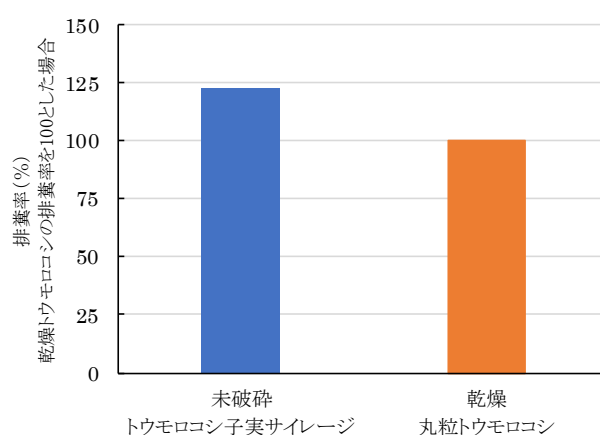


図 5-4-2 未破碎トウモロコシ子実サイレージの肉牛における糞への排出率（乾燥丸粒トウモロコシを 100 とした場合）

② 配合飼料を代替する場合

肥育後期の黒毛和種牛において、市販配合飼料（原物中 TDN73%、CP12.5%）の 25%（乾物当たり）をトウモロコシ子実サイレージで、5%（乾物当たり）をくず大豆で置き換えて給与することにより、増体・肉質等への影響無く肥育することができる（図 5-4-3）。図 5-4-3 右に試験枝肉のロース芯の写真を示す。トウモロコシ子実サイレージで代替給与したトウモロコシ子実サイレージ区においても、格付けは A3 となり、慣行の配合飼料区と変わらない枝肉成績であった。早期出荷を想定し、同様の給与メニューを 9~26 ヶ月齢で給与した柴ら（2020）の試験でも、通常通り配合飼料を給与した区と増体や肉質に明らかな違いは認められていない。しかし、トウモロコシ子実サイレージはタンパク質含量が低いため、市販配合飼料との単純な置き換えの場合、くず大豆のようなタンパク源の補給が必要となる。他のタンパク源としては大豆粕やビール粕等があるが、各タンパク源によって給与メニューの設計を行う必要がある。

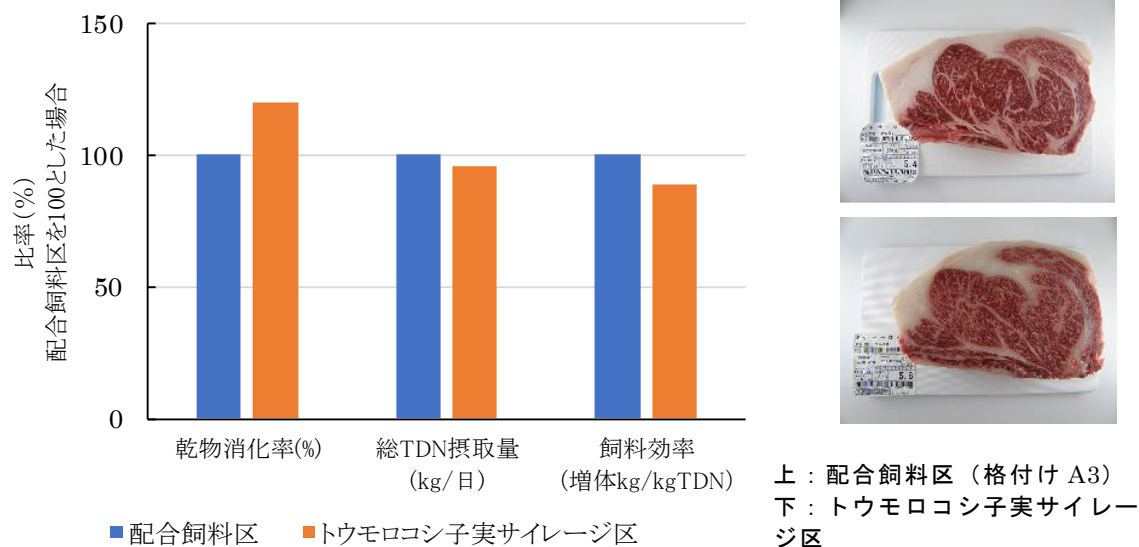


図 5-4-3 トウモロコシ子実サイレージによる市販配合飼料の置き換え (25%) が飼料効率及び枝肉成績におよぼす影響 (肥育後期給与) (配合飼料区を 100 とした場合)

表 5-4-1 トウモロコシ子実サイレージを給与した早期出荷黒毛和種牛の胸最長筋 (ロース) の理化学成分 (柴ら, 2020 より抜粋・改変)

	配合飼料区	トウモロコシ子実サイレージ区	p
水分(%)	52.5	54.0	0.500
たんぱく質(%)	14.8	15.9	0.072
脂肪(%)	31.0	28.4	0.379
剪断力価*(kg/cm ²)	2.8	2.7	0.790
遊離アミノ酸類**(mg/100g)	899.6	789.2	0.199

* 剪断力価：柔らかさの指標、低いほど柔らかい

** 遊離アミノ酸類：うま味の指標、多いほどうま味が多い

<引用文献>

- 浅田勉・木村容子・砂原弘子・櫻井由美・神辺佳弘・笠井勝美・飯島知一・森知夫・小林正和・井口明浩・山田真希夫・東山由美・阿部啓之・宮重俊一・甫立京子 (2005) 丸粒トウモロコシ給与が黒毛和種去勢牛の産肉性に及ぼす影響. 日本畜産学会報 76(2) : 175-182.
- 柴伸弥・今成麻衣 (2020) トウモロコシ子実サイレージを給与した黒毛和種肥育牛の増体成績と枝肉特性. 東北農業研究 73 : 53-54.

5) 豚への給与

本項では「肥育豚への国産トウモロコシ子実給与の実証試験」について紹介する。

実証試験に用いた飼料は 2 種類で、いずれも JA 全農北日本くみあい飼料石巻工場（宮城県石巻市）で調製した。2 種類の飼料のトウモロコシ子実割合は 56% に固定し、15% を国産、41% を輸入としたものを「国産飼料」とし、56% 全てを輸入としたものを「慣行飼料」とした。その他の原料（飼料用米、飼料用オオムギ等）は、両飼料で配合割合が等しくなるよう調製した。国産飼料に配合した国産トウモロコシ子実は農研機構東北農業研究センター圃場で生産し、モバイルドライヤーで子実含水率 14% 以下まで乾燥させた。

肥育豚への給与は、株式会社フリーデン大東農場（岩手県一関市）で 2 回実施した。1 回目（5～7 月、給与期間 64 日間）は、豚舎 1 棟（約 1,000 頭）の肥育後期の三元交配種（LWD、去勢）のうち 40 頭を 1 豚房に配置し国産飼料を給与した。残りの豚房については慣行飼料を給与した。2 回目（1～3 月、給与期間 58 日間）については、40 頭を配置した 1 豚房に慣行飼料を給与し、残りの豚房には国産飼料を給与した。いずれも実際の生産ラインでの給与実証であったため、給与期間中の増体や飼料摂取量の計測等を行わなかったが、生産現場からの聞き取りでは、「国産飼料を給与した豚の飼料の食い込みや発育スピードは、慣行飼料を給与した豚と遜色はない」とのことだった。給与後は、各飼料につき 8 頭をと畜・解体し、ロース肉を採取し、肉質分析と試食調査を行った（図 5-5-1、図 5-5-2）。肉質分析では、風味に関連する成分（遊離アミノ酸、脂肪酸組成等）や食感に関連する項目（かたさ、脂肪融点等）、色調を測定したが、1 回目と 2 回目の試験ともに肉質の変化はみられなかった。試食調査では、各飼料を給与した豚ローススライスの焼肉として提供し、喫食者 22 名に食味の違いや好ましさを回答させた。その結果、飼料の違いによる明確な食味の違いはなく、極端な好みの偏りもなかった。以上より、現時点では、国産トウモロコシ子実は肥育後期豚の飼料原料として利用可能である。



図 5-5-1 国産飼料を給与した豚ロース



図 5-5-2 慣行飼料を給与した豚ロース

6) 鶏への給与

トウモロコシは肉用鶏及び卵用鶏用配合飼料の主要飼料原料であり、そのほとんどを海外に依存している。本項では、国内で生産された乾燥トウモロコシ子実（以後、子実を省略）及び子実サイレージについて海外産のものとその栄養価（代謝エネルギー価）を比較した内容と、それらを肉用鶏に給与し飼養成績や肉質等への影響を検討した内容を紹介する。

① 卵用鶏雄ヒナを用いた栄養価（代謝エネルギー価）の評価

肉用鶏への給与試験に先立ち、供試する輸入トウモロコシ、国産乾燥トウモロコシ、国産トウモロコシ子実サイレージ（サイレージ）の成分含量を分析するとともに、代謝エネルギー（ME）価を3週齢の卵用鶏ヒナを用いて測定した。

その結果、国産トウモロコシは、乾燥物、サイレージいずれにおいても現在国内で流通しているトウモロコシと遜色のない成分含量及びエネルギー価であることが確認された（表 5-6-1）。

表 5-6-1 輸入トウモロコシ、国産乾燥トウモロコシ及び国産トウモロコシ子実サイレージの成分含量及び鶏における代謝エネルギー（ME）価

	輸入 トウモロコシ	国産乾燥 トウモロコシ	国産トウモロコシ 子実サイレージ [*]	日本標準飼 料成分表 ¹⁾
成分含量(%) ²⁾ 水分	13.2	14.7	21.8	14.5
粗タンパク質	7.3	9.7	9.0	8.8
粗脂肪	3.3	4.6	4.6	4.4
NFE ³⁾	84.9	82.4	82.6	83.4
粗繊維	3.1	1.8	2.2	2.0
粗灰分	1.4	1.6	1.6	1.4
ME 価 (Mcal/kg) 乾物あたり	3.91	4.06	3.64	3.83
現物あたり	3.39	3.52	3.16	3.28

¹⁾参考値：日本標準飼料成分表(2009 年版)より抜粋

²⁾乾物当たり

³⁾NFE:可溶無窒素物

② 肉用鶏（ブロイラー）への給与試験

上記それぞれのトウモロコシの粉碎物を約 6 割配合した飼料を調製し（表 5-6-2）、2 週齢のブロイラー雄ヒナ（各区 6 羽）に 3 週間給与する試験を行った。試験終了時にムネ肉及びモモ肉を採取し、ドリップロス、遊離アミノ酸濃度を比較した。

表 5-6-2 輸入トウモロコシ、国産乾燥トウモロコシ及び国産トウモロコシ子実サイレージの肉用鶏（ブロイラー）への給与試験に用いる飼料の組成及び成分値

	輸入 トウモロコシ区	国産乾燥 トウモロコシ区	国産トウモロコシ 子実サイレージ区
トウモロコシまたはトウモロコシ子実サイレージ ^a	66.62	63.59	57.39
大豆粕	29.22	32.00	32.47
植物油	1.00	1.30	7.00
DL-メチオニン	0.11	0.12	0.13
第 2 リン酸カルシウム	1.40	1.34	1.41
炭酸カルシウム	1.00	1.00	0.95
塩化ナトリウム	0.35	0.35	0.35
ビタミン・ミネラル混合物	0.30	0.30	0.30
成分値（計算値）			
代謝エネルギー（Mcal/kg）	2.98	2.98	2.97
粗タンパク質（%）	18.8	18.8	18.6
カルシウム（%）	0.81	0.81	0.80
非フィチン態リン（%）	0.41	0.40	0.40
メチオニン＋シスチン（%）	0.72	0.71	0.71
リジン（%）	1.02	1.06	1.06

その結果を表 5-6-3 に示す。日増体量は国産乾燥トウモロコシ区と比較して国産トウモロコシサイレージ区が有意に高い値となった。飼料摂取量及び飼料要求率に有意差は認められなかった。生体重に占めるムネ肉重量の割合は輸入トウモロコシ区が国産乾燥トウモロコシ区よりも有意に高かった。腹腔内脂肪の割合は各区間に差は認められなかった。Ranjitkar ら（2016）はブロイラーにおいて、圧ペントウモロコシサイレージの 15 または 30% 外付け添加により飼料摂取量が 6～7% 増加することを観察しており、本試験においても同様の傾向がみられた。Ranjitkar ら（2016）及び本試験においても、エネルギー含量を揃えて設計しており、飼料摂取量の増加が飼料のエネルギー含量によるものとは考えにくい。

国産乾燥トウモロコシ区のムネ肉重量の割合が海外トウモロコシ区よりも低くなった。試験終了時体重は国産乾燥トウモロコシ区が 1.76kg に対し、輸入トウモロコシ区が 1.78kg とほとんど差は認められず、供試飼料の CP 及びアミノ酸水準に差はみられないことから、給与トウモロコシによってムネ肉重量の割合が常に影響を受けることはないと考えられる。ムネ肉のドリップロス、ムネ肉及びモモ肉の遊離アミノ酸濃度に給与トウモロコシの影響は認められなかった。供試したトウモロコシ間で、子実含水率は異なるものの、アミノ酸組成等、筋肉の材料となるものについて大きな過不足はなく、肉質への影響はないと考えられる。

表 5-6-3 輸入トウモロコシ、国産乾燥トウモロコシ及び国産トウモロコシ子実サイレージの肉用鶏（ブロイラー）への給与が、飼養成績、解体成績及び肉質成績に及ぼす影響

	輸入 トウモロコシ区	国産乾燥 トウモロコシ区	国産トウモロコシ 子実サイレージ区
飼養成績			
日増体量(g/日)	64.4 ^{ab}	63.2 ^b	75.4 ^a
飼料摂取量(g/日)	108.9	105.7	123.0
飼料要求率	1.70	1.67	1.64
解体成績(生体重に占める割合, %)			
ムネ肉	16.8 ^a	14.3 ^b	16.3 ^{ab}
腹腔内脂肪	0.86	1.05	0.94
肉質成績			
ムネ肉ドリップロス(%)	5.25	4.75	3.89
遊離アミノ酸(μmol/肉g) ムネ肉 Asp ¹⁾	0.42	0.52	0.59
ムネ肉 Glu	0.41	0.56	0.62
モモ肉 Asp	0.48	0.46	0.45
モモ肉 Glu	0.60	0.61	0.62

¹⁾旨味に関係するアスパラギン酸(Asp)とグルタミン酸(Glu)のみを示す

同一行の異符号間に 5%水準で有意差あり

以上の結果から、国産トウモロコシ給与区の飼養成績、解体成績及び肉質成績は輸入トウモロコシ給与区と比べてほとんど遜色ないことが示された。本試験では 1 試験区 6 羽と小規模での検討であったが、今後実用規模での検証を行い、国産トウモロコシでの代替が可能であることを実証する必要がある。また、サイレージ給与により飼料摂取量と日増体量の増加傾向と飼料要求率の改善傾向が観察された。含水率が高いサイレージについては、飼料の保管方法及び給与方法等、実用化に際して検討すべき事項が残されているが、更なる飼養効率の改善の可能性が示唆された。良好な嗜好性の要因等、今後の解明が期待される。

<引用文献>

Ranjitkar S, Karlsson AH, Petersen MA, Bredie WLP, Petersen JS, Engberg RM (2016) The influence of feeding crimped kernel maize silage on broiler production, nutrient digestibility and meat quality. Br Poult Sci 57 : 93-104

6章 トウモロコシ子実の国産化による温室効果ガスの削減効果

「みどりの食料システム戦略」では、持続可能な食料システムの構築を目指すため、化学肥料の使用量の3割削減が目標のひとつに掲げられている。本章では、堆肥を活用したうえで、化学肥料を3割削減し、全国6地点で実施された子実トウモロコシの栽培試験の情報（第3章第3節参照）を基礎に、子実1kg（子実含水率15%）あたり温室効果ガス（GHG）発生量を地点ごとに試算し、アメリカ産の場合と比較した。

その結果、国産子実はアメリカ産子実より子実1kgあたりGHG発生量が少ない場合が多く、国産化でGHG排出量は平均で約4割削減されると推定された（図6-1左、アメリカ産、388から434g-CO₂eq./kg、平均406g-CO₂eq./kg；国産、-85から476g-CO₂eq./kg、平均227g-CO₂eq./kg）。また、土壌への炭素貯留を含めない場合でも、国産化でGHG排出量は平均で約1割削減されると推定された（図6-1右、アメリカ産、469から515g-CO₂eq./kg、平均487g-CO₂eq./kg；国産、351から505g-CO₂eq./kg、平均429g-CO₂eq./kg）。

以下では、GHG発生量の試算方法と結果について、やや詳しく紹介する。

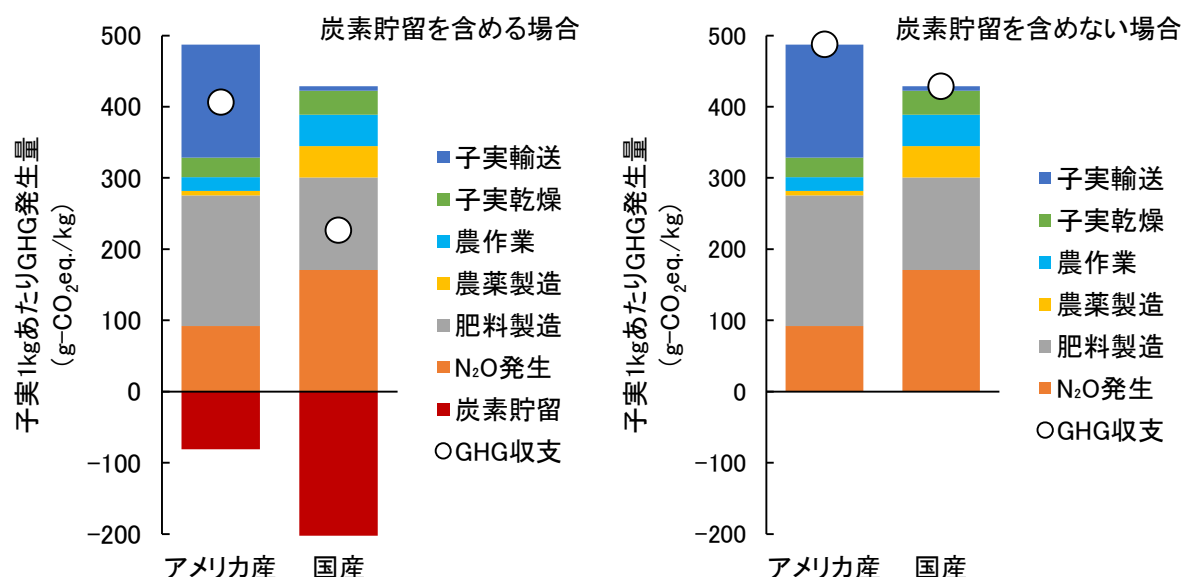


図 6-1 国産化による GHG 削減効果

1) システム境界

システム境界は、ライフサイクルアセスメント（LCA）における環境影響評価の対象範囲である。本章では、土壌への堆肥と作物残渣の還元による炭素貯留、土壌から発生する一酸化二窒素（N₂O）、肥料製造、農薬製造、農作業、子実乾燥、子実輸送で発生する GHG を子実 1kg（子実含水率 15%）あたりで評価した（図 6-2）。



図 6-2 子実の生産過程（畑）・乾燥工程・輸送時に発生する温室効果ガスを評価するためのシステム境界

2) 生産過程（畑）の発生量

国産子実の生産過程の GHG 発生量の試算には、青森、栃木、長野、静岡、徳島、福岡における子実トウモロコシの栽培試験地（第3章第3節参照）の気象、土壤理化学性のほか、堆肥、化学肥料、除草剤、殺虫剤の使用量、作物残渣の還元量、子実収量の情報を用いた。全国6地点における栽培試験では、牛糞堆肥、鶏糞堆肥、発酵鶏糞、混合堆肥のいずれかを還元し、化学肥料を3割削減した（表6-1）。これらの情報を土壤のCO₂吸収「見える化」サイト（以下、見える化サイト）に入力し、農薬製造、農作業に関する文献情報を組み合わせ、子実1kgあたりGHG発生量を試算した（表6-2）。

表 6-1 全国 6 地点の栽培試験地における堆肥還元量と化学肥料の施肥量

	最小値	平均値	最大値
堆肥還元量(kg-現物/10a)	240	575	1031
窒素施肥量(kg-N/10a)	16.4	17.6	18.3
リン酸施肥量(kg-P ₂ O ₅ /10a)	6.1	12.7	19.4
加里施肥量(kg-K ₂ O/10a)	8.3	15.8	24.9

表 6-2 GHG 試算方法の概要（※全国6地点で国産、アメリカ産について試算）

	国産子実	アメリカ産子実
炭素貯留	青森、栃木、長野、静岡、徳島、福岡の栽培試験地の気象、土壤理化学性のほか、堆肥と作物残渣の還元量を基礎に、見える化サイト(農研機構 2023)で推定※	イリノイ大学の研究農場の気象、土壤理化学性(Khan ら 2007)のほか、作物残渣の還元量を基礎に、見える化サイト(農研機構 2023)で推定
N ₂ O 発生	上記の栽培試験の施肥量、堆肥、作物残渣の還元量を基礎に、見える化サイト(農研機構 2023)で推定※	GREET2019 (Xu ら 2019) の子実重量あたり N ₂ O 発生量、作物残渣の還元量から推定(間接排出を除く)
肥料製造	上記の栽培試験の窒素、リン酸、加里、石灰の施肥量を基礎に、見える化サイト(農研機構 2023)で推定※	GREET2022 の子実重量あたり窒素、リン酸、加里、石灰の施肥量から推定(経済産業省 2022)
農薬製造	上記の栽培試験の除草剤と殺虫剤の銘柄、市販価格、標準使用量から推定(林ら 2012)※	GREET2022 の子実重量あたり除草剤と殺虫剤の使用量から推定(経済産業省 2022)
農作業	堆肥散布、肥料散布、耕うん整地、播種、薬剤散布、収穫の際の軽油の消費量から推定(農業環境技術研究所 2003; 浅井ら 2015; 松尾 2017; 幸田ら 2023)	GREET2022 の子実重量あたり軽油の消費量から推定(経済産業省 2022)
子実乾燥	穀物乾燥機で子実含水率を 25%から 15%に下げる際の灯油と電力の消費量から推定(稲野ら 2017; 金井ら 2018; 幸田ら 2023)	穀物乾燥機で子実含水率を 20.5%から 15%に下げる際の液化石油ガス(LPG)と電力の消費量から推定(Heinger 2018; Wilcke 2018)
子実輸送	栽培試験地から近隣のカントリーエレベーター(またはライスセンター)を経由し、地域の TMR センターまでの距離から推定※	イリノイの生産地から各地の荷揚げ港までの GHG 発生量(小林 2006)に、各地の荷揚げ港から地域の TMR センターまでの距離を加算して推定※

アメリカ産子実の生産過程の GHG 発生量の試算には、イリノイ大学の研究農場の気象、土壤理化学性のほか、作物残渣の還元量（子実収量から推定）の情報を見える化サイトに

入力し、GREET モデル（アメリカのアルゴンヌ国立研究所のバイオ燃料等に関する LCA モデル）のトウモロコシ栽培に関する情報を組み合わせ、子実 1kg あたり GHG 発生量を試算した（表 6-2）。

なお、全国 6 地点の栽培試験では、坪刈り収量の 25%を収穫ロス（機械損失 5%を含む）として推定した実収量（608 から 877kg/10a、平均 775kg/10a）を基礎に、単位面積あたり GHG 発生量（炭素蓄積等）を子実 1kg あたりの値に変換した。また、アメリカ産子実の場合は、2023 年のアメリカの子実収量（1,113kg/10a）を基礎に、単位面積あたり GHG 発生量（炭素蓄積）を子実 1kg あたりの値に変換した。

その結果、国産子実は土壌への炭素貯留が多かった（図 6-1）。土壌への堆肥還元の影響に加え、黒ボク土の栽培試験地では分解し難い腐植が生成するためと考えられる。また、アメリカ産子実は N_2O 発生量がやや少なかった（図 6-1）。土壌に堆肥を還元しなかったため、土壌から発生する N_2O が少なかったと考えられる。また、国産子実は肥料製造で発生する GHG が少なかった（図 6-1）。これは化学肥料を 3 割削減したためである。アメリカ産子実は農薬製造で発生する GHG が少なかった（図 6-1）。また、アメリカ産子実は農作業の GHG 発生量が少なかった（図 6-1）。広大な圃場では大型トラクタの作業効率が高いためと考えられる。

3）乾燥工程での発生量

国産子実は穀物乾燥機で子実含水率を 25%から 15%に下げると仮定し、除水量 1kg あたり灯油と電力の消費量から GHG 発生量を試算した。国産子実は 24%から 26%の子実含水率が収穫の目安であるため、中間の 25%で試算した（表 6-2）。

アメリカ産子実は穀物乾燥機で子実含水率を 20.5%から 15%に下げると仮定し、含水率を 1%下げる際の液化石油ガス（LPG）と電力の消費量から GHG 発生量を試算した。アメリカの農家は、子実含水率以外にも様々な条件を考慮して収穫時期を決断する。そこで、市場価格が比較的安い時は 18%、高い時は 23%の子実含水率を収穫の目安と見なし、中間の 20.5%で試算した（表 6-2）。

その結果、アメリカ産子実は子実乾燥の GHG がやや少なかった（図 6-1）。これはアメリカでは比較的乾燥した子実を収穫できる場合が多いためと考えられる。

4）輸送時の発生量

国産子実の輸送は、青森、栃木、長野、静岡、徳島、福岡の圃場で生産した子実を圃場近くのカントリーエレベータ（またはライスセンター）を経由し、地域の TMR センターにトラックで輸送する経路を想定した（表 6-2）。

アメリカ産子実の輸送は、イリノイの圃場で生産した子実をケアロのリバーエレベータにトラックで輸送、次にミシシッピ川船運でニューオリンズ港に輸送、パナマ運河を経由し、国内各地の荷揚港までの海上輸送を経て、青森、栃木、長野、静岡、徳島、福岡の TMR センター（国産子実の場合と同じ）にトラックで輸送する経路を想定した（表 6-2）。

その結果、国産子実は子実輸送の GHG 発生量が少なかった（図 6-1）。国内輸送だけで済むことは当然だが、港湾を経由する必要が無く、国内の輸送距離も少ないためである。

<引用文献>

- 浅井貴之・山田修三・青木 晃・百瀬浩志・山口和彦・水流正裕・中澤伸夫（2015）牧草と長大飼料作物生産における燃料消費量と作業能率．長野畜試研報 33：4-13
- Heinger R (2018) Harvesting Corn: What grain moisture should I harvest corn at? NC State University, NC, US. <https://corn.ces.ncsu.edu/2018/08/harvesting-corn-what-grain-moisture-should-i-harvest-corn-at/> [2024 年 12 月 26 日参照]
- 稲野一郎・石井耕太・木村義彰・竹中秀行（2017）水田地帯におけるトウモロコシ子実の収穫乾燥工程の策定と所要エネルギーの推定．農作業研究 52（4）：167-178
- 金井源太・篠遠善哉・山下善道（2018）トウモロコシ子実の循環式乾燥機による乾燥試行および市販水分計による水分測定．農業施設 49（2）：28-34
- 経済産業省（2022）アメリカ産・ブラジル産エタノールのライフサイクル GHG 排出量の既定値の見直しについて．経済産業省，東京．
- Khan SA, Mulvaney RL, Ellsworth TR, Boast CW (2007) The myth of nitrogen fertilization for soil carbon sequestration. *J Environ Qual* 36:1821-1832
- 小林 久（2006）輸入飼料の地域別ライフサイクル・エネルギー消費量および GHG 排出量データベース．バイオマス利活用システムの設計と評価．農研機構，つくば，p253-261
- 幸田和也・篠遠善哉・内野 宙・金井源太・上垣隆一（2023）コーンヘッダを用いたトウモロコシ子実の高水分収穫が収量、かび毒濃度および生産コストに及ぼす影響．農研機構研報 14：29-33
- 林 清忠・正嶋宏一・牧野直樹・内田 晋（2012）農薬製造の環境影響を評価する諸手法の比較．第 7 回日本 LCA 学会研究発表会（講演要旨）：156-157
- 松尾守展（2017）不耕起圃場に対応したトウモロコシ播種機の改良と現地試験．農業食料工学会誌 79（2）：96-99
- 農業環境技術研究所（2003）環境影響評価のためのライフサイクルアセスメント手法の開発研究成果報告書．農業環境技術研究所，つくば，p1-96
- 農研機構（2023）土壌の CO₂ 吸収「見える化」サイト標準作業手順書．農研機構，つくば，p1-47
- Wilcke W (2018) Energy costs for corn drying and cooling. University of Minnesota, MN, US, <https://extension.umn.edu/corn-harvest/energy-costs-corn-drying-and-cooling> [2024 年 12 月 26 日参照]
- Xu H, Cai H, Kwon H (2019) Update of Direct N₂O Emission Factors from Nitrogen Fertilizers in Cornfields in GREET® 2019. Systems Assessment Center, Energy Systems Division, Argonne National Laboratory, IL, US, p1-5

7章 取組事例

1) 岩手県花巻市（寒冷地）

耕畜連携による生産拡大

取組概要:

- 岩手県花巻市の水田で子実トウモロコシ 18ha を生産。
- 全量を、同じ花巻市内でブランド豚を生産、販売する養豚経営に出荷するとともに、養豚経営から堆肥の供給を受ける耕畜連携に取り組む。
- 国産飼料による畜産物のブランド力向上、大量の堆肥の消費などを背景に、トウモロコシ子実の高単価取引を実現。

取組の契機・ねらい

- 小麦、大豆に加えた、新たな畑輪作の選択肢として導入。
- 小麦、大豆と機械の汎用利用が可能で、作期も異なるため、労働力と機械を有効活用できる作物として位置付け。
- 圃場の合筆による大区画化と海外製コンバインなどの大型機械の導入により、生産の効率化を図る。

A 経営の概要

法人格	有限会社
労働力	役員3名、従業員2名（うちオペレーター3名）、小麦収穫時に臨時雇用あり
経営面積	95ha（延作付面積98ha）
作目構成	水稻28ha（うち、乾田直播13ha）、小麦41ha、大豆8ha、麦後大豆3ha、子実トウモロコシ18ha
出荷先	実需への直接販売を中心にして、水稻、小麦の一部はJAIに出荷

耕種概要・延労働時間(h/10a)

3月 から	堆肥散布	0.40
	心土破碎	0.06
	耕起(プラウ耕)	0.15
	基肥散布	0.04
	土壌改良剤散布	0.04
	碎土・整地	0.10
5月 下旬	播種	0.07
	鎮圧	0.02
	雑草防除(土壌処理)	0.08
6月 下旬	追肥	0.03
	雑草防除(茎葉処理)	0.08
7月	害虫防除(ドローン)	0.09
10月 下旬	収穫	0.34
	残穢処理(ディスク)	0.07
	乾燥・梱包	0.13

※基肥、土壌改良剤散布、雑草・害虫防除、収穫は2名での作業による延労働時間。その他、圃場外作業として、種子予措 0.05/10a、畦畔管理 0.20/10a。作業時間は作業調査(2019年)、聞き取り調査(2024年)に基づく。

取組の経過

年度	栽培面積 (ha)	出荷量 (t)	備考
2013	0.7	4	取り組み初年度。乾燥子実で出荷。
2015	4.6	38	子実サイレージでの出荷開始。
2018	8.6	72	コーンヘッダの導入。
2020	12	76	モバイルドライヤ導入、再び乾燥子実での出荷に移行。
2023	18.6	128	ドローンによる殺虫剤散布開始。

今後の課題・展望

- 生産者団体で情報の共有を通じた収量・品質の改善
- 養豚経営の利用量に応じた流通・利用体制の見直し

解説

① 取り組みの経過と概要

岩手県花巻市のA経営は、北海道で子実トウモロコシの生産が広がりつつあるという情報を受け、2013年度に子実トウモロコシの生産を開始した。2013年度の子実トウモロコシ栽培面積は試験的な0.7haであったが、2023年度には18.6haまで拡大し、2024年度も18haに作付けしている。トウモロコシ子実は、同じ市内の養豚経営に、栽培初年度から全量を出荷している。

A経営は、子実トウモロコシを、輪作の選択肢の一つとして、また、省力的で限られた人員でも面積を上げられ、年間労働の平準化や他作目との作業機の汎用利用が図れる作物として経営内に位置付けている。例えば、A経営では収穫適期を考慮して、大豆は10ha前後、小麦は40ha前後で作付面積がほぼ固定されているが、子実トウモロコシの播種・収穫時期はA経営の他の作物と重複しないため（図7-1-1）、新たに経営面積を拡大することを可能にしている。また、子実トウモロコシ生産に用いる機械は、そのほとんどを、小麦、大豆と汎用利用しているため（表7-1-1）、機械の稼働効率は向上し、10aあたりの農機具費の低減に寄与している。このように、子実トウモロコシの導入により、経営全体の収益を向上させる意図がある。

これまでに、子実のサイレージ化による屋外保管、コーンヘッダの導入、モバイルドライヤの導入、ドローンによる殺虫剤散布など、生産の効率化や品質・収量の向上に向け、試行錯誤を重ねてきた。近年では、年出荷量は100tを超え、反収も700kg/10a前後で安定している。

② 経営概要

A経営は、2024年度、95ha（延作付面積は98ha）を経営する。作目は、水稻28ha（うち、乾田直播13ha）、小麦41ha、大豆8ha、麦後大豆3ha、子実トウモロコシ18haである。労働力は家族（役員）3名、従業員2名（オペレータは計3名）に加え、小麦収穫時の臨時雇用である。2005年に法人化（有限会社化）している。

A経営のある地域は、農業地域類型では水田型の平地農業地域に分類されているが、A経営は、作業の効率性などの観点から水田転作を進め、畑作物が経営の中心となっている。

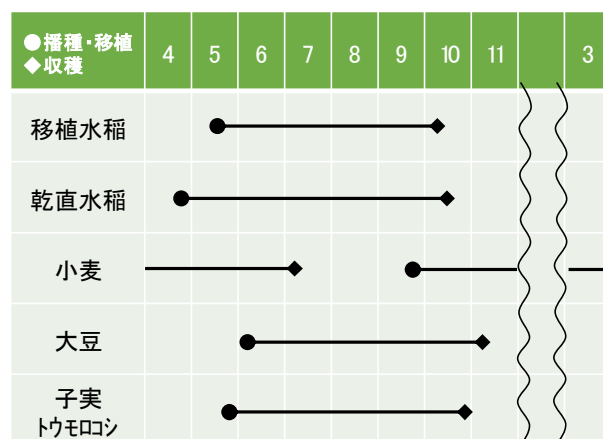


図7-1-1 A経営の栽培暦

表 7-1-1 A 経営の子実トウモロコシ栽培に用いる機械と利用状況

	子実トウ モロコシ	小麦	大豆	乾直 水稻	移植 水稻
トラクタ(150ps)	○	○	○		
トラクタ(120ps)	○	○	○	○	
トラクタ(90ps)	○	○	○	○	
トラクタ(66ps)	○	○	○	○	
フロントローダ(トラクタ)	○	○	○		
乗用管理機	○	○	○	○	
普通コンバイン(200ps)	○	○			
農業用ドローン	○		○	○	○
サブソイラ	○	○	○		
ボトムプラウ	○	○	○	○	
フロントパッカ	○	○	○		
ディスクハロー①	○	○	○	○	
ディスクハロー②	○	○	○		
ケンブリッジローラ	○	○	○	○	
マニユアスプレッダ	○	○	○		
ブロードキャスタ	○	○	○	○	○
真空播種機	○		○		
コーンヘッダ	○				
運搬用ダンプ	○	○	○	○	○

また、水稻では、畑作向けの機械を活用できるプラウ耕・鎮圧体系乾田直播を導入している。A 経営の営農する地区では、30a 区画で圃場整備が実施されているが、A 経営は隣接する水田を合筆して、1 枚を 60～120a 区画にし、高出力のトラクタ・コンバイン、フロント作業機など、大型の機械を活用できるようにするとともに、GNSS ガイダンスなどのスマート農業技術の導入やディスクハローなどの高速作業が可能な作業機の活用により、作業全体の効率化を図っている。

③ 生産概要

本節の冒頭に子実トウモロコシ栽培の作業内容と延労働時間を示した。品種は RM108 のものを利用する。

圃場準備は、4～5 月頃にマニユアスプレッダで堆肥を散布し（図 7-1-2）、サブソイラによる心土破碎、ボトムプラウによる耕起を行う。その後、ブロードキャスタによる基肥、土壌改良材（炭酸苦土石灰）散布を経て、フロントパッカ・ディスクハローの同時作業により整地する。フロント作業機を用いることで、圃場作業の回数を減らしている。圃場準備の作業は、大豆、小麦と共通である。トウモロコシ子実の販売先の養豚経営では、糞尿を堆肥化して処理しており、その堆肥を 500 円/2t（圃場までの運賃込み）と通常より安価で購入し、4t/10a 施用している。一方で基肥は化成肥料（14-14-14）40～60kg/10a に抑えている。

播種は 5 月下旬で、高精度な播種が可能な真空播種機を用いる。設定播種密度は約 7,000 粒/10a である。種子にはチウラム（キヒゲン R-2 フロアブル）を塗沫する。播種の後には、ケンブリッジローラで鎮圧している。

播種後は、除草剤をブームスプレーヤで 2 回（播種直後の土壌処理及び約 1 ヶ月後の茎



図 7-1-2 養豚経営の堆肥を利用



図 7-1-3 コーンヘッドによる収穫



図 7-1-4 乾燥にはモバイルドライヤを併用

葉処理の各 1 回)、散布する。2023 年度は、土壌処理にジメテナミド P・ペンディメタリン（モーティブ乳剤）、茎葉処理にトプラメゾン（アルファード液剤）を用いた。6 月下旬にブロードキャストで尿素 7kg/10a を追肥する。また、2023 年度から、アワノメイガ被害への対策として、この年に子実トウモロコシに適用が拡大されたクロラントラニリプロール（プレバソンフロアブル 5）を 7 月下旬にドローンで散布している。その他、圃場への雑草侵入防止のために、畦畔除草を 1 回行っている。

収穫は、水稻の収穫後、大豆の収穫前となる 10 月下旬で、海外製の普通コンバイン（200ps クラス）にトウモロコシ子実収穫専用のコーンヘッドを装着して行う（図 7-1-3）。小麦などに用いるリールヘッドでもトウモロコシ子実の収穫は可能だが、コーンヘッドの利用により作業の高速化や収穫ロスの低減が見込める。A 経営では、2018 年からコーンヘッドを導入し、収穫速度はリールヘッドの約 1.5 倍になった。1 日の収穫可能面積は約 7ha である。

収穫した子実は、乾燥して出荷している。汎用穀物乾燥機に加え、高温で乾燥できる海外製のモバイルドライヤを併用し（図 7-1-4）、乾燥調製の効率化を図っている。乾燥前に粗選を行い、夾雑物を除去している。なお、取り組み開始当初も乾燥子実で出荷していたが、2015～2019 年度は保管場所の制約から、ラッピングすることで屋外でも保管可能な子実サイレージに調製し、出荷していた。サイレージの調製方法にはフレコンラップ法などを用いていたが、調製には作業者の人数確保が必要なこと、作業を委託する場合もその分の費用がかかること、また、利用する養豚側でも、給餌ラインを通すために、サイレージを一度乾燥する必要があったことなどから、出荷量の増加に伴い 2020 年度から、生産側、利用側の双方が扱いやすい乾燥体系に移行した。

乾燥した子実はフレキシブルコンテナバッグ（フレコンバッグ）で出荷する。子実の販売先である市内の養豚経営には、A 経営側から販売を打診し、取引が始まった。養豚経営は、母豚約 600 頭の一貫経営、年間出荷頭数は約 1 万頭で、自社ブランド豚の飲食店向けへの直接販売を中心にしている。A 経営と養豚経営農場の間の直線距離は約 8km で、子実は養豚経営または A 経営により 12 月～翌年 3 月にかけて順次搬出される。保管はフレコンバッグの状態で、屋内外に定置される。屋外保管となる場合は、フレコンバッグ一つずつにカバーをかけている。養豚経営は、月に約 300t の配合飼料を利用しており、配合飼料のバルク車で搬入時に、地場産の飼料用米とともに、配合飼料の量に応じたトウモロコシ子実を粉碎し、配合飼料と混和して利用している。トウモロコシ子実の割合は、配合飼

料の設計変更の必要が生じない、5%未満を目安としている。養豚経営は国産飼料の積極利用をブランドの差別化につなげようとしている。また、養豚経営にとって、子実トウモロコシを通した耕畜連携は、堆肥の大量利用といったメリットもある。

④ 生産コスト

A 経営の実態を基に栽培、収穫後の乾燥調製に係るコストを試算した。農機具・自動車費には、償却費と修繕費を計上し、延べ利用面積に基づき按分した（表 7-1-2）。農機具・自動車の実際の取得時期にはばらつきがあるものの、ここでは全て償却期間中とみなし、A 経営の取得価額に基づき、法定耐用年数（中古品の場合は、必要に応じ、耐用年数を減じた）で償却費年額を試算した。修繕費には「高性能農業機械等の試験研究、実用化の促進及び導入に関する基本方針参考資料」の修理費係数を用いた。物件税及び公課諸負担には、農機具・建物の取得価額を基に算出した固定資産税、自動車関係諸税、自賠責もしくは自賠責相当共済掛金の償却期間中 1 年あたりの金額を計上し、延べ利用面積に基づき按分した。労働時間は作業調査（2019 年）による実測ならびに聞き取り調査に基づいた。燃料消費量は文献値（北海道 2014）を用いた。乾燥工程の農機具費にはライスセンターのライン 1 式（荷受けホッパ、粗選機、乾燥機、放冷タンク、コンベア等）、フォークリフトの償却費、修繕費を計上している。光熱動力費は、文献値（金井ら 2018）、カタログ値を用い、A 経営の収穫時の子実含水率や、乾燥時間の実態に基づき試算した。建物費（車庫、ライスセンター）は法定耐用年数に基づく償却費年額を作付面積で按分した。反収は A 経営の 2023 年度収量実績（690kg/10a、製品含水率 13%）に基づいた。

表 7-1-2 栽培コスト試算における農機具・自動車費の内訳

	農機具・自動車費 年額(円/10a)
トラクタ(150ps)	4,278
トラクタ(120ps)	2,404
トラクタ(90ps)	1,593
トラクタ(66ps)	179
フロントローダ(トラクタ)	1,425
乗用管理機	989
普通コンバイン(200ps)	6,510
農業用ドローン	328
サブソイラ	517
ボトムブラウ	524
フロントパッカ	373
ディスクハロー①	486
ディスクハロー②	370
ケンブリッジローラ	253
マニユアスプレッタ	746
ブロードキャスタ	148
真空播種機	2,058
コーンヘッダ	8,190
運搬用ダンプ(2台)	1,769

農機具・自動車費には法定耐用年数に基づく償却費、修理費係数に基づく修繕費を計上し、延べ利用面積に基づき按分した。

試算の結果を、表 7-1-3、表 7-1-4 に示した。収穫までの栽培に係るコストは 71,599 円/10a (103.8 円/kg)、調製コストは 17,289 円/10a (25.1 円/kg)、栽培と乾燥の合計は 88,888 円/10a (128.8 円/kg) と試算された。養豚経営への輸入トウモロコシを上回る価格での販売や、交付金（畑作物産地形成促進事業、畑地化促進助成）等の受給を前提とすると、おおよそ収支は均衡する。子実トウモロコシの販売価格は安価であるため、利益を確保するには、A 経営のように機械の汎用利用により、農機具費の低減を図るとともに、耕畜連携による堆肥の活用など、コスト削減の工夫が求められる。また、販売面では、高単価での取引につながるよう、国産飼料の利用による畜産物のブランド価値向上や、堆肥の消費など、畜産側のメリットを明確にし、販路開拓や価格協議を行う必要があると言えよう。なお、A 経営は、農機具の法定耐用年数を超えた利用を前提に、堅牢な外国製農機具を中心

表 7-1-3 A 経営の実態に基づく栽培コスト(収穫まで)の試算結果

費目	費用(円/10a)
種苗費	4,120
肥料費	11,341
農業薬剤費	3,067
光熱動力費	3,427
土地改良及び水利費	3,500
物件税及び公課諸負担	630
建物費(車庫費)	656
農機具・自動車費	33,140
労働費	2,718
地代	9,000
合計	71,599

種苗費、肥料費、農業薬剤費は、A 経営の 2023 年度実績に基づく。肥料費は、化成肥料 60kg/10a 施用の場合とした。

光熱動力費のうち、軽油の単価は、資源エネルギー庁「石油製品価格調査」軽油（岩手）の 2023 年の平均値から軽油引取税を免税した 115.1 円/L とし、潤滑油費は燃料費の 3 割とした。

土地改良及び水利費、地代は当地の実態に基づく。

労働費の単価は当地のオペレーター賃金を参考に 1,500 円/h とした。

表 7-1-4 A 経営の実態に基づく乾燥コストの試算結果

費目	費用(円/10a)
諸材料費(フレコンバッグ)	1,486
光熱動力費	1,693
物件税及び公課諸負担	1,082
建物費(ライスセンター)	2,751
農機具・自動車費	10,077
労働費	200
合計	17,289

光熱動力費のうち、灯油の単価は、資源エネルギー庁「石油製品価格調査」配達灯油（岩手）の 2023 年の平均値の 114.8 円/L、電気料金は東北電力・低圧電力を参照し、25.64 円/kWh とした。

労働費の単価は当地のオペレーター賃金を参考に 1,500 円/h とした。

に装備しており、実際に多くの農機具が既に法定耐用年数を超過しているため、農機具の利用期間全体でみたときの生産コストは、本試算よりも縮減されと考えられる。

⑤ 今後の課題

A 経営では、子実トウモロコシの生産開始から 10 年以上が経過し、栽培面での技術は確立しつつある。収量、品質の更なる向上に向けて、子実トウモロコシの生産者でつくる団体に、情報を累年で蓄積し、共有するなどして、各経営での改善につなげることを試みている。今後、生産量を拡大するには、現在の貯蔵や利用の方法が支障になる可能性があり、利用量に応じた流通・利用体制の見直しが必要である。

<引用文献>

北海道（2014）北海道における特定高性能農業機械の導入に関する計画・農業機械導入計画策定の手引き．北海道農政部生産振興局技術普及課，札幌，p1-80

金井源太・篠遠善哉・山下善道（2018）トウモロコシ子実の循環式乾燥機による乾燥試行および市販水分計による水分測定．農業施設 49(2)：28-34

2) 千葉県成田市（暖地） 早まき及び多収品種の利用

取組概要:

- 千葉県成田市（暖地）で水田 50 ha のうち約 10ha で子実トウモロコシを生産（他にイネを 30ha、ダイズを 10ha）
- 農林水産省委託プロジェクト研究「子実とうもろこし安定生産」の現地実証試験に協力（R4-6）
- この中で、排水対策を講じた水田転換畑において、従来からの堆肥主体の肥培管理に加え多収品種の採用等により増収・低コスト化を実現。

取組の契機・ねらい

- 圃場の集積が進む一方で、個人経営での労働力の限界により水稻のみではこれ以上の規模拡大が難しく、単位面積あたりの投下労働時間が少ない子実トウモロコシに着目して 2014 年より栽培を開始。
- 圃場の大区画化による省力生産と、水稻のほか、イネ WCS（乾田直播）やダイズ用の農業機械・施設を子実トウモロコシでも汎用利用することで、更なる規模拡大と低コスト化を目指す。

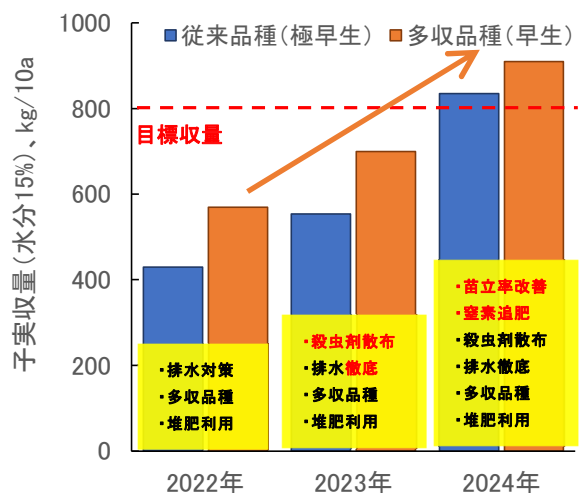
子実トウモロコシ生産に係る労働時間の概要(2024)

	労働時間 (h)	労働者数 (人)	10a 当りの労働時間 (h/10a)
堆肥散布（鶏糞）	14	2	0.29
施肥（化成肥料）	10	1	0.10
播種・整地	24	1	0.25
雑草防除（土壌処理）	26	1	0.27
雑草防除（茎葉処理）	24	1	0.25
追肥	8	1	0.08
殺虫剤散布	20	1	0.21
畦畔除草	24	1	0.25
収穫作業	38	1	0.39
乾燥	0	1	0.00
荷詰め	19	1	0.20
合計	207		2.29

耕種概要

3 月 までに	堆肥散布、施肥（尿素） 碎土（ディスクハロー） 額縁明渠
4 月 田植前	播種（耕うん同時畝立て播種） 雑草防除（土壌処理）
5 月	雑草防除（茎葉処理）
6 月	害虫防除（ドローン散布）
8 月 稲刈前	収穫（中型汎用コンバイン） 残渣処理（フレールモア） 乾燥（汎用穀物乾燥機） 計量 一次貯蔵・出荷

技術導入の効果



今後の課題・展望

- 大ロット安定供給を目的とした地域の産地化
- 販路の拡大
- 耕畜連携の推進

解説

① 取り組みの経緯と概要

生産者 B は千葉県成田市（暖地）に位置し、主に水田農業を行う専門経営である。子実トウモロコシの栽培を始めたきっかけは、水稻栽培においては、水管理や畦畔管理等の労力が大きく労力的に規模拡大等が難しくなるため、畑作物を導入していくことが必要と考えたためである。畑作作業機体系の活用（機械や施設を水稻、ダイズ等と汎用的に使う）、投下労働時間あたりの収益増（作目や作期を分散して限られた機械・労働力で収益を上げる）、ダイズなど他品目の生産性向上への貢献（トウモロコシ作付けによる圃場の排水性や雑草・病虫害被害の改善、品質や反収の向上）、圃場への有機物還元等の効果も期待している。子実トウモロコシの作付けは、2014 年の 0.6ha から始まり毎年約 1ha の割合で増やし、2023 年には約 10ha に達している。2022 年からは、農林水産省委託プロジェクト研究「子実とうもろこし安定生産」（代表機関 農研機構）の現地実証試験に協力する中で、従来からの堆肥主体の肥培管理技術に加え、田植え前の早まきで作業競合を緩和するとともに、多収品種（早生品種）の採用や排水対策（自前で施工した暗渠に加え、額縁明渠や耕うん同時畝立て播種）を徹底したことで 2023 年は前年に比べ 2 割以上の増収となった。さらには、2023 年に適用拡大されたアワノメイガ防除に向けた殺虫剤や追肥のドローン散布など、新たな技術を積極的に経営に導入して、2024 年についても 2023 年に比べ 3 割以上の増収と生産コストの削減が確認されている。

② 経営概況

生産者 B の 2023 年の経営耕地面積は全体で 50ha であり、うち 47.5ha が借地である。栽培作目は水稻 30ha、大豆 10ha、トウモロコシ 10ha となっている。水稻のうち、飼料用米 4ha、加工用米 17ha で残りの 9ha が主食用米である。2024 年は借地が増えたことで経営面積は 54ha となったが、ブロックローテーションの関係で子実トウモロコシの面積を 6ha に抑え、水稻 38ha（イネ WCS の 7.6ha 含む）、大豆 10ha となっている。水田転換畑を合筆して畦畔を取り除き、最大で 1 枚 1.4ha の緩傾斜を付けた縦長の大区画圃場などに子実トウモロコシを作付けすることで、作業の省力化と高能率化、表面排水の促進を実施している（図 7-2-1、7-2-2）。



図 7-2-1 耕うん同時畝立て播種作業



図 7-2-2 播種後の苗立ちの様子

労働力はこれまで生産者 B 本人と夫人の 2 人であったが、生産組合の理事など農業経営以外の業務が多忙になったことから 2023 年の途中からは農業法人で 10 年以上の経験を有する 1 人を雇用している。大型のトラクタや収穫機などによる機械作業はこの雇用者と分担し、アワノメイガの防除や窒素の追肥に向けて導入したドローンの操作は生産者自らが行う。

③ 子実トウモロコシの生産

子実トウモロコシの栽培スケジュールは、ここ数年は田植え前の 4 月初旬～中旬に播種を済ませ、イネ刈り前の 8 月中に収穫を終えることにしており、委託プロジェクト研究の現地実証試験の中で多収品種（早生品種）による増収と作業競合や台風による倒伏リスクの削減を狙った「早まき多収栽培技術の現地実証」に全面的に協力している。これまでは、4 月初旬の低温障害を避けるため極早生品種を採用していたが、委託プロジェクトの中で増収効果の大きな多収品種（早生品種）の栽培でも早まきによる問題は生じていないことから、現在は他の圃場でも早生品種に切り替えて増収を目指している。

4 月初旬～中旬に播種するために、肥料散布、ディスクハローによる碎土、額縁明渠の施工を 3 月中に完了する。肥料については、以前より近隣から鶏糞堆肥や牛糞堆肥を購入して利用していたが化学肥料が主体であった。肥料価格の高騰の影響もあり肥料設計を見直した結果、リン酸と加里は鶏糞堆肥で全量を代替でき、足りない窒素を尿素で補充したことで投入資材の節減とコスト削減が図られた。また、2024 年からは、基肥で施用する尿素をやや減らし、その分をトウモロコシの 7 葉期頃にドローンを用いて追肥している。

4 月初旬～中旬の播種作業は、農研機構で開発した耕うん同時畝立て播種を採用したことで、耕うんと畝立て、播種作業を 1 工程で同時に行えるため、天気の影響をあまり受けず播種作業が可能となった。すなわち、これまでは播種床造成と播種作業を別の日に行うため乾いた圃場条件が数日続かないと作業できなかったが、耕うん同時畝立て播種により雨天の合間に 1 日でも圃場が乾けば、その圃場の播種作業を 1 日で完了できるようになった。さらには、畝間と圃場の緩傾斜方向の高低差を利用した効果的な表面排水も可能となった。

雑草防除は播種後の土壌処理と、トウモロコシ 6～7 葉期頃（田植え後）の茎葉処理の 2 回実施する。2023 年からは、アワノメイガ対策として、新たに適用拡大された殺虫剤のドローン散布も雄穂抽出期に合わせて実施を始めた。殺虫剤や追肥のドローン散布作業を除き、耕うん同時畝立て播種や雑草防除など栽培管理に関する作業はほぼ全て自動操舵装置を活用しており、春に日中の水稻の作業後、夕方にトウモロコシ関連の作業を行う場合など作業中の視野が悪くなる時は特に、自動操舵装置の有効性を実感している。

収穫は稲刈り前のお盆明けから実施し、稲刈りと競合しないように 8 月中には終了する。委託プロジェクト期間中（2022～2024 年）は調査の一環で 2020 年（令和 2 年）から販売が始まった 70 馬力級の中型汎用型コンバインを使用しており、100 馬力級の機種と遜色のない作業能率であることを確認している。これまでのリールヘッドの利用では子実含水率が 25%に下がるまで収穫できなかったが、コーンヘッドの利用により子実含水率が 30%程度に下がれば収穫可能となった。また、作業中に小雨が降って茎葉が少し濡れても収穫作業を継続できること、軽度の倒伏であれば大きく能率を落とさずに収穫できることなど

を確認できた。

収穫したトウモロコシ子実は、生産者 B が所有する穀物乾燥機で乾燥する。2023 年までに 80 石の汎用遠赤乾燥機 2 台と同容量の冷却タンク 2 台を子実トウモロコシも対応可能な機種に更新したことで、1 日の収穫量が 20t（収穫面積で 3ha 程度）でも乾燥可能となり、乾燥工程が収穫作業のボトルネックにならず余裕を持った作業スケジュールを立てられる。冷却タンク内の子実トウモロコシは、天候や収穫作業の進捗をみながら一時貯留するか排出するかが決定される。排出時はフレコンバッグに約 1t ずつ計量されながら小分けされ、その後時間をおかずに畜産農家等に出荷される。

水田転換畑での子実トウモロコシの導入は、圃場における排水性の改善や連作障害の低減による次作の大豆の品質や収量の改善についても期待されている。また、子実トウモロコシは省力的な作物であるため、他の作物と競合しがちな春先の作業に対応できれば、それ以降の労働負担を大きく軽減できるとのことである。



図 7-2-3 中型汎用コンバインでの収穫



図 7-2-4 穀物乾燥機と冷却タンク

④ 生産費

圃場での生産体系は、前出の通り田植え前の早まき、多収品種（早生品種）の導入、コーンヘッダを装着した中型汎用コンバインによる高精度収穫作業を組み合わせることで反収の増加を目指している。また、肥料費削減のために化学肥料に変えて堆肥の導入を以前から行っている。なお、播種密度は 7,200 粒/10a である。これらの生産に要するコストを表 7-2-1 に示した。また、使用した農薬とその費用については、表 7-2-2 に示した。生産費については、慣行と比べて収穫物 1kg あたりのコストが約 17%削減されている。この主要因については多収品種の導入による収量の増加と考えられる。また、家畜糞堆肥主体の肥培管理にすることで、化学肥料を主体とする慣行法と比べて 10a あたりの肥料費が約 27%削減された。乾燥調製のコストを表 7-2-4 に示したが、貯蔵・流通のためのコストは後述の通り発生していない。

⑤ 出荷

出荷先の畜種については、乳牛、肉牛、鶏となっている。子実トウモロコシの出荷単価

は 50～70 円/kg である。出荷量については鶏が最も多い。なお、出荷物については基本的に出荷先が取りに来る農場渡しであり、必要に応じて一部を生産者 B が 2t トラックにより運搬することもある。

⑥ 今後の課題・展望

現在生産法人が今後の目的としているのは、産地化により当該地域における子実トウモロコシの生産を増加させ、取引量を増やすことである。以上を目的とする理由は、地域における取扱量を増やし、1,000t 規模にすることが出来れば、サイロ利用（共同利用施設の新設あるいは飼料メーカーの既存サイロ）による安定的な貯蔵方法が可能になり、これにより、実需側に安定供給できるようにし、販路が拡大するためである。また、耕畜連携については 2024 年より新たな畜産業者より堆肥が導入され、今後も導入先の拡大が期待される。

表 7-2-1 収穫までの 10a あたりの生産費（2024 年）

★ シナリオ	慣行（2024）	新体系（2024）
品種条件	極早生	早生（多収）
肥料条件	化学肥料	堆肥主体
収穫機条件	大型	中型
★ 収量当たりのコスト		
収量水準（水分15%）、kg/10a	835	909
収穫物あたりのコスト、円/kg	102	85
★ 10a当たりのコスト内訳		
種苗費	5,200	5,200
肥料費	8,137	5,916
農業薬剤費	8,091	8,091
燃料費	1,473	1,473
農業機械費（修繕費含む）	34,828	29,237
労働費	4,364	4,426
地代	21,511	21,511
その他	1,778	1,778
合計	85,382	77,632

注 1：慣行については調査結果に基づく試算値

注 2：労働費については 1,500 円/h で計算

表 7-2-2 農業薬剤費詳細 (2024 年)

農薬種類	単位：円/10a
ジメテナミドP・リニュロン (エコトップP乳剤)	2,524
アトラジン・S-メトラクロール (ゲザノンゴールド)	1,796
グリホサートカリウム塩 (ラウンドアップ乳剤)	377
クロラントラニリプロール (プレバソンフロアブル5)	1,480
トプラメゾン (アルファード液剤)	1,914

表 7-2-4 10a あたりの乾燥費
(表 7-2-1 の新体系の場合)

機械	単位：円/10 a
諸材料費 (フレコンバッグ)	958
光熱動力費	1,422
建物費	1,068
農機具	5,406
労働費	446
合計	9,301

注 1：建物費は出荷までフレコンバッグを一

時保管するための倉庫の減価償却費を計上

注 2：光熱費については、2023 年の調査結果
を 2024 年の反収で換算した灯油代と電気代
を計上

表 7-2-3 10 a あたりの子実トウモロコシの収穫
までに係る減価償却費 (2024)

機械		単位：円/10 a
トラクタ	トラクター①（130馬力）	2,403
	トラクター②（115馬力）	1,469
	トラクター③（88馬力）	1,869
	トラクター④（85馬力）	1,335
ハンマーモア	ハンマーモア①	401
	ハンマーモア②	267
ブロードキャスター		214
ブームスプレーヤー		1,602
ドローン		481
コンバイン（大型）		12,954
コンバイン（中型）		7,363
大豆播種機	大豆播種機①	1,520
	大豆播種機②	760
トラック2 t		547

注 1：収穫までの作業には上記の所有機械の他に、トラ
ック 3t とホイールローダ、マニュアルスプレッダを 1 台ず
つリースしており、表 7-2-1 の生産費には農業機械費と
して計上している。

3) 山形県庄内地域における取り組み（スマート・テロワールプロジェクト）

① スマート・テロワール構想

スマート・テロワールとは、地域の自然環境に農業技術や加工技術などの生産技術と、消費者の評価や購入意欲などの消費活動を加え、これらを共有するユニットのことであり、山形大学では農業と食品に関する経済を地域内で循環させることにより、持続的で強靱な循環型農村経済圏を築くことをスマート・テロワール（以下、スマテロ）と呼んでいる。山形大学では本構想（循環型農村経済圏の構築）の実現に向け、農学部附属高坂農場が運営の中心となって、庄内地域の農業者（耕種農家や畜産農家）、加工業者や小売店などが連携し、様々な実証実験（スマテロプロジェクト）に取り組んでいる。具体的な取り組みとしては、地域の風土を活かして耕種農家と畜産農家の連携によって土壌を改善しながら農畜産物を生産する（耕畜連携）。次に農業者と地域の加工業者が連携し、生産した農畜産物を原料とした加工食品を製造する（農工連携）。さらに、加工業者と地域のスーパーマーケットなどの小売店が連携して、その加工食品を地域内で販売する（工商連携）。そして地域の消費者が望む商品として地域の消費者に提供する（地消地産）。特に、スマテロ構想では、地域の消費者が望むものを地域で生産することを目指していることから、「地産地消」ではなく、「地消地産」という語句を用いている。ここでは、スマテロ構想の実現に向けて取り組んでいる子実トウモロコシ関係の実証実験を中心に紹介する。

② スマート・テロワール構想における子実トウモロコシの位置づけ

実証実験を行っている山形県庄内地域は2市3町からなり、耕地面積 41,330ha のうち、水田が 36,110ha であり、耕地面積に占める水田の割合（87%）が極めて高い地域であり、庄内平野を抱えた日本でも有数の稲作地帯として知られている。一方、庄内平野の東方には日本百名山のひとつである出羽三山の主峰「月山」がそびえており、その山麓の月山高原から平坦な水田地帯までの広大な地域で耕種農業が行われている（図 7-3-1）。月山高原の畑作地帯ではエダマメや赤カブ、ニンジンやダイコン、バレイショなどの畑作作物を中心に、新たにコムギと子実トウモロコシを組入れた輪作体系に取り組んでいる。また、水田地帯においては、エダマメを含めたダイズを中心に転作が行われてきたが、連作障害による反収の低下が著しく、その対策として山形大学では転作作物として、子実トウモロコシの導入を推進している。なお、月山高原の畑作地帯でも、庄内平野の水田地帯でも、基幹農業者の高齢化によって耕作放棄地の増加とともに担い手に農地が集積しつつあり、労働生産性の高い子実トウモロコシが注目されつつある。



図 7-3-1 実証実験を行っている山形県庄内地域

山形大学が実施した現地実証実験において、国産ハーベスタ（汎用型コンバイン（中型））を用いた子実トウモロコシ収穫後の有機物の圃場還元量の調査では、地上部だけで乾物重量で 600kg/10a 以上の有機物が圃場に還元され、堆肥の施用と合わせて土壌の窒素循環活性の向上が図られていた。さらに、トウモロコシの根は土中深くまで伸長し、耕盤を破壊

することによる水捌けの改善効果も認められていることから、耕種農家は子実トウモロコシを畑（圃場）への投資作物として位置付け、子実トウモロコシ導入の意義を単作での収益性でなく、後作物の収量や品質の向上など、輪作体系全体を通した収益性の向上に求めることによって、少しでも安価に畜産農家へ供給していただくことに期待している。

③ 庄内地域における子実トウモロコシの作付面積の推移と収量

当該地域における子実トウモロコシの導入は、2016 年度のスマテロ構想に賛同する 1 戸の生産者（耕種農家）の協力による実証実験圃に始まり（作付面積約 0.3ha）、その後、生産者が保有のダイズ栽培に用いている目皿式播種機と、機械メーカーのデモ機を活用した収穫機の体制で取り組みを継続し

（2019 年度の作付面積約 1.5ha）、2021 年度から山形大学の自己資金や外部資金（クラウドファンディングなどの活用）などを活用してトウモロコシ対応の中型の汎用コンバイン（コーンヘッダを含む）を導入して実証実験に取り組んでいる。

山形大学では、地域の耕種農家に対して、展示圃での収穫実演会や講演会、コムギやダイズ（エダマメを含め）などの畑作物の輪作体系に組込む一つの作物としての子実トウモロ

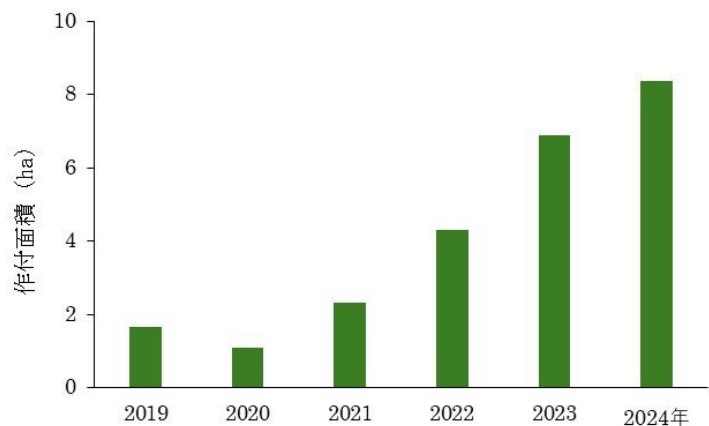


図 7-3-2 山形県庄内地域の子実トウモロコシ作付面積の推移

コシの位置づけや効果などの理解醸成を図り、2024 年度の栽培農家戸数は 3 戸、作付面積は約 8.5ha に拡大した（図 7-3-2）。さらに、月山高原の畑作地帯と庄内平野の水田地帯に加えて、庄内平野の西側に位置する庄内砂丘地（メロンやスイカなどの園芸作物と花卉栽培が中心）においても、耕作放棄地からの復旧作物として子実トウモロコシの導入が検討されている。

実証実験における子実トウモロコシの収量（子実含水率 15%換算収量）は、最低収量から最高収量までの圃場間による反収のバラツキは非常に大きい（図 7-3-3）。その要因の一つは水田転換畑での排水不良による湿害の影響である。一方、畑地や乾田化した水田転換畑における低収量の要因として、放棄地となってから年数の経過やダイズの極端な連作、過去の来歴に有機物の投入が行われていないことなどによる土壌の質の劣化などがあげられる。その他、品種に適した栽植密度が十分に確保されていないことも低収につながっている大きな要因である。当該地域では耕種農家が子実トウモロコシを導入する場合、ダイズの播種に用いている目皿式播種機を活用することが多く、目皿の孔径と種子のサイズや形状が合わない、目皿に種子が詰まって極端な疎植になり、十分な栽植本数が確保できていないために大きな減収となっている。以上のように、生産現場では収量のバラツキは大きいものの、最高収量で 900kg/10a 以上の収量が確保できたことから、排水対策や土壌の質の改善、十分な栽植密度の確保などにより、東北日本海地域でも 800kg/10a 以上の収量を確保することを目指したい。

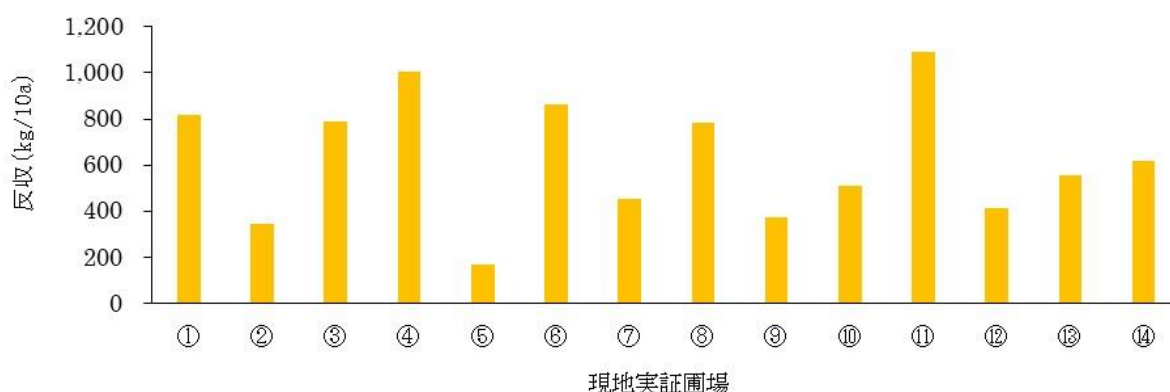


図 7-3-3 山形県庄内地域における子実トウモロコシの収量の実態

注) 収量調査は 2018 年から 2023 年度に実施した現地実証試験の結果であり、調査は水田転換畑、畑地など条件の異なる圃場で、品種は RM95～115 であるが同一品種ではない。

④ 子実トウモロコシを地域産飼料資源として活用した豚肉生産

当該地域は庄内豚を代表とする銘柄豚の生産地帯であることから、スマート・テロワールにおける畜産は養豚業を対象としている。そこで生産されたトウモロコシ子実を配合飼料のベース飼料とし、その他の飼料用穀物として飼料用米、さらに子実トウモロコシと輪作体系を組む加工用穀物の一つであるコムギの製粉副産物（フスマ）を地域産飼料資源として、これらを肥育豚用配合飼料の原料とした数種類の配合メニューを策定している（表 7-3-1）。なお、地域産飼料資源を活用したメニューを幾つか準備しておくことにより、豊凶作によってトウモロコシなどの地域飼料資源が、予定数量を確保できない事態の時にでも対応できるようにするためであり、例えば、トウモロコシが豊作の場合は飼料用米を減らし、逆に凶作の場合は飼料用米を増やすことにより、肥育豚に必要な栄養価を満たしながら、常に地域産飼料資源を一定の割合で活用できる。

豚の肥育に関する実証実験では、大学附属農場での精密な肥育試験を基にして、地域の 1 戸の養豚農場（母豚：170 頭、肥育豚：1,800 頭）の協力を得て実施している。なお、実証養豚農場は従来の庄内豚（精肉向け豚肉）の生産を主事業として、その経営の中の一部に加工仕向け用豚肉生産の事業を組入れている（令和 5 年度の加工仕向け用肥育豚の出荷頭数：105 頭）。

表 7-3-1 地域産飼料資源を活用した肥育豚用の配合飼料の例

飼料名	乾物%
地域産飼料資源	
トウモロコシ子実	50.1
飼料用米(玄米)	25.1
フスマ(小麦製粉副産物)	10.3
輸入飼料	
大豆粕	10.2
アルファルファミール	2.1
サプリメント	2.1
地域産飼料資源の利用率	85.5

⑤ スマテロプロジェクトから産まれた加工品

上記のように地域産飼料資源を活用して生産した豚肉を原料とする加工品としては、ロ

ースハムやベーコンスライス、あらびきウインナー(図7-3-4)がある。これらの商品は地域産のトウモロコシを始めとした飼料を原料として、地域で豚を肥育して地域で加工品を製造していることから、「まるごと庄内産の豚肉加工品」として地域のスーパーマーケットを通して地域の消費者に提供している。その他、子実トウモロコシと輪作を組んでいるコムギやダイズを原料とした加工食品も販売しており、現時点では味噌や納豆、ラーメンなどもスマテロ商品のラインナップとして地域のスーパーマーケットで販売している。



図 7-3-4 スマテロプロジェクトから産まれたウインナーソーセージ

⑥ 課題と展望

以上のようなスマテロ構想に関する実証実験における加工品のサプライチェーンは、大学附属農場が拠点となっており、原料（トウモロコシなどの地域産飼料資源）の調達から配合飼料の製造、養豚農場への配送などを行うサプライヤーの役割を担っている(図7-3-5)。今後、これらの体制の社会実装に向け、自給飼料やエコフィードなどの利用が困難な中小規模の養豚農家を支える組織体として、地域産飼料資源配合供給センター（仮称：中小家畜版のTMRセンター）の設立に向けた取り組みを検討していく予定である。

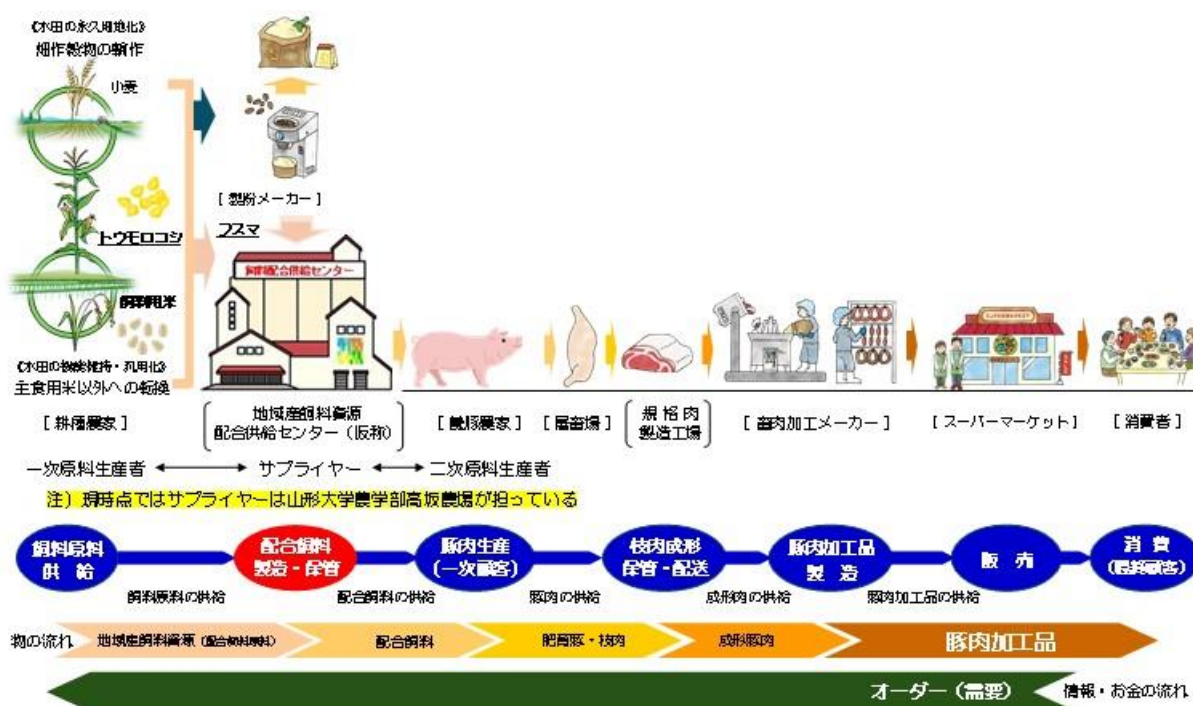


図 7-3-5 地域産飼料資源配合供給センター（仮称）を基軸とした豚肉加工品のサプライチェーンマネジメントの概要

4) 国産子実トウモロコシ給与豚肉「みちのくの心意気」のブランド化と販売について ～飼料会社と東北地域の耕畜連携に向けた新たな挑戦～

① 取り組み開始の経緯

一般的に豚肉を育てるために必要な配合飼料は、子実トウモロコシや大豆などの穀類や搾油かすなどの食品副産物などを原料としており、そのほとんどが海外から輸入されている。そのため養豚用飼料の国内自給率は非常に低く、現在 50%前後（令和 4 年度 重量ベース）とされている豚肉の自給率も実際はもっと低い水準だと考えなければならない。

現在、国際情勢や為替の影響を受けて海外産原料の輸入価格が高騰し、特に子実トウモロコシはバイオエタノールなどの他の需要とも競合しているため非常に不安定な状況にある。配合飼料の価格も高値で推移しており、多くの畜産農家が悲鳴をあげている。その一方で、国内ではコロナ禍によるお米の消費減少や稲作の担い手不足などから水田農業の見直し（当時の水田リノベーション事業）が進められている。稲作は水の管理や除草作業などの手間が多く、担い手が不足している中で農地を維持していくために、より省力的に生産できる作物への転換が検討されている。そこで、伊藤忠飼料と涌谷町は畜産と稲作双方の課題の解決策として、“水田を活用した子実トウモロコシの生産”と“国産子実トウモロコシの飼料化”を企画し 2021 年にプロジェクトを立ち上げたので紹介する。

② 伊藤忠飼料と涌谷町との出会いと取り組み

涌谷町は宮城県北部の大崎平野東部に位置し、基幹産業は稲作や畜産が主力となっている。同町では地域内の農業生産人口が減少し、担い手への農地集積が加速度的に進んだことにより、大規模生産組織ではこれまでのイネ、ムギ、ダイズの作付けでは労力的に適期適作が困難となり品質や収量の低下が課題となっていた。また、大規模畜産業者にとって多量に発生する堆肥の利用先を確保することも課題であった。そこで、他の作物との作業競合が少なく省力的に生産でき、なおかつ、多量の堆肥を必要とする子実トウモロコシの生産に期待が集まった。

子実トウモロコシは面積あたりの労働時間が格段に少ないことや、大豆生産に使用する機械を使えること、また、茎葉をすき込むことでの土壌改善効果が期待された。しかし、生産物を誰が飼料として利用するのか、涌谷町役場の担当者が町内の養鶏・養豚農家を訪問したが、返ってくる回答は「飼料メーカーに相談して」だけであった。2022 年 1 月に宮城県美里農業改良普及センターの担当者から相談を受けた伊藤忠飼料は、その後打合せを重ね、県内の養豚農家での飼料給与に結び付けることができた。

③ 子実トウモロコシの取り組みで見えてきたこと～実現できれば一石六鳥～

伊藤忠飼料と涌谷町の取り組みでは両者互いにメリットが得られることに手ごたえを感じている。すなわち、次の一石六鳥のメリットである（図 7-4-1）。

- a 為替や穀物需給に左右されない内製化の体制が築ける
- b 農業労働力不足の問題解決に寄与出来る
- c 米余り問題の解消に寄与出来る
- d 糞尿処理問題の解消に寄与出来る

e 環境負荷低減に寄与出来る

f 真の国産豚肉というブランドプレミアムを訴求出来る



図 7-4-1 伊藤忠飼料と涌谷町の子実トウモロコシの取り組みで見えてきたこと

④ 「みちのくの心意気」の誕生

涌谷町の生産者 4 戸 38.5ha で生産した子実トウモロコシと国産の飼料用米を合わせて、飼料中の穀物原料全てを国産にした“国産穀物 100%飼料”を開発した。この飼料は宮城県内の養豚農家 1 戸で利用され、その養豚農家で育てられた豚 1,500 頭/年を伊藤忠飼料で販売している。その豚肉には「みちのくの心意気」という名前がつけられた。

この名前には、耕種農家や養豚農家をはじめ、前例のない挑戦に関わった東北地方の関係者の心意気に対する感謝の気持ちが込められている。2022 年は首都圏のスーパーマーケット向けにテスト販売を行い、またこの活動と「みちのくの心意気」の魅力を消費者の方々により伝えるためのブランドロゴやポップなども作成した（図 7-4-2）。

⑤ 環境省主催第 11 回グッドライフアワードにて特別賞受賞

東北の地で実った子実トウモロコシを、東北で育つ豚に給与し、地域循環を創出するという一連の取り組みが SDGs に配慮した取り組みとして表彰された。以下の 4 つの特徴に対して評価を受けている。



図 7-4-2 「みちのくの心意気」のブランドロゴ

- a 食料自給率の向上 東北地方で生産された子実トウモロコシを中心とした国産穀物 100%の飼料を給与
- b 休耕田問題の解消 東北地方の水田を利用して子実トウモロコシを生産
- c 地域循環の創出 養豚の過程で発生した堆肥は地域の圃場で有効利用
- d 食育への貢献 生産された豚肉は地域の学校給食にも提供



図 7-4-3 第 11 回グッドライフアワードでの受賞の様子

⑥ 今後の課題

この取り組みは耕種農家や養豚農家はもちろん、行政や研究機関、農機具メーカー、飼料販売店、精麦会社、種苗会社など、とても多くの方々が関わっている。そして「みちのくの心意気」を量販店のバイヤーが評価し店頭に商品が並びお客様からの美味しいという評価を頂いて完成になるが、バイヤーとの交渉が現在は難航している。耕畜連携、堆肥利用の促進、国内食料自給率の貢献等 SDGs の取り組みという点では分かりやすい商品であり、量販店の経営者からの評価は高く、取り扱いには非常に前向きではあるが、いざ商売

の話になると取り扱いに二の足を踏まれる。その大きな要因は、一般消費者は豚が子実トウモロコシを食べて大きくなることを知らない為、子実トウモロコシの輸入品が国産に置き換わることの重要性を知らないからだと考えられる。量販店のバイヤーは取り組みや商品価値を評価するが、一般消費者にどのように伝えたら良いのか分からないと頭を悩ませる方が多い。一般消費者から共感が得られるという、この取り組みの最後の1ピースを得るためにまだ時間がかかりそうではあるが、この取り組みが世の中の役に立っていることを信じ拡販に努めて参りたい。

8章 用語解説

【青刈りトウモロコシ】

トウモロコシの実が完熟する前（黄熟中期前後）に、実と茎葉を一体的に収穫する飼料作物。栄養価の高い粗飼料として位置づけられ、一般的にはサイレージ化（乳酸発酵）させた後に、牛の飼料として利用される。「ホールクロップサイレージ（WCS）用トウモロコシ」とも呼ばれる。

【Chlorophyll Index】

植物の生育量や栄養状態を評価するための指標の一つ。複数の計算手法があるが、レッドエッジ（約 680nm から 750nm、本章後半で紹介）と緑色光（約 490nm から 550nm）の波長帯域を用いた計算手法は植物の葉に含まれるクロロフィル（葉緑素）含量の推定に適しているとされる。

【代替率】

作物生育に必要な肥料成分のうち、家畜糞堆肥によって代替する割合。飼料作物では窒素の代替率に基づいて家畜糞堆肥の施用量を求めることが多い。堆肥から供給される窒素の量は、原料や発酵過程によってばらつきやすいため、堆肥からの窒素に依存し過ぎた場合、作物の生育が不安定になる可能性がある。また、窒素成分の全量を家畜糞堆肥によって供給しようとするとう過剰施用になる成分も出てくる。このため、化学肥料の窒素を堆肥からの窒素で代替する場合に、その代替率の上限を超えないことが望ましい。

【ヘテロ発酵型乳酸菌】

グルコースから乳酸のみを生成するホモ発酵型乳酸菌に対して、乳酸だけでなく、酢酸やエタノール、二酸化炭素等も生成する乳酸菌。サイレージ中の酵母を抑制するためには、乳酸生成によって pH を低下させることに加えて、酢酸が生成されることが望ましい。

【比エネルギー消費量】

乾燥対象物中の水 1 kg を除くために必要なエネルギー量で、[kg/MJ]として表現される。「除水量 1 kg あたりエネルギー消費量」などとも表現される。

【肥効率】

家畜糞堆肥の肥料成分のうち、どれだけの割合が化学肥料としての成分と等価（同じ肥料効果）であるかを表す比率。堆肥化過程によっても変動するが、一般的に窒素の肥効率が高いのは鶏と豚で、牛は低い。また、リン酸とカリは比較的高い肥効率を示す。肥効率は家畜ふん堆肥を作物栽培に有効利用する際に重要な指標であるが、堆肥の材料、腐熟の程度、気候などで変動する可能性があるため、より精密な肥効率の策定が試みられている。

【一粒点播】

一定間隔で種子を一粒ずつ播種すること。

【かび毒】

植物病原菌であるかびや貯蔵穀物などを汚染するかびが産生する化学物質であり、人や家畜の健康に悪影響を及ぼすものをいう。飼料用トウモロコシの子実には、赤かび病菌が産生するゼアラレノン、デオキシニバレノール、フモニシン類や、アスペルギルス属の一部のかびが産生するアフラトキシン類等のかび毒が含まれる場合があることから、栽培・調製等の各段階で適切な管理を行い、かび毒の含有レベルをできるだけ低く抑えることが、人や家畜の健康を保護する上で大変重要である。

【株間除草機】

細い金属製のタイン（フォークの先のように尖って曲がっている爪）で土壌表面を攪拌することにより、既に生育している作物の茎を残しつつ、出芽してきた雑草の実生のみを除草する機械。株間除草機の走行によりタインが自転する転動タイン型、接地駆動輪からの動力でタインを回転させる強制回転タイン型、および左右一対からなる固定タイン型に類別される。

【乾減率】

乾燥の速さを表し、単位時間当たりの含水率（水分）の減少量である。乾燥機的能力を議論する際には、生産現場で一般的に用いられる湿量基準水分（%w.b./h）での値を用いる。

【交換性カリ】

土壌に吸着保持されているカリのこと。土壌診断の項目の一つであり、作物に対するカリ供給量を示す指標となる。土壌は粘土や腐植がマイナスに荷電（負荷電）しており、この負荷電が交換性陽イオン（カリウム、カルシウム、マグネシウムなど）を吸着保持している。交換性陽イオンは作物の生育に不可欠で、土壌診断の項目として交換性カルシウム量、交換性マグネシウム量も用いられるなど土壌の肥沃度と密接な関係にある。なお、肥料成分の表示と同様に、交換性陽イオン量としてはカリ（ K_2O ）、石灰（ CaO ）、苦土（ MgO ）など酸化物の重量で表示されることが多い。

【マルチスペクトル画像】

特定の波長帯域のみを撮影できるセンサーを複数搭載したカメラで撮影した画像。人の目に見える可視光の他、紫外線や赤外線等などの波長帯域を撮影した画像もある。作物の植生評価や食品加工業での品質検査に用いられている。

【みどりの食料システム戦略】

2050 年までに循環型の食料システムを構築するため、令和 3 年度に農林水産省が策定した政策。食料生産から消費までの環境負荷を低減することで、持続可能な社会の実現を目指す。

【RAC コード】

農薬の作用性（効き方）毎に分類した数字あるいは数字とアルファベットを組み合わせた記号。同じ薬剤や同じ作用性の薬剤を繰り返し使用すると、その作用に対する抵抗性が発達し防除効果が低下するリスクが高まるため、RAC コードを確認し、作用性の異なる農薬をローテーションで使用する事が望ましいとされている。除草剤についての RAC コードは HRAC コードと呼ばれる（殺虫剤は IRAC、殺菌剤は FRAC）。最新の RAC コードに関する情報は クロップライフジャパン (<https://www.jcpa.or.jp/labo/mechanism.html>) から確認できる。

【レース】（病原菌・病原微生物）

病害抵抗性を有する作物品種に感染できる（＝抵抗性を打破する）病原菌・病原微生物の系統が現れた場合、他の系統と区別するために設けられる識別区分。トウモロコシすす紋病菌の場合では、抵抗性品種には全く感染できない病原菌を「レース 0」、抵抗性遺伝子 Ht1 を有する品種にも感染できる病原菌を「レース 1」、抵抗性遺伝子 Ht2 を有する品種に感染できる病原菌を「レース 2」、... 等とするレース識別の提案がなされている。

【レッドエッジ】

赤色光と近赤外光の間の波長帯域（約 680nm から 750nm）の呼称。植物は光合成に必要な赤色の波長帯域を吸収し、近赤外線は反射する特性があるが、二つの波長帯域の間では反射率が急激に変化する。この波長帯域の反射率は植物の栄養状態によって変化する特徴があり、この特徴を利用して植物の生育を評価できる。

【リキッドフィーディング】

飼料に加水などして液状化して給与する方法。含水率の高い食品副産物(エコフィード)などを利用する場合、乾燥させずに利用できる。

【立毛乾燥】

トウモロコシの生理的な成熟期あるいは機械収穫可能な子実含水率に達した後も、収穫せずに圃場に植物体を立たせたままさらに子実含水率を低下させること。主に乾燥コスト低減の観点から行われることが多い。

【ルートマット】

土壌の表層（概ね土壌深度 5cm 以内）に集中した、生きている根や死んだ根の厚い層。草地、特に永年草地で形成され、厚くなりすぎると通気性や透水性が悪化し、草地の生産性低下を引き起こす。

【作業能率】

単位時間あたりにできる圃場作業量（作業面積）のこと。この作業能率を勘案して作業計画や機械利用計画を立てる。

【砕土率】

全土壌重量に対する、19mm以下の土塊重量の割合。砕土率が低すぎる（＝土塊が多い）と、土壌と種子の接触が悪くなり、発芽や生育の不揃いにつながる。一方、砕土率が高すぎると降雨後に土壌表層がクラスト（土壌表面に形成される緻密な薄層）化されやすくなり、出芽が阻害されることがある。

【殺草スペクトル】

使用する除草剤で防除することが可能な雑草の種類の範囲。農薬メーカーにもよるが、各草種に対する防除効果を段階別に示していることが多い。

【正規化植生指数（NDVI）】

植生の分布状況や生育の旺盛さを評価するための指標の一つ。近赤外光と赤色光の反射率から算出される。森林面積の調査や農作物の生育状況の把握に利用されており、近年では追肥量の決定や収穫時期の予測などにも活用されている。

【糸状菌】

糸状の真核・従属栄養微生物の総称で、「かび」、「真菌」また、肉眼で見える大型の子実体を作るものは「キノコ」と呼ばれることもある。動植物の死骸を腐敗させるほか、生きた動植物に寄生・共生する種もある。薬剤（農薬、抗真菌剤）により防除できる場合があるが、土壌中で生存している菌には適用が難しいことも多い。

【テンパリング】

穀物の乾燥を行う場合、一般的に穀粒の表面から水分が蒸発するため、表面に近い部分の含水率は下がるが、穀粒の中心部の含水率はすぐには下がらない。そのため、表面に近い部分と中心部で、穀粒内の水分不均一が発生する。水分の不均一は、穀粒の歪みを引き起こし、穀粒の割れに繋がるため、穀粒内の水分が拡散現象によって均一化するまで、一定時間、乾燥を進めさせないように置いて待つことで、割れを防ぐ。循環式乾燥機では、穀物は乾燥部と貯留部を交互に循環し、乾燥と貯留を繰り返すテンパリング乾燥を行う。

【特定外来生物】

外来生物（海外起源の外来種）のうち、特に生態系、人の生命・身体、農林水産業に被害を及ぼす、あるいはそのおそれがあるとして「特定外来生物による生態系等に係る被害の防止に関する法律」において指定されたもの。輸入はもちろん、飼育、栽培、運搬、譲渡等が原則禁止されている。

【ウイルス】

タンパク質と核酸（遺伝子）からなる微小な感染粒子で、動植物の細胞に侵入（感染）して各種の病害を引き起こす。ウイルスに感染した植物組織は奇形化・矮化等を生じ、健全な状態に戻ることは無いため、対策としては媒介昆虫による加害を避ける等、感染の予防が重要となる。

執筆者一覧（第2版）

1 章 子実トウモロコシとは	石崎 宏	（農研機構 畜産研）
2 章 品種の選定		
1）基本的な考え	黄川田 智洋	（農研機構 北農研）
2）3）のうち①寒冷地向け品種	浦川 修司 森田 聡一郎	（山形大学） （農研機構 東北研）
2）3）のうち②温暖地向け品種	赤松 佑紀 佐々木 梢 中野渡 佳那映 大澤 美華 石島 力 大角 壮弘 寺崎 亮 千葉 雅大 神戸 崇 小柳 渉 品田 晃平	（農研機構 畜産研） （農研機構 畜産研） （茨城県 畜産セ） （茨城県 畜産セ） （農研機構 中農研） （農研機構 中農研） （農研機構 中農研） 現在：富山県 農総セ （農研機構 中農研） （新潟県 畜産研） （新潟県 畜産研） （新潟県 畜産研）
2）3）のうち③暖地向け品種	村木 正則 若島 亜希子	（農研機構 九冲研） （神奈川県 畜技セ）
2）3）のうち④寒地向け品種	西道 由紀子 黄川田 智洋	（道総研 畜試） （農研機構 北農研）
【コラム】高雌穂収量トウモロコシ「トレイヤ」	黄川田 智洋	（農研機構 北農研）
3 章 栽培管理		
1）基本的な考え	内野 宙	（農研機構 畜産研）
2）播種	内野 宙 森田 聡一郎	（農研機構 畜産研） （農研機構 東北研）
3）肥培管理	出口 新 須永 義人	（農研機構 東北研） （農研機構 畜産研）
4）雑草防除	内野 宙	（農研機構 畜産研）
【コラム】子実トウモロコシの雑草リスク管理	黒川 俊二	（京都大学）
5）病虫害対策		
① 病虫害対策の基本的な考え方・留意点	吉田 信代	（農研機構 畜産研）
② 主要病害の発生生態と対策	菅原 幸哉	（農研機構 畜産研）
③ 主要害虫の発生生態と対策	吉田 信代	（農研機構 畜産研）

④ 飼料用の子実トウモロコシ栽培で 使用可能な殺虫剤、殺菌剤	石島 力	(農研機構 中農研)
⑤アワノメイガ対策の実際		
a アワノメイガ対策の実際	森田 聡一郎	(農研機構 東北研)
b アワノメイガに対する有効な 殺虫剤	石島 力	(農研機構 中農研)
【コラム】かび毒の迅速簡易分析法	三ツ橋 昇平 松山 裕城	(農研機構 畜産研) (山形大学)
【コラム】かび毒汚染防止・低減に 向けて～飼料用トウモロコシ子 実のかび毒汚染防止・低減に向 けた技術指導について～	加藤 直樹	(農水省 農林水産技 術術会議事務局)
6) 収穫	住田 憲俊 阿部 佳之	(農研機構 畜産研)
7) 残茎・残渣処理	内野 宙	(農研機構 畜産研)
【コラム】空撮画像によるトウモロコシ の生育診断	藤竿 和彦	(農研機構 東北研)
4章 調製・貯蔵		
1) 基本的な考え	河本 英憲	(農研機構 東北研)
2) 乾燥調製・貯蔵		
① 汎用穀物乾燥機の利用	浦川 修司	(山形大学)
② モバイルドライヤの利用	金井 源太	(農研機構 東北研)
3) サイレージ調製・貯蔵		
① サイレージ化の影響	河本 英憲	(農研機構 東北研)
② フレコン内袋法	小林 寿美	(農研機構 畜産研)
③ フレコンラップ法	嶺野 英子	(農研機構 東北研)
4) 粉碎・蒸気加熱加工	阿部 佳之 松尾 守展	(農研機構 畜産研)
5章 飼料利用		
1) 基本的な考え	河本 英憲	(農研機構 東北研)
2) 飼料品質		
① 外観品質	篠遠 善哉	(農研機構 東北研)
② 飼料成分	神園 巴美	(農研機構 畜産研)
③ 消化性	嶺野 英子	(農研機構 東北研)
3) 乳牛への給与		
4) 肉牛への給与		
5) 豚への給与	今成 麻衣	(農研機構 九沖研)

6) 鶏への給与	大津 晴彦 原 文香 村上 斉 山崎 信	(農研機構 畜産研) (農研機構 本部)
6章 トウモロコシ子実の国産化による温室効果ガスの削減効果	森 昭憲	(農研機構 畜産研)
7章 取り組み事例		
1) 岩手県花巻市(寒冷地)	幸田 和也	(農研機構 東北研)
2) 千葉県成田市(暖地)	野口 周	(農研機構 本部)
3) 山形県庄内地域における取り組み (スマート・テロワールプロジェクト)	浦川 修司	(山形大学)
4) 国産子実トウモロコシ給与豚肉「みちのくの心意気」のブランド化と販売について～飼料会社と東北地域の 耕畜連携に向けた新たな挑戦～	小野 伊織 藤崎 幸治	(伊藤忠飼料 食肉営業課) (涌谷町 産業振興課)
8章 用語解説	各執筆者	

編集体制

編集委員長：石崎宏（農研機構 畜産研）

編集委員：黄川田智洋（農研機構 北農研）、河本英憲（農研機構 東北研）、出口新（農研機構 東北研）、森田聡一郎（農研機構 東北研）、金井源太（農研機構 東北研）、石島力（農研機構 中農研）、須永義人（農研機構 畜産研）、阿部佳之（農研機構 畜産研）、森昭憲（農研機構 畜産研）、住田憲俊（農研機構 畜産研）、遠野雅徳（農研機構 畜産研）、内野宙（農研機構 畜産研）、浦川修司（山形大学）、松山裕城（山形大学）

査読協力：桂真昭（農研機構 九沖研）、菅野勉（農研機構 西農研）、吉田信代（農研機構 畜産研）、野中和久（農研機構 畜産研）、野田崇啓（農研機構 農機研）、荻野暁史（農研機構 畜産研）、西村和志（農研機構 北農研）

事務局：阿部佳之（農研機構 畜産研）、内野宙（農研機構 畜産研）

子実トウモロコシ生産・利活用の手引き（都府県向け）第2版は、以下の支援を受けて得られた研究成果の一部を取りまとめたものです。複製、転載などの利用にあたっては、事前に発行元から許可を得てください。

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（令和3～7年）」（JPJ009818）

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（令和4～6年）」（JPJ011278）

日本中央競馬会（JRA）特別振興資金助成事業

「国産トウモロコシ子実の有用性の検証事業（令和4～6年）」

子実トウモロコシ生産・利活用の手引き（都府県向け） 第2版

発行日 令和7年3月31日

発行 国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構

編集 子実トウモロコシ生産・利活用の手引き（都府県向け）第2版
編集委員会

Web お問い合わせフォーム：<https://www.naro.go.jp/inquiry/>

