

微生物資材バチルス・ズブチリス水和剤ダクト内投入の イチゴうどんこ病に対する防除効果

石井貴明*・嶽本弘之¹⁾

バチルス・ズブチリス水和剤（商品名：ボトキラー水和剤，以下 BS 剤）のダクト内投入のイチゴうどんこ病に対する防除効果を検討した。2004 年度及び 2005 年度に化学合成農薬を使用しないダクト内投入を中心とした防除試験を実施したところ，2004 年度は，化学殺菌剤のローテーション散布と同等のうどんこ病の発病抑制効果が認められ，化学殺菌剤の使用回数の削減が可能であった。一方，2005 年度は，無散布に比べ防除効果が認められたが，化学殺菌剤のローテーション散布より劣った。また，イチゴ葉面における BS 剤の有効成分である *Bacillus subtilis*（以下，BS 菌）の定着量を調査したところ，うどんこ病菌の感染を抑制するのに十分な定着量が確認できた。さらにダクト内投入の効率的な使用法を検討するために，2006 年度と 2007 年度にダクト内投入と化学殺菌剤を組合せた体系防除試験を実施した。その結果，ダクト内投入を暖房機の稼働時期に限定し，加温期終了後は化学殺菌剤をローテーション散布する体系防除は，化学殺菌剤のみの場合と比較して同等の防除効果を示した。また，この体系において化学殺菌剤の使用回数は化学殺菌剤のみの体系防除の 45～57% に削減された。

[キーワード：バチルス・ズブチリス水和剤，ダクト内投入，イチゴうどんこ病，生物的防除]

Control Effect of Powdery Mildew on Strawberry by Duct Dusting for *Bacillus subtilis* Wettable Powder. ISHII Takaaki and Hiroyuki TAKEMOTO (Fukuoka Agriculture and Forestry Research Center, Chikushino, Fukuoka 818-8549, Japan) *Bull. Fukuoka. Agric. For. Res. Cent.*4:25-32(2018)

In 2004 and 2005, the control effect of powdery mildew on strawberry and valid supplements of duct dusting with *Bacillus subtilis* wettable powder (BS powder) was compared with rotation treatments of chemical fungicides in -small green houses. The protective value of duct dusting with BS powder was equal to rotation treatments with chemical fungicides in 2004. In contrast, the protective value was lower than that of chemical fungicides in 2005. The frequency of chemical fungicide use was decreased drastically. *B. subtilis* in BS powder was detected on strawberry leaves. Moreover, fixed *B. subtilis* population on leaves was enough to suppress powdery mildew. In 2006 and 2007, we also examined the control effect of chemical fungicides following duct dusting with BS powder. As a result, the combination of duct dusting and chemical fungicides stably expressed the same effect as a rotation of chemical fungicides. In addition, the frequency of chemical fungicides use was reduced to 45%-57%.

[Key words : *Bacillus subtilis*, duct dusting method, powdery mildew, strawberry]

緒言

イチゴは，全国第 2 位の生産量を誇る福岡県の重要な品目の 1 つであり，そのほとんどはビニルハウスなどの施設で栽培されている。施設栽培イチゴに発生する病害虫の種類は多く，一旦発生すると防除が難しいため，生産安定を阻害する要因となっている。その対策として，生産者は化学合成農薬を多用している状況にある。その結果，薬剤耐性菌や抵抗性害虫が問題となってきた。特にうどんこ病やハダニ類では有効な薬剤が限られてきているため，化学薬剤の使用だけでは防除が難しく，生産者はその対応に苦慮している（桑原 1984，井上 1989，石井 2015，有元ら 2016）。一方，イチゴは消費者に人気が高く，かつ生果を直接口にするため，「安全・安心」に対する消費者の関心は極めて高いことから，化学薬剤への依存度を減らすことが求められている。

上記の耐性菌および抵抗性害虫の発生，そして消費者の安全・安心に対する関心の高まりを背景に，天敵昆虫類や拮抗微生物などの生物農薬あるいは物理的防除資材な

どを組み合わせた総合的病害虫管理（IPM）技術の開発が強く望まれている。

こうした状況を受け，イチゴのハダニ類に対する天敵カブリダニ類のスケジュール放飼などの利用技術が確立され，わが国では化学薬剤の使用を大幅に削減したカブリダニ製剤を核とした総合的なハダニ類の防除体系が普及している（福岡県 2016）。一方，イチゴを含む果菜類等の病害分野においても化学薬剤の代替として様々な微生物資材が実用化されている。これらのうち，BS 剤を暖房機のダクト内に投入し，送風によりハウス全体に粉体のまま散布する方法では，キュウリ，トマト，イチゴの灰色かび病やイチゴのうどんこ病に対する防除効果が認められている（田口ら 2003，宮本ら 2006，山岸ら 2006，小野ら 2008）。また，ダクト内投入には，省力的かつハウス内の湿度上昇がないため，病害の発生を促さず，天敵昆虫等にも影響を及ぼさない利点がある。

イチゴ促成栽培における IPM 技術を確立し，化学薬剤に依存しない防除を進めるためには，虫害，病害の両分野における総合的な防除技術の確立が不可欠である。病

*連絡責任者（病害虫部：tishii@farc.pref.fukuoka.jp）

1) 現 福岡県飯塚農林事務所 飯塚普及指導センター

害分野では、BS 剤のダクト内投入は総合的な防除技術の 1 つとして考えられるが、うどんこ病や灰色かび病に対する効果を実証した報告は少ない。そこで、BS 剤のダクト内投入やダクト内投入と化学殺菌剤を組合せた体系防除のイチゴうどんこ病に対する防除効果及び化学合成殺菌剤の削減効果について評価したので報告する。

材料および方法

試験 1 BS 剤のダクト内投入のイチゴうどんこ病に対する防除効果

1 2004 年度試験

(1) 耕種概要

農総試験場内圃場(面積 60m², 暖房機付きビニルハウス; 間口 3m×奥行 20m)にて試験を実施した。品種は「福岡 S6 号(商標名:あまおう)」を用いた。採苗は鉢受方式で行い、育苗容器は 9cm 黒色ポリポット、育苗培土はイチゴ専用培土 2 号((株)清新産業製)を用いた。育苗期の肥料は IB 化成 S 1 号((株)ジェイカムアグリ製)を使用した。定植は 9 月 21 日とし、栽培は土耕栽培で行い、畝幅 80cm, 条間 50cm, 株間 25cm の 2 条内なりとした。10a 当たりの肥料分量は、基肥として窒素 5kg, リン酸 3.8kg, カリ 1.9kg, 追肥として窒素 10.0kg, リン酸 8.0kg, カリ 7.0kg を施用した。その他栽培管理は福岡県野菜栽培指針に従って行った。マルチングとビニル被覆は 10 月 20 日に行い、暖房は最低温度が 7℃以下にならないように温風暖房機(ネボン社製)により加温した。電照は行わなかった。

(2) 試験区の構成

BS 剤のダクト内投入開始後に、BS 剤の液剤散布を行う区(以下、ダクト内投入区)、化学殺菌剤のローテーション散布区(以下、化学剤輪番区)及び無散布区の構成で試験を行った。なお、ダクト内投入は、毎日夕方に暖房機本体の送風口付近のダクトに直径 3cm 程度の穴を開け、ここから所定量の BS 剤(10a 当たり 1 日に 15g)を投入し、ただちに暖房機を送風状態にして散布した。試験規模は各区 20 株、2 反復とし、試験区は、第 1 図のとおり配置した。また、化学剤輪番区及び無散布区にはビニルハウス内に飛散する BS 菌の汚染を防ぐため、ダクト内散布を始める直前に農業用ビニルで区全体を被覆した。ダクト内投入終了後、2 時間程度経過してから被覆を除去した。なお、散布履歴を第 1 表に示した。

(3) 病原菌の接種

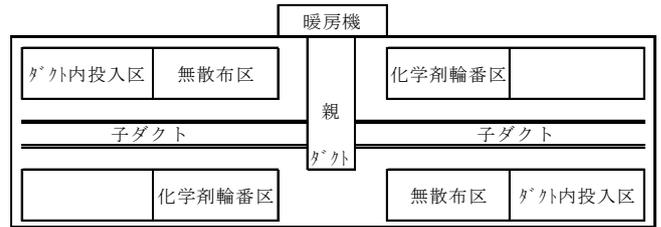
うどんこ病の発生が無かったため、1 月 9 日に発病果を各区の中央部に 10 個ずつ配置した。

(4) うどんこ病の調査方法

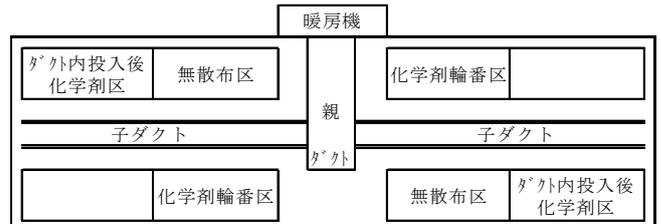
うどんこ病の発病調査は、各区全株の上位 3 複葉(90 小葉)について、以下の調査基準に基づき発病度を算出した。すなわち、発病度 = Σ(程度別発病指数 × 同小葉数) / 4 × 調査葉数(発病指数 0: 発病を認めない, 指数 1: 病斑面積率が 10% 未満, 指数 2: 病斑面積率が 10% 以上 25% 未満, 指数 3: 病斑面積率が 25% 以上 50% 未満, 指数 4: 病斑面積率が 50% 以上)とした。なお、調

査は 2004 年 1 月 16 日から概ね 7 日から 10 日間隔で 4 月 12 日まで行った。

A): 2004 年度及び 2005 年度試験



B): 2006 年度及び 2007 年度試験



第 1 図 試験区の配置

(5) BS 剤のイチゴ葉面への定着状況調査

BS 剤の有効成分 *Bacillus subtilis* (以下、BS 菌) の定着状況の調査は、小野ら(2008)の方法に準じてスタンプ法で行った。肉エキス・ペプトン平板培地(組成: 肉エキス 10g, ペプトン 5g, 塩化ナトリウム 5g, 寒天 15g, 蒸留水 1L, pH 7.2)にダクト内散布区から均等に 10 枚を採取し、平板培地上に葉表、葉裏を軽く押しつけた。また、ダクト内投入開始 1 か月後にイチゴ葉面に生存する BS 菌量を以下の方法で定量した。すなわち、ダクト内投入区の 3 地点から任意の数株を対象に小葉を採取した。採取した各小葉から葉片 1cm 角を切り出し、各地点の 4 葉片をまとめて乳鉢と乳棒にて 0.85% 生理食塩水を加えながら磨砕した。磨砕液を原液として作成した 10 倍段階希釈液をそれぞれ 0.1ml ずつ肉エキス・ペプトン培地に塗抹し、37℃で 1 晩培養した後に細菌集落数を計数し、イチゴ葉 1cm² 当たりにつ着している BS 菌量を算出した。計数は各地点 3 反復で行った。

第 1 表 各試験区における薬剤散布履歴(2004 年度試験)¹⁾

散布月日	ダクト内投入区	化学剤輪番区
2005年1月16日	ダクト内投入開始	トリフルゾール水
2月1日		ポリキシソール水溶剤
2月23日		アザキシトロン水
3月2日	ダクト内投入終了	トリフルゾール水
3月23日	ハチルスアチリス水	アザキシトロン水
4月4日	ハチルスアチリス水	メバニピリムF
化学殺菌剤使用回数	0回	6回

1) 薬剤名の水は水和剤、Fはフロアブルを表す。

2 2005 年度試験

耕種概要は、2004年度試験と同様であった。ただし、マルチングとビニル被覆は10月21日に行った。

(1) 試験区の構成

試験は60m²のビニルハウスを1棟用い、ダクト内投入区、化学剤輪番区及び無散布区の構成で試験を行った(第1図)。また、試験規模は各区20株の2反復とした。なお、ダクト内へのBS剤投入方法は2004年度試験と同様とし、散布履歴を第2表に示した。

第2表 各試験区における薬剤散布履歴(2005年度試験)¹⁾

散布月日	ダクト内投入区	化学剤輪番区
2006年2月2日	ダクト内投入開始	トルフルミゾール水
2月16日		アゾキシストロビンF
3月10日		イミクダジンアルベシ酸塩水
3月27日		メパニピリムF
4月10日	ダクト内投入終了	トルフルミゾール水和剤
化学殺菌剤 使用回数	0回	5回

1) 薬剤名の水は水和剤、Fはフロアブルを表す。

(2) 病原菌の接種

うどんこ病の発生が無かったため、2月3日に発病果を各区2か所に5個ずつ配置した。

(3) うどんこ病の調査

うどんこ病の調査方法は2004年度と同様に行った。調査期間は、2月16日から4月24日とした。

(4) BS剤のイチゴ葉面への定着状況調査

BS菌の葉面への定着は、2004年度と同様の方法で確認したが、BS菌量の定量は行わなかった。

試験2 BS剤のダクト内投入と化学殺菌剤を組合せた体系防除のイチゴうどんこ病に対する防除効果

1 2006年度試験

耕種概要は、2004年度と同様とした。ただし、定植は9月25日に行い、マルチングとビニル被覆は10月23日に行った。

(1) 試験区の構成

ダクト内投入期間の終了後、化学殺菌剤のローテーション散布を行う区(以下、ダクト内投入後化学剤区とする)、化学剤輪番区、無散布区の3区を設けた(第1図)。試験は60m²のビニルハウス1棟を用い、試験区の配置及び規模は2004年度と同様とした。ダクト内投入後化学剤区では、BS剤投入を3月9日で停止し、化学殺菌剤のローテーション散布に切り替えた。なお、無散布区では3月中旬以降の病勢進展が激しく、隣接区への影響を考慮して他の試験区と同様に3月20日、4月8日、4月22日の3回、うどんこ病に効果のある化学殺菌剤を散布した。散布履歴は第3表に示した。

(2) 病原菌の接種

定植後11月中旬までうどんこ病の発生が認められな

かったため、11月21日にうどんこ病の発病葉を採取し、区境の2株に接種した。その後感染を促すために一晚農業用ビニルで株を被覆し、高湿度で保持した。ビニルは翌朝撤去した。

(3) うどんこ病の調査方法

うどんこ病の調査については、1区約20株について全果(直径約1.5cm以上)調査し、累積発病果率を算出した。発病果は調査ごとにその都度除去した。また、発病度の調査方法は2004年度試験に準じた。薬害及び汚れは随時達観で調査した。調査は2007年1月5日から7~11日間隔で同年4月3日まで行った。

(4) BS菌の定着調査

最初のダクト内投入処理の1週間後に葉面での定着状況を2004年度試験と同様の方法で確認した。また、ダクト内投入開始1か月後にダクト内投入後化学剤区のイチゴ葉面に生存するBS菌量を以下の方法で定量した。すなわち、ダクト内投入後化学剤区の3地点から任意の数株を対象に小葉を採取した。採取した各小葉から葉片1cm角を切り出し、各地点の4葉片をまとめて乳鉢と乳棒にて0.85%生理食塩水を加えながら磨砕した。磨砕液を原液として作成した10倍段階希釈液を、それぞれ0.1mlずつ肉エキス・ペプトン培地に塗抹し、37℃で一晩培養した後に細菌集落数を計数し、イチゴ葉1cm²当たりについてBS菌量を算出した。計数は各地点3反復で行った。

2 2007年度試験

耕種概要は、2004年度と同様とした。ただし、定植は10月3日に行い、マルチングとビニル被覆は10月17日および19日に行った。

(1) 試験区の構成及びうどんこ病の調査方法

試験は60m²のハウス1棟を用い、試験区の配置及び規模は2004年度と同様とし、ダクト内投入後化学剤区、化学剤輪番区、無散布区の3区を設けた。また、試験規模は1区20株の2反復とした。ダクト内投入後化学剤区では、BS剤の投入を3月3日で停止し、以降は化学殺菌剤のローテーション散布に切り替えた。なお、3月中旬以降の無散布区の病勢進展が激しく、隣接区へのうどんこ病の影響を考慮し、3月26日、4月4日、4月11日及び4月18日に無処理区にも他区と同じ化学殺菌剤を散布した。散布履歴は第4表に示した。

(2) 病原菌の接種

定植後11月初めまでうどんこ病の発生が認められなかったため、11月7日にプランター植えのうどんこ病発病株を区境に3株/緩衝帯となるように配置した。

(3) うどんこ病の調査方法

うどんこ病の調査については、2006年度と同様に行い、調査期間は2007年11月7日から2008年4月18日まで7~14日の間隔で行った。

(4) BS菌の定着調査

BS菌の定着調査は、2006年度試験と同様に行ったが、葉面に定着したBS菌の定量は行わなかった。

第3表 各試験区における薬剤散布履歴 (2006年度試験)^{1), 2)}

散布年月日	ダクト内投入後化学剤区	化学剤輪番区	無散布区
11月30日	バチルス・スプ・チリス水	バチルス・スプ・チリス水	
12月8日	〃	〃	
12月14日	ダクト内投入開始		
12月26日		アゾキシトピノンF	
1月18日			
1月31日		テトラコナゾール液	
2月16日		メパニピリムF	
3月6日	イミクタジンアルベシ酸塩水	イミクタジンアルベシ酸塩水	
3月9日	ダクト内投入終了		
3月20日	テトラコナゾール液	テトラコナゾール液	テトラコナゾール液
4月8日	メパニピリムF	メパニピリムF	メパニピリムF
4月20日	アゾキシトピノンF	アゾキシトピノンF	アゾキシトピノンF
化学殺菌剤 使用回数	4回	7回	3回

1) 薬剤名の水は水和剤、Fはフロアブル、液は液剤を表す。

2) 濃色部分の薬剤は化学合成殺菌剤を表す。

第4表 各試験区における薬剤散布履歴 (2007年度試験)^{1), 2), 3)}

散布年月日	ダクト内投入後化学剤区	化学剤輪番区	無散布区
10月26日	バチルス・スプ・チリス水	トリフルミゾール水	
11月6日	〃	ポリオキシシン水溶剤	
11月15日	〃	イミクタジンアルベシ酸塩水	
11月29日	クラロマイセス・フラバス水	メパニピリムF	
12月11日	バチルス・スプ・チリス水	アゾキシトピノンF	
12月18日	ダクト内投入開始		
1月18日			
2月8日		トリフルミゾール・シフルフェナミド水	
2月25日	トリフルミゾール水	トリフルミゾール水	
3月3日	ダクト内投入終了		
3月10日	メパニピリムF	メパニピリムF	
3月14日			
3月26日	アゾキシトピノンF	アゾキシトピノンF	アゾキシトピノンF
4月4日	イミクタジンアルベシ酸塩水	イミクタジンアルベシ酸塩水	イミクタジンアルベシ酸塩水
4月11日	炭酸水素ナトリウム・銅水＋ 脂肪酸グリセリド乳	炭酸水素ナトリウム・銅水＋ 脂肪酸グリセリド乳	炭酸水素ナトリウム・銅水＋ 脂肪酸グリセリド乳
4月18日	トリフルミゾール水	トリフルミゾール水	トリフルミゾール水
化学殺菌剤 使用回数	5回	11回	5回

1) 改正JAS法適合農薬の炭酸水素ナトリウム・銅水和剤、脂肪酸グリセリド乳剤は化学薬剤として計数しない。

2) 薬剤名の水は水和剤、Fはフロアブル、乳は乳剤を表す。

3) 濃色部分の薬剤は化学合成殺菌剤を表す。

結果

試験1 BS剤のダクト内投入のイチゴうどんこ病に対する防除効果

2004年度の試験（2004年の秋から2005年春）では、ダクト内投入をうどんこ病の発生前から開始した。うどんこ病は、罹病果実の接種により1月16日に初発した。病勢は3月から急激に進展し、最終調査時には無散布区の発病度が96.5の甚発生となった。最終調査時での各区の発病度に有意差は認められず、発病度から算出したダクト内投入区および化学剤輪番区の防除価は、いずれも77であった。また、いずれの処理区とも試験期間を通じて発病を低く抑えていた（第5表）。なお、化学殺菌剤の使用回数はダクト内投入区で0回、化学剤輪番区で6回であった（第1表）。

ダクト内投入区の葉面に付着したBS菌をスタンプ法で調べたところ、10枚全ての葉について確認用の培地上に菌の集落が密集して観察された。また、ダクト内投入開始1か月後にダクト内投入区の3か所から回収した葉のBS菌の定着量は、葉面積1cm²当たり、反復1では、 5.2×10^3 、 1.2×10^4 、及び 2.8×10^4 cfu/cm²であり、反復2では、 3.8×10^3 、 7.1×10^4 及び 2.4×10^4 cfu/cm²であった。

2005年度試験（2005年秋から2006年春の試験）では、罹病果実の接種により2月16日にうどんこ病の初発を認めた。その後、病勢は3月10日まで緩やかに進展したが、以降急激に進展した結果、最終的に無散布区の発病度が60.8の多発生となった。2004年度と同様にうどんこ病の初発前から薬剤の散布を始め、ダクト内投入区及び化学剤

輪番区の防除効果を比較した結果、最後のダクト内投入日から1週間後の両区の発病度に有意差は認められず、防除価はそれぞれ64と74となった。しかし、2週間後の最終調査時では、ダクト内投入区が化学剤輪番区と比べて有意に発病度が高くなり、発病度から算出したダクト内投入区と化学剤輪番区の防除価は、それぞれ51及び73となった（第6表）。なお、化学殺菌剤の使用回数はダクト内投入区で0回、化学剤輪番区で5回であった（第2表）。

ダクト内投入区の葉面に付着したBS菌をスタンプ法で調べたところ、採集した全ての葉について、スタンプした寒天培地上に菌の集落が密集して観察された。

試験2 BS剤のダクト内投入と化学殺菌剤を組合せた体系防除のイチゴうどんこ病に対する防除効果

2006年度試験では、各区境のうどんこ病接種株は、12月1日までに全ての株で小葉の接種部位に発病が認められた。その後、無処理区の初発が1月5日に確認されたため、接種した感染源用の発病株は撤去した。初発後、2月末まで無散布区の病勢は緩やかに進展したが、3月初旬から急進展し、最終的に無散布区の発病度が28.4の中発生となった。中発生条件下の試験でダクト内投入後化学剤区及び化学剤輪番区は、発病度から算出した防除価はそれぞれ88及び93、また、累積発病果率から算出した防除価はそれぞれ78及び77となり、ダクト内投入後化学剤区は化学剤輪番区と同等の防除効果を示した（第7表及び第8表）。その結果、化学殺菌剤の使用回数も化学剤輪番区の7回に対して4回（対化学剤輪番区比57%）に抑えることができた（第3表）。

第5表 各試験区のうどんこ病発病度の推移及び防除効果（2004年度）

区	調査月日												防除価 ¹⁾
	1/16	1/24	2/1	2/9	2/15	2/23	3/2	3/9	3/15	3/23	4/4	4/12	
ダクト内投入区	0	0	0.6	0.1	0.3	0.3	0.1	0.6	0.9	0.5	16.0	22.0b ²⁾	77
化学剤輪番区	0	0.1	0.5	0.4	0.4	0.2	0.4	1.1	2.3	2.5	21.9	22.4b ²⁾	77
無散布区	0.2	3.5	10.2	13.5	12.9	13.3	7.7	9.6	29.6	28.7	97.1	96.5a ²⁾	

1) 防除価の計算式は $100 - (\text{試験区の発病度} / \text{無散布区の発病度}) \times 100$ を用い、4/12の発病度から算出した。

2) 英異文字間に5%水準で有意差あり（Tukey法による多重比較検定）

第6表 各試験区のうどんこ病発病度の推移及び防除効果（2005年度）

区	調査月日										防除価 ¹⁾	
	2/16	2/24	3/3	3/10	3/16	3/27	4/3	4/10	4/17	4/24	4/17	4/24
ダクト内投入区	0	0	0	0.1	0.3	1.9	5.2	12.8	17.8b ²⁾	29.9b ²⁾	64	51
化学剤輪番区	0	0	0	0	0	1.3	5.6	9.2	12.9b ²⁾	16.2c ²⁾	74	73
無散布区	0.2	0	0	3.5	9.5	15.5	31.5	44.8	48.9a ²⁾	60.8a ²⁾		

1) 防除価の計算式は $100 - (\text{試験区の発病度} / \text{無散布区の発病度}) \times 100$ を用い、4/17及び4/24の発病度から算出した。

2) 英異文字間に5%水準で有意差あり（Tukey法による多重比較検定）

第7表 各試験区のうどんこ病発病度の推移及び防除効果 (2006年度)

区	調査月日										防除価 ¹⁾
	1/5	1/12	1/19	1/30	2/9	2/16	3/6	3/13	3/23	4/3	
ダクト内投入後化学剤区	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.1	0.1	0.9	3.5b ²⁾	88
化学剤輪番区	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	2.2b ²⁾	93
無散布区	0.1	0.1	0.2	1.4	5.2	5.2	10.8	15.9	21.9	30.0a ²⁾	

- 1) 防除価の計算式は100-(試験区の発病度/無散布区の発病度) × 100を用い、4/3の発病度から算出した。
- 2) 英異文字間に 5%水準で有意差あり (Tukey法による多重比較検定)

ダクト内投入開始後、1週間目に各区内の5株からイチゴ葉を回収し、スタンプ法で付着程度を確認したところ、葉の表裏ともに培地上で集落が密集しているのが確かめられ、BS菌が付着していることがわかった。また、1か月後に各区3か所から回収した葉のBS菌の定着量を希釈平板法で定量したところ、反復1では6.6×10³、8.2×10³及び1.4×10⁴cfu/cm²、反復2では3.8×10³、6.1×10³及び2.2×10⁴cfu/cm²であった。

2007年度試験では、11月7日にプランター植えのうどんこ病発病株を区境に3株/緩衝帯となるように配置した。無処理の発病を11月15日に確認した後、接種源を撤去した。その後、2月末まで無散布区の病勢は緩やかに進展したが、3月から病勢は亢進し、最終的に発病度68の甚発生条件の試験となった。

甚発生条件下の試験でダクト内投入後化学剤区及び化学剤輪番区は、無散布区と比較して葉及び果実のうどんこ病の発生を抑えた。発病度から算出した防除価は、ダクト内投入後化学剤区及び化学剤輪番区でそれぞれ82及び70、また累積発病果率から算出した防除価はダクト内投入後化学剤区及び化学剤輪番区でそれぞれ78及び75であり、両区の防除効果は同等であった(第9表及び第10表)。その結果、殺菌剤の使用を化学剤輪番区の11回に対して

5回(対化学剤輪番区比45%)に抑えられた(第4表)。ダクト処理開始後1週間経過して各区内の5株からイチゴ葉を回収し、スタンプ法で付着程度を確認したところ、表裏ともに培地上で集落が密集する程度の菌が定着していることがわかった。以上からイチゴ植物体上では、防除効果を発揮することが可能な量のBS細菌が定着していることが確認された。

第8表 各試験区におけるうどんこ病の累積発病果率と防除効果 (2006年度)

区	累積 ^{1), 2)} 発病果率 (%)	防除価
ダクト内投入後化学剤区	2.9b	78
化学剤輪番区	3.0b	77
無散布区	13.0a	

- 1) 最終調査は、4月23日に行った。
- 2) 英異文字間は5%水準で有意差あり (Tukeyの多重比較検定)

第9表 各試験区のうどんこ病発病度の推移及び防除効果 (2007年度)

区	調査月日									
	11/22	11/29	12/5	12/18	12/26	1/11	1/18	1/25	2/4	2/8
ダクト内投入後化学剤区	0.0	0.0	0.0	0.9	1.1	0.9	0.8	0.3	0.5	0.5
化学剤輪番区	0.0	0.0	0.0	0.5	0.7	1.4	0.7	0.3	2.1	0.1
無散布区	0.4	0.7	2.2	3.7	4.8	6.5	6.7	4.8	11.0	6.1

区	調査月日										防除価 ¹⁾
	2/15	2/22	2/29	3/10	3/14	3/21	3/28	4/4	4/11	4/18	
ダクト内投入後化学剤区	0.2	1.6	2.3	1.6	2.5	3.5	3.8	11.0	12.0	12.0b ²⁾	82
化学剤輪番区	2.1	1.1	3.0	2.3	5.5	5.0	6.0	9.0	17.0	19.7b ²⁾	70
無散布区	11.0	8.5	10.5	18.0	24.5	21.8	20.5	33.0	26.5	65.0a ²⁾	

- 1) 防除価の計算式は100-(試験区の発病度/無散布区の発病度) × 100を用い、4/18の発病度から算出した。
- 2) 英異文字間に 5%水準で有意差あり (Tukey法による多重比較検定)

第 10 表 各試験区におけるうどんこ病の累積発病果率と防除効果 (2007 年度)

区	累積 ^{1), 2)} 発病果率 (%)	防除価
ダクト内投入後化学剤区	8.2b	78
化学剤輪番区	9.4b	75
無散布区	41.0a	

1) 最終調査は、4月25日に行った。

2) 英異文字間は5%水準で有意差あり
(Tukeyの多重比較検定)

考 察

トマト、キュウリ、イチゴなどの灰色かび病では、BS 剤のダクト内投入は化学殺菌剤による慣行防除よりも病害の発生を著しく低く抑えた事例が報告されている(田口ら 2003, 宮本ら 2006)。今回実施した一連の試験結果から、イチゴうどんこ病に対する BS 剤のダクト内投入は、果菜類の灰色かび病に対する試験事例のように顕著な発病抑制は示さなかったものの、試験期間を通じて発病を抑えた。一方で、うどんこ病が甚発生した 2005 年度のような年次では、春先の病勢が激しくなる時期に BS 剤単独では、その残効は化学薬剤より短い 1 週間程度であったため、化学薬剤に比べて発病が多くなる事例も認められた。このことから、化学剤輪番区と同等の防除効果を得るためには、化学薬剤との体系防除を組み合わせる必要性も明らかになり、その効果は同じく甚発生であった 2007 年度の試験で実証された。このことは、ダクト内投入技術やダクト内投入と化学殺菌剤を組合せた防除技術がイチゴ本圃のうどんこ病防除に適用可能であることを示唆している。とりわけ、BS 剤のダクト内投入やダクト内投入と液剤の組合せによる防除試験では、化学殺菌剤を使用しなかったことから、有機栽培や特別栽培農産物の生産に応用する可能性が示唆される。

ダクト内投入による防除で暖房機が稼働しなくなる春期以降も投入を継続する場合、暖房機の強制送風を 2 時間ほど毎日手動で操作しなければならないため、暖房機の稼働に伴い BS 剤が自動的に飛散する場合に比べて作業の利便性が低い。また、ダクト内投入停止後に BS 剤の液剤散布を行う体系では、BS 剤の費用に加えて散布労賃が発生し、防除経費が増加する。また、小野ら (2008) は暖房機稼働時期以降では、ダクト内投入によるうどんこ病の防除効果が得られなかったことから、投入は暖房機の稼働時期に限定されると考察している。これらの理由から、ダクト内投入の適切な使用時期は暖房機が自動で稼働する時期と考えられ、それ以降の防除は、化学殺菌剤で行うのが効率的と考えられる。

ダクト内投入停止後に化学殺菌剤を散布する防除体系は、われわれの試験では、化学殺菌剤の体系防除と同等かつ安定した防除効果と作業の利便性を維持しながら、化学

殺菌剤の使用回数を化学殺菌剤のローテーション防除の 45~57%に抑えた。このことから本技術は、特別栽培農産物の防除技術として利用できる可能性が考えられる。山岸ら (2006) や小野ら (2008) もダクト内投入を行いながら化学合成殺菌剤を併用した体系防除がイチゴうどんこ病に対して有効であり、化学合成殺菌剤の使用削減が可能であることを報告している。

BS 剤のダクト内投入では、宮本ら (2006) が施設栽培トマトにおいてトマト葉面の BS 菌の付着菌量が $10^3 \sim 10^4$ cfu/cm² で灰色かび病に対して優れた防除効果を示したと報告している。本試験におけるダクト内投入区では、区全体に有効成分の BS 菌の飛散が認められ、いずれの試験年度もイチゴ葉面上に BS 菌の定着が確認された。また、イチゴ葉面に付着した菌量は 2004 年度と 2006 年度の試験から、 $10^3 \sim 10^4$ cfu/cm² 程度であった。このことから、本試験で実施したダクト内投入により飛散した BS 菌は、イチゴ葉面に十分な量で定着していたと考えられる。

本試験では全とうどんこ病の発病前にダクト内投入を開始した結果、無散布区と比較して効果が認められたが化学剤輪番区より劣った 2005 年度の結果を除いて、いずれの場合も化学剤輪番区と同等以上の防除効果が得られた。BS 剤は殺菌効果を示さず、植物体上の栄養物や定着場所を占有することで予防効果を発揮する(田口ら 2003)。そのため、トマトの灰色かび病防除では、BS 剤のダクト内投入を発病前から使用すること、やむを得ず発病後に使用する場合には、予め化学薬剤の防除で病勢を抑制しておくことが本剤を効果的に使用する上で重要なポイントと考えられている(宮本ら 2006)。従って、イチゴうどんこ病の防除においてもダクト内投入を効果的に使用するためには、灰色かび病と同様に発病前に予防的に使用すること、発病したら直ちに薬剤で病勢を抑制してから使用することが重要になると考えられる。今後、ダクト内投入を効果的に使用するために、投入前とうどんこ病の発生を抑制できる防除体系について検討する必要がある。

本圃におけるイチゴうどんこ病の第 1 次伝染源は、主に育苗期に感染、発病した苗である(稲田 2014)。従って、ダクト内投入以前のうどんこ病発生を抑止するためには、育苗期の防除が重要である。育苗期の防除には通常、化学薬剤の定期的な散布が行われているが、近年、温湯や高温の水蒸気を利用したイチゴ苗の熱処理がハダニやうどんこ病の防除に有効である知見が得られている(山岸ら 2009, 小河原ら 2010, 高山ら 2013)。今後、こうした物理的な防除技術とダクト内投入を組合せた総合的防除技術を開発することにより、本圃のイチゴうどんこ病の体系防除に使用する化学殺菌剤の回数をさらに削減することが可能になると考えられる。

引用文献

- 有元倫子・長谷部匡昭・下川陽一 (2016) 滋賀県における DMI 剤耐性イチゴうどんこ病菌の発生状況. 滋賀農技セ研報 54: 28-29.
福岡県 (2016) 平成 29 年度病害虫・雑草防除の手引き.

- イチゴの IPM マニュアル.
<http://www.pref.fukuoka.lg.jp/contents/29tebiki.html>
- 稲田稔 (2014) イチゴうどんこ病の苗での越冬. 九病虫研報 60 : 30-36.
- 井上晃一 (1989) ハダニ類の薬剤抵抗性機構. 植物防疫 43 : 367-371.
- 石井英夫 (2015) QoI 剤耐性菌の現状. 植物防疫 69 : 469-474.
- 桑原雅彦 (1984) ハダニ類の薬剤抵抗性. 植物防疫 38 : 321-327.
- 宮本拓也・小河原孝司・鳴瀧昭彦・富田恭範・長塚久 (2006) バチルス・ズブチリス水和剤のダクト内投入によるトマト灰色かび病の防除. 茨城農総園芸研究所研究報告 14 : 43-51.
- 小河原孝司・島本桂介・小西博郷・富田恭範 (2010) 温湯散布のイチゴうどんこ病に対する防除効果. 日植病報 76 (3) : 210 (講演要旨).
- 小野元治・大久保裕行・岡崎真一郎・石松敏樹・宇留島美奈・吉松英明・加藤徳弘 (2008) イチゴ本圃における総合防除体系. 大分農林水産研究センター研究報告 (農業編) 2 : 11-39.
- 田口義広・渡辺秀樹・川根太・百町満朗 (2003) キュウリ灰色かび病防除のための温風ダクトを利用した微生物殺菌剤 (*Bacillus subtilis* IK-1080) の利用方法の開発. 日植病報 69 : 107-116.
- 高山智光・曾根一純・壇和弘・日高功太・中原俊二・今村仁・沖村誠・前原重信・北山幸次・脇田修一・中路旭 (2013) 盛夏期におけるイチゴ苗の蒸熱処理装置による病害虫同時防除. 九州沖縄農業研究センター2013年の成果情報
http://www.naro.affrc.go.jp/project/results/laboratory/karc/2013/karc13_s09.html
- 山岸菜穂・江口直樹・原廣美 (2006) イチゴうどんこ病に対する *Bacillus subtilis* 芽胞水和剤ダクト内投入の防除効果. 関東東山病虫研報 53 : 61-64.
- 山岸菜穂・江口直樹・徳竹浩文・杵淵真也 (2009) 温水散布によるイチゴうどんこ病の防除. 関東東山病虫研報 56 : 39-41.