

植物病害を「微生物の力」で制御する 微生物殺菌剤の現状と今後の課題

若山技術士事務所／若山植物病院®
若山 健二
Kenji Wakayama

1. はじめに

地球上には無数の微生物が存在しており、日々新たな微生物が発見されている。まだ見つかっていないものも含めると、約 300 万種は存在するといわれる。これらの大半の微生物は、植物、動物、人と共生関係にあり、通常は害を及ぼすことはない。植物の生育環境では葉面、根圏（根の隣接部）、根の内部、土壌にも無数の「微生物の集合体」として存在している。ヒトと微生物との関連で知られている腸内細菌は、その機能によって、「善玉菌」、「悪玉菌」、「日和見菌」の 3 種類に分類され、お花畑に例えられることから、腸内フローラ（花畑）と呼ばれ、そのバランスが体調に影響を与える。植物でも「悪玉菌」にあたる「病原菌」はそのごく一部で、約 12,000 種が知られている。葉面や根圏に存在する「微生物の集合体」のバランスは絶妙に保たれているが、バランスが崩れると植物病の発病スイッチ ON/OFF の決定要因となる。

持続可能な開発目標（SDGs）や環境への対応が重要視され、EU は 2020 年 5 月、「Farm to Fork Strategy」を公表した。健康的、かつ環境フレンドリーなフードシステムを目指すとし、具体的な目標として 2030 年までの化学農薬 50% 削減、肥料の 20% 削減、有機農業面積 25% 以上という目標を掲げた。

米国は 2020 年 2 月に農業イノベーションアジェンダを発表し、2021 年には 2050 年までに農業における環境負荷を半減し、人類を養うために生産性を 40% 増加することを目標にしている。これは EU の「Farm to Fork Strategy」により生産量と収入の減少を予測していることに起因している。

これらの海外の取り組みを意識する形で、日本ではみどりの食料システム戦略（以下、「みどり戦略」）を取りまとめ、2050 年までに化学農薬使用量（リスク換算）の 50% 低減、化学肥料使用量 30% 低減、耕地面積における有機農業の取組面積 25% までに拡大するなどの積極的な目標を掲げている。目標の達成に向けた技術開発として、従来の農薬の代替として『共生微生物や生物農薬等の生物学的防除技術』を開発するとしている。

化学農薬の削減策として農薬ではない『バイオスティミュラント（植物の免疫力を高める技術）を活用した革新的作物保護技術の開発』も記載されている。バイオスティミュラントとは欧米で脚光を浴びている資材だが、EU の規制では農薬としては扱われず、植物が土壌に根を生やし養分を吸収して育つ際の「栄養プロセスを活性化する物質」と定義されている。

みどり戦略では、「革新的」という言葉が使われ農薬の代替となるような記載が目立つが、バイオスティミュラント自体は科学的なアプローチで研究が進んでいるものの、まだ開発途上の資材の一つに過ぎないものであるから、現在の農薬を代替しなければならないようなイメージを想起させるのは現場の混乱を招きかねないと危惧している。

ここではみどり戦略にも記載され、目標達成の技術開発として期待されている生物農薬の一部である微生物農薬の国内外の現状をまとめ、将来の方向性について論じてみたい。

2. 微生物農薬とは

世界の生物防除資材は、動物、植物、細菌、特定の鉱物などの天然物質から抽出された特定の種類の

表 1. 農業で用いられる生物資材

(出典：Dunham Trimmer's Global Biocontrol Report)

生 物 資 材				
作物生育改善資材		生物防除資材		
バイオ肥料	バイオスティミュラント	生物農薬		天敵農薬
栄養の取り込み促進	自然なプロセスを刺激	天然由来成分	微生物農薬	
窒素固定	アミノ酸	植物抽出物	ウイルス	線虫
リン酸可溶化	有機酸	有機酸	原生生物	ダニ
難溶性カリ可溶化	微生物	伝達物質	細菌	昆虫
その他	植物・海藻抽出物		酵母	
			菌類	
			その他	

農薬を含む。2020 年 8 月 31 日現在、登録されている生物農薬の有効成分は 390 種類あり、生物資材は作物生育改善資材と生物防除資材に大きく分類される（表 1）。

その市場規模は、2023 年に 75 億 4000 万米ドルと評価され、2024 年の 87 億 3000 万米ドル、2032 年までには 286 億 1000 万米ドルに 3 倍以上と大きく成長すると予測されている（Fortune business insights）。

生物防除資材は、天敵を利用した天敵農薬と生物

農薬に分類され、そのうち微生物を利用する資材は『微生物農薬』と分類される。微生物農薬はウイルス、原生生物、細菌、酵母、菌類などを有効成分原材料にしている。

2019 年のレポートでは、世界の生物防除市場は年平均成長率 15 ～ 17% で成長していると報告されていたが、現在は 2023 ～ 2029 年にかけて成長率が鈍化すると推測されている。早期導入地域である米国と西 EU は成長率が他の地域よりも速いペースで鈍化している。米国は、Environmental Protection Agency（米国環境保護庁、EPA）が約 30 年前に専用の生物農薬部門を設立したことから恩恵を受け、2023 年に世界中の 36.6% の市場シェアを獲得し、最も大きな生物農薬市場に成長している。ブラジルでの最近の規制改革は、急速な市場拡大を促進するのに役立っているが、EU では特に微生物農薬にとって厳しい規制環境のままである（Dunham Trimmer's Global Biocontrol Report）。これまで自国に存在しない微生物を海外から導入することにハードルがあり、社会的なコンセンサスが得られていないためである。いずれにしてもグローバルでは大きな市場に拡大する流れが起きている。

3. 微生物農薬のメカニズム

微生物農薬のメカニズムは、病原体との直接的な相互作用・接触を伴う微生物防除剤と、病原体との接触を伴わない微生物防除剤の主な 2 つのカテゴリ

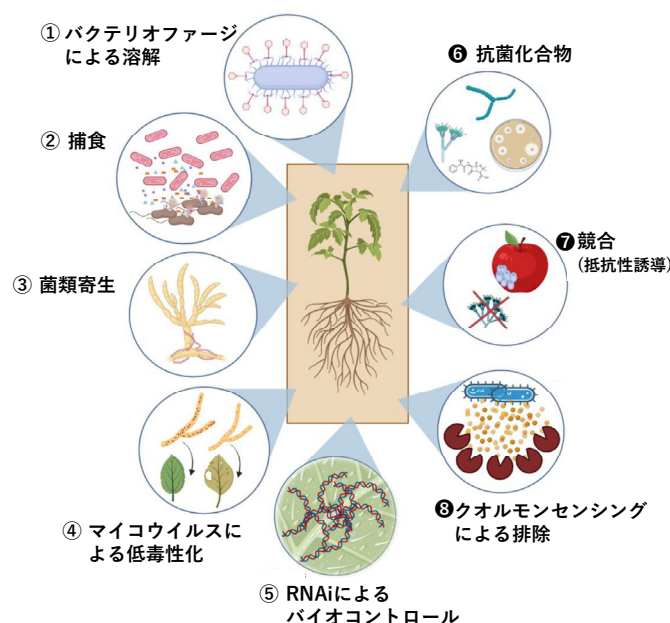


図 1. 植物病原菌を抑制する微生物農薬の様々な作用

(出典：Diversity 2023, 15(3), 457; <https://doi.org/10.3390/d15030457> Ecological Effects of Agricultural Practices on Terrestrial and Aquatic Environments)

表 2. 病原体との直接的な相互作用と接触を伴う微生物農薬

(出典：Dunham Trimmer's Global Biocontrol Report)

	作用機序	生物防除剤	病原菌	作物	参照
病原体との直接的な相互作用と接触を伴う微生物防除剤	①植物病原細菌の溶解	バクテリオファージ	<i>Pectobacterium</i> spp.	ジャガイモ	Zaczek-Moczydlowska ら、2020
			<i>Pectobacterium</i> 属、 <i>Dickeya</i> 属	ジャガイモ	Czajkowski ら、2015 Zaczek-Moczydlowska ら、2020
			<i>Pseudomonas syringae</i>	キウイフルーツ	ビニエイロら、2020
			<i>Pseudomonas syringae</i> pv. <i>syringae</i>	サクラ スイートチェリー	Rabiey ら、2020 アクババ、オザクタン 2021
			<i>Pseudomonas syringae</i>	トマト	ヘルナンデスら、2020
			<i>Streptomyces scabies</i>	ジャガイモ	ゴイヤー、2005
			<i>Clavibacter michiganensis</i>	トウモロコシ (種子)	Kimmelshue ら、2019
	②捕食	バンビロビブリオ・クロレラグォルス	<i>Chlorella vulgaris</i>	-	スーら、2015
		ビデロビブリオ バクテリオウイルス株 SOIR-1	<i>Xanthomonas campestris</i> , <i>Pantoea</i> sp., <i>Pectobacterium carotovorum</i> subsp. <i>brasiliense</i>	ジャガイモ タマネギ	オドゥーリら、2020 ユードケスら、2020
		ミクソコッカス・ザンサスR31 ミクソコッカス属 BS株	<i>Ralstonia solanacearum</i> , <i>Pectobacterium carotovorum</i>	トマト カラーリリー	Dong ら、2022 Li ら、2018
	菌食	サッカロミコプシス・スコニー ウィッカーハモミセス・アノマルス LBCM1105	<i>Penicillium digitalatum</i> , <i>Penicillium expansum</i> , <i>Monilophthora perniciosa</i>	オレンジ リンゴ カカオ	Pimenta ら、2018 Ferraz ら、2021
		③菌類寄生	<i>Pseudoidium neolycopersici</i> <i>Rhizoctonia solani</i> , <i>Botrytis cinerea</i> , <i>Sclerotinia sclerotiorum</i> , <i>Alternaria alternata</i> , <i>Fusarium</i> spp., <i>Pythium ultimum</i> などの卵菌類	トマト 多くの作物 うどんこ病	Némethi ら、2021 Druzhinina ら、2011
	④マイコウイルスによる低毒性化	マイコウイルス: SsHV1 および SsHV2	<i>Sclerotinia sclerotiorum</i>	-	シャーら、2014
	⑤RNA干渉 (RNAi) による植物病原体の標的遺伝子のサイレンシング	特定のdsRNA	<i>Botrytis cinerea</i>	トマト	ニーニョ・サンチェスら、2022

リーに分類される。

個別の防除メカニズムは、①バクテリオファージによる溶解、②捕食、③菌類寄生、④マイコウイルスによる低毒性化、⑤RNAi 農薬、⑥抗菌化合物、⑦競合（抵抗性誘導を含む）、⑧クオルモンセンシングによる排除の8種類に分類される（図1）。

4. 病原体との直接的な相互作用・接触を伴う微生物農薬（表2）

①バクテリオファージによる植物病原細菌の溶解

バクテリオファージは、生きた原核生物細胞（古細菌および細菌）に感染して複製するウイルスである。感染-複製-放出サイクルの持続時間はファージの種類によって異なるが、通常は1時間から2時間程度と短い。

ファージは原核細胞にしか感染しないため、人、動物、植物に対して無毒で無害であると考えられている。実防除の場合には複数のファージを混用するファージカクテルを利用することで耐性獲得や効果の安定性を保つと言われる。ペクトバクテリウム属菌によるジャガイモの軟腐病を抑制するには、6種のファージの混合物の施用がモノファージの施用よりも効果的であると報告されている。日本でも青枯病菌に感染するファージの登録が近年行われた（青枯革命、パネフリ工業）。

②捕食性細菌による細菌性病原体の破壊

細菌の中には、他の細菌を殺してその残骸を栄養源とする微生物捕食者として振る舞うものがあり、多様な環境から分離されている。

これらは多くの植物病原細菌や真菌の集団捕食者として機能し、環境ストレスに対して強い耐性を持っているため、植物病害の生物防除剤としての可能性が現在研究されている。菌食細菌のいくつかの種は、生きた菌類を栄養源として利用する菌食活性を示す。一部の酵母は、他の酵母や糸状菌を捕食する働きがあることも報告されている。日本での登録剤はない。

③菌類寄生

菌類寄生は、菌類が他の菌類に寄生する。生体栄養菌寄生を有する菌類は、有益な微生物叢に拮抗作用を及ぼさない安全な生物防除剤で、耐性病原菌株の発生リスクが低減される。日本ではミニタン WG（プロフィタ、石原産業）が登録された。

④マイコウイルスによる低毒性化

マイコウイルスは真菌に感染し、真菌の細胞内でのみ増殖するウイルスで、真菌の主要な分類群に広く分布している。現在、マイコウイルスを保持する低毒性株をベースにした生物防除製品は市販されていない。

表 3. 病原体との接触を伴わない微生物農薬

(出典：Dunham Trimmer's Global Biocontrol Report)

	作用機序	微生物防除剤	病原菌	作物	参照
病原体との接触を伴わない微生物防除	一次代謝産物による病原体の抑制	ラクトバチルス・プランタラムが生成する乳酸	<i>Pseudomonas syringae</i> pv. <i>actinidiae</i> , <i>Xanthomonas arboricola</i> pv. <i>pruni</i> , <i>Xanthomonas fragariae</i>	キウイフルーツ プルナス イチゴ	ダラナス ら、2019
	抗生物質による病原体の抑制	シュードモナス・プロテゲンスが産生するビオルテオリンおよび2,4-ジアセチルフログルシノール シュードモナス・フローレンス LBUM223によって生成されるフェナジン-1-カルボン酸 (PCA)	<i>Botrytis cinerea</i>	大麻	バルツァール ら、2022
	バクテリオシンによる病原体の抑制	バチルス・クラウジイ GM17によって生産される BacGM17	<i>Agrobacterium tumefaciens</i>	-	ムルード ら、2013
		バチルス・チューリゲンシスによって分泌される ツリシン Bn1 クルスダキ Bn1	<i>Pseudomonas savastanoi</i> , <i>Pseudomonas syringae</i>	-	ウグラス ら、2014
		バチルス・アミロリクアファシエンス FZB42によって産生されるアミロサイクリン	<i>Clavibacter michiganensis</i>	-	ショルツ ら、2014
		乳酸菌が生成する ナイシン	<i>Clostridium botulinum</i> , <i>Bacillus cereus</i> , <i>Listeria monocytogenes</i> , <i>Staphylococcus aureus</i>	-	バシナス ら、2013
	毒素による病原体の抑制	デバリオミセス・ハンセニイ M11a, <i>D. ハンセニイ</i> K12a, ウィッカーハモミセス・アノマルス BS91	<i>Monilinia fructigena</i> , <i>Monilinia fructicola</i>	核果類	グゼルゴルチク ら、2017
		シュアニモマイセス属、ガラクトマイセス族、ロドトルラ属	<i>Monilinia fructigena</i> , <i>Aspergillus niger</i>	リンゴ	マッドボリ ら、2020 チャネッカ ら、2019
		イサチェンキア・オリエンタリス株 17C2、16C2	<i>Aspergillus carbonarius</i> , <i>Aspergillus niger</i>	ブドウ	ブレーヴ ら、2006
	抗菌活性を有する揮発性有機化合物による病原体の抑制	バチルス属、エンテロバクター属	<i>Botrytis cinerea</i> , <i>Colletotrichum heterostrophus</i> , <i>Setosphaeria turcica</i>	タバコ トウモロコシ	チュン ら、2016 ブラシ ら、2020
		カンディダ サケ	<i>Penicillium expansum</i> , <i>Botrytis cinerea</i> , <i>Alternaria alternata</i> , <i>Alternaria tenuissima</i> , <i>Alternaria arborescens</i>	リンゴ	アラールテ ら、2017
		ヴィシュニアコジマ・ビクトリアエ	<i>Phlyctema vagabunda</i>	リンゴ	セブルベダ ら、2022
		オリプトコッカス・ローレンツィ 317、カンジダ・シフェリ 283	<i>Penicillium expansum</i>	リンゴ	ヴェロ ら、2002
	⑦ 資源をめぐる競合	ロドトルラ・グルティニスが産生するロドトルリン酸	<i>Penicillium expansum</i> , <i>Botrytis cinerea</i>	リンゴ	カルベンテ ら、2001 サンソネ ら、2005
		<i>Leucosporidium scottii</i>	<i>Penicillium expansum</i> , <i>Botrytis cinerea</i>	リンゴ	ペロ ら、2013
	⑧ クオラムセンシングシグナルの除去による毒性因子の阻害	メソヒゾビウム属およびリシニバチルス属によって生成される AHL ラクトナーゼ	<i>Pectobacterium carotovorum</i> subsp. <i>carotovorum</i>	ジャガイモ ニンジン キュウリ	マフムーディ ら、2011 ガーヂ ら、2016

⑤ RNAi 農薬

RNA 干渉 (RNAi) は、植物の病害虫を標的とする特異性を持つ生物学的防除法である。二本鎖 RNA (dsRNA) 分子を介してメッセンジャー RNA (mRNA) を分解することで遺伝子をサイレンシングすることができる。みどり戦略にも記載されているものの、大量生産性や登録制度の整備など課題は多い。

環境中での RNA の安定性は限られており、特に、紫外線、降雨、高湿度などの物理的障壁により、dsRNA が植物の葉に侵入するのが妨げられるので、特殊な製剤技術が試行されている。米国では GreenLight Biosciences が、コロラドハムシに対する製品 Ledprona を登録申請している。

5. 病原体との接触を伴わない微生物農薬 (表 3)

⑥ 抗菌化合物

微生物拮抗物質は、病原体の発達や病原体エフェクターを間接的に阻害することで、生物防除活性を発揮する。

- ・乳酸菌である *Lactobacillus plantarum* 株は、乳酸などによる抗菌活性、抵抗性誘導作用、競合が強く関与しているとされている。
- ・抗生物質は、微生物 (細菌または真菌) によって合成される低分子量の有機化合物であり、低濃度

で他の微生物を死滅させ、成長を阻害する。

抗生物質を生産することで植物病原体を阻害する能力がある細菌種は、異なる作用範囲を持つ化学的に多様な抗生物質を生産することが示されている。

- ・バクテリオシンは、リボソーム合成されたペプチドで、構造はバクテリオファージの断片のような構造を持つものもあり、様々なグラム陽性菌やグラム陰性菌によって分泌され、他の細菌、特に近縁種を排除する。日本ではバイオキパー水和剤がバクテリオシンを産生することが知られている。
- ・毒素は、60 年前に発見され感受性株に対して致死的な一部の酵母から分泌されるタンパク質である。
- ・抗菌活性を有する揮発性有機化合物 (VOC) は、低分子量で極性が低く蒸気圧が高い有機分子で、炭化水素、アルコール類、アルデヒド、チオエステル、フェノール、ベンゼン誘導体など、様々な分子クラスが含まれる。

⑦ 競合 (抵抗性誘導を含む)

限られた必須元素をめぐる競合により、微生物防除剤として明確な利点を持つ。いくつかの研究では、収穫後の病原菌の抑制はこの作用機序として報告されている。日本で利用されている微生物殺菌剤の多

表 4. 登録されている微生物殺菌剤（バチルス剤）

（出典：農薬要覧 2020）

登録年次	バチルス ズブチリスを成分とする殺菌剤 商品名【菌株名】	使用方法	成分量 cfu/g	出荷金額 (千円)	比率 (%)	備考	登録会社
1998	ボトキラー 水和剤【BM2】	散布・ダクト内投入	1×10^{11}	146,176	58.4	果実の汚れ注意 高温時は避ける	出光 日本農薬
2003	インプレッション水和剤【QST713】	散布	5×10^9	-	-	果実の汚れ	SDSバイオテック
2004	バイオワーク水和剤【Y1336】	散布・ダクト内投入	1×10^9	-	-		丸和バイオケミカル
2005	ボトピカ水和剤【MBI600】	散布	2×10^{11}	4,420	1.8		出光
	エコショットDF【D747】	散布	5×10^{10}	8,785	3.5	果粉溶脱の恐れ注意	クミアイ化学
2006	モミホープ水和剤DF【CGF2856】 バチルス シンプレクス	種子浸漬	1×10^{10}	3,255	1.3		セントラル硝子
2009	アグロケア水和剤【HAI-0404】	散布	5×10^9	20,650	8.3	果実の汚れが少ない 低温でも効果	日本曹達
	クリーンカップ水和剤 +銅【D747】（ケミヘルと同一）	散布	2.0×10^{10}	9,595	3.8	銅剤との混合剤	クミアイ化学
	クリーンフルピカ水和剤 +メバニピリム【D747】	散布	2.0×10^{10}	-	-	フルピカとの混合剤	クミアイ化学
2010	パチスター水和剤【Y1336】	散布	1×10^9	5,898	2.4	果実の汚れ注意	アリスタ
	クリーンサポート水和剤 +ポリオキシシン【D747】	散布	2.0×10^{10}	-	-	ポリオキシシンとの混合剤	クミアイ化学
2011	家庭園芸用インプレッション水和剤【QST713】	散布	5×10^9	1,104	0.4		SDSバイオテック
2012	セレナーデ水和剤【QST713】	散布	5×10^9	-	-		バイエル
	ケミヘル水和剤 +銅【D747】（クリーンカップと同一）	散布	2.0×10^{10}	-	-	銅剤との混合剤	アグロカネショウ
2014	インプレッションクリア水和剤【AT332】 バチルス アミロリクエファシエンス	散布	5×10^9	50,308	20.1	果実の汚れが少ない	SDSバイオテック 出光
合計				250,191	100.0	赤字：登録失効	

くがこの作用によると思われる。

⑧クオラルセンシングによる排除

微生物はクオルモンを産生して放出し、微生物集団の密度が増加するにつれて細胞外に蓄積する。クオルモン産生微生物は、特定の受容体を介してこれらの化学シグナルを蓄積し、最小閾値濃度に達すると遺伝子が発現し、特定の活動が誘導される。この活動制御を、クオラムクエンチング（QQ）と呼び、病原菌を死滅させるのではなく細菌同士のコミュニケーションを破壊することで発病を制御することを可能にする。

このように微生物殺菌剤は様々な作用での防除効果を発揮するが、海外ではバチルス属とトリコデルマ属の利用が市場を牽引しているので、主に⑦競合による薬剤が主流と思われる。

6. 日本の微生物農薬

日本の農薬登録制度では、農薬として登録された生きた生物を『生物農薬』と呼び、生物農薬は、「有害生物の防除に利用される、拮抗微生物、植物病原微生物、昆虫病原微生物、昆虫寄生性線虫、寄生虫あるいは捕食性昆虫などの生物的防除資材」と定めている（日本植物防疫協会『農薬用語辞典』2009）。農薬の有効成分として、微生物や昆虫などを生きた

状態で製品化したものを利用する生物として分類すると、天敵昆虫（捕食性昆虫、寄生性昆虫などで、捕食性ダニ類も含む）、天敵線虫（昆虫寄生性線虫、微生物捕食性線虫など）、微生物（細菌、糸状菌、ウイルス、原生動物など）がある。微生物を有効成分とするものを微生物農薬と呼ぶ。フェロモン剤、誘引剤や植物抽出剤を含めた場合は生物農薬等と表現している。

植物の病気を抑制する機能を持つ微生物の存在は意外と古くから報告があり、1930年代の *Trichoderma* 属菌、*Fusarium* 属菌、*Aspergillus* 属菌などの糸状菌を中心に研究が進み、その後、*Bacillus* 属菌や *Pseudomonas* 属菌などの細菌を用いた研究が行われた。

日本では、1954年に登録されたタバコ白絹病および腰折病を対象とする *Trichoderma* 属菌（有効成分 *Trichoderma lignorum*）を用いた製剤が初めて農薬登録を受けた。2020年には26品目が農薬登録されているが、登録失効した剤、製造中止した剤を除くと、実際に入手可能な製品は16品目である。

微生物殺菌剤は、2010年の8.5億円をピークに2019年には6億弱、殺菌剤総出荷金額における微生物殺菌剤の割合は0.7%ときわめて少ないのが現状である。出荷金額順では、ボトキラー水和剤を含むバチルス8剤で43.6%、バイオキパー水和剤（2022年製造中止）、ベジキパー水和剤（2022年

表5. 登録されている微生物殺菌剤（タロマイセス・トリコデルマ・その他）

（出典：農薬要覧 2020）

登録年次	商品名【菌株名】 タロマイセス フラバス含有殺菌剤	出荷金額 (千円)	比率 (%)	備考	登録会社
2001	バイオトラスト水和剤【SAY-Y- 94-01】	-	-	イチゴうどんこ病、炭そ病	出光
2007	タフブロック【SAY-Y- 94-01】	-	-	イネの種子消毒	出光
	タフパール【SAY-Y- 94-01】	-	-		
2010	モミキーパー【B-422】	-	-	イネの種子消毒	セントラル硝子
2012	タフブロックSP【SAY-Y- 94-01】	29,500	23.9	イネの種子消毒・生育促進	出光
2020	タフエイド【SAY-Y- 94-01】	-	-	イネの種子消毒	SDSバイオテック
登録年次	商品名【菌株名】 トリコデルマ アトロピリデ含有殺菌剤	出荷金額 (千円)	比率 (%)	備考	登録会社
2003	エコホープ【SKT-1】	-	-	イネの種子消毒	クミアイ化学
2004	エコホープドライ【SKT-1】	29,927	24.2	イネの種子消毒 土壌灌注	クミアイ化学
2007	エコホープDJ【SKT-1】	53,799	43.5		
登録年次	商品名【菌株名】 その他微生物殺菌剤	出荷金額 (千円)	比率 (%)	備考	登録会社
2002	マルカライト 【FPT-9601・FPH-9601】非病原性フザリウム オキシスポラム	-	-	サツマイモつる割病専用剤	エーザイ
2007	ミニタンWG 【CON/M/91-08】コニオチリウム ミニタンス	9,804	7.9	菌核病を捕食	石原産業
2008	フィールドキーパー水和剤 【CGF4526】バリオブラックス パラドクス	421	0.3	アブラナ科根こぶ病専用剤	セントラル硝子
	合計	123,451	100.0	赤字文字：登録失効	

製造中止)、マスタピース水和剤の3細菌病剤で31.5%、エコホープドライ、エコホープDJのトリコデルマ2剤で14.7%、この3分野で90%を占める。

販売量の多い薬剤は実際に利用されているということなので、それらを中心に説明していく。

7. 登録されている微生物殺菌剤(バチルス剤)(表4)

微生物農薬として利用されているバチルスズブチリスは、枯草菌として知られる納豆菌の近縁種で、土壌中や植物葉面や土壌中の自然界に普遍的に棲息する菌である。高温、乾燥などの過酷な環境に対して高い耐久性のある芽胞を形成することから、製剤化しやすいのも特徴になっている。ちなみに芽胞を殺菌するには、乾燥状態では180℃で20分程度、湿熱状態では高温高圧釜(レトルト)での121℃で15～20分の加熱が必要なほど耐性を持っている。多くの植物病原性糸状菌に対して拮抗作用を示し、作物葉上で物理的バリアーを形成し、植物病原菌の付着を阻止、空間・栄養の競合を起こす。植物病原菌の胞子発芽を停止させ、発芽管や菌糸成長を集団形成して破壊する。植物体の全身抵抗性誘導の報告もある。作用メカニズムは主に前述の⑦競合と考えられている。

販売量からみると、ボトキラー水和剤(バチルスズブチリス芽胞 1×10^{11} cfu/g:有効期限3年)と

アグロケア水和剤(バチルスズブチリス HAI-0404株の生芽胞 5×10^9 cfu/g:有効期限4年)、インプレッションクリア水和剤(バチルスズブチリス・アミロリクエファシエンス(以前はバチルスズブチリスとされていた) AT332株の生芽胞 5×10^9 cfu/g:有効期限3年)の3剤に限定される。

ボトキラー水和剤は、通常の水に希釈して散布する処理方法に加え、製剤そのものをダクト内に投入することで省力化を行うことができる。散布では果実の汚れが注意事項として記載されているのでダクト投入に注力した一因かもしれない。ボトキラー水和剤は紛体のまま温室のダクト内施用が可能で、水を使わないため温室内の湿度上昇を抑えられ、省力的に葉面への定着性を確保している。ただ、ダクトへの手投入を毎日行うのは面倒な側面があるので、ボトキラー水和剤専用の自動ダクト投入機を利用すれば省力で処理が可能である。しかし、この自動投入機は比較的高価で、通常数台必要なため、数十万円の初期投資が必要であることが普及を阻んでいる。そのため、積極的な技術指導者がいる地域(九州では宮崎県)のみの普及になっており、安価な散布機の提供が必要と思われる。

なお、化合物と微生物を混合した特殊な製剤「ハイブリッド農薬」(銅剤+バチルス剤等)も開発されたが、登録失効している。

アグロケア水和剤(HAI-0404)は低温でも比較

表 6. 登録されている微生物殺菌剤（細菌病害用）

（出典：農薬要覧 2020）

登録年次	商品名【菌株名】 細菌病用殺菌剤	出荷金額 (千円)	比率 (%)	備考	登録会社
1989	バクテローズ 【ストレイン 84】アグロバクテリウム ラジオバクター	494	0.2	リンゴの根頭がんしゅ病専用剤	日本農薬
1997	バイオキパー水和剤 【CGE234M403】非病原性エルビニア カロトポーラ	95,756	38.7	2022製造中止	セントラル硝子 日産化学
2001	セル苗元気 【FPT-9601・FPH-9601】シュートモナス フルオレッセンス	-	-	製剤がバルキーで製造、保管コスト増大	多木化学
	モミゲンキ水和剤 【CAB-02】パークホーデリア	-	-	パークホーデリア ビルレンティスに近縁	セントラル硝子
2002	セル苗元気 【FPT-9601・FPH-9601】シュートモナス フルオレッセンス	17,377	7.0	製剤がバルキーで製造、保管コスト増大	多木化学
2005	ベジキパー水和剤 【G7090 株】シュートモナス フルオレッセンス	68,008	27.5	2022製造中止	セントラル硝子
2006	エコメイト（バイオキパーと同一） 【CGE234M403】非病原性エルビニア カロトポーラ	-	-	2022製造中止	クミアイ化学
2013	マスタピース水和剤 【HAI-0804】シュートモナス ロデシア	66,088	26.7	細菌病	日本曹達
2015	ラクトガード水和剤 【BY】ラクトバチルス プランタラム	-	-	（販売不明）	明治
2024	青枯革命 【RKP181】青枯病菌感染性バクテリオファージ	未上市	-	野菜類青枯病専用剤 4℃3ヶ月保存 販売不明	パネフリ工業
申請中	エコアーク 【ARK-01】リゾビウム リティス	未上市	-	根頭がんしゅ病専用剤、販売不明	クミアイ化学
合計		247,723	100.0	赤文字：登録失効	

の効果安定していること、果実汚染が少ないのが特徴とされる。

インプレッションクリアは低温では効果が不安定になるので使用を避けるように指導されているが、インプレッション水和剤の製剤改良により果実汚染の低減がはかられている。

バチルス剤は、いずれも保存安定性に優れ有効年限が3～4年と長いので、一般農薬と同様の流通・保管の取り扱いができる。

8. 登録されている微生物殺菌剤（タラノロマイセス・トリコデルマ・その他）（表 5）

タラノロマイセス・トリコデルマ・その他の微生物殺菌剤の販売金額は、いずれも1億円に届かない。

タラノロマイセス含有の微生物殺菌剤では、これまでのタラノロマイセス・フラバス水和剤（タフブロック）を改良して化学合成農薬のように大量種子消毒が可能な製剤タフブロック SP が2012年に登録された。イネの種子消毒、育苗培土への土壌灌注で根に寄生することで糸状菌病、細菌病に効果を示す。現在普及している化学合成種子消毒剤の多くはエルゴステロール生合成阻害（EBI）剤であるが、一部薬剤に耐性菌の発生が報告されたことの対応や、成分カウント低減のために利用されている。有効期限は2年である。

トリコデルマ含有の微生物殺菌剤ではエコホー

プ、エコホープドライ、エコホープ DJ があるが同じ有効菌株 SKT-1 株を製剤改良したものである。エコホープは保冷流通、低温保管を必要とするが、エコホープドライは室温での流通・保存を可能とし、エコホープ DJ はさらに水に希釈調整した時の水和性、懸垂性を向上させた。種子消毒や育苗箱での微生物殺菌剤の利用は比較的環境制御が可能な分野なので、微生物の特性を活かしやすいと思われる。有効期限は6ヶ月とされているので製造からの使用時期は限定される。

この分野は、一般農薬の効果が非常に高いため、耐性菌対策以外には成分カウントを低減したいなどの目的を除き、効果を期待して積極的な微生物殺菌剤への変更はハードルが高い分野と思われる。

その他の微生物殺菌剤ではコニオチリウム・ミニタンスの胞子を製剤化したミニタン WG がある。ミニタンの作用メカニズムは前述の②菌食にあたり、土壌中の菌核病菌の菌核にのみ寄生し、菌核を崩壊、あるいは生育を阻害し、感染源である菌核の密度を減少させる。そのため、連続施用することで土壌中の菌密度が徐々に下がり、効果が高まる。本菌は低温には耐性があるが、8℃以上の高温暴露によって速やかに死滅する。そのため使用は夏期の高温時を避ける必要がある。製品の有効期限は4℃で5ヶ月である。

この分野は、SDHI 剤によるセル苗灌注処理登録

がなされ、その効果は非常に高いため、耐性菌対策以外に積極的な微生物殺菌剤への薬剤変更にはハードルが高いと思われる。

9. 登録されている微生物殺菌剤 (細菌病害用) (表 6)

植物の細菌病防除は、オキシリニック酸を主成分とする農薬や、銅剤、抗生物質剤等が登録されているのみで選択肢が少なく、連用すると耐性菌が懸念される⁽¹⁾ ので、注意を要する分野である。

バイオキーパー水和剤は、群馬県片品村のハクサイ葉面上で発見された野菜類の軟腐病菌であるエルビニア・カルトボーラの非病原性菌株を培養し、製剤化した微生物殺菌剤である。販売金額は1億円弱であり、その75%以上は北海道で使用されている。軟腐病はハクサイ、キャベツ、ダイコン、ニンジン、タマネギ、パレイショなど多くの野菜類に感染する細菌病で、北海道では微生物農薬の特性を理解し、効果的な利用方法を理解して活用されている。

収穫後の軟腐病による腐敗は製品の返品を伴う深刻なクレームになるため、特に高価格の生食用の夏ダイコンではポストハーベスト病害対策としても収穫直前に利用される。ダイコンの軟腐病発病は収穫直前や収穫後に被害が目立つようになるが、感染は初生皮層剥離期である播種後25～30日目に感染しやすいことが示された(北海道病害虫防除所)。そのため、それまでの防除時期より早い播種後25～30日後の生育初期に銅剤を散布し、その後にバイオキーパー水和剤を散布する防除体系が現地で確立された。生育後期に銅剤を使用すると薬害が発生することも防除体系に影響した。バイオキーパー水和剤は20年以上前から年次変動がなく出荷量が安定していることから、エコファーマー認定を取得した生産者にとっては、供給停止は大きな損失になる。本剤は殺菌活性のあるバクテリオシン産生(⑥抗菌化合物)、病原菌と⑦競合により効果を示すと考えられている。常温保存では6ヶ月、5℃以下では4年の有効期限である。(備考：2022年で製造中止)

ベジキーパー水和剤は長野県野菜花き試験場がレタス葉から発見したシュードモナス・フルオレッセンスを製剤化した微生物殺菌剤である。レタス・非結球レタスの腐敗病、キャベツ黒腐病、ブロッコリー花蕾腐敗病、ハクサイ黒腐病に登録があるが本剤に

は殺菌活性はなく、病原菌との⑦競合により効果を示すと考えられている。抵抗性品種との組み合わせを推進し、水に希釈後、上澄のみを利用する方法や展着剤を加用することで作物に対する汚れが回避できるなど、きめ細かい普及指導がなされた。常温保存では6ヶ月、5℃以下で4年の有効期限である。(備考：2022年で製造中止)

マスタピース水和剤は、静岡県のレストランから発見したシュードモナス・ロデシアを製剤化した微生物殺菌剤である。野菜類の軟腐病、キャベツの軟腐病・黒斑細菌病・黒腐病、レタス・非結球レタスの軟腐病・腐敗病・斑点細菌病、他に果樹を含め、17種もの多くの作物細菌病に対して登録がある。作物に対する汚れは少ない。常温保存では1年、4℃以下では4年の有効期限である。本剤には殺菌活性はなく、病原菌との⑦競合により効果を示すと考えられている。

販売量が多いバイオキーパー水和剤、ベジキーパー水和剤、マスタピース水和剤の3剤だが、前2剤が2022年に製造中止となったので、現在はマスタピース水和剤が唯一の細菌病防除可能な微生物殺菌剤となり、生産者への供給責任も一手に背負うことになった。

例えばブロッコリーで使用する場合、バイオキーパー水和剤は軟腐病のみ、ベジキーパー水和剤は花蕾腐敗病のみの登録であったので、2剤を混用して使用する必要があったが、幸いにもマスタピース水和剤は重要な2細菌病に登録を持つので1剤で対応が可能である。

エコークはブドウを含む複数の植物の根頭がんしゅ病防除用の微生物殺菌剤として開発中である。根頭がんしゅ病は病原菌であるリゾビウム(分類法によってアグロバクテリウムと称する場合もある)によって植物の根や茎などに「がんしゅ(癌腫)」と呼ばれるこぶを形成する病害で、果樹類、花卉類、野菜類で発病し、生育不良や、枯死の原因となる。リンゴではバクテローズが登録されていたが、ブドウでは世界初である。本病の防除法はこれまでほとんどなく、植付け前の根の浸漬で拮抗により効果を発揮する(2024.12現在。未上市)。

青枯革命は、青枯病細菌に感染する繊維状ファージで国内で初めて登録された。過去にも多くのファージが防除剤候補に上がったが、普及するかどうか今後の動

向を見極めたい（2024.12 現在。未上市）。

10. なぜ微生物殺菌剤が普及拡大しないのか？

持続可能な開発目標（SDGs）や環境への対応が重要だというグローバルな潮流を受け、みどり戦略でも示しているように、環境負荷を低減する方策として微生物農薬に追い風が吹いている。しかし、海外の微生物農薬の開発スピードに比較して、この20年の日本国内は足踏みが続いている。その理由は、現状の微生物農薬の販売量が増加しないため、マーケットが拡大しないと企業は判断し、積極的な研究開発投資に躊躇しているものと思われる。

これまでも微生物農薬が普及しない理由については多くの議論が行われている。例えば、20年前に行徳（2004）は日植防シンポジウム「生物農薬-この10年間と今後の展望-」にて普及における問題点を指摘している⁽²⁾。①生物農薬の高価格、②安定した効果を得るための技術、知識の必要性、③生物農薬を導入した時のメリットは何か？と言った点に言及している。生産者と対話をする、「効果ある薬は安いクスリ、効果がないのは高いクスリ」ということをよく耳にする。つまり費用対効果が見合っていればコストは納得するということであり、防除が成功すれば納得していただけることを示している。

さらに10年前、仲川（2015）はその10年後に行われた日植防シンポジウム「生物農薬-この20年の歩みと今後の展望-」で普及における問題点として、①拮抗微生物側の育種による高能力菌・広スペクトラム菌の開発、②効果安定のための連用、③化学農薬との組み合わせを指摘している⁽³⁾。微生物農薬は「高いくせに効かない」という辛辣な文言が残されている。一般的に病害の初発はなかなか気が付かず、発病に気づいた時には手遅れになりがちである。効

果の安定化のため化学農薬との混合剤のほか、ローテーション散布など体系防除の中での生物農薬の位置付けについて積極的に検討する必要があると記述している。

生物農薬が「高いくせに効かない」というイメージを植え付けられた背景には、農薬登録の評価時点で微生物農薬の特性を無視した一般農薬と同等の評価を行い、その結果をマイルドな効果などと表現したところから始まっているように思われる。本当は効果があるのに指導者が現場での微生物殺菌剤の活かし方を知らないだけなのだろう。

それから10年近く経て、今でも販売を続けている微生物殺菌剤は、市場の厳しい目に晒されて淘汰された姿と見える。

11. 処理方法の工夫

処理方法の工夫事例としては、ボトキラー水和剤はダクト投入という処理方法を武器にしている。ダクト投入に適するには粉塵性が高い製剤が必要だが、この特性は水に希釈する薬剤調整時には粉だちが起きやすいというデメリットが発生するので製剤としてバランスを保つ必要がある。ダクト投入のメリットは微生物殺菌剤の連続処理を可能にし、有効成分であるバチルス菌を栽培シーズンに合わせて葉面に定着させるのに役立つことである。

例えば、トマトの施設栽培で灰色かび病によるゴーストスポットの被害（図2）による良品率の低下に悩まされていた生産者に対して、IPMに基づいた防除の見直しを提案した。具体的には、現場を確認して灰色かび病の発生しやすい環境を指摘し、これまでの防除暦から薬剤耐性菌の可能性があったことから、耐性菌検定を行った。それを基にこれまでの防除からバチルス剤のダクト投入をベースに薬剤防除を組み立て直した。ダクト内投入に加え、耕種的防除（温室内の湿度調整、葉かき位置の改善等）、化学農薬の選択と散布時期の適正化を行った結果、以前は収穫果実の30%以上にも発生していたゴーストスポットが2～3%にまで低減した。ただ、ダクト内に自動投入する機械（きつつき君）のコストが高額であることは、普及の大きな障壁になっている。圃場試験時にはメーカーの協力で機械の賃貸を行ったが、試験後に生産者はコスト面で購入は断念した。安価な自動投入機の開発は必須である（図3）。

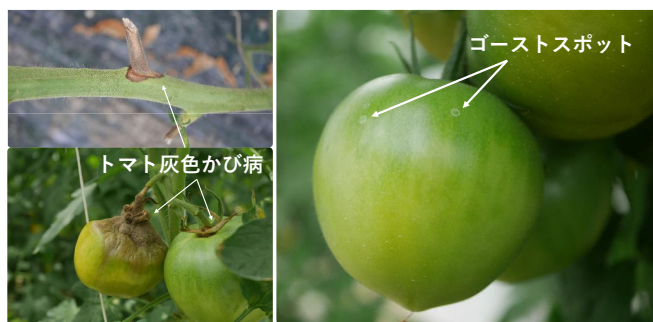


図2. トマト灰色かび病 ゴーストスポット

微生物殺菌剤導入のポイントは、必要があると判断した場合にはこれまでの化学農薬も継続することである。IPM の実践でよく見る大きな勘違いは、単純に化学農薬の使用量低減を目標にして失敗することである。あくまでも微生物農薬の利用は高品質で高収量を達成できるかを指標にすべきで、微生物農薬を利用すれば防除回数が下がるとか、環境負荷が低減されることを指標にすべきではない。IPM の実践はあくまでも経営的に評価しなければ継続性が失われる。

製剤の異なる他のバチルス剤や微生物殺菌剤でもダクト内施用での散布が可能なのかを試した試験事例もあり、その可能性が示唆されている⁽⁴⁾。

微生物殺虫剤であるボタニガード水和剤は、小型送風機（ブローア）を用いて水に希釈せず水和剤を粉状のまま散布する安価で省力的な風媒散布機の開発を行い、登録も拡大されたとの報告がある⁽⁵⁾。機材は軽量で薬液調整が不要なため、防除作業の負担が軽減できるという。このような取り組みはバチルス剤にも適用可能と思われるので、今後の普及に期待したい。

微生物殺菌剤が普及するには、単に成分カウントされないということではなく、生産者のニーズを満たしているのか？コンセプトがしっかりしていて一般農薬より魅力的なポイントがあるのか？ということではないだろうか？

12. 微生物殺菌剤の特性を活かす ポストハーベスト病害への対応

長野県の生産者から、慣行防除では出荷した収穫物がコールドチェーンで流通しても先方で発病を起

こす、いわゆるポストハーベスト病害に悩まされているとの相談を受けた。レタス腐敗病による被害であることを確認し、生育初期は薬害の心配の少ない銅剤を散布し、その後の対策としてバイオキパー水和剤、ベジキパー水和剤を散布することで圃場での発病をコントロールし、出荷後の腐敗クレームをも激減させることに成功した（図4）。その後両剤が製造中止で入手困難になったこと、軟腐病・腐敗病の両病害に1剤で効果のあるマスタピース水和剤の使用に切り替えたところ、圃場での病害発生頻度は減少し、ポストハーベスト病害のクレームもほぼ無くなったという。

圃場の一株に発病した腐敗病はその周辺に二次感染して蔓延することはなかった。発病した株の病斑はマスタピースを散布することで病斑が乾燥してしまいう現象を確認した。銅剤や合成殺菌剤を散布して病斑が抑えられた場合の病斑は乾燥せず、ある程度の湿り気を残した病斑となる。病斑が乾燥してしまいう現象は、植物側の過敏反応により病斑がコルク化するのではないかと推察した。発生時期・病徴から、病原菌は *Pseudomonas cichorii* と思われた。



図4. マスタピース水和剤によるレタス腐敗病防除



ダクト内投入機（きつつき君）



ブローア散布機（小型送風機と専用ノズル）

図3. バチルス剤処理の工夫（ダクト内投入・ブローア散布機）

出典：岐阜県農業技術センター 病理昆虫部

例えば、軟腐病菌は $1 \times 10^3 \sim 10^4$ fu/g 程度で発病に至るが、微生物農薬に含まれる菌量は水希釈調整されて 1×10^7 cfu/g 程度と 1,000 倍もの自然界では存在しない高濃度の菌と接触することになる。植物からすれば、病原菌でなくとも高濃度の菌と接触することは、微生物殺菌剤を異物として認識し、抵抗性誘導が起きることが想定され、特に細菌病害でそのような事例が報告されている⁽⁶⁾。

熊本県のレタス生産者でも同様に、収穫後のポストハーベスト病害に悩まされていたため、長野県の事例をもとに銅剤とマスタピース水和剤の体系処理と慣行防除との比較試験を行った。収穫後の追跡調

査を行ったところ、優位に銅剤とマスタピース水和剤の体系処理ではポストハーベスト病害の被害を抑制した。レタス腐敗病の病原菌は同定の結果、*Pseudomonas marginalis* であった（未発表）。

微生物殺菌剤の特徴は、収穫直前まで使用が可能で、収穫後にも「生きて」収穫物で病原菌の増殖を抑え続けると推測される。野菜類の軟腐病、レタス腐敗病など、合成農薬では散布後に葉面での濃度が低下していくのでポストハーベスト病害の対抗策として困難であったのに対し、収穫後にも効果を発揮する微生物農薬のメリットとして事例を積み上げて評価されるべきと考える。



石山ら(2023)植物防疫.Vol.77よりグラフ化

図5. キャベツ黒斑細菌病に対する体系防除の効果（2016 年 春まき作型）

13. 微生物殺菌剤の体系防除

微生物殺菌剤を利用するにあたり、重要なヒントになる防除体系について紹介する。

長野県野菜花き試験場の報告⁽⁷⁾では、マスタピース水和剤を連続で散布するよりも、銅剤散布の後にマスタピースを体系で利用することで防除効果がアップすることが示されている（図5）。微生物殺菌剤は一般殺菌剤と交互散布すると生菌が死滅し、効果が低減されると思い込まれ、使いこなすのが難しいと思われる場面がある。しかし、積極的に銅剤や合成農薬と微生物殺菌剤との防除体系を組むことは、むしろ防除効果の安定につながるという結果が得られている。この現象は、前述のようにバイオキパー水和剤、ベジキパー水和剤、マスタピース水和剤でも共通して経験してきた事例であり、微生物殺菌剤の具体的な推奨されるべき使用方法ではないと思われる。

詳細なメカニズムはまだ不明であるが、銅剤散布により葉面の微生物層に変化が起きて、その後にマスタピース水和剤を散布することで定着率が高まるのではないかと推察している。銅剤と微生物殺菌剤を交互に散布することはマスタピース水和剤に限らず葉面上の微生物層に対して普遍的な変化を惹起しているのではないかと考えている。

微生物殺菌剤の効果的な利用方法や適切な処理時期を考える上でのヒントになるとと思われる。

GSAC投与土壌の細菌叢の解析

GSAC投与土壌とネギ根圏土壌に集積する細菌群

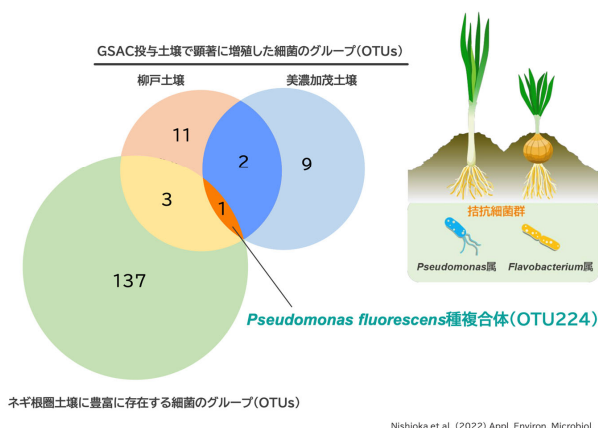


図6. GSAC によるフザリウム萎凋病抑止

14. 今後の微生物殺菌剤の方向と新たな試み

圃場で病害防除に活用できる新規な微生物農薬を発見し、「生きたまま」の保存安定性があり使いやすい製剤を改良し、流通に耐えられる製品にして登録、上市にまで育てるには多大な労力と経費が発生する。みどり戦略では、その可能性に期待しているのだが、現時点で販売して利用されている微生物殺菌剤の状況を見る限り、チャレンジする企業がどれほどあるのか疑問である。

重要な目指すべき目標は IPM 実践であり、化学農薬を単純に削減する「見かけだけの IPM」ではなく、現時点で登録されている微生物殺菌剤を使いこなし、結果的に化学農薬と微生物殺菌剤の合理的利用を行う「真の IPM 実践」を根付かせることにある。

現在、登録されている微生物殺菌剤を有効活用し、微生物殺菌剤の有用性を証明することが持続可能な開発目標（SDGs）や環境への対応が現実的な解答になるだろう。

現在、実践可能な手法は以下の2分野での実用性を各地で確かめてもらいたい。

(1) バチルス剤

安価なダクト投入装置やブロー散布機の工夫による処理方法の課題を解決し、微生物殺菌剤の利用をベースとする栽培を標準化すること。

(2) マスタピース水和剤

唯一の細菌病害登録剤となった本剤の銅剤等との体系処理の有効性の確認と、化学農薬が不得意なポストハーベスト病害への有効性

清水（2023）は土壌病害防除戦略として、特定の拮抗微生物を微生物殺菌剤として開発するよりも、土着の拮抗微生物の数や活性を高めることで土壌病害の発生を抑制する現象を確認した。フザリウム萎凋病抑止性を誘導する化合物としてγ-グルタミル-S-アリルシステイン（GSAC）であることを突き止めた⁽⁸⁾。GSAC を土壌に処理することで土壌細菌である *Pseudomonas fluorescens* 種複合体（OTU224）が増加し、糸状菌病害であるウリ類の萎凋病病原菌 *Fusarium oxysporum* が増殖、抑制される。古来、ネギ類作物の栽培後にウリ類作物を栽培すると土壌

病害が抑制されることをヒントにたどり着いた結果である（図6）。

仲川（2015）は拮抗微生物を用いて土壌病害防除を行う場合、土着の拮抗微生物（General antagonism）集団の活性を増強させて病害の発生を制御しようとする方策と、有用な特定の拮抗微生物（Specific antagonism）を直接的に導入して病害を防除しようとする方策の二通りの考え方があると指摘している⁽⁶⁾。

発病抑止土壌という言葉から多量の有機物を施用することで土壌微生物の多様性を上げれば理想とする土壌に近づくと提唱する考えがあるが、本質はそんなに単純な話ではなさそうだ。

清水（2023）の研究から土着の多種類の微生物集団をコントロールすることで、その場に住んでいた拮抗微生物集団の活性（菌密度）を高め、その結果として病原菌を抑え込むことが可能になるかもしれない。その場合には農薬の範疇で認知され、登録されるかどうかとも議論が必要と思われる。

病害の同定と微生物農薬の処理方法・時期の判断等ができる指導者の育成と指導体制の確立には、生産者と産官学の研究者が連携を密にした体制の整備が強く求められる。

15. まとめ

これまでの日本国内の微生物農薬の普及率が低い理由を様々な議論されてきたが、種子消毒やセル苗灌注など簡便な処理で、かつ薬量も少ない効率的な合成農薬の開発もあり、微生物殺菌剤を無理矢理選択する理由が見出せない分野があったことも否めない。

既存のある程度の普及が続く微生物殺菌剤は、市場の厳しい目に晒されて淘汰された姿と見える。どうして生産者に受け入れられ、どこを改善すれば利用してもらえるのかを考え、市場を拡大しない限り、新たな微生物殺菌剤を開発する力は生まれない。

バチルス剤はダクト投入、簡易な処理方法を改善し、適材適所を目指すべきだろう。細菌性病害は合成農薬の手薄な分野であり、かつ、ポストハーベスト病害にフォーカスして利用拡大することで役立つてほしい。

海外では、新規の活発な微生物農薬開発が続いている。農業生産者の間では *Burkholderia. cepacia* は植物成長促進菌として評価されている。この菌に

は土壌由来の経済的に重要な作物を病害から守る働きがある。また、キュウリなどの野菜類、豆類をはじめとする多くの作物を様々な糸状菌病害から守る。*B.cepacia* を使えば、農薬を使うよりも環境に優しいとして農業応用が特許申請されており、経済的、環境的利益は膨大であると考えられる。*B.cepacia* は土壌や湿ったところに住む環境細菌で、非常に厳しい環境にも適応し、もともと抗菌薬に多剤耐性である。1949年に *B.cepacia* によってタマネギ腐敗の原因として発見され、医療の現場では様々な感染症の原因として注目されるようになった。最近では院内感染の原因菌として、カテーテルを介した敗血症などを惹起し問題となっている。

もしも農産物に多用されるようになったらヒトがこの菌に暴露される機会も増える。高度に伝染力を持つ株が問題となるが、非常に大きく複雑で可変性に富むゲノムを持つ本菌からはこのような株がいつ発生するか予測がつかない。

故に、微生物殺菌剤や発病抑止土壌、バイオスティミュラントとしての活用は望ましくないと考える。

今後の微生物殺菌剤の農業生産貢献に期待する。

参考文献

- 1) 北海道病害虫防除所, (2001). オキシソニック酸水和剤に対するばれいしょの軟腐病の感受性低下.
- 2) 行徳裕, (2004). 日植防シンポジウム「生物農薬-この10年間と今後の展望-」講演要旨.
- 3) 小川奎, (1997). 微生物によって誘導される作物の病害抵抗性, 植物防疫, Vol.51-3.
- 4) 渡辺秀樹ら, (2006). 市販微生物農薬のダクト散布の適応性, 関西病虫研報, 48: 3-9.
- 5) 飯田祐一郎, (2020). 微生物殺虫剤を用いた野菜重要病害虫のデュアルコントロール技術の開発, イノベーション創出強化研究推進事業.
- 6) 仲川晃生, (2015). 日植防シンポジウム「生物農薬-この20年の歩みと今後の展望」講演要旨
- 7) 石山佳幸, (2023). 生物農薬を活用したブロッコリー花蕾腐敗病およびキャベツ黒斑細菌病の防除対策, 植物防疫, Vol.77-12.
- 8) 清水将文, (2023). 第4回 日本生物防除協議会オンラインシンポジウム, 土壌の病害抑止力を高める拮抗微生物集積誘導剤の開発に向けて.