

雨除け栽培で発生するトマトかいよう病に対する 総合防除対策

岡山県農林水産総合センター 農業研究所 かわ ぐち あきら
川 口 章

はじめに

トマトかいよう病は *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis* によって起こる細菌病である。我が国では 1958 年に北海道において初めて発生が確認され（成田・馬場, 1959）、その後全国的に発生が認められるようになり、各地で大きな被害をもたらした（佐々木・梅川, 1986 a ; 1986 b）。発生当初は露地栽培での被害が大きく、本病の発生と被害は雨除け栽培により軽減できるとされていたが（佐々木・梅川, 1986 a ; 1986 b）、近年再び全国的に発生が広がっている（大谷ら, 2007 ; 竹内ら, 2008 ; 漆原ら, 2009）。世界に目を向けると、ヨーロッパや中東諸国においてもやはり施設栽培で本病の発生が問題となっている（Ioannou et al., 2000 ; Kleitman et al., 2008）。

岡山県では 1972 年に 6 月下旬定植の露地栽培トマトで初発生が確認され、一部産地では猛威を振るったが、1980 年代における施設型の雨除け（夏秋）栽培の普及後は大きな被害は見られなくなった。これは栽培様式が、風雨による病原細菌の伝搬を抑制したことによるものと考えられた。しかし、2004 年、県中部・北部の雨除け栽培産地で本病の発生が再び問題になった。

本県の雨除け栽培における本病の症状は中位葉が黄化して枯れ込み、次第に株全体が萎凋、枯死する。一度発病すると病勢の進行を止めることは非常に困難であり、効率的な防除を行うには、病害防除の基本である伝染経路を突き止めることが極めて重要である。これまでは、露地栽培における本病の発生病態が研究の中心であり（佐々木・梅川, 1986 a ; 1986 b ; 1987）、雨除け栽培における伝染経路についてはあまり知られていなかった。そこで筆者らは、DNA フィンガープリント法で病原細菌をいくつかの型に個体識別し、現地での病原細菌の動態を追跡することによって、雨除け栽培における本病の一次伝染が土壌伝染であることを明らかにした（川口ら, 2008 ; 2010 a ; 川口, 2010 a ; 2010 b ; Kawaguchi et

al., 2010 ; 谷名ら, 2008）。さらに、圃場内での発病株の空間分布解析を行った結果、二次伝染は生産者の管理作業（芽かき、収穫、誘引等）による接触伝染の影響が強いことを明らかにした（川口ら, 2010 a ; 川口, 2010 a ; 2010 b ; Kawaguchi et al., 2010）。

そこで本稿では、これら明らかになった伝染源に対する防除対策について報告する。また、本稿の一部は既に報告した（川口ら, 2010 b）ので、合わせて参照されたい。なお、本研究は農林水産省病害虫防除農薬環境リスク低減技術確立事業（2006～08 年）で実施した。

I 一次伝染に対する防除対策

1 ダゾメット粉粒剤による土壌消毒

これまでの筆者らの研究により、本県の雨除け栽培トマトにおける本病の一次伝染が土壌伝染であることが明らかになった。本病の発生圃場において土壌中に残存した前年のトマト残渣は土壌伝染の要因の一つであり（川口, 2010 b）、土壌の深さ 10 cm 程度までの保菌植物残渣は伝染源となりうることから（大谷ら, 2007）、次年度への伝染源を低減させる対策として、罹病植物残渣をできるだけ圃場外に持ち出して処分することが望ましい。しかし、土壌中の残根などを全て取り出すことは不可能であることから、防除対策として土壌消毒が考えられる。小松（2008）は太陽熱消毒や還元土壌消毒の効果を検討しているが、ここでは、ダゾメット粉粒剤による土壌消毒の効果を検討した。

防除試験は岡山県の夏秋トマト生産者 3 戸（生産者 A～C）の雨除けハウスで実施した。2006 年に生産者 A のハウス 6 棟（4 棟を土壌消毒区、2 棟を無処理区）、生産者 B のハウス 3 棟（2 棟を土壌消毒区、1 棟を無処理区いずれも 2.9 a）、生産者 C のハウス 2 棟（1 棟を土壌消毒区、1 棟を無処理区）、2007 年には生産者 C のハウス 4 棟（2 棟を土壌消毒区、2 棟を無処理区）、2008 年に生産者 C のハウス 2 棟（1 棟を土壌消毒区、1 棟を無処理区）で試験を行い、3 人の生産者の圃場で 3 年間かけて五つの防除試験データ（試験事例 1～5）を収集した。

結果は表-1 に示した。試験事例 3 と 5 は防除効果が認められたが（防除値 61.9 と 73.8）、試験事例 2 と 4 は無処理区の発病が極めて少ないことから、判定は困難で

Integrated Control of Tomato Bacterial Canker in Greenhouse.
By Akira KAWAGUCHI

（キーワード：トマトかいよう病、土壌消毒、接触伝染、防除対策）

表-1 岡山県の現地圃場におけるトマトかいよう病に対するダズメット粉粒剤の防除試験事例

試験事例	実施年	圃場場所 (生産者)	ハウス 1 棟 当たりの 面積	土壌消毒区				無処理区				防除値 ^{a)}
				ハウス 棟数	総調査 株数	総発病 株数	発病割合 (%)	ハウス 棟数	総調査 株数	総発病 株数	発病割合 (%)	
1	2006	真庭市黒杭 (A)	1.8 ~ 4.2 a	4	2,058	131	6.4	2	1,452	41	2.8	0
2	2006	真庭市黒杭 (B)	2.9 a	2	1,032	0	0	1	468	2	0.4	100
3	2006	真庭市蒜山 (C)	2.8 a	1	690	51	7.4	1	690	134	19.4	61.9
4	2007	真庭市蒜山 (C)	3.6 a	2	1,368	12	0.9	2	1,393	25	1.8	50.0
5	2008	真庭市蒜山 (C)	2.8 a	1	480	75	15.6	1	480	354	73.8	78.9

^{a)} 防除値 = $100 - (\text{土壌消毒区の発病割合} \times 100) / (\text{無処理区の発病割合})$ 。負の数になった場合は防除値 = 0 とした。

あった。試験事例 1 も同様に無処理区の発病が非常に少なかったが、土壌消毒区の発病が無処理区より多かったため、防除効果はないと考えられた。

2 土壌消毒の防除試験を行ううえでの問題点

植物の地上部で発生する病害虫の一般的な防除試験であれば、一つの圃場の中でランダムな試験区を配置して反復をとることが可能であるが、特にハウス栽培における土壌消毒の試験では、ハウス 1 棟の土壌全面を処理することが多いため、試験区のランダムな配置が困難な場合がある。その場合、比較対照として隣接する別のハウスを無処理区とする必要があるが、隣同士のハウスの伝染源量や発病を促すその他の環境要因が異なるため、一つの敷地内で複数のハウスを用いて試験を行い、ハウス 1 棟を 1 反復として、できれば処理区と無処理区で 3 棟ずつ欲しいところである。

しかしながら、一つの防除試験のために、十分な栽培面積を持つハウスを 6 棟も試験研究機関で用意することは困難な場合も多いので、生産者の圃場を借りて試験を行うことも想定される（公設試験研究機関ではこちらの方が多くかもしれない）。しかしここにも問題がある。生産者の圃場で試験を行う場合には、無処理区を設定することが困難な場合があり、設定できたとしてもその面積を小さくして、生産者への経済的な被害を最小限にするような試験区を設定しなければならない。

本稿においても表-1 のように、試験事例ごとのハウスの数やその面積も均一でなく、土壌消毒区と無処理区のハウス棟数が違う事例もあり、その場合両者で調査株数が大きく異なっている。さらに個々の試験事例でデータにばらつきがあり、効果があった事例、なかった事例、判定が困難な事例が混在した状態では、「果たしてこの防除法は有効と言えるのか」と判断に苦慮してしまう。

3 「メタアナリシス (Meta-analysis)」を用いた複数の試験事例の統合

田代 (2006) は複数の研究事例を集積し、発生程度、

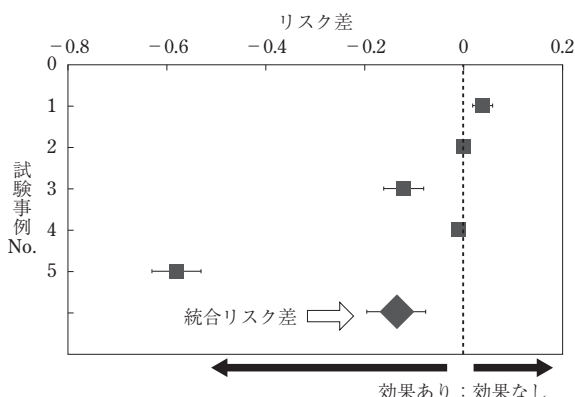


図-1 トマトかいよう病に対するダズメット粉粒剤の効果のメタアナリシス (リスク差の評価)

変量効果モデル統合方法である DerSimonian-Laird method ($n = 5$) で行い、土壌消毒区と無処理区の発病割合の差をリスク差とした。無処理区に対する統合リスク差は -0.14 となり、95%信頼区間は 0 を含まない ($-0.19 \sim -0.06$) ことから、防除効果が有意 (5%) に認められた。

調査株数等のばらつきを統計学的にまとめて全体として結論を導き出す解析手法としてメタアナリシスの有効性を主張している。そこで、これらの試験事例をメタアナリシスにより統合して評価した。

各試験事例で複数のハウスで試験している場合には、処理区、無処理区それぞれの圃場の調査株数を総計してデータ解析に用いた。メタアナリシスは変量効果モデル統合方法 (増田, 2003) である DerSimonian-Laird method ($n = 5$) で行い、土壌消毒区と無処理区の発病割合の差をリスク差とした。

メタアナリシスの結果を図-1 に示す。無処理に対する統合リスク差は -0.14 となり、95%信頼区間は 0 を含まない ($-0.19 \sim -0.06$) ことから、防除効果が有意 (5%) に認められた。リスク差 -0.14 は無処理区の

発病株率から 14% を引いた値が土壤消毒区の発病株率に相当することを意味し、本報告では 5 試験事例における無処理区の発病割合の平均値は 19.6% であることから、ダゾメット粉粒剤による土壤消毒区の発病割合は $19.6 - 14.0 = 5.6\%$ となる。

このように、メタアナリシスは複数の研究事例を量的に統合することができる。農業生産現場で得られた防除効果のデータを解析する際には、有効な解析手段となり得る。また、研究デザインが同じ（または近い）過去の論文や報告書のデータも量的に統合できるので、今後利用する機会は多いのではないだろうか。また、ここではリスク差を用いたが、リスクの絶対量の差を計るリスク差以外にも、リスクの相対的な違いを測るリスク比、同じ条件下における発病するリスクと発病しないリスクの比を測るオッズ比がある。

II 二次伝染に対する防除対策

1 中性次亜塩素酸カルシウムによる作業手袋の消毒

以上のように、複数年にわたる現地試験事例をメタアナリシスにより統合して評価し、本病に対するダゾメット粉粒剤の土壤消毒の有効性が示された。しかし、土壤消毒だけでは発病株をなくすことはできず、わずかに発生した発病株を伝染源として、接触伝染により発病株が増加する可能性がある。筆者らは、発病株の空間分布解析により、雨除け栽培圃場における被害の拡大には、土壤伝染よりも接触伝染の影響の方が強いことを明らかにしている（川口ら, 2010 a ; 川口, 2010 a ; 2010 b ; KAWAGUCHI et al., 2010）。

本病の二次伝染である接触伝染の対策として、漆原ら (2002) は、管理作業においてハサミを使用する場合、中性次亜塩素酸カルシウムによるハサミの消毒が伝染防止に有効であると報告している。しかし、トマトの場合、器具を用いず手で芽かきや収穫を行う生産者も多い。そこで、手袋を着用して作業し、定期的に手袋を中性次亜塩素酸カルシウムで消毒する方法を検討した。

試験は岡山県農林水産総合センター農業研究所内のガラス室（最低気温 20℃ で加温）で行った。供試トマトは「桃太郎 8」を用い、プランター（縦 58 cm × 横 18 cm × 高さ 19 cm）当たり 15 株定植した。塩化ビニル樹脂製の手袋を両手に着用し、トマトかいよう病菌の菌液（ 5×10^7 cells/ml）をハンドスプレー（1 回あたり約 1 ml）で片手当たり 5 回ずつ掌に噴霧した。病原細菌菌液を手袋に噴霧した後、無消毒区では、トマトの株元から第 4、5 節位の葉柄を指で押しつぶすようにして 1 プランター当たり 15 株連続で摘みとった。消毒区では病原細菌を



図-2 手袋への消毒液の噴霧

手袋に噴霧した後に 0.2% 中性次亜塩素酸カルシウムを片手当たり 10 回ずつ（掌、甲各 5 回ずつ）噴霧し（図-2）、手を振るって余分な薬液を落とし、無処理区と同様に葉柄を摘み取った。その後はガラス室で管理した。各試験区とも 3 プランターを供試し、同一の手袋を用いて 1 プランターを処理するごとに菌液および中性次亜塩素酸カルシウム液の噴霧を繰り返した。調査は全株について葉および葉柄、株全体の萎凋および枯死を発病株として計数し、葉害は肉眼で観察した。

その結果、病原細菌の菌液を噴霧した手袋で葉柄を摘み取った無消毒区では、トマトの発病割合は 35.6% であったのに対し、手袋を消毒した区での発病割合は 6.7% と低く抑えられたことから、0.2% 中性次亜塩素酸カルシウム 500 倍液による接触伝染の抑制効果が認められた（防除価 81.2、表-2）。また、本試験においてトマトに対する葉害は認められなかった。本試験ではトマト 15 株ごとに菌液と消毒液を噴霧したが、一回の消毒で何株まで伝染抑制効果が持続するかについては今後検討する必要がある。

お わ り に

筆者らは、岡山県の雨除け栽培圃場におけるトマトかいよう病について、一次伝染は土壤伝染に起因し、二次伝染は接触伝染に起因すると結論づけた（川口ら, 2010 a ; 川口, 2010 a ; 2010 b ; KAWAGUCHI et al., 2010 ; 谷名ら, 2008）。まず、土壤伝染により健全株が病原細菌に感染し、潜在感染株となる。雨除けトマト産地では 5 月上旬に苗を定植し、本病の初発生が 6 月末である。また、土壤伝染を再現した接種試験において、本病は接種から病徴が現れるまで 1 か月以上かかることを確認している（未発表）。また、筆者らは、潜在感染株から管

表-2 手袋の消毒によるトマトかいよう病の地上部伝染の防止効果^{a)}

手袋の消毒の有無	区	発病株数/調査株数	発病割合 (%)	防除価 ^{c)}	被害
消毒区 (0.2% 中性次亜塩素酸カルシウムを手袋に噴霧) ^{b)}	I	0/15	0.0	81.2	—
	II	1/15	6.7		—
	III	2/15	13.3		—
	平均		6.7		
無消毒区	I	3/15	20.0		—
	II	5/15	33.3		—
	III	8/15	53.3		—
	平均		35.6		

^{a)} あらかじめトマトかいよう病菌 (5×10^7 cells/ml) を手袋に噴霧した後に試験を行った。 ^{b)} 菌液を噴霧した後に 0.2% 中性次亜塩素酸カルシウムを噴霧し、1 区 15 株を連続で作業した。菌液の噴霧と 0.2% 中性次亜塩素酸カルシウムの噴霧は 1 区ごとに行った。 ^{c)} 防除価 = $100 \times (\text{消毒区の発病割合} \times 100) / (\text{無消毒区の発病割合})$ 。

理作業によって接触伝染することを確認している(川口, 2010 a ; 2010 b ; KAWAGUCHI et al., 2010)。つまり、現地の圃場では土壌伝染した潜在感染株に、生産者が気づかず管理作業で接触伝染を繰り返しているものと考えられる。接触伝染で感染した株も潜在感染株となって伝染源となり得ることから、感染株は次第に増加、発病して被害が拡大すると推察される。そのため、多発生につながる接触伝染の基となる土壌伝染由来の発病株をできるだけ少なくする防除対策と、被害を拡大させる接触伝染を抑制する対策の両方を確立しなければならない。

本報告ではこれまでに明らかになった雨除け栽培における本病の一次伝染および二次伝染の防除対策として、それぞれ土壌消毒と作業手袋の消毒の有効性を明らかにした。これらは、その年の被害を最小限にすることはもちろんのこと、翌年へ持ち越す伝染源量を減少させることにも寄与すると考えられる。

一方、本病の一次伝染には土壌伝染だけでなく種子伝染もあり、本病が発生する圃場が毎年変わったり、DNA フィンガープリント解析による個体識別がこれまでの筆者らの報告(川口ら, 2008 ; 川口, 2010 a ; 2010 b ; KAWAGUCHI et al., 2010) と異なる結果になる(品種を変えたり種子を更新すると病原細菌のフィンガー

プリントパターンが変わる) 場合には、種子伝染を疑うべきである。いずれにせよ、一次伝染が種子伝染でも土壌伝染でも、その後の多発生に接触による二次伝染が強く影響していることには変わりなく、接触伝染対策は必ず実施する必要がある。

引用文献

- 1) IOANNOU, N. et al. (2000) : J. Phytopathol. **148** : 383 ~ 386.
- 2) KAWAGUCHI, A. et al. (2010) : Plant Pathol. **59** : 76 ~ 83.
- 3) 川口 章ら (2008) : 日植病報 **74** : 76 (講要).
- 4) ————ら (2010 a) : 同上 **76** : 68 (講要).
- 5) ————ら (2010 b) : 近中四農研 **18** : 13 ~ 17.
- 6) ———— (2010 a) : EBC 研究会誌 **7** : 1 ~ 10.
- 7) ———— (2010 b) : 植物防疫 **64** : 647 ~ 652.
- 8) KLEITMAN, F. et al. (2008) : Euro. J. Plant Pathol. **121** : 463 ~ 475.
- 9) 小松 勉 (2008) : 植物防疫 **62** : 209 ~ 212.
- 10) 増井健一 (2003) : ここからはじめるメタ・アナリシス Excel を使って簡単に, 真興交易医書出版部, 東京, p. 55 ~ 68.
- 11) 成田武四・馬場徹代 (1959) : 農業および園芸 **34** : 1701 ~ 1704.
- 12) 大谷洋子ら (2007) : 関西病虫研報 **49** : 31 ~ 33.
- 13) 佐々木次雄・梅川 学 (1986 a) : 北日本病虫研報 **37** : 65 ~ 67.
- 14) ———— (1986 b) : 同上 **37** : 68 ~ 70.
- 15) ———— (1987) : 同上 **38** : 40 ~ 42.
- 16) 竹内妙子ら (2008) : 関東東山病虫研報 **55** : 21 ~ 24.
- 17) 谷名光治ら (2008) : 土壌伝染病談話会レポート **24** : 107 ~ 116.
- 18) 田代暢哉 (2006) : EBC 研究会誌 **2** : 1 ~ 10.
- 19) 漆原寿彦ら (2002) : 関東東山病虫研報 **43** : 39 ~ 41.
- 20) ———— (2009) : 植物防疫 **63** : 315 ~ 319.