

トマト主要病害に対する生物農薬等の防除効果と 同剤を活用した減化学合成農薬散布体系

三澤 知央*¹ 野津あゆみ*² 安岡 眞二*³

2005～2010年に生物農薬であるバチルス・ズブチリス水和剤(BS剤) 2剤と天然由来物質であるポリオキシソニン複合体水和剤または同水溶剤(POL剤)のトマト主要病害に対する防除効果をハウス栽培トマトで評価した。インプレッション水和剤(BS剤), エコショット(BS剤)およびPOL剤は灰色かび病に対してそれぞれ15～87(平均63), 24～90(平均65), 56～74(平均68)の防除価を示した。また, これら3剤は葉かび病に対してそれぞれ18～85(平均53), 23～86(平均56), 42～72(平均64)の防除価を示した。化学合成農薬とBS剤またはPOL剤の交互散布が減化学合成農薬散布体系として最も防除効果が高かった。同散布体系では灰色かび病およびうどんこ病に対しては化学合成農薬のローテーション散布とほぼ同等からやや劣る効果を示したが, 葉かび病に対しては防除効果が劣る事例が認められた。

緒 言

北海道における2010年のトマトの栽培面積は763ha, 生産量は48,800 tであり, 道内の主要な作型は, 7～10月に収穫する夏秋どり作型である⁴⁾。北海道のトマト栽培における最重要病害は灰色かび病および葉かび病であり, 一部の地域ではうどんこ病も発生している。灰色かび病は, 葉, 茎, 果実などのトマトのあらゆる部位に発生する。葉では主に葉縁部から発生し, やがて複葉全体が枯死する。幼果では発病果が腐敗・脱落し, 成熟果では腐敗に至らない場合が多いが「ゴーストスポット」と呼ばれる白色輪紋を果面に形成する。茎での発病では発病部より上部が枯死し被害が大きい。一方, 葉かび病およびうどんこ病は葉にのみ発生し, 発病葉はやがて枯死する⁷⁾。

生産現場では, これらの病害の防除を目的に多回数の薬剤散布が行われている。一方, 近年安心・安全な農作物に対する消費者の関心が高まり, これに対応して減化学農薬栽培の技術開発が全国各地で行われている。北海

道においても, 多くの作物において減化学農薬栽培技術の開発に取り組んできたが, トマトにおいては試験事例がない。

また, 1998年に細菌*Bacillus subtilis*を製剤化した生物農薬・ボトキラー水和剤がトマトの灰色かび病に対して農薬登録を取得し⁸⁾, トマト栽培における減農薬栽培の可能性が示された。さらに, 2005年頃から各農薬メーカーが次々と新商品を開発し, 様々なバチルス・ズブチリス水和剤が市販されるに至り, 2011年2月現在7薬剤が農薬登録を取得しており, トマトの主要3病害に対しても徐々に登録を拡大している¹¹⁾。

生物農薬は, 化学合成農薬の使用回数としてカウントされないため, 減化学農薬栽培への利用が期待されているが, その防除効果は一般に化学合成農薬と比較して低い¹²⁾, 作物および地域毎に効果的な使用方法の検討が必要である。さらに, 同じバチルス・ズブチリス水和剤であっても, 商品毎に原材料となる菌株が異なるため, 病害防除効果も異なり, 商品毎に防除効果を検証する必要がある。

また, 北のクリーン農産物表示制度(YES!clean)においては天然由来物質は化学合成農薬の使用回数としてカウントされない³⁾, 天然由来物質であるポリオキシソニン複合体水和剤および同水溶剤もトマトの減農薬栽培に利用可能であり, 本研究では両剤の各病害に対する防除効果も評価した。

葉かび病に関しては, 本病に対して抵抗性を有する品種が存在し, 多数販売されている。しかし, 本病原菌は

2013年10月9日受理

*¹ (地独) 北海道立総合研究機構道南農業試験場, 041-1201 北斗市
E-mail: misawa-tomoo@hro.or.jp

*² 同上(現: 同中央農業試験場, 069-1395 夕張郡長沼町)

*³ 同上(現: 同十勝農業試験場, 082-0081 河西郡芽室町)

レース分化が起こり、次々と抵抗性品種を侵すレースが出現している⁹⁾。そこで、本研究では複数年にわたり各種抵抗性品種を圃場で栽培し、葉かび病の発生状況を調査し、レースの変遷を把握した。

以上のような背景から、本研究では2種生物農薬および天然由来物質であるポリオキシン複合体水和剤および同水溶剤のトマト灰色かび病、葉かび病およびうどんこ病に対する防除効果を評価し、各種葉かび病抵抗性品種の有効性を解明することならびに、これらの知見に基づいて減化学農薬散布体系の確立を試みた。

試験方法

試験は2005～2010年の6年間、北海道北斗市の道南農業試験場内のビニールハウス(1.08a：幅5.4m×長さ20m)で実施した。栽培作型は、4月上～中旬定植の半促成作型、5月下旬～6月上旬定植の夏秋どり作型、7月下旬～8月上旬定植のハウス抑制作型の3作型で実施した。ハウス内に幅120cmのベットを2本設置し、条間90cm×株間30cmで1ベットあたり2条植えて10aあたり3333株を栽植した。トマト栽培は、約2ヶ月間ガラス温室内で育苗した一段目開花期の苗を定植し、7段取りで実施した。トマト品種は、葉かび病抵抗性遺伝子を持たない「ハウス桃太郎」、抵抗性遺伝子(以下：省略)Cf-4を持つ「桃太郎ファイト」、Cf-9を持つ「桃太郎コルト」および導入されている抵抗性遺伝子は明らかでないものの、現地における葉かび病の発生状況からCf-9を持つと推定される「麗夏」の4品種を供試した。

施肥は土壌診断値に基づいて、基肥として窒素10～15kg/10a、リン酸0～65kg/10a、カリ0～40kg/10aを施肥後、生育期間中に追肥として、1回あたり窒素3kg/10a、カリ3kg/10aを4～5回施用した。

温度管理はいずれの作型においても温度センサーにより側窓を自動開閉し行なった。また、半促成作型では定植後約1ヶ月半の間、夜間の温度が10℃を下回らないように加温を行なった。本研究では試験1から試験20の20試験を実施し、各試験の耕種概要の詳細は表1～3に示した。

薬剤散布は背負式動力噴霧器を用いて、通路から実施した。薬液には5,000倍となるように展着剤(商品名：グラミンS)を加用し、トマトの生育にあわせて100～300L/10aを7～10日間隔で散布した。本研究では化学合成農薬として、イミノクタジンアルベシル酸塩・フェンヘキサミド水和剤(×1500)、フェンヘキサミド・フルジオキソニル水和剤(×2000)、プロシミドン水和剤(×1000)、メパニピリム水和剤(×2000)、ジエトフェンカルブ・チオファネートメチル水和剤(×1000)、ボスカリド水和剤(×1000)、アゾキシストロピン水和剤

(×2000)、イミノクタジンアルベシル酸塩水和剤(×2000)、イプロジオン水和剤(×1000)、カスガマイシン・キャプタン水和剤(×500)、テトラコナゾール液剤(×3000)、フルジオキソニル水和剤(×1000)、トリフルミゾール水和剤(×3000)の13剤を適宜供試した。各試験における薬剤散布開始月日および最終薬剤散布月日は表1～3に示した。

生物農薬は、いずれもバチルス・ズブチリス水和剤の2剤、商品名エコショット(×1000)、インプレッション水和剤(×500)を供試した。また、天然由来物質であるポリオキシン複合体水和剤(×500～1000)および同水溶剤(×2500)の各病害に対する防除効果も評価した。

試験1～8, 12, 13, 15, 18, 19では同一薬剤の連続散布によって各薬剤の防除効果を評価し、試験1, 3, 5, 7, 9～11, 14, 16, 17, 20では、化学農薬と生物農薬および天然由来物質を様々な順序・間隔で散布し、生物農薬および天然由来物質を活用した薬剤散布体系を検討した。薬剤散布体系区では、使用した化学合成農薬の成分回数(表中には成分回数と表記)も結果に表示した。薬剤散布体系試験には生物農薬として2005～2006年はインプレッション水和剤およびポトキラー水和剤を、2007～2010年はエコショットを供試した。

薬剤散布後に適宜果実の汚れを調査し、+：実用上問題となる汚れ、±：実用上問題のない汚れ、-：汚れなしの3段階で評価した。

灰色かび病は、果実の発病および葉の発病を調査した。果実の調査は、成熟果実および発病果実を3～7日間隔で収穫し、発病果率を算出した。ゴーストスポット発生果は健全果と見なした。処理区の防除効果は主に果実発病に対する防除効果で判定したが、無散布区の発病果率が10%以下の試験においては、葉の発病に対する防除効果で判定した。葉の発病は以下の指数に従って調査し、発病複葉率または発病度を算出した。指数0：発病を認めない、指数1：1/3未満の小葉に病斑が認められる、指数2：1/3～2/3の小葉に病斑が認められる、指数3：2/3以上の小葉に病斑が認められる、指数4：複葉全体が枯死する。発病度=調査指数合計÷4÷調査複葉数×100。

葉かび病およびうどんこ病は、葉の発病を調査した。両病害とも指数0～3は灰色かび病と同じ基準で調査し、指数4は「すべての小葉に病斑を認めるもの」と定義し調査した。両病害とも発病複葉率または発病度を算出した。葉の調査は、通路側から調査可能な全複葉(株あたり10～12葉)を対象に実施した。果実の発病はいずれの試験においても1区あたり6株、葉の発病は試験2～13では1区あたり6株、試験14～20では1区あたり12株、試験1, 20では1区あたり10株を対象に実施した。葉の発病調査は、各病害の発生状況に応じて、薬剤の防除効

果を最も適切に判定できる時期に実施した。

結 果

1. 各種薬剤の灰色かび病に対する防除効果

インプレッション水和剤の灰色かび病に対する防除価は試験1の品種「桃太郎ファイト」では果実の発病に対して57、品種「ハウス桃太郎」では78(表4)、試験2では葉の発病に対して53(表5)、試験3では葉の発病に対して15(表6)、試験5では果実の発病に対して85(表8)、試験7では果実の発病に対して64(表10)、試験12では葉の発病に対して87であった(表15)。すなわち、防除価は15~87(7事例平均63)であり、試験毎に防除効果の振れが大きかった。いずれの試験においても果実の汚れが確認されたが、実用上問題ないと判断した。

エコショットの灰色かび病に対する防除価は試験2では葉の発病に対して57(表5)、試験4では葉の発病に対して89(表7)、試験5では果実の発病に対して64(表8)、試験12では葉の発病に対して90(表15)、試験13では果実の発病に対して24であった(表16)。すなわち、防除価は24~90(5事例平均65)であり、試験毎に防除効果の振れが大きく、平均防除価はインプレッション水和剤とほぼ同等であった。いずれの試験においても果実の汚れは認められなかった。

化学合成農薬の灰色かび病に対する防除価はジエトフェンカルブ・チオファネートメチル水和剤が85(表8)、71(表9)、ボスカリド水和剤が76(表7)、71(表16)、イミノクタジナルベシル酸塩水和剤が77(表15)であり、薬剤は異なるものの防除価は71~85(5事例平均76)であった。化学合成農薬の防除効果は生物農薬と比較して振れが小さいとともに防除価がインプレッション水和剤およびエコショットより平均11~13ポイント高かった。いずれの薬剤も果実の汚れは認められなかった。

ポリオキシン複合体水和剤の灰色かび病に対する防除価は、試験2では葉の発病に対して56(表5)、試験4では葉の発病に対して74(表7)、試験6では果実発病に対して74(表9)であった。すなわち、防除価は56~74(3事例平均68)であり、生物農薬より防除価が平均3~5ポイント高いとともに、試験間の効果の振れが小さかった。その効果は、化学合成農薬と比較して同等またはやや劣った。いずれの試験においても果実の汚れは認められなかった。

2. 各種薬剤の葉かび病に対する防除効果

インプレッション水和剤の葉かび病に対する防除価は、試験2では35(表5)、試験3では18(表6)、試験5では58(表8)、試験8では69(表11)、試験12では85であった(表15)。すなわち、防除価は18~85(5事例平均53)であっ

た。果実の汚れは、灰色かび病に対する試験と同様の結果であった。

エコショットの葉かび病に対する防除価は試験2では23(表5)、試験4では51(表7)、試験5では25(表8)、試験8では66(表11)、試験12では86(表15)、試験15では78(表18)、試験18では65(表21)、試験19では55であった(表21)。すなわち、防除価は23~86(8事例平均56)であった。インプレッション水和剤とエコショットの葉かび病に対する防除効果は、ともに試験毎の防除効果の振れが大きく、平均防除価はほぼ同等であった。

化学合成農薬の葉かび病に対する防除価はジエトフェンカルブ・チオファネートメチル水和剤91(表8)、84(表9)、ボスカリド水和剤82(表7)、テトラコナゾール液剤98(表11)、トリフルミゾール水和剤99(表18)、イミノクタジナルベシル酸塩水和剤82(表15)、88、89(表21)であり、7事例平均の防除価は89(82~99)であった。化学合成農薬の葉かび病に対する防除効果は試験間で振れが小さいとともに、防除価はインプレッション水和剤およびエコショットより平均33~36ポイント高く、灰色かび病と比較して生物農薬と化学合成農薬の効果の差が大きかった。

ポリオキシン複合体水和剤および同水溶剤の防除価は試験2では70(表5)、試験4では42(表7)、試験6では71(表9)、試験19では72(表21)であった。すなわち、防除価は42~72(4事例平均64)であり、生物農薬より平均防除価が11~14ポイント高いとともに、試験間の効果の振れが小さく安定していたが、その効果は、化学合成農薬よりは劣った。

3. 各種薬剤のうどんこ病に対する防除効果

インプレッション水和剤の試験7におけるうどんこ病に対する防除価は96であった(表10)。

4. 各葉かび病抵抗性品種の発病程度

葉かび病抵抗性遺伝子*Cf-4*を持つ「桃太郎ファイト」の無散布区の発病程度は、試験1では発病複葉率は6.5%であり、抵抗性遺伝子を持たない「ハウス桃太郎」の13.8%より少なかった(表4)ものの、試験3における両品種の発病度は55.2と57.2とほぼ同程度であった(表6)。また、「桃太郎ファイト」の無散布区の発病度は試験14では発病度94.4(表17)、試験17では75.0(表20)、試験18では36.5、試験19では53.6(表21)、試験20では95.9(表22)に達し、*Cf-4*を持つ品種を侵すレースの存在が強く示唆された。

一方、葉かび病抵抗性遺伝子*Cf-9*をもつ「桃太郎コルト」の無散布区における発病度は2006~2008年に実施した試験7、試験10、試験14においてはいずれも0であっ

た(表10, 13, 17)。一方, Cf-9を持つと考えられる「麗夏」の無散布区における発病度は, 2008年に実施した試験14では0であった(表17)が, 2009年に実施した試験16においては7月25日に初発し, 10月8日には発病度78.3にまで達した(表19)。

5. 薬剤散布体系

試験3では, 化学農薬と生物農薬を交互に散布した区(以下: 化生交互)と, それぞれを3回ずつ交互に散布した区(化3生3交互)を設定し, 防除効果を比較した。灰色かび病に対する防除効果は41および40と同等であったが, 葉かび病に対しては前者が防除価70, 後者が防除価13であり, 前者の効果が優った(表6)。試験5においても化生交互区と, それぞれを4回ずつ交互に散布した区(化4生4交互)を設定し, 防除効果を比較した結果, 灰色かび病および葉かび病ともに, 化生交互区で防除効果が高かった(表8)。以上の結果より, 生物農薬の散布方法として, 化学農薬との交互散布が最も効果的であると判断した。

また, 化生交互区の防除効果が化学農薬の残効であるか否かを確認するために, 化学農薬の散布間隔を通常の2倍(14~20日間隔)で散布する区(2倍間隔散布区)を設定し, 化生交互区と防除効果を比較した。試験7では果実の灰色かび病およびうどんこ病に対する防除効果は2倍間隔散布区がそれぞれ47, 93であったのに対して化生交互区は74, 100であり, 後者の効果が高かった(表10)。同様に試験10(表13)および試験14(表17)においても, 後者が前者より各病害に対する防除効果が高く, 化生交互区の防除効果は, 化学農薬の残効ではなく生物農薬の散布による防除効果が発揮されていることが明らか

となった。

さらに, 化学農薬と生物農薬またはポリオキシソルボン水溶剤を交互に散布した区(以下: 化生ポリ交互)においても同様の試験を行ったところ, 試験16(表19), 試験17(表20), 試験20(表22)において, 化生ポリ交互区は2倍間隔散布区より高い防除効果を示した。

次に最も効果的な生物農薬および天然由来物質の散布体系である化生交互および化生ポリ交互の防除効果を化学農薬のローテーション散布(以下; 化学ローテ)区の防除効果と比較した。

灰色かび病に対する化生交互区および化生ポリ交互区の防除効果は全12事例中, 試験1, 9, 10(品種: 桃太郎コルト), 11の4事例では化学ローテ区より防除価が高かった(表4, 12~14)。化生交互区および化生ポリ交互区の防除価は, 試験3(表6)では, 化学ローテ区より18ポイント低かったものの, その他の7事例(試験5, 7, 10, 14, 16, 17, 19)では, 化学ローテ区との防除価の差は10ポイント以内であった(表8, 10, 13, 14, 17, 19, 20, 22)。

葉かび病に対する化生交互区および化生ポリ交互区の防除効果は全9事例中, 試験5, 9, 11, 14, 17の5事例では化学ローテ区との防除価の差が10ポイント以内でほぼ同等の防除効果が認められたが(表8, 12, 14, 17, 20), 試験3, 10, 16, 19では化学ローテ区よりそれぞれ19, 14, 25, 24ポイント防除価が低かった。

うどんこ病は, 試験1, 3, 5, 9~11で無発生であった(表1~3)。また, 化生交互区および化生ポリ交互区のうちうどんこ病に対する防除価は試験7, 14, 17, 20においていずれも100であった(表10, 17, 20, 22)。

表1 2005~2006年の各試験の耕種概要および各病害の初発月日

試験年次 試験番号 作型 品種	2005年				2006年				
	試験1 半促成 表5	試験2 夏秋どり ハウス ^{a)}	試験3 夏秋どり ファイト ^{b)}	試験4 抑制 ハウス	試験5 半促成 ハウス	試験6 夏秋どり ハウス	試験7 夏秋どり 表11	試験8 抑制 ハウス	
区制	株数/区	10	10	10	10	10	10	10	
	反復数	3	3	3	3	3	3	3	
初発日	定植日	4/4	6/9	6/9	8/2	4/12	6/6	6/6	7/27
	灰かび病	5/17	7/5	7/5	9/6	6/2	6/29	6/23	—
	葉かび病	7/27	7/27	7/27	9/5	7/3	7/31	7/3	8/3
	うどんこ病	無 ^{c)}	— ^{d)}	無	—	無	8/7	7/27	—
薬剤散布開始月日	5/13(5/6) ^{e)}	7/5	7/6	9/2	6/2(5/1)	6/28	6/23(6/29)	8/3	
最終薬剤散布月日	8/12	9/13	9/14	10/7	8/1	8/9	8/30	8/31	

a) ハウス桃太郎. b) 桃太郎ファイト. c) 無発生. d) 未調査. e) 化学農薬散布開始月日(生物農薬散布開始月日)

表2 2007～2008年の各試験の耕種概要および各病害の初発月日

試験年次 試験番号 作型 品種	2007年				2008年			
	試験9	試験10	試験11	試験12	試験13	試験14	試験15	
	半促成 ハウス ^{a)}	夏秋どり 表14	夏秋どり ハウス	抑制 ハウス	半促成 ファイト ^{b)}	夏秋どり 表18	抑制 ハウス	
区制	株数/区	20	10	20	10	18	18	14
	反復数	3	3	3	3	2	2	2
初発日	定植日	4/4	5/31	5/31	8/7	4/17	6/10	7/22
	灰かび病	5/25	6/29	7/2	—	6/6	6/29	—
	葉かび病	7/5	7/27	7/19	8/29	—	8/4	8/12
	うどんこ病	無 ^{c)}	— ^{d)}	無	—	—	8/13	—
薬剤散布開始月日		5/25	7/10	7/3	8/24	6/11	6/24	8/8
最終薬剤散布月日		8/9	9/7	9/10	9/28	7/18	9/18	9/12

a) ハウス桃太郎. b) 桃太郎ファイト. c) 無発生. d) 未調査.

表3 2009～2010年の各試験の耕種概要および各病害の初発月日

試験年次 試験番号 作型 品種	2009年				2010年	
	試験16	試験17	試験18	試験19	試験20	
	夏秋どり 麗夏	夏秋どり ファイト ^{a)}	抑制 ファイト	抑制 ファイト	夏秋どり ファイト	
区制	株数/区	28	28	16	18	28
	反復数	2	2	2	2	2
初発日	定植日	6/3	6/3	7/31	7/31	5/31
	灰かび病	7/6	7/6	—	—	7/9
	葉かび病	7/25	7/25	8/5	8/5	7/22
	うどんこ病	— ^{b)}	8/7	—	—	7/29
薬剤散布開始月日		6/11	6/11	8/7	8/7	6/9
最終薬剤散布月日		9/15	9/15	9/7	9/7	9/7

a) 桃太郎ファイト. b) 未調査

表4 トマト病害に対する生物農薬および生物農薬を組み入れた薬剤散布体系の防除効果 (試験1: 2005年・半促成作型)

品種	処理区	灰色かび病		葉かび病 ^{a)}	汚れ	成分回数
		果実 ~8/18		8/18		
		発病果率 (%)	防除価	発病複葉率 (%)		
桃太郎 ファイト	化学ローテ	7.4	45	4.2	—	16
	化生交互	3.5	74	5.7	—	10
	インプレッション水和剤	5.9	57	0.8	±	0
	無処理	13.6	—	6.5	—	0
ハウス	インプレッション水和剤	5.5	78	10.1	±	0
桃太郎	無処理	24.8	—	13.8	—	0

a) 少発生のため葉かび病に対する防除効果を判定せず

表5 トマトの各病害に対する生物農薬および生物農薬を組み入れた薬剤散布体系の防除効果 (試験2: 2005年・夏秋どり作型・供試品種「ハウス桃太郎」)

処理区	灰色かび病			葉かび病		汚れ
	果実 ~9/20	葉 8/16		8/10		
		発病果率 (%)	発病度	防除価	発病度	
化学ローテ	1.0	4.1	82	2.4	58	—
インプレッション水和剤	3.3	10.5	53	3.7	35	±
エコショット	3.3	9.6	57	4.4	23	—
ポリオキシン複合体水和剤	1.5	9.8	56	1.7	70	—
無処理	2.9	22.3	—	5.7	—	—

表6 トマトの各病害に対する生物農薬および生物農薬を組み入れた薬剤散布体系の防除効果
(試験3:2005年・夏秋どり作型)

品種	処理区	灰色かび病			葉かび病		汚れ	成分回数
		果実		葉	9/18			
		~9/18	発病度	防除価	発病度	防除価		
桃太郎ファイト	化学ローテ	2.5	13.7	59	6.2	89	—	13
	化生交互	3.5	19.8	41	16.8	70	±	7
	化3生3交互	3.5	20.0	40	48.1	13	±	9
	インプレッション水和剤	1.6	28.2	15	45.3	18	±	0
	無処理区	3.9	33.3	-	55.2	-		0
ハウス桃太郎	無処理区	2.7	28.8	-	57.2	-		0

表7 トマトの各病害に対する生物農薬およびポリオキシシン複合体水和剤の防除効果
(試験4:2005年・抑制作型・供試品種「ハウス桃太郎」)

処理区	希釈倍数	灰色かび病 (葉)		葉かび病		汚れ
		10/13		10/7		
		発病度	防除価	発病度	防除価	
エコショット	×1000	0.7	89	27.5	51	—
ポリオキシシン複合体水和剤	×1000	1.7	74	32.3	42	—
対照) ボスカリド水和剤	×1000	1.6	76	10.1	82	—
無処理		6.6		55.6	-	

表8 トマトの各病害に対する生物農薬および生物農薬を組み入れた薬剤散布体系の防除効果
(試験5:2006年・半促成作型・供試品種「ハウス桃太郎」)

処理区	灰色かび病				葉かび病				汚れ	成分回数
	果実		果実		7/18		8/8			
	~7/14	~8/8	~7/14	~8/8	発病度	防除価	発病度	防除価		
化学ローテ	-	-	2.1	85	-	-	8.5	53	—	10
化生交互	-	-	2.2	84	-	-	8.1	55	±	6
化4生4交互	-	-	3.7	73	-	-	11.9	34	±	5
インプレッション水和剤	5.7	85	-	-	5.0	58	-	-	±	0
エコショット	13.9	64	-	-	9.0	25	-	-	—	0
ジェト・チオ水和剤 ^{a)}	5.3	85	-	-	1.1	91	-	-	—	22
無処理	38.6		13.8	-	12.0		17.9	-		0

a) ジェトフェンカルブ・チオファネートメチル水和剤

表9 トマトの各病害に対するポリオキシシン複合体水和剤の防除効果
(試験6:2006年・夏秋どり作型・供試品種「ハウス桃太郎」)

処理区	希釈倍数	灰色かび病		葉かび病		汚れ
		果実		8/16		
		発病果率(%)	防除価	発病度	防除価	
ポリオキシシン複合体水和剤	×500	4.1	74	10.8	71	—
対照) ジェト・チオ水和剤 ^{a)}	×1000	4.6	71	5.9	84	—
無処理		16.2	-	37.4		

a) ジェトフェンカルブ・チオファネートメチル水和剤

表10 トマトの各病害に対する生物農薬および生物農薬を組み入れた薬剤散布体系の防除効果
(試験7：2006年・夏秋どり作型)

品種	処理区	灰色かび病		葉かび病		うどんこ病		汚れ	成分回数
		果実 ~9/6		9/6		9/6			
		発病果率(%)	防除価	発病度	防除価	発病度	防除価		
桃太郎	化学ローテ	3.2	81	0.0	-	0.0	100	-	13
コルト	2倍間隔散布	8.8	47	0.0	-	1.8	93	-	7
	化生交互	4.4	74	0.0	-	0.0	100	±	7
	インプ ^{a)}	5.9	64	0.0	-	1.2	96	±	0
	無処理	16.6	-	0.0	-	26.7	-	-	0
ハウス	化生交互	3.2	62	22.3	63	1.4	96	±	7
桃太郎	無処理	8.4	-	60.6	-	37.6	-	-	0

a) インプレッション水和剤

表11 トマトの葉かび病に対する生物農薬の防除効果
(試験8：2006年・抑制作型・供試品種「ハウス桃太郎」)

処理区	希釈 倍数	葉かび病		汚れ
		8/29		
		発病度	防除価	
インプレッション水和剤	×500	6.5	69	±
エコショット	×2000	7.1	66	-
対照) テトラコナゾール液剤	×3000	0.3	98	-
無処理		20.8		

表12 トマトの各病害に対する生物農薬および生物農薬を組み入れた薬剤散布体系の防除効果
(試験9：2007年・半促成作型・供試品種「ハウス桃太郎」)

処理区	灰かび病			葉かび病		汚れ	成分回数
	果実 ~8/16	葉 8/16		8/16			
		発病果率(%)	発病度	防除価	発病度		
化学ローテ	0.9	3.9	89	1.6	96	-	12
化生交互	1.3	2.5	93	3.1	91	-	6
無処理	5.4	35.5		36.2			0

表13 トマトの各病害に対する生物農薬および生物農薬を組み入れた薬剤散布体系の防除効果
(試験10：2007年・夏秋どり作型)

品種	処理区	灰色かび病				葉かび病		汚れ	成分回数
		果実 9/11		葉 9/11		9/11			
		発病果率(%)	防除価	発病度	防除価	発病度	防除価		
ハウス	化学ローテ	1.4	-	4.3	88	10.1	87	-	12
桃太郎	2倍間隔散布	4.7	-	16.8	52	41.2	49	-	6
	化生交互	2.1	-	7.3	79	21.4	73	-	6
	無処理	9.1		35.0		80.2		-	0
桃太郎	化学ローテ	6.7	77	15.0	-	0	-	-	12
コルト	化生交互	6.4	78	19.1	-	0	-	-	6
	無処理	28.9		47.2		0		-	0

表14 トマトの各病害に対する生物農薬および生物農薬を組み入れた薬剤散布体系の防除効果
(試験11:2007年・夏秋どり作型・供試品種「ハウス桃太郎」)

処理区	灰色かび病			葉かび病		汚れ	成分回数
	果実 ~9/18	葉 9/18		9/18			
		発病果率(%)	発病度	防除価	発病度		
化学ローテ	0.4	6.8	82	3.6	96	—	11
化生ポリ交互	0.6	4.0	90	9.0	90	—	5
無処理	6.5	38.4		88.0		—	0

表15 トマトの各病害に対する生物農薬の防除効果
(試験12:2007年・抑制作型・供試品種「ハウス桃太郎」)

処理区	希釈倍数	灰色かび病 (葉)		葉かび病		汚れ
		9/20		10/4		
		発病度	防除価	発病度	防除価	
エコショット	×1000	0.7	90	3.5	86	—
インプレッション水和剤	×500	1.0	87	3.7	85	±
対照) イミノクタジナルベシル酸塩水和剤	×2000	1.7	77	4.4	82	—
無処理		7.3		24.4		

表16 トマトの葉かび病に対する生物農薬の防除効果
(試験13:2008年・半促成作型・供試品種「桃太郎ファイト」)

処理区	希釈倍数	灰色かび病			汚れ
		発病果率 (%)	~7/5		
			発病度	発病複葉率(%) 7/5	
エコショット	1000	20.1	24	20.5	—
対照) ボスカリド水和剤	1000	7.7	71	2.0	—
無散布		26.3		31.0	

表17 トマトの各病害に対する生物農薬および生物農薬を組み入れた薬剤散布体系の防除効果における病害発生状況
(試験14:2008年・夏秋どり作型)

品種	処理区	灰色かび病			葉かび病		うどんこ病		汚れ	成分回数
		発病果率 (%)	~10/8 防除価	発病複葉率(%) 10/7	9/26		9/26			
					発病度	防除価	発病複葉率(%)	防除価		
桃太郎	化学ローテ	2.6	85	2.5	0.2	99.8	0.0	100	—	19
ファイト	2倍間隔散布	5.2	71	6.3	19.4	79	0.0	100	—	10
	化生交互	2.8	84	9.5	2.2	98	0.0	100	—	10
	無散布	17.9		61.4	94.4		74.7			0
麗夏	無散布	- ^{a)}		-	0.0		66.3			0
桃太郎コルト	無散布	-		-	0.0		56.0			0

a) 未調査

表18 トマトの葉かび病に対する生物農薬の防除効果
(試験15:2008年・抑制作型・供試品種「ハウス桃太郎」)

処理区	希釈倍数	葉かび病		汚れ
		9/14		
		発病度	防除価	
エコショット	1000	12.2	78	—
対照) トリフルミゾール水和剤	3000	0.4	99	—
無散布		55.3	0	

表19 トマトの各病害に対する生物農薬および生物農薬を組み入れた薬剤散布体系の防除効果
(試験16：2009年・夏秋どり作型・供試品種「麗夏」)

処理区	灰色かび病			葉かび病		汚れ	成分回数
	発病果率 (%)	発病複葉率 (%)		発病度			
		10/8	防除価	10/8	防除価		
化学ローテ	2.5	1.8	94	14.2	82	—	15
2倍間隔散布	1.5	12.0	63	42.7	45	—	8
化生ポリ交互	0.8	2.9	91	33.4	57	—	8
無散布	4.2	32.6		78.3		—	0

表20 トマトの各病害に対する生物農薬および生物農薬を組み入れた薬剤散布体系の防除効果
(試験17：2009年・夏秋どり作型・供試品種「桃太郎ファイト」)

処理区	灰色かび病			葉かび病		うどんこ病		汚れ	成分回数
	発病果率 (%)	発病複葉率 (%)		発病度		発病複葉率 (%)			
		防除価	10/9	9/3	防除価	9/4	防除価		
化学ローテ	1.6	86	6.8	2.7	96	0.0	100	—	15
2倍間隔散布	5.2	53	10.5	22.6	70	0.4	99.6	—	8
化生ポリ交互	2.3	79	4.0	2.6	97	0.0	100	—	8
無散布	11.1		86.0	75.0		100.0		—	0

表21 トマト葉かび病に対する生物農薬およびポリオキシシン複合体水溶剤の防除効果
(試験18, 19：2009年・抑制作型・供試品種「桃太郎ファイト」)

処理区	希釈倍数	試験18			試験19			汚れ
		葉かび病		汚れ	葉かび病		汚れ	
		9/14	発病度		9/14	発病度		
エコショット	1000	12.9	65	—	24.3	55	—	
ポリオキシシン複合体水溶剤	2500	— ^{a)}	—	—	15.0	72	—	
対照) イミノクタジンアルベシル酸塩水和剤	2000	4.2	88	—	6.0	89	—	
無散布		36.5			53.6			

a) 未供試

表22 トマトの各病害に対する生物農薬および生物農薬を組み入れた薬剤散布体系の防除効果
(試験20：2010年・夏秋どり作型・供試品種「桃太郎ファイト」)

処理区	灰色かび病			葉かび病		うどんこ病			汚れ	成分回数	
	発病果率 (%)	葉		発病度		発病複葉率 (%)		発病度			
		~9/16	9/16	防除価	9/16	防除価	9/16	防除価			9/16
化学ローテ	0.1	3.7	96	22.8	76	0.5	0.1	99.9	—	13	
2倍間隔散布	0.4	47.1	50	76.6	20	29.7	7.7	92	—	6	
化生ポリ交互	0.4	8.7	91	46.2	52	0.0	0.0	100	—	6	
無散布	3.3	95.0		95.9		99.1	91.8			0	

考 察

本研究に供試した生物農薬インプレッション水和剤およびエコショットのトマト灰色かび病および葉かび病に対する防除効果は試験間で振れが大きかった。バチルス・ズブチリス水和剤は、直接病原菌を死滅させる効果はなく、植物体表面で活動し病原菌より先に葉面に定着し、病原菌と棲息場所および栄養分を奪い合うことにより防除効果を発揮する⁸⁾。本研究で生物農薬の防除効果が試験間での振れが大きかった原因は、細菌の増殖に不適な環境下では防除効果が著しく劣ったためであると考えられる。

一方、本研究では天然由来物質のポリオキシン複合体水和剤および同水溶剤も灰色かび病および葉かび病に対して防除効果を示すとともに、生物農薬と比較して防除効果が安定していることを明らかにした。そのため、同剤はトマトの減農薬栽培に活用できると考えられる。バチルス・ズブチリス水和剤が農薬登録において散布回数に制限がないのに対して、同剤の最大散布回数は3回である¹¹⁾。同剤と生物農薬の防除効果の差は灰色かび病より葉かび病で顕著であった。トマト栽培では先に灰色かび病が初発し、続いて葉かび病が初発する傾向が認められた(表1～3)。そのため、はじめに化学合成農薬と生物農薬を交互に散布し、葉かび病初発後は化学合成農薬とポリオキシン複合体水和剤または水溶剤を交互に散布する薬剤散布体系が最も効果的であると判断した。

化生交互区および化生ポリ交互区の灰色かび病に対する防除効果は、12事例中11事例で化学ローテ区との防除価の差が10ポイント以内であり、化学ローテ区と同等からやや劣るものの比較的安定した防除効果を示した。一方、葉かび病に対しては9事例中5事例では灰色かび病と同様に両区の防除価の差が10ポイント以内であったが、4事例では10ポイント以上の差が生じ、本試験で確立した薬剤散布体系は葉かび病に対する防除効果において化学ローテ区より劣る場合があることが明らかとなった。

うどんこ病に対する各種薬剤の防除効果は試験事例数が少なく明らかにできなかった。しかし、灰色かび病および葉かび病に対する各種薬剤の防除効果から構築した化生交互区および化生ポリ交互区はいずれもうどんこ病に対して高い防除効果を示し、前述の散布体系によりうどんこ病も同時防除できることが明らかとなった。

インプレッション水和剤はいずれの試験においても果実の汚れが発生した。トマトは通常選果場でブラッシング作業が行われるため、この工程で汚れは軽減される。果実の汚れがどの程度許容されるかは、出荷先によって異なるため、本研究では汚れの有無を根拠に実用性を評価しなかったが、同剤による汚れが生産上問題となる場

合は、生物農薬としてエコショットを用いることで問題を解決できる。

山田・我孫子¹³⁾は、1997年に道内で分離したトマト葉かび病菌がいずれも*Cf-4*を持つ品種を侵すことができないレース2であることを報告している。しかし、本試験を開始した2005年時点においては、道内の現地ハウスでは*Cf-4*を持つ「桃太郎ファイト」で葉かび病が常発している状態であった。そこで著者らは、2006年に道内各地から26菌株の葉かび病菌を採取し、市販品種に対する病原性を検討し、このうち20菌株(77%)が*Cf-4*を持つ品種に病原性を示すこと、および*Cf-9*を持つ品種に病原性を示す菌株はないことを明らかにした¹⁰⁾。

本研究の2005年～2008年における各品種の葉かび病の発生状況および現地における発生状況はレース検定の結果と一致し、*Cf-4*を持つ品種では葉かび病が発生するものの、*Cf-9*を持つ品種においては発生が認められない状態であった。しかし、2009年に試験ハウス内において*Cf-9*を持つと考えられる「麗夏」で葉かび病の発病が認められた。分離菌株は、接種により*Cf-9*を持つ「桃太郎コルト」に病原性を示す新レースであることを確認した²⁾。同年には、北斗市内の一般栽培ハウス2筆で新レースの発生を確認した。*Cf-9*を持つ品種を侵すレースは2007年に福島、群馬、千葉の3県で発生が確認され¹⁾、その後、岩手⁶⁾、愛知、三重、佐賀の各県においても発生が確認されており、全国的に蔓延しつつある⁵⁾。

葉かび病抵抗性品種の栽培は、本研究の2008年までのデータが示すように葉かび病が無発生となるため、耕種的防除対策として有効である。しかしながら、抵抗性品種市販の2～3年後には抵抗性を打破するレースが出現している¹⁾ことから、飯田⁵⁾は、単一の優性遺伝子による抵抗性品種に依存した防除体系では、多様化する病原菌の寄生性を根本的に制御することはできないと指摘している。*Cf-9*を持つ品種を侵すレースの北海道内における分布は明らかではないが、新レースが全国的に蔓延しつつあることから、道内においても急速に蔓延することが予想される。

本研究で確立した減化学合成農薬散布体系における化学合成農薬の使用回数は5～10回であり、化学合成農薬のローテーション散布区の使用回数10～19回と比較して50%削減できた(表4, 6, 8, 10, 12, 13, 14, 17, 19, 20, 22)。そのため、本技術は道内の減農薬トマト栽培に活用できる。また、品種の葉かび病抵抗性に依存しない技術であることから、今後長く現地で利用可能である。

引用文献

- 1) Enya, J., Ikeda, K., Takeuchi, T., Horikoshi, N., Higashi, T., Sakai, T., Iida, Y., Nishi, K., Kubota, M. The first occurrence of leaf mold of tomato caused by races 4.9 and 4.9.11 of *Passalora fulva* (syn. *Fulvia fulva*) in Japan. J. Gen. Plant Pathol. 75, 76-79 (2009)
- 2) 北海道病害虫防除所. 平成21年の発生に鑑み注意すべき病害虫. 北農. 77, 203-216 (2010)
- 3) 北海道クリーン農業推進協議会. 「北のクリーン農産物表示制度」要領・様式集(改訂版). 2010, p.152
- 4) 北海道野菜地図編集委員会編. 北海道野菜地図・その35. 北海道農業協同組合中央会・ホクレン農業協同組合連合会, 2012, p.15-20
- 5) 飯田祐一郎. トマト葉かび病菌の新たな病原系統の収集. 微生物遺伝資源探索収集調査報告書. 23, 1-8 (2010)
- 6) Iida, Y., Iwadate, Y., Terami, F., Kubota, M. Occurrence of a new race 2.9 of leaf mold of tomato in Japan. J. Gen. Plant Pathol. 76, 84-86 (2010)
- 7) 石井正義. 日本植物病大事典, 全国農村教育協会, 1998, p.471-477
- 8) 川根 太. 微生物農薬(病害防除剤)の特性および開発の現状. 植物防疫. 54, 342-345 (2000)
- 9) 窪田昌春. 国内におけるトマト葉かび病菌レースの変遷. 植物防疫. 63, 357-360 (2009)
- 10) 野津あゆみ. 道内各地のトマトから分離した葉かび病菌の異なる抵抗性遺伝子を持つ品種に対する病原性. 日植病報. 74, 79 (2006)
- 11) 農林水産消費安全技術センター. 農薬適用一覧. 日本植物防疫協会, 2011, p.264-281
- 12) 對馬誠也. 生物農薬が直面している問題点と今後の課題. バイオコントロール研究会レポート. 12, 1-6 (2012)
- 13) 山田憲吾, 我孫子和雄. 1997-1998年に日本で採集されたトマト葉かび病菌のレース構成. 日植病報. 68, 36-38 (2002)

Control effectiveness of foliar application of biological control agents and a material extracted from natural resource against major diseases of tomato and the reduced chemical fungicide application schedule using them

Tomoo MISAWA*¹, Ayumi NOTSU*² and Shinji YASUOKAI*³

Summary

Control effectiveness of foliar application of biological control agents, i.e. *Bacillus subtilis* wettable powder (BS) and a material extracted from natural resource, i.e. Polyoxin water-soluble powder or Polyoxin wettable powder (POL), against grey mold, leaf mold and powdery mildew of tomato were evaluated in greenhouses in Hokkaido, Japan, from 2005 to 2010.

Two BS, commercial name Impression (BS-I) and Ecoshot (BS-E), and POL were effective with protective values of 15–87 (Ave.63), 24–90 (Ave.65) and 56–74 (Ave.68) against grey mold, respectively. They were also effective with protective values of 18–85 (53), 23–86 (56) and 42–72 (Ave.64) against leaf mold, respectively. Control effectiveness of all agents against powdery mildew could not be evaluated.

We have established the application schedule using BS and POL to reduce of the number of chemical fungicides use. Alternative spray chemical fungicides and BS or POL was the most effective. The application schedule showed almost the same or slightly inferior control effectiveness with rotation spray of chemical fungicides against grey mold and powdery mildew of tomato. In some tests, however, control effectiveness of the application schedule against leaf mold was lower than rotation spray of chemical fungicides. The established application schedule allows the tomato cultivation using half number of chemical fungicides as compared with conventional and it is applicable to cultivation of both resistant and susceptible cultivars against leaf mold disease.

*¹ Donan Agricultural Experiment Station, Hokkaido Research Organization, Hokuto, Hokkaido 041-1201, Japan
E-mail: misawa-tomoo@hro.or.jp

*² ditto. (Present; Hokkaido Central Agricultural Experiment Station, Hokkaido Research Organization, Naganuma, Hokkaido 069-1395, Japan)

*³ ditto. (Present; Tokachi Agricultural Experiment Station, Hokkaido Research Organization, Memuro, Hokkaido 082-0071, Japan)