



日本中央競馬会特別
振興資金助成事業

ツマジロクサヨトウ防除対策マニュアル

令和 6 年 3 月 28 日 発行

令和 3-5 年度「飼料害虫ツマジロクサヨトウの防除対策事業」

目次

1. はじめに	2
2. ツマジロクサヨトウの見分け方と飼料用トウモロコシでの被害の出方	3
3. 海外でのツマジロクサヨトウの状況と国内における発生状況	9
4. 暖地におけるツマジロクサヨトウの食害による飼料用トウモロコシ被害実態	13
5. ツマジロクサヨトウの被害解析（剪葉処理）	22
6. ツマジロクサヨトウに対する耕種的な被害軽減技術	26
7. ツマジロクサヨトウに対する物理的な被害軽減技術	40
8. 飼料用トウモロコシでの農薬を使用した防除	43
9. 細断型ロールベアによる未熟な飼料用トウモロコシの収穫・サイレージ調製法	45
10. 未熟な飼料用トウモロコシの飼料利用における留意点	49
11. さいごに	57

〈宮崎大学〉

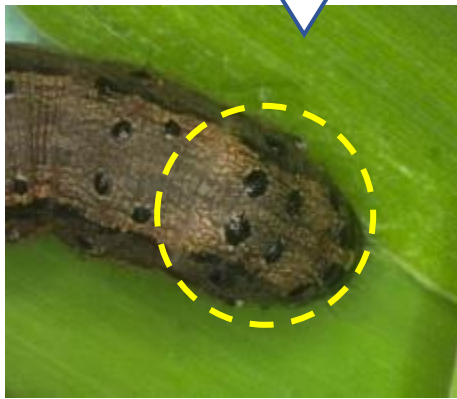
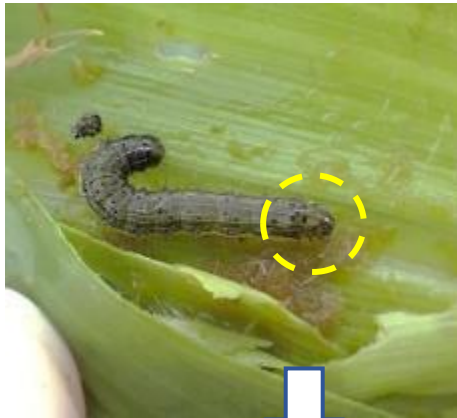
1. はじめに

令和元年7月にわが国で初めて、鹿児島県においてツマジロクサヨトウの侵入が確認され、その後、同年12月には、九州沖縄地方から東北地方までの計21府県に発生が拡大し、令和2年11月には、九州沖縄地方から北海道までの42道府県、計12品目の農作物に拡大しました。本害虫の対策を講じるため、令和3年度から5年度にかけて、日本中央競馬会畜産振興事業の支援を受け、宮崎大学を代表機関として「飼料害虫ツマジロクサヨトウの防除対策事業」を実施しました。本事業では、安心・安定的な飼料生産の実現に向けて、ツマジロクサヨトウの被害実態と被害に関わる要因調査および耕種的・物理的防除法の開発について取り組みました。また、その成果を公表するため、令和6年3月8日に「飼料害虫ツマジロクサヨトウの防除対策シンポジウム」を、宮崎大学からのweb会議によって開催し、多くの国内の飼料生産関係者および害虫対策関係者にご参加いただきました。シンポジウムで様々な方からいただいたご意見を踏まえ、本事業で得られた成果を本マニュアルに掲載しました。本マニュアルが飼料生産に取り組む全ての方々の一助となることを祈念しております。

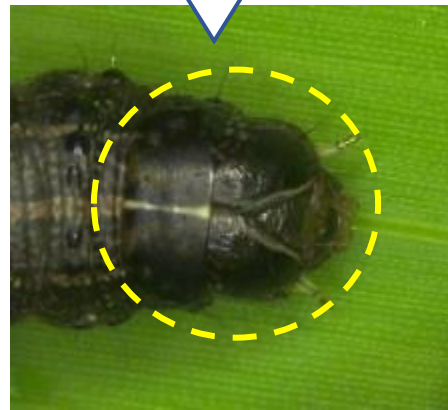
2. ツマジロクサヨトウの見分け方と飼料用トウモロコシでの被害の出方

1) ツマジロクサヨトウ幼虫の形態的特徴

ツマジロクサヨトウ (*Spodoptera frugiperda*) は広食性なヤガ科の害虫です。国内では飼料用トウモロコシ、スイートコーン（未成熟とうもろこし）、ソルガム、サトウキビ、飼料用エンバクなどで発生が確認されています。形態的な特徴として以下のものがあります。また、体色は緑色、茶褐色等、様々なものがあります。



尾部に4つの黒斑があります。



頭部にY字に見える模様があります。



左の写真は全てツマジロ
クサヨトウです。

体色は緑色、茶褐色等
様々なものがあります。

2) ツマジロクサヨトウの被害の特徴

ツマジロクサヨトウの防除には早期発見が重要です。ここでは生育前期の飼料用トウモロコシを対象にツマジロクサヨトウの被害の特徴を紹介します。



① 発生初期には葉の表面に白い筋状の加害痕がみられます。



②幼虫はトウモロコシの中心部（成長中の葉が巻いている芯の部分）に潜り、加害します。



③中心部が加害された葉を広げると右の写真のような加害痕が見られます。



④ツマジロクサヨトウに加害されたトウモロコシの例。



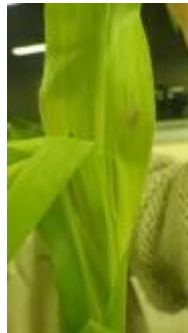
⑤展開前にツマジロクサヨトウ幼虫に被害された葉。三本前後の筋状の被害痕が残っています。



⑥写真左のような被害痕が残る株の成長点（雄穂）で幼虫が被害を続けています。



⑦形成された雄穂の被害



⑧卵塊は鱗粉に覆われ、展開間もない新葉に産卵されます。

圃場でこのようなトウモロコシをみつけたら、ツマジロクサヨトウの幼虫がいないか調べましょう。⑤のように葉に古い加害痕があっても、成長点あるいは雄穂形成部に幼虫は潜り込み加害を続けている場合が多いです。筋状の加害痕をできるだけ早く発見し、適期での薬剤散布を実施し、被害を軽減する必要があります。加害株にはほとんどの場合幼虫1頭のみが認められ、複数頭の幼虫が観察される場合は稀です。ツマジロクサヨトウ幼虫間では高い割合で共食いが認められることから、この虫は他個体を排除するような形で圃場内に均一に拡がる傾向が強いため、初期発生時は圃場内の株が集中的に加害されます。

ただし、トウモロコシを加害する幼虫はツマジロクサヨトウだけではありません。2. 1) ツマジロクサヨトウ幼虫の形態的特徴に、ツマジロクサヨトウの特徴を示していますのでご確認下さい。なお、①～④の写真で紹介した圃場では、ツマジロクサヨトウ以外の幼虫も確認されました、次に紹介します。

3) ツマジロクサヨトウ以外に確認された飼料用トウモロコシを加害する幼虫について

飼料用トウモロコシ圃場で見つかった幼虫の例です。これらの幼虫は写真で示した以外の体色を示す個体もあります。そのため、幼虫を見つけた場合にはツマジロクサヨトウの特徴があるか確認して下さい。



アワノメイガ

1cm



アワヨトウ

1cm

アワノメイガ：写真は若齢の幼虫。体色はクリーム色です。

アワヨトウ：写真は若齢の幼虫。体色は黄緑色、褐色、黒色等、様々なものがあります。



オオタバコガ：体色は緑色、褐色等様々なものがあります。

ハスモンヨトウ：背側に特徴的な模様があります。



ウワバ類：腹脚が2対であり、シャクトリムシ状に歩きます。

3. 海外でのツマジロクサヨトウの状況と国内における発生状況

1) 生態

ツマジロクサヨトウの原産地域は南北アメリカ大陸の熱帯・亜熱帯地域であり、北アメリカ大陸ではフロリダ州及びテキサス州南部以南の冬季の気温が 10℃を下回らない地域で通年発生しています。成虫は一晩で 100km、雌は羽化してから産卵を開始するまでに合計 500km 程度を移動する能力を持ち、春から秋に数世代をかけて北アメリカ大陸を北上し、アメリカ合衆国中西部のコーンベルト地帯やさらにカナダ南部まで移動し現地の作物に被害を与えています (Westbrook et al., 2016)。

図 3-1 に本種の生活環 (FAO and PPD, 2020) の概略を示しました。

- ・ 成虫：雌の成虫寿命が 15-21 日、産卵前期間は 3-4 日、生涯産卵数は平均 1,500 個／最大で 2,000 個程度になります。
- ・ 卵：卵期間は 2-3 日（夏期）、100-200 個の卵塊で葉の裏などに産み付けられます。
- ・ 幼虫：通常は 6 齢を経過して蛹化、幼虫期間は 14 日（夏期）から 30 日以上（寒冷期）です。発育限界^{※1}は 10.9℃、幼虫から蛹になるまでの有効積算温度^{※2}は 559 日度です。
- ・ 蛹期間：8-9 日（夏期）から 20-30 日（寒冷期）とされています。通常、土の中（地表下 2-8 cm）で蛹化します。体長約 3 cm。発育限界は 14.6℃、蛹から成虫になるまでの有効積算温度は 138 日度です。
- ・ 休眠性は持ちません。

※1, 2 変温動物である昆虫の発育は外気温度によって左右され、一般的に温度が高ければ早く発育し、低ければより遅くなります。このような温度に対する発育の反応の仕方は昆虫の種ごとに違っています。発育することができなくなる温度を発育限界温度、次の発育ステージ（幼虫→蛹、蛹→成虫など）に進むまでに必要となる温度の累積（温度×日数）を有効積算温度といいます（単位：日度）。

ツマジロクサヨトウの食性については、広食性とされており、イネ科（106 種）、キク科（31 種）、マメ科（31 種）を含む 76 科 353 種が寄主植物になるとの報告がありますが、特にイネ科を好みます（Capinera, 2017）。2018 年に侵入が始まったアジア地域の状況でも、トウモロコシを中心として、ソルガム、サトウキビなどの主にイネ科作物で被害が確認されています。北アメリカ大陸では、寄主植物選好性が異なる系統として、トウモロコシ系統とイネ系統が区別されており、前者は主にトウモロコシと綿花を、後者はイネ、芝などを加害するとされ、これらの系統はミトコンドリア COI 遺伝子の配列及び Tpi 遺伝子によって区別できるとの報告があります（Nagoshi and Meagher, 2008）。しかし、必ずしも当てはまらないケースも報告されており、食性の違いを遺伝子により実際に区別可能かどうかは明確にはなっていません。

2) アジアへの侵入

ツマジロクサヨトウは 2016 年初めに中央アフリカと西アフリカで確認後、サハラ以南のアフリカのほぼ全域に生息区域を急速に拡大し、主にトウモロコシに大きな被害を与えています。その後、2018 年 7 月にはインド、イエメンで発生が確認され、これがアジア地域初となりました。2019 年 1 月に中国雲南省で確認されると、中国国内で急速に生息域を拡大し、5 月末には雲南省・広西チワン族自治区・四川省・広東省・貴州省・重慶市・海南省・湖南省・江西省・福建省・浙江省・湖北省・安徽省・河南省・江蘇省に拡大し、6 月には台湾、韓国で確認されました。2019 年秋までには中国では最北は河北省まで侵入し、また、カンボジアとブータン、北朝鮮を除く東アジア・東南アジア全域に分布を拡大しました。翌 2020 年 2 月にはオセアニア地域初となるオーストラリアへの侵入も確認されています。2020 年には中国では遼寧省まで侵入範囲が拡大しています（FAO, 2020）。作物への被害については、中国では発生面積が 112.5 万 ha、実際に被害が生じた面積が 16.4 万 ha、作物別の発生面積割合はトウモロコシが 98.1%、サツマイモ・ソルガム・ショウガ・コムギ他 19 種作物が 1.9%、と報告されており、トウモロコシへの被害が大部分を占めています。

3) 日本への侵入と国内の分布拡大

日本では 2019 年 7 月に鹿児島県のトウモロコシ圃場で幼虫が国内初確認された後、九州各地に分布を拡大し、さらに 8 月には東日本、10 月には青森県で幼虫が確認されました。翌 2020 年の 1 月には沖縄県と鹿児島県奄美地域で幼虫が確認され、その後 2-

3月の期間は幼虫の発生はみられませんでした。4月入ってから鹿児島県本土の圃場で発生が確認され、5月に入ると九州各地の圃場、6月には西日本から新潟県、7月には山形県、秋田県、8月には青森県、北海道の圃場で本種の発生が確認されました。日本での被害作物は、2019年はトウモロコシ（飼料用・食用含め）、ソルガム、サトウキビ、エンバク、2020年はトウモロコシ、ソルガム、サトウキビ、イネ科牧草、ショウガ、ハトムギ、モチキビが報告されており、被害の大部分は飼料用トウモロコシでした。

4) 今後の発生状況

2019年7月に日本で初確認されたツマジロクサヨトウの侵入経路については今後詳細な検証が必要ですが、日本よりも早く本種が侵入した中国大陸南部や台湾などの発生地域から強い風に乗って海外飛来してきたと考えられます。日本よりも温暖な中国南部や台湾などでは今後も本種が通年発生する可能性が高く、これらの地域で多発生すれば、より早い時期（春先）に、より多くの個体が日本各地へ侵入してくることが懸念されます。このため、飛来源となる地域での発生状況を注視しつつ、日本への飛来状況や国内での発生調査などを継続し、被害拡大に警戒することが重要です。

5) 参考文献

- 1) Capinera, J. L. (2017): University of Florida IFAS Extension Publication EENY-098. <https://edis.ifas.ufl.edu/in255>
- 2) FAO map (2020), <http://www.fao.org/fall-armyworm/monitoring-tools/faw-map/en/>
- 3) FAO and PPD (2020), Manual on integrated fall armyworm management. Yangon, FAO. <https://doi.org/10.4060/ca9688en>
- 4) Nagoshi, R. N. and R. L. Meagher (2008): Flo. Entomol. 91: 546-554.
- 5) Westbrook, J. K. et al. (2016): Int. J. Biometeorol. 60: 255-267.



図 3-1 ツマジロクサヨトウの生活環概略図

各ステージの期間は FAO (2019) のデータを引用しています。

4. 暖地におけるツマジロクサヨトウの食害による 飼料用トウモロコシ被害実態

九州など気候が温暖な地域では、播種が可能な時期が3月下旬から8月上旬と長期にわたるため、作付け体系も多様化しています。主要な作付け体系として、3月下旬～4月に播種して7月下旬～8月に収穫する春播き、5月～6月に播種して9月～10月に収穫する晩播、7月～8月に播種して11月～12月に収穫する夏播きに加え、春播きの収穫直後に夏播きする二期作があります（図4-1）。

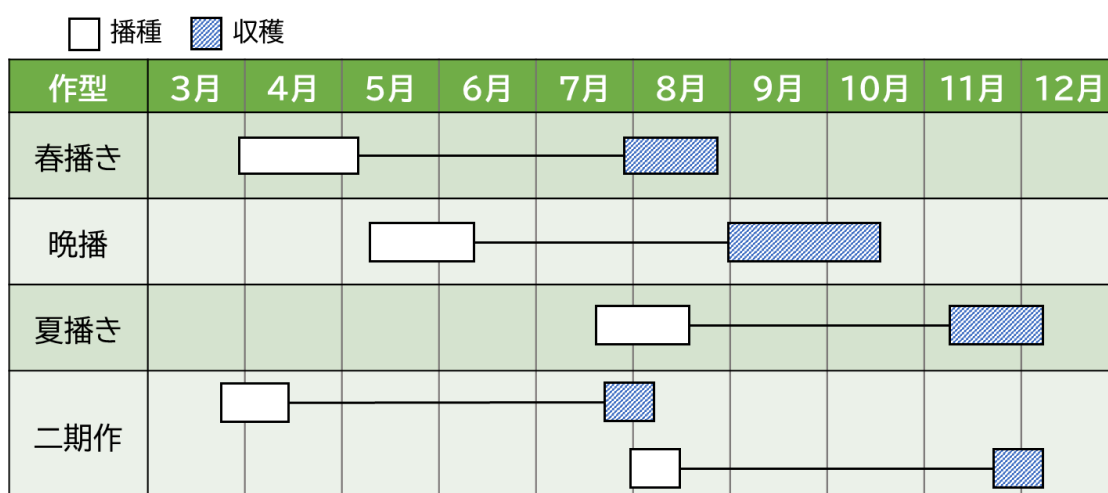


図4-1 暖地における飼料用青刈りトウモロコシの作型

ツマジロクサヨトウは南西諸島など一部の地域を除いて日本国内では越冬できないため、冬季には死滅し春になると越冬可能な地域から飛来すると考えられています（「3. 海外でのツマジロクサヨトウの状況と国内における発生状況」参照）。国内での発生確認から現在までのところ、春から梅雨明けまでの発生数はそれほど多くないため、食害もそれほど多くありません。梅雨明け後に発生数が増加し被害が増加することから、夏播きでは防除などの対策が必要な場合があります。

ツマジロクサヨトウはトウモロコシの葉（展開葉、未展開葉）や雄穂、絹糸、雌穂など様々な部位を食害するため、飼料用トウモロコシの収量を減少させるおそれがあります（「2. ツマジロクサヨトウの見分け方と飼料用トウモロコシでの被害の出方」参照）。食害が少ない場合は収量への影響は問題にならないこともありますが、食害が激しくなると茎葉や雌穂の収量が減少する可能性が高くなります。試験圃場で食害と収量との関係を調べたところ、食害による減収が見られた場合には生育中期（9

～10 葉期）以降の食害スコアと減収率の相関が比較的高い結果が得られました。現状の発生程度であれば、ツマジロクサヨトウの食害による収量減を緩和するためには、生育中期以降の食害を抑制することが重要と考えられます。また、ツマジロクサヨトウの発生が激しい夏播きでは、薬剤防除のみでは減収を完全には防げない可能性もあり、追加の対策が必要な場合があります。

※以下の参考情報で紹介している試験では、ツマジロクサヨトウによる食害の影響を調査する目的で殺虫剤を散布しており、栽培したトウモロコシは家畜への給与をしていません。農薬の使用にあたっては、ラベルに記載されている適用作物、使用時期、使用方法等を十分に確認し、最新の情報を確認の上で使用時期、希釈倍率、散布量、総使用回数等を遵守して適切に使用してください。

【参考情報 4-A：飼料用トウモロコシ生産者へのツマジロクサヨトウ食害調査結果】

目的：生産現場におけるツマジロクサヨトウ食害による減収の発生率の解明

実施：2021～2023 年

調査地：愛媛県、長崎県、熊本県、宮崎県、鹿児島県

方法：生産者に対して作型ごとにツマジロクサヨトウ発生、防除実施の有無、減収の有無を聞き取り調査

全ての調査年において、春播きで減収したという回答は少数でした。このことから、現状での発生程度であれば春播きでは対策の必要性は低いと考えられます。一方、夏播きでは発生が多く見られること、さらに防除を実施した場合にも減収したという回答があることから、夏播きでは薬剤防除だけではなく追加の対策が必要な可能性があります。

表 4－1 生産者に対するツマジロクサヨトウ発生聞き取り調査結果

調査年	作型	調査数	ツマジロクサヨトウが発生した事例				
			発生数	発生率 (発生数/調査数)	防除実施数	減収数	減収率 (減収数/発生数)
2021 年	春播き	12	5	42%	2	0	0%
	晩播	4	4	100%	3	1	25%
	夏播き	23	21	91%	14	10	48%
2022 年	春播き	24	7	29%	2	1	14%
	晩播	5	3	60%	2	0	0%
	夏播き	26	16	62%	9	7	44%
2023 年	春播き	7	0	0%	0	0	－
	晩播	6	4	67%	2	2	50%
	夏播き	17	13	76%	14	14	69%

【参考情報 4-B：トウモロコシ播種時期が被害スコアに与える影響】

目的：播種時期によるツマジロクサヨトウ被害の差の解明

方法：4月、5月および7月に播種したトウモロコシの生育初期（5－7葉期）、生育中期（9－10葉期）、収穫期（黄熟期）の被害スコア（5段階、1：被害なし－5：甚）の違いを検討する。

結果：4月播種および5月播種の9-10葉期までは被害が少なく、7月播種は生育期間を通して被害が多く見られましたが、試験区間に有意差は認められませんでした（表4－2）。

表4－2 トウモロコシの被害スコア

試験区	生育ステージ		
	生育初期 (5-7葉期)	生育中期 (9-10葉期)	収穫期 (黄熟期)
4月播種	1.13	1.07	1.24
5月播種	1.00	1.01	1.64
7月播種	1.22	1.61	1.61

【参考情報 4-C：圃場試験における幼虫の発生、食害の程度および収量の調査】

目的：薬剤防除を定期的に行う防除区と防除をしない無防除区を設けて、飼料用トウモロコシへのツマジロクサヨトウの加害程度と減収の関係を解明

実施：2022 年

試験実施場所：農研機構 九州沖縄農業研究センター（熊本県合志市）

試験区：7 月播種 (7/26) と 8 月播種 (8/8) それぞれに以下の試験区を設定

- 防除区 定期的に薬剤散布による防除を実施
- 無防除区 薬剤散布をせずに栽培

試験期間中の降水量と気温は、概ね平年並みで推移しました。ただし、期間中に台風 14 号が九州に上陸しており（9/18-19、最大風速 14.3m）、顕著な倒伏等は見られなかったものの、7 月播種の絹糸抽出期と重なったため、雌穂乾物収量を減少させた可能性があります。

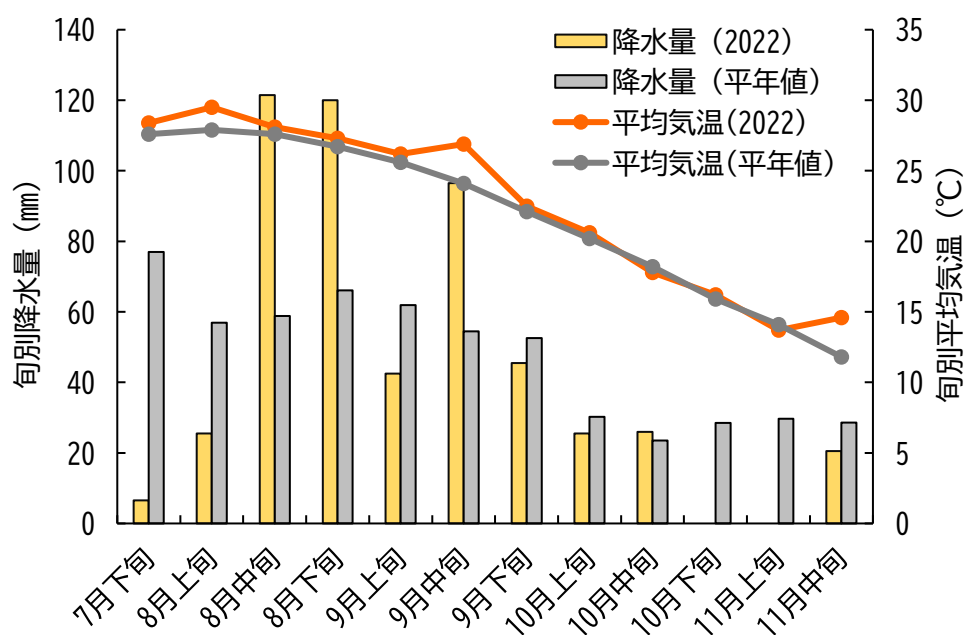


図 4—2 栽培期間中の気象条件、菊池（熊本県）
のアメダスデータ（気象庁）より作図

被害スコアは、7 月播種の生育初期を除いて防除区の方が低く推移しました。また、無防除区の被害スコアは 7 月播種と 8 月播種のどちらも生育中期以降に高まる傾向がありました。

表 4－3 7 月播種の被害スコア

処理	生育ステージ※		
	生育初期 (4-5 葉期)	生育中期 (9-10 葉期)	収穫期 (黄熟期)
無防除区	1.0	2.6	1.9
防除区	1.1	1.2	1.0

※生育初期、中期は茎葉の被害、収穫期は雌穂の被害スコアを表示
被害スコアは 5 段階で評価（1：被害なし－5：甚）

表 4－4 8 月播種の被害スコア

処理	生育ステージ※		
	生育初期 (5-6 葉期)	生育中期 (8-9 葉期)	収穫期 (糊熟期)
無防除区	1.9	3.3	2.1
防除区	1.0	2.0	1.1

※生育初期、中期は茎葉の被害、収穫期は雌穂の被害スコアを表示
被害スコアは 5 段階で評価（1：被害なし－5：甚）

無防除区で発生が確認できた幼虫は、7月播種では主にツマジロクサヨトウとアワノメイガ、8月播種ではおもにツマジロクサヨトウでした。また、どちらの播種時期においても生育初期は種の判別ができない非常に小さな若齢幼虫が多く見られました。

表4－5 7月播種の幼虫の構成割合（無防除区）

幼虫の種類	幼虫の構成割合			
	生育初期 (4-5 葉期)	生育中期 (9-10 葉期)	水熟期※	収穫期 (黄熟期)
幼虫の密度 (頭/m ²) ※	0.2	35.1	4.4	0.67
ツマジロクサヨトウ	0.0%	19.0%	95.0%	100.0%
アワノメイガ	0.0%	34.8%	0.0%	0.0%
ハスモンヨトウ	0.0%	0.6%	0.0%	0.0%
不明	100.0%	45.6%	5.0%	0.0%

※水熟期は雌穂のみ調査、他は地上部全体を調査

表4－6 8月播種の幼虫の構成割合（無防除区）

幼虫の種類	幼虫の構成割合			
	生育初期 (5-6 葉期)	生育中期 (8-9 葉期)	水熟期※	収穫期 (糊熟期)
幼虫の密度 (頭/m ²) ※	6.1	9.1	1.9	1.1
ツマジロクサヨトウ	23.6%	51.2%	70.6%	40.0%
アワノメイガ	0.0%	9.8%	0.0%	20.0%
ハスモンヨトウ	0.0%	1.2%	0.0%	40.0%
アワヨトウ	0.0%	0.0%	23.5%	0.0%
オオタバコガ	0.0%	0.0%	5.9%	0.0%
不明	76.4%	37.8%	0.0%	0.0%

※水熟期は雌穂のみ調査、他は地上部全体を調査

乾物収量は、無防除区の方が茎葉の乾物収量と全乾物収量（茎葉と雌穂の合計）が有意に低くなりました。また、雌穂の収量は8月播種の方が7月播種よりも多いという結果でした。これは、7月播種の絹糸抽出日(9/18)と台風14号の上陸(9/19)が重なったため、受粉に影響を与えた可能性が考えられます。

無防除区と防除区の収量を比較から虫害による減収率を計算すると、7月播種では茎葉は16.9%、雌穂乾物収量は8.9%、合計収量は14.8%減少していました。また、8月播種では茎葉乾物収量が7.8%、雌穂乾物収量は13.6%、合計収量は10.2%減少していました。

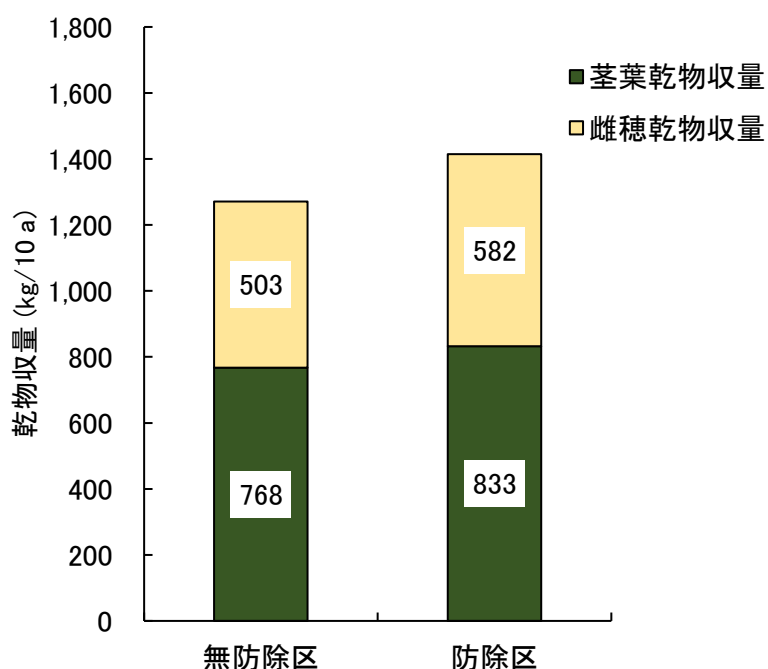


図4—3 防除試験 7月播種の乾物収量

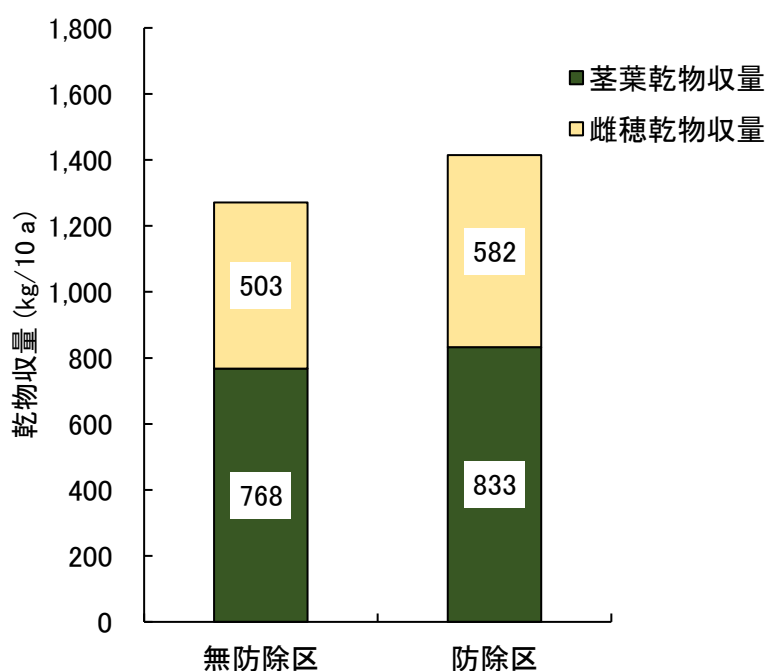


図4—4 防除試験 8月播種の乾物収量

【参考情報 4-D：トウモロコシ食害スコアの調査基準】

この事業では、海外で用いられている Fall Armyworm in Africa: A Guide for Integrated Pest Management. (Prasanna, B. M., et al. (2018), <https://repository.cimmyt.org/handle/10883/19204>) の被害評価方法を参考にして 5 段階の被害スコアを作成しました。本マニュアルの内容と実際の被害を比較する際の参考としてご利用ください。

表4—7 生育中の茎葉の被害スコア

スコア	被害の状態
1	葉に加害跡がない、または、下位葉にピンホール状の加害痕がわずかにみられるのみである。
2	ピンホール状の穴や、小さな円形の穴が複数の葉に観察される。 または、抽出中の葉に加害跡がみられるが長さは1.3cm以下である。
3	長さ2.5cm以上の加害痕を持つ葉が8枚以上（または半数以上）ある。抽出中の葉には中小の不定形の穴が見られるが、2.5cmを上回る加害跡は見られない。
4	ほとんどの上位葉に長さ2.5cmを大きく上回る加害痕が多数ある。抽出中の葉にも多数の不定形の穴が観察される。
5	食害により抽出中の葉がほぼなくなり、植物体が枯死する。

表4—8 収穫時の雌穂の被害スコア

スコア	被害の状態
1	被害粒なし
2	被害粒が全体の10%未満
3	被害粒が全体の35%未満
4	被害粒が全体の60%未満
5	被害粒が全体の60%以上

5. ツマジロクサヨトウの被害解析（^{せん}剪葉処理）

飼料用トウモロコシに対するツマジロクサヨトウの食害は、幼苗期（出芽した葉が3-4枚の3-4葉期）には主に若齢（1-2齢）の幼虫により葉の表面をかすり状に食害しますが、茎葉型除草剤散布期の6-7葉期では、中齢（3-4齢）に成長した幼虫がトウモロコシの芯部に潜り込んで、未展開の柔らかい葉を食害するようになります。そのような葉が展開すると葉の中肋を中心として列状に同じ形の食害痕が並ぶ特徴を示します。さらに幼虫密度が高く、齢期が進むと展開中の葉がほとんど食害されて失われる場合も見られます（写真5-1左）。それらの虫害を模擬して、幼苗期処理（TH1）では1-3葉を全て切除し、除草剤散布期に最上位の2展開葉に中肋をはさんで、リーフパンチで穴開けする処理（TH2）とさらに未展開葉を全て切除する処理（TH3）を設けました。本実験の目的は、トウモロコシの3-4葉期（春播では播種の約2週間後、夏播きでは1週間後）に、葉がすべて食害により失われる被害を受けたとしても、その時期に登録殺虫剤を散布して根絶でき、さらにその後虫害が発生しなければ、トウモロコシの生育や収穫期（黄熟期、夏播きでは乳一糊熟期）の収量、飼料品質がどの程度影響を受けるのかを明らかにさせたいというものでした。また、九州では一般的な春播き（4月上中旬播種）、晩播（6月上旬播種）、夏播き（8月上旬播種）の3作期別に3か年にわたり調査しました。



写真5-1. 飼料畑のツマジロクサヨトウによる食害(左)と食害を模擬した剪葉処理(右)。

図5-1に剪葉処理が収穫期の乾物収量とTDN含量に及ぼす影響をまとめています。年度間で処理の影響は必ずしも一致していませんが、春播きではTH1の処理により大きく減収し、TH3でも同程度の減収をもたらすと考えられます。晩播では処理間差が小さく、夏播きではTH3で大きく減収することが一致した傾向です。TDN含量は、台風による倒伏で雌穂の登熟が進まず大きく低下した2023年の晩播を除き処理間差、年度間差が小さく、TDN含量はほぼ65-70%の範囲に集まると算出されました。

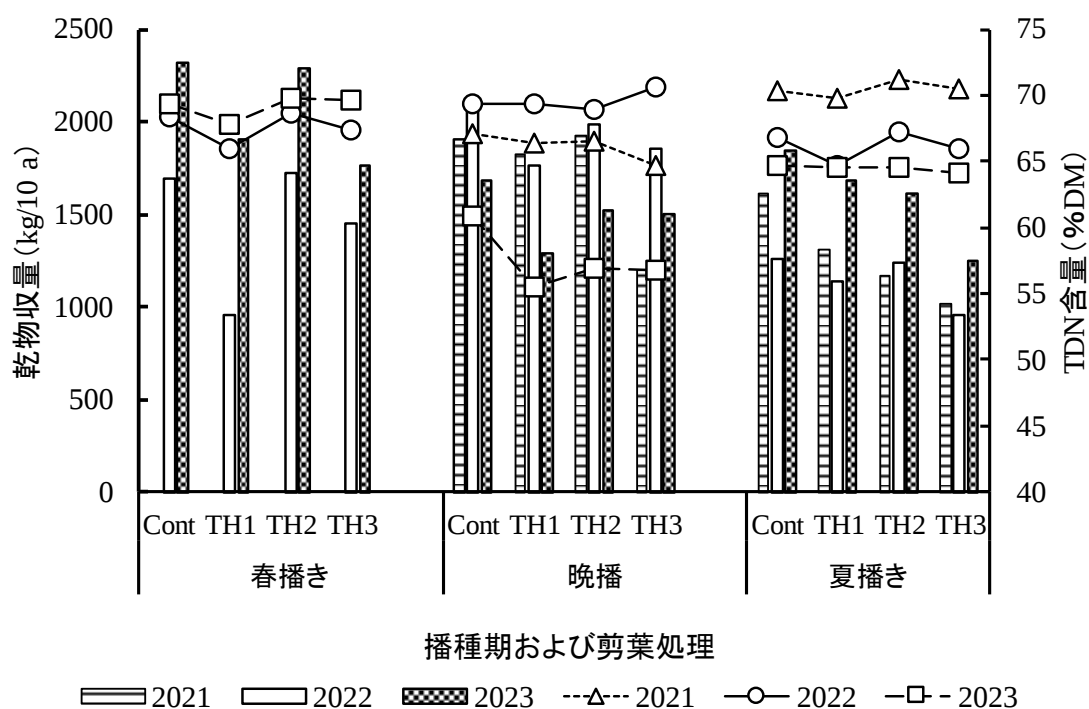


図5-1 播種期別のトウモロコシの剪葉処理による収穫期の乾物収量と TDN 含量†.

春播き：4 月上中旬播き、晩播：6 月上旬播き、夏播き：8 月上旬播き.

剪葉処理：Cont（無処理の対照）、TH1：3-4 葉期に展開葉を切除、TH2：6-7 葉期に最上 2 展開葉をリーフパンチ処理、TH3：6-7 葉期に TH2 に加えて未展開葉を切除.

†TDN 含量 (%乾物) = 雌穂重比率 × 0.885 + (100 - 雌穂重比率) × 0.528 - 3.2.

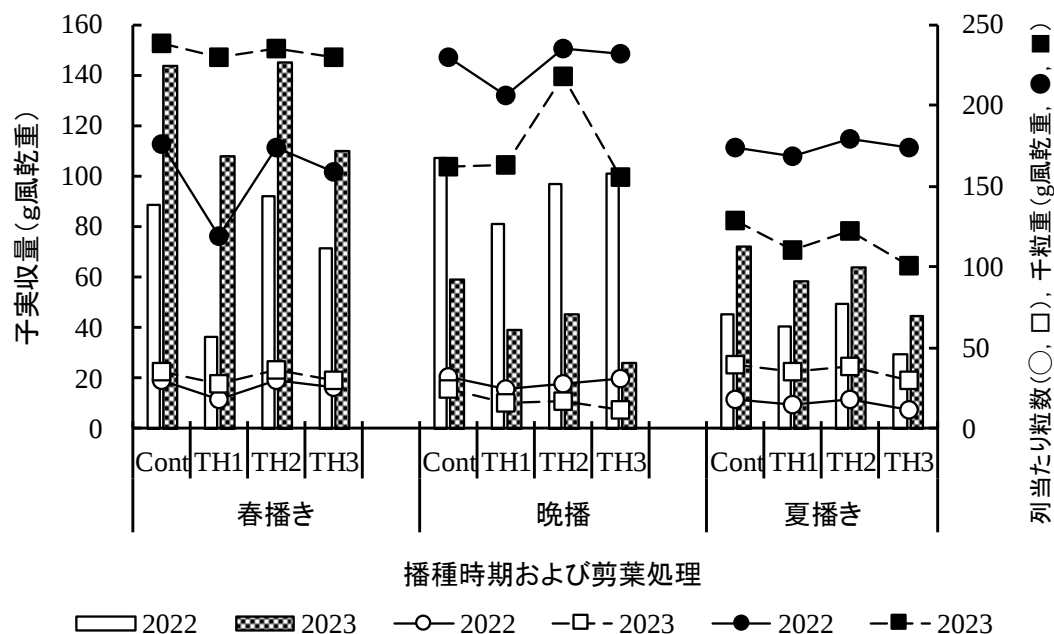


図5-2 播種期別のトウモロコシの剪葉処理による子実収量と収量構成要素.

播種時期と剪葉処理の内容は、図5-1 参照.

さらに TDN 含量に大きく影響する子実収量に対する影響を図 5-2 にまとめています。乾物収量への影響と同様に、子実収量は春播きでは TH1 で、夏播きでは TH3 で大きく減収し、その減収を収量構成要素で見ると、列当たり粒数と同様な低下をもたらすことが認められます。

この影響をもたらす植物体の成長程度として、絹糸抽出期で全ての葉が抽出し最大の葉面積となった時期の土地面積当たりの植物体葉面積の比（葉面積指数）によって、収穫期の全乾物重がほぼ定まることが、図 5-3 (A) に示されています。すなわち、剪葉により、あるいは虫害により、葉の展開量が減少すると、それに応じて乾物収量あるいは TDN 収量も直線的に低下すると考えられます（図 5-3 (B)）。なお、2023 年の夏播き区では乳熟期の収穫であったため、黄熟期収穫できた春播きに比べ、同一の葉面積指数でも、TDN 収量は大きく低下しています（図 5-3 (B)）。

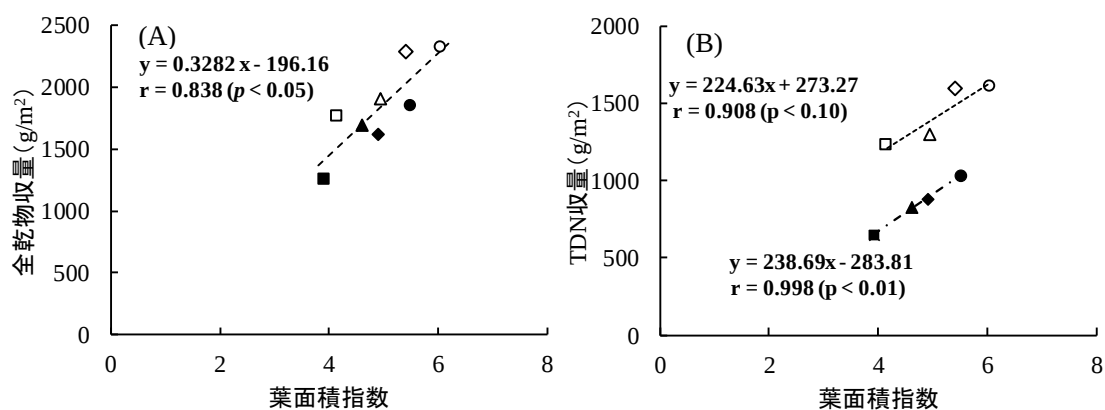


図5-3 絹糸抽出期の葉面積指数と収穫期の全乾物収量(A)および TDN 収量(B)との関係 (2023 年). 処理: Cont (○, ●), TH1 (△, ▲), TH2 (◇, ◆), TH3 (□, ■).

作期: 春播き (○, △, ◇, □), 夏播き (●, ▲, ◆, ■). 晩播区は、倒伏のため未調査.

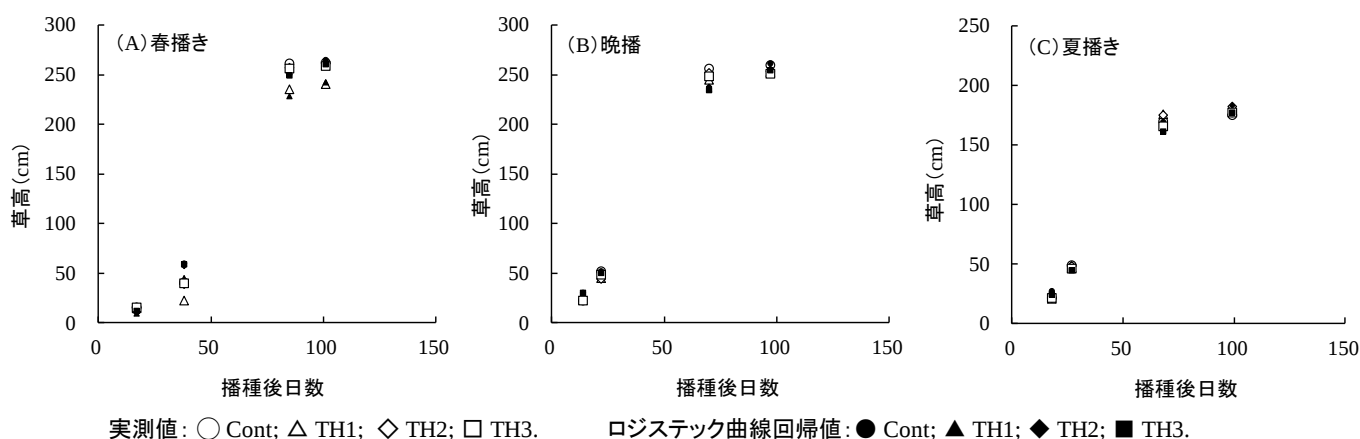


図 5-4 播種期別のトウモロコシの剪葉処理による草高の変化 (2022 年) .

播種時期別の剪葉処理が栄養器官の成長に与える影響を草高の変化で検討すると（図 5－4）、春播きでは TH1 処理で草高の伸びが大きく抑制され、収穫期まで回復できないことが示されています（図 5－4（A））。一方、晩播では処理による草高の差異は狭まり（図 5－4（B））、夏播きでも処理間の差異は認められない状況となりました（図 5－4（C））。しかし、夏播きでは TH3 による葉面積指数の低下幅が大きく（図 5－3（B））、その結果、収量、TDN 収量の低下が大きくなりました。

ツマジロクサヨトウの虫害が頻発する夏播きでは、食害の発生が確認された場合、殺虫剤散布が可能な幼苗期もしくは 6-7 葉期の散布適期における適切な防除が必須であり、薬剤による防除を強く推奨したいと思います。

6. ツマジロクサヨトウに対する耕種的な被害軽減技術

1) トウモロコシ品種による被害軽減技術

ツマジロクサヨトウの食害に対して、極端に低い被害程度を示す品種はなく、ツマジロクサヨトウが食べれば成長が停滞するような抗生性等の真性抵抗性はないと考えられます。しかし、品種の早晩性と被害程度には関係があり、極早生、早生品種に比べて晩生・極晩生品種は被害程度が小さい傾向にあり、晩生・極晩生品種の中でも収量の多い品種を選べば、必ずしも減収割合を小さくできるわけではありませんが、収穫量を多くすることができると考えられます。

【参考情報 6-1-A：被害程度と収量のトウモロコシ品種間比較】

ツマジロクサヨトウの被害の多い夏播きで、RM105 から 135 の極早生から極晩生の 50 品種を 7 月中旬、8 月上旬、8 月下旬の播種で栽培、生育初期、節間伸長期、雄穂開花揃いの茎葉の被害程度（1：被害なし～5：甚）を調査すると、茎葉の被害は播種時期が遅くなるほど、同じ播種時期では調査時期が遅くなるほど顕著になりました（図 6-1）。

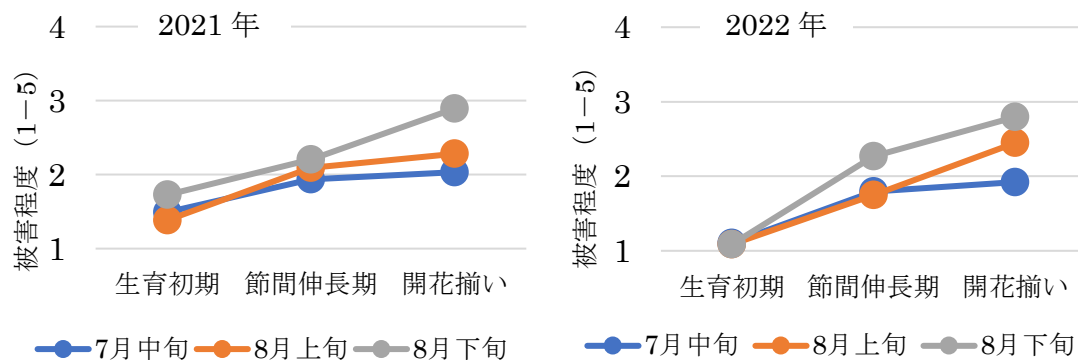


図6-1 播種時期別の生育ステージごとのツマジロクサヨトウによる茎葉の被害

供試品種を RM で極早生 (RM105-110)、早生 (RM114-118)、中生 (RM120-125)、晩生・極晩生 (RM127-135) に分けて解析すると、晩生・極晩生品種と極早生、早生、中生との間には差がありました (表 6-1)。また、どの品種も同じように被害されるのであれば、晩生、極晩生品種は生育量が多く、植物体が大きいのので、雄穂開花揃いまでの相対的な被害量が少なくなると考えられました。

表6-1 早晩性別の開花揃いの茎葉、収穫期の雌穂の被害程度

早晩性	品種数	2021 年					
		7 月中旬	8 月上旬	8 月下旬		7 月中旬	8 月上旬
		開花揃い				雌穂	
極早生 RM 105-110	12	2.11	2.34	2.95		1.58	1.66
早生 RM 114-118	14	2.08	2.28	3.00		1.68	1.73
中生 RM 120-125	15	2.00	2.28	2.85		1.60	1.70
晩生・極晩生 RM 127-135	9	1.91	2.21	2.70		1.50	1.68
全品種	50	2.03	2.28	2.89		1.60	1.69
早晩性	品種数	2022 年					
		7 月中旬	8 月上旬	8 月下旬		7 月中旬	8 月上旬
		開花揃い				雌穂	
極早生	12	2.12	2.48	2.93		2.22	1.60
早生	14	2.09	2.57	2.87		2.07	1.67
中生	15	1.75	2.47	2.71		2.05	1.66
晩生・極晩生	9	1.67	2.18	2.64		1.77	1.34
全品種	50	1.92	2.45	2.80		2.05	1.59

赤字：p<0.01, 橙字：p<0.05

8 月上旬播種の夏播きで、中生、晩生、極晩生の 20 品種のツマジロクサヨトウの被害程度、収量の品種比較試験を行ったところ、収量は対照に設置した殺虫剤処理区の収量と高い正の相関がありました (図 6-2)。

殺虫剤処理を行った場合と行わなかった場合の収量を比較し、各品種の減収割合を算出しました。図 6-2 には乾物収量を、表 6-2 には減収割合を示しています。品種は同じ順に並んでいます。減収割合は収量の多い品種が高い傾向、収量の少ない品種が低い傾向にありました。しかし収量自体は減収割合と関係なく、殺虫剤処理区の収量が多い品種ほど多収な傾向でした。必ずしも減収を軽減できるわけではありませんが、被害程度に大きな差がないのであれば、多収になる品種を選ぶ方が、結果的に収穫量を多くできると考えられました。

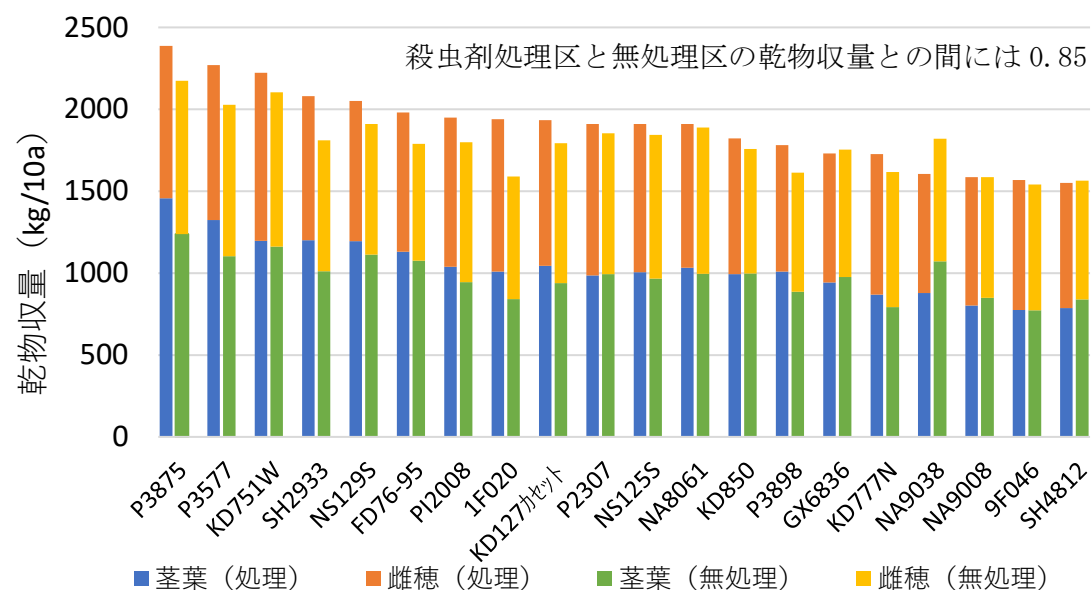


図6-2 8月上旬播種の中生～極晩生品種の乾物収量

表6-2 8月上旬播種の中生～極晩生品種の茎葉および雌穂の被害程度と減収割合

品種	処理区被害程度(1-5)		無処理区被害程度(1-5)		減収割合(%)	
	茎葉	雌穂	茎葉	雌穂	茎葉	全体
P3875	1.69	1.68	1.96	1.74	15.0	8.9
P3577	1.47	1.54	2.01	1.48	16.6	10.6
KD751W	1.41	2.00	1.68	1.95	2.9	5.3
SH2933	1.47	1.52	2.07	1.50	15.7	13.0
NS129S	1.48	1.93	1.85	1.97	6.9	6.9
FD76-95	1.40	1.67	1.91	1.88	4.9	9.7
PI2008	1.49	1.77	1.81	1.87	9.0	7.7
1F020	1.21	1.97	1.53	2.22	16.6	18.1
KD127カセット	1.33	2.07	1.74	2.13	10.1	7.2
P2307	1.38	1.88	1.73	1.95	-0.9	3.0
NS125S	1.37	2.03	1.71	2.13	3.8	3.5
NA8061	1.31	2.02	1.71	2.10	3.6	1.2
KD850	1.41	1.89	2.00	2.02	-0.3	3.5
P3898	1.40	1.70	2.00	1.80	12.1	9.4
GX6836	1.46	1.93	1.81	2.00	-3.6	-1.3
KD777N	1.44	1.90	1.75	1.88	8.6	6.3
NA9038	1.62	1.70	1.93	1.97	-22.0	-13.5
NA9008	1.52	2.00	1.85	1.93	-5.7	0.0
9F046	1.49	1.93	1.74	2.00	0.3	1.8
SH4812	1.32	1.92	1.73	2.52	-6.7	-0.9
平均	1.43	1.85	1.83	1.95	4.3	5.9
LSD(5%)	0.23	0.17	0.29	0.17	—	—

【参考情報 6-1-B：トウモロコシ品種間の食害と収量比較結果】

3月播種と8月播種でトウモロコシ品種間の食害と収量の比較を行いました。3月播種は、8月播種に比べて、ツマジロクサヨトウの被害が少なく、収量も多い結果となりました。また、品種別では、3月播種においてKD641、8月播種においてP3875がツマジロクサヨトウの被害が少なく、収量も多い結果となりました。これらの品種の収量が多かったのは、食害が少なかったのではなく、品種自体が高収量であることを反映した結果であると考えられます。

表6－3 被害スコアと収量

播種 月	品 種	被害スコア				乾物収量(kg/10a)			TDN収量 (kg/10a)
		生育 初期	生育 中期	収穫時		茎葉	雌穂	合計	
		茎葉	茎葉	茎葉	雌穂				
3月	34N84	1.0	1.2	1.6	1.0	1,284	996	2,280	1,500
	LG30500	1.0	1.9	3.0	1.5	1,266	1,012	2,278	1,501
	KD641	1.0	1.4	1.8	1.2	1,516	951	2,467	1,589
	平均	1.0	1.5	2.1	1.2	1,355	986	2,342	1,530
8月	KD751W	2.0	2.3	2.7	4.0	929	874	1,803	1,210
	P3577	1.8	2.9	3.2	3.3	1,030	1,091	2,121	1,442
	KD850	1.7	2.0	2.5	2.8	723	909	1,632	1,134
	P3875	1.7	2.0	2.3	2.9	1,129	1,109	2,238	1,508
	平均	1.8	2.3	2.7	3.3	953	996	1,949	1,324

※数値は、2022と2023の平均

※播種日 3月播種：2022（3/16）、2023（3/20）、8月播種：2022（8/2）、2023（8/4）

収穫日 3月播種：2022（7/11）、2023（7/21）、8月播種：2022（12/2）、2023（12/2）



写真6－1 3月播種 KD641 と 8月播種 P3875 の雌穂

2) 不耕起播種によるツマジロクサヨトウ被害軽減

ツマジロクサヨトウの発生数は梅雨明け後の夏季に多くなるため、夏播きでは食害による減収が大きくなる可能性があります。現在、飼料用トウモロコシの省力的栽培法として不耕起播種が利用されていますが、天候等の事情に左右される耕うん、碎土、整地を省略できることに加え、播種に伴う作業時間を大幅に短縮できます。

不耕起播種の利用により二期作でも短期間に播種を完了させることが可能になるため、ツマジロクサヨトウの発生数が多くなる前にトウモロコシを生育させ、食害による減収を軽減させることができます。

なお、不耕起播種の導入にあたっては、不耕起播種に対応した播種機が必要になることに加え、堆肥の散布が制限されることや雑草対策が必要になるなどの注意点があります。不耕起播種による飼料用トウモロコシ栽培についての詳細な注意点については、「不耕起対応トウモロコシ高速播種機の活用Q & A ～試験事例集～」(不耕起飼料生産技術研究会)が公開されていますので、そちらを参照してください。

<https://www.naro.go.jp/org/brain/iam/201804_fukoukiQandA.pdf>

【参考情報 6-2-A：不耕起播種による飼料用トウモロコシ栽培試験結果】

実施：2022 年

試験実施場所：農研機構 九州沖縄農業研究センター（熊本県合志市）

播種機：不耕起対応高速播種機 NTP-2（アグリテクノリサーチ）



写真6-2 春播きトウモロコシ（前作）の収穫風景

（農研機構 九州沖縄農業研究センター）



写真6-3 春播きトウモロコシ収穫、2作目の耕起後の播種風景

（農研機構 九州沖縄農業研究センター）



写真 6－4 春播きトウモロコシ収穫
後の 2 作目の不耕起播種風景

(農研機構 九州沖縄農業研究センター)

7 月播種と 8 月播種のどちらにおいても同じ播種時期であれば、耕起区と不耕起区
の間に幼虫密度に違いはありませんでした。また、試験期間中に発生が確認できた幼
虫は、7 月播種と 8 月播種どちらも主にツマジロクサヨトウとアワノメイガでした。
なお、不明な幼虫は主に若齢幼虫で、非常に小さいために種の判別ができませんでした。
若齢幼虫を除いても、7 月播種と 8 月播種のどちらにおいても耕起と不耕起で全
幼虫の密度に大きな差はありませんでした。

表 6－4 7 月播種の幼虫調査結果

幼虫の種類	耕起区				不耕起区			
	生育初期 (7 葉期)	生育中期 (9 葉期)	水熟期 ※	収穫期 (黄熟期)	生育初期 (7 葉期)	生育中期 (9 葉期)	水熟期 ※	収穫期 (黄熟期)
幼虫の密度 (頭/m ²)	2.0	17.6	7.2	1.7	9.8	18.6	7.1	0.9
ツマジロクサヨトウ	77.8%	8.9%	90.8%	33.3%	4.5%	15.0%	95.3%	40.0%
アワノメイガ	0.0%	53.2%	6.2%	55.6%	0.0%	64.1%	1.6%	20.0%
ハスモンヨトウ	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	12.5%	0.0%	0.0%	0.0%
アワヨトウ	11.1%	1.9%	0.0%	11.1%	0.0%	4.2%	1.6%	20.0%
オオタバコガ	0.0%	0.0%	1.5%	0.0%	0.0%	0.0%	1.6%	0.0%
不明	11.1%	36.1%	1.5%	0.0%	83.0%	16.8%	0.0%	20.0%

※水熟期は雌穂のみを調査、他は植物体全体を調査

表 6－5 8 月播種の幼虫調査結果

幼虫の種類	耕起区				不耕起区			
	生育初期 (7 葉期)	生育中期 (9 葉期)	水熟期 ※	収穫期 (糊熟期)	生育初期 (7 葉期)	生育中期 (9 葉期)	水熟期 ※	収穫期 (糊熟期)
幼虫の密度 (頭/m ²)	5.7	10.4	5.8	1.1	9.9	10.1	5.0	0.9
ツマジロクサヨトウ	68.6%	39.4%	82.7%	66.7%	47.2%	27.5%	80.0%	20.0%
アワノメイガ	5.9%	39.4%	1.9%	0.0%	9.0%	46.2%	0.0%	80.0%
ハスモンヨトウ	2.0%	1.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
アワヨトウ	0.0%	3.2%	9.6%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
オオタバコガ	0.0%	0.0%	3.8%	33.3%	0.0%	0.0%	20.0%	0.0%
不明	23.5%	17.0%	1.9%	0.0%	43.8%	26.4%	0.0%	0.0%

※水熟期は雌穂のみを調査、他は植物体全体を調査

耕起と不耕起の間の被害スコアを比較すると、7 月播種と 8 月播種のどちらでも差はありませんでした。そのため、耕起と不耕起の間で被害状況に違いはないと考えられます。7 月播種と 8 月播種の間の被害スコアを比較すると、7 月播種では 4 週目まで 2 未満で 5 週目に 2 を超えたのに対して、8 月播種では 4 週目の時点で 2 を越えており、7 月播種よりも 8 月播種の方が被害の進展が早いという結果でした。この結果より、早期に播種することで、植物体が小さく、加害を受けた場合に被害が大きくなり安いと考えられる生育初期のツマジロクサヨトウ被害を軽減できる可能性があると考えられます。

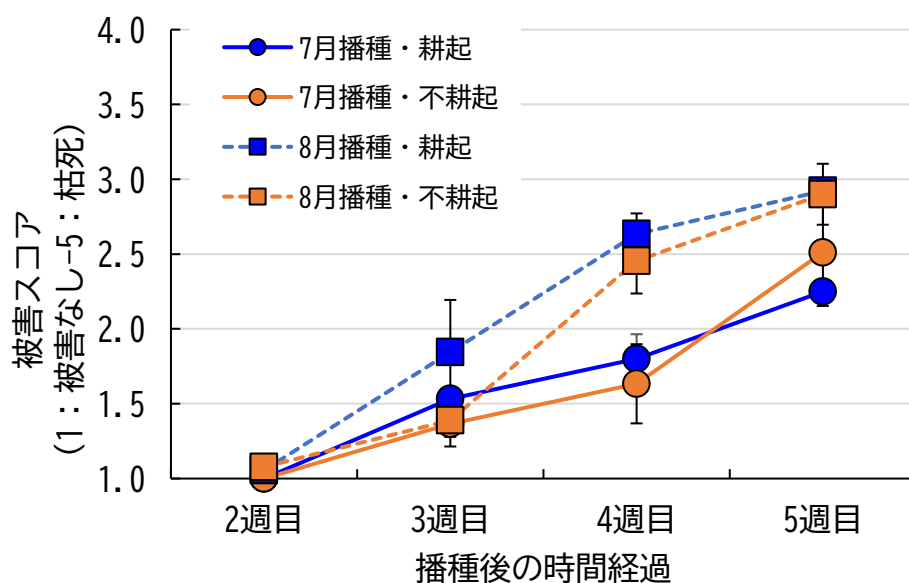


図 6－3 播種後 2-5 週 (3-10 葉期) の被害スコアの推移

耕起区と不耕起区の乾物収量を比較すると、7月播種と8月播種の両方で茎葉、雌穂および合計の乾物収量に差は見られませんでした。一方で、播種時期間で収量を比較すると、7月播種は8月播種よりも茎葉乾物収量が多く、雌穂乾物収量が少ないという結果で、茎葉と雌穂を合計した総乾物収量は7月播種と8月播種の間統計的な差はありませんでした。栽培期間は7月播種(104日)の方が8月播種(98日)よりも長いいため、通常であれば7月播種の方が収量が多いと期待出来ます。本試験で播種時期の間で収量に明確な差が見られなかった原因としては、虫害の影響を受けた他に絹糸抽出期に台風が上陸した影響を受けた可能性があります。

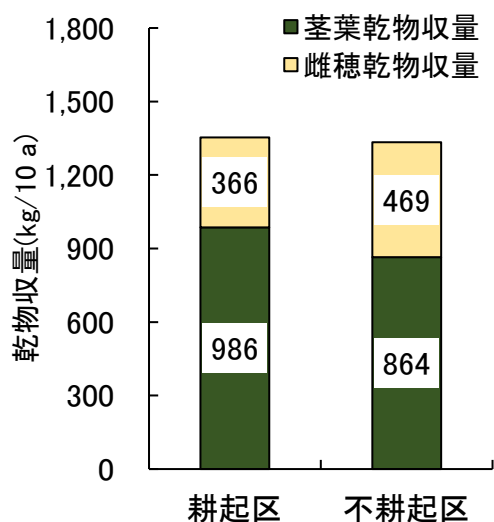


図6-4 7月播種乾物収量

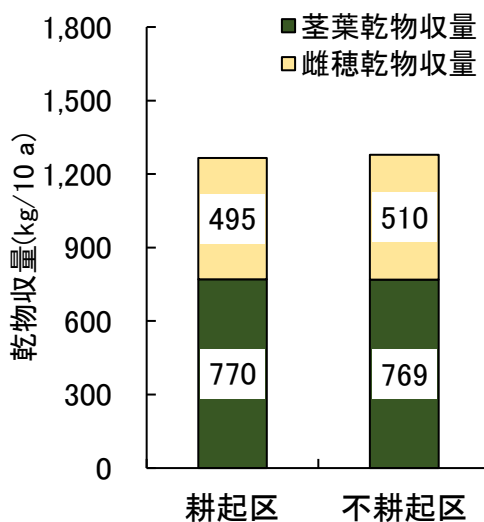


図6-5 8月播種乾物収量

3) 混播・冬作栽培によるツマジロクサヨトウ被害の相殺

夏播きトウモロコシがツマジロクサヨトウ食害による大幅な減収を受ける場合は、収量の多いソルガムをトウモロコシに混播する、あるいは冬作を栽培していない場合はエンバク・イタリアンライグラス混播栽培などを行うことで食害による収量減を相殺することができます。また、トウモロコシ二期作の場合は年間作付け体系を見直し、ツマジロクサヨトウによる食害があまり問題にならない春播きトウモロコシに早晩性の遅い品種を作付けして栽培期間を延長するとともに、トウモロコシ二作目を止めて冬作にエンバク・イタリアンライグラス混播栽培を行うといった作付け体系に変更することもできます。イタリアンライグラスの播種をまだ暑い9月に行う場合は、いもち病発生時に大幅な減収となるリスクがあるため、「Kyusyu 1」や「はやまき18」などの、いもち病抵抗性がある品種を利用することを推奨します。

【参考情報 6-3-A：トウモロコシ・ソルガムの夏播き混播栽培による被害軽減技術】

ツマジロクサヨトウによる食害は、主に夏播きトウモロコシにおいて被害が発生しています。そこで、代替となり得る作付体系として、ソルガムとの混播栽培がツマジロクサヨトウによる食害に与える影響について、無防除の単播栽培と混播栽培での被害程度と収量性の違いを比較調査しました。

品種：トウモロコシ：ゴールドデント KD731 (RM123)、ソルガム：甘味ソルゴー

被害程度について達観での調査を行った結果、生育初期には単播区、混播区の被害程度は同等でした。その後収穫期には、トウモロコシの被害程度は単播区で被害の拡大がみられた一方、混播区では被害の拡大はほとんどみられませんでした。また、ソルガムでは生育期間を通して被害は軽微でした。トウモロコシの雌穂被害については両区ともに被害程度に差はみられませんでした。（表6－6）。

表6－6 生育ステージ別の茎葉被害程度スコア(5段階、1:被害なし－5:甚)

処理	品種	生育ステージ		収穫期	雌穂被害
		生育初期 (2～3 葉期)	生育中期 (6～7 葉期)		
単播区	KD731	1.4	1.9	2.1	1.4
混播区	KD731	1.4	1.5	1.6	1.5
	甘味ソルゴー	1.1	1.2	1.2	—

収量調査の結果、10aあたりの乾物収量は単播区 2072kg に対して、混播区 2328kg と混播により増加しました。また、10aあたりの TDN 収量は単播区 1470 kg に対して、混播区 1553 kg と単播区比 106%の収量性となりました。(図6－6、6－7)。

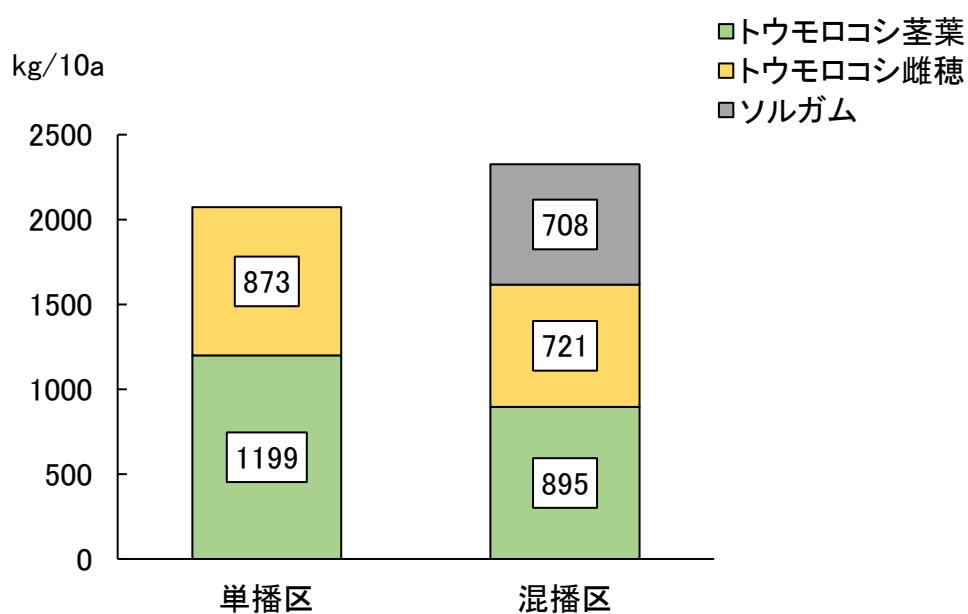


図6－6 夏播きトウモロコシ単播とトウモロコシ・ソルガム混播の乾物収量

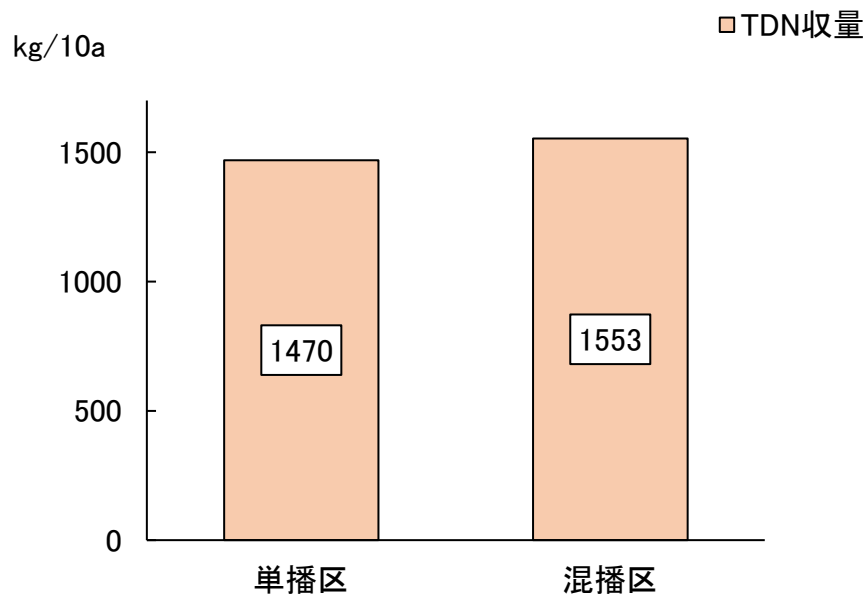


図6-7 夏播きトウモロコシ単播とトウモロコシ・ソルガム混播のTDN収量

以上の結果から、トウモロコシとソルガムの混播栽培はツマジロクサヨトウの食害を軽減することが可能であり、単播栽培と同等以上の収量を確保できることが明らかとなりました。このことから、ツマジロクサヨトウによる被害が予想される場合、混播栽培が被害の軽減に有効な可能性があります。

【参考情報 6-3-B：夏播きトウモロコシ・ソルガム混播や冬作エンバク・イタリアンライグラスの収量】

現在、飼料生産現場で利用できるツマジロクサヨトウの耕種的防除技術や激発地における飼料作物体系の提案がないことから、飼料用トウモロコシの中でも特に被害の大きいと考えられる夏播きトウモロコシの代替となる飼料作物作付け体系を開発しました。

夏播きトウモロコシ（C単播）、夏播きトウモロコシ・ソルガム混播（C S混播）および冬作としてエンバク・イタリアンライグラス混播（A I混播）を栽培しました。使用した品種は以下の通りです。

トウモロコシ：PI2008（C単播、C S混播とも同一）

ソルガム：シュークロソルゴー405、ハイブリッドソルゴー、短尺ソルゴー、（C S混播）

エンバク・イタリアンライグラス混播：スナイパー（エンバク）、ヤヨイワセ（イタリアンライグラス）、（A I混播）

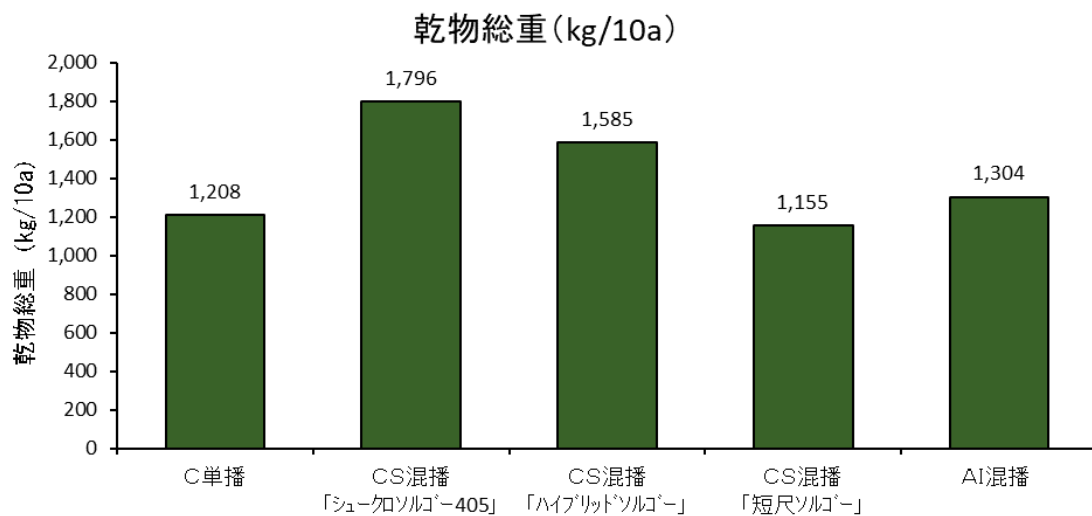


図6－8 夏播きトウモロコシ、夏播きトウモロコシ・ソルガム混播、冬作エンバク・イタリアンライグラス混播の乾物収量

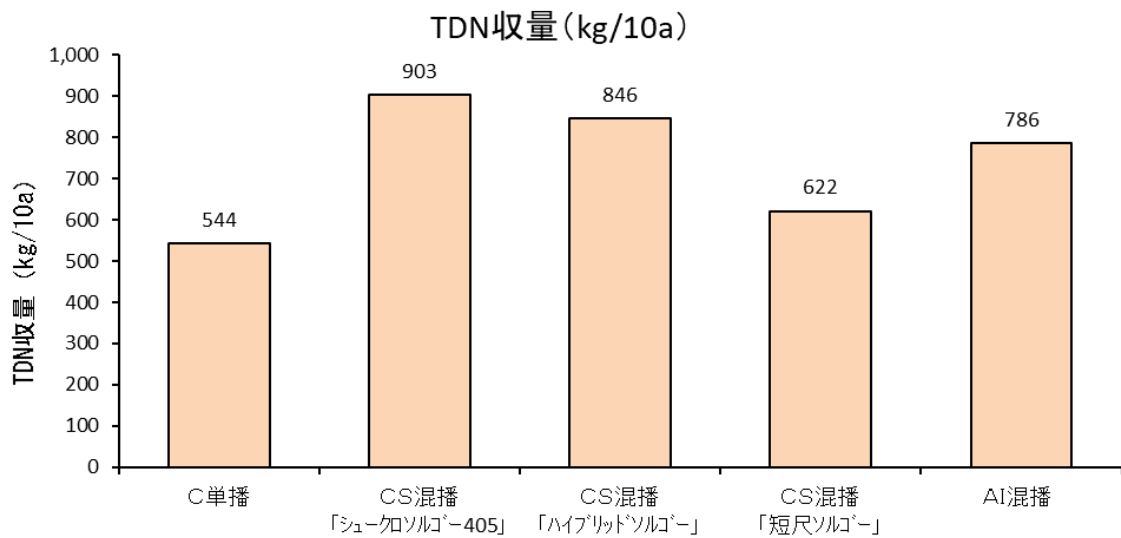


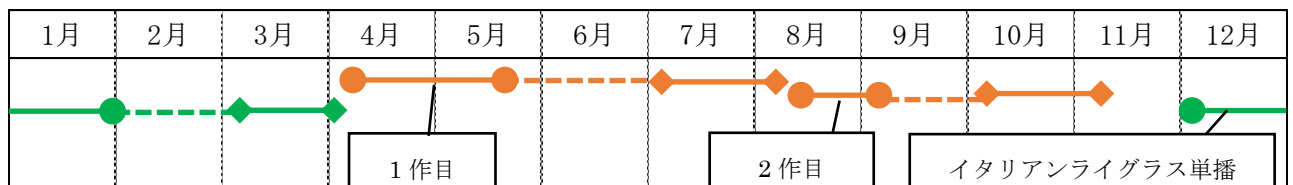
図6－9 夏播きトウモロコシ、夏播きトウモロコシ・ソルガム混播、冬作エンバク・イタリアンライグラス混播のTDN収量

乾物収量及びTDN収量を図6－8、6－9に示します。CS混播はC単播と同等かそれ以上、またAI混播もC単播と同等以上の収量が得られました。ツマジロクサヨトウによる食害で収量低下のおそれがある場合は、夏播きトウモロコシを栽培する際にソルガムを混播する、あるいは冬作を生産していない場合はエンバク・イタリアンライグラス混播栽培をすることで、食害による収量減を相殺することが可能と考えられます。

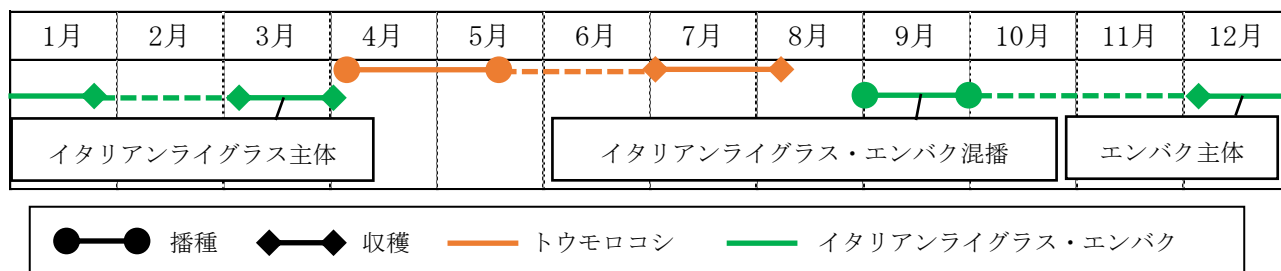
【参考情報 6-3-C：被害の多い時期を避けた周年作付体系の検討】

2022～2023年度にトウモロコシ、イタリアンライグラス単播、イタリアンライグラス・エンバク混播を作付けし、調査結果をもとに、下記2つの作付体系について比較を行いました。

①トウモロコシ2期作+イタリアンライグラス



② トウモロコシ1期作+イタリアンライグラス・エンバク混播



<試験結果>

- ・4月播種及び5月播種の9～10葉期までは被害が少なく、7月播種は生育期間を通して被害が多く見られましたが、試験区間に有意差は認められませんでした(表6-6)。
- ・年間合計乾物収量はトウモロコシ2期作+イタリアンライグラス単播の方が約400kg/10a多くなりました(図6-10)。
- ・2024年2月時点での資材コストはトウモロコシの2作目をイタリアンライグラス・エンバク混播に置き換えた方が約5.9円低くなりました(表6-7)。

表6-7 資材コスト

作付体系	乾物収量1kg あたり資材コスト
トウモロコシ2期作 +イタリアン単播	22.4
トウモロコシ1期作 +イタリアンライグラス・エンバク混播	16.5

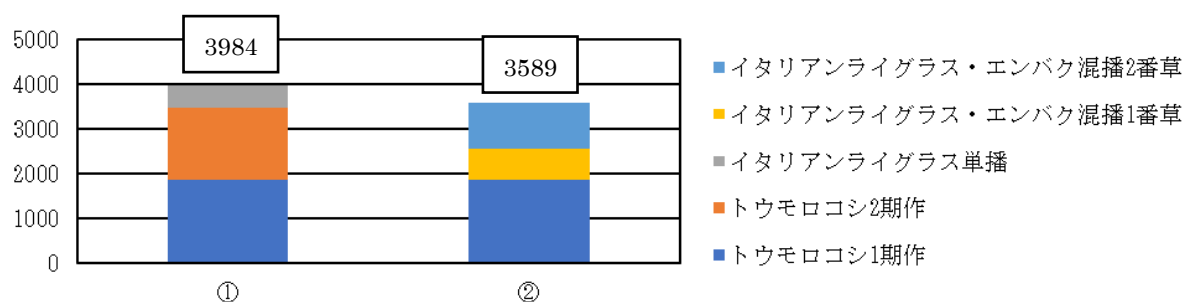


図6-10 年間合計乾物収量 (kg/10a)

①：トウモロコシ2期作+イタリアンライグラス単播

②：トウモロコシ単作+イタリアンライグラス・エンバク混播

以上の結果より、トウモロコシの2作目で約400kg/10a以上の減収が予想される場合にはイタリアンライグラス・エンバク混播を行うことにより乾物収量の確保および資材コストの削減が可能であると考えられます。

7. ツマジロクサヨトウに対する物理的な被害軽減技術

1) 黄色灯を用いた物理的な被害軽減技術とは？

夜行性のガに対して、夜間に黄色灯を照射することで、活動を鈍化させる技術であり、果樹、花、野菜などを栽培する農家に普及しています。果樹では、吸蛾類の成虫に対して照射することで、吸汁被害が抑制されます。また、露地作物では、ガの成虫に対して照射することで、飛来防止効果や交尾・産卵抑制効果が得られ、被害を及ぼす次世代幼虫の発生が抑制されます。

本法は、ガの種類によっては効果が無い場合もあるため、ガの種類ごとに効果を確認する必要があります。また、本法を使用する際は作物自体に悪影響が無いことを確認することが重要です。本章では、黄色灯がツマジロクサヨトウの活動およびトウモロコシ被害におよぼす影響と飼料用トウモロコシの生育および収量におよぼす影響を明らかにしたので紹介します。

2) 黄色灯がツマジロクサヨトウの活動およびトウモロコシ被害におよぼす影響

室内実験で黄色灯がツマジロクサヨトウの行動抑制におよぼす効果を確認するとともに、野外実験で飼料用トウモロコシほ場における夜間の黄色灯点灯がツマジロクサヨトウにおよぼす影響を調査しました。

室内実験の結果、夜間の黄色灯点灯によりオス成虫の活動量が6分の1程度に抑制され、メス成虫の活動量も3分の1程度に抑制されました。



野外実験で、2期作目（8月播種）の飼料用トウモロコシほ場内に夜間に黄色灯を照射する区（写真）と無照射区を設置し、フェロモントラップへの成虫誘殺数、株あたりのヤガ類幼虫個体数および株の被害率を調査しました。その結果、無照射区に比べ、黄色灯照射区ではツマジロクサヨトウ成虫個体数および株あたりのヤガ類幼虫個体数は少なく推移し、トウモロコシ株の被害程度が低く抑えられました。また、生育初期（出芽期）から収穫直前までの期間において、様々な照射時期を設定し、それらの照射条件がヤガ類幼虫個体数および株の被害率におよぼす影響を調査しました。その結果、生育初期から収穫直前まで照射した場合に幼虫個体数および被

害率が最も少なくなり、5-6 葉期あるいは 9-10 葉期まで照射した場合には収穫直前まで照射した場合よりは劣るものの、無照射よりは幼虫個体数および被害率が少なくなりました。

3) 黄色灯がトウモロコシの生育および収量におよぼす影響

黄色灯照射の飼料用トウモロコシ（2 期作目）の生育への影響について調査した結果、播種後から収穫直前の期間中における黄色灯の夜間照射は、生殖成長以降における生育段階の移行を遅らせる影響があることが認められ、その程度は照射強度依存的事であることが示唆されました。また、生育初期から収穫直前までの期間において、様々な照射時期を設定し、それらの照射条件が生育程度および収量に及ぼす影響について調査したところ、収量性（生総重・乾物総重・TDN 収量）において、留意すべき有意差は認められませんでした（表 7-1）。以上の結果から、飼料用トウモロコシへの黄色灯照射は、生殖成長期以降において生育段階の移行を遅らせる影響が認められたものの、収量性に影響は無いことが示唆されました。

表 7-1. 異なる黄色灯照射時期における飼料用トウモロコシの収量性（平均±標準偏差）

		生総重 (kg/本)			乾物総重 (kg/本)			TDN収量 (乾物kg/10本)		
光源からの 距離	照射時期	8.5m	15m	30m	8.5m	15m	30m	8.5m	15m	30m
	無照射	5.2±0.8	6.2±0.5	5.0±0.5	1.4±0.2	1.7±0.1	1.3±0.2	0.69±0.09	0.85±0.05	0.65±0.09
	5-6葉期まで	5.4±1.1	5.3±0.4	3.8*±0.3	1.5±0.4	1.5±0.2	1.2±0.2	0.76±0.17	0.76±0.08	0.58±0.12
	9-10葉期まで	5.3±0.3	6.1±0.7	4.3±0.1	1.3±0.0	1.7±0.1	1.2±0.1	0.58±0.02	0.84±0.07	0.61±0.04
	収穫直前まで	6.9±0.8	6.3±0.1	5.0±0.9	1.8±0.3	1.6±0.1	1.4±0.2	0.90±0.12	0.79±0.05	0.69±0.10

全照射時期・光源からの距離において無照射区との間に有意差無し（Dunnett 検定）

4) 2) および 3) の調査で用いた資材・条件等

- ・黄色灯：エコイエロー270W（高圧ナトリウムランプ・岩崎電気）（消費電力が多いため、コンセントから電気を供給）
- ・設置高・照射の向き・点灯条件：3m・水平・終夜点灯（明暗センサーで自動点灯）
- ・1 灯でカバー可能な面積：10a

5) 黄色灯を用いた物理的な被害軽減技術として推奨される照射時期・条件

夏播き（2期作目）の飼料用トウモロコシにおいて、黄色灯（エコイエロー）を生育初期（出芽期）から収穫直前まで終夜点灯させる。

8. 飼料用トウモロコシでの農薬を使用した防除

1) ツマジロクサヨトウの防除に使用できる農薬について

飼料用トウモロコシでは、ツマジロクサヨトウに対して、以下の農薬の登録があります（2024年3月15日時点）。ただし、農薬リストについては見直されることがあります。農林水産省の農薬登録情報提供システム（<https://pesticide.maff.go.jp/>）でその時点で使用可能な農薬を必ず確認して下さい。なお、農薬について不明なことがある場合には、地域の病害虫防除所や普及指導センター等の関係機関にお問い合わせください。

表8-1 飼料用とうもろこしでツマジロクサヨトウの防除のために使用できる農薬

農薬の種類※ ¹	使用方法	希釈 倍数 (クロラントラ ニプロール 水和剤につい ては使用量)	総使 用 回数	10a 当 り 使用 液量	使用時期	薬剤名※ ²
カルタップ 水溶剤 (18950)	散布	1000～1500 倍	2 回以 内	100～ 300L	収穫 21 日前まで	パダン SG 水溶剤
BT 水和剤 (19899)	散布	500 倍	－	100～ 300L	発生初期 但し、収穫前日まで	デルフィン 顆粒水和 剤
BT 水和剤 (22653)	散布	500～1000 倍	－	100～ 300L	発生初期 但し、収穫前日まで	チューレッ クス顆粒 水和剤
BT 水和剤 (22654)	散布	500～1000 倍	－	100～ 300L	発生初期 但し、収穫前日まで	ジャックポ ット顆粒 水和剤
BT 水和剤 (23884)	散布	500 倍	－	100～ 300L	発生初期 但し、収穫前日まで	兼商デル フィン顆粒 水和剤
クロラントラ ニプロール水 和剤 (24771)	塗布	乾燥種子 1000 粒当り原液 1.5 ～2.5ml	1 回	－	播種前	ルミビア FS

※¹：（ ）内の番号は農薬登録番号。

※²：BT 水和剤以外の薬剤名は、代表的なものを記載。

2) 農薬の使用にあたっての注意事項

農薬の取り扱いにあたっては、ラベルに記された注意事項をよく確認し、使用時期、希釈倍数、散布量、総使用回数等を遵守して使用して下さい。一部の薬剤では展着剤の加用が推奨されていますのでご留意下さい。また、ツマジロクサヨトウはトウモロコシの中心部（成長中の葉が巻いている芯の部分）に潜って加害するため、散布にあたってはトウモロコシの上部から中心部に届くように散布して下さい。なお、農薬散布にあたっては周辺作物へ飛散しないようにご注意ください。

9. 細断型ロールベアラによる未熟な飼料用トウモロコシの収穫・サイレージ調製法

飼料用トウモロコシは草丈が 2m から 3m と高くなるため、生育後半には薬剤散布が困難になります。ここでは、薬剤散布が困難な状況でツマジロクサヨトウが発生し、トウモロコシを通常の熟期以前に収穫してサイレージ調製を行う場合の注意点を記載します。乳熟期以前のトウモロコシでは生育ステージが早いほど水分が多くなることに注意する必要があります。ハーベスタによる収穫が可能な場合でも、サイレージ化の際には排汁の増加と発酵品質の低下が懸念されます。バンカーサイロや傾斜を付けたストックサイロのように排汁を適宜排出できれば、ある程度の発酵品質は確保できると考えられます。しかし、細断型ロールベアラでの調製作業では、排汁を排出できないことに加え、材料水分が 80%を超えると成形が困難になる場合があります。

そこで、未熟な時期のトウモロコシを細断型ロールベアラで実際に調製し、明らかにした注意点を記載しました。細断型ロールベアラで水熟期以前のトウモロコシを収穫する際には、以下の点に留意してください。

- 作業性が通常の収穫期と比較して低下します。特に草高 100-150 cm といった非常に未熟な生育ステージでは、今回利用した機種（TSB0920）では材料草を成型室に輸送するコンベア上で材料草が滑り、成形室に送り込めなくなることがあり、作業性が大幅に低下しました。
- ロール成形の際にはネットの張力や梱包圧を、できるだけ強く調整する必要があります。
- ネットの巻き数を適期収穫の場合の 3 倍に増やす必要があります。
- ロール放出後は変形の進行を抑えるため、できるだけ速やかにラップする必要があります。
- 通常よりロールが重いのでラッピングマシンにロールを載せる際はグリップ等による持ち上げが必要となります。生育ステージが非常に早い場合は上からつかみ上げるなど操作に注意が必要です。
- ラッピングマシン上でラッピング中にロールが変形し、落下による事故などのおそれがあるので、作業中は不用意に近づかないでください。
- 貯蔵中に変形が想定されます。重ねて保管すると崩れる恐れがあるので、平積み保管してください。

**【参考情報 9-A：未熟な飼料用トウモロコシの細断型ロールベアラによる調製
試験事例 1】**

実施日：2019.10.10

材料：農研機構九沖農研圃場トウモロコシ

収穫時の生育ステージ：絹糸抽出直前～絹糸抽出期ごろ

水分：絹糸抽出前；85.9 %、絹糸抽出期；84.9 %

細断型ロールベアラ：IHI スター TSB0920



写真 9—1 （左）梱包圧通常設定、ネット張力通常、ネット 3 倍巻きでの梱包・排出
状況

（右）排出時は成形できていましたが、ラップ時に変形がみられました



写真 9—2 梱包圧最大設定、ネット張
力 2.4 倍に設定し、ネットの巻き数は通
常とした場合の梱包・排出状況

排出段階で荷崩れを起こし、ラップ不可
能でした



写真9—3 (左)梱包圧最大設定、ネットの張力を2.4倍に設定し、ネットの巻き数は3倍とした場合の梱包・排出状況、(右)グリッパの保持状況(慎重に行う必要がありました)



写真9—4 (左)梱包圧最大設定、ネットの張力を2.8倍に設定し、ネットの巻き数は3倍とした場合の梱包・排出状況。(右)ラップ後のロールベールの状況(手前から写真9—1、写真9—3、写真9—4のロールをラップしたものです)

【参考情報 9-B：未熟な飼料用トウモロコシの細断型ロールベアラによる調製試験事例 2】

実施日：2020.9.15

材料：農研機構九沖農研圃場トウモロコシ

収穫時の生育ステージ：草高 100-150 cm（絹糸抽出期のおおよそ 1 か月前。以下、非常に未熟な時期）

水分：86.3 %

細断型ロールベアラ：IHI スター TSB0920



写真 9—5 非常に未熟なトウモロコシのロール成形状況

梱包圧・ネット張力最大、ネット巻き数 3 倍に設定することで成形は可能でしたが、成形後のロールは変形・崩壊しやすい状態でした。グリッパでの持ち上げの際には、円柱の両底面から（矢印方向）掴むように保持する必要がありました。



写真 9—6 非常に未熟なトウモロコシロールのグリッパでの持ち上げ

非常に未熟なトウモロコシの場合、グリッパから滑り落ちるため、写真 3（右）のように持ち上げることはできず、上からつかみ、ぶら下げるように保持する必要がありました。



写真 9—7 非常に未熟なトウモロコシロールのラッピングマシンへの積載作業
ロールをラッピングマシンに載せた後のラッピングは可能でした。

10. 未熟な飼料用トウモロコシの飼料利用における留意点

未熟なトウモロコシサイレージの飼料成分や発酵品質についての研究は非常に少なく、不明な点が多くあります。給与する際には、成分分析を行った上で給与量などの検討を行ってください。

・飼料成分・発酵品質について

農研機構九州沖縄農業研究センターで行った試験の結果では、40 日保管後のサイレージの飼料成分は生育ステージに関わらず問題は見られなかったものの、草高 100–150 cm の非常に未熟な場合は栄養価が低くなっていました。また、1 年程度保管したものは 40 日保管と比べ栄養価が低下していました。

表 10—1 未熟なトウモロコシサイレージの飼料成分

生育ステージ	保存	粗蛋白質 (%DM)	可消化養分総量 (%DM)
草高100～150 cm	40日	13.6	58.0
絹糸抽出前	40日	11.6	61.6
	1年	11.1	54.9
絹糸抽出期	40日	11.0	63.5
	1年	10.8	58.4
水熟期	1年	8.9	57.8
参考：日本標準飼料成分表（2009年版）サイレージ トウモロコシ（西日本）			
乳熟期	—	8.2	62.7
糊熟期	—	8.6	64.5
黄熟期	—	8.0	65.6

可消化養分総量：家畜のエネルギー要求量や飼料のエネルギー価の指標

（可消化養分総量算出式：NRC01 式）

発酵品質を見ると、生育ステージに関わらず 40 日保管したサイレージは pH が低く乳酸も多く生成しており、問題はありませんでした。一方、1 年程度保管した場合は酪酸（表 10-2、有機酸組成の“C4～”）が検出される例が見られました（絹糸抽出前）。

表 10—2 未熟なトウモロコシサイレージの発酵品質

生育ステージ	保存	水分 (%)	pH	有機酸組成（新鮮物%）			V-Score 点
				乳酸	C2+C3	C4～	
草高100～150 cm	40日	84.6	3.6	4.13	0.46	0.00	97
絹糸抽出前	40日	82.5	3.5	2.11	0.27	0.00	93
	1年	84.1	4.2	1.40	1.13	0.03	88
絹糸抽出期	40日	81.9	3.4	2.19	0.29	0.00	96
	1年	83.2	3.5	3.00	0.57	0.00	96
水熟期	1年	82.0	3.7	1.59	2.01	0.00	72

pH：低いほど良い発酵を示す、良発酵の目安は 4.2

有機酸組成：乳酸は良発酵、C2+C3・C4～は不良発酵の産物とされる。酪酸は C4～に含まれる。

V-Score：発酵品質を示す指標。80 点以上が良、79～60 点が可、59 点以下が不良と評価。

以上より、ツマジロクサヨトウ発生に対応して作成したサイレージは、発酵が完了したら早めに給与すべきと考えられます。1 年といった長期保存にはメリットはないため、避けたほうがよいでしょう。

【参考情報 10-A：トウモロコシサイレージ中でのツマジロクサヨトウ生存性について】

ツマジロクサヨトウが発生したトウモロコシ収穫を収穫した場合、幼虫や卵がサイレージ材料に混入します。これらの幼虫や卵のサイレージ調製後の生存性を調べるため、真空パックを利用したパウチ法により実験室規模でサイレージ調製を行い、ツマジロクサヨトウの生存率およびふ化率を確認する試験を行いました。

幼虫を接種した試験では、幼虫の生存率は調製後 2 時間の時点で 30%を下回っていました。この試験では調製時に真空パックを脱気したため、それに伴う圧迫で生存率が低下したと考えられます。また、脱気をした上で密封したサイレージでは、乳酸が検出された 24 時間保管後には生存している幼虫は見られませんでした。これは、調製直後は植物体の呼吸により二酸化炭素ガスが発生するため、それにより窒息したと考えられます。さらに、14 日保管後には脱気の有無にかかわらず幼虫は生存していませんでした。

サイレージ調製時に卵塊を接種した試験では、3日間保管後のふ化率は0.05%程度であり、通常容器内で保管した卵塊のふ化率と比べて大きく低下していました。

この試験はパウチ法による実験室規模の試験結果ですが、実規模のサイレージ調製でもサイレージ発酵が良好な場合は、混入したツマジロクサヨトウ幼虫や卵の生存率およびふ化率は非常に低いと推測され、開封したサイレージからツマジロクサヨトウが拡散する懸念は非常に低いと考えられます。

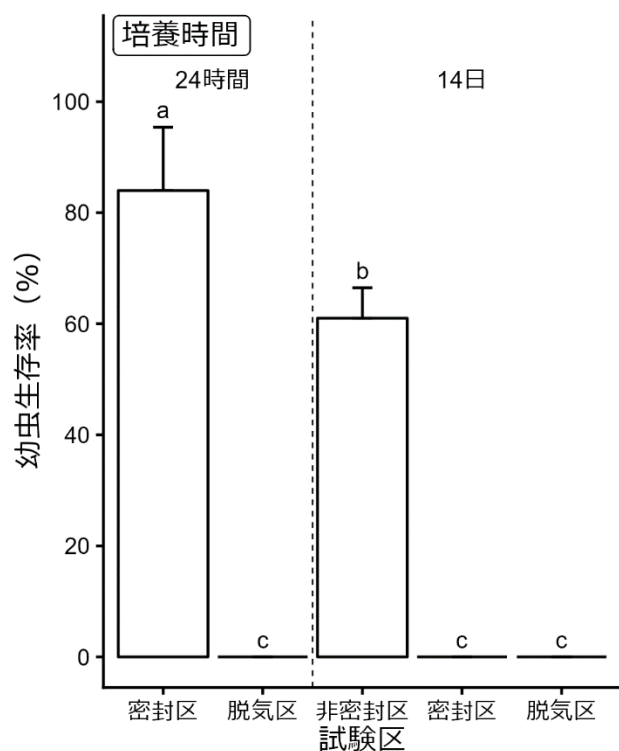


図 10—1 パウチ法によるトウモロコシパウチサイレージ調製時に接種したツマジロクサヨトウ 2 齢幼虫の培養後生存率。密封区：調製時に脱気をせずに密封、脱気区：調製時に脱気をしながら密封、非密封区：通気性の容器中で人工飼料と共に幼虫を飼養、a, b, c: 異字間に有意差 ($P < 0.05$)、Hayashi et al. (2023) より改変

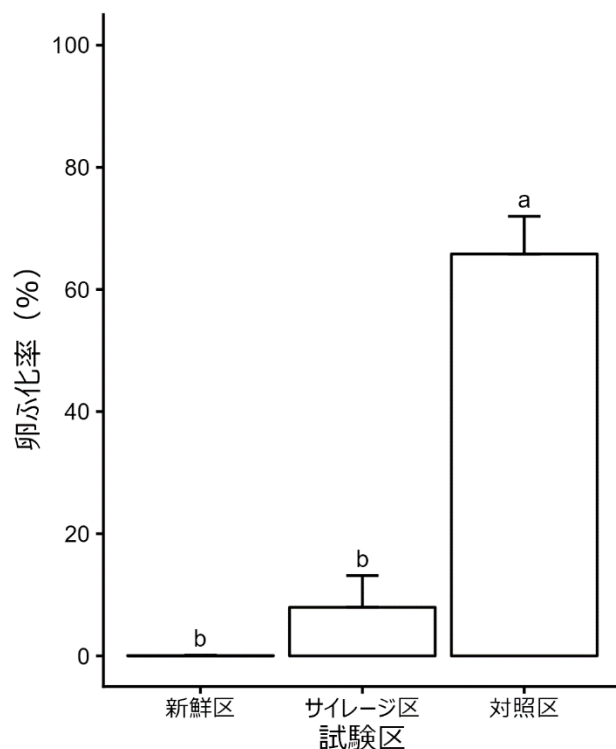


図 10-2 収穫直後のトウモロコシもしくはトウモロコシサイレージにツマジロクサヨトウ卵塊を接種し、密封 3 日後における孵化率。新鮮区：卵塊を新鮮トウモロコシとともに脱気しつつ密封、サイレージ区：卵塊をサイレージとともに脱気しつつ密封、対照区：卵塊を脱気せずに非密封容器内で飼育、a, b: 異字間に有意差 ($P < 0.05$)、Hayashi et al. (2023) より改変

参考文献: Hayashi et al., Effects of Forage Corn Silage Preparation on Early-instar Larval Survivability and Egg Hatchability of Fall Armyworms (*Spodoptera frugiperda*), Japan Agricultural Research Quarterly 2023 年 57 巻 4 号 p. 289-298, doi: [10.6090/jarq.57.289](https://doi.org/10.6090/jarq.57.289)

・硝酸態窒素について

未熟な生育ステージのトウモロコシは栽培条件や生育条件によっては硝酸態窒素が高濃度に蓄積されている場合があります。上述の試験では、草高 100-150 cm の非常に未熟なトウモロコシサイレージは 40 日保管後の硝酸態窒素が 1,000 ppm 程度でした。事前に硝酸態窒素濃度を分析し、濃度に応じて日本飼養標準などを参照の上で給与量や給与対象を決定してください。

【参考情報 10-B：トウモロコシ生草・サイレージの硝酸態窒素測定法】

以下はRQフレックスを用いた簡易測定法ですが、サンプリングの方法等は分析機関等に分析を依頼する際にも活用できます。

RQフレックスの使用法については、機器等に添付されている文書をご確認ください。

生草編

1) 準備

- ①RQ フレックス
- ②搾汁器（藤原製作所 強靱搾汁器、ニンニク絞り器、ペンチ等）
- ③試験紙（関東化学 リフレクトクェント 硝酸テスト（5-225 mg/L）製品番号 16971-1M）
- ④希釈用蒸留水（49 ml/サンプル；あらかじめ密栓可能なポリ瓶等に分注しておく）
- ⑤ピペット・シリンジ等（1 ml が測れるもの）
- ⑥ビーカー、プラコップ等（希釈用または採取した搾汁の受け皿（分注した④があれば希釈用は不要））
- ⑦鎌、メジャー、剪定ばさみ

2) 操作

- ①圃場内で生育中庸なトウモロコシを4カ所から1本ずつ地際から刈り取り
- ②メジャーで正確に地際から50 cmで茎を剪定ばさみ等で切り落とす
- ③地際側の茎について、切り落としたところから1 cm程度を剪定ばさみで切り落とし、搾汁する
- ④同様に4本実施する。搾汁液はプラコップ等で一つにまとめる
- ⑤まとめた搾汁液をよく混ぜ、1 ml をとり、49 ml の希釈用蒸留水に入れよく混ぜる
- ⑥RQ フレックスで測定する

3) 計算方法

- ・ 汁液中の硝酸態窒素濃度 (A : %) $\div$ 画面表示値 $\times$ 0.226 $\times$ 50 $\div$ 10,000
- ・ 乾物あたりの硝酸態窒素濃度 (%) $\div$ (0.45 $\times$ A + 0.008) $\times$ 希釈因子係数

ミルクライン降下度	希釈因子係数
1	2.1
2	2.0
3	1.9
4	1.8
5	1.7
6	1.6
7	1.5
8	1.4
開花期	5.0
乳熟～糊熟期	2.8

※開花期より前の希釈因子係数は

茎の新鮮重 $\div$ 全植物体の乾物重

(葉を除いた茎部分のみの新鮮重を測定後、
葉を含めた全体の乾物重を測定して算出する)
で実測

※開花期より前のサンプルの推定については検
証されていないため、参考値とする

参考文献：須永ら、汁液分析を用いた立毛中のトウモロコシ (*Zea mays* L.) の硝酸態窒素濃度推定法、日本草地学会誌 1999 年 45 巻 3 号 p. 299-303

サイレージ編

1) 準備

- ①RQ フレックス
- ②500 ml 広口蓋付きポリ容器あるいはチャック付きポリ袋 (蒸留水を入れて、振とうできるもの)
- ③秤 (クッキングスケール等、1 g 単位、100 g 秤量可能なもの)
- ④試験紙 (関東化学 リフレクトクェント 硝酸テスト (5-225 mg/L) 製品番号 16971-1M)
- ⑤希釈用蒸留水 (400 ml/サンプル ; あらかじめ密栓可能なポリ瓶等に分注しておく)
- ⑥ガーゼ、スチロール製深皿等 (抽出液の固形物除去と受け皿として利用)

2) 操作

- ①サイロ内でできるだけ多くの箇所（5カ所以上）からサンプリングする
- ②サンプリングした試料をよく混合し、100 g を容器に入れる（残りは乾物率測定に用いる）
- ③蒸留水 400 ml を加え、約 1 分間激しく振とうする
- ④3 重ガーゼで濾過する
- ⑤RQ フレックスで測定する

3) 計算方法

- ・サイレージ現物中の硝酸態窒素濃度（A：％）＝ 画面表示値 × 0.226 × 5 ÷ 10,000
- ・乾物あたりの硝酸態窒素濃度（％）＝ A ÷ （乾物率（％） ÷ 100）

※乾物率の測定は電子レンジ法（以下参照）またはサイレージ水分計（藤原製作所 FV-520）で測定する。

参考文献：一柳・小林、飼料中の硝酸態窒素に対する簡易測定法の検討、The Chemical Times 1997 年 No. 4 p. 16-19

参考：電子レンジによる乾物率の測定



③電子レンジで4分間加熱する。加熱終了後、**反転**し、さらに電子レンジで4分間加熱する



④重量測定（0.1g単位）

$$\text{乾物率 (\%)} = \text{乾燥重量} / \text{乾燥前重量} \times 100$$

11. さいごに

本マニュアルは、以下の参画機関によって令和3-5年度日本中央競馬会特別振興資金助成事業により実施された調査結果および文献調査等に基づいています。

参画機関

宮崎大学農学部（事業実施主体）、農研機構九州沖縄農業研究センター、農研機構植物防疫研究部門、愛媛県農林水産研究所畜産研究センター、長崎県農林技術開発センター畜産研究部門、熊本県農業研究センター畜産研究所、宮崎県畜産試験場、鹿児島県農業開発総合センター畜産試験場、興南施設管理株式会社

※本マニュアルでは、ツマジロクサヨトウの防除対策として、耕種的防除法と物理的防除法を紹介しました。化学的防除法と生物的防除法については、生研支援センターイノベーション創出強化研究推進事業(JPJ007097)の支援を受け、令和2-4年度に実施された「ツマジロクサヨトウの効率的な発生予察技術と防除対策技術の開発(02027C)」の中で開発されました。ご興味のある方は、今後発行されるそちらのマニュアルをご確認いただくと幸いです。

（宮崎大学・「飼料害虫ツマジロクサヨトウの防除対策事業」事務局）

（国立大学法人）宮崎大学農学部 植物生産環境科学科 安達 鉄矢

TEL: 0985-58-7547、Email: tadachi@cc.miyazaki-u.ac.jp

宮崎大学農学部 畜産草地科学科 石井 康之

TEL: 0985-58-7251、Email: yishii@cc.miyazaki-u.ac.jp