

バチルス ズブチリス水和剤のダクト内投入の開発と普及

出光興産株式会社 ^{かわ}川 ^ね根 ^{はとし}太

はじめに

バチルス ズブチリス水和剤 (IK-1080 水和剤) は、1998 年、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: トマト, ナス) のための生物農薬として、「ポトキラー®水和剤」の商品名で農薬登録された。

現在、バチルス ズブチリスを有効成分とする生物農薬は 5 剤の農薬登録があり、対象作物は野菜類、果樹、花き、対象病害は灰色かび病だけでなく、野菜のうどんこ病、葉かび病から果樹の灰色かび病、灰星病、黒星病まで拡がりを見せている。

バチルス ズブチリス水和剤は、生物剤でありながら耐久性のある芽胞を有効成分とするため保存性に優れるとともに、化学農薬との併用が可能な使いやすい生物農薬である。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素材として現場で使用されている。

さらに、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、化学農薬と生物農薬の長所を活かした、効率的な病害防除法 (体系防除) が栽培地域、作物、作型の特性に応じて確立され、成果を挙げている。

本稿で解説するバチルス ズブチリス水和剤の「ダクト内投入」散布法 (以下、ダクト内投入) は、今後、生物農薬の普及を拡大していくための基盤技術として期待されている。

I ダクト内投入

ダクト内投入は、出光興産 (株) と岐阜県で共同開発され、2003 年バチルス ズブチリス水和剤 (ポトキラー水和剤) で従来にない新しい農薬散布方法として農薬登録された。

Development of a New Dusting Method for *Bacillus subtilis* Wettable Powder through Ducts to Control Gray Mold Disease.
By Futoshi KAWANE

(キーワード: 生物防除, バチルス ズブチリス, IK-1080, 灰色かび病, ダクト内投入)

ダクト内投入は、水を使用しない散布方法であるため、施設内の湿度が上昇し、発病を助長するといった危険が少なく、また、有効成分バチルス ズブチリス芽胞が作物表面で、増殖・定着するという特性を活かした、全く新しい概念の病害予防法である。

ダクト内投入の詳細に入る前に、本技術の原理を理解するうえで重要なバチルス ズブチリス (IK-1080: ポトキラー) 水和剤の有効成分バチルス ズブチリスの性質について述べる。

1 バチルス ズブチリス水和剤

(1) 有効成分バチルス ズブチリスの特性 (川根, 2000 a; 2000 b)

バチルス ズブチリス水和剤 (ポトキラー水和剤) の有効成分は、バチルス ズブチリス IK-1080 芽胞 (以下、有効成分バチルス ズブチリス) である。

一般に、バチルス ズブチリスは土壌生息性芽胞形成細菌であり、植物体表面からも頻度高く分離されるなど、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。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: エクトデスマーカ), 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。

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。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。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、芽胞は発芽し細胞分裂を再開する。発芽、細胞分裂は 10 ~ 50℃ の温度範囲で起こる。

(2) 作用機作 (川根, 2000 a; 2000 b)

葉面微生物が植物病原菌 (以下、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。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争（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争（栄養物の奪い合い）である。

葉面微生物のある種のもの（*Bacillus cereus*）は、葉面上の灰色かび病菌胞子の発芽抑制および発芽管伸長抑制を引き起こす。同様の作用が、有効成分バチルスズブチリスでも観察されており、その作用は芽胞より栄養細胞で顕著であった。しかしながら、バチルスズブチリス水和剤の灰色かび病防除の作用機作は、有効成分の動態解析から、主に、植物体表面での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考えられた。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。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、いわゆる殺菌剤の力には乏しいということがいえる。実際、有効成分バチルスズブチリスを定着させたトマト花卉部では、*Alternaria* 属菌および *Cladosporium* 属菌が主な菌叢となり、他の糸状菌はほぼ排除される現象が観察される（田口ら、2003 a；2003 b）。

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り、わずかな菌量であっても花卉上で増殖し、増えていくことが確認されている（田口ら、2003 a）。灰色かび病を防除するうえで、この一次感染部位である花卉部を灰色かび病菌の感染から守ることは重要なポイントとなる。

（3）植物体上での定着性（川根、2000 a；2000 b）

植物体表面で増殖し、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。実験的に、貧栄養状態での有効成分芽胞の発芽、増殖を観察すると、一部の芽胞のみが発芽、増殖し、他の大部分の芽胞は休眠状態で生存することが明らかとなった。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、大部分は芽胞として依然として生存し、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、花卉あるいは花き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、果実へ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。

2 ダクト内投入

（1）ダクト内投入の適用病害虫

バチルスズブチリス水和剤ダクト内投入の適用病害虫は、野菜類およびシクラメン灰色かび病である。現在、花き類灰色かび病適用拡大申請中である。

（2）ダクト内投入とは（川根、2004）

バチルスズブチリス水和剤の有効成分バチルスズブチリスはトマトなどの花卉で増殖することが確認されている（田口ら、2003 a）。しかし、有効成分バチルスズブチリスは移動性に乏しいため、新たに生育した葉、茎および花卉に連続的に散布する必要がある。実際の現場において、「発病前から定期的にムラなく」散布することは、通常の水和剤散布では散布のタイミングが計れない場合が出てくる。その問題を解決するのがダクト内投入である。

ダクト内投入では、毎日、有効成分バチルスズブチリスを散布するため、新たに生育した葉、茎および花卉に連続的に散布することが可能である。施設内に設置された暖房機を利用し、水和剤散布1回分の薬剤量を1か月の期間をかけて毎日少量ずつ（薬液散布の1/20～1/30量、10 a 当たり 10～15 g）粉のままダクト内に投入し（図-1）、送風により施設内全体に飛散・循環させる散布方法である。これは、植物体表面に付着した有効成分バチルスズブチリスが「増殖・定着する」という特性を生かしたバチルスズブチリス水和剤ならではの散布方法であり、全く新しい概念の病害予防法である。

実際の現場では、設置されているダクトをそのまま利用できる施設もあるが、近年ダクトレスの暖房機が設置してある圃場や、ダクトの配置方法および吐出口の位置が適正でない場合もある。施設内全体に均一な散布がされないと十分な効果が得られないので、ダクトの配置や吐出口の作成など事前の準備が必要である。具体的には、施設内周囲の親ダクトの配置、畝間への子ダクトの配置、および各々のダクトに3 m 間隔に上向きに吐出口（直径3～5 cm、吐出口の風速8 m/s以上）をあけることである。これに循環扇を併用すると効果が安定する（図-2）。

また、暖房機の稼働時間が170分/日を超している場合は効果が安定する。暖房機の送風機能のみを使用して散布する場合は、無人状態で1時間に20～30分程度を10回繰り返して稼働すると効果が安定する。これより短い散布時間では効果が出にくい。特に、ナスのうどん

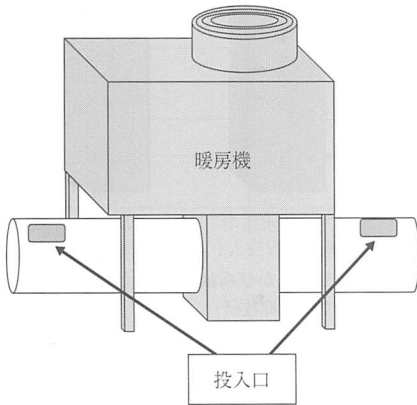


図-1 「ダクト内投入」投入口の作製位置

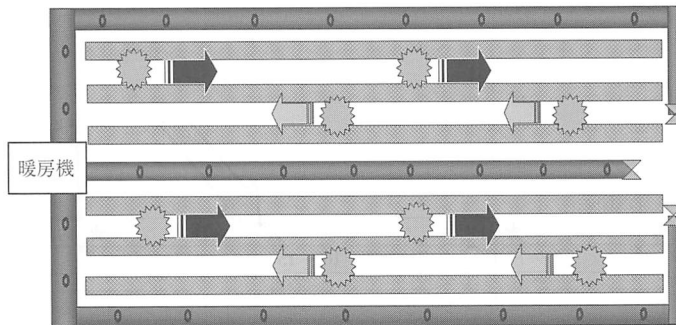


図-2 循環扇と組み合わせたダクトの配置例

ダクトは周囲に主ダクト、中央に枝ダクトとし、循環扇を配置、ダクトには上向きに吐出口を約3 m 間隔にあける。手前は少なく先端は多く、口の直径は3～5 cm、風速は8～10 m/s以上に、主ダクトと枝ダクトの先端は絞ら込む。

こ病やすすかび病に対しては散布回数が多いほどよい。

(3) ダクト内投入の特長（川根，2004）

① バチルス ズブチリス水和剤を毎日飛散・循環させることにより、有効成分バチルス ズブチリスが灰色かび菌より先に確実に植物体表面へ定着し、連続的かつ継続的に植物体表面の栄養源および生息の場所を占拠する。その結果、予防のタイミングを逃すことがなく安定した発病予防効果を発揮する（図-3，4）。

② 水を全く使わない散布方法のため、薬剤散布時に問題となる施設内の湿度上昇に伴う発病助長の危険性が少ない。また、水和剤散布時に気になる作物に対する汚れはほとんどない。

(4) ダクト内投入を組入れた防除例

バチルス ズブチリス水和剤の特性より、ダクト内投入を成功させるためには、基本事項として下記3項目が前提となる。

① 早く開始する

発病前から、また、暖房開始期からダクト内投入を開始する。

② 継続する

暖房期間中（数か月間）継続し、灰色かび病の出にくい施設環境を維持する。

③ 耕種の防除・体系防除と組み合わせる

バチルス ズブチリス水和剤には殺菌治療効果は期待できないため、灰色かび病が発生しやすい時期には定期的に化学農薬を散布し、病原菌密度を下げる。

具体的に一般的な冬春作トマトの例で上記3項目を示すと、さらに、次の五つのポイントが重要となってくる（図-5）。

ポイント1：ダクト内投入開始直前に、化学農薬を散

布し灰色かび病菌の密度を下げる。

ポイント2：暖房期間中は、ダクト内投入を継続し、灰色かび病の出にくい施設環境を維持する。

ポイント3：灰色かび病の発病が認められたら、直ちに化学農薬を散布する。

ポイント4：作期全般にわたり、除湿運転や葉かき・花がら・古葉の除去など耕種の防除に努める。

ポイント5：夜間、暖房機の稼動時間が短くなる3月中下旬以降は、ダクト内投入から薬剤散布に切替え、化学農薬との体系防除を強化する。

以上、五つのポイントに留意し、ダクト内投入を継続することで、灰色かび病が出にくい施設環境が維持され、発病条件が揃っても急激な発病は抑えられ、結果的に、化学農薬の使用頻度を最低限に抑えていける可能性が高くなる。

ダクト内投入は、暖房機により施設内を加温する作型で適用される技術であるため、冬春作を対象として普及

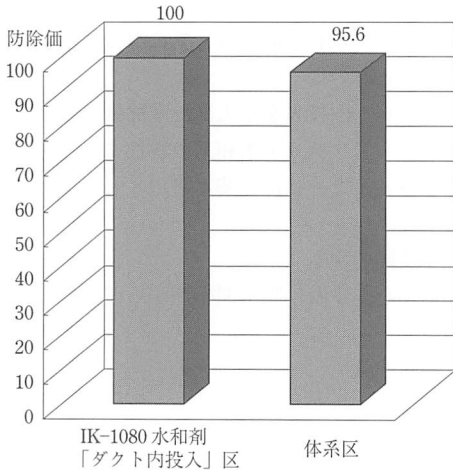


図-3 トマト灰色かび病試験成績 (2001年度日植防委試験；岐阜植防)

作物：トマト (品種：ハウス桃太郎)。暖房機：ネボン社製NK-4020 (11月：12℃, 12～2月：10℃, 3月以降：12℃)。処理：ボトキラー「ダクト内投入」区：10g/10a/日。体系区：11/3 (T), 12/1 (M), 1/5 (I), 2/2 (F), 2/16 (T), 3/9 (TD), 3/16 (S), 4/6 (F)。T：TPN, M：メバニピリム, I：イプロジオン, F：フルジオキシニル, TD：チオファネートメチル・ジエトフェンカルブ, S：スルフェン酸系。調査：3/24に発病果率を調査。病害発生：少発生。薬害など：薬害, 汚れともに見られなかった。

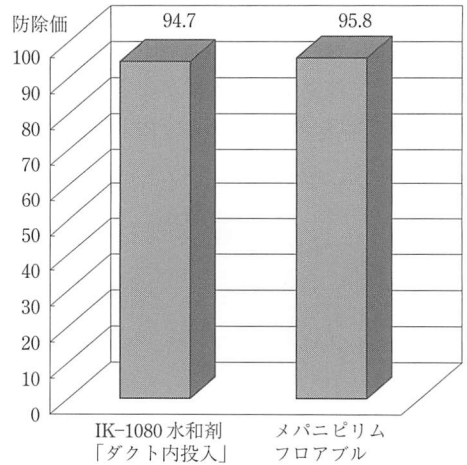


図-4 キュウリ灰色かび病試験成績 (2001年度日植防委試験；岐阜農技研)

作物：キュウリ (品種：シャープ1, 栽培：半促成型つる下げ栽培)。暖房機：竹沢温風器F-OH403型 (最低気温：13℃)。処理：ボトキラー「ダクト内投入」区：300g/10a/月。対照区：2/2, 15, 3/1, 14。調査：3/20に着果した全果実について発病の有無を調査。病害発生：中発生 (無処理発病果率：8.8%)。薬害など：薬害, 汚れともに見られなかった。

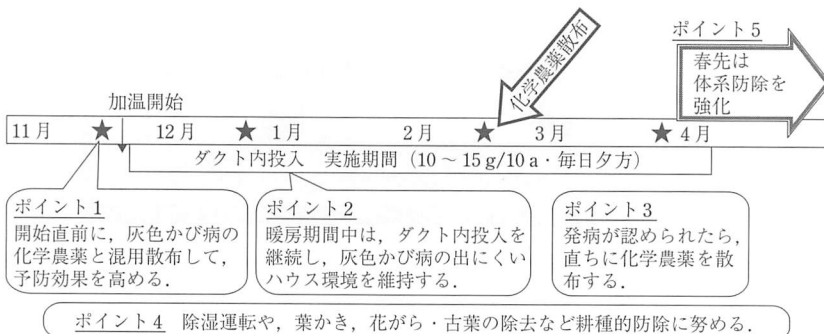


図-5 ダクト内投入を組み入れた防除例 (冬春トマト)

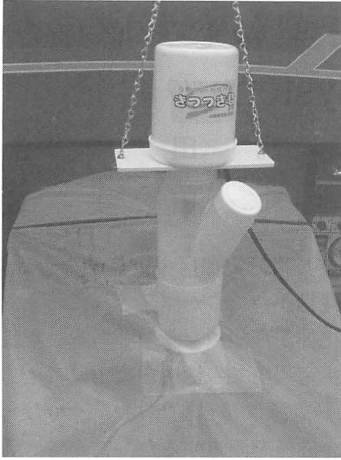


図-6 ダクト内投入「自動投入機」(きつつき君)

しているが、近年、夏秋作トマトの定植期が前進し、3月上中旬に定植して5月上旬ごろまで加温する作型を採用する産地が出てきている。定植後から5月上旬ごろまでの期間、ダクト内投入を実施することで、6月以降の灰色かび病の発生時期が遅れる、また、発病しても急激な進展に至らないなど、明確に発病が抑止されるといった事例が現場から出てきている。ダクト内投入を発病期の前から実施することで、灰色かび病が出にくい施設環境が維持される一つの事例としてとらえることができると考える。

おわりに

ダクト内投入は、薬液散布の方法と比べて著しく省力的な散布方法である。今後、本散布方法をより汎用性を高め普及させていくためには、毎日バチルス ズブチリス水和剤をダクト内投入し散布するのではなく、一度設置するだけで長期間にわたり連続的に散布できる方法の開発が必要である。現在、ダクト内投入「自動投入機」(きつつき君；図-6)を開発中であり、試作品での現地検討がすすめられている。

また、暖房機を使用しない作型にダクト内投入を応用

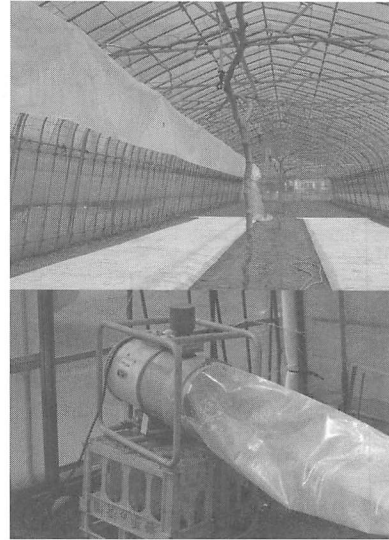


図-7 ダクト内投入用送風機(下)を用いたブドウ灰色かび病適用検討

していくために、ダクト内投入用送風機が開発され、市販されている。ダクト内投入用送風機を用いたブドウ灰色かび病への適用検討(図-7)もすすめられている。

本稿では、化学農薬との体系防除の視点で見えてきたが、今後は、ダクト内投入の天敵昆虫に対する影響を明らかにしていくとともに、天敵利用技術と組み合わせた病害虫防除体系の視点でも検討する必要があるであろう。その視点で、宮崎県(国富町・綾町・宮崎市)でのダクト内投入を基盤にした総合防除の取り組みは、地域的な取り組みとして、全国に先駆けて成果を挙げており、「安心、安全な農産物づくり」、「ブランドづくり」を目指す全国の産地への波及が期待される。

参考文献

- 1) 川根 太(2000 a): 微生物農薬—環境保全型農業をめざして—, 山田昌雄編, 全国農村教育協会, 東京, p.136 ~ 146.
- 2) ——— (2000 b): 植物防疫 54: 342 ~ 345.
- 3) ——— (2004): 農薬ガイド 107: 5 ~ 8.
- 4) 田口義広ら(2003 a): 日植病報 69: 94 ~ 101.
- 5) ——— (2003 b): 同上 69: 107 ~ 116.