

ネコブセンチュウの天敵出芽細菌の生態と防除効果

茨城県農業総合センター農業研究所 ^{うえ} 上 ^だ 田 ^{やす} 康 ^お 郎

はじめに

害虫の生物的防除の研究は、近年めざましく発展し、総合防除の有効な手段として天敵昆虫や天敵微生物が登録、実用化されるようになった。一方、植物寄生性線虫の防除においては、主要薬剤の一つである臭化メチルがオゾン層破壊の原因物質として2005年から使用が禁止される。また、各地の野菜産地では、植物寄生性線虫に好適な野菜を連作するために圃場の線虫密度は高くなり、化学薬剤だけに頼った防除法では満足のいく効果が得難くなっている。このように、植物寄生性線虫の防除を巡る情勢は一段と厳しい状況になりつつある。線虫の防除対策として、従来から化学薬剤による防除のほか、対抗植物、温熱処理、抵抗性品種、輪作、有機物などを使用した防除技術が検討、実用化されてきた。しかし、生物的防除法については、古くから多くの研究が行われてきたにもかかわらず（西澤，1986；三井，1990）、圃場レベルで実用化されたものはほとんどない。近年になり生物系特定産業技術研究推進機構などの出資による（株）ネマテックが天敵出芽細菌 *Pasteuria penetrans*（パストリア菌）を使用したネコブセンチュウの生物的防除の実用化研究を開始し、今まで研究が立ち遅れていた優良系統の選抜と菌の増殖を行った。この結果、圃場レベルでの試験に十分な菌量が関係研究機関に提供されるに至り、生物的防除資材としての天敵出芽細菌の研究は急速に発展した。今回、ネコブセンチュウ防除試験の事例を示しつつ、天敵出芽細菌利用による線虫防除について紹介する。

I 天敵出芽細菌の種類と寄主特異性

植物寄生性線虫に寄生する出芽細菌は芽胞を作るグラム陽性の細菌で、THORNE (1940) によりネグサレセンチュウで最初に発見されて以来、現在までに51か国で96属205種の線虫から発見されている（STURHAN, 1988）。このうち、その形態や寄生性の差異をもとに、これまでに種名が与えられたのはわずか3種で、ネコブ

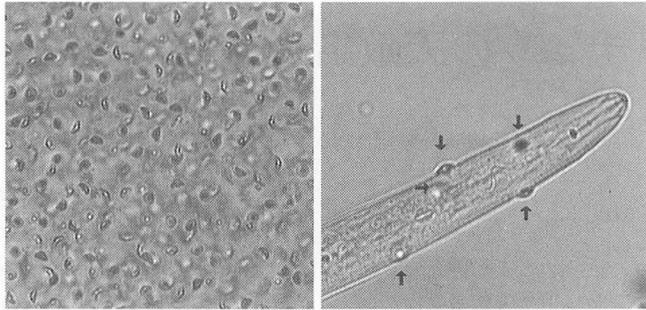
センチュウ *Meloidogyne* spp. から検出された系統が狭義の *Pasteuria penetrans* (SAYRE, 1985)、ネグサレセンチュウ *Pratylenchus* spp. から検出された系統が *P. thornei*、シストセンチュウ *Heterodera* spp. から検出された系統が *P. nishizawae* と命名されている（SAYER, 1991）。それらのうちネコブセンチュウから検出される *P. penetrans* は、すでに世界各国で盛んに研究されており、本邦ではサツマイモネコブセンチュウ、アレナリアネコブセンチュウ、ジャワネコブセンチュウおよびキタネコブセンチュウから本菌が検出されている（萩谷ら，1982；奈良部，1995）。*P. penetrans* は、検出されたネコブセンチュウ以外には寄生性が極めて低い系統があり、この寄主特異性を利用してネコブセンチュウの同定法が開発されている（奈良部・安達，1993）。しかし、ネコブセンチュウ2期幼虫への寄主特異的な付着現象は絶対的なものではなく、系統によって付着程度に差があるばかりか、複数種のネコブセンチュウに胞子が付着するものもあるなど（OOSTENDORP ら，1990；村上・奈良部，1997）、寄主のネコブセンチュウとの相互関係から寄主特異性は多少なりとも変化する（奈良部・村上，1997）。

II 天敵出芽細菌の生態

天敵出芽細菌 *Pasteuria penetrans* は、直径3~4 μm の皿形の付着器を有する内生胞子（endospore）が感染態であり、土壤中での耐久態でもある。この胞子自身には運動性がないので、土壌水や土壌の動きに任せて受動的に移動分散し（OOSTENDORP ら，1990）、ネコブセンチュウ2期幼虫と接触するまで耐久生存する。胞子はネコブセンチュウ2期幼虫に遭遇すると幼虫体表に付着し、幼虫が寄主植物の根内で栄養摂取を始めると胞子が発芽する。線虫体内に侵入した発芽管は、2分裂増殖し線虫体内で増殖するが、線虫の頭部および食道部位には障害を与えないので、罹病線虫は健全な線虫と同様に成長する。健全な雌成虫が成熟し卵嚢を形成するころには、天敵出芽細菌に感染された雌成虫体内は平均約 2×10^6 個の胞子で充満し、正常な卵の成熟が阻害される（SAYRE ら，1988）。かくして、線虫が世代を重ねるとともに土壌中の胞子密度は累積的に増加し、反対にネコブセンチュウ密度はしだいに減少する。

Ecology and Control Efficacy of Obligate Bacterial Parasite *Pasteuria* to Root-knot Nematodes. By Yasuo UEDA

（キーワード：天敵出芽細菌，*Pasteuria*，ネコブセンチュウ，生態，生物的防除，トマト）



懸濁液中の *P. penetrans* の孢子 ネコブセンチュウ2期幼虫の体表に付着した *P. penetrans* の孢子 (↓印)

図-1 *Pasteuria penetrans* の孢子

III 天敵出芽細菌の特性と使用条件

天敵出芽細菌は乾燥耐性、耐湿性、高温または低温耐性、化学薬品耐性に優れ、数年間に及ぶ耐久生存性を有する (西澤, 1992)。また、土壤中の他の天敵生物などによる線虫抑制力を損なうことなく、ネコブセンチュウ抑制作用が長年にわたり持続するなど、生物的防除資材として優れた特性を有する。しかし、本菌は土壤中のネコブセンチュウ2期幼虫を速効的に死滅させる効果はないので、防除効果は遅効的に現れる。さらに、現在のところ天敵出芽細菌の人工培養技術が未開発であるために、孢子の大量接種が不可能である。天敵出芽細菌が実質的な防除効果を発現するには、線虫への孢子付着率が少なくとも50%以上、安定した効果を発現するには孢子付着率が80%必要とされ、この程度に孢子付着率を高めるのに野菜類でおよそ2年間が必要とされる (川田, 1996)。この2年間は、菌の増殖のために一定密度の線虫の生存の許容と相反する野菜生産の確保とを同時進行させる困難かつ重要な時期にあたる。そこで、孢子接種量の不足を補いつつ効果発現の迅速化を進めるために、天敵出芽細菌の増殖に適した条件を整えることが必要になる。土壤環境条件としては、土壤水分は高いほど線虫への孢子の付着が多く (佐野, 1997)、地温は25°C以上が孢子の付着と菌の増殖に適する (HATZ, 1992)。このためには地温の高い夏季や施設での使用が有利であり、さらに、孢子接種時に散水を行って土壤水分を高め、孢子の分散と付着を向上させることなどが必要になる。また、ネコブセンチュウ被害に対して耐性を持つ作物または抵抗性品種の栽培は、線虫害を軽減しつつ本菌の増殖を促進することができる (立石, 1997)。さらに、天敵出芽細菌は薬剤耐性が強いので、クロロピクリンと臭化メチルを除く他の多くの殺線虫剤との併用が可能で

ある。しかし、殺線虫剤がネコブセンチュウを完璧に防除してしまうと、天敵出芽細菌の寄主を失うことになり菌の増殖は遅滞する。したがって、ホスチアゼートなどの接触型の殺線虫剤を標準使用量の半量施用して、菌の増殖と作物生産とのバランスを確保する必要がある。

IV 露地トマト圃場における天敵出芽細菌の使用によるネコブセンチュウの防除

1 天敵出芽細菌の接種密度および方法

STRING (1984) はポット試験において、土壤1g当たり $10^8 \sim 10^9$ 個の *P. penetrans* 孢子密度でジャワネコブセンチュウ防除に卓効をあげ、確実に線虫密度を抑制するためには少なくとも土壤1g当たり 10^5 個以上の孢子密度を必要とした。線虫防除には孢子接種量は多いにこしたことはないが (KASUMIMOTO, 1993)、実用化を目指した圃場試験では、1m²当たり $1.0 \times 10^9 \sim 5.0 \times 10^9$ 個 (土壤1g当たり $1.0 \times 10^4 \sim 5.0 \times 10^4$ 個) の孢子密度で行われる例が多い。

筆者が行ったトマトのネコブセンチュウ防除試験は、サツマイモネコブセンチュウの多発圃場を使用した。初年目 (1993年) は5~10月に2作、品種は強力米寿を使用した。2年目は5~10月に2作、品種はミニトマトのイブおよびタイニーティムとした。3年目および4年目は6~9月に各々1作、品種は強力米寿、都合4年間にトマトを6作栽培した。トマト栽培以外の期間は休耕にした。天敵出芽細菌は *P. penetrans* のサツマイモネコブセンチュウ寄生系統 (ネマテック社製) を供試し、試験初年目 (1993年) のトマト定植8日前の1回だけ施用した。孢子接種密度は1m²当たり 5.0×10^9 個とし、孢子の水懸濁液にして土壤に混和した。なお、防除効果を比較するために各作毎にオキサミル粒剤またはホスチアゼート粒剤を10a当たり30kg全面土壤混和し

た。

2 試験結果

ネコブセンチュウ 2 期幼虫の孢子付着は試験実施初作目から認められ、2 作以降から急激に増加し、5 作以降には付着率が 80% 以上の高率に維持された (図-2)。土壤中のネコブセンチュウ 2 期幼虫の生息密度は、各作ごとに大きく変動したが、*P. penetrans* 施用区は常に無処理区より低密度で推移した。しかし、5~6 作目のトマト栽培直前には、孢子付着率が 80% を越える高率になったにもかかわらず、ネコブセンチュウ 2 期幼虫は土壌 20 g 当たり 10~20 頭生存 (ベルマン法で室温で 3 日間分離) しており、ネコブセンチュウを完全に駆逐することにはなかった (図-3)。一方、根こぶの形成は、孢子付着率の上昇に反して連作とともに減少し、6 作目の根こぶ指数は無処理区の約半分以下にまで低下した。対照の

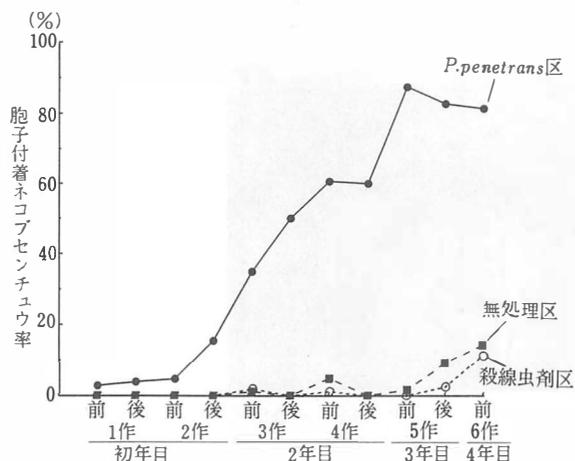


図-2 ネコブセンチュウの 2 期幼虫の *P. penetrans* 孢子の付着推移 (露地トマト圃場) (上田, 未発表)

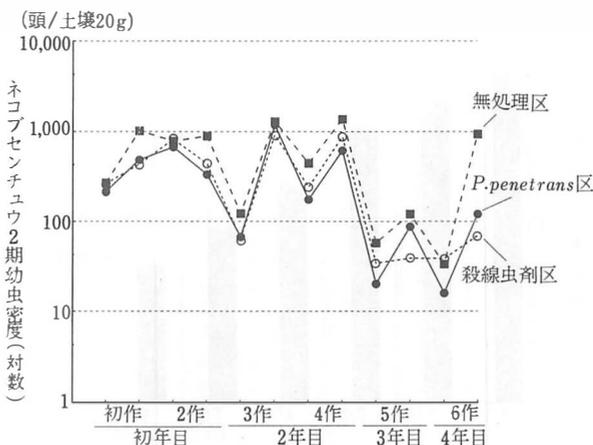
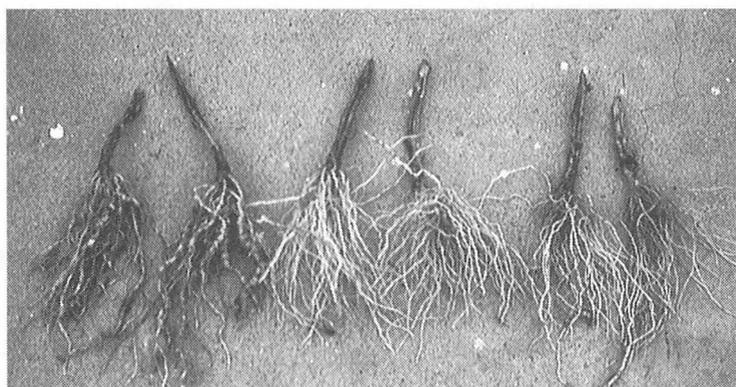


図-3 ネコブセンチュウ 2 期幼虫密度推移 (露地トマト圃場) (上田, 未発表)

殺線虫剤施用区では、年により防除効果変動したが、本菌施用区は根こぶ形成の抑制効果が漸次増大した。また、根こぶ指数では表すことができなかったが、無処理区及び殺線虫剤処理区では、主根に大きな根こぶが形成されているのに対して、本菌施用区では細根に根こぶが多数見られるものの、いずれも小さな根こぶであった。このため、*P. penetrans* 施用区では、根こぶ指数の割に植物体への被害は軽いと考えられた (図-4, 5)。

P. penetrans 施用区のトマトの生育は、3 作目まで無処理区と比較して差異が見られなかったが、2 年目の 4 作目以降は無処理区を上回り、5 作目以降は殺線虫剤施用区と比較しても優る旺盛な生育を示した (図-6)。さらに、5 作目および 6 作目の本菌施用区のトマト収穫量は、無処理区および殺線虫剤処理区と比較して顕著に優った (図-7)。トマトの生育および収穫量に顕著な差が見られるようになった 5 作目以降は、孢子付着率が



無処理 *P. penetrans* 施用 殺線虫剤施用
 図-4 天敵出芽細菌 *P. penetrans* 施用後 6 作目のトマトの根こぶ

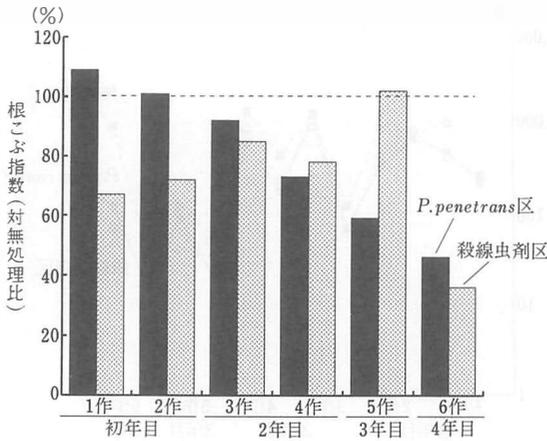


図-5 *P. penetrans* 施用による根こぶ形成の抑制効果 (露地トマト圃場)(上田, 未発表)

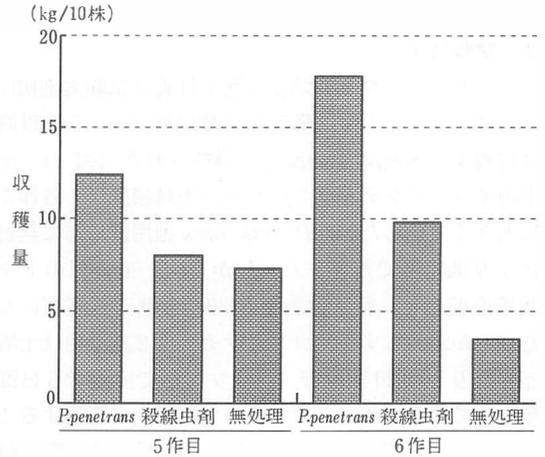
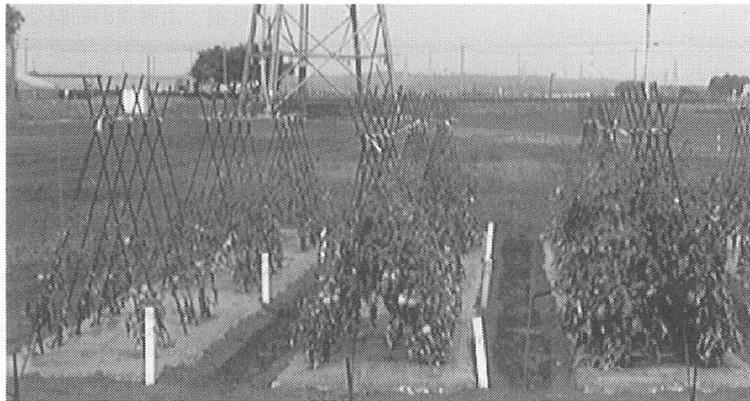


図-7 トマト5~6作目の収穫量 (露地トマト圃場)(上田, 未発表)



無処理区 殺線虫剤施用区 *P. penetrans* 施用区
図-6 天敵出芽細菌 *P. penetrans* 施用後6作目のトマトの生育

80%を越えた時期に当たり、根こぶ指数の低下および根こぶの大きさとの関連性が示唆される。

一方、4作目から試験圃場全体に白絹病が散発し、連作とともに発病株が増加し、根こぶ指数の高い無処理区では収穫期後半に枯死する株が見られた。*P. penetrans* 施用区でも白絹病の発生は確認されたが、発病程度は軽微で枯死する株はきわめて少なかった。ネコブセンチュウの加害は、多くの土壤病害の感染を助長することが知られており(平野, 1976)、白絹病の発生差異には *P. penetrans* 施用による根こぶ形成抑制との関連性が推察される。

V 他作物での天敵出芽細菌の利用

天敵出芽細菌を使用したネコブセンチュウの圃場試験の例数はまだ少なく、その大半はトマトで試験された

(上田ら, 1997)。最近、キュウリ(三平ら, 1997)、メロン、ピーマン、カンショ、イチジクなどの作物についても防除効果の検討が進められている(川田, 1996)。ネコブセンチュウの加害が直接に被害につながる根菜類やイモ類などの要防除水準が低い作物は、本菌を使用しても低密度に生存するネコブセンチュウによって被害を受けるので防除効果が上がりにくいと思われる。一方、イチジクなどの永年作物は栽培期間中にネコブセンチュウの防除を実施することが事実上不可能であることから、ネコブセンチュウを長期間抑制できる本菌に対する期待は大きい。

おわりに

世界各地で見られる有害線虫の密度衰退現象の原因として、各種の寄生性の糸状菌、出芽細菌など天敵微生物

の関与が指摘されているが(西澤, 1986), 残念ながら圃場レベルで実用化されたものはほとんどなかった。今回紹介した天敵出芽細菌 *P. penetrans* は, 生物的防除資材として多くの利点を有し, 菌密度や土壌環境などの条件を整えば, 化学薬剤に劣らない防除効果を発揮する。しかし, 本菌はネコブセンチュウを完璧に駆逐してしまうことはないので, 線虫に対する感受性が高い作物や要防除密度が低い作物は, 防除効果が不十分と考えられる。他方, 化学薬剤を多用してもネコブセンチュウを根絶することは不可能に近いばかりか, 無闇な使用は環境へ悪影響を及ぼすなど各種の弊害を引き起こす原因になる。天敵出芽細菌だけで満足できる防除効果を得られない場合があるにしても, 化学薬剤を含めた他の防除法との効率的な体系を組むことなどにより, 一段と高い防除効果を発揮すると考えられ, 今後, 環境調和型の総合防除の一翼を担う防除法として大いに期待される。現在のところ, 天敵出芽細菌 *P. penetrans* は研究開発の途上であるが, 早急な農薬登録の取得および実用化技術の開発が望まれる。

引用文献

- 1) 萩谷俊一ら (1982): 日線虫誌 11: 44~45.
- 2) HATZ, B. and D. W. DICKSON (1992): J. Nematol. 24(4): 512~521.
- 3) 平野和弥 (1976): 植物防疫 30(3): 93~98.
- 4) KASUMIMOTO, T. et al. (1993): 日線虫誌 23(1): 10~18.
- 5) 川田弘志 (1996): プレインテクノニュース 58: 12~15.
- 6) 三平東作・福田 寛 (1997): 日本線虫学会第5回講演予稿集: 17.
- 7) 三井 康 (1990): 線虫研究の歩み (日本線虫研究会): 262~266.
- 8) 村上尚子・奈良部孝 (1997): 日本線虫学会第5回講演予稿集: 16.
- 9) 奈良部孝・安達 宏 (1993): 植物防疫 47(9): 419~422.
- 10) ——— (1995): 日本線虫学会第3回大会講演予稿集: 40.
- 11) ———・村上尚子 (1997): 日本線虫学会第5回講演予稿集 16.
- 12) 西澤 務 (1986): 土壌伝染病談話会講演要旨: 98~108.
- 13) ——— (1990): 線虫研究の歩み (日本線虫研究会) 267~271.
- 14) ——— (1990): 植物防疫 44(12): 524~530.
- 15) OOSTENDORP, M. et al. (1990): J. Nematol. 22(4): 525~531.
- 16) 佐野善一 (1997): 日本線虫学会第5回講演予稿集: 15.
- 17) SAYER, R. M. and M. P. STARR (1985): Proc. Helminthol. Soc. Wash. 52(2): 149~165.
- 18) ——— (1988): in "Diseases of Nematode, Vol. I", CRC, Boca Raton, pp. 69~101.
- 19) ——— (1991): Res. Microbiol. 142: 551~564.
- 20) STIRING, G. R. (1984): Phytopathology 74: 55~60.
- 21) STURHAN, D. (1988): Nematologica 34: 350~356.
- 22) 立石 靖 (1997): 日本線虫学会第5回講演予稿集: 17.
- 23) THORNE, G. (1940): Proc. Helminthol. Soc. Wash. 7: 51~53.
- 24) 上田康郎ら (1997): 関東東海の新技術, 関東東海農試研究推進会議・農研センター (印刷中).

本会発行のシリーズ図書：植物保護ライブラリー

各冊 B6版 定価 1,326円 (本体価格 1,263円)

| | | |
|------------------------------|--------------------|--------------------|
| 「イネいもち病を探る」-研究室から現場まで- | 小野小三郎 著 口絵カラー2頁 | 送料 240円 本文 174頁 |
| 「作物の病気を防ぐくすりの話」 | 上杉 康彦 著 | 本文 121頁 送料 240円 |
| 「虫たちと不思議な匂いの世界」 | 玉木 佳男 著 | 本文 187頁 送料 240円 |
| 「日本ローカル昆虫記」-虫の心・人の心- | 今村 和夫 著 | 本文 220頁 送料 310円 |
| 「ミクロの世界に魅せられて」-植物病原細菌の虚像と実像- | 後藤 正夫 著 | 本文 220頁 送料 310円 |

お申し込みは, 直接本会出版情報グループに申し込むか, お近くの書店で取り寄せて下さい

社団法人日本植物防疫協会 〒170 東京都豊島区駒込 1-43-11 TEL: (03)3944-1561 FAX: (03)3944-2103