

寄生性細菌パスツーリアを用いたネコブセンチュウ防除の実用性

農林水産省北海道農業試験場畑作研究センター 奈良部 孝

はじめに

農薬や抵抗性品種の発達により、多くの作物病害虫が経済的に防除できるようになった。しかし土壌病害虫の中には、一度発生すると急激に密度が増加して土壌中に蓄積され、圃場全体にまん延し、適正な農薬使用によっても根絶しにくいものもある。ネコブセンチュウもその一つであり、土壌くん蒸剤や接触型殺線虫剤を投与し十分に土壌消毒を行っても、生き残った個体が急激に増殖し、作物の生育後期にはもとの密度以上に増加していることが多い。このため、作付前に毎回農薬を大量に投与せざるを得ず、環境への負荷が大きく、労力とコストを要し、しかも土壌微生物相をかく乱するなど、従来の農薬防除は負の要因が大きい。

このような状況の中、1998年12月に天敵出芽細菌 *Pasteuria penetrans* が「パスツーリア ペネトランス水和剤」として農薬登録され、一般に使用できるようになった。本細菌のネコブセンチュウ防除効果と安全性に関しては、すでに国内外に多数の報告がある。使用方法によっては、従来の化学農薬の短所を克服し、環境への負荷軽減、リサージェンス（密度の急激な回復）の回避、低コスト省力化が期待できる。一方で、従来の化学農薬と同一観点で使用した場合、全く効果が認められないこともあり得る。ここでは、本細菌を使ったこれまでの研究成果を紹介し、現状と問題点、今後の発展方向について述べる。

I 生態および寄生のメカニズム

Pasteuria penetrans (以下、本細菌) は直径が3~4 μm の内生孢子 (endospore) の状態で土壌中に生息するグラム陽性細菌で、ネコブセンチュウのみに特異的に寄生し増殖する絶対寄生細菌である (図-1)。現在では我が国をはじめ、世界各国のネコブセンチュウ分布地域で生息が確認されている (CHEN and DICKSON, 1998)。本細菌の孢子はそれ自体に運動性はなく、ネコブセンチュウの移動分散ステージである2期幼虫との接触により、体表面に付着し、体内に侵入する。その後、本細菌は宿

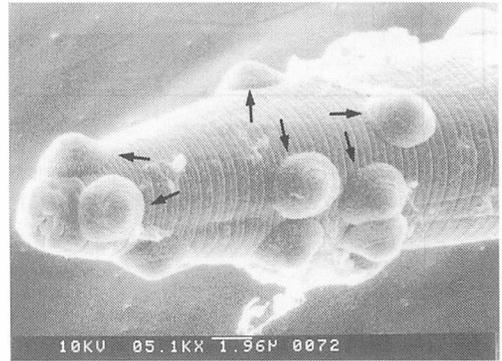


図-1 ネコブセンチュウ2期幼虫の体表面に付着した *P. penetrans* の孢子 (走査型電子顕微鏡写真)

主線虫を殺すことなく線虫体内で増殖し、最終的に線虫体内には100~200万個に及ぶ孢子で充満する (STIRLING, 1991)。その結果、線虫は産卵できず、代わりに線虫体内に充満していた孢子が土壌中に拡散する。このように本細菌は第一世代の線虫の産卵を抑え、第二世代の線虫密度を下げる。同時に、新たに生産された多数の次世代孢子が第二世代以降の幼虫や土壌深く潜んでいて上昇してきた幼虫に寄生する。したがって、2, 3作と連作を続けるうちに孢子密度が高まり、線虫数は減少し (ただし根絶はしない)、地上部の生育阻害等の直接被害が現れない密度水準以下に線虫数を抑制することが可能になる。

II 防除効果の実例

STIRLING (1984) が、細菌感染ネコブセンチュウ寄生根 (トマト) の乾燥粉末を用いてジャワネコブセンチュウ防除に利用した試験以来、多くの防除試験が行われている。おおむね、ネコブセンチュウ汚染土壌に細菌孢子を混和し、作物を連作することによって線虫密度が減少した。防除効果は初期投入した孢子量に依存する。ポット試験による結果 (KASUMIMOTO, et al., 1993; 奈良部, 1999; 西澤, 1992) から、線虫密度の減少 (初期密度以下) や被害度の軽減 (地上部生育に影響がない程度) などの効果が認められるのは、土壌1g当たり 10^6 個以上の孢子施用で1作目終了時、 10^5 個レベルでは2作目終了時、 10^4 個および 10^3 個レベルでは3作目終了時であ

Practical Use of *Pasteuria penetrans* in Biological Control of Root-knot Nematodes. By Takashi NARABU

(キーワード: 天敵, パスツーリア, ネコブセンチュウ, 生物防除)

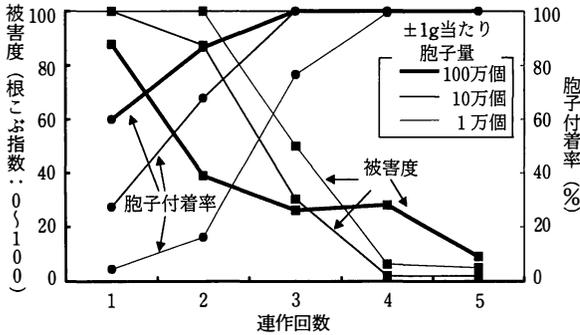


図-2 *P. penetrans* の胞子量を変えてトマトを連作したときのネコブセンチュウ被害度と胞子付着率の推移 (ポット試験) (奈良部, 1999)

った (図-2)。使用する菌株間に効果の差が認められ、優良菌株とそうでないものとは効果の発現に1作程度の差が認められた。防除効果は、土壤中に生存するネコブセンチュウ2期幼虫全体に占める胞子付着個体の割合 (胞子付着率) と相関が高く、胞子付着率が80%前後を超える水準に達すると、次の作で顕著な防除効果が現れた (図-2)。

国内での圃場試験では、露地トマト連作栽培 (上田, 1997)、施設栽培のトマト・キュウリ交互作 (上田・三平, 1997)、サツマイモ (TATEISHI, 1997) におけるサツマイモネコブセンチュウの防除例などがある。いずれの試験でも、胞子量 $10^9 \sim 10^{10}$ 個/m² の植付前処理 (初年目1回のみ) で、ネコブセンチュウ被害度は1作ごとに減少し、4作から6作目には殺線虫剤の登録量使用区 (オキサミル粒剤, ホスチアゼート粒剤, またはD-D剤を作付前に毎回) と同等かそれ以上の防除効果 (被害度の軽減, 販売可能な生産物収量の増加) が認められた。胞子量半量 (初回のみ) および殺線虫剤半量 (毎作付前) の併用区でも同等の効果が認められた。この併用処理は、胞子が十分増殖していない1,2年目での線虫密度抑制に有効であった。いずれの試験でも、薬剤の効果が消失する収穫後期において本細菌処理は特に効果を発揮している。一方で、胞子量 10^{10} 個/m² の1回処理で露地トマト栽培を4年間5作行ったとき、殺線虫剤処理ほどの防除効果が得られなかった例もある (奈良部, 1999)。この場合は初期密度が高かった (土壌20g当たり2期幼虫500頭以上) ため、本細菌のみでは線虫被害を抑制できなかったと考えられる。しかし、胞子量半量 (初回のみ) および殺線虫剤半量 (毎作付前) の併用区では、毎年の収量を落とすことなく、4年目で線虫被害度を許容水準まで下げることができた。

III 本細菌の特性と使用上の留意点

登録されたパストーリア ペネトランス水和剤は、*Pasteuria penetrans* 胞子 (乾燥生菌) 1.0×10^9 個/g を含有し、適用範囲はサツマイモ、トマト、キュウリ、カボチャ、メロンのネコブセンチュウとなっている。国内外の試験で *P. penetrans* は、ラッカセイ、タバコ、ダイズ、ナス、ピーマン、オクラ、ブドウ、キウイ、イチジク等のネコブセンチュウに対しても効果が認められており (CHEN and DICKSON, 1998; 川田, 1996)、本剤での効果が確認されれば、適用が拡大される可能性がある。使用法は、定植前1回、本剤を水に懸濁し、土壌表面に散布し混和するだけで、通常の水和剤と同様に扱うことができる。

しかし、防除効果を十分に得るには本細菌の性質をよく理解した上で防除体系を組む必要がある。以下に、本細菌の性質とそれに応じた使用上の留意点を述べる。

1 宿主特異性

本細菌は土壤線虫の中でも、ネコブセンチュウのみに寄生し増殖する。したがって、大量に投与しても環境負荷は小さく、安全性が高い。反面、ネコブセンチュウの種内でも特異性が生じる。我が国のネコブセンチュウは主に4種類であるが、これに対して効果の異なる3系統が報告されている (奈良部, 1995)。ただし、この特異性は絶対的なものではなく、宿主のネコブセンチュウとの相互関係により変化したり、複数種の宿主で増殖することもある (NARABU, 1999)。いずれにせよ、効率の良い胞子の増殖 (= 高い防除効果) を得るためには、線虫種に応じた系統の選択が必要になってくる。本細菌処理前に圃場のネコブセンチュウ種を判別するには、本細菌の特性を利用した同定法 (奈良部・安達, 1993) が有効である。

2 付着・感染効率

本細菌は自ら運動することではなく、増殖もしないため、2期幼虫が胞子に直接触れない限り、付着・感染は成立しない。このため、初期投入時に胞子を土壌中にまんべんなく均一に拡散させることがポイントとなる。また、土壌水分量が多くなると、付着効率が良くなる (佐野, 1997)。実際には、圃場に胞子懸濁液を投入後、深さ30cm程度、2回のロータリー耕によってかくはんし、灌水チューブを使って10 l/m² 程度の灌水を行い、胞子を土壌中に浸透させると効果が高くなると思われる。

3 胞子増殖と線虫密度抑制の関係

寄生のメカニズムで述べたとおり、本細菌が感染しても即効的な殺線虫効果や、根への侵入抑制効果はあまり

期待できない。一方、付着を免れればその個体は増殖し、作物に被害を与える。このため十分な効果が現れるのは、孢子が十分に増殖した数作の栽培後である。特に、土壤中の線虫の初期密度が高い場合、付着を免れる個体が多くなり、初期の被害が抑制できず、線虫が増殖するため、効果が現れるまで長期間を要する。したがって線虫密度が高い場合には、本細菌処理前に規定量あるいは半量の殺線虫剤を処理し、密度を下げておく効果的である。線虫密度の把握には、ベルマン法により土壌から2期幼虫を分離するか、前作の根の被害度から推定する。ネコブセンチュウの寄生を受けても、収量や品質への影響が少ないトマトなどの作付時に、本細菌の1回目投入を行うと減収を最小限に抑え、かつ、孢子密度を高めることができる。被害を受ける部位が商品となる根菜類では、本細菌の適用は難しい。

4 耐久性

本細菌は耐久態の孢子で生存するため、他の生物農薬と比較して耐久性は非常に高い。土壌中で10年以上、あるいは、室温で11年保存後もネコブセンチュウに対する感染能力を保持するが、新鮮な菌株に比べ極端に感染率が低くなる (GIANNAKOU, et al., 1997)。乾燥粉末の状態でも常温での流通にも耐えられる。総孢子数の半数が活性を保つ期間は2年以上と推定されるが、入手後すぐに使用するのが望ましい。

5 薬剤耐性

本細菌の耐久態孢子は各種化学物質に対しても耐性を有し、D-D剤、有機リン剤、カーバメート剤などの殺線虫剤に対して、大部分の孢子は活性を保ったまま生存する (川田, 1996)。すなわち、これら殺線虫剤との同時施用や、孢子投入後の殺線虫剤の使用が可能である。この性質を利用し、本細菌が効果を発揮するまで最小限の農薬使用で被害を回避し、孢子が十分増加した時点で、殺線虫剤を使用しない線虫被害の回避が可能である。一方で、クロロピクリン剤や臭化メチルなどの土壌くん蒸剤では本細菌は死滅するので、土壌病害を併発しないよう注意する必要がある。

6 生育適温

生育適温は28°Cから35°Cくらいで、17°C以上が生育に必要な温度と報告されている (HATZ and DICKSON, 1992; NAKASONO, 1993)。ネコブセンチュウの生育適温よりやや高い。このため、夏期高温時に作物が栽培される作型 (夏秋トマトなど) のときが本細菌の投入適期と考えられる。あるいは、半促成栽培で初夏に収穫終了するような作型なら、収穫後もしばらく植物体を圃場に残しておけば、本細菌の増殖が期待できる。

7 防除のコスト

本細菌は人工培地上での大量培養ができないため、コストがかかり大量入手は困難であると予想される。収益性の高い施設園芸やネコブセンチュウの慢性発生圃場への適用が想定される。一方で一度投与すれば、作付終了時には次世代孢子が増殖しており、残存孢子も十分活性を保っているため、原則的にはそれ以降の追加施用は不要である。したがって、長期的には薬剤散布の労力とコストが削減できる。追加施用の代わりに、一作終了時に作物根周辺に新たに生産された大量の孢子を用いて、これを二作目以降の接種源とし圃場全体に還元するのもコスト削減につながる。具体的には、感染根を圃場から集めて、数日間風乾あるいは水中で腐敗させ、ネコブセンチュウのみを殺し、これを水に懸濁して初期投入時と同じ処理をするとよい。

IV 残された課題

今後、本細菌を利用したネコブセンチュウ防除を普及させるためには、いくつか解決・究明すべき課題も残されている。

まずは、本細菌が効果を発揮するまでの期間を短縮させ、その間の被害を最小限に抑える技術を開発すること。前章でいくつかの事例を紹介したが、高い防除効果を得るための確実なマニュアルはない。とりわけ、効果的な処理法ならびに本細菌の効果を補完する技術の開発が望まれる。現在のところ、オキサミル粒剤やホスチアゼート粒剤などの殺線虫剤との併用が現実的な手段である。しかし、従来から用いられてきた耕種的防除法、例えば、太陽熱消毒、有機物施用、対抗植物栽培などは単独では即効的かつ十分な防除は難しいが、線虫密度をある程度低減できる。本細菌と併用することによって、従来の農薬使用量を大幅に削減できる可能性もある。また、ネコブセンチュウ卵のふ化を阻害する卵寄生菌、2期幼虫の根内侵入を抑制する線虫捕食菌、侵入後の卵形成を阻害する本細菌など、作用点の異なる天敵の組み合わせも有効であろう。

もう一方で、本細菌の効果が持続する年限を解明する必要がある。本細菌は一度の投入で長期間効力を維持すると考えられるが、長期間土壌環境中に存在したときの本細菌と線虫、本細菌と他の土壌微生物の相互作用は明らかではない。線虫側の抵抗性の発達、細菌孢子の寿命・性質の変化、本細菌を餌とする生物 (天敵) の増加、などが想定され、これらの結果として線虫密度が復活する可能性もある。この点は、長期間のモニタリング等の研究が必要である。

お わ り に

寄生性細菌パストゥリアが生物農薬として使用できるようになり、ネコブセンチュウ防除手段として、化学農薬以外の有力な選択肢が登場した。現在のところ化学農薬のような即効性はないが、今後の研究・改良によって、環境への負荷軽減、リサーチエンスの回避、低コスト省力化線虫防除を同時に実現できる可能性がある。そのためには、製造販売側、使用者、研究・普及分野が協力してそれぞれの立場で得た情報を交換し、改良を重ねていくことが必要であろう。

引 用 文 献

- 1) CHEN, Z. X. and D. W. DICKSON (1998): J. Nematol. 30: 313~340.
- 2) GIANNAKOU, I. O. et al. (1997): Nematologica 43: 185~192.
- 3) HATZ, B. and D. W. DICKSON (1992): J. Nematol. 24: 512~521.
- 4) KASUMIMOTO, T. et al. (1993): Jpn. J. Nematol. 23: 10~18.

- 5) 川田弘志 (1996): プレインテクノニュース 58: 12~15.
- 6) NAKASONO, K. et al. (1993): Jpn. J. Nematol. 23: 1~9.
- 7) 奈良部 孝 (1995): 関東東山病虫研報 42: 9~14.
- 8) ——— (1999): バイオコントロール研究会レポート 6: 51~55.
- 9) NARABU, T. (1999): Diversity and Use of Agricultural Microorganisms, Reseach Council Secretariat of MAFF and Natl. Inst. Agrobiological Resources, Tsukuba, pp. 269~279.
- 10) 奈良部 孝・安達 宏 (1993): 植物防疫 47(9): 419~422.
- 11) 西澤 務 (1992): 線虫研究の歩み, 日本線虫研究会, つくば, pp. 267~271.
- 12) 佐野善一 (1997): 日線虫誌 27: 88.
- 13) STIRLING, G. R. (1984): Phytopathology 74: 55~60.
- 14) ——— (1991): Biological Control of Plant Parasitic Nematodes, CAB International, Wallingford, 282 pp.
- 15) TATEISHI, Y. (1996): Proc. Int. Workshop on the Pest Management Strategies in Asian Monsoon Agroecosystems, Kyushu Natl. Agric. Exp. Stn., Kumamoto, pp. 301~308.
- 16) 上田康郎 (1997): 植物防疫 51(12): 571~575.
- 17) ———・三平東作 (1997): 関東東海農業の新技术 13: 28~33.

お 知 ら せ

○ライフサイエンス及び宇宙医学分野の国際宇宙ステーション等利用研究テーマ 1999 年国際公募のご案内

日、米、欧、加、露によって建設される国際宇宙ステーションは、昨年度より組立が開始されました。これに伴い、ライフサイエンス及び宇宙医学研究分野において、スペースシャトル実験を含む宇宙ステーション利用研究テーマを国際公募いたします。これは国際宇宙ステーション計画に参加する各機関の実験装置等を効率的に相互利用し、最大の科学的成果を得ることを目的とします。

この公募には、国際宇宙ステーション参加国の関係機関 (NASDA, NASA, ESA, CSA, CNES, DLR) が参加しています。公募の対象となるのは、ライフサイエンス及び宇宙医学分野 (以下、国際的な定義に基づき、単に「ライフサイエンス」と称する) に関する宇宙実験テーマです。実施時期は 2003 年頃から国際宇宙ステーションの組立完了までの期間を対象とします。提案者は上記参加機関から今回の国際公募に提供される実験装置のいずれかを利用した実験を提案することができません。以下の事項をご勘案の上、奮って応募下さい。

【国際公募制度の概要】

●応募資格

- 1) 提案する研究内容を適切に実施できる能力を有していること。
- 2) NASDA の業務委託先である (財) 日本宇宙フォーラム (以下、JSF と称する) との研究契約締結が可能であること。

※応募者の国籍、所属機関の所在地 (国内外) は問いません。ただし、国外の機関からの提案の実施に係る費用を、NASDA が負担することはありません。

●国際公募対象…2003 年中頃から国際宇宙ステーションの組立完了までに行われるライフサイエンス分野の宇宙実験の提案を対象とします。宇宙ステーション (日本の実験モジュールを含む) 利用の他に、スペースシャトル等の利用も含まれます。

●応募受付期間

募集案内発出: 平成 11 年 8 月 30 日から

仮申し込み (Letter of Intent)

〆切: 平成 11 年 10 月 1 日

応募書類国内〆切: 平成 11 年 11 月 1 日 (JSF 内ライフサイエンス国際公募事務局必着)

●選定…受付機関による予備選考、参加各機関の研究者から構成される国際評価パネルによる科学評価、装置提供機関及び利用側の機関が中心となる技術 (搭載性) 評価、参加各機関の方針に基づく再評価と優先順位付けが行われます。国際会合での審議・承認を経て、宇宙実験候補テーマが選定されます (平成 12 年 5 月予定)。

【提案書作成講習会など】

提案書の表現、構成を改善するための提案書作成講習会および添削を計画しております。

【問い合わせ先】

財団法人日本宇宙フォーラム (JAPAN SPACE FORUM)

公募研究推進部内ライフサイエンス国際公募事務局
担当: 福井・山中

電話: 03-3459-1653 FAX: 03-5470-8426

URL: <http://www.homepage.co.jp/jsforum>

E-mail: life@jsforum.or.jp

上記各事項の詳細については現在検討中であり、8 月 30 日以降に詳細な募集案内等を上記ホームページに掲載いたします。

○詳細につきましては、上記「問い合わせ先」にお問い合わせ下さい。