



あたらしい 林業技術

No.706

シイタケ害虫の生態特性を
利用した防除技術

令和6年度

—静岡県経済産業部—

要 旨

1 技術、情報の内容及び特徴

- (1) 静岡県内のシイタケ栽培現場でみられる害虫とその対策について、2018年度から2022年度までに得られた研究成果を総括し、実践的な防除手順をまとめました。
- (2) 原木栽培で特に被害をもたらす害虫ナカモンナミキノコバエは、早期の収穫を心がけることや、夜間にホダ木にLED照明を設置することで、被害を軽減できる可能性があると考えられました。また、ホダ場で取り残しのシイタケを放置しないことが、キノコバエ類被害の抑止に重要です。
- (3) 菌床栽培で特に被害をもたらす害虫ナガマドキノコバエ類は、菌床管理のために散水する時間を1時間に延ばすことで、被害を軽減できる可能性があると考えられました。
- (4) 今後侵入の恐れのあるシイタケ原木に被害を及ぼす恐れのある害虫2種について、各種の概要を解説しました。特に県東部地域では、クビアカツヤカミキリの侵入の恐れの高いと予想されるため、ヤマザクラをホダ木に使う生産現場では警戒が必要です。

2 技術、情報の適用効果

化学農薬を使用できないシイタケ栽培において、害虫の生態的知見に基づいて防除を行うことができます。

3 適用範囲

県下全域のシイタケ生産者

4 普及上の留意点

- (1) 本編で紹介する防除技術は、試験ホダ場・菌床施設等で得られた知見を踏まえて、防除に活用できる可能性があると思込まれるものを解説しました。今後、生産現場での実証を通じて技術の精度を上げる必要があります。
- (2) 原木栽培の害虫のうち、フタモントンボキノコバエについては防除技術に関する知見が限られているため、今後、追加の研究が求められます。

目 次

はじめに	4
1 原木栽培における害虫と防除	4
(1) ナカモンナミキノコバエの生態と被害実態	4
(2) ナカモンナミキノコバエの防除法	5
(3) その他の害虫と防除法	9
2 菌床栽培における害虫と防除	11
(1) 菌床栽培における害虫の被害実態	11
(2) ナガマドキノコバエ類の防除法	12
3 侵入の恐れのあるシイタケ原木林の害虫	13
(1) ハラアカコブカミキリ	13
(2) クビアカツヤカミキリ	14
おわりに	15
参考文献	16

はじめに

静岡県はシイタケ人工栽培発祥の地であり、2023年現在、乾シイタケの生産量は全国7位を誇り、特に原木生シイタケの生産量は全国1位を誇ります¹⁾。また、本県産のシイタケは全国乾椎茸品評会で多数の受賞歴を持つなど、生産技術に加えて加工技術の高さも全国有数です。近年は、原木栽培に加えて菌床栽培技術も普及したことで、シイタケ生産への参入が容易になりました。

その一方で、県内の生産現場では、キノコバエ類によるシイタケ内部・表面の食害や、幼虫などの異物が混入する被害が起きています。対してシイタケは化学物質を吸収しやすく、消費者からも健康食品としてのイメージを持たれているため、化学農薬を害虫防除に使用できないという制約があります。このため生産現場からは化学農薬を使わない害虫防除技術の確立が求められてきました。そこで当センターでは、2018年度から2022年度まで、県内のシイタケ生産現場で被害を及ぼす害虫の生態解明と防除対策についてそれぞれ研究を進めて参りました。本編では、本県のシイタケの生産現場で近年問題となっている害虫について、生態調査に基づいて、化学農薬を使わない防除法を考案しましたので紹介します。

さらに近年では、シイタケ原木の県をまたぐ流通等によって、原木に利用されるクヌギ、コナラ等の立木を加害する新たな害虫が県内に侵入する恐れが高まっています。加えて、県内では終息傾向にあるものの、ナラ枯れも依然としてあり、原木林の管理により一層の注意が必要です。そこで、今後県内に侵入の恐れがある原木林の害虫について、その特徴を解説しました。いち早く侵入を発見して被害を最小限を抑えられるよう、お役立てください。また、ナラ枯れ防除に関する技術は「あたらしい林業技術 No. 650」で成果を取りまとめているので、そちらをご参照ください。

1 原木栽培における害虫と防除

(1) ナカモンナミキノコバエの生態と被害実態

原木栽培において特に被害を及ぼすキノコバエ類として、ナカモンナミキノコバエ（以下「ナカモン」）とフタモントンボキノコバエ（以下「フタモン」）が知られています（図2、表1）。これらのキノコバエ類は、成虫がシイタケに産卵のために飛来し、孵化した幼虫はシイタケ内部を食害しますが、2種の詳細な生態と被害時期はこれまで不明でした。ここでは、今回明らかになった2種の被害の特徴を解説します。

この2種の被害は時期と部分が異なり、ナカモンは秋から翌春にかけて、フタモンは秋に被害を及ぼします（図1）。また、ナカモンが傘内部を、フタモンが軸内部を食害します（図2）。フタモンは、2015年に伊豆地域の生産現場で激甚な被害を及ぼしましたが、その後大きな被害は確認されていません。以下、ナカモンについて、さらに詳しい生態と被害実態を解説します。

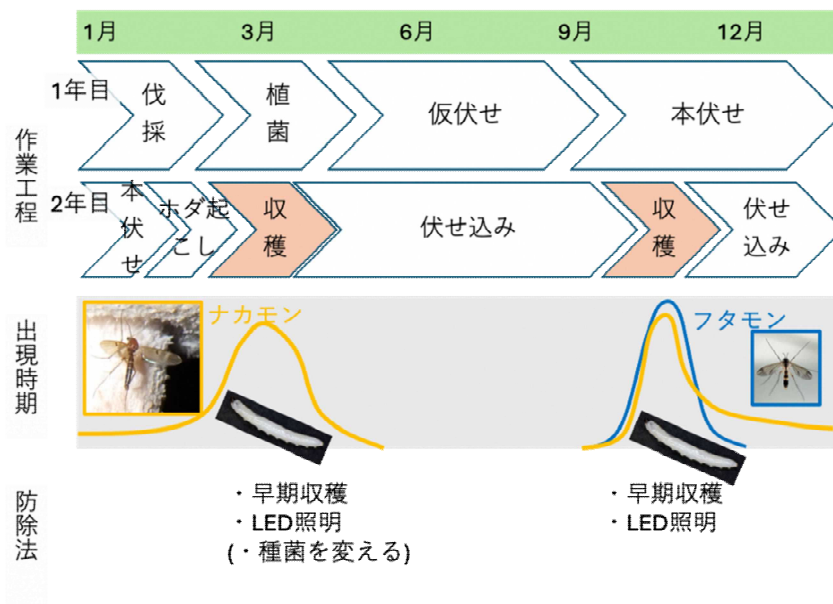


図1 原木栽培と害虫防除暦

ナカモンの幼虫を異なる温度条件で飼育して発育速度を調べたところ、成長することができる最も低い温度（発育ゼロ点）は3.4℃でした（図3）。すなわち、気温が低い冬期であってもホダ場の温度が3.4℃を超える場所では、シイタケの内部で成長して成虫まで発育可能であることが判明しました。ただし、気温の低い時期は成長速度が遅くなることから、成虫がシイタケに産卵後、幼虫による食害が生じるまでの期間は、暖かい時期よりも長くなるものと推察されました。

さらに、シイタケの成長段階と被害率の関係を明らかにするため、成虫がシイタケへ飛来を始める時間と収穫時の日平均気温を計測しました。方法は、ホダ木にカメラを設置し、シイタケの下側から3分間隔でインターバル撮影し、シイタケ子実体の成長と成虫の飛来・産卵行動を観察しました。なお、成虫はシイタケの傘の膜が裂開するまでは、その内側にある傘へ産卵することができません（図2左）。調査の結果、シイタケの傘の膜が裂開した時点から成虫が飛来するまで平均60時間でした。また、日平均気温が高いほど飛来する時間が遅くなる傾向がみられました（図4）。さらに、成虫は主に夕方から夜半にかけて飛来し産卵する傾向にありました（図5）。

（2）ナカモンナミキノコバエの防除法

ここでは、生態調査の結果に基づいて、原木栽培で最も被害を及ぼしていたナカモンを中心に、その防除法を明らかにしました。

a 成虫



b 幼虫



図2 原木栽培で見られるキノコバエ類とその被害状況
左：ナカモンナミキノコバエ、右：フタモントンボキノコバエ

表1 原木栽培で被害をもたらすキノコバエ類2種の比較

種類	ナカモン	フタモン
被害時期	10月下～5月上	10月下～1月
加害部位	傘の内部	傘と軸の内部
産卵部位	傘の襞	軸
産卵時間帯	夕方から夜半	夕方のみ
幼虫の形態	全体白色	腹部に黒い刺列

ア 飛来・産卵前の早期収穫等

被害回避の第一の方法として、シイタケ発生後、早期の収穫が挙げられます。被害実態の調査結果から分かるように、日平均気温が高いほど、シイタケが発生してからナカモンが飛来するまでの時間が遅くなるため、特に暖かい時期（12～3月以外）においては、産卵する前に収穫をすることで、本種による被害を回避できると考えられます。

また、ナカモンの増殖を防ぐためには、早めの収穫に加えて、古くなって出荷しないシイタケを取り残さずに廃棄することも重要です³⁾。この手法は、フタモンの被害が発生した場合の駆除に対しても有効と考えられます。

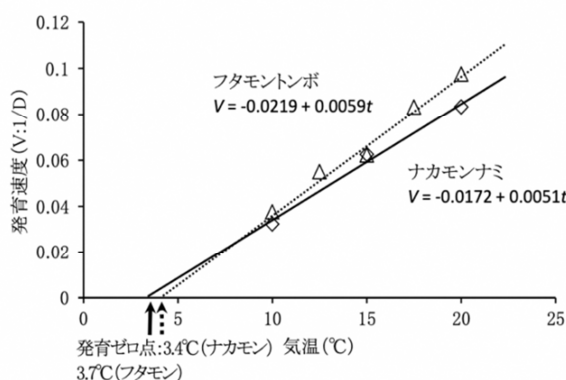


図3 ナカモンナミキノコバエの発育速度と温度の関係
別年に試験したナカモンの発育速度を併記した

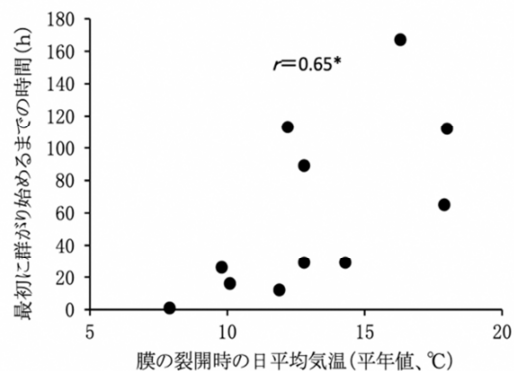


図4 シイタケ発生時の日平均気温とナカモンナミキノコバエ飛来時間の関係

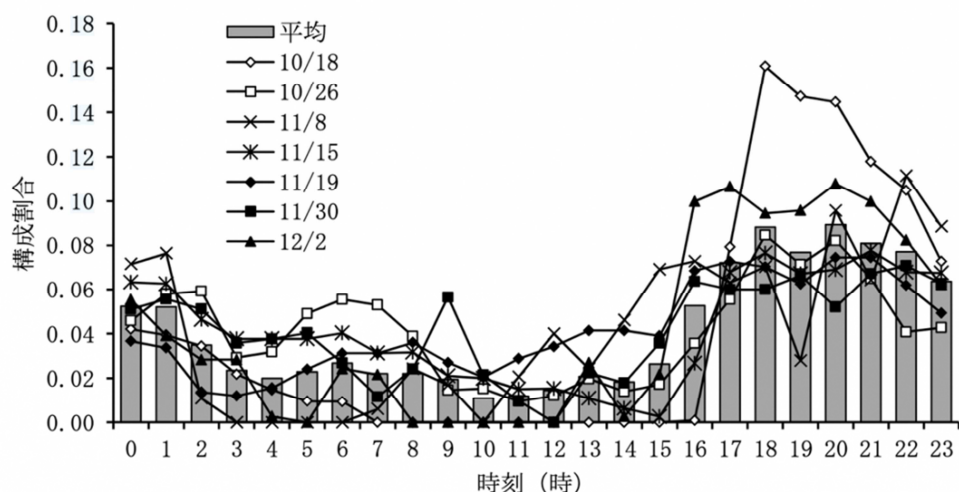


図5 ナカモンナミキノコバエの1時間当たり飛来数の推移
凡例の日付は、調査対象のシイタケの傘の膜の裂開日を示す

イ 夜間照明による防除法

被害回避の第二の方法として、ナカモン成虫の産卵阻害を目的とした照明装置の設置が挙げられます。成虫が飛来・産卵する時間帯に着目し、ホダ木を夜間（16時から翌日6時まで）にLED照明で照らし、産卵行動を阻害できるか検証しました（図6）。このとき、ホダ場で発生したシイタケを採取し、内部を割って幼虫による食害の有無を確認しました。その結果、照明を設置したホダ場では成虫の飛来数が減少しただけでなく、幼虫によるシイタケの食害も減少することが明らかになりました（図7）。



図6 LED照明を用いた防除試験

また、フタモンでも同様にLED照明をホダ木へ照射する試験を実施した結果、成虫の飛来が減少することが明らかになりましたが⁴⁾、シイタケへの幼虫による食害の抑止効果を検証した年には本種が出現しなかったため、フタモンへの防除効果に関しては不明です。

なお、本試験では家庭用の100V電源から給電し、USBアダプタを経由して、青または白色のLEDへ給電しました。現場で実践する場合、多くのホダ場では電源の確保が必要となりますが、十分な容量を確保するため、100Wh以上の容量を持つ車載バッテリー等を活用する必要があります。また、照明は消費電力が少なく長期間設置可能であることからLEDを採用しましたが、他の照明器具による効果については比較検証を行っておらず、今後さらなる改良が必要です。

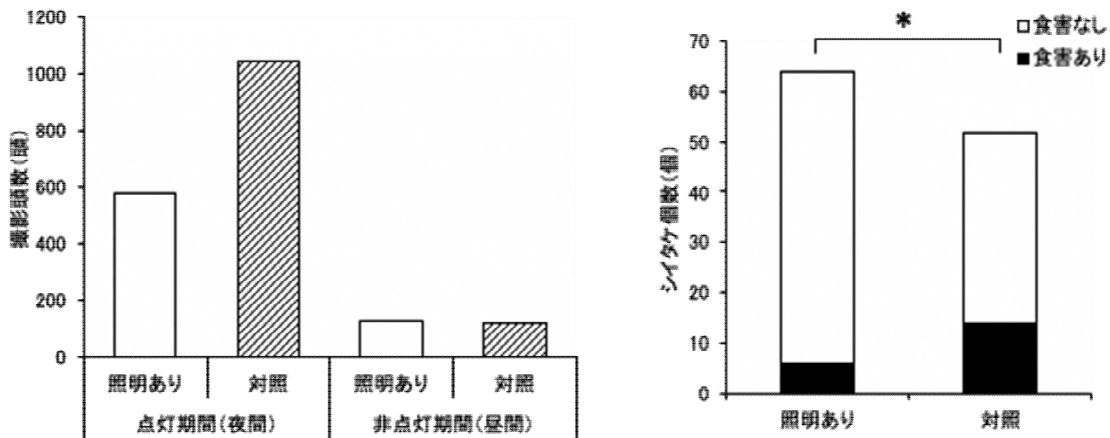


図7 照明の有無によるナカモンのシイタケへの飛来数（左）とシイタケの食害数（右）
飛来数は5分間隔のタイムラプス撮影による撮影頭数の合計

(3) その他の害虫と防除法

ア 主な害虫と出現時期

原木栽培では、ホダ場を自然環境に近い場所に設けて栽培することから、キノコバエ類の他にも様々な害虫が出現し被害を及ぼすことが知られてきた一方で⁵⁾、県内のホダ場においては網羅的な調査は行われていませんでした。そこで、キノコバエ類以外で特に警戒が必要な害虫について、出現時期を明らかにしました^{6, 7)}。

調査の結果、シイタケの自然発生期と重なって出現しシイタケを食害するニホンホソオオキノコムシ（図8a、図9左）、千葉県をはじめ多くの地域でホダ木及びシイタケに食害をもたらしているシイタケオオヒロズコガ（図8b、図9右）、ホダ木を食害しシイタケ発生量に悪影響を及ぼすコチャイロコメツキダマシ（図8c、図9右、以下「コメツキダマシ」）⁸⁾については、本県の原木栽培において特に注意が必要な害虫であると考えられました。

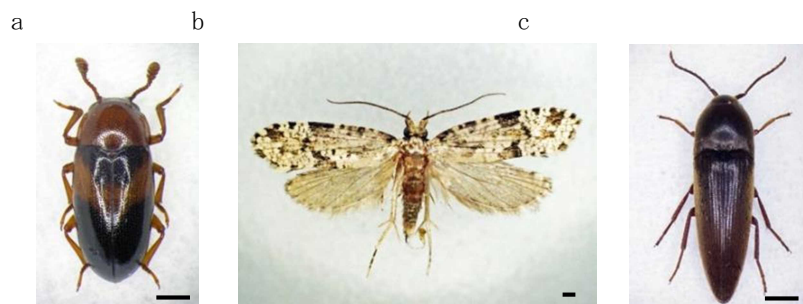


図8 原木栽培の主要害虫（キノコバエ類を除く）

a ニホンホソオオキノコムシ、b シイタケオオヒロズコガ、c コチャイロコメツキダマシ
（図中のバーは1mm）

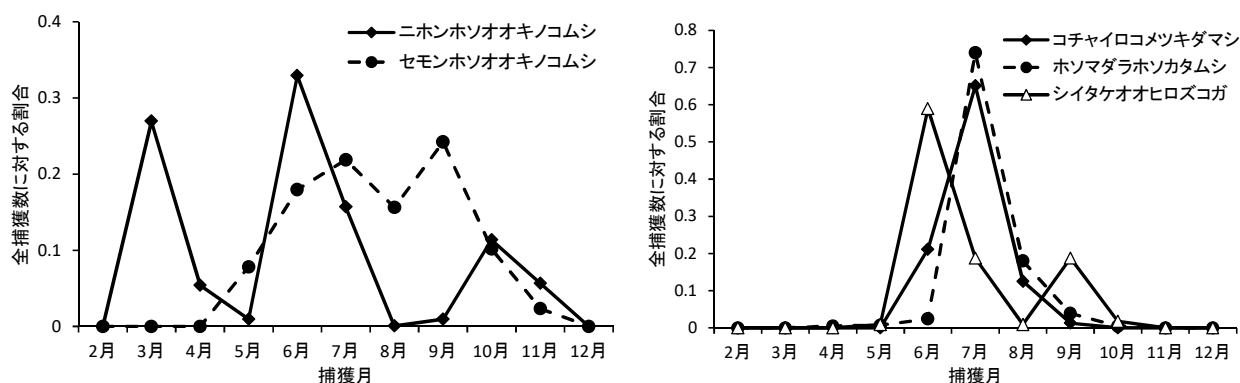


図9 原木栽培の主要害虫と出現時期

イ コチャイロコメツキダシの生態と防除法

県内の栽培現場では、リス類やキツツキ類がホダ木を嚙り崩してしまう被害が問題になってきました。原因を調べた結果、これらの野生動物は、ホダ木内部に生息するコメツキダシの幼虫を捕食するためにホダ木を嚙り崩していることが判明しました。そこで、コメツキダシの生態と防除法を新たに明らかにしました。

コメツキダシは、6月上旬から8月下旬にかけてホダ木に成虫が飛来・産卵したのち、孵化した幼虫は2年以上かけてホダ木内部を食害します。詳しい原因は不明ですが、幼虫の密度が高いホダ木では、リス類等によるホダ木の被害に加えて、シイタケ発生量に悪影響を及ぼす傾向がみられました(図10)⁸⁾。

森林・林業研究センター構内で激しいコメツキダシ被害が発生した2017年の翌年に、同じホダ場を用いてシイタケの品種、すなわち種菌別に被害を比較しました。試験は、2018年2月に対照区(種菌を接種しない)を含む各10本のホダ木に5種類の種菌を接種し、その後同年7月下旬から8月初旬にかけて被害のあったホダ場に伏せ込んだのち、翌年にホダ木を割って幼虫数を計測しました。その結果、低温系の特定の種菌のみに被害が集中していました(表2)⁹⁾。このことから、低温系の種菌を使用してコメツキダシの被害が発生したときは、次の植菌から使用する菌種を変えることで被害回避ができると考えられます。

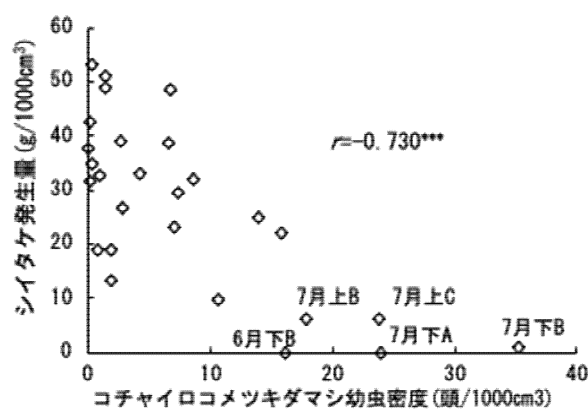


図10 ホダ木におけるコチャイロコメツキダシ幼虫密度とシイタケ発生量の関係

表2 シイタケ品種の違いによるコチャイロコメツキダマシ被害の比較

シイタケ品種	供試ホダ木(長さ90cm)		被害ホダ木 (本)	幼虫数 (頭)	品種の特徴
	本数(本)	平均直径(cm)			
A	10	9.8	2	29	X社、低温系、菌回りが特に早い
B	10	9.6	0	0	X社、低温系、大型肉厚
C	10	10.0	0	0	X社、高温系、発生温度幅が広い
D	10	10.2	0	0	X社、高温系、特に高温に強い
E	10	9.5	0	0	Y社、低温系、菌回りが早い
無接種	10	10.8	1	1	

2 菌床栽培における害虫と防除

菌床栽培は、原木栽培に比べてホダ木の伏せ込み等の手間が不要であることなどから、全国的に生産量が増加傾向にあります。その一方で、シイタケの栽培場所や培地等の生育環境が原木栽培とは大きく異なるため、原木栽培とは異なる害虫が出現し、場合によっては栽培施設内で甚大な被害を及ぼすことがあるため、異なる防除法が求められます。

(1) 菌床栽培における害虫の被害実態

通年で栽培を行っている施設内で出現する害虫を調査した結果、発見されたのはナガマドキノコバエ類、クロバネキノコバエ類、ムラサキアツバ、ヒメガガンボ類でした(表3)⁶⁾。これらの中では、個体数が多く、収穫したシイタケへの異物混入に加えて食害を引き起こすナガマドキノコバエ類(以下「ナガマド」)が、最も防除の必要性が高い害虫であると考えられました(図11)。ナガマドは、リュウコツナガマドキノコバエをはじめとする近縁な複数種を総称した種群であり、そのうち一部の種が菌床栽培における害虫とされています¹⁰⁾。

ナガマドは、自然条件下では6月頃から10月頃にかけて出現します。幼虫が菌床表面の菌糸やシイタケ子実体を食害しながら繁殖を繰り返し、年に複数回被害をもたらします。

調査は、森林・林業研究センター構内に設置した菌床施設に菌床を設置し、そのうち2個の菌床に飛来するナガマドをデジタルカメラで5分間隔でインターバル撮影し、写真から飛来頭数をカウントしました。その結果、ナガマドは日没から日が変わる時間帯までに菌床に飛来することが判明しました(図12)。

表3 菌床施設内に設置したトラップにより捕獲された害虫の個体数

害虫	被害形態	吸引式誘殺灯	PETボトル・トラップ	黄色粘着シート	
				上部設置	下部設置
ナガマドキノコバエ類	子実体食害・異物混入	41,300	143 ± 131	16 ± 5	11 ± 3
クロバネキノコバエ類	異物混入	1,097,443	385 ± 105	10,202* ± 402	9,024* ± 235
ムラサキアツバ	菌床食害	-	75 16	0	0
ヒメガガンボ類	異物混入	93,559	0 ±	3 ± 2	6 ± 5

*:設置位置により捕獲数に有意な差があることを示す(Wilcoxonの符号付き順位検定、 $p < 0.01$)。

なお、クロバネキノコバエ類は、子実体や菌床ではなく排水溝などが発生源であった。

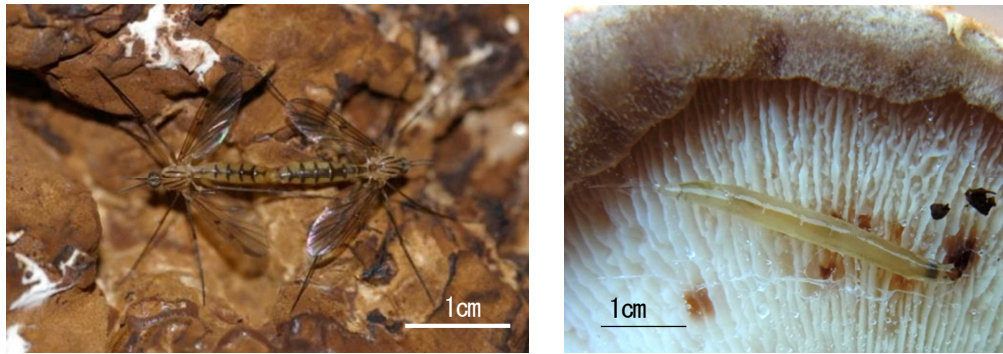


図11 ナガマドキノコバエ類の成虫（左）と幼虫によるシイタケ表面の食害（右）

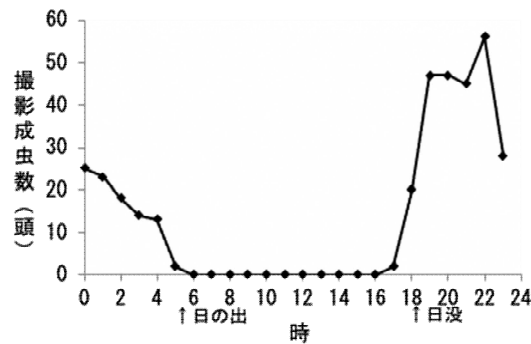


図12 ナガマドキノコバエ類成虫の菌床への時間帯別飛来数

(2) ナガマドキノコバエ類の防除法

ナガマドの防除には、光誘引捕虫器や粘着シートによる成虫の捕獲といった物理的防除、菌床の洗浄や浸水・散水処理によって幼虫を殺す施業的防除、天敵製剤（線虫）を散布する天敵防除の3種類の防除方法が開発されています³⁾。これらの防除法はいずれも、ナガマドが被害を及ぼす時期を狙って的確に実施する必要があります（図13）。こうした防除法の中で施業的防除は、日頃の栽培作業を工夫することで実施でき、生産現場にとって追加コストの負担が不要な防除法です。ここでは、菌床の散水管理の方法を改良することで、効果的に防除可能な方法を新たに明らかにしましたので、解説します。

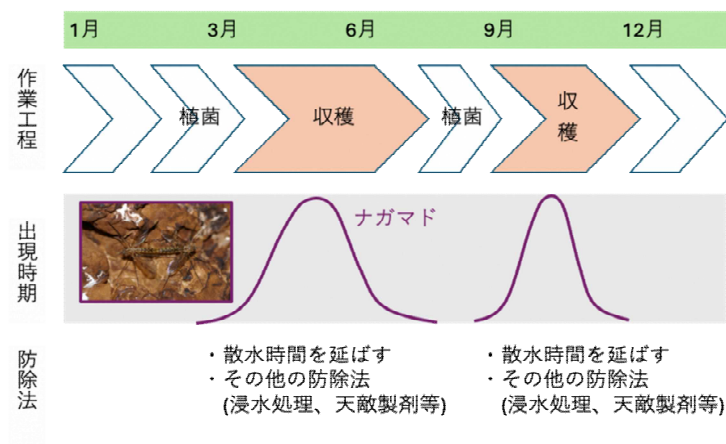


図13 菌床栽培の作業工程と害虫防除暦

ナガマドは、日没後から夜半にかけて菌床に飛来して産卵します。そこで、この特性を利用して、1日当たりの散水時間（以下「散水時間」）や散水を開始する時刻（以下「散水時間帯」）を変えることで、防除効果が得られるか検証しました。1日当たりの散水時間を30分と1時間として、散水開始時刻を正午として毎日散水を実施し、菌床に付着した幼虫数を2週間後に比較しました¹¹⁾。試験には、被害を受けやすい、シイタケの発生を3～4回繰り返した古い菌床を使用しました。その結果、散水時間を30分にした場合には菌床1個当たり平均8.5頭が付着していた一方で、1時間の場合は平均3.8頭と半分以下に減少しました（図14a）。また、このときシイタケの収穫量（平均重量）には影響はありませんでした。

さらに、産卵時間である日没後に散水することで、防除効果が高まるか検証しました¹²⁾。日没時間帯である19時を散水時間帯とした場合と、12時間後の7時を散水時間帯とした場合で防除効果を比較した場合、両者には有意な差はみられませんでした（図14b）。ただし、朝（7～8時）に散水した方がナガマドの寄生数が少なくなる傾向があったことから、散水は夜間よりも早朝に行うとより防除効果が高まる可能性があります。

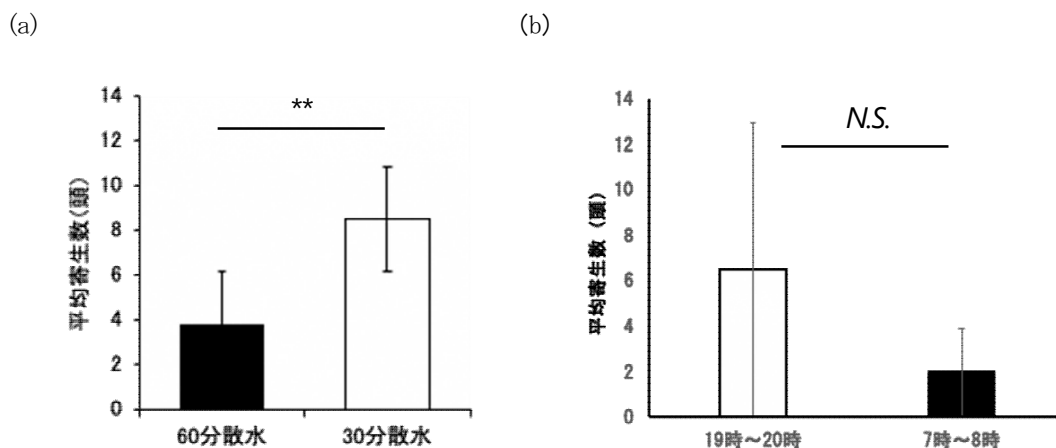


図14 (a)散水時間(正午に散水開始)、(b)時間帯の違いによるナガマド幼虫の菌床への寄生数
エラーバーは標準偏差。**は $p < 0.01$ 、N.S.は有意差なしを示す(t 検定)

3 侵入の恐れのあるシイタケ原木林の害虫

近年、県をまたいだ広域的な原木流通に伴い、原木の供給元となるクヌギ、コナラ林等で、ホダ木にする前の生立木を枯らしたり、伐採後のホダ木を食害する害虫が分布拡大して問題となっています。今後侵入の恐れのある害虫については、いち早く気付いて被害が深刻化する前に対策を講じることが重要です。

(1) ハラアカコブカミキリ

ハラアカコブカミキリは、クヌギ、コナラなどホダ木として活用される樹種で伐採後の立木の樹皮下を食害する害虫です（図15）。本種は、もともと長崎県対馬列島のみ分布していましたが、ホダ木の広域的な流通に伴い分布が拡大しています。現在では中国地方から九州にかけて収穫前のホダ木への被害が発生しているほか、近畿地方と茨城県、千葉県、埼玉県でも成虫の分布が確認されています³⁾。

伊豆地域のクヌギやコナラを原木としたホダ場で2018年から2022年までモニタリングを実施した結果、本種の分布や被害は確認されませんでした。伊豆地域の生産現場では県外からのホダ木購入を行う機会は少なく侵入リスクは低いと考えられますが、他地域でホダ木を県外から購入する生産現場では警戒が必要となります。疑わしい害虫被害がみられた場合は、参考文献³⁾等を参照いただくほか、当センターに情報提供をお願いします。



(2) クビアカツヤカミキリ

伊豆地域では、クヌギやコナラに加えて、混生して自生しているサクラ類も原木に使われる場合があります。バラ科、特にサクラやウメ、モモなどの仲間の生立木に穿孔し枯死させる外来の害虫として、クビアカツヤカミキリが全国的に分布を広げています(図16)。



図15 ハラアカコブカミキリの成虫(上)と幼虫による樹皮下の食害(下)

写真提供 福井修二氏(島根県地域振興部中山間地域研究センター)

2024年現在、本県では分布または被害は確認されていませんが¹³⁾、隣県の愛知県、神奈川県では、街路樹のソメイヨシノで被害が発生しています。近年、南関東から西方向へ分布拡大していることから、県東部地方が特に侵入リスクが高い可能性が考えられます。この地域で原木林としてヤマザクラを使用している場合には特に本種の被害に注意をしていただき、参考文献¹⁴⁾等を参照いただくほか、疑わしい場合は当センターへ情報提供をお願いします。



図16 クビアカツヤカミキリの成虫(左)とフラス(右)

写真提供 野中俊文氏(埼玉県草加市)

おわりに

シイタケ栽培現場では、特にキノコバエ類による被害が一度激害化してしまうと、生産量に大きな影響を与えてしまうことから、生産者の経営への損害は計り知れません。本成果を活用いただくことで生産者の皆様の安定経営につながり、より一層、本県のシイタケ生産が活性化することを願っています。

さらに、外来カミキリムシ類をはじめとして、今後も新たな害虫の侵入が懸念される中で、生産現場で被害を広めないためには、いち早く侵入を把握し、その種の生態を把握したうえで水際での確実な防除対策を行うことが肝要です。そのためには、生産者の皆様からの情報提供が欠かせません。当センターでは、今後も新たな害虫に備えてきめ細やかな情報収集と本県の生産現場の実情に合わせた技術開発・提供を進めて参ります。

参考文献

- 1) 林野庁, “令和5年特用林産物生産統計調査 確報 令和5年品目別資料”. <https://www.e-stat.go.jp/stat-search/files?page=1&layout=datalist&toukei=00501004&tstat=000001021191&cycle=7&year=20230&month=0&tclass1=000001021192&tclass2=000001220800>, (参照 2024-09-18).
- 2) 加藤徹, 中田理恵. 2020. キノコバエ類の生態解明. 静岡県農林技術研究所成績概要集(森林・林業編). 2019, 29-30.
- 3) しいたけ害虫の総合防除. 改訂第2版, 国立研究開発法人 森林研究・整備機構, 森林総合研究所, 1-51, <https://www.ffpri.affrc.go.jp/pubs/chukiseika/4th-chuukiseika28.html>, (参照 2024-09-18).
- 4) 加藤徹, 中田理恵. 2021. 原木栽培におけるキノコバエ類の防除対策. 静岡県農林技術研究所成績概要集(森林・林業編). 2020, 62-63.
- 5) 岡部貴美子. 2006. 日本における食用きのこの害虫. 森林総合研究所研究報告. 5, 119-133.
- 6) 加藤徹, 鈴木拓馬. 2014. 原木栽培におけるほだ木とシイタケ子実体の害虫の特定. 静岡県農林技術研究所成績概要集(森林・林業編). 2013, 103-104.
- 7) 加藤徹, 山口亮. 2015. 原木栽培におけるほだ木とシイタケ子実体の害虫の特定. 静岡県農林技術研究所成績概要集(森林・林業編). 2014, 75-76.
- 8) 加藤徹. 2018. シイタケほだ木内に生息するコチャイロコメツキダマシ幼虫の生息密度とシイタケの発生量. 中部森林研究. 66, 55-58.
- 9) 加藤徹, 中田理恵. 2020. シイタケの品種の違いによるコチャイロコメツキダマシ被害. 静岡県農林技術研究所成績概要集(森林・林業編). 2019, 31-32.
- 10) Sueyoshi, Masahiro. 2014. Taxonomy of Fungus Gnats Allied to *Neoempheria ferruginea* (Brunetti, 1912) (Diptera: Mycetophilidae), with Descriptions of 11 New Species from Japan and Adjacent Areas. *Zootaxa*. 3790, 139-164.
- 11) 加藤徹, 中田理恵. 2022. 散水管理によるナガマドキノコバエの被害回避. 静岡県農林技術研究所成績概要集(森林・林業編). 2021, 50-51.
- 12) 内山義政, 中田理恵. 2023. ナガマドキノコバエの散水管理による防除. 静岡県農林技術研究所成績概要集(森林・林業編). 2022, 60-61.
- 13) 内山義政, 加藤徹, 中田理恵. 2023. シイタケ栽培等における新たな害虫の対策に関する研究. 静岡県農林技術研究所成績概要集(森林・林業編). 2022, 68-69.
- 14) クビアカツヤカミキリの防除法. 国立研究開発法人 森林研究・整備機構, 森林総合研究所, 1-30. <https://www.ffpri.affrc.go.jp/pubs/chukiseika/5th-chuukiseika12.html>, (参照 2024-09-18).

農林技術研究所森林・林業研究センター森林育成科 主任研究員 内山義政
科長 加藤 徹
(現 退職)