

施設害虫の微生物的防除

静岡県農業試験場 さい西 とう東 つとむ力

はじめに

戦後、化学農薬の登場に伴って、いったんは省みられなくなった生物的防除が、再び脚光を浴びようになって久しいが、この背景には今日的な二つの要因が考えられる。一つは社会的な要請である。環境問題に対する意識の高揚が、化学農薬の使用をできるだけ減らしていこうとするものである。もう一つは生産現場からの要請である。薬剤抵抗性害虫が世界で500種を超えている現在、農作物はこうした薬剤抵抗性害虫にとり囲まれているといっても過言ではなく、化学農薬以外の防除法に活路を見いださざるを得ない状況に陥っている。

生物的防除の中で、微生物を利用するものは特に微生物的防除と呼ばれている。その素材にはウイルス、細菌、糸状菌、及び原生動物があるが、施設害虫の微生物的防除には糸状菌が最もよく利用されている。糸状菌による施設害虫の防除の研究は、1970年代以降、ヨーロッパで盛んになり、一部の糸状菌は既に実用化されている。世界屈指の施設栽培面積を誇る我が国でも、その研究が本格化しつつあり、農薬登録にかかわる委託試験も各地の農業試験場で数年前から実施されている。ここでは、糸状菌を利用した施設害虫の微生物的防除の現状と問題点を述べてみたい。

I 施設害虫を標的にした微生物的防除の特徴

従来の微生物的防除は、屋外において一度施用した微生物に長期間にわたる防除効果を期待するものであったが、今日の微生物的防除はこれとは対極的な方向にも発展しつつある。つまり、必要に応じて何回でも散布する、いわゆる化学農薬的な使用法が試みられるようになってきた。その典型がヨーロッパにみられる施設害虫の微生物的防除である。

閉鎖環境とも言える施設栽培は、微生物的防除にとっていくつかの利点をもっている。昆虫病原微生物にとって好適な環境条件を人為的に作り出すことができること、外からの侵入が制限されるため、施設内の害虫のみを標的とすればよいことなどは、露地栽培にない有利性としてあげられる。一方、速効的で完璧な防除効果が求められる我が国の集約的な施設栽培は、微生物的防除を

受け入れにくい側面をもっている。

II 有望な糸状菌

1 *Verticillium lecanii*

V. lecanii は寄生範囲がきわめて広い糸状菌で、本菌を施設内のコナジラミ類、アブラムシ類、アザミウマ類、ハダニ類に利用する研究はヨーロッパを中心に精力的に行われている (HALL, 1981a; GILLESPIE, 1987; FRANSEN, 1990)。我が国では本菌の発見自体が遅れたものの (北沢ら, 1984)、その後、国内で分離された菌株の病原性が調べられ (増田・前田, 1989; 増田・菊池, 1992a), 本菌製剤を用いた防除試験も行われている (西東, 1988, 1992, 1993)。

V. lecanii には大型の分生子 (長径: 6.7~8.4 μm) を形成する系統と小型の分生子 (3.8~6.7 μm) を形成する系統があり、前者はアブラムシ類に、後者はコナジラミ類に対してそれぞれ病原性が高い (HALL, 1984)。イギリスの Tate & Lyle 社はこれら二系統の分生子に栄養源を加えた水和剤 (10¹⁰ 分生子/g) を開発し、1982年にアブラムシ類用 (Vertalec[®]) とオンシツコナジラミ用 (Mycotal[®]) の製剤をイギリスで上市した。その後、これらの製剤は Microbial Resources 社と Novo 社を経て、現在はオランダの Koppert 社の商品となっている。これとは別に、デンマークの Chr. Hansen's Bio Systems 社も同様の製剤 (アブラムシ類、ハダニ類用: MicroGermin A[®], コナジラミ類、ハダニ類及びスリッパス類用: MicroGermin F[®], 共用: MicroGermin Plus[®]) (3×10⁸ 分生子/g) を開発している。*V. lecanii* 製剤はイギリス、オランダ、スイス、ノルウェーで農薬として登録されており、このほか、農薬登録が不要のスウェーデンとデンマークにも供給されているという。

本菌をアブラムシ類やコナジラミ類に散布すると、4~5日で病死体が観察されるようになる。病死体はやがて綿毛状の菌糸で覆われ、多数の分生子が形成される。この分生子は健全な個体に次々と感染するため、数回散布すれば数か月にわたって効果を発揮する (HALL and BURGESS, 1979; HALL, 1980, 1982)。我が国でもオンシツコナジラミやタバココナジラミ (図-1)、あるいはミナミキイロアザミウマ (西東, 1992) に対して優れた効力をもっていることが実証されている。ただし、未散布葉の寄生個体には伝搬しにくいことから、適宜、追加の散布が必要になる。

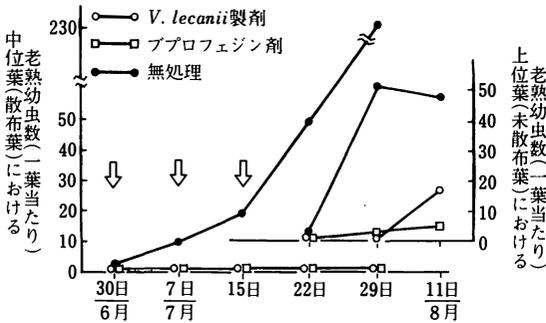


図-1 トマトのオレシツコナジラミとタバココナジラミに対する *V. lecanii* 製剤とプロプロフェジン剤の防除効果 (西東, 1993)
矢印は散布日を示す。

V. lecanii の発育適温は 25~30°C にあり, 30°C 以上では発芽と発育が抑制される (HALL, 1981a)。我が国では夏季, 施設内の気温が 40°C 近くに達することもまれではなく, このことが防除効果の不安定要因の一つになると考えられる (西東, 1988)。一方, 冬季は施設栽培といえども低温による防除効果の低下が懸念される。12 月から 3 月にかけて無加温の施設栽培のイチゴに本菌を数回散布したところ, ワタアブラムシに全く感染しなかった事例もある (西東, 未発表)。

湿度は, 温度とともに防除効果を左右する重要な要因になっている。室内試験の結果によると, 本菌の分生子は高湿度下において 9 時間以内に発芽するが (JACKSON et al., 1985), 高い感染率を得るには相対湿度 85~90% 以上を少なくとも 10~12 時間 (SAMSON and ROMBACH, 1985), あるいは相対湿度 100% を最低 14 時間 (HALL, 1981a) 保持する必要があるとされている。さらに, MILNER and LUTTON (1986) は, 相対湿度 97% 以下では感染率の低下が著しいことを認めている。ただ, 農家で行われた圃場試験では, 相対湿度が 75% とやや低くても, オンシツコナジラミの密度は 1/10 に低下したという (RABENBERG et al., 1990)。いずれにしても, 本菌の散布は高湿度下で行い, その後もこの高湿度を長時間保持しなくてはならない。

アブラムシ類では, 生息場所による微気象の違いや移動性の違いも防除効果に影響する。モモアカアブラムシとキクヒメヒゲナガアブラムシは, 本菌に対して同等の感受性を示すが, 実際に散布した場合は葉裏 (比較的湿度が高い) に生息するモモアカアブラムシのほうが, 莖や芽 (比較的湿度が低い) に生息するキクヒメヒゲナガアブラムシより感染しやすいという (HALL and BURGESS, 1979)。また, キュウリに寄生したワタアブラムシは植物体上であまり移動しないため, 病気の伝搬が遅く, 防除効果が上がりにくいという (HALL, 1981a)。ワタアブラ

ムシに対しては低濃度の菌液を繰り返し散布する方法が有効とされている (HALL, 1985)。

2 *Aschersonia aleyrodis*

A. aleyrodis はコナジラミ類とカイガラムシ類を特異的に侵す糸状菌で, 病死体は鮮やかなオレンジ色の胞子塊で覆われる。屋外では降雨によって伝搬する。本菌をカンキツのミカンコナジラミの防除に利用する研究は古くから行われてきたが, 最近ではオンシツコナジラミの防除素材としても有望視されている。

A. aleyrodis はやや高温を好み, 施設内の気温が 30~35°C とやや高めれば, 相対湿度が 50% と低くてもオンシツコナジラミにすみやかに感染する (GARDNER and OETTING, 1987)。このため, 本菌の散布後, 施設を一昼夜締め切るだけで高い感染率が得られるという。ただし, 本菌は幼虫と蛹にのみ感染し, 卵と成虫にはほとんど感染しない (FRANSEN et al., 1987)。また, 未散布葉のコナジラミには伝搬しにくいことから, 繰り返し散布する必要がある。施設栽培のキュウリに 1 株当たり 2×10^8 個の分生子を散布した実験では, オンシツコナジラミの 75% に感染したと報告されている (RAMACKERS and SAMSON, 1984)。本菌の実用化に当たっては, 大量培養上の問題が指摘されている。

3 *Hirsutella thompsonii*

H. thompsonii は主にダニ類に寄生する糸状菌で, フロリダのカンキツ園ではミカンサビダニ個体群に本菌による流行病がしばしば観察されるという (McCoy, 1981)。しかし, この菌を施設内のハダニ類に利用しようとする研究はきわめて少ない。

本菌のニセナミハダニに対する感染の最適温度は 25~30°C で, 低温 (13°C) や高温 (35°C) 下, あるいは相対湿度 98% 以下では感染しにくくなる (GERSON et al., 1979)。

本菌はアメリカの Abbott Laboratories 社によって製剤化され, 1976 年に農薬として登録 (Mycar[®]) された。この製剤はナミハダニに対して室内試験では高い病原性を示すものの, 施設内 (22~30°C, 相対湿度 50~90%) に散布した場合は防除効果が認められなかったという (GARDNER et al., 1982)。Mycar[®] は, 保存性などの問題によって 1985 年に生産が打ち切られたが, 薬剤抵抗性の発達によるハダニ類の難防除化は急速に進んでおり, 本菌の利用法の再検討が望まれる。

4 *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae*, *Paecilomyces fumosoroseus*

B. bassiana, *M. anisopliae*, 及び *P. fumosoroseus* は, いずれも寄主範囲がきわめて広く, 従来から微生物的防除の研究に最もよく用いられてきた菌種である。施設害虫に対しては, ミカンキイロアザミウマ (*VES-*

TERGAAD et al., 1991) やネギアザミウマ (GILLESPIE, 1986) の防除に *B. bassiana* や *M. anisopliae* を利用する研究が行われているが、圃場試験では良好な結果が得られていない。一方、我が国では温室栽培のメロンに *B. bassiana* の分生子懸濁液 (10^8 個/ml) を毎週 1 回散布することによってミナミキイロアザミウマを低密度に抑えることに成功している (西東, 1991)。*M. anisopliae* は、鉢植えの花き類の根を加害するキンケクチプトゾウムシ幼虫の防除にも利用できると考えられている (ZIMMERMANN and SIMONS, 1986)。*B. bassiana* と *M. anisopliae* は、ICI Agrochemicals 社、Mycotech Corporation 社、Ecoscience Laboratories 社などによりそれぞれ製剤化されているが、いずれも農業登録までには至っていない。

1989 年にフロリダで分離された *P. fumosoroseus* の一菌株 (PFR97) は、コナジラミ類に対して *V. lecanii* や *A. aleyrodis* をしのぐ病原性を有し、しかもコナジラミ類の全ステージに感染するという (OSBORNE and LANDA, 1992)。本菌株はフロリダ大学と W. R. GRACE & Co. 社により製剤化と利用技術の研究が行われている。

5 Entomophthorales

Entomophthorales は 100 種以上を含む大きな菌群で、その多くが昆虫やダニ類に流行病を引き起こすことで知られている。アブラムシ類にはこの目に属する多くの菌種が寄生する。また、アザミウマ類では *Neozygites paravispora* (MacLEOD et al., 1976; SAITO et al., 1989)、*Zoophthora radicans* (BOURNE and SHAW, 1934)、及び *Entomophthora thripidium* (SAMSON et al., 1979) の寄生が知られている。Entomophthorales に属する菌種はその多くが培養が困難で、分生子の生存期間もきわめて短い。このことが利用上の最大の障害となっているが、CARL (1975) は *N. paravispora* に感染させたネギアザミウマを温室内に放す方法で、アザミウマ個体群に流行病を引き起こすことができるという、興味深い実験結果を報告している。

III 利用上の問題点

生物的防除が抱える課題の多くは、微生物的防除の課題にもなっているが、特に糸状菌を使った施設害虫の微生物的防除では、次の問題点が考えられる。

1 温度と湿度の影響

一般に、昆虫病原糸状菌の寄主への感染にとって好適な温度は 20~30°C で、湿度は高いほどよい。さらに、こうした好適な環境が一定時間続くことも不可欠である。これら三つの要因のうち一つでも満たされない場合は、防除効果の低下を免れない。通常、施設内への昆虫病原糸状菌の散布は夕方に行われるが、これは夕方に施設の

天窓や側窓などの開口部を締め切ると、相対湿度はやがて 90~100% に達し、翌朝までこの高湿度を維持できるからである。特に曇天や雨天の日は菌の散布にとって好都合となる。ヨーロッパでは補助的にミスト装置を使用することや、キク栽培ではシェード期間中に *V. lecanii* 製剤を散布する方法も推奨されている。

2 化学農薬の影響

殺菌剤の多くは昆虫病原糸状菌に対しても抗菌活性を有していることから、影響の小さい殺菌剤をあらかじめ選抜しておく必要がある。*V. lecanii* に対して影響の小さい殺菌剤には、ポリオキシシン剤、メプロニル剤、ホセチル剤、ベノミル剤、ディノキヤップ剤、ピンクロゾリン剤、ピラゾホス剤、フェナリモル剤、プロシモドン剤、水酸化第二銅剤などがある (LEDIEU, 1985; 西東, 1988; 藪田・西東, 1994)。また、本菌に対して高い抗菌活性をもつベノミル剤でも、散布後 7 日が経過すれば、その悪影響は消失するという (GARDNER et al., 1984)。硫黄剤は *B. bassiana* に対して無害であることから、温室栽培のメロンでは本菌と硫黄剤の混合散布によってミナミキイロアザミウマとうどんこ病の同時防除も検討されている (西東, 未発表)。

一方、殺菌剤の中にも昆虫病原糸状菌に悪影響を及ぼすものがある。例えば、マラソン剤 (RAMARAJE URS et al., 1967) やカルバリル剤 (西東, 1984) は *B. bassiana* に対して、ディクロロボス剤 (OLMERT and KENNETH, 1974) やダイアジノン剤 (HALL, 1981b) は *V. lecanii* に対してそれぞれ高い抗菌活性をもっている。また、イプロジオン剤とカルバリル剤の組み合わせは、*V. lecanii* 分生子の発芽阻害に対して高い協力作用を示すという (HALL, 1983)。

3 有用昆虫との関係

A. aleyrodis は、コナジラミ類の生物的防除に用いられているオンシツツヤコバチに感染しないとされ、また *V. lecanii* はオンシツツヤコバチに感染するが (ERBOM, 1979)、この寄生蜂の効果を低下させるほどの病原性はないとされている。さらに、これらの糸状菌はアブラムシ類の寄生蜂、ハダニ類を捕食するチリカブリダニ、あるいは受粉昆虫 (マルハナバチ) に対してもほとんど影響がないとされている。こうしたことから、*V. lecanii* と *A. aleyrodis* は他の有用昆虫との併用が可能であり、ヨーロッパでは実際にそうした利用法がとられている。

しかし、*V. lecanii* はアブラムシ類の天敵となっているサシガメの一種に対して高い病原性をもっている (HARPER and HUANG, 1986)。また、*B. bassiana* を温室内に散布すると、ミナミキイロアザミウマの天敵となっている在来ハナカメムシが観察されなくなる (西東, 未発表)。さらに、*V. lecanii* の場合は複数の系統を同時に処

理すると、系統間に競合が起こるともいう (CHANDLER et al., 1993)。これらの点については、引き続き検討する必要がある。なお、*V. lecanii* のカイコに対する病原性はあまり高くないことが明らかにされている (増田・菊池, 1992b)。

4 安全性

一部の昆虫病原糸状菌には人畜への安全性に問題がなげかけられてもいるが (McCoy et al., 1988), ここで紹介した菌種は安全性にかかわる多くの研究とその利用の歴史から無害であることが実証されている。

安全性の向上と省力化, ならびに防除の効率化の面から, 無人防除機を用いて昆虫病原微生物を散布する方法も検討されている。SOPP et al. (1989) は, *V. lecanii* の短菌糸を静電散布機で散布し, キクのワタアブラムシに対して高い防除効果を得ている。また, 我が国で開発された静電散布機 (小野, 1994) を用いた実験でも, *V. lecanii* 製剤と *B. bassiana* 製剤は, 温室栽培のメロンの葉裏によく付着することが明らかになっている (西東ら, 未発表)。

おわりに

ヨーロッパにみられる昆虫病原糸状菌の実用化は, 我国で遠い存在だった微生物的防除を身近なものにしつつある。しかし, 施設害虫の微生物的防除に過大の評価を与えるのは間違いで, 現状ではごく限られた条件下でのみ成立する防除法と言えそうである。

今日, 施設害虫の微生物的防除に利用できそうな素材はほぼ出そろった感がある。各素材そのものの研究はこれからも続けなくてはならないが, 今, 最も必要なのは利用技術に関する研究であり, それなくしては施設害虫の微生物的防除は生産現場に根づいた技術にならないと考える。

引用文献

- 1) BOURNE, A. I. and F. R. SHAW (1934) : J. Econ. Entomol. 27 : 860~861.
- 2) CARL, K. P. (1975) : Entomophaga 20 : 381~388.
- 3) CHANDLER, D. et al. (1993) : Ann. appl. Biol. 122 : 435~440.
- 4) EKBOM, B. S. (1979) : Swedish J. agric. Res. 9 : 129~138.
- 5) FRANSEN, J. J. (1990) : Proc. XXIII Ann. Meeting, Australia, pp. 376~380.
- 6) ——— et al. (1987) : J. Invertebr. Path. 50 : 158~165.
- 7) GARDNER, W. A. and R. D. OETTING (1987) : Proc. SIP XX Ann. Meeting, Florida, pp. 62~65.
- 8) ——— et al. (1982) : Florida Entomol. 65 : 458~465.
- 9) ——— et al. (1984) : J. Econ. Entomol. 77 : 514~518.
- 10) GERSON, U. et al. (1982) : Ann. appl. Biol. 91 : 29~40.
- 11) GILLESPIE, A. T. (1986) : BCPC Mono. 34 : 237~243.
- 12) ——— (1987) : Proc. SIP XX Ann. Meeting, Florida, p. 95.
- 13) HALL, R. A. (1980) : Ent. exp. appl. 27 : 1~5.
- 14) ——— (1981a) : Microbial Control of Pests and Plant Diseases 1970~1980 (H. D. BURGESS ed.), Academic Press, London, pp. 483~498.
- 15) ——— (1981b) : Ent. exp. appl. 29 : 39~48.
- 16) ——— (1982) : Ann. appl. Biol. 101 : 1~11.
- 17) ——— (1983) : J. Invertebr. Path. 42 : 384~386.
- 18) ——— (1984) : Entomophaga 29 : 311~321.
- 19) ——— (1985) : Biological Pest Control. The Glasshouse Experience (N. W. HUSSEY and N. S. SCOPES eds.), Blandford Press, Dorset, pp. 116~118.
- 20) ——— and H. D. BURGESS (1979) : Ann. appl. Biol. 93 : 235~246.
- 21) HARPER, A. M. and H. C. HUANG (1986) : Environ. Entomol. 15 : 281~284.
- 22) JACKSON, C. W. et al. (1985) : Ann. appl. Biol. 106 : 39~48.
- 23) 北沢健治ら (1984) : 日植病報 50 : 574~581.
- 24) LEDIEU, M. (1986) : Biological Pest Control. The Glasshouse Experience (N. W. HUSSEY and N. S. SCOPES eds.), Blandford Press, Dorset, pp. 153~161.
- 25) MACLEOD, D. M. et al. (1976) : Entomophaga 21 : 307~312.
- 26) 増田俊雄・菊池 修 (1992a) : 応動昆 36 : 239~245.
- 27) ——— (1992b) : 北日本病虫研報 43 : 191~193.
- 28) ———・前田正孝 (1989) : 応動昆 33 : 101~104.
- 29) MCCOY, C. W. (1981) : Microbial Control of Pests and Plant Diseases 1970~1980 (H. D. BURGESS ed.), Academic Press, London, pp. 499~512.
- 30) ——— et al. (1988) : CRC Handbook of Natural Pesticides, Vol. V, Part A (C. W. IGNOFFO ed.), CRC Press Inc., Boca Raton, Florida, pp. 151~243.
- 31) MILNER, R. J. and G. G. LUTTON (1986) : Environ. Entomol. 15 : 380~382.
- 32) OLMERT, I. and R. G. KENNETH (1974) : ibid. 3 : 33~38.
- 33) 小野盾男 (1994) : 植物防疫 48 : 219~222.
- 34) OSBORNE, L. S. and Z. LANDA (1992) : Florida Ent. 75 : 456~471.
- 35) RAMAKERS, P. M. J. and R. A. SAMSON (1984) : Z. ang. Ent. 97 : 1~8.
- 36) RAMARAJE URS, N. V. et al. (1967) : J. Invertebr. Path. 9 : 398~403.
- 37) RAVENSBURG, W. J. et al. (1990) : SROP/WPRS Bull. XIII/5 : 173~178.
- 38) 西東 力 (1984) : 応動昆 28 : 87~89.
- 39) ——— (1988) : 同上 32 : 224~227.
- 40) SAITO, T. et al. (1989) : Appl. Ent. Zool. 24 : 233~235.
- 41) 西東 力 (1991) : 応動昆 35 : 80~81.
- 42) ——— (1992) : 関東東山病虫研報 39 : 209~210.
- 43) ——— (1993) : 同上 40 : 221~222.
- 44) SAMSON, R. A. and ROMBACH (1985) : Biological Pest Control. The Glasshouse Experience (N. W. HUSSEY and N. SCOPES eds.), Blandford Press, Dorset, pp. 34~42.
- 45) ——— et al. (1979) : Can. J. Bot. 57 : 1317~1323.
- 46) SOPP, P. I. et al. (1989) : Entomophaga 34 : 417~428.
- 47) 藪田実男・西東 力 (1994) : 応動昆第38回大会講演要旨, p. 11
- 48) VESTERGAARD, S. et al. (1991) : Proc. XXIV Ann. Meeting, Arizona, pp. 66~67.
- 49) ZIMMERMANN, G. and W. R. SIMONS (1986) : Fundamental and Applied Aspects of Invertebrate Pathology (R. A. SAMSON et al. eds.), Fourth International Colloquium of Invertebrate Pathology, Wageningen, pp. 529~533.