

微生物農薬（病害防除剤）の特性および開発の現状

出光興産株式会社新規事業推進室 ^{かわ}川 ^ね根 ^{ふとし}太

はじめに

我が国で、現在登録されている病害防除を対象とした微生物農薬は本項で解説するバチルスズブチリスを含めて、トリコデルマリグノラム（タバコ：白絹病、腰折病）、アグロバクテリウムラジオバクター（バラ：根頭がんしゅ病）およびエルビニアカロトポーラ（ハクサイ、ダイコン、ジャガイモ：軟腐病）の4種の剤しかないのが現状である。しかしながら、近年、環境保全型農業の推進や社会的ニーズの変化から、「生きた生物」を農薬として利用する気運が高まるなか、細菌、糸状菌等の微生物を有効成分とする農薬開発は活発化しており、現在、農業登録に向けた実用化レベルの試験が行われている剤は10種以上ある（川根、1998）。

本項で解説するバチルスズブチリス水和剤は、細菌を有効成分とする日本初の灰色かび病防除（対象作物：ナス、トマト）のための微生物農薬として1998年に農業登録された。

その効果は、化学農薬とは異なる生物的作用によることから、化学農薬の使用において、しばしば問題となる「耐性菌の出現による薬剤の効果低下」に対しても、十分防除効果が期待できる。さらに、実圃場で本剤を使用することで、栽培環境を改善（耐性菌比率の減少、増加抑制）しつつ、化学農薬と微生物農薬の長所を生かした、効率的な灰色かび病防除法を確立していくことが可能である。

I バチルスズブチリス水和剤とは

1 有効成分および製剤について

(1) 商品名：バチルスズブチリス水和剤。

- (2) 有効成分（含有微生物）：細菌の一種、バチルスズブチリス (*Bacillus subtilis*, 和名：枯草菌)。
 (3) 有効成分の種類：バチルスズブチリス芽胞。
 (4) 有効成分の含有量： 1×10^{11} CFU/g。
 (5) 性状：類白色水和性粉末 100 μ m 以下。
 (6) 容器：アルミ蒸着ラミネートフィルム製袋。
 (7) 有効期間：製造月より3年、常温保存可。

2 適用病害虫と使用方法

バチルスズブチリス水和剤は、ナス、トマト灰色かび病防除用の微生物農薬であり、通常の化学農薬（水和剤）と同様、水で希釈し散布する（表-1）。

3 バチルスズブチリス水和剤の特徴

(1) 高い予防効果を示す

有効成分バチルスズブチリスが植物体表面に定着することにより、植物病原菌の植物体表面での活動を抑制する。

(2) 主な化学農薬と併用・混合散布できる

有効成分バチルスズブチリスは、微生物の生存に影響を及ぼす化学物質等の暴露に対して抵抗性を示す芽胞の状態で生存する。したがって、バチルスズブチリス水和剤はナス、トマトに登録のある主な殺菌剤、殺虫剤と併用・混合散布が可能である（(社)日本植物防疫協会、1999）。

(3) 耐性菌にも効果がある

化学農薬とは全く異なる生物的作用性から、化学農薬に対し感受性が低下した植物病原菌（薬剤耐性菌）にも効果がある。ジェットフェンカルブ混合剤耐性菌が出現している圃場での防除試験において、ジェットフェンカルブ混合剤単用に比べ、バチルスズブチリス水和剤単用、または、バチルスズブチリス水和剤とジェットフェンカ

表-1 適用病害の範囲および使用方法

作物名	適用病害名	希釈倍数 (倍)	10 a 当たり 散布液量	使用時期	総使用回数*	使用方法
ナス トマト	灰色かび病	1,000	150~300l	開花期~ 収穫前日まで	8回	散布

* 本剤およびその有効成分を含む農薬の総使用回数の制限を示す。

表-2 ジェトフェンカルブ混合剤耐性菌出現圃場でのトマト灰色かび病防除効果（鹿児島県農業試験場，1988）

供試薬剤	希釈倍数	防除値(%)
バチルスズブチリス水和剤 単用	1,000倍	81.5
バチルスズブチリス水和剤 併用(前半2回)	1,000倍	81.5
チオファネートメチル・ジェトフェンカルブ水和剤	1,000倍	66.7

散布：4回（2/23，3/2，3/9，3/16），発病：少発生（無処理：発病果率6.2%）。

ルブ混合剤との併用において安定した防除効果が確認されている（表-2）。

（4）保存性に優れる

有効成分芽胞は，乾燥に強く，常温で3年間安定に生存する。

II 有効成分とその性質

バチルスズブチリス水和剤の有効成分は，バチルスズブチリス芽胞である（以下，バチルスズブチリス水和剤に含まれるバチルスズブチリス菌株を，有効成分バチルスズブチリス，または，有効成分芽胞と表記する）。

バチルスズブチリスは土壌性芽胞細菌であり，植物体表面からも普遍的に分離されるなど，自然界に普遍的に棲息する微生物である。植物体表面には多種類の微生物（葉面微生物：糸状菌，細菌，酵母等）が棲息している（LEBEN, 1965; BLAKEMAN, 1985）。これらの葉面微生物は，栄養物の摂取方法により，一般的には腐生菌（saprophyte），共生菌（symbiont）および寄生菌（parasite）に分けられている。その中で，バチルスズブチリスは腐生菌に属し，植物組織の自然開口部（気孔，水孔，植物の細胞表面にある無数の穴：エクトデスマータ），表皮細胞のくぼみおよび毛茸の基部などに棲息する。バチルスズブチリスは，そこで植物組織の自然開口部から分泌される代謝物，葉面上で生活する昆虫類の排泄物，花粉などを栄養物として利用しながら生存している（BLAKEMAN, 1985）。

また，芽胞は，硬い外殻をもった耐久体であり，温度や乾燥，貧栄養状態など劣悪な環境から自己防衛的に生命体を守っている状態といえる。

バチルスズブチリス芽胞は生育条件が整えば発芽し，栄養体細胞となって分裂を繰り返す（蜂須賀，1988）。そして，生育条件が悪くなると，菌体内に芽胞を形成し耐久体となって生存する。生育環境が好転すれば，芽胞

表-3 葉面での植物病原菌に対する拮抗微生物の作用機作

拮抗微生物	生息場所	植物病原菌のタイプ	作用機作
細菌	宿主葉面 または外来	非特異的および特異的な壊死性病原菌 日和見的な病原菌	・寄生 ・抗菌物質生産 ・栄養物接種競合 ・寄生 ・抗菌物質生産
酵母	宿主葉面	非特異的な壊死性病原菌	・栄養物摂取競合
糸状菌	宿主葉面 または外来	非特異的および特異的な壊死性病原菌 日和見的な病原菌	・寄生 ・抗菌物質生産 ・栄養物接種競合 ・寄生 ・抗菌物質生産

は発芽し細胞分裂を再開する。有効成分芽胞の発芽，細胞分裂は，10～50°Cの温度範囲で起こることから，バチルスズブチリス水和剤は，10～50°Cの温度範囲で働き，効果を発現することとなる。

III 作用機作

葉面微生物が植物病原菌に対して示す拮抗作用には，幾種類かの作用機作が考えられている（BLAKEMAN, 1985; 表-3）。最も重要と思われる作用機作は，植物体表面での感染部位の獲得競合（棲息場の奪い合い）であり，同時に，そこで生じる栄養物の摂取競合（栄養物の奪い合い）である。

バチルスズブチリス水和剤は，農薬登録上，殺菌剤に分類されるが，有効成分バチルスズブチリスは，灰色かび病菌（*Botrytis cinerea*）に直接的に作用し，死滅させるといった，いわゆる，殺菌剂的な力には乏しい。有効成分バチルスズブチリスの灰色かび病防除の作用機作は，有効成分の動態解析（電子顕微鏡での葉面定着状況観察等）から，主に，植物体表面での植物病原菌との棲息場および栄養物の奪い合いにより生じていると推察された。簡単に言えば，「先に住み着いて，後から来る病原菌を排除する（植物体をガードする）」ということになる。

このような作用機作は，一見，バチルスズブチリス水和剤が，灰色かび病だけでなく，その他種々の地上部病害に対しても，効果を発揮してくれるのではないかと期待を抱かせる。しかし，その効果発現には，植物体表面で有効成分バチルスズブチリスが活動し，植物病原菌よりも先に定着することが必要となる。

また，有効成分バチルスズブチリスの植物体表面での活動は，植物の部位によっても異なる。環境変化（乾

燥)の影響を受けやすい葉、茎部より、部位構造上、結露水の滞留時間が長い花卉部において、有効成分バチルスズブチリスの活動はより活発となる。花卉部は灰色かび病の一次感染部位であり、バチルスズブチリス水和剤が灰色かび病に対して安定的な効果を発現する理由は、この性質によるものと考えられた。

IV 植物体上での定着性

植物体表面で定着した有効成分バチルスズブチリスは、数か月にわたり安定的に生存することが(社)日本植物防疫協会研究所でのトマト、ナス生残性試験結果より明らかとなっている。芽胞は、紫外線暴露、乾燥といった悪環境に抵抗性をもっているが、発芽状態あるいは栄養体細胞では抵抗性がない。有効成分バチルスズブチリスが定着する植物体表面は、必ずしも栄養状態が良好ではなく、むしろ、貧栄養の状態であると推測される。貧栄養状態では、有効成分芽胞の一部のみが発芽、増殖し、他の大部分の芽胞は休眠状態で生存する。この性質は、環境中で安定的に生存していくためには極めて有利な性質である。急激な環境変化により活動中の栄養細胞が死滅したとしても、大部分は芽胞のまま依然として生存し、次の活動機会(環境の好転)に対して備えていることになる。

ナス、トマト等果菜類の灰色かび病は、花卉あるいは

花卉残渣からの感染により果実に多大な被害を及ぼす。バチルスズブチリス水和剤を散布し、有効成分バチルスズブチリスを開花した花卉表面に定着させることにより、その花卉は継続的に灰色かび病から保護され、果実の灰色かび病の発生は抑制されることとなる。化学農薬の有効成分が散布後、時間経過とともに分解を受け、有効濃度を維持するために繰り返し散布が必要であるのとは対照的といえる。

しかしながら、有効成分バチルスズブチリスは、既に感染して植物組織内に進入した灰色かび病菌を排除することはできない。また、有効成分バチルスズブチリスは、植物体表面を移動する性質もなく、植物全体を保護するためには植物の伸長に応じたバチルスズブチリス水和剤の定期的な散布が必要となる。

V バチルスズブチリス水和剤を組み入れた体系防除

灰色かび病は、薬剤耐性発達が顕著な病害であり、実用的な抵抗性品種はなく、防除は薬剤に頼らざるを得ない。そのような状況の中、薬剤の繰り返し散布により、薬剤耐性の問題が生じている。

薬剤耐性菌(耐性菌)の発生メカニズムとしては、①植物病原菌体内への薬剤の取り込み量の減少、②取り込んだ薬剤の分解能力の増大、③薬剤と菌体内の作用点と

試験区	散布月日								
	4/13	4/23	4/30	5/11	5/19	5/26	6/2	6/9	6/16
体系区1	BS	BS	BS	TD	BS	F	BS	F	BS
体系区2	BS	BS	BS	TD	F	F	BS	BS	BS
対照区(慣行の散布)	TD	F	P	TD	F	P	TD	F	P
無散布区	—	—	—	—	—	—	—	—	—

BS:バチルスズブチリス水和剤1,000倍, TD:チオファネートメチル・ジエトフェンカルブ水和剤1,500倍, P:プロシミドン水和剤1,500倍, F:フルジオキゾニル水和剤1,500倍(大阪府立農林技術センター, 1998)。

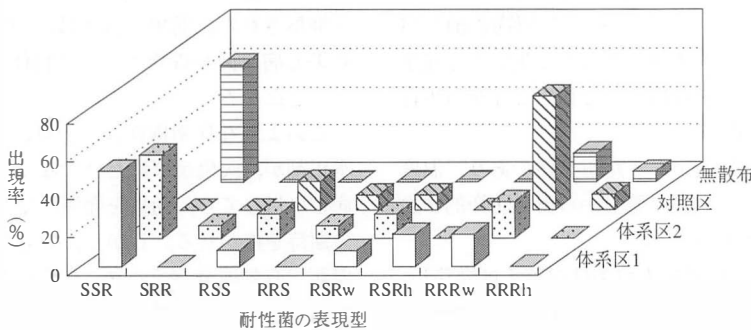


図-1 バチルスズブチリス水和剤を組み入れたナス灰色かび病体系防除での耐性菌の発生抑制

の親和性の低下が考えられる。特効薬として使用されていたベンゾイミダゾール系殺菌剤や、ジカルボキシイミド系殺菌剤の耐性菌は既に全国でまん延しており、耐性菌の切り札として登場したジエトフェンカルブ混合剤にも耐性菌の発生が報告され、年々その比率は高まっている。耐性菌の発生は薬剤の使用回数と関係しており、耐性菌対策としては、①防除効果の低下が大きい圃場での使用を中止し、耐性菌比率が低下するのを待つ、②耐性菌比率が低い圃場でも、使用は菌密度の低い初発時にとどめ、保護殺菌剤と混用する、③耐性菌の発生がない圃場では、保護殺菌剤との混用、または作用性の異なる薬剤との体系散布により、耐性菌の発生を未然に防ぐといったことが提唱されているが、これといった決め手がないのが現状である。

バチルス ズブチリス水和剤は、生物剤でありながら、主な化学農薬との併用・混用ができることから、従来の化学農薬による慣行防除に容易に組入れることが可能である。1996年から98年の3年間にわたる大阪府立農林技術センターでの体系防除試験の結果から、バチルス ズブチリス水和剤を体系防除に組入れることにより、耐性菌の顕在化が抑えられることが明らかとなった。化学農薬の体系散布では、結果的に、防除効果は得られるものの、複合耐性菌の発生を助長し、将来的に防除を困難にする可能性が示唆された。これに対して、化学農薬の散布をバチルス ズブチリス水和剤に置き換えた体系区では、耐性菌の割合は少なく、感受性菌が半数を占めた（岡田，1998；図-1）。この結果は、体系防除にバチルス ズブチリス水和剤を組入れることにより、防除上、農薬散布の効果が上がりやすい状態を維持することが可能となり、防除がより容易になる可能性を示唆している。

バチルス ズブチリス水和剤の使用は、環境保全、安全性といったニーズに対応するために、単に化学農薬と置き換えることにのみメリットがあるのではなく、むしろ、バチルス ズブチリス水和剤を使用することで、栽培環境を改善（耐性菌比率の減少、増加抑制）しつつ、化学農薬と微生物農薬の長所を生かした、効率的な灰色かび病防除法を確立していくというところにある。今後、バチルス ズブチリス水和剤は、耐性菌対策に苦慮している地域での灰色かび病制御に欠かせない、重要な剤の一つとして位置付けられるであろう。

おわりに

バチルス ズブチリス水和剤の有効成分であるバチルス ズブチリスは、拮抗微生物としては一般的な微生物である。種々の植物病原菌の生物的防除へのバチルス ズブチリスの利用・検討は、数多くの研究者により古くから行われており、その作用機作は、バチルス ズブチリスの産生する抗菌物質によるものと考えられている（VANITTANAKOM et al., 1986；LOEFFLER et al., 1986；SHARON et al., 1954；MAJUMDAR and BOSE, 1958；VASUDEVA et al., 1958；GOORANI et al., 1976）。しかし、これまで、これらの研究成果が、実用的な生物剤の開発に結びついているとは言い難い。バチルス ズブチリス水和剤は、その作用機作の主体が抗菌物質による植物病原菌への直接的な作用ではなく、棲息場・栄養競合である。バチルス ズブチリス水和剤は、実際の防除現場で十分使っていけるポテンシャルをもっている。バチルス ズブチリス水和剤の効果の高さ、安定性は、有効成分バチルス ズブチリスの環境中での良好な定着能力に起因していると考えている。

現在、バチルス ズブチリス水和剤は、ナス、トマト灰色かび病害に加えてイチゴ灰色かび病害、うどんこ病害に対し適用病害の範囲を拡大している。うどんこ病害は、有効成分バチルス ズブチリスの定着能力からすると、効果を発現しにくい対象であると考えられるが、イチゴでは十分効果を出している。ここには、効果発現と対象作物の栽培条件との間に密接な関係が存在しており、生物的防除ならではの効果の出方といえる。生物剤を上手く利用していくための一つの視点を示唆するものである。

引用文献

- 1) 川根 太 (1998) : ECO INDUSTRY 3(9) : 5.
- 2) (社)日本植物防疫協会編 (1999) : 生物農薬ガイドブック, (社)日本植物防疫協会, 東京, p. 158.
- 3) LEBEN, C. (1965) : Ann. Rev. Phytopath. 3 : 209.
- 4) BLAKEMAN, J. P. (1985) : Biological Control on the Phylloplane, APS Press, USA, p. 6.
- 5) 蜂須賀養悦 (1988) : 芽胞学, 東海大学出版会, 東京, p. 2.
- 6) 岡田清嗣 (1998) : 私信.
- 7) VANITTANAKOM, N. et al. (1986) : J. Antibiot. 39 : 888.
- 8) LOEFFLER, W. et al. (1986) : Phytopath. Z. 115 : 204.
- 9) SHARON, N. et al. (1954) : Nature 174 : 1190.
- 10) MAJUMDAR, S. K. and S. K. BOSE (1958) : ibid. 181 : 134.
- 11) VASUDEVA, R. S. et al. (1958) : Ann. Appl. Biol. 46 : 336.
- 12) GOORANI, M. A. et al. (1976) : Phytopath. Z. 85 345.