

糖含有珪藻土および糖蜜吸着資材を用いた土壤還元消毒による トマト青枯病の防除

林 佑香・大谷洋子¹

和歌山県農業試験場

Control of Tomato Bacterial Wilt Disease by Reductive Soil Disinfection with Using Sugar-Containing Diatomite or Dried Molasses

Yuka Hayashi and Yoko Otani¹

Wakayama Agricultural Experiment Station

緒 言

本県ミニトマトの連作圃場では、土壤伝染性病害である青枯病の被害が問題となっている。現在、青枯病の防除対策として、改植時期に化学農薬や太陽熱を用いた土壤消毒や、ふすまを用いた土壤還元消毒が行なわれている。しかし、青枯病の病原細菌 *Ralstonia solanacearum* (以下、青枯病菌と呼ぶ) は土壤深層まで分布するため (小玉ら, 1984), これらの防除方法では、青枯病菌を完全に死滅させることは難しい (日本植物防疫協会, 1997)。それに加え、化学農薬による土壤消毒は作業者の身体への中毒症状が懸念される (岡田ら, 1970)。また太陽熱土壤消毒は、消毒効果が気象条件に左右される (山口ら, 1987; 戴ら, 2014)。ふすまを用いた土壤還元消毒は気象条件による影響は比較的小さいが、強い還元臭が発生するため、住宅に隣接した圃場等では適用が制約される (桑原ら, 2011; 小原, 2013)。

このような背景のもと、廃糖蜜や低濃度エタノールのような液体の有機物を使用した土壤還元消毒が開発された (新村, 2003; 小原ら, 2007)。これらは、中毒症状の心配がなく、還元臭も少なく、土壤深層に存在する病原菌に対して高い消毒効果を示すことが報告されている (新村, 2003; Momma et al, 2010; 門馬 2013)。しかし、廃糖蜜処理は、糖蜜水濃度を調整するために精度が高い機器を要することや、処理中の灌水濃度を監視するために、灌水処理に長時間の付き添いが必要であることが指摘されている (小松ら, 2006)。低濃度エタノール処理も同様であると思われる。廃糖蜜や低濃度エタノールを用いた土壤還元消毒処理は作業が煩雑になるという欠点があり (前田ら, 2017)、普及に至っていない。

そこで、これまでの土壤消毒法の難点を解消できる土壤還元消毒の新規資材として糖含有珪藻土および糖蜜吸着資材に着目した。糖含有珪藻土は、珪藻土を主体とした糖液の濾過助剤であり、糖蜜吸着資材は、大豆皮に糖蜜を吸着させたものである。バイアル瓶を用いた小規模試験において、青枯病菌汚染土壤に対し重量比で1%以上混和して土壤還元消毒処理したところ、両資材とも廃糖蜜

¹現在:和歌山県農林水産部農業生産局果樹園芸課農業環境・鳥獣害対策室

0.6%処理に優る青枯病菌密度低減効果が得られた（大谷，2018）．糖含有珪藻土は粉状，糖蜜吸着資材は粒状であり，両者とも資材に含まれる水溶性有機物が灌水時に溶出することで，下層土の消毒効果が期待できる．新潟県における糖含有珪藻土を用いた土壤還元消毒試験では，地下60cmまで還元され，トマト青枯病に対する高い防除効果が認められている（前田ら，2017）．本研究では，これらの資材を用いた土壤還元消毒が本県ミニトマトの連作圃場において，トマト青枯病の防除対策として有効であるかを検討した．

材料及び方法

1. 供試資材の概要

糖含有珪藻土，糖蜜吸着資材の概要を表1に示した．

表1 資材の概要

資材 (商品名)	内容	状態	資材含水率 (%)	全COD	水溶性 COD	全炭素	全窒素	C/N比
				mg-O ₂ /資材乾物g		乾物重量あたり%		
糖含有珪藻土	アミノ酸を生成する際のタピオカスターチの糖化ろ過助剤であり，珪藻土を主体とする．	粉状	31.7	207	159	24	0.3	80.0
糖蜜吸着資材 (オマラス95)	サトウキビ糖蜜67%，大豆皮33%の糖蜜吸着混合飼料	粒状	6.2	424	357	41	1.4	29.3

資材の分析データは国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構九州沖縄農業研究センターの井原啓貴博士からご提供いただいた．

糖含有珪藻土は味の素株式会社製，2019年3月現在未販売．

糖蜜吸着資材はWestway Feed Products LLC製．

含水率＝水分重量÷現物(乾物＋水分)重量×100．

COD: 化学的酸素要求量．被酸化性物質を酸化するために必要とする酸素量で示したもので，CODが高いほど有機物量が多いといえる．水溶性CODは灌水時に下層土へ浸透しやすい有機物量の指標として計測した．

2. 小規模圃場試験

農業試験場内(和歌山県紀の川市貴志川町高尾)のガラスハウス(面積125 m²(間口5m×奥行25m)，棟高3m)において試験を行った．試験を開始する前に以下の方法で圃場全体を青枯病菌で汚染した．2016年4月11日にトマト‘桃太郎ヨーク’を1 m²あたり4株定植した．6月28日と7月1日に，和歌山県日高郡印南町のミニトマト由来青枯病菌(2015年3月分離)のリファンピシン耐性株‘和R-1’をトマト全株に複数回有傷接種して発病させた．7月12日に地際部を切断し，地下部残渣を耕耘機ですき込んだ．

試験1 各種土壤消毒による消毒効果

試験圃場を二等分して，2反復で行った．反復Ⅰは2016年7月29日に，反復Ⅱは8月1日に土壤消毒処理を行った．試験区は表2のとおりとし，各試験区を畦畔波板で仕切った．土壤還元消毒はそれぞれの区に資材を所定量手散布し，耕耘機で混和した．灌水チューブ(エバフローA型，三菱ケミカルアグリドリーム株式会社製)を1区あたり3本(57cm間隔)設置し，170～180L/m²灌水し湛水状態にした．太陽熱区は，土壤還元消毒区と同様に灌水チューブを設置し，慣行に従い土壤体積含水率30～40%程度を目安に灌水チューブで灌水した．クロロピクリン液剤区は所定量の薬液を灌注処理した．土壤還元消毒区，太陽熱土壤消毒区，クロロピクリン液剤区は厚さ0.05mmのP0フィルムで処理後すぐに地表面を被覆した．無処理区は地表面の被覆を行わなかった．消毒期間中はハ

ウスを密閉した。処理開始から 21 日後（反復Ⅰは 8 月 19 日，反復Ⅱは 8 月 22 日）にハウスを開放し，地表面の被覆を除去した。畦畔波板の仕切りを残したまま，耕耘，施肥，畝立て後，ミニトマト‘キャロル 7’の実生苗を 9 月 14 日に定植した。栽植密度は表 2 のとおりとし，2017 年 6 月 8 日まで慣行に従って栽培した。

消毒期間中の糖含有珪藻土 1t/10a 区の地下 15cm および 30cm の地温を温度データロガー（おんどとり Jr. TR-52，ティアンドデイ社）を用いて 10 分間隔で測定した。地表面の被覆を除去した日に土壤還元消毒各区 2 か所の土壤をハンドオーガーで深さ 60cm まで掘り取り，0.2%ジピリジル液（注 1）（日本ペドロロジー学会，1997）をかけてジピリジル反応（注 2）によって還元している土壤の深さを調べた。土壤中青枯病菌密度は，消毒前，消毒後，消毒後作付け終了時（図 1）に各区 1～3 か所の深さ 0～10cm，20～30cm，40～50cm の土壤をハンドオーガーで採取した。この土壤を各区深さ別に 1 つに混和し，リファンピシンを 50ppm となるよう添加した改変 SMSA 培地（Elphinstone et al, 1996）を用いた土壤希釈平板法で調べた。作付け終了後の 2017 年 6 月 8 日～9 日に，発病株数と感染株数を調査した。発病株は，萎れ症状の有無により判断した。感染株は，全株の主茎の地際部を 10cm 程度採取し，改変 SMSA 培地で維管束から青枯病菌が分離された株とした。

（注 1）0.2%ジピリジル液… α ， α -ジピリジル 1g を 10%酢酸液 500mL に溶かしたもの。

（注 2）ジピリジル反応…還元的環境で生成される二価鉄に反応して赤色を発色する。

表 2 試験区概要

試験区	土壤消毒の方法	処理量	1区面積	消毒後作付けミニトマトの株数と栽植間隔			
				1区あたりの株数	畝幅	株間	条数
糖含有珪藻土 1t/10a	土壤還元消毒	1t/10a	12.6㎡	25	1.3m	40cm	2
糖含有珪藻土 2t/10a	〃	2t/10a	6.3㎡	14	〃	〃	〃
糖蜜吸着資材 1t/10a	〃	1t/10a	12.6㎡	26	〃	〃	〃
(対照)ふすま 1t/10a	〃	1t/10a	6.3㎡	14	〃	〃	〃
(対照)太陽熱	太陽熱土壤消毒	—	6.3㎡	13	〃	〃	〃
(対照)クロルピクリン液剤	クロルピクリン 99.5%液剤 くん蒸処理	30cm×30cmごとの 深さ15cmに1か所3mLを灌注	6.3㎡	12～14	〃	〃	〃
無処理			6.3㎡	14	〃	〃	〃

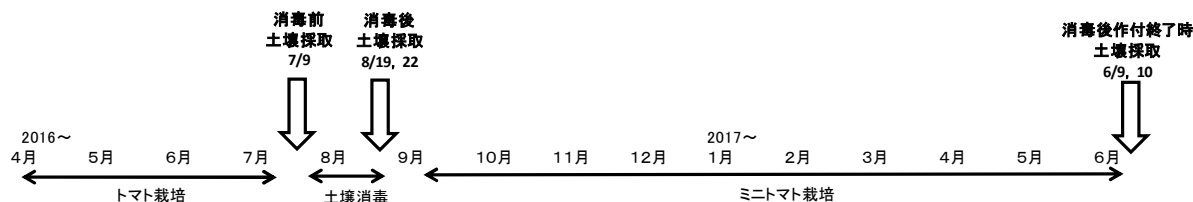


図 1 調査スケジュール

試験 2 連作下における消毒効果持続性の検討

2016 年～2018 年にかけてミニトマトとトマトを 3 作栽培し（図 2 および表 4），糖含有珪藻土を用いた土壤還元消毒効果の持続性を検討した。試験圃場には試験 1 の糖含有珪藻土 1t/10a 区の半分と，無処理区を用いた。試験区概要は表 3 のとおりとし，各試験区は畦畔波板で仕切った。調査スケジュールは図 2 のとおりで，調査項目は土壤中青枯病菌密度，発病株数，感染株数とし，試験 1 と同様の方法で調査した。

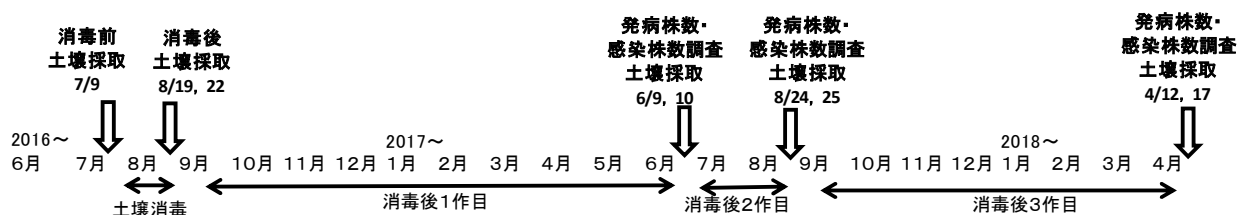


図2 栽培および調査スケジュール

表3 試験区概要

試験区	土壤消毒の方法	1区面積	消毒後作付けトマト, ミニトマトの株数と栽植間隔			
			1区あたりの株数	畝幅	条数	株間
糖含有珪藻土1t/10a	土壤還元消毒	6.3m ²	10~14	1.3m	2	40cm
無処理	"	"	10~15	"	"	"

表4 耕種概要

	栽培品種	定植日	栽培期間
消毒後1作目	ミニトマト‘キャロル7’実生苗	2016/9/14	2016/9/14~2017/6/9
消毒後2作目	トマト‘桃太郎ヨーグ’実生苗	2017/6/14	2017/6/14~2017/8/24
消毒後3作目	ミニトマト‘アイコ’実生苗	2017/9/28	2017/9/28~2018/4/12

3. 現地実証試験

試験3 糖含有珪藻土を用いた土壤還元消毒の効果

和歌山県日高郡印南町島田の2連棟のビニルハウス（面積760 m²（間口15.2m×奥行50m）、棟高4m）において試験を行った。当該圃場は前作のミニトマトで青枯病の発病が確認された圃場であった。試験区概要は表5のとおりとし、試験区間に仕切りは行わなかった。土壤還元消毒処理は、2017年7月13日に所定量の糖含有珪藻土を手散布し、トラクターで混和した。土壤還元消毒区および太陽熱区に灌水チューブを70cm間隔で配置し灌水を行った。灌水開始直後にハウスを密閉した。水圧が低かったため、2連棟すべてを1度に灌水することができず、1棟ずつ切り替えながら翌日夕方まで26時間かけて灌水した。灌水開始3時間後にビニルフィルムで両土壤消毒区の地表面を被覆した。処理開始6日後の7月19日に6時間の追加灌水を行った。なお、台風の接近により8月7日にハウスの外張りフィルムを除去した。処理開始32日後の8月14日に地表面の被覆を除去した。消毒後のミニトマトの作付けは9月26日に、‘アイコ’の慣行接ぎ木苗（台木‘Bバリア’）と、同穂木と台木を用いて第2葉上または第3葉上で接いだ高接ぎ木苗（前田ら、2011；農林水産技術会議事務局、2013）を各畝に1条ずつ定植した。

調査項目は、還元深度、土壤中青枯病菌密度、発病株数とした。還元深度は、被覆を除去した日に各区中央の1か所をハンドオーガーで深さ50cmまで掘り取り、ジピリジル反応によって調べた。土壤中青枯病菌密度は、消毒前、消毒後、消毒後作付け終了時（図3）に、各区1~3か所の深さ30cmまでの土壤をハンドオーガーで採取し、区ごとに1つに混和しMPN-PCR法（Inoue・Nakaho, 2014）で国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構中央農業研究センター井上康宏博士に調べていただいた。発病株数調査は、前作のミニトマトと消毒後に作付けしたミニトマトについて、図3の日程で試験1と同様の方法で調査した。

表 5 試験区概要

試験区	土壤消毒の方法	1区面積	消毒後の作付けミニトマトの株数と栽植間隔			
			1区あたりの株数	畝幅	株間	条数
糖含有珪藻土1t/10a	土壤還元消毒	76m ²	160	1.5m	40cm	2条
糖含有珪藻土1.5t/10a	〃	〃	160~168	〃	〃	〃
太陽熱	太陽熱土壤消毒	〃	〃	〃	〃	〃

糖含有珪藻土1t/10a区と同1.5t/10a区は3反復、太陽熱区は4反復。
慣行接ぎ木苗と高接ぎ木苗を半数ずつ定植した。

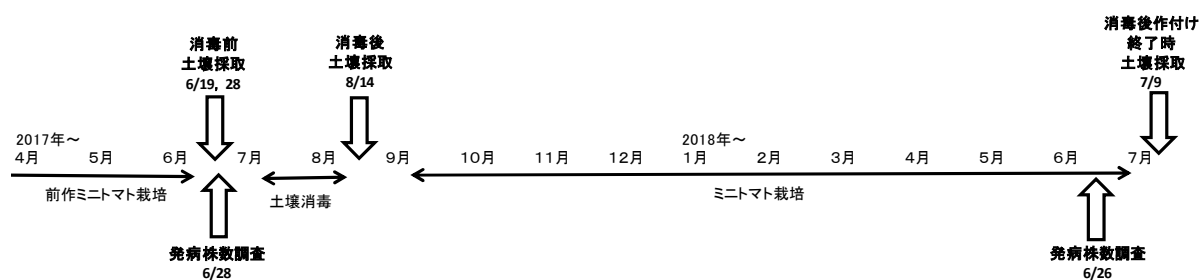


図 3 調査スケジュール

試験 4 糖蜜吸着資材を用いた土壤還元消毒の効果

和歌山県日高郡印南町古屋の4連棟ビニルハウス（面積768 m²（間口24m×奥行33m）、棟高4m）において試験を行った。当該圃場は前作のミニトマトで青枯病の発病が確認された圃場であった。試験区概要は表6のとおりとし、試験区間に仕切りは行わなかった。土壤還元消毒処理は、2018年7月17日に所定量の糖蜜吸着資材を手散布し、トラクターで混和した。土壤還元消毒区および太陽熱区に灌水チューブを85cm間隔で配置し、地表面をビニルフィルムで被覆後、ハウスを密閉して灌水を開始した。水圧が低かったため、1度にすべてを灌水することができず、2棟ずつ切り替えながら灌水し、7月24日まで8日間で合計64時間かけて灌水を行った。なお、台風接近のため7月28日にハウスの外張りフィルムを除去し、台風通過後の8月1日に外張りフィルムを再被覆した。処理開始22日後の8月8日にハウスを開放し、地表面の被覆を除去した。

調査項目は、還元深度、土壤中青枯病菌密度とした。還元深度は被覆を除去した日に試験3と同様の方法で調査した。菌密度測定は、消毒前と消毒後（図4）に、各区2か所、深さ30cmまでの土壌をハンドオーガーで採取して、区ごとに1つに混和しMPN-PCR法で国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構中央農業研究センター井上康宏博士に調べていただいた。消毒後のミニトマトの作付けは9月10日に、‘キャロル7’の慣行接ぎ木苗（台木‘がんばる根ベクト’）を表6の栽植密度で定植した。

表 6 試験区概要

試験区	土壤消毒の方法	1区面積	消毒後作付けミニトマトの株数と栽植間隔			
			1区あたりの株数	畝幅	株間	条数
糖蜜吸着資材1t/10a	土壤還元消毒	33m ²	72株	1.5m	40cm	2条
太陽熱	太陽熱土壤消毒	〃	〃	〃	〃	〃

両試験区とも3反復

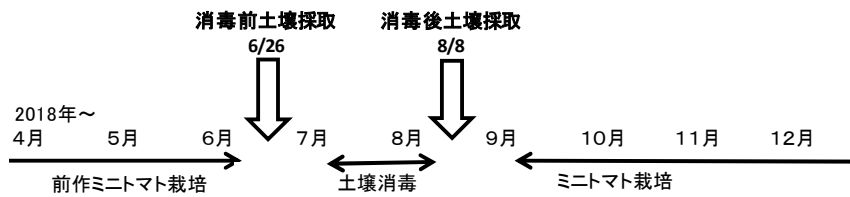


図4 調査スケジュール

結果

1. 小規模圃場試験

試験1 各種土壌消毒による消毒効果

土壌消毒期間中の糖含有珪藻土 1t/10a 区の地下 15cm, 30cm の日最低地温は, 消毒期間後半に 40℃ を超えた (図 5). 各種土壌還元消毒による土壌の還元深度は, 糖含有珪藻土 2t/10a 区が地下 49cm, 同 1t/10a 区が地下 35cm, 糖蜜吸着資材 1t/10a 区が地下 32cm であった (表 7). 対照のふすま 1t/10a 区は地下 24cm であった. 無処理区は, 還元が認められなかった. 土壌中の青枯病菌密度は, すべての土壌消毒区で消毒後に検出限界未満まで低減し (表 8), 消毒後作付け終了時まで検出限界未満で推移した. 消毒後に作付けしたミニトマトにおいては, 発病株が全ての区で認められず, 感染株率が全ての土壌消毒区で 0%, 無処理区で 32.1% であった (表 9).

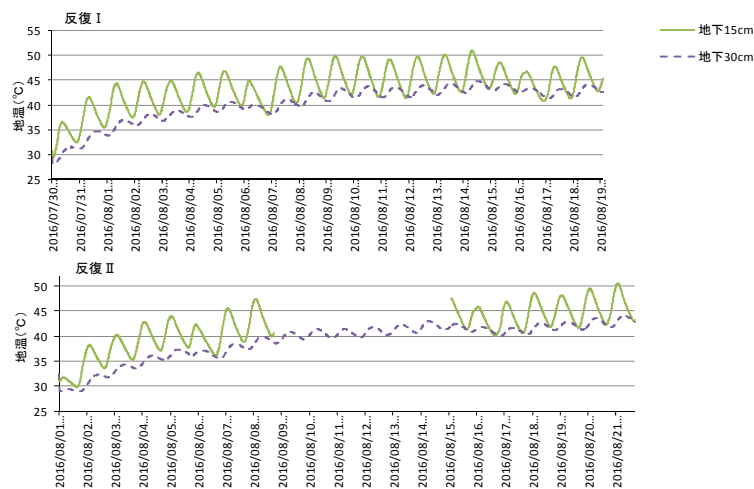


図5 消毒期間中の地下 15cm と 30cm の地温の推移

糖含有珪藻土区 1t/10a 区を測定.

2016/08/09~15 の間, 反復 II 地下 15cm の地温データ欠損.

表7 各種土壌還元消毒による土壌の還元深度

試験区	ジピリジル反応で陽性を示した 土壌の深さ(cm)
糖含有珪藻土1t/10a	35±4
糖含有珪藻土2t/10a	49±10
糖蜜吸着資材1t/10a	32±2
ふすま1t/10a	24±5
無処理	陽性反応なし

1区1~2か所×2反復の平均.

表中の数字は平均±標準誤差を示す.

表 8 小規模圃場試験における土壌中の青枯病菌密度

試験区	反復	深さ	青枯病菌密度 (cfu/g 土壌)		
			消毒前	消毒後	消毒後 作付け終了時
糖含有珪藻土 1t/10a	I	0-10cm	4.8×10^4	N.D.	N.D.
		20-30cm	9.3×10^5	N.D.	N.D.
		40-50cm	9.3×10^2	N.D.	N.D.
	II	0-10cm	1.1×10^4	N.D.	N.D.
		20-30cm	7.1×10^3	N.D.	N.D.
		40-50cm	7.3×10^3	N.D.	N.D.
糖含有珪藻土 2t/10a	I	0-10cm	5.9×10^5	N.D.	N.D.
		20-30cm	N.D.	N.D.	N.D.
		40-50cm	N.D.	N.D.	N.D.
	II	0-10cm	N.D.	N.D.	N.D.
		20-30cm	2.2×10^5	N.D.	N.D.
		40-50cm	4.8×10^3	N.D.	N.D.
糖蜜吸着資材 1t/10a	I	0-10cm	8.5×10^2	N.D.	N.D.
		20-30cm	1.7×10^6	N.D.	N.D.
		40-50cm	6.2×10^5	N.D.	N.D.
	II	0-10cm	2.5×10^2	N.D.	N.D.
		20-30cm	4.9×10^2	N.D.	N.D.
		40-50cm	3.7×10^2	N.D.	N.D.
ふすま 1t/10a	I	0-10cm	2.8×10^5	N.D.	N.D.
		20-30cm	3.0×10^5	N.D.	N.D.
		40-50cm	2.6×10^5	N.D.	N.D.
	II	0-10cm	N.D.	N.D.	N.D.
		20-30cm	N.D.	N.D.	N.D.
		40-50cm	N.D.	N.D.	N.D.
太陽熱	I	0-10cm	N.D.	N.D.	N.D.
		20-30cm	4.2×10^4	N.D.	N.D.
		40-50cm	2.1×10^3	N.D.	N.D.
	II	0-10cm	4.1×10^4	N.D.	N.D.
		20-30cm	6.1×10^5	N.D.	N.D.
		40-50cm	7.9×10^2	N.D.	N.D.
クローピクリン液剤	I	0-10cm	N.D.	N.D.	N.D.
		20-30cm	N.D.	N.D.	N.D.
		40-50cm	1.7×10^2	N.D.	N.D.
	II	0-10cm	3.0×10^4	N.D.	N.D.
		20-30cm	6.6×10^4	N.D.	N.D.
		40-50cm	1.4×10^3	N.D.	N.D.
無処理	I	0-10cm	6.3×10^5	2.0×10^2	N.D.
		20-30cm	6.3×10^2	7.1×10^3	9.6×10^2
		40-50cm	1.8×10^3	N.D.	2.1×10
	II	0-10cm	5.2×10^2	3.2×10^2	2.4×10
		20-30cm	2.1×10^4	3.5×10^2	7.8×10
		40-50cm	1.2×10^3	N.D.	1.5×10

N.D.は検出限界(9.2-18.1cfu/g乾土)未満を示す。

表 9 土壌消毒後の作付けミニトマトにおける発病株率と感染株率

試験区	調査株数	消毒後作付 (2016年9月~2017年6月)	
		発病株率(%)	感染株率(%)
糖含有珪藻土 1t/10a	50	0	0
糖含有珪藻土 2t/10a	28	0	0
糖蜜吸着資材 1t/10a	52	0	0
ふすま 1t/10a	28	0	0
太陽熱	26	0	0
クローピクリン液剤	26	0	0
無処理	28	0	32.1

作付け終了時の2017年6月8日~9日に調査

試験 2 連作下における消毒効果持続性の検討

糖含有珪藻土 1t/10a 区は、消毒後 3 作目まで発病株、感染株ともに確認されなかった(表 10)。一方、無処理区の発病株率は消毒後 1 作目は 0%、2 作目は 90%、3 作目は 0%、感染株率は消毒後 1 作目は 32.1%、2 作目は 90%、3 作目は 24.5%であった。

糖含有珪藻土 1t/10a 区の青枯病菌密度は消毒後から 3 作目終了時まで検出限界未満であった(表 11)。無処理区は、消毒前から 3 作目終了まで青枯病菌が検出された。

表 10 消毒後 1 作目から消毒後 3 作目終了までの発病株率と感染株率

試験区	消毒後1作目 2016年9月~2017年6月			消毒後2作目 2017年6月~8月			消毒後3作目 2017年9月~2018年4月		
	調査株数	発病株率 (%)	感染株率 (%)	調査株数	発病株率 (%)	感染株率 (%)	調査株数	発病株率 (%)	感染株率 (%)
糖含有珪藻土 1t/10a	25	0.0	0.0	20	0.0	0.0	28	0.0	0.0
無処理	28	0.0	32.1	20	90.0	90.0	29	0.0	24.5

土壌還元消毒は2016年7月~8月に実施。
調査は各作付けの終了時に実施。

表 11 3 作目までの土壌中青枯病菌密度の推移

(cfu/g 乾土)

試験区	反復	深さ	消毒前	消毒後	1作目終了時	2作目終了時	3作目終了時
			2016年7月	2016年8月	2016年9月～2017年6月	2017年6月～8月	2017年9月～2018年4月
糖含有珪藻土1t/10a	I	0-10cm	4.8×10^4	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
		20-30cm	9.3×10^5	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
		40-50cm	9.3×10^2	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
	II	0-10cm	1.1×10^4	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
		20-30cm	7.1×10^3	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
		40-50cm	7.3×10^3	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
無処理	I	0-10cm	6.3×10^5	2.0×10^2	N.D.	4.6	2.2×10^3
		20-30cm	6.3×10^2	7.1×10^3	9.6×10^2	7.2×10^3	N.D.
		40-50cm	1.8×10^3	N.D.	2.1×10	3.2×10^2	2.2×10^4
	II	0-10cm	5.2×10^2	3.2×10^2	2.4×10	9.3	N.D.
		20-30cm	2.1×10^4	3.5×10^2	7.8×10	3.7×10^3	N.D.
		40-50cm	1.2×10^3	N.D.	1.5×10	1.4×10^4	8.8×10^3

N.D.は検出限界(8.7-12.5cfu/g乾土)未満を示す。

土壌還元消毒は2016年7月～8月に実施。

2. 現地実証試験

試験 3 糖含有珪藻土を用いた土壌還元消毒の効果

還元深度は、糖含有珪藻土 1.5t/10a 区が地下 22cm, 1t/10a 区が地下 18cm であった (表 12)。太陽熱区は還元が認められなかった。青枯病菌密度は消毒後に全ての区で減少した (表 13)。太陽熱区は、反復 I で消毒後に 7.4cfu/g 乾土の菌が検出された。糖含有珪藻土 1t/10a 区と同 1.5t/10a 区は 3 反復とも消毒後および消毒後の作付けミニトマト栽培終了後の菌密度が検出限界未満であった。青枯病の発病株については、消毒前作は全ての試験区で認められたが、消毒後の作付けでは、全ての試験区で認められなかった (表 14)。

表 12 糖含有珪藻土を用いた
土壌還元消毒による還元深度

試験区	ジピリジル反応で陽性を示した 土壌の深さ(cm)
糖含有珪藻土1t/10a	18±17
糖含有珪藻土1.5t/10a	22±19
太陽熱	陽性反応なし

3反復の平均、太陽熱のみ4反復

表中の数字は平均±標準誤差を示す。

表 13 土壌中の青枯病菌密度の推移

試験区	反復	青枯病菌密度(cfu/g乾土)		
		消毒前	消毒後	消毒後の 作付け終了後
		2017年6月	2017年8月	2018年7月
糖含有珪藻土1t/10a	I	>2400	N.D.	N.D.
	II	>2400	N.D.	N.D.
	III	N.D.	N.D.	N.D.
糖含有珪藻土1.5t/10a	I	>2400	N.D.	N.D.
	II	>2400	N.D.	N.D.
	III	3.6	N.D.	N.D.
太陽熱	I	460	7.4	3
	II	3.6	N.D.	N.D.
	III	1100	N.D.	N.D.
	IV	N.D.	N.D.	N.D.

青枯病菌密度は国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構中央農業研究センター
井上康宏博士に測定していただいた。
N.D.は検出限界(3cfu/g乾土)未満を示す。

表 14 土壌消毒前後作の青枯病発病株率

試験区	反復	発病株率(%)		
		調査株数	消毒前作付け	消毒後作付け
			2017年6月	2018年6月
糖含有珪藻土1t/10a	I	160	90.0	0
	II	160	23.2	0
	III	160	6.0	0
糖含有珪藻土1.5t/10a	I	160	19.0	0
	II	160	23.2	0
	III	168	6.5	0
太陽熱	I	160	54.7	0
	II	168	6.5	0
	III	160	15.3	0
	IV	160	0.6	0

試験 4 糖蜜吸着資材を用いた土壤還元消毒の効果

還元深度は、糖蜜吸着資材 1t/10a 区が地下 38cm、太陽熱区が地下 30cm であった (表 15)。青枯病菌密度は、糖蜜吸着資材 1t/10a 区は消毒前が検出限界未満～1,100cfu/g 乾土であり、消毒後が検出限界未満～3.6cfu/g 乾土となった (表 16)。一方、太陽熱区で消毒前が検出限界未満～3.6cfu/g 乾土であり、消毒後も検出限界未満～3.6cfu/g 乾土であった。

表 15 糖蜜吸着資材を用いた
土壤還元消毒による還元深度

試験区	ジピリジル反応で陽性を示した 土壤の深さ(cm)
糖蜜吸着資材1t/10a	38±3
太陽熱	30±17

3反復の平均。
表中の数字は平均±標準誤差を示す。

表 16 土壤消毒前後の土壤中の青枯病菌密度

試験区	反復	青枯病菌密度(cfu/g乾土)	
		消毒前 2018年6月	消毒後 2018年8月
糖蜜吸着資材1t/10a	I	1,100	N.D.
	II	N.D.	N.D.
	III	N.D.	3.6
太陽熱	I	3.6	3.6
	II	N.D.	N.D.
	III	N.D.	N.D.

青枯病菌密度は国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構中央農業研究センター
井上康宏博士に測定していただいた。
N.D.は検出限界(3cfu/g乾土)未満を示す。

考 察

糖含有珪藻土と糖蜜吸着資材を用いた土壤還元消毒を行い、トマト青枯病に対する防除効果を検討した。本試験の結果、糖含有珪藻土や糖蜜吸着資材を用いた土壤還元消毒は、太陽熱土壤消毒やふすまを用いた土壤還元消毒と同等以上の防除効果が得られることが圃場において確認された。このことから、糖含有珪藻土および糖蜜吸着資材を用いた土壤還元消毒はトマト青枯病の防除対策として有効であると考えられた。

試験 1 では、各種土壤消毒による消毒効果を検討した。糖含有珪藻土と糖蜜吸着資材を用いたいずれの試験区も、対照のふすま区に優る還元深度がみられた(表 7)。糖含有珪藻土 2t/10a 区は、1t/10a 区より深くまで還元しており、施用量に応じて深くまで還元する傾向がみられた。青枯病菌密度は、土壤還元消毒区を含む全ての土壤消毒区で深さ 50cm まで検出限界未満となった(表 8)。糖含有珪藻土 1t/10a 区、糖蜜吸着資材 1t/10a 区、ふすま 1t/10a 区において、還元がみられた深さよりも下層の地下 50cm まで菌密度が低減した。伊達ら (2013) は、土壤における青枯病菌の死滅条件を室内試験で調べており、45℃12 時間処理や 40℃3 日間処理で青枯病菌が著しく減少することを明らかにした。本試験で太陽熱区の菌密度が地下 50cm まで検出限界未満に低下したことから、太陽熱土壤消毒の効果を受け、還元がみられた深さよりも深層の地下 50cm まで菌密度が低減したと推察された。一般的に太陽熱土壤消毒は地温の確保が可能な高温期の 7 月～8 月に実施されているが、気象条件が不安定な場合は、土壤還元消毒が効果的であると考えられている(戴ら, 2014)。糖含有珪藻土や糖蜜吸着資材を用いて 30℃14 日間で土壤還元消毒を行うと青枯病菌密度低減効果が得られることから(大谷, 2018)、冷涼な夏や、栽培の都合で 7～8 月に太陽熱土壤消毒が実施できない場合、糖含有珪藻土や糖蜜吸着資材を用いた土壤還元消毒は有効と思われる。

トマト青枯病は土壤伝染性の難防除病害であり、全国でその防除対策に苦慮している。土壤消毒後にも土壤深層に青枯病菌が残存することから、生産地では土壤消毒を行ってもトマトを連作する

と再発することがしばしば見受けられる(野津・中保, 2014)。試験2では糖含有珪藻土 1t/10a 処理により消毒後3作目まで発病株と感染株がなく青枯病防除効果が維持された(表10)。また, 試験3の現地実証試験で糖含有珪藻土を 1t/10a あるいは 1.5t/10a 処理し土壌還元消毒を行ったところ, 栽培終了時まで青枯病の発病株がなく, 土壌中の青枯病菌密度も検出限界未満であった。このことから, 糖含有珪藻土を用いた土壌還元消毒はトマト青枯病の防除効果が長期間維持されると期待できる。

試験3では, 糖含有珪藻土を用いた土壌還元消毒の効果を現地実証試験で検討した。糖含有珪藻土 1t/10a 区および同 1.5t/10a 区は消毒後に菌密度が検出限界未満に低減し(表13), 消毒後の作付けで発病株が認められなかった(表14)。村元ら(2017)は, 岐阜県の青枯病発病圃場において糖含有珪藻土を用いた土壌還元消毒を行ったところ, 土壌中青枯病菌密度が検出限界未満となり, その後の作付けで発病が認められなかったと報告しており, 本試験と同様の結果であった。一方で, 太陽熱区では菌密度が低くなる傾向にあったが, 青枯病菌が検出される区があった(表13)。菌密度を低減させるには, 太陽熱土壌消毒よりも糖含有珪藻土を用いた土壌還元消毒の方が, 効果が安定する可能性が示唆された。

糖蜜吸着資材を用いた土壌還元消毒効果を現地実証試験で検討した試験4の圃場では, 生産者が稲わら堆肥を施用していた。稲わらによっても土壌の還元が起こるため(日本植物防疫協会, 1997), 太陽熱区において地下30cmまで還元が確認されたと考えられる。

試験4では, 消毒前の菌密度は検出限界未満 \sim 1, 100cfu/g 乾土であった。糖蜜吸着資材を 1t/10a 用いた土壌還元消毒後の菌密度は検出限界未満 \sim 3.6cfu/g 乾土となり(表16), 土壌還元消毒の効果が概ね確認された。しかしながら, 糖蜜吸着資材の反復Ⅲで菌が検出された。その要因として灌水の不均一さが考えられる。資材散布後にトラクターで耕耘した際, 圃場内に高低差が発生し, 灌水時に水の届きにくい場所が発生したことや, 消毒処理時の灌水チューブの間隔が85cmあり, 灌水チューブ間を十分に灌水できなかったことが原因に挙げられる。土壌還元消毒時の土壌含水率がトマト青枯病菌密度に及ぼす影響について, バイアル瓶を用いて14日間30℃の条件で調べたところ, 青枯病菌汚染土に糖含有珪藻土を重量比で1%添加し土壌を還元させると, 土壌含水率が32%で菌密度が低下したが, 16%, 25%ではほとんど低下しなかった(大谷, 未発表)。また, 浅野ら(2012)は, 低濃度エタノールを用いて土壌還元消毒を行ったところ, 消毒処理14日後に圃場からフザリウム属菌が検出され, その原因は処理の不均一さによるものであり, 十分な量の処理液を均一に処理する必要があると述べている。本試験のように水溶性の固体有機物を用いて土壌還元消毒する際も, 十分な量の水を灌水し, 圃場全体に均一に有機物を拡散することが望ましいが, 水量や水圧は現場の圃場ごとに異なる。今後, 新規資材を安定的に用いるために灌水の不均一さを解消する対策が必要と思われる。

摘 要

糖含有珪藻土や糖蜜吸着資材を用いた土壌還元消毒を行い, 本県ミニトマト連作圃場におけるトマト青枯病の防除効果を検討した。

1. 小規模圃場試験において糖含有珪藻土や糖蜜吸着資材を用いた土壌還元消毒は, 土壌中の青枯病菌密度を検出限界未満まで低減させ, 消毒後に作付けたミニトマトでは発病株, 感染株ともにみられなかった。

2. 小規模圃場試験では、糖含有珪藻土を用いた土壌還元消毒後、3 作目までトマト青枯病の発病株や感染株がなく、効果の持続性が確認できた。
3. 現地実証試験において糖含有珪藻土を用いた土壌還元消毒により、土壌中の青枯病菌密度が検出限界未満まで低減し、消毒後に作付けたミニトマトでは発病株がみられなかった。
4. 現地実証試験において糖蜜吸着資材を用いた土壌還元消毒により、土壌中の青枯病菌密度が検出限界未満まで低減した。

謝 辞

本試験の実施にあたり、終始有益なご指導、ご鞭撻を賜りました国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構野菜花き研究部門中保一浩博士と新潟県農業総合研究所前田征之博士に感謝の意を表します。MPN-PCR法により青枯病菌密度の調査をしていただいた国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構中央農業研究センター井上康宏博士、新規資材の概要データを提供していただいた国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構九州沖縄農業研究センターの井原啓貴博士に厚くお礼申し上げます。また、現地実証試験を実施するにあたりご協力いただいた紀州農業協同組合いなみ営農販売センター勝本卓氏、日高振興局農林水産振興部農業水産振興課松本比呂起副主査（現在、和歌山県農業試験場）、足立裕亮主査（現在、知事室秘書課）、新田佳範主任に深謝いたします。圃場管理や調査環境整備等多大なる協力を頂きました和歌山県農業試験場中地健主査に感謝の意を表します。

なお、本研究は、内閣府戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）「次世代農林水産業創造技術」（管理法人：国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構生物系特定産業技術研究支援センター）によって実施されました。

引用文献

- 浅野雄二・渡辺秀樹. 2012. 低濃度エタノールを用いた新規土壌消毒技術の開発ー岐阜県におけるハウレンソウ栽培に適した新規土壌消毒技術の実用性規模化研究ー. 岐阜県中山間農業研究所報告. 8: 1-10.
- Inoue・Nakaho. 2014. Sensitive quantitative detection of *Ralstonia solanacearum* in soil by the most probable number-polymerase chain reaction (MPN-PCR) method. Applied microbiology and biotechnology. 98: 4169-4177.
- Elphinstone, J. , J. Hennessy, J. K. Wilson and D. E. Stead. 1996. EPP0 Bulletin 26: 663-678.
- 大谷洋子. 2018. トマト青枯病菌に対する糖含有珪藻土と糖蜜吸着資材を用いた土壌還元消毒の処理条件の検討. 関西病虫研報. 60: 71-76.
- 岡田永子・高橋和郎・中村晴臣. 1970. クロロピクリン中毒症. 日内会誌. 59: 60-67.
- 小原裕三・坂本勝己・上別府史郎・佐藤理恵子・阿部倉博道・植松清次・三平東作・三輪千華. 2007. 土壌還元消毒方法, 土壌還元消毒剤, 土壌湿潤化消毒方法, 土壌湿潤化消毒剤および土壌消毒剤灌注システム. 特許 4436426 号.
- 小原裕三. 2013. 低濃度エタノールを利用した土壌還元作用による土壌消毒技術実施マニュアルの

- 紹介. 植物防疫. 67 : 193-198.
- 桑原克也・高橋まさみ・大堀智也・三木静恵. 2011. 施設キュウリにおける低濃度エタノールを用いた土壌還元消毒による下層土のネコブセンチュウの防除効果. 関東東山病虫研報. 58 : 85-89.
- 小玉孝司・岡山健夫・堀本圭一. 1984. 薬剤を併用した太陽熱土壌消毒と接木栽培によるトマト青枯病の防除. 関西病虫研報. 26 : 61.
- 小松勉・松澤光弘・堀田治邦. 2006. 深耕還元消毒と抵抗性台木によるトマト青枯病の防除効果. 北日本病虫研報. 57 : 42-46.
- 新村昭憲. 2003. 糖蜜を利用した土壌還元消毒の下層土への防除効果. 日植病会報. 69 : 78.
- 戴燕燕・近藤美麻・伊藤健吾・吉山浩平・張鵬飛・張福平・千家正照. 2014. トマト青枯病の太陽熱土壌消毒における栽培管理用水量の実態. 農業農村工学会論文集. 294 : 85-92.
- 伊達寛敬・那須英夫・畑本求. 1993. 各種条件下におけるナス科野菜青枯病細菌の死滅に要する温度と時間. 日植病報. 59 : 709-713.
- 日本植物防疫協会. 1997. 植物防疫講座病害編. 第3版. p102. 日本植物防疫協会. 東京.
- 日本ペドロロジー学会編. 1997. 土壌調査ハンドブック改訂版. pp95-96. 博友社. 東京
- 農林水産技術会議事務局. 2013. 新規接ぎ木法による地域条件に適したトマト土壌病害総合防除の開発 (研究紹介). 2012年 : 3-4.
- 野津あゆみ・中保一浩. 2014. 北海道におけるトマト青枯病発生圃場の汚染程度と異なる温度および菌密度での高接ぎ木栽培の発病抑制効果. 北日本病虫研報. 65 : 54-58.
- 前田征之・鍛冶原寛・野津あゆみ・瓦朋子・太田沙友理・古川勇一郎・白鳥豊・中保一浩. 2011. 青枯病抵抗性台木の高接ぎによるトマト青枯病の発病抑制効果. 土と微生物. 65 : 161. (講要)
- 前田征之・太田紗由理・古川勇一郎・白鳥豊・原澤良栄・中保一浩. 2017. 新潟県における糖含有珪藻土を用いた土壌還元消毒法によるトマト青枯病の防除. 日植病報. 83 : 212. (講要)
- 村元靖典・渡辺秀樹・棚橋寿彦・中保一浩. 2017. 岐阜県における糖含有珪藻土を用いた土壌還元消毒法の有効性評価. 日植病報. 83 : 212. (講要)
- Monma, N., M. Momma and Y. Kobara. 2010. Biological soil disinfection using ethanol: effect on *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* and soil microorganisms. JGPP. 76 : 336-344.
- 門馬法明. 2013. 土壌還元消毒法によるトマト萎凋病菌の密度低減効果のメカニズム解析. 植物防疫. 67 : 210-2013.
- 山口純一郎・浦田丈一・菅正道. 1987. 施設栽培のナス青枯病に対する太陽熱利用の防除効果. 九病虫研報. 33 : 45-47.