



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 飼料生産マニュアル

改訂二版

令和3年4月3日 発行

令和2年度「飼料生産におけるツマジロクサヨトウ対策事業」

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. 飼料用トウモロコシ圃場での被害発生とツマジロクサヨトウの加害生態	15
5. 飼料用トウモロコシでの農薬を利用した防除	17
6. 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	21
7. 未熟な飼料用トウモロコシの飼料利用における留意点	25
8. 将来的なツマジロクサヨトウ防除技術の研究開発	31
9. 飼料作物栽培上の一般的な留意点	35
10. さいごに	35

〈宮崎大学〉

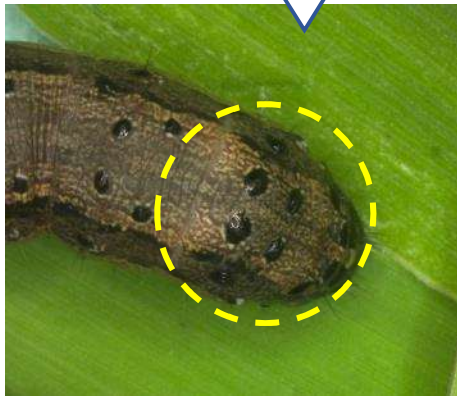
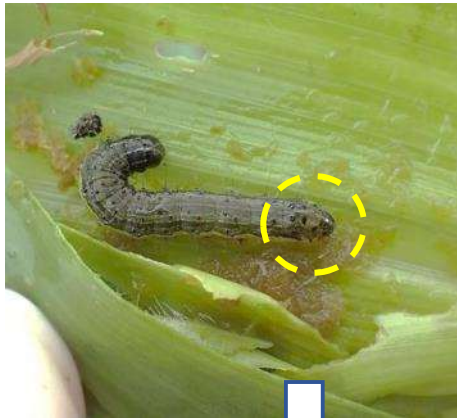
1. はじめに

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府県に拡大し、令和2年11月現在では、九州沖縄地方から北海道までの42道府県、計12品目に拡大しました。本事業では、安心・安定的な飼料生産の実現に向け、海外情報や国内の被害実態などの緊急調査の結果や、飼料生産における本害虫の効果的防除法など、必要な知見を収集・整理した飼料生産マニュアル（第1版）の作成・公知を、令和元年度の目的としました。令和2年度はマニュアル第1版の有効性を検証・確認するとともに、本害虫の防除法にかかわる補強データを新たに加えました。さらに、令和3年1月21日には「飼料生産とツマジロクサヨトウ シンポジウム」を、宮崎大学からの On line 会議によって開催し、国内の飼料生産技術者向けに既発地域における対応策等の情報を提供するとともに、生産現場における情報を討議し本改訂版に反映させました。これらのことから、飼料生産マニュアルを今回改訂し、農業現場に提供することを目的としています。

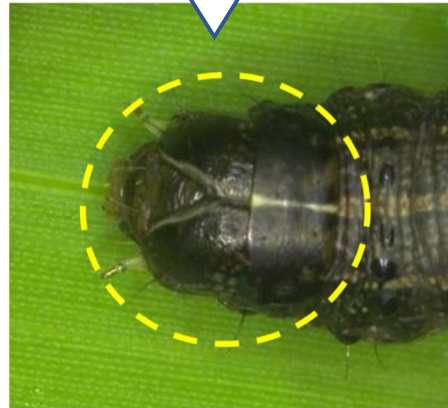
2. ツマジロクサヨトウの見分け方と飼料用トウモロコシでの被害の出方

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（2019年12月時点）。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。なお、ツマジロクサヨトウと疑われる虫を見つけた場合は、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ご連絡をお願いします。



① 若齢幼虫発生時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。展開した葉の加害痕は未展開時の加害痕が拡大したものです。



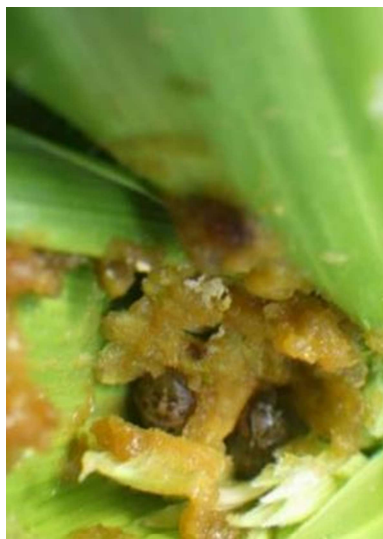
③中心部が加害された葉を広げると右の写真のような加害痕が見られます。



④ツマジロクサヨトウに加害されたトウモロコシの例。いずれの加害痕も未展開葉での加害痕が拡大したもの。幼虫はここにはいません。



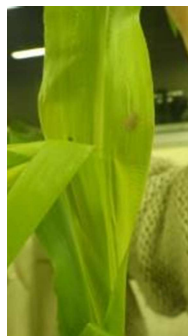
⑤展開前にツマジロクサヨトウ幼虫に被害された葉。三本前後の筋状の加害痕が残っています。



⑥写真左のような加害痕が残る株の成長点（雄穂）で幼虫が加害を続けています。



⑦形成された雄穂の加害



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。

★★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ことが多いです。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。

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らないか調べましょう。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ください。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 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：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



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 種の寄主植物で報告がありますが、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 (図 3-2)。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（図 3-3）。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（1 例）、2020 年はトウモロコシ、ソルガム、サトウキビ、イネ科牧草（2 例）、ショウガ（1 例）、ハトムギ（1 例）、モチキビ（1 例）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) : Fla. 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。

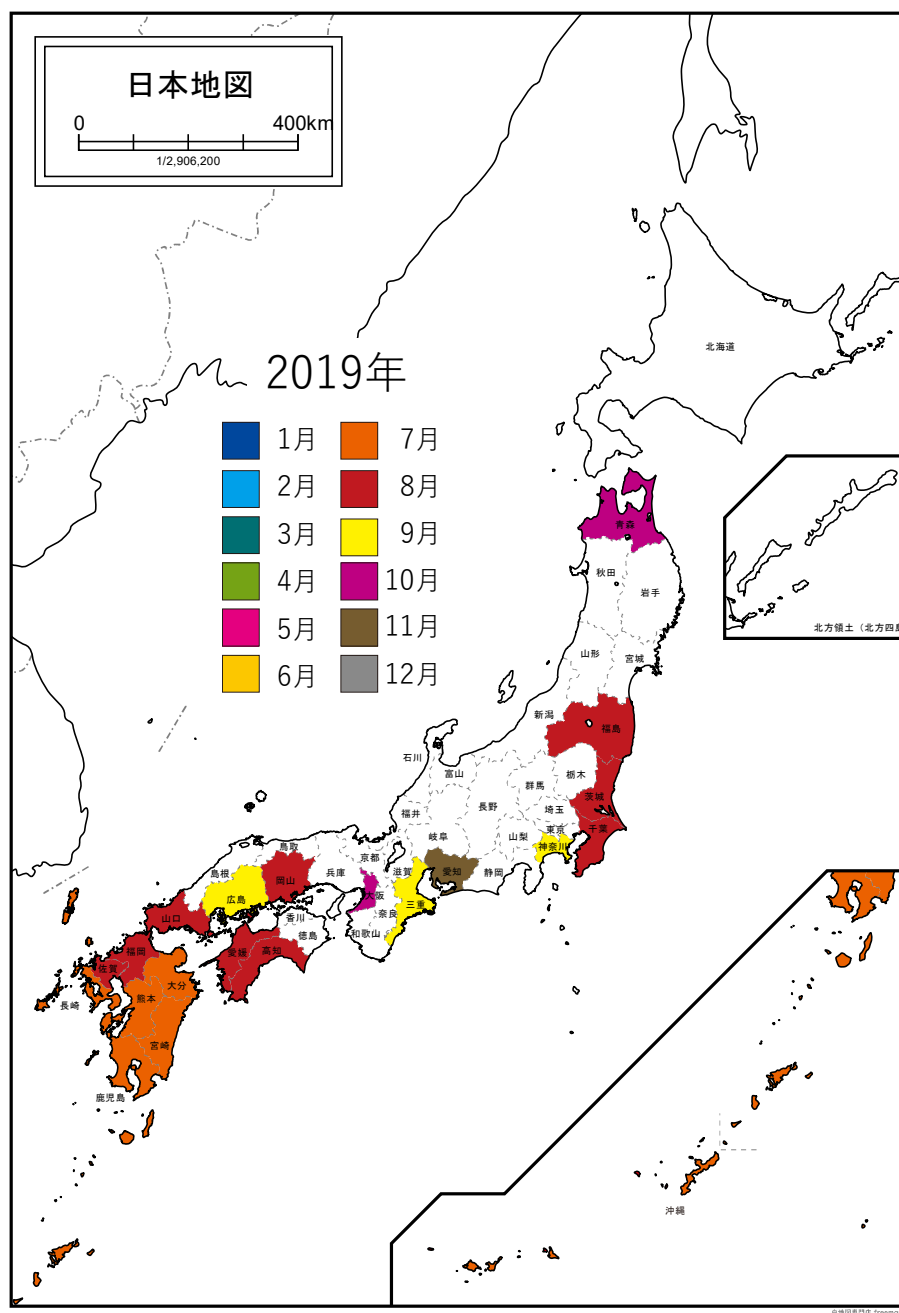


図3－2．2019年に発生が確認された都道府県

農林水産省「令和元年のツマジロクサヨトウの発生状況」に記載された発生確認日に基づき作図しています。発生確認日とは、植物防疫所、地方公共団体、農業者団体等が実施する発生調査等の結果に基づき、植物防疫課が地域及び品目ごとに防除すべきとして指導を行った日のことをいいます。

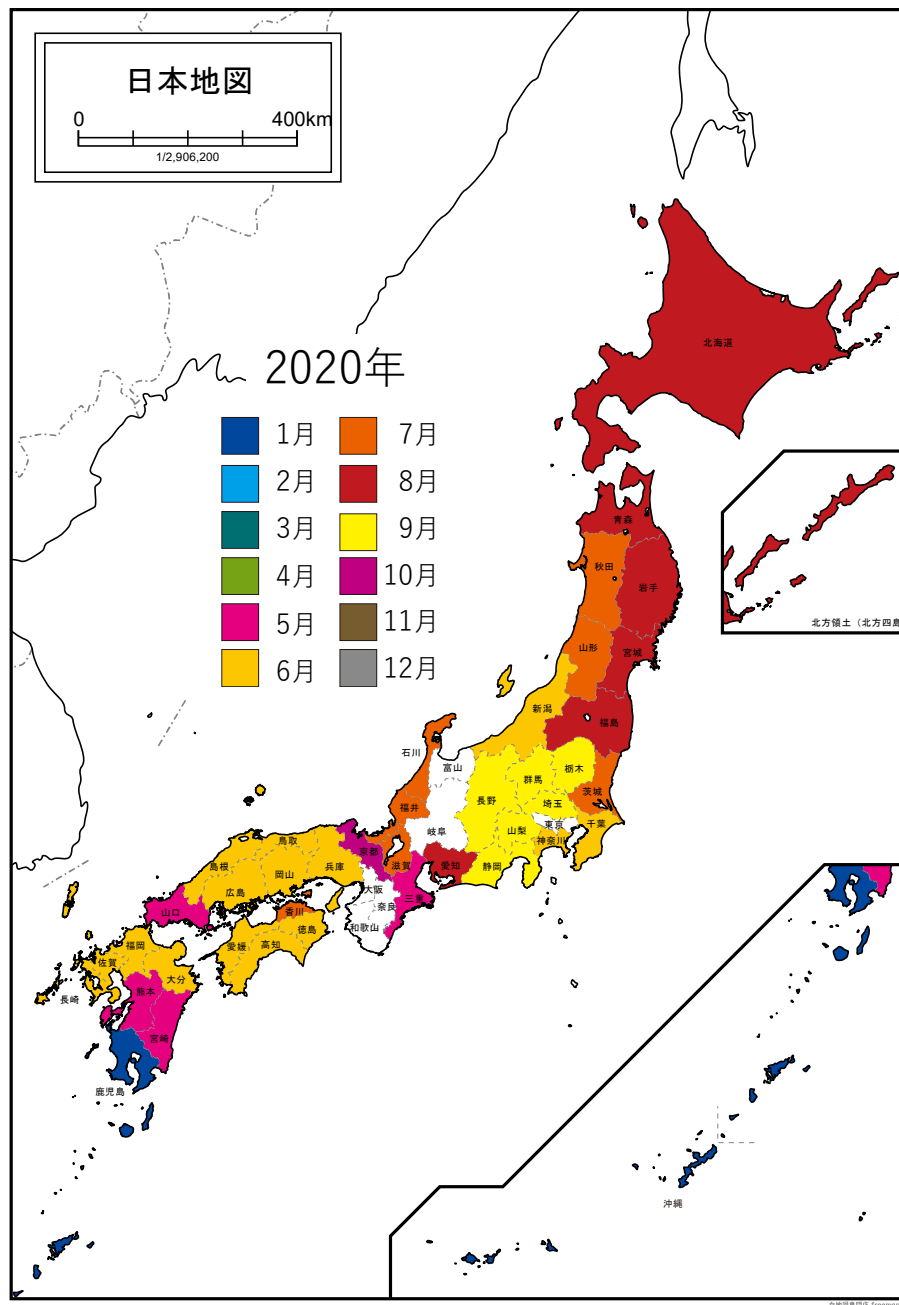


図 3－3． 2020 年で発生が確認された都道府県

農林水産省「令和 2 年のツマジロクサヨトウの発生状況」に記載された発生確認日に
基づき作図しています。発生確認日とは、植物防疫所、地方公共団体、農業者団体等が
実施する発生調査等の結果に基づき、植物防疫課が地域及び品目ごとに防除すべきとし
て指導を行った日のことをいいます。

4. 飼料用トウモロコシ圃場での被害発生とツマジ ロクサヨトウの加害生態

1) はじめに

原産地アメリカ大陸から世界に分布を拡大してきたツマジロクサヨトウ *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith)。その被害や生態に関する文献情報は多いですが、実際に目にするトウモロコシなどでの被害は想像を超えるものがあります。このような被害の激しさが多くの国で生産農家や関係者を震撼させ、農薬などによる緊急対応につながってきました。しかし、その一方で非常に目立つ葉の被害がトウモロコシ収量の大幅減につながらない場合も指摘されています。

我が国におけるツマジロクサヨトウによる飼料用トウモロコシでの被害の実態も明らかになりつつありますが、幼虫による加害が収量に及ぼす影響についてはより詳細な検討が必要と思われます。飼料用トウモロコシの安定生産を実現するためには、ツマジロクサヨトウがどれだけの経済的被害をもたらすのか、またそれに見合った経済的に実効性の高い総合的害虫管理 (IPM) 体系をどのように構築するかなど解決すべき問題は多く、以下にその問題を記載します。

2) トウモロコシ圃場での被害発生

2, 3 葉から数枚の葉が展開した播種後間もない株の葉に産下された卵塊は数十個から百個以上の卵から成ります。1 齢幼虫は株上にとどまり食害し、葉の表面にはかすれた小さな斑点のような食害痕が残ります (写真①)。トウモロコシ圃場では卵塊が産下された株を中心に被害が拡大し、周辺株すべてに被害が認められる場合もあります。2 齢になると幼虫は株から離れ、他の株へ移動を開始します。同属の在来種ハスモンヨトウ *Spodoptera litura* が 3 齢幼虫になるまで株上にとどまるのと対照的です (Patchapol & Ohno, 未発表)。中齢以降の幼虫も未展開の柔らかい葉の表面を食害し、白い筋状の加害痕が見られるようになります。さらに成育した幼虫は成長点部分に深く潜り、トウモロコシ茎頂部の未展開の葉の内部やその直下の若い葉の基部を加害します。いずれの齢期の幼虫でも展開した硬い葉を加害することはほとんどありません。この時期に加害された未展開葉が開くと、加害部分が拡大し、特徴的な三本の筋が並行に並んだような加害痕が目立つようになりますが、この部分に幼虫が生息している訳ではありません。

2020 年の宮崎県内の飼料用トウモロコシ産地では、2 期作圃場の播種後の小さな株で卵塊や1 齢幼虫による被害が認められる圃場が多くなり、その後茎頂部やその下の組織を加害されたトウモロコシ圃場が増加しました。しかし、7 月末時点での初期被害が拡大しつつあった時点で、本プロジェクト（安達・酒井担当）や宮崎県病虫害防除・肥料検査センターの合成性フェロモンを用いた誘殺トラップには雄成虫はほとんど認められていません。さらに調査が必要と思われますが、現時点ではツマジロクサヨトウの初期発生と性フェロモントラップのデータは同調していないように考えられます。

3) ツマジロクサヨトウの加害生態

ツマジロクサヨトウの特筆すべき生態のひとつに幼虫間での共食いがあります。この行動は1 齢幼虫期にも観察され、他個体を共食いで排除することにより、トウモロコシ株では通常1 頭の幼虫が加害を続けます。2 齢幼虫期以降でもこの共食いは顕著に認められます。このため共食いにより、幼虫の生存率が低下することも期待されますが、一方で共食いを回避するために幼虫が圃場内に分散し、被害株率が急激に増加することも予想されます。特に、播種後1 カ月前後の株では芯の部分への幼虫の加害により株が枯死します。

ツマジロクサヨトウの加害特性として特筆すべき点は、小さな株の展開間もない葉を加害しますが、基本的には成長点部分、未展開葉の基部や芯の深い部位で加害を続けるため、幼虫を見つけにくいことです。また、雌穂や子実が形成される時期になると幼虫はほとんど絹糸や先端の柔らかい実を食害するようになります。

幼虫は未展開葉の白色部分に強い選好性を示し、同じ未展開葉でも先端の緑色部分を強制的に摂食させた場合には幼虫の発育が極端に遅くなります（中園・大野、未発表）。植食性昆虫に対する植物側の化学的防御の進化が近年注目を集めていますが、ツマジロクサヨトウの加害特性が植物の量的防御あるいは質的防御による制約を受けている可能性があります。

生育期や播種後の株で発生するツマジロクサヨトウの発生程度（密度）と最終的な経済的被害の関係を解明することは、実質1 年と限られた今回の事業では困難でしたが、加害生態から判断する限りトウモロコシの生育に甚大な被害を及ぼしているように考えられます。今後、さらに生産現場での被害や加害状況の集中的な調査が必要と考えています。

5. 飼料用トウモロコシでの農薬を利用した防除

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

ツマジロクサヨトウの防除に登録のある農薬は、以下の「ツマジロクサヨトウ登録農薬一覧（令和3年3月31日現在）」の通りです。農林水産省 Web サイト「ツマジロクサヨトウに関する情報」の「ツマジロクサヨトウの登録農薬一覧（令和3年4月1日）」にも掲載されていますので、防除に当たっては、必ず確認して使用してください（URL: https://www.maff.go.jp/j/syouan/syokubo/keneki/k_kokunai/tumajiro.html）。

なお、農薬について不明なことがある場合には、地域の病虫害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。

ツマジロクサヨトウ登録農薬一覧（令和3年3月31日現在）

○飼料用とうもろこし

農薬の種類	使用方法	使用時期	散布液量	希釈倍数使用量	本剤の使用回数
BT水和剤 (19899, 22653, 22654, 23884)	散布	発生初期 但し収穫前日まで	100～300L/10a	500倍	－
カルタップ水溶剤	散布	収穫21日前まで	100～300L/10a	1000～1500倍	2回以内

○とうもろこし【とうもろこし(子実)、未成熟とうもろこし】

農薬の種類	使用方法	使用時期	散布液量	希釈倍数使用量	本剤の使用回数
BT水和剤 (19899, 22653, 22654, 23884)	散布	発生初期但し、収穫前日まで	100～300L/10a	500倍	－
MEP乳剤	散布	収穫7日前まで	100～300L/10a	1000倍	4回以内
カルタップ水溶剤	散布	収穫21日前まで	100～300L/10a	1000～1500倍	2回以内
エトフェンブロックス乳剤	散布	収穫7日前まで	100～300L/10a	1000倍	4回以内
クロラントラニプロール水和剤	散布	収穫前日まで	100～300L/10a	2000倍	3回以内
フェンバレート・MEP水和剤	散布	収穫7日前まで	100～300L/10a	1000～2000倍	4回以内
フルベンジアミド水和剤	散布	収穫前日まで	100～300L/10a	2000～4000倍	2回以内
メタフルミゾン水和剤	散布	収穫前日まで	100～300L/10a	1000倍	3回以内

○未成熟とうもろこし

農薬の種類	使用方法	使用時期	散布液量	希釈倍数使用量	本剤の使用回数
テトラニプロール水和剤	散布	収穫前日まで	100～300L/10a	5000倍	3回以内
シアントラニプロール水和剤	散布	収穫前日まで	100～300L/10a	4000倍	3回以内
クロチアニジン水溶剤	散布	収穫3日前まで	100～300L/10a	2000～4000倍	3回以内
エマメクテン安息香酸塩乳剤	散布	収穫3日前まで	100～300L/10a	1000～2000倍	2回以内
フルフェノクスロン乳剤	散布	収穫7日前まで	100～300L/10a	2000倍	2回以内

○ヤングコーン

農薬の種類	使用方法	使用時期	散布液量	希釈倍数使用量	本剤の使用回数
フルベンジアミド水和剤	散布	収穫前日まで	100～300L/10a	2000～4000倍	2回以内

○さとうきび

農薬の種類	使用方法	使用時期	散布液量	希釈倍数使用量	本剤の使用回数
クロラントラニプロール水和剤	散布	収穫30日前まで	100～300L/10a	5000倍	3回以内
	無人航空機による散布	収穫30日前まで	2.4L/10a	50倍	3回以内
クロラントラニプロール・ジノテフラン水和剤	散布	収穫45日前まで	100～300L/10a	2000倍	3回以内

○ソルガム（飼料用）

農薬の種類	使用方法	使用時期	散布液量	希釈倍数使用量	本剤の使用回数
アセフェート水和剤	散布	収穫30日前まで	100～300L/10a	1000倍	3回以内

2) ツマジロクサヨトウによる被害と農薬を利用した防除方法

これまでの調査では、ツマジロクサヨトウは夏季に多く発生しています。2020 年に熊本県内で行った試験では、7 月下旬に播種した飼料用トウモロコシ圃場において、防除しなかった場合には乾物収量が 2 割近く低下しました。そこで被害を軽減するため、農薬による防除効果を調査しました。なお、本調査は 2020 年に実施しており、植物防疫法第 29 条第 1 項の規程に基づいて飼料用トウモロコシに使用が許可された薬剤を用いています。使用できる農薬は変更される場合があるので、防除にあたっては、その時点で使用可能な農薬を必ず確認して下さい。

防除効果の調査には、7 月下旬に播種し、ツマジロクサヨトウが発生した飼料用トウモロコシ圃場（写真 5－1）を用いました。3 種類の薬剤をそれぞれ散布し、散布 2 日後と 6 日後にマジロクサヨトウの密度を調査しました。

その結果、散布 2 日後では、薬剤を散布しなかった区（無防除区）と比べ、薬剤を散布した区ではツマジロクサヨトウの数は半分に減少し、一定の効果が見られました（図 5－1）。ただし、散布から 6 日経過した後の調査では、若齢幼虫が多く発生しており、効果の持続性は長くないと考えられました（図 5－2）。本調査はツマジロクサヨトウの発生量の多い夏季に実施しています。幼虫が継続して発生する環境では、総使用回数の範囲内で、防除を複数回行う方が被害を軽減できると考えられます。



写真 5－1．農薬散布前の飼料用トウモロコシ（3-4 葉期）

農薬散布試験に用いる薬液は 100 L/10a 散布しています。

（農研機構九州沖縄農業研究センター調べ）

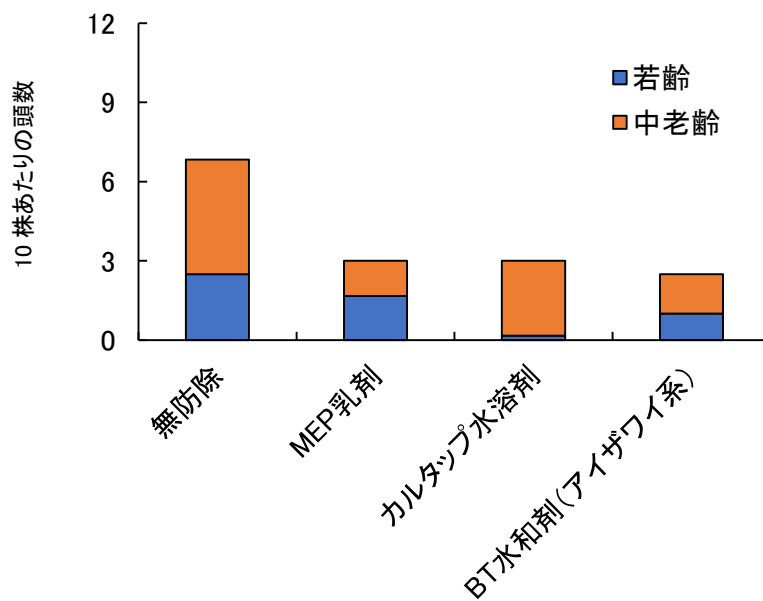


図5-1. 農薬散布2日後のツマジロクサヨトウの密度

本調査は2020年に実施しており、農薬は植物防疫法第29条第1項の規程に基づいて使用が許可された薬剤を用いています。使用できる農薬は変更される場合がありますので、防除にあたっては、その時点で使用可能な農薬を必ず確認して下さい。薬液の希釈倍数はMEP乳剤（2000倍）、カルタップ水溶剤（1000倍）、BT水和剤（2000倍）。

（農研機構九州沖縄農業研究センター調べ）

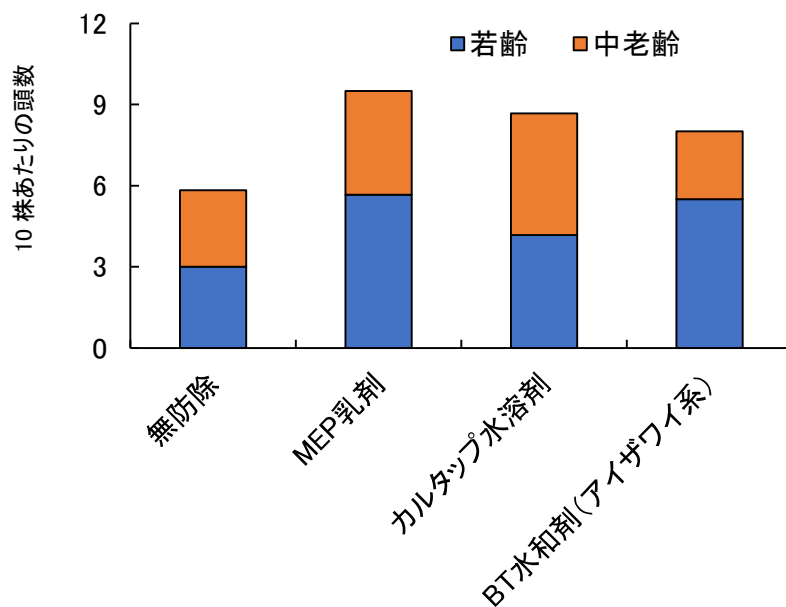


図5-2. 農薬散布6日後のツマジロクサヨトウの密度

本調査は2020年に実施しており、農薬は植物防疫法第29条第1項の規程に基づいて使用が許可された薬剤を用いています。使用できる農薬は変更される場合がありますので、防除にあたっては、その時点で使用可能な農薬を必ず確認して下さい。薬液の希釈倍数は図5-1と同じです。（農研機構九州沖縄農業研究センター調べ）

3) 農薬の利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（8. 4）ソルガム品種における農薬ドリフト防止効果調査、を参照）。草丈が高く農薬散布が困難な場合や、大きな被害が発生しているときには、早期収穫も検討して下さい。早期収穫に対しての注意事項は、6. 細断型ロールベラによる未熟な飼料用トウモロコシの収穫・サイレージ調製法に解説しています。

トピック：防除対策の選択肢：

- 1) 農薬散布による防除：幼虫がトウモロコシの葉身の成長点などに潜る前、葉を加害している1齢～2齢期の殺虫剤散布が最も高い防除効果（幼虫死亡率）を得られます。卵塊あるいはふか直後の幼虫を発見することは難しいですが、若齢幼虫による小さな加害痕が集中して認められる時期を狙って、農薬を散布するのが効果的です。
- 2) 植生管理による防除：雑草対策も兼ねて、トウモロコシの間にマメ科植物などを間作することで、ツマジロクサヨトウの発生を抑制できます。ツマジロクサヨトウの発生量そのものの低減と、クモ類などの捕食者や寄生蜂などによる天敵の働きを高めるためです。

6. 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タ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：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6－1．(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6－2．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 6－3．（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 6－4．（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）ラップ後のロールバールの状況（手前から写真 6－1、写真 6－3、写真 6－4 のロールをラップしたものです。）

【参考情報：未熟な飼料用トウモロコシの細断型ロールベアー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 %

細断型ロールペーラ：IHI スター TSB0920



写真6-5. 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6-6. 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6-3（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6-7. 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。

7. 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 7－1）。

表 7－1. 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イソ酪酸（表 7－2、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 7－2. 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。イソ酪酸は 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。

なお、サイレージ中でのツマジロクサヨトウ幼虫・卵の生存性は極めて低いと考えられるため、発酵したサイレージ開封後に再拡散する可能性は極めて低いと考えられます。

・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：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 : %) $\equiv$ 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 (%) $\equiv$ (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	※開花期より前の希釈因子係数は
1	2.1	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
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	※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
乳熟～糊熟期	2.8	

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)

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

8. 将来的なツマジロクサヨトウ防除技術の研究開発

1) 空撮による被害状況調査

飼料用トウモロコシの育成初期に圃場広域へのツマジロクサヨトウ若齢幼虫の拡散が発生すると、その後の収量減などの被害が大きくなると考えられます。そのため、この時期の頻繁な見回りによる食害発生 of 早期発見とそれに続く防除が被害を最小限にとどめるうえで最も重要です。目視での見回りに加え、ドローンを用いた空撮によって広域における被害の有無を短時間で効率的に把握できます。高度 10 m から撮影した画像（地上解像度 0.2 cm/pixel）から、ツマジロクサヨトウ幼虫による食痕および葉上の糞（写真 8.1）－ 1）を確認することができます。ただし、1 画像あたり約 80 m²しかカバーできないため、撮影にかかる時間等を考慮すると圃場の全面を撮影するのは現実的ではありません。しかし、圃場内の複数地点を撮影し、タブレットやスマートフォンの上で画像を確認することによって、広域的なモニタリングを短時間で実施することが可能であり、目視による見回りの補助ツールになりえます。将来、画像データが集積されれば、人工知能によってツマジロクサヨトウによる食害の有無を自動で判定することも可能になるでしょう。



写真 8.1)－1. ツマジロクサヨトウによる食痕と葉上の糞. 高度10 mから撮影したものを拡大.

また、1 ha ほどの圃場であれば、高度 30 m からの空撮により 15 分程度で圃場全面をカバーする画像（地上解像度 0.7 cm/pixel）を撮影することができます。ツマジロクサヨトウによる食害と判断するのに十分な解像度ではありませんが、画像の合成と解析によって、被害発見・防除後の圃場全体の生育状況をモニタリングすることができます（写真 8.1）－ 2）。

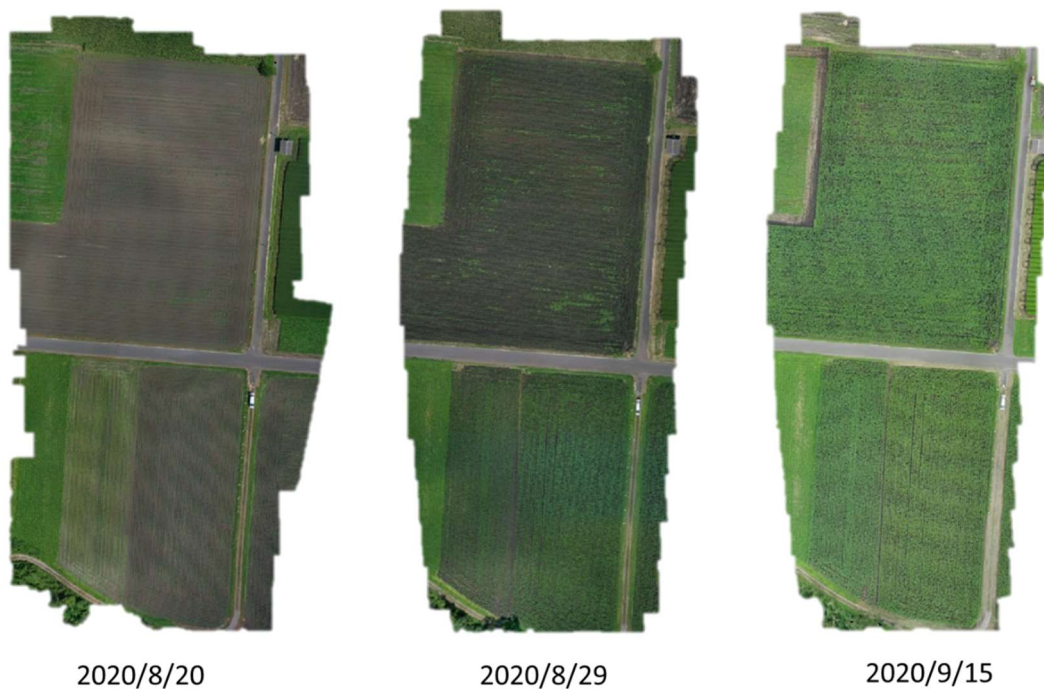


写真 8.1）－ 2．高度 30 m から撮影した画像を合成した圃場全体の空撮画像。

2) 飼料用トウモロコシの生育段階別剪葉処理が生育および乾物収量に及ぼす影響

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（3-4 葉期）あるいは茎葉型除草剤散布期の 5-6 葉期では、虫害（葉の食害）が明瞭に確認できます。これらの時期の殺虫剤散布により、その後に虫害が発生しなかった場合の生育や収穫期（黄熟期）の収量に及ぼす影響を明らかにするため、虫害を模擬して幼苗期処理（TH1）では 1-3, 4 葉を全て切除し、除草剤散布期処理（TH2）では最上位展開葉とそれ以上の未展開葉を全て切除し、この生育時期に苦土石灰処理（Lime）も設けました。3 月中旬播きの 1 期作では、幼苗期（3 葉期）の剪葉（TH1）により、雌穂重と全植物体に占める雌穂重の割合（雌穂重比率）が無処理（Cont）に比べ低下し、全乾物重も 15% 低下しましたが、5 葉期の剪葉（TH2）では収量・雌穂重比率ともに影響が見られません

でした。5月上旬播種の普通期春播きでは、幼苗期（4葉期）処理（TH1）、6葉期処理（TH2）とともに、雌穂重比率が低下し、全乾物重が約30%低下しました。8月上旬播きの2期作では、幼苗期（3葉期）の剪葉処理（TH1）の収量に対する影響は認められませんでした（図8.2）－1）。また、デタージェント法で測定した酸性デタージェント繊維含量から推定した可消化養分（TDN）含量には、処理に伴う差異は認められませんでした。本試験の剪葉処理は、幼苗期ではツマジロクサヨトウ食害に対する模擬程度が高いものと考えられますが、被害圃場では葉鞘の奥に潜って成長点を食害し、株を枯死させる場合も見受けられます。5-6葉期の剪葉は、最上位の展開葉とそれより上の未展開葉をすべて切除しましたので、圃場で発生する食害（未展開葉に集中した食害）に比べて、葉身の切除程度が高くなったとも考えられます。したがって、減収程度については、今後さらなる検討が必要ですが、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5-6葉期の散布適期における適切な防除が必須であると考えられます。

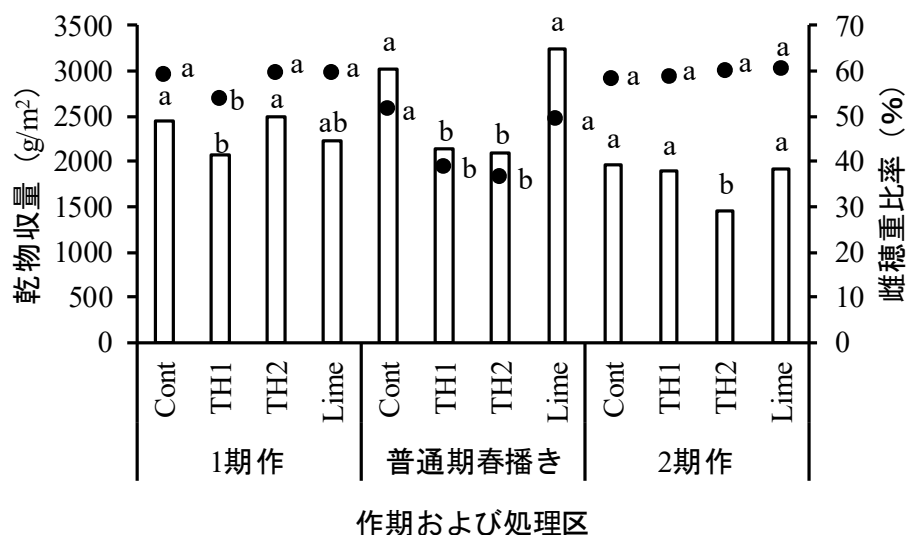


図8.2）－1．播種期別のトウモロコシの剪葉・石灰処理による収穫期（黄熟期）の乾物収量（□）および雌穂重比率（●）．図中の異なる符号は、同一作期の有意差を示す．（石井ら 2021 より改変）

3) 飼料用トウモロコシへの農薬散布方法に関する基礎的調査

ブームスプレーヤー、電動噴霧器、またはドローンを用いて、飼料用トウモロコシの異なる生育段階に水散布（または農薬散布）し、感水紙の被覆面積率を画像処理ソフトにより算出し、比較しました。

ブームスプレーヤーによる散布方法では、1-2 葉期・散布量 200L/10a では被散布個体の上位葉・中位葉の散布度が 100%近くに達し、1-2 葉期・散布量 100L/10a および 2-3 葉期の散布量 100L/10a・200L/10a のいずれにおいても 70%以上でした。生育段階 5-6 葉期・散布量 100L/10a では散布度の大幅な低下が認められました。生育段階 9-10 葉期における散布度は電動噴霧器の方がブームスプレーヤーよりも高い値でありました。

また、絹糸抽出期以降の農薬散布を想定し、ドローンを用いた糊熟期の飼料用トウモロコシへの水溶性殺虫材散布度の模擬調査を実施しました。ドローン（AGRAS MG-1, DJI）の飛行条件は、飛行速度：10-20 km/h、飛行高度：3-4 m、飛行間隔：5-7.5m、散布所要時間は数分程度でした。散布量 10 L/10 a では、いずれの植物体部位においても 10%未満の散布度であり、散布量 10 0L/10 a では、雄穂から下位葉にかけては、30-40%程度の散布度であり、雌穂は向軸・背軸の平均で 20%程度でした。

このことから、現段階では、ツマジロクサヨトウの農薬防除は、初期生育の段階で行うことが望ましい。農薬散布作業の際には、食害発見時の生育段階や使用者の安全および周辺住民・環境への安全を配慮する必要があります。

4) ソルガム品種における農薬ドリフト防止効果調査

ドローンおよびブームスプレーヤーを用いた散布試験を実施した結果、散布区画から最大で 10 m および 6 m の地点で飛散が確認されました。ブームスプレーヤーによる散布において、農薬の飛散（ドリフト）防止をするためにソルガムを飼料用トウモロコシ圃場の周縁部に栽培し、その植栽による効果を検討しました。ソルガムは、「TDN ソルゴー」、「甘味ソルゴー」および「ターザン」の 3 品種で比較しました。各品種の特徴として、「TDN ソルゴー」は糖度・嗜好性が高く、耐倒伏性に優れ、防風・ドリフト対策に利用する場合の播種量は 1 kg/10 a とされ、「甘味ソルゴー」は、糖分量が非常に高く、茎が太く耐倒伏性に優れ、「ターザン」は、草丈 3.5~5 m になる極長稈で太茎の晩生品種で、低温伸長性に優れます。3 品種の中では葉の割合が高い「甘味ソルゴー」が他の 2 品種に比べて高いドリフト防止効果がみられましたが、農薬の飛散を完全に防止することはできませんでした。このため、農薬の散布には気象条件、散布量、散布方法等に十分注意して実施する必要があります。

9. 飼料作物栽培上の一般的な留意点

- ・ツマジロクサヨトウの加害が報告されている牧草・飼料作物種として、わが国では飼料用トウモロコシの他、スイートコーン、ソルガム、サトウキビ、エンバクで発生が確認されています。海外文献情報では、イネ科飼料作物のソルガム、スーダングラス、コムギ、ライグラス、パールミレットなどで加害が報告されています。
- ・二毛作あるいは三毛作体系では、飼料用トウモロコシ前作の冬作牧草あるいは飼料用トウモロコシの収穫後に、残根を十分（12cm以上）すき込みし、ツマジロクサヨトウの幼虫を確実に死滅させることが重要です。また、堆肥、化成肥料および土壌改良資材の施用を、施肥基準に従い確実にを行い、初期成長を速やかに進めることが、加害の危険性を減らすことにつながります。
- ・季節の進みに従い、ツマジロクサヨトウの加害の危険性が増すと考えられますので、晩播トウモロコシあるいは二期作（夏播き）トウモロコシの栽培にあたっては、茎葉型除草剤の散布時期にツマジロクサヨトウの加害が発生していないか、注意深く観察してください。

10. さいごに

本マニュアルの活用方法については、地域の植物防疫対策課および畜産課との連携をお願いします。



← 最新情報はここから

【ツマジロクサヨトウに関する情報，農林水産省】

本マニュアルは、令和２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。

（宮崎大学・令和２年度「飼料生産におけるツマジロクサヨトウ対策事業」事務局）



（国立大学法人）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

宮崎大学農学部 植物生産環境科学科 大野 和朗

TEL: 0985-58-7578, Email: ohnok@cc.miyazaki-u.ac.jp

令和３年４月３日：ツマジロクサヨトウの登録農薬一覧（令和３年４月１日）を追記しました。