

クワ害虫の微生物的防除

農林水産省蚕糸・昆虫農業技術研究所 ^{やま}山 ^{した}下 ^さ早 ^{なえ}苗

は じ め に

桑園に生息する昆虫は、200 種以上に及ぶといわれているが、そのうち従来から主要害虫として問題視されてきたものは、20 数種である (表-1)。効率的桑生産を実現するためには、有効な害虫防除手段を講じることが肝要である。しかしここで問題となるのは、クワがカイコの飼料であり、カイコの殺虫剤感受性がきわめて高いことである。このため桑園における殺虫剤の使用は大幅に制限され、宿主特異性を備えた微生物農薬に寄せられる期待は大きい。クワノメイガ、キカサハラハムシ、ハゴロモ類、アザミウマなどの天敵微生物としては、糸状菌やウイルスの存在が古くから知られているが、その多くはカイコに対しても病原性を持っているため、害虫防除剤としての利用には適していない。

こうした中で、キボシカミキリ (*Psacothaea hilaris*) に寄生する糸状菌 *Beauveria brongniartii* は、カイコに対して病原力が弱いことが明らかにされ、農薬としての期待を集めている。ここでは、この菌を防除に利用するためになされた取り組みについてまとめてみたい。

I キボシカミキリの生態とその被害

表-1 に示したように、クワの害虫は少なくないが、なかでもキボシカミキリは、1960 年代に入って多発の兆候をみせ、1970 年代には北は福島県から南は鹿児島県までその被害地域を広げた。現在もなお、クワを枯死に至らしめる最大の害虫である。

キボシカミキリの雌は、クワ主支幹の樹皮下に産卵する。幼虫は、皮部や形成層を食害しながらやがて本部組織に食入し、そこで蛹化する。早いものは当年中に羽化、脱出するが、多くは卵態もしくは若齢幼虫態 (東日本)、壮齢幼虫態 (西日本) で越冬し、翌春羽化し丸い穴をうがって樹外へ脱出する。成虫の発生期間は長く、大体 5 月下旬から 11 月までであるが、その発生盛期は、おおよそ西日本では 6~7 月、東日本では 8~10 月である。羽化後約 10 日の後食期間を経て雌の卵巣が成熟し、交尾可能となる。雌は交尾後両あごで樹皮に約 5 mm の傷をつけ、そこから産卵管を挿入し、1 粒の卵を産下する。1

表-1 クワ主要害虫一覧

	被害部分	発生時期	害虫名		
鞘翅目	新芽	4～5 月 4～10 月	クワヒメゾウムシ クワノコキクイムシ		
	葉	4 下～5 月 4～10 月 6 月	クワハムシ クワノミハムシ キカサハラハムシ		
	枝幹	5～11 月 6～8 月 6～9 月	キボシカミキリ クワカミキリ トラフカミキリ		
	葉, 根	5～7 月	クワゾウムシ		
	鱗翅目	芽, 葉	5～6 月	クワハマキ カワヒメハマキ	
		葉	4～5 月 4～5, 7～9 月 4～5, 9～10 月 6～9 月 8～9 月	クワエダシヤク モンシロドクガ クワゴマダラヒトリ アメリカシロヒトリ クワノメイガ	
		半翅目	葉	5～6 月 5～9 月	クワキジラミ ヒシモンヨコバイ
枝幹			5～8 月 7～10 月	クワシロカイガラムシ ハゴロモ類	
双翅目			新芽	6～8 月	クワシントメタマバエ
			葉	7～8 月	クワハモグリバエ
総翅目		葉	8～9 月	クワアザミウマ	
ダニ	葉	8～10 月	カンザワハダニ スギナミハダニ		
線虫	根	7 月中下	アレナリアネコブセンチュウ		

頭の雌は産卵開始後 10~30 日をピークとして、70~90 日間に 300~500 粒の卵を産むことができる (伊庭, 1963)。

幼虫密度の高いクワは、栄養成分や水分の流動が阻止されることで急速に衰弱し枯死に至る。密度が低いクワでも樹勢はしだいに衰え、枝条の伸長が妨げられる (吉井ら, 1991)。樹勢の衰えた株は、卵や幼虫の生育にとって好適な環境となり (横井, 1989)、その被害を助長する。

II *B. brongniartii* 菌利用の経緯

河上 (1978) は、東京、神奈川、岐阜の各県桑園内で捕集したキボシカミキリ成虫から、昆虫病原糸状菌 *Beauveria brongniartii* を分離し、本菌がキボシカミキ

Microbial Control of Mulberry Pests. By Sanae YAMASHITA

りに対しては病原力が強いにもかかわらず、カイコに対する病原力が弱いことを見いだした。キボシカミキリ多発桑園では、同虫の硬化病死体が多くみられ、それがカイコへの硬化病感染源となることが懸念されていただけに、この発見は思わぬものであった。加えて、当時は、農林水産省農蚕園芸局の特殊病害虫緊急防除対策事業として一部地域でキボシカミキリの総合防除措置が講じられ、その結果をもとに関東・東山の桑園を対象に本種の共同防除が実施される、といったところであり、にわかはこの菌への期待はふくらんだ。

昆虫病原微生物を商品的製剤とするには、経済的な大量増殖が可能で、容易に使用できることが必要（河上，1987）であり、菌の大量培養に適した安価な培地と培養法が検討された。その結果、2 倍量の水を加えたフスマに振とう培養により増殖させた短菌糸を接種したものは、接種後 10 日間で培地 1 g（乾物重）当たり 10^9 個の分生子を生産させることができ、コロニー形成が早いことから雑菌の混入も少なく、最適と思われた（河上ら，1986）。

一般に、分生子梗についたままの分生子はその生存力が高いことが知られている（島根ら，1994）ので、本菌はフスマ培地ごとクワ株間の地表に散布された。殺虫試験は、クワ 5～6 株を収容した網枠内にキボシカミキリ成虫を放飼し、所定日数経過ごとに死虫を採取して菌の再分離、確認を行うことによった。散布量 60 g/m^2 で処理 50 日後までに 97% の病死率が得られる（河上ら，1986）など、実用的効果が期待できたので、桑園における施用試験へと進められた。

1985 年から 3 年間にわたり、キボシカミキリの新防除技術確立試験（蚕桑技術協力試験）が実施され、16 県が参加し、菌の大量培養と桑園施用効果が調べられた。乾物重 400 kg の菌製剤生産を達成した県もあったが、多大な労力と雑菌混入に悩まされる県も多かった。また殺虫効果は、試験区での硬化死虫の見取り調査を実施したところ、病死率約 20～30% にとどまる例が多く、本虫の桑園内外の移動は不明であることを含め、野外試験の効果判定の難しさに直面した。

引き続き 1987 年から 88 年にかけて、7 県でさらなる試験（桑園害虫生物的防除実証事業）が実施された。フスマをペレット化したり、抗生物質を添加するなどの培地の改良が試みられ、1,000 kg レベルの菌製剤生産が実現した。

III 製剤実用化に向けて

1 担体の開発

1989 年には、菌製剤のより効果的な利用法を確立するために、蚕業及び果樹関係国公立研究所の研究者が中心となって、情報交換、協力推進を目的とした B. テネラ研究会（本菌は分類上 *B. tenella* ともされたため）を発足させた。当初から同研究会に参画した日東電工株式会社は、自社の技術、施設、労力などを考慮し、ポリウレタン発泡体に培地をしみ込ませたバンド状の菌製剤を開発した。この製剤はフスマ培地のものと大差のない効果を示した（柏尾ら，1988）。また、伊庭（1989）がキボシカミキリの主幹脱出直後の行動を観察したところ、本成虫は脱出孔より主幹を上昇し、樹幹上端からの飛しょう及び樹上の移動をすることが明らかになった。このことは、地上散布のフスマ培地よりも、主幹に取り付けられるバンド状の製剤に有利と考えられた。その後、製剤担体は経済性や生分解性に優れた $5 \text{ cm} \times 50 \text{ cm}$ のパルプ不織布に換えられ、現在は 1 cm^2 当たり 10^8 個以上の分生子を作らせることが可能である（樋口ら，1993）。菌製剤に接触した成虫は、大半が 10 日以内に死亡し、湿度に恵まれればその数日後に白い菌糸が体節間に出現し、分生子が形成される（図-1）。分生子濃度 10^7 個/ cm^2 以上では 5 秒間の接触で 100% の死亡率を示し、触角または脚による接触では、腹部や口器に比べ致死日数が有意に短く（堤ら，1993）、野外でも接触すれば容易に感染、致死すると考えられた。

2 研究会の取り組み

本菌は、キボシカミキリのほか、カンキツ類の害虫ゴマダラカミキリに対しても病原性を持っているので、B. テネラ研究会では九州を中心とした果樹試験場研究者とともに試験結果の検討が行われた。そこでは、製剤施用

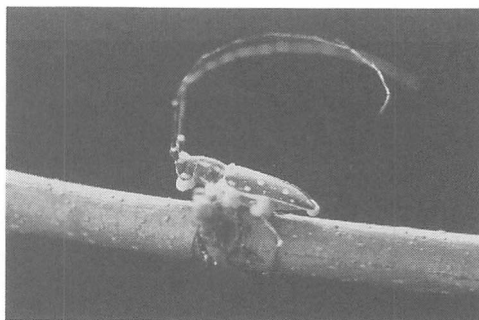


図-1 *B. brongniartii* に感染したキボシカミキリ（宮崎原図）

時期、回数、施用量、製剤の保存性など実用化に向けた試験が意欲的に進められた。

(1) 施用時期

多くの県において、製剤はクワ株に施用後約 30 日間は殺虫効果が認められた。前述したように、本菌の感染致死期間は約 10 日であり、感染したキボシカミキリは致死前日まで正常に産卵を行う（山下、未発表）ことから、雌の後食期間中に感染を図る必要があり、成虫発生初期に施用することが有効と考えられた。そのために、毎年各県レベルでの発生消長調査は欠かせないと思われる。

(2) 施用量と処理回数

経済性を考慮し施用量を極力抑えるために、製剤を細分化し、施用株数を減らす多くの試みがなされた（吉井, 1991）。桑園での殺虫効果の高かった最少施用例は、製剤 1/10 ($5 \times 5 \text{ cm}^2$) 片を 3 株に 1 片施用し、20 日後に再処理するものであった（米山ら, 1993）。

(3) 製剤の保存性

製剤を $35 \sim 43^\circ\text{C}$ で保存した際のキボシカミキリ殺虫率は、 35°C では 42 日間、 $37 \sim 39^\circ\text{C}$ では 21 日間、 41°C でも 10 日目まで 80% 以上を保持していた（樋口ら, 1993）。また 5°C では 400 日、 -35°C では 688 日以降でも殺虫に十分な 10^8 個/ cm^2 の生菌数を保持した（樋口ら, 1993）。しかし商品としては、通常的环境条件で 18 か月間、特別の場合でも 3~6 か月の安定性が必要といわれる（河上, 1987）。流通、保存法に今後の課題が残されていると思われる。

(4) 防除効果の評価法

圃場効果試験は、処理区において死亡成虫及び生存成虫を捕獲回収し、生存虫は一定期間飼育した後、全体としての死亡率及び死因を調査した。キボシカミキリの処理桑園への出入りがどうなっているのかという問題は、かねてよりの懸案事項であり、実際の防除効果のつかみ難さにはがゆい思いをしてきた。標識虫放飼などの試み

もなされたが、正確な数、移動距離などを把握するのは難しく、桑園内外での移動の実態はまだまだ十分に明らかではない。

視点をクワ生産面に移し、その被害軽減の有無というかたちで評価することが、当面可能でまた目的にもかなったものであろう。

(5) その他

病死分生子発現虫及び分生子付着虫による二次感染（堤ら, 1993）、風、雨滴などによる分生子飛散の効果も期待できるとの報告があった。また、設置時の給水の必要性、クワ拔根株を誘引源としたトラップの作製、ターゲットの拡大（宿主探索）など、活発な取り組みがなされた。

IV 誘引の試み

キボシカミキリは、拔根、摘葉、病気、食害などによって樹勢の弱った株に好んで産卵することが知られている。誘引物質は複雑な混合物であるらしく、その実体は明らかとはなっていないが、これを製剤と結び付けられれば、効率的な防除が望める。

また、雄を誘引しようとする試みもなされようとしている。キボシカミキリの雌の体表には接触フェロモンがあり、雄はこれと、雌の体の大きさ、形で同種の雌を認識している（深谷, 1991）。製剤にフィットさせれば、分生子に接触する時間が長くなり感染率がアップすると思われる。確実な分生子の付着があれば、その雄個体だけでなく、交尾時に複数の雌への伝播も期待できる。

V 化学合成農薬との併用

化学合成殺虫剤は、樹幹内に生息する幼虫及び卵を対象とするものと、自由生活期にある成虫を対象とするものがあり、これらを的確に用いることが重要である。通常、春の発芽前（3 月ごろ）、夏切直後（6 月ごろ）、晩秋蚕終了後（10 月ごろ）など、育蚕期の合間をぬって散布されるが、いずれもカイコへの配慮から残効性は短く、一時的な効果しか望めない。加えて、近年のカイコの多回育化（年間 10 回飼育を目指す）はクワの収穫期を多様化させるため、薬剤散布の実施は一層困難になってきている。このため生物農薬との併用は重要な課題の一つである。

成虫に対する殺虫剤 DDVP と *B. brongniartii* の同時使用が検討された結果、混合処理による殺虫効果の増強はみられず、むしろ菌の生長に対する悪影響が認められた（榊原ら, 1990）。併用する殺虫剤のスクリーニングや使用法など、今後の検討の余地があろう。



図-2 クワ株に施用された不織布菌製剤（宮崎原図）

VI 利用の現状と課題

使用した製剤は、現在、製造を行っている日東電工株式会社により、農業新規登録申請手続き中である。この菌製剤が農業登録されれば、国内で最初の昆虫病原糸状菌による防除剤となるが、それだけに市場のニーズ把握が難しく、量産化までにはまだ時間を必要とするだろう。また、市販するに当たっては、価格、輸送、貯蔵などの面で今後の課題が残っている。その取り組みは、後続の菌製剤のよい参考となると思われる、その動向に注目したい。

微生物農薬利用を推進するうえでは、ほかにも留意しておかなければならないことがある。生物農薬は環境にやさしい、というのがその最大のキャッチフレーズである。しかし、世界的に生物農薬が実用化され使用されるようになって、また新たな事実が明らかとなってきた。帰化植物が土着植物を追いやった例が身近にあるように、まず同様のことが想定されてよい。この糸状菌は、土着の菌ではあるが、工場生産レベルの量が自然界に持ち込まれるのは初めてのことであり、その生態系に及ぼす影響については誰も予測できない。生態系の中での同菌のその後の動向を調査していくことが必要であろう。

おわりに

微生物的防除の特集がこのように組まれ、生物農薬に

関するシンポジウム（9月）や日米セミナー（11月）が実施されるなど、今秋はこの問題への関心と期待の高さを改めて実感することとなった。生態系へのやさしさと、経済的利益とをいかに両立させていくのか。ほどほどに抑えるという総合防除の理念が、日本人の完ぺき主義の国民性の中で、果たして定着するのか。関係者の側にも疑問はある。微生物的防除が総合防除の一翼を担っていくには、繰り返し言われていることではあるが、農業現場の環境作り、意識改革を含めた、広範で真剣な取り組みが必要である。

引用文献

- 1) 深谷 緑 (1991): 昆虫と自然 26 (12): 24~28.
- 2) 樋口俊男ら (1993): 日東技報 31 (2): 103~110.
- 3) 伊庭正樹 (1963): 蚕糸研究 47: 72~78.
- 4) ——— (1979): 蚕糸技術 107: 1~8.
- 5) ——— (1989): 日蚕関東講要 40: 19.
- 6) 柏尾具俊・氏家 武 (1988): 九病虫研究会報 34: 190~193.
- 7) 河上 清 (1978): 蚕試報 27 (4): 445~467.
- 8) ———・島根孝典 (1986): 日蚕雑 55 (3): 227~234.
- 9) ——— (1987): バイオ農薬・生育調節剤 開発利用マニュアル, エル・アイ・シー, pp30~49.
- 10) 榊原充隆・河上 清 (1990): 日蚕雑 59 (3): 210~217.
- 11) 島根孝典・——— (1994): 蚕昆研報 10: 1~36.
- 12) 堤 隆文・山中正博 (1993): 応動昆大会講要 E317.
- 13) 横井直人 (1989): 日蚕雑 58: 47~52.
- 14) 米山光郎・渡辺常富 (1993): 山梨蚕試要報 32: 24~28.
- 15) 吉井幸子 (1991): 千葉蚕七要報 10: 46~51.
- 16) ———・坂本昌夫 (1991): 同上 14: 1~32.

新刊紹介

「イネいもち病を探る—研究室から現場まで—」

小野小三郎 著

B6版, 174頁, 口絵カラー2頁, 定価1,300円

日本植物防疫協会 1994年10月発行

いもち病研究の本家である日本には、いもち病の神様が何人も居られるが、小野小三郎氏（元農水省農事試病害研究室長、元武田薬品工業農薬研究所長）がその一人である事には誰も異論の無いところだろう。その小野さんがすばらしい本を書かれた。B6版の小さな本で、小野さんの流麗な文章は実に読みやすい。

本書は、わが国におけるいもち病研究の流れを、いもち病の歴史（いもち病発生の歴史、研究の歴史）、いもち病の科学（寄主範囲と有性時代、侵入、形態、被害、肥料との関係、抵抗性、品種、葉いもちと穂いもちの関係、気象、生活史）、いもち病の現場（品種の選択、施肥の選択、種子消毒、発生予測、薬剤防除）の3章に分けて記してある。そのところどころで小野さんは立ち止まって振り返り、来し方をなつかしんでいる。小野さんの手元にある伊藤誠哉先生の「稲熱病」の本を表紙がすり切れアンダーラインや書き込みで他人には見せら

れない姿になっているが、小野さんにとっては可愛いくてまた大恩ある存在だという。また外国稲の抵抗性の論文を、病床の河村栄吉室長に見てもらったが、途中で40才の若さで亡くなり、原稿の赤ペンの修正が、最も見てもらいたかった論議の項の前で途切れていた、手にするたびに胸の締め付けられる思いがする、という話。いもちの研究の後進として、小野さんの背中を見ながら育った私には感銘深い記述が随所に出てくる。

近頃のDNAの話などは、解らないから書かなかったと、小野さんからお聞きした。解らないのは私も同じだが、新しい話は最近の論文を読めば良い。古本屋のオヤジの話では、昔は学術雑誌のバックナンバーは高価なものだったが、近頃の研究者は10年前までしか文献を調べないから古い雑誌はタダ同様の由。その癖、若い研究者が文献を見ずに先人の実験をくり返しているのも多い。いもち病研究の事始めからを要領良く、解りやすく整理して解説した本書は、いもち病研究者の、またいもち病を知ろうとする人達の必読の書である、と同時にいもち病研究の楽しさ、面白さを余すところなく示した書でもある。

なお、本書は「植物保護ライブラリー」の最初の企画であり、今後、他の病害虫に関して次々と刊行される由である。期待したい。
(山田昌雄)