

様々な野菜を安定生産に導く微生物

誌名	土と微生物
ISSN	09122184
著者名	李, 哲揆
発行元	土壤微生物研究会
巻/号	76巻1号
掲載ページ	p. 12-15
発行年月	2022年4月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



シンポジウム

様々な野菜を安定生産に導く微生物

李 哲揆^{1*}

¹ 元東京農工大学生物システム応用科学府

The good microbes for vegetable production

Chol Gyu Lee^{1*}

¹ Graduate School of Bio-Applications and Systems Engineering, Tokyo University of Agriculture and Technology

Key words: Anaerobic soil disinfestation, Bio control agents, Plant disease management, Soil microbiome

はじめに

世界の人口は年々増え続けており、今世紀中に 100 億人を超えると予想されている。人口が増えれば、それだけ食糧が必要になり、2050 年までに現在に比べ 60% も食料生産を増やす必要があるとの試算もある。しかし、作物を生産する耕地面積や単位面積あたりの収量は人口の伸びに追いついておらず、近い将来、世界中で慢性的な食糧不足が起こることが危惧されている。単位面積あたりの作物収量を上げるには、品種改良により個体あたりの収量を増やすほかに、植物病害などによるロスを減らすことが重要である。植物病害によって農作物の生産可能量の約 2～4 割が失われているとの報告もあり、必要な防除策を講じられるようになれば、農作物生産物は飛躍的に向上する (Oerke *et al.*, 1994)。微生物により引き起こされる植物病は日本国内に限っても約 12,000 種類にのぼる (日本植物病理学会, 2000)。植物の病気は、病気にかかる体質をもった作物・宿主 (素因)、病気を引き起こす微生物 (主因)、病気の発生に好適な環境条件 (誘因) の 3 つの要因が揃ったときにときに起こる (図 1)。病害発生のリスクを最小限にするためには主因の制御、すなわち病原菌を持ち込まないことが大前提である。しかし、目に見えない病原菌の侵入を完全に防ぐことは不可能であり、病気が発生してしまった、あるいは発生が予想される場合は、主因となる病原菌の排除が必要となる。そのために現在最も用いられている防除法は、農薬などを用いた化学的防除である。特に日本のような温暖で多湿な条件下では他の国に比べ多種多様な病害虫が発生するため、農地面積あたりの農薬使用量も他国に比べ多い。一方で過度な農薬の使用は環境汚染を引き起こすだけでなく、殺菌剤耐性菌や殺虫剤抵抗性害虫を生み出す。したがって、国連が定める「持続可能な開発目標

(SDGs)」や、農水省が定める「みどりの食料システム戦略」などでは、化学肥料や農薬に極力依存しない環境調和型農業を推進している。このような背景の中、化学的防除法の代替法として生物防除が注目されている。これは生物が本来持っている寄生性、殺菌性、捕食性、誘引性などの性質を利用した防除法であるため、環境負荷が少ない。生物防除には天敵利用、フェロモン材の利用さらに弱毒ウイルスや非病原微生物の接種などがあるが、この中でも微生物を用いた土壌伝染性病害防除は近年、急速に発展している技術の一つである。土壌伝染性病害は土壌中に生存する病原体が植物の根部などから侵入し、引き起こされる病害である。代表的な土壌伝染性病害としてモザイク病、青枯病、根こぶ病、立枯病などがあり、病原体もウイルス、細菌、真菌、センチュウと多様である。しかし、一部病原体は土壌深度 50 cm 以下に存在したり、耐久体を作り生き延びることもあるため、土壌消毒だけでは防ぎきれない。一般的には輪作や抵抗性品種の導入といった耕種的防除法の他に、土壌くん蒸剤を用いた土壌消毒といった化学的防除法を併用することで病害の発生を抑えて

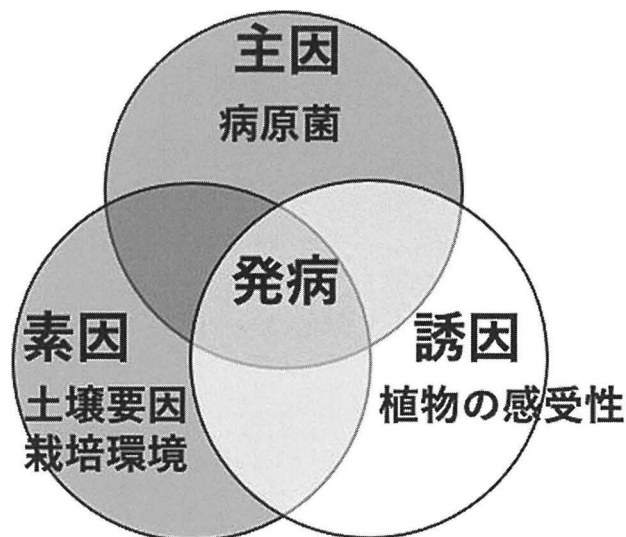


図 1 植物病害発生に必要な主因、素因、誘因

2021 年 12 月 10 日受付 2022 年 2 月 11 日受理

* Corresponding author.

E-mail: cholgyu-kr@hotmail.co.jp

いるが、前述の環境調和型農業推進の観点から、土壌微生物の利用が広まりつつある。

微生物と病気といえば、近年注目されているのはヒトの腸内細菌と病気との関連である。腸内細菌の組成（マイクロバイオーム）を調べることで、病気のリスクなどを明らかにできるだけでなく、マイクロバイオームを改善することで病気の治療や予防につながる事がわかってきた。特に腸内細菌が肥満や糖尿病だけではなく、自閉症といった精神疾患にも関与することが明らかになってきた（Singer-Enger *et al.*, 2019）。「腸（はらわた）が煮えくり返る」という言葉は、腸と脳との関連を無意識に示唆した言葉であったのかもしれない。腸内細菌の制御を行う上で注目されているのが「プロバイオティクス」と「プレバイオティクス」である（図2）。プロバイオティクスとは有用な微生物を直接腸内に導入するシステムでありヨーグルトや発酵食品を食べることがあげられる。一方、プレバイオティクスとは腸内の微生物の餌を投入することで腸内細菌の活性を上げる方法で、食物繊維の摂取などがあげられる。またこれらを組み合わせた腸内環境改善法である「シンバイオティクス」も存在する。実は植物における土壌と人間の腸内の機能は驚くほどよく似ている。人間が食べたものの一部は大腸で微生物によって分解され吸収される。植物が吸収する養分も土壌微生物が複雑な有機物を分解することにより作られるため、土壌を植物の消化器官と考えることもできる。すなわち、プレバイオティクスやプロバイオティクスを土壌微生物にも適応し、彼らを制御することで病害に強い作物生産が期待できる。ここから土壌のプレ

バイオティクス技術である土壌還元消毒法と、プロバイオティクス技術である生物的防除エージェンツ（BCA）について紹介する。

1. 土着の微生物を用いた植物病害防除法： 土壌還元消毒

前述のとおり、土壌伝染性病害は病原体が地中に生残するなど、非常に防除が難しい病害である。従来は、耕種的防除法の他に、太陽熱消毒やクロロピクリンといった土壌燻蒸剤を用いて土壌中の病原菌を死滅させることが主であった。しかし、これらの方法は土壌表層の病原菌は死ぬが、土壌深くまでの殺菌は難しい。環境負荷の少ない病害防除法が求められる中、2000年に土壌還元消毒という新たな消毒法が生み出された。土壌還元消毒とは、土壌に小麦ふすまの他に低濃度エタノールや糖蜜、糖含有珪藻土といった有機物資材を投入し灌水したあと、農業用ポリエチレンフィルムで土壌表面を覆い、太陽熱で加温しながら土壌を強制的に還元状態にすることで、土壌中に存在する病原菌を死滅させる方法である（新村，2000）（図3）。この消毒法は水と有機物のみ利用するので、環境負荷が非常に低く、かつ様々な細菌、糸状菌、センチュウ病害に有効である（門馬，2017）。その消毒メカニズムであるが、土壌還元消毒中は土壌中の酸素が急速に失われるため、酸欠によって病原菌が死ぬと考えられるかもしれないが、実はそうではない。還元過程で嫌気性微生物によって作られる還元鉄、マンガン、有機酸などにより病原菌が死滅することが明らかとなっている。また還元消毒により増加する一部の微生物は病原性糸状菌であるフザリウムの細胞壁の溶解酵素を出すことも知られており、このような微生物による直接的な殺菌効果も示唆されている（Ueki *et al.*, 2017）。詳細な消毒メカニズムは分かっていないものの、どの圃場でも共通した微生物の増加が見られることから、共通したメカニズムで消毒していると考えられる。土壌還元消毒は環境負荷が少なく、様々な病害に有効な消毒法であるが、まだ広く普及しているとは言い難い。普及における大きな課題は低温下での防除効果の向上とコストの低減化である。本消毒法には土壌の微生物の働きが必須である。したがって、微生物の活性が低下する低温下では期待されたような消毒効果は得ら

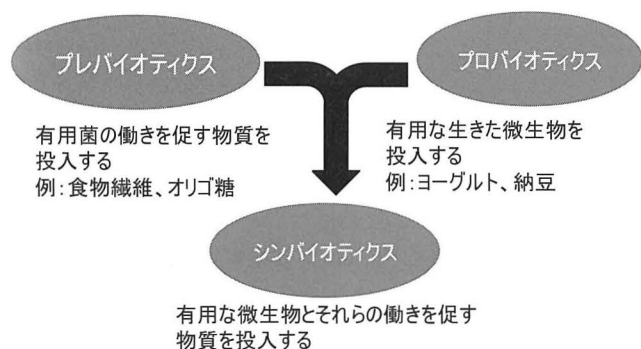


図2 プロバイオティクスとプレバイオティクス

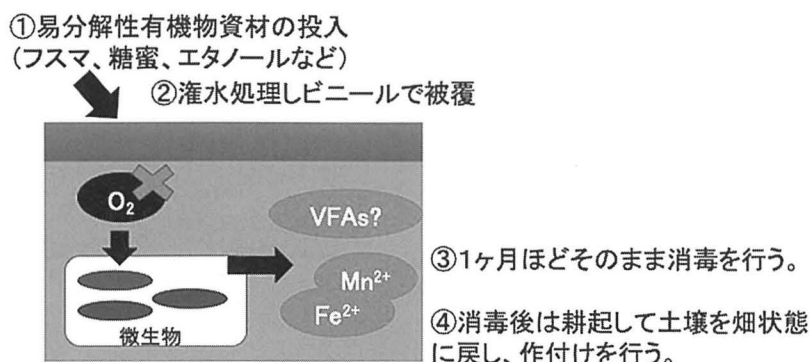


図3 土壌還元消毒の概要

れない。またコスト面を考えると、資材の投入量を減らすことや、安価な資材の利用などが必要となる。また現在は毎作ごとに消毒処理を行うことが推奨されているが、1回の消毒で複数年効果が持続すれば、資材コスト、作業コストともに大幅な削減が期待できる。これらの課題を解決するためにはその消毒メカニズム、特に消毒に関わる微生物を明らかにしそれらの生態を解明することが必要である。

2. 土壌のプロバイオティクス： 生物的防除エージェント（BCA）

ある土壌は発病抑制性を持ち、この性質には微生物が関与することが知られてきた。したがって、土壌から病害抑制に有効な微生物を分離し病害防除に利用する取り組みは多く行われてきた (Santoyo *et al.*, 2012)。病原菌に対する防除に用いられる微生物は生物防除エージェント (Bio Control Agent: BCA) と呼ばれ、対象病原菌に対して競合や殺菌など、様々な作用により病害を防除している (図 4)。これまで *Trichoderma*, *Bacillus*, *Pseudomonas*, 非病原性 *Fusarium* といった一部の有効な BCA は病害防除用に農薬登録されている。BCA を含んだ世界の微生物資材市場は、2020 年に 65 百万米ドルに達

すると推定され、2025 年には 116 百万米ドルと、14%/年の成長率を記録すると予測されている (Acumen Research and Consulting, 2019)。特にアメリカでは BCA に関連するベンチャー企業が数多く存在し、その関心の高さが伺える。しかし、生物多様性条約との兼ね合いから、諸外国で有用な BCA が得られても、それを日本で使用することはできない。したがって、日本の農地で使うためには日本産の有用な BCA を取ってくるのが重要である。国内のこの分野では三井住友化学、片倉コープアグリなどがリーダーとなっているが、Sunlit Seedlings のような元気な大学発ベンチャーの活躍も期待される。BCA を利用する防除法については、近年研究が盛んになってきており、その論文数も膨大な数に達するが、実用化されたものはきわめて少ない。その原因として BCA による防除効果が不安定であることが挙げられる。この課題の改善のためには投入した微生物の定着率の向上、微生物が活性を発揮する条件の特定、微生物の活性を保ったままの製剤化といったハードルをクリアする必要がある。そのためには土壌中の微生物の役割、生態を明らかにすることが必要である。

3. 将来展望

微生物を用いた生物的防除は今後さらに普及されることが期待される。一方、微生物を用いた防除法の最大の欠点はその効果の不安定性であり、これは生き物の宿命である。この件については、腸内細菌でも成功例は少なく、腸内に比べて多様な環境が存在する土壌に適応するのは非常に難しい。したがって、BCA が効果を発揮できる環境とできない環境を整理しつつ、個々の微生物の能力にあった活用法を開発していくという戦略が微生物を用いた病害防除の信頼性向上と利用拡大をもたらすと考えられる。防除の全てを微生物に委ねるのではなく、耕種的手法や化学農薬を組み合わせた総合的病害防除法 (IPM) が必須となる。最初に記したように、日本はその高温多湿の気候のため病害虫の発生が非常に多い。

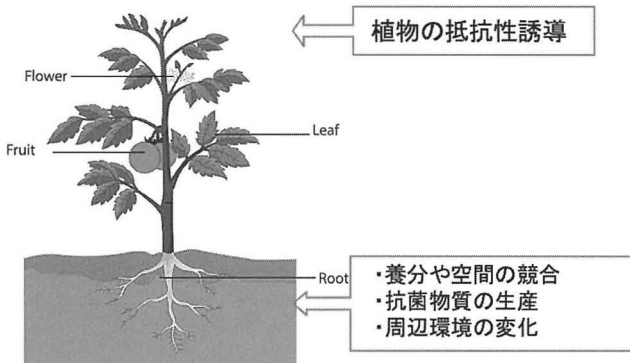


図 4 BCA による病害防除メカニズム

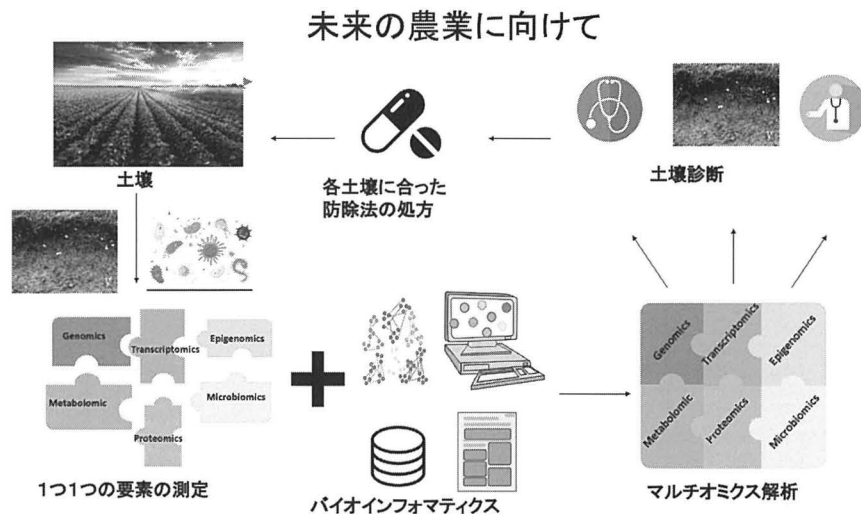


図 5 想定される今後の展開

したがって、無農薬での作物栽培は非常に難しく、IPMを併用しつつ減農薬を行うのが現段階での現実的な手法であると考えられる。また土壌中には無数の微生物がいるが、そのうちほとんどの微生物の機能や生態は不明である。したがって、このような基礎的な知見を積み上げ、将来的には各圃場の微生物情報を組み込んだ診断システムの開発、その微生物叢まで考慮した個別医療ならぬ個別農法の必要性がある（図5）。

要 旨

世界の総作物生産量のうち、20～40%は作物の病気や虫の被害によって失われており、作物の病虫害を克服することは人類の将来を考える上で非常に重要である。様々な病害の中でも、土壌伝染性病害は病原菌が土壌深くに存在し、被害が長期間継続するなど防除が困難である場合が多い。この対策として農薬や土壌くん蒸消毒といった化学的防除法が一般的であるが、環境保全型農業推進の観点から、化学物質を使用しない防除技術が求められている。本稿では環境負荷の少ない土壌微生物を用いた防除法のうち、土壌還元消毒法と生物防除エージェントについて紹介する。土壌還元消毒は土着の微生物の力を利用した方法で、近年様々な地域で導入が広がっている。また生物防除エージェントは土壌から分離した有用な微生物を利用する方法で、世界的にもその需要が高まっており、2025年には116百万米ドルと、年間14%もの成長率を記録すると予測されている。また今後の微生物を用いた病害防除の可能性についても述べる。

引用文献

- 1) Acumen Research and Consulting (2019) Agricultural Microbials Market by Type (Bacteria, Fungi, Virus, Protozoa), Function (Soil Amendment and Crop Protection), Crop Type (Cereals & Grains, Oilseeds & Pulses, Fruits & Vegetables), Mode of Application, Formulation, Region—Forecast to 2025. <https://www.gii.co.jp/report/mama936580-agricultural-microbials-market-by-type-bacteria.html> (accessed November 1, 2021)
- 2) 門馬法明 (2017) 土壌還元消毒の普及の現状と今後の展望, 土と微生物, 71, 24–28
- 3) 日本植物病理学会 (編) 2000. 日本植物病名目録, 日本植物防疫協会, 東京
- 4) Oerke EC, Dehne HW, Schonbeck F, Weber A (1994) Crop Production and Crop Protection: Estimated Losses in Major Food and Cash Crops. Amsterdam: Elsevier.
- 5) Santoyo G, Orozco-Mosqueda MD, Govindappa M (2012) Mechanisms of biocontrol and plant growth-promoting activity in soil bacterial species of *Bacillus* and *Pseudomonas*: a review. *Biocontrol Sci. Technol.*, 22, 855–872
- 6) 新村昭憲・坂本宣崇・阿部秀夫 (1999) 還元消毒法によるネギ根腐萎ちよう病の防除, 日植病報, 65, 352–353
- 7) Singer-Enger T, Barlow G, Mathur R (2019) Obesity, diabetes, and the gut microbiome: an updated review. *Expert. Rev. Gastroenterol. Hepatol.*, 13, 3–15
- 8) Ueki A, Takehara T, Ishioka G, Kaku K, Ueki K (2017) Degradation of the fungal cell wall by clostridial strains isolated from soil subjected to biological soil disinfestation and biocontrol of *Fusarium* wilt disease of spinach. *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 101, 8267–8277