

昆虫病原性線虫利用研究の現状と展望

(株)エス・ディー・エス バイオテックつくば研究所

山

中

聡

は じ め に

昆虫病原性線虫とは、その生活環の中で、昆虫に感染して死亡させ、その体内で増殖することによって種を継続させるものを指し、一般的には *Rhabditida* 目のスタイナーネマ (*Steinernema*) 属とヘテロラブディティス (*Heterorhabditis*) 属線虫を指す。これらの線虫は、①宿主害虫に対して積極的な探索行動を示すこと、②昆虫病原生物としては比較的広範な殺虫スペクトラムをもつこと、③感染力を有する生育ステージ (感染態 3 期幼虫) において環境耐性を有すること、④殺虫に至る作用機作では線虫の保持する共生細菌が主たる役割を果たし複雑であるため、対象害虫が抵抗性を獲得する心配がないこと、⑤液体人工培地での培養が可能であることなどから、欧米諸国では数多くの線虫種が生物農薬として商品化されている (山中, 2000)。

I 殺虫作用機作

昆虫病原性線虫の發育ステージは、卵、四つの幼虫期 (J1 ~ J4) および成虫からなる。感染態 3 期幼虫 (Infective Juvenile = IJ) を除くすべてのステージは、感染死亡した昆虫体内でのみ認められる。感染態幼虫は、特殊な 3 期幼虫であり、新しい宿主に感染するために昆虫の死体の外に出て、分散移動ができる。この IJ が、通常生物農薬として市販されている製剤の有効成分である。IJ は、宿主昆虫に向かって移動し、自然開口部 (口、気門、肛門) を通って体内に侵入する。線虫が体内に侵入すると 2 期幼虫時のクチクラを脱鞘し、昆虫血体腔内に侵入し、体内に保持している共生細菌を放出するとともに素早く 4 期幼虫を経て成虫へと成長する。その後昆虫体内で世代を繰り返した後、IJ が再び出現し、新しい宿主を求めて昆虫体外に脱出してくる (図-1)。昆虫病原性線虫の感染によって死亡した昆虫の死体に

は、線虫種に特異的な共生細菌の増殖による特徴的な症状が現れる。共生細菌は他の腐敗性微生物の増殖を抑制し、線虫の増殖を助けるが、特徴的な色素も生産するため線虫の感染によって死亡した昆虫の体色に変化する。両者の共生関係において、線虫は細菌を競合微生物が多い土壌という外的環境から隔離して保護し、増殖可能な最適宿主昆虫の血体腔内へ運ぶという役割をもち、一方、細菌は宿主昆虫を速やかに致死させるとともに、線虫の増殖に必要な環境を作り出し、同時に線虫の成長に必要な養分を供給している (GAUGLER and KAYA, 1990)。

II 昆虫病原性線虫の基礎研究、応用研究における現状

各線虫種の宿主特異性 (寄主範囲) は、感染行動の第 1 段階である宿主探索行動や、各々の線虫種が保持する共生細菌の種類とその殺虫活性に依存している。したがって、実際の害虫防除場面において新たな害虫種への利用可否を判断するためには、これらの線虫並びに共生細菌の生物学的特性について知ることが第一歩であり、さらに防除対象となる害虫の生態を熟知して実場面における施用方法を検討することで、現実的な防除技術として確立される可能性が格段に高くなる。分子生物学的、遺伝学的な研究から昆虫病原性線虫の各種性能を改良あるいは改善するには、近年開発された昆虫病原性線虫と同じ科に属する *Cenorhabditis elegans* による分子生物学的研究技術を応用することができる。しかし、現実には、野生種の線虫利用など応用研究が多く、基礎研究はその

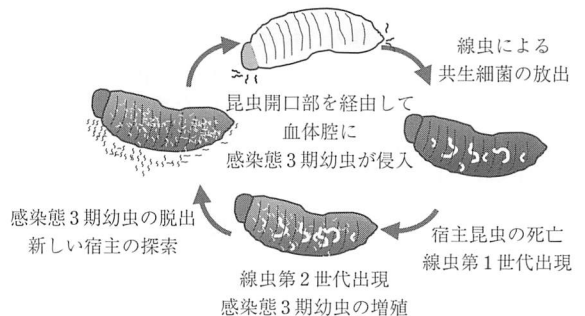


図-1 昆虫病原性線虫の生活史および作用機作

Current and Future Prospect for Entomopathogenic Nematode Products in Japan. By Satoshi YAMANAKA

(キーワード: 昆虫病原性線虫, 生物的防除, スタイナーネマ, バイオセーフ, バイオトピア, モモシンクイガ, キボシカミキリ, ハスモンヨトウ, ヤシオオオサゾウムシ)

研究目的の位置づけ、労力的、金銭的問題でそのアクティビティーは低いのが現状である。

線虫の感染行動は、探索型（Cruiser）と待ち伏せ型（Ambusher）に分けられるが、これらの中間に位置する線虫種も存在する。*S. glaseri*などは探索型で、積極的に垂直・水平方向に動き宿主を探し出す。このタイプの線虫は土壌中を移動し、根を加害するコガネムシ幼虫の防除に適している。*S. carpocapsae*などは、自らの行動を最小限に抑え宿主昆虫の接近をもち、両者が近接すると感染行動に移るというタイプである。これらの線虫は地際部あるいは土壌浅部にいる鱗翅目幼虫や鞘翅目幼虫の防除に適している。

線虫の探索行動や待ち伏せ行動のエネルギー源は、主としてグリコーゲンなど中性脂肪による。グリコーゲン含有量は、線虫種によっても異なり、感染態3期幼虫となった期間によっても異なる。また、その消費率も種によって異なるので線虫の生残性や製剤中での保存期間にも影響を与える。したがって、応用的にはエネルギー源となる脂肪の含有量の多い線虫株の育成や培養時の栄養源の改良が研究の対象となっている。その他には、線虫の乾燥耐性、耐熱性を付与するための研究なども行われている。

Ⅲ 国内における利用の現状

1 バイオセーフ

本剤は、*S. carpocapsae*を有効成分として、国内で最初に生物農薬として登録された。これまでバイオセーフは、芝草分野でのシバオサゾウムシ特效薬と位置付けて販売を行ってきた。しかし芝草分野における安価で効果的な化学合成農薬の出現により、近年その利用は減少している。一方、化学農薬による環境に対する負荷、病害虫における薬剤抵抗性等の問題から、環境にやさしい農薬の農林業分野での使用の可能性を検討し、利便性を考えた2.5億頭入り製品と2,500万頭入り製品の2種類が販売されている。現在、果樹分野における交信かく乱剤との補完剤としての利用（果樹・モモシンクイガ）、施設栽培におけるIPM資材としての利用（イチゴ・ハスモンヨトウ）、線虫という独特の害虫防除資材に適した防除分野（イチジク・キボシカミキリ幼虫、シクラメン等のキンケクチプトゾウムシ）として表-1に示す登録がある。

2 バイオトピア

本剤は、芝草害虫であるシバオサゾウムシ幼虫および鱗翅目害虫にコガネムシ類幼虫を加えた芝草の総合防除剤として、「ガットウルグアイラウンド農業合意関連対策委託研究」で開発された*S. glaseri*を有効成分とする生物農薬で、2000年に上市された。本種は、活発な宿

表-1 適用害虫の範囲、使用時期および使用方法

作物名	適用病害虫名	希釈倍数	使用時期・回数	使用方法
シバ	シバオサゾウムシ タマナヤガ	2億5,000万頭/10a	幼虫発生初期	1m ² 当たり 0.5～2l 散布
カンショの茎葉	アリモドキゾウムシ		成虫発生初期	1m ² 当たり 0.5～2l 土壌灌注
カンショ	イモゾウムシ			
イチゴ	ハスモンヨトウ		老齢幼虫発生初期	
果樹類	モモシンクイガ		夏繭が形成される時期～羽 化脱出前まで	1m ² 当たり 0.5～2l 散布・土壌灌注
イチジク	キボシカミキリ幼虫	産卵期～幼虫喰入期	2,500万頭（約72g）を2.5lの水に希釈し 主幹および主枝の産卵箇所薬液が滴るま で塗布または散布	
シクラメン 球根ベゴニア プリムラ	キンケクチプト ゾウムシ	1,000～2,000倍	幼虫発生初期	1株当たり 300ml 株元灌注

2004年8月現在。

表-2 バイオトピア適用害虫の範囲、使用時期および使用方法

作物名	適用病害虫名	希釈倍数	使用時期	回数	使用方法
シバ	コガネムシ類幼虫	1 ～ 2 バック/10 a (1 億 2,500 万頭～ 2 億 5,000 万頭)	発生初期	—	1 m ² 当たり 0.5 ～ 2 l 散布
	シバオサゾウムシ幼虫				1 m ² 当たり 1 ～ 2 l 散布
	シバツトガ スジキリヨトウ タマナヤガ				
カンショ	コガネムシ類幼虫	2 バック/10 a (2 億 5,000 万頭)			1 株当たり 0.5 ～ 2 l (1 m ² 当たり 3 ～ 12 l) 株元灌注
ブルーベリー	ヒメコガネ幼虫				1 m ² 当たり 0.5 ～ 2 l 土壌 灌注

2004 年 8 月現在.

主探索能力を有し、土壌中の宿主害虫に速やかに感染する。シバにおいては 1 m² 当たり 12.5 万～25 万頭の範囲で利用できる。製品形態としては 1 億 2,500 万頭入りで販売されている。現在は、各種芝草害虫だけでなく農業分野におけるコガネムシ防除にも利用されている(表-2)。

IV 最近の新しい使用例

1 果樹・モモシクイガ

モモシクイガは幼虫で越冬し、5 月から 7 月にかけて夏繭を形成して蛹化後、越冬世代成虫が羽化してくる。また第 1 世代幼虫は 7 月から 8 月にかけて夏繭を形成し第 1 世代成虫となる(図-2)。幼虫が土中に潜伏しているこれらの時期にバイオセーフを土壌中に 1 m² 当たり 25 万頭処理する。果樹園では、下草が繁茂している場合が多く、昆虫病原性線虫が草の葉面に付着してしまうことがある。このため、雨天に散布するかあるいは線虫懸濁液散布後、さらに散水することが効果を十分発揮させるポイントとなる。しかしちょうどこの時期は梅雨にあたるため、比較的安心して処理することが可能である(岡崎, 2003)。

登録上 2.5 億頭/10 a (= 25 万頭/m²) の処理ではあるが、モモシクイガ幼虫防除では樹冠下を対象とする。本種は、果樹の枝に覆われていない土壌中には生息している確率が低いので、散布対象地域を果樹樹冠下として処理していくことを勧める。特に、前年度被害や発生の

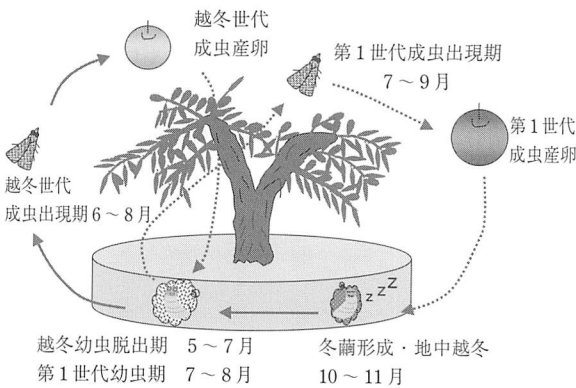


図-2 モモシクイガの生活史

多かった場所を中心にモモシクイガの生息場所である樹冠下に効率的に散布していけば、比較的広範囲の処理が可能である。

本号の福島県果樹試験場荒川、岡崎両氏の論文で紹介されるがここでは交信かく乱剤を使用しない一般慣行防除での実証試験を紹介する。2003 年宮城県園芸試験場での実証試験で、リンゴ園(ふじ) 80 a について、それぞれ 40 a ずつ慣行区および慣行区にバイオセーフを組み入れたバイオセーフ区(5 月、6 月、7 月各 1 回散布)を設置した。無処理区としては、近隣(5 km 遠方)の無防除園での被害程度と比較した。これらの結果は、前年度の各試験区の被害果率と合わせて比較し、バイオセーフ処理効果を評価した。

10月の調査において、近隣無防除園でのモモシクイガによる被害果率は47.5%を示し、バイオセーフ処理区は1%、慣行区は9.1%を示した。前年度被害果率が、近隣無防除園、バイオセーフ処理区、慣行区でそれぞれ71.9%、27.8%、54.0%であったことと合わせても、バイオセーフ処理がモモシクイガによる被害を激減させたと評価できた(表-3、図-3)。

2 イチゴ・ハスモンヨトウ

イチゴに産卵されたハスモンヨトウのふ化幼虫は中齢まで葉上を加害するため、従来の散布剤(BT剤、IGR剤)によって防除することが可能である。しかし、中齢期を過ぎると幼虫は昼間マルチ内側に潜り込み、夜間出現して株元を加害するようになり、イチゴの株ごと枯死する被害が続出する。老齢幼虫になると移動性が高いため、好適な餌を求めて施設外から侵入してくる場合もある。

老齢幼虫1頭当たりの加害量は大きく、またマルチ内部に潜むことから従来の散布による防除法では困難で、

現場でも問題となっている(特に、西日本)。水分含有量が十分維持されるマルチ内部への処理は、線虫の生物学的特性からも有効であり、灌水チューブなどを用いてマルチ内に線虫を処理すること、また株元に線虫懸濁液を流し込むという方法では、葉面上の若齢幼虫には効果が期待できないが、これまで難防除であった老齢幼虫に対してむしろ高い効果が得られることがわかった(図-4)。

3 イチジク・キボシカミキリ幼虫

キボシカミキリは、関東以西においては例年8月中～下旬にイチジクの主幹主枝に産卵を行う。産卵個所は1枝当たり30か所から60か所以上に上り、ふ化幼虫は幹内に食入する。本種に対する防除は、予防的には昆虫病原性糸状菌製剤が若干普及されているが、キボシカミキリの発生は圃場により偏りがあること、発生が年によって異なることから考えると、本種の産卵個所が肉眼で容易にみつけれ出せることから、防除の必要のある樹木に対してのみ処置することが経済的であると考えられる(山下, 2003)。

本線虫は、食入個所に投与すると化学農薬と異なり、

表-3 バイオセーフ効果実証試験(宮城園試)における慣行防除薬剤防除層とバイオセーフ処理時期

	4月	5月	6月	7月	8月	9月
慣行防除	マシン油 DMTP ニコチン	プロチオホス	CYAP ピフェナゼート イミダクロプリド クロルピリホス	ダイアジノン ニコチン クロルピリホス DMTP	アセキノシル NAC トラロメトリン	MEP
バイオセーフ区	同上	同上 バイオセーフ 5/21	同上 バイオセーフ 6/23	同上 バイオセーフ 7/31	同上	同上

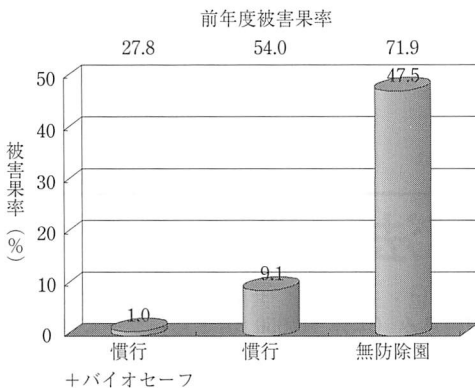


図-3 バイオセーフ効果実証試験(宮城園試)におけるバイオセーフ処理効果

圃場規模: リンゴ(ふじ)21年生, 41年生混植80a。10月2日調査, 調査果実数: 618果(バイオセーフ区), 154果(慣行区), 337果(無防除区)。

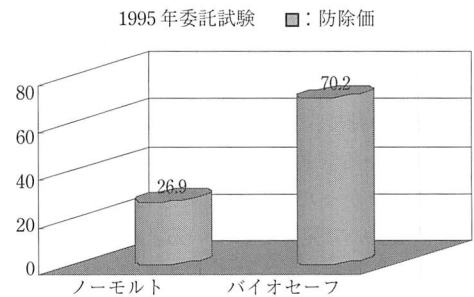


図-4 バイオセーフ(25万頭/m²)処理によるハスモンヨトウ老齢幼虫の防除
試験場: 日植防高知, 処理日: 1995年11月20日。

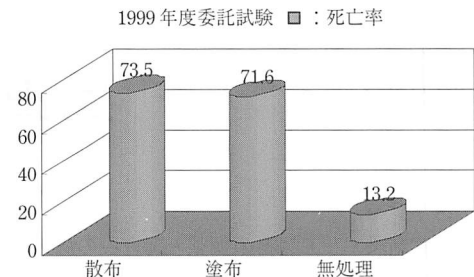


図-5 バイオセーフ10,000頭/ml処理によるキボシカミキリ幼虫の防除
試験場: 兵庫県植物防疫協会, 処理日: 1999年9月21日。

表-4 バイオセーフ (3,000 頭/ml) 処理によるヤシオオサゾウムシ防除効果 (日植防宮崎委託試験 2003 年 6 月 30 日処理, 処理 10 日後調査結果)

調査部位	対象害虫 ステージ	生存虫数	死亡虫数	死亡率 (%)	線虫 感染率 (%)
頭頂部外部	幼虫	0	0	100	100
腐植物中	成虫	0	9		
葉柄基部	幼虫	0	1	100	71
腐植物中の	蛹	0	6		
繭	成虫	0	10		

幼虫加害部分まで自力で到達することができ, 10,000 頭/ml 処理で, その防除率は非常に高いことが実証されている。兵庫植防 (1999 年) での試験は, 線虫懸濁液を刷毛を用いて塗布処理を行ったところ, 高温年で産卵がばらつき, 化学農薬での処理は厳しい条件であったにもかかわらず十分な効果が得られた。兵庫中央農技センター (2000 年) では, 刷毛を用いた塗布処理と噴霧器による散布のどちらも高い効果が認められた (図-5)。

これまでの試験結果から関東以北におけるバイオセーフの処理適期は, 5~6 月の蛹化前, 関東以西での処理適期は 9 月中~下旬として普及推進されている。

4 フェニックス (ヤシ) ・ヤシオオサゾウムシ

ヤシオオサゾウムシは, 日本にはもともと分布していない熱帯性の種で, 東南アジアではヤシの大害虫として恐れられている。約 20 年前に沖縄で発見されたが, 被害には至らなかった。しかし最近再び九州を中心に, 国内各地で相次いで発見されている。これは, 海外から輸入したヤシの苗木とともにもち込まれたものと考えられている。ヤシオオサゾウムシはカブトムシの雌ぐらいの大きさで, フェニックスの樹冠部に卵を産み付ける。

卵からかえった幼虫は樹冠の内部を食い尽くすため, 上部は空洞状態となり成長が停止する。葉もすべて落ち

てしまうために, 切り倒さなければならなくなる。

南九州大学 (宮崎県高鍋町) において, フェニックスの成長点部分を加害するヤシオオサゾウムシが繁殖したため, クレーン車を用いてフェニックス上部にバイオセーフ懸濁液を散布した。その結果, ほぼ完全に本種を防除できることがわかった (表-4)。

お わ り に

IPM (総合的病害虫管理) の概念の発達している欧米においては, 昆虫病原性線虫が一つの素材として多くの農作物で使用されている。一方, 日本においては, 芝草分野における害虫防除として特効薬的な使用が主体で, 農業分野へはこれからの普及活動によるところが大きい。特に, リンゴなどのモモシクイガ幼虫防除では, リンゴやモモだけではなくネクタリン, マルメロ等宿主樹木が複数にわたることから「果樹」における農薬登録は大きなインパクトがある。さらに果樹分野では樹幹害虫であるコスカシバ, ヒメボクトウガ幼虫, 農業分野ではコマツナ・キスジノミハムシ幼虫などにも効果を示しており今後の利用が期待される。バイオセーフではより使いやすい製剤の改良検討も行っているが, 今後も昆虫病原性線虫の性質を理解して利用できる場面を開拓していくことで, 多くの生産者の方々や研究者がその効果を実感してもらえるよう普及を行っていかねばならないと考えている。

引 用 文 献

- 1) 山中 聡 (鈴井孝仁ら編) (2000) : 微生物の資材化, ソフトサイエンス社, p. 229 ~ 258.
- 2) GAUGLER R. and KAYA H. K. (1990) : Entomopathogenic Nematodes in Biological Control, CRC Press, Boca Raton, Florida, 365pp.
- 3) 岡崎一博 (2003) : バイオコントロール 7(1) : 8 ~ 13.
- 4) 山下賢一 (2003) : 同上 7(1) : 3 ~ 7.

発行図書

昆虫の飼育法

湯嶋 健・釜野静也・玉木佳男 共編 B5判 本文 400 頁
定価 12,232 円税込み (本体 11,650 円) 送料サービス

飼育施設・人工飼料の調整・飼育虫の病気対策など共通性のある問題を総論で解説し, 各論では 126 種の虫ごとに材料・採集・餌・作業計画・注意事項と問題点・参考文献など实际的に飼育方法を解説した書です。

お申し込みは直接当協会へ, 前金 (現金書留・郵便振替) で申し込むか, お近くの書店でお取り寄せ下さい。

社団法人 日本植物防疫協会 出版情報グループ 〒170-8484 東京都豊島区駒込 1-43-11

郵便振替口座 00110-7-177867 TEL (03) 3944-1561 (代) FAX (03) 3944-2103 メール: order@jppa.or.jp