

昆虫病原性 *Bacillus thuringiensis* による植物寄生性線虫の被害抑制および複合病防除の可能性

帯広畜産大学畜産フィールド科学センター 小池正徳

1. はじめに

栽培植物はその一生の全期間を通して数々の病原体に侵される。地下部に感染が起こればその部分に病巣が温存されたまま進展する。しかも病原体が複合汚染している圃場ではそれぞれの病気が重なって病徴は激しくなる。連作障害などはそうした状況の下で起こるよい例である（平野, 1993）。しかし、病原体同士の競合が起こるなどの作用が関与するので発病が必ずしも増大するわけではない。もちろん、土壤中の要因が複雑に絡み合うことによって病状が激しく表れる場合もある。複数の病原体による複合病において、植物寄生性線虫と土壤伝染性病原菌（*Fusarium* 属菌や *Verticillium* 属菌）の組み合わせがもっとも顕著な例である（平野, 2011；佐藤, 2014）。この複雑な複合病を植物病原性細菌 *Bacillus thuringiensis* を利用して被害を低減できないかというのが本講演の狙いである。なお本稿はアリスタ通信 53 号（小池・坪内, 2022）を若干改稿したものである。ご了承ください。

2. 複合病とは

複合病とは 2 種類以上の病原体が 1 つの植物に作用し、引き起こされる病気ことである。かなり古くから被害が報告され、特に研究例が多いのは植物寄生性線虫と土壤伝染性病害である（平野, 1993）。ジャガイモには世界的に「Potato Early Dying」という恐ろしい病害が知られているが、これは土壤伝染性菌類の *Verticillium dahliae* とキタネグサレセンチュウとの複合病である（Wheeler ら, 2019）。不思議なことに、日本には *V. dahliae* もキタネグサレセンチュウもそれぞれ単独でジャガイモの被害報告があるのに、いまだ「Potato Early Dying」の報告はない。しかし、日本でも今後警戒しなければならない。

線虫とその他の病原体による複合病には、線虫と他の病原体との混合感染による直接的な相互作用に起因する真正複合病（true complex）、線虫の植物体への侵入によって他の病害との間接的な相互作用を生じ病態に変化を示す併発性複合病（dual complex）、線虫の植物体への侵入に伴い不特定病原との日和見感染による相互作用によって引き起こされる不定性複合病（indefinite complex）の 3 種類があるとされている（平野, 1993）。植物寄生性線虫と *Fusarium* 属菌、*Verticillium* 属菌の組み合わせが典型的な真正複合病の例と言われている（平野, 2011；佐藤, 2014）。

3. 植物寄生性線虫に対する微生物の影響（特にシストセンチュウとネコブセンチュウに対して）

植物寄生性線虫の生物的防除に有効な微生物群

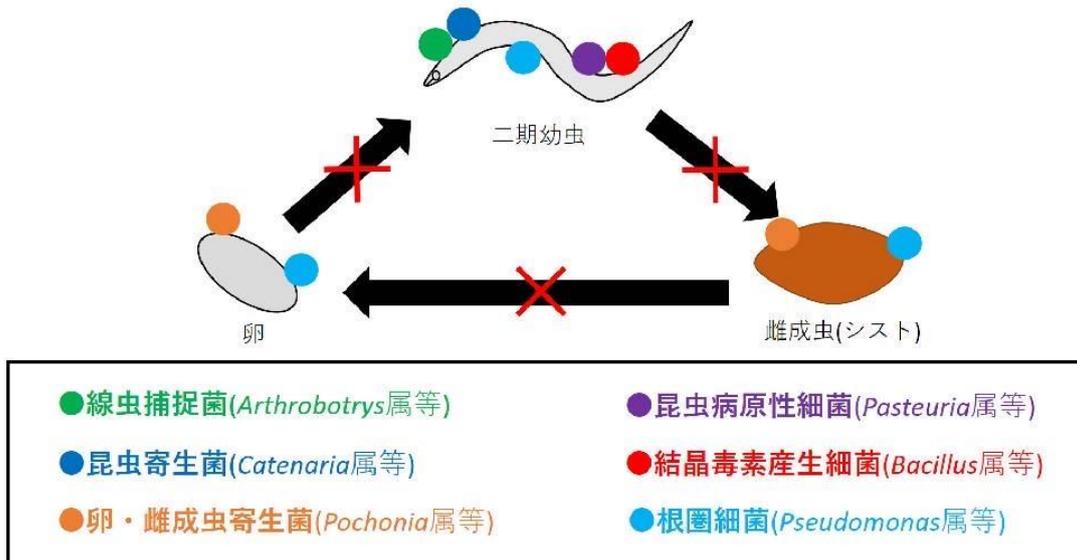


図1 植物寄生性線虫の生物的防除に有効な微生物群 (Toplovićら, 2020を改変)

植物寄生性線虫に対して有効な作用を持つ土壤中に存在する微生物を(図1)に示した。たとえば線虫捕獲菌は粘着性の菌糸トラップを形成し、昆虫寄生菌や細菌類は胞子を利用し、卵・雌成虫寄生菌は菌糸の先端を利用し、線虫の侵入から植物を守るために毒素等を生成する。これらの微生物の個々の作用は次第に明らかになってきており、微生物資材もいくつか実際に使用されている。近年、次世代シーケンス技術を駆使して、土壌や根圏微生物相が植物寄生性線虫の能力を左右することが明らかにされつつある。したがって、土壌、植物の根圏および植物寄生性線虫の異なるライフステージに関連するマイクロバイオームを詳細に理解することで、植物寄生性線虫の食害を制御し、土壌伝染性病害の発生も抑制し、作物の生産性を高めるための持続可能な微生物コンソーシアムを合成(微生物カクテル剤を製造)することができるようになるかもしれない(Toplovićら, 2020)。

また、図2に示したように土壌中や根圏土壌中では線虫に作用を及ぼす微生物だけではなく、植物病原菌や他の微生物も存在し、それらの微生物と線虫に作用を及ぼす微生物の相互作用(寄生、拮抗、競合など)に加え植物からの滲出液、孵化促進物質や揮発性物質等も考慮すると植物-線虫-土壌微生物間でかなり複雑なコミュニケーションが存在するのでこれらも考慮しなければならない(Toplovićら, 2020)。

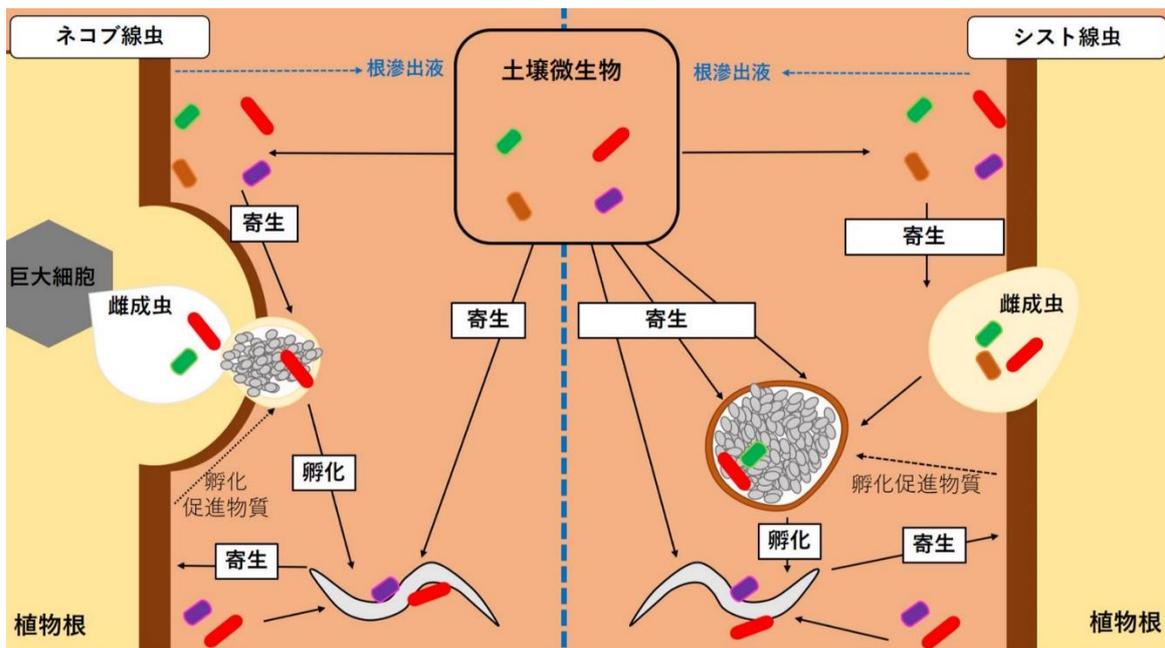


図2 植物根圏のマイクロバイオーームとネコブセンチュウとシストセンチュウの間の地中でのコミュニケーション (Toplovićら, 2020 を改変)

4. *Bacillus thuringiensis* の発病抑制と PGPR 効果

Bacillus thuringiensis (以下 BT と略す) の植物病害抑制効果はすでに、染谷ら (2022) により詳細にまとめられている。BT はナス科作物 (ジャガイモ、ナス、トマト) を中心とした苗立枯れ病、疫病などの菌類の病気だけでなく、軟腐病や青枯れ病などの細菌病、ジャガイモのウイルス病まで発病抑制の報告がある。これらの主なメカニズムは拮抗作用、抵抗性誘導が多い。また、病原菌に作用するだけでなく、植物に PGPR 効果による成長促進も認められている (小池ら, 2022)。すでに先行している昆虫寄生性菌類のようにデュアルコントロールのための資材としての BT の登録の機運が高まっている。

5. 微生物を利用した複合病の防除の試み

現在、線虫害や複合病の防除には、連作/対抗作物の利用、汎用燻蒸剤、土壌還元消毒法などを利用しセンチュウの密度を低下させる IPM の技術はすでに多くの農家が利用している (水久保, 2018)。またネコブセンチュウに対してはパスツリアなどの登録された微生物農薬やネコブセンチュウ、シストセンチュウ、ネグサレセンチュウに対しては農薬未登録の線虫捕捉菌を含んだ資材等が販売されている。しかし、これらの資材はとも高価なのでもう少し大量生産できるようになり価格が下がれば利用されるようになるだろう。

著者らは BT を用いて、トマト萎凋病に対する抗菌作用やトマトの根圏に BT を定着させることによってトマト萎凋病 (病原菌 *Fusarium oxysporum* f.sp. *lycopresici*) の発病を抑制

することを報告した (Qi ら, 2016)。さらに、育苗時に BT に定着させた後、*Fusarium* 汚染土、サツマイモネコブセンチュウ汚染土、*Fusarium* およびサツマイモネコブセンチュウ混合汚染土 (複合病想定) に移植し 4 週間後の外部病徴、内部病徴、ゴール形成指数等を測定したところ、BT 処理区はいずれも発病や被害程度が接種対象区と比較し有意に抑制された (図 3、未発表)。



図 3 *Bacillus thuringiensis* による複合病 (*Fusarium oxysporum*+サツマイモネコブセンチュウ) の発病抑制効果 (Qi 原図)

これらの BT のうち、植物病原菌の *Fusarium oxysporum* に対して強い拮抗性を示すものもあれば、拮抗性を示さず植物体に全身抵抗性を誘導する株も存在した。さらに、サツマイモネコブセンチュウに対しては結晶タンパク質 (Cry 毒素)、揮発性有機化合物 (VOCs) やキチナーゼなどが作用するとされている (Ahmad ら, 2021)。

現在、1) BT によるハクサイの複合病 (*Verticillium longisporum*+キタネグサレセンチュウ) の防除 (図 4)、および 2) 緑肥 (エンバク) の種子に BT をまぶし、生育期間中に土壌中のエンバク根圏および内生菌として生育させすき込み土壌中の BT の密度をあげシストセンチュウの密度を抑制させる研究を、カネコ種苗株式会社とアリスタ・ライフサイエンス社と共同研究を実施しており本講演内で紹介したい。



对照区

BT ⇒ P+V

C ⇒ P+V

図4 ハクサイのセル苗にBTを散布し、その後キタネグサレセンチュウ (P) とハクサイ黄化病菌 *Verticillium longisporum* (V) の混合汚染土に移植した時のBT処理区の被害抑制効果

6. おわりに

ネコブセンチュウやシストセンチュウを実験材料にするようになってから、学生時代もずっと色々勉強しておくべきだったと思うこの頃である。複合病のバイオニアである平野和弥大先生は、私の博士学位論文の主査であり、私が千葉大の院生時代、実験室でこつこつとネコブセンチュウの研究を遂行されていた。その横で私はひたすら希釈平板とシャーレ洗い（当時はディスポのシャーレなんて高くて使用できず、ガラスのシャーレを新聞紙でくるみ乾熱滅菌にかけ使用していた、実験時間の半分以上はシャーレ洗いだったような気がする。）と顕微鏡でトマト導管のタイローススをカウントしていた。平野先生には実習でベールマン等の手法は学んだが、もう少し線虫の取り扱いを教わっておけば良かったと後悔している。

これらの研究は北海道大学・浅野眞一郎教授、帯広畜産大学・相内大吾准教授、修士学生の坪内春太氏、北海道農業研究センター・串田雅彦博士のご協力のもと行った。ここに感謝の意を表す。さらに現在実用化を目指して共同研究を実施しているカネコ種苗株式会社、(株) アリスタ・ライフサイエンス社に御礼を申し上げる。

7. 引用文献

- Ahmad et al (2021) *Antonie van Leeuwenhoek* 114: 885–912
- 小池正徳ら (2022) バイオスティミュラントハンドブック、p.349 - 359
- 小池正徳・坪内春太 (2022) *アリスタ通信* 53 : 7–11
- 平野和弥 (1993) *日植病報* 59: 233-236
- 平野和弥 (2011) フザリウム—分類と生態・防除—、p.305-316
- 水久保隆之 (2018) *関東東山病害虫研報* 65: 1 -13
- Qi et al (2016) *Int J Environ Agric Res* 2: 55-63
- Topalović et al (2020) *Front Microbiol* 11: 313
- 佐藤恵梨華 (2014) *土と微生物* 68 : 21–26
- 染谷信孝ら (2022) *土と微生物* 76 : 16–25
- Wheeler et al (2019) *PLoS ONE* 14(2) : e0211508.

プロフィール

小池正徳

国立大学法人北海道国立大学機構

帯広畜産大学畜産フィールド科学センター



昭和 59 年 3 月 帯広畜産大学畜産学部草地学科卒業

昭和 61 年 3 月 千葉大学大学院園芸学研究科環境緑地学専攻修了

昭和 61 年 4 月 (株)サカタのタネ・君津育種場

昭和 63 年 4 月 帯広畜産大学畜産学部助手

平成 8 年 4 月 帯広畜産大学畜産学部助教授 (准教授)

平成 21 年 5 月 帯広畜産大学畜産学部教授

専門分野 昆虫病理学・作物保護学

帯広畜産大学畜産フィールド科学センター・センター長
学長補佐 (課外活動・学生支援担当)

昆虫病理研究会 幹事 (副会長)

バイオコントロール研究会 幹事