

千葉県長生地域におけるトマトでの 熱水土壤消毒技術普及の取り組み

大嵩 洋子・若梅 均

千葉県長生農林振興センター

An Approach for Technical Extension of Hot Water Treatment to Control Soil-Borne Disease and Pest of Tomato at Chosei Area in Chiba Prefecture

Yoko ODAKE and Hitoshi WAKAUME

Chiba Prefectural Chosei Agriculture and Forestry Promotion Center

キーワード：熱水土壤消毒，トマト，土壤病害虫，青枯病，褐色根腐病，ネコブセンチュウ

1 はじめに

千葉県長生地域は年間平均気温 15.3℃，年間積算降雨量約 1,600mm の温暖な地域である。海岸地帯の一宮町，白子町，長生村は 1955 年代より共選共販されているトマトを中心に，メロン，キュウリの施設栽培が盛んで，特にトマトは周年産地となっている（図 1）。

トマト栽培は JA 長生施設野菜部会を中心に，土耕栽培による半促成，抑制，越冬の 3 作型と養液栽培による周年栽培である。産地では，大型集選果場（JA グリーンウェブ長生）を拠点として，JA 長生施設野菜部会員 192 戸が約 60ha のトマト栽培を行い，京浜市場を中心に出荷している（表 1）。

2 トマト栽培における防除対象土壤病害虫とこれまでの防除策

長生地域のトマト栽培上で問題となっている土壤病害虫は，全ての作型で発生するネコブセンチュウと，夏期



図 1 千葉県長生地域の位置地図

の青枯病，冬期の褐色根腐病，根腐萎凋病である。これらの防除対策として，抵抗性台木の利用による接ぎ木栽培や土壤消毒が行われている。特に半促成栽培における褐色根腐病と根腐萎凋病（J₃）については，抵抗性台木を利用した接ぎ木栽培を生産者のほとんどが実施している¹⁾。しかし，夏期では高温期の接ぎ木作業の難しさと，台木の青枯病に対する抵抗性が不十分なことから，接ぎ木栽培の実施は一部に限られている。

表 1 JA 長生施設野菜部会のトマト栽培作型

作型(品種)	栽培面積	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12月
半促成アールスメロン +越冬トマト	13.8ha				○-△	—	□□						
春トマト +抑制トマト	22.4ha	□□□□							○-△	—	□□□□		
または抑制キュウリ	10.2ha								○-△	—	□□□□		
養液トマト	延べ								○-△	—	□□□□		
・ NFT (2~3.5 作)	20ha												
・ ロックール (2 作)													
・ 湛液 (ハイポニカ 1 作)													

○播種 ×接ぎ木 △定植 □収穫

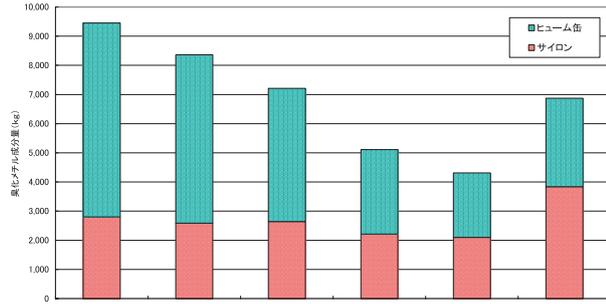


図2 長生地域の臭化メチル使用量の推移 ※1
※1 JA 長生 臭化メチル剤供給実績による。

一方、臭化メチルを用いた土壌消毒による防除は従来、ほとんどの施設で行われていたが、削減が進められた(図2)²⁾。2002年からは長生地域でも、代替法としてのクロルピクリン・D-Dくん蒸剤による土壌消毒や、薬剤に替わって環境面にも配慮した土壌還元消毒法や蒸気消毒法、熱水土壌消毒法等、様々な試みが行われた。

長生地域では施設利用効率が高く、JA長生育苗センターを全面的に利用するため、前作と次作の間の期間が20日程度しかない。このため、土壌還元消毒法は、夏期限定で長期間を要し、作付期間の短縮が必要なこと、また、褐色根腐病には優れた効果があるが、ネコブセンチュウに対する効果が不安定であることから、広く普及するまでにはいたらなかった。

また、蒸気消毒は土壌下層部の地温上昇確保について、当初導入が検討されたチューブ方式による熱水土壌消毒は熱水の温度・量・地温の上昇確保について課題が残されていた。

3 期待される熱水土壌消毒法

2003年、メロンの土壌伝染性ウイルス病の防除対策として、千葉県農業総合研究センター(千葉農総研)暖地園芸研究所環境研究室による牽引式熱水土壌消毒法の導入試験が行われた。メロンのウイルス対策には不十分であったが、牽引式熱水土壌消毒機の性能・簡便性・有効性は、土壌病害の多発に悩んでいるトマト生産者から高い関心が寄せられた。同年、野菜茶業研究所(野茶研)および千葉農総研の協力を得て、トマト青枯病に悩む農家2戸で熱水土壌消毒試験を実施した。この農家の圃場は、青枯病抵抗性台木を使用した接ぎ木栽培でも第3花房開花期から第1果房の収穫が始まる前から枯死株が発生する激発圃場であったが、熱水土壌消毒(牽引式、熱水投入量:250ℓ/m²、接ぎ木栽培も継続)を実施した結果、発病株率は1%以内に激減した(図3)³⁾。

このトマト青枯病激発圃場での防除成功事例は、薬剤の代替法を求めている多くの施設トマト農家から注目された。2004年、長生地域の砂質土壌や対象病害虫にあわせた熱水土壌消毒法を確立するため、千葉県現地技術開発実証普及推進事業を導入し現地試験を行った。



図3 熱水土壌消毒実施前後のトマトのすがた
実施前:半促成栽培(品種:ハウス桃太郎,台木:ジョイント)
2003年3月撮影
2月中旬,4段開花期より萎凋症状発生.萎凋株率78.4%
実施後:半促成栽培(品種:ハウス桃太郎,台木:ガードナー)
2004年2月撮影
4月下旬1株,6月上旬1株萎凋症発生.萎凋株率0.1%



図4 事業導入により4戸で共同購入した熱水土壌消毒機

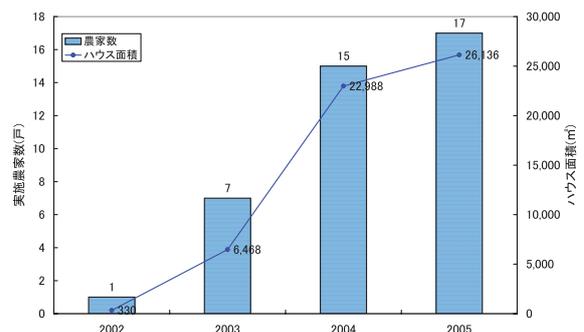


図5 長生地域における熱水土壌消毒の実施状況の推移

また、2004年(平成15および16年度)には、それぞれ単補助事業を活用し計2台の熱水土壌消毒機が共同購入により整備された(図4)。

長生農林振興センターでは野茶研や千葉農総研・土壌消毒メーカーの協力を得て、土壌消毒研修会や土壌消毒実演会を開催し、管内施設園芸生産者へ技術情報提供を行った。

こうしてトマト土壌病害虫に対する牽引式熱水土壌消毒の有効性はJA長生施設野菜部会に周知され、熱水土

壤消毒法が長生地域の施設栽培において有効な土壤消毒法のひとつであると位置付けられた。

トマト青枯病、褐色根腐病およびネコブセンチュウの防除を目的に、熱水土壤消毒の実施件数は土壤消毒機のレンタルによる実施者も含め年々増加している（図5）。

4 熱水土壤消毒の問題点

2004年、管内で熱水土壤消毒実施圃場が増える一方で防除効果にバラツキも発生してきた。このため、夏期に熱水土壤消毒を実施した施設のうち15圃場で千葉農総研および同農業改良課専門技術員と連携して、当地域における熱水土壤消毒の効果と作業性・処理条件等の作付後調査および熱水土壤消毒前後の土壤分析調査を行った。また、2005年には作付後の褐色根腐病・ネコブセンチュウ調査を行った⁴⁾。

4.1 15圃場における作付後の調査結果（2004年11月実施）

4.1.1 青枯病に対する効果

15圃場のうち青枯病防除を目的に実施した7圃場で、接ぎ木の有無、青枯病発生状況を調査した。その結果、

接ぎ木栽培をあわせて実施したことで、発生の無かったハウスが2圃場あった。また、発生のあったハウスでもその発生場所の大半はハウスサイド付近に集中していた（表2）。実施農家の意見として、いずれの圃場も熱水土壤消毒前より発生程度は低く熱水土壤消毒に対する評価は高かった。

また、2003年から2005年に熱水土壤消毒実施圃場（表3-1）での青枯病の追跡調査を行った。

この圃場は、熱水土壤消毒を初めて実施した抑制作で青枯病発生率が大幅に減少した（表3-2）。2004年の青枯病菌密度調査で熱水土壤消毒直後には全く検出されなかった。しかし、栽培中に青枯病の発生があり、作付後の青枯病菌調査でも表層部を中心に青枯病菌が検出された（表3-3）。これは台風による雨水が株元まで冠水し、ハウス外から雨水とともに青枯病菌が入り込んだためと推察される。

4.1.2 ネコブセンチュウに対する効果

熱水土壤消毒後に殺線虫剤（ネマトリンエース粒剤）を施用しなかった8圃場では、ハウス中央部では高い抑制効果が認められたが、周縁部は多くの圃場で多発した。周縁部は熱水が浸透しづらく、地温の上昇確保が困難なためと考える。定植前に殺線虫剤を併用処理した7圃場

表2 作付後の青枯病発生調査

圃場NO.	熱水投入量(l/m ²)	穂木	台木	地上部の発生状況
1	200	桃太郎コルト	Bバリア	発生無し
2	200	桃太郎コルト	Bバリア	発生無し
3	250	ハウス桃太郎	Bバリア	防除効果確認のため点在させた桃太郎ファイトで発生有り
4	200~300	ハウス桃太郎	Bバリア	ハウスサイド(熱水投入量250l)で発生有り
5	250	ハウス桃太郎	Bバリア	1株発生
6	250	T-159	自根	圃場中央とハウス谷部で発生有り
7	163	桃太郎コルト, 桃太郎ヨーク	自根	ハウスサイドで発生有り

表3-1 青枯病菌追跡調査圃場概要

住 所	千葉県長生郡長生村	栽培品目	年2作のトマト栽培
圃 場	1977年築鉄骨ハウス	作 型	半促成（は種9/下，定植11/下，収穫3~6）
栽培面積	1870 m ²		抑 制（は種6/下，定植7/下，収穫9~10）
栽培方法	灌水同時施肥栽培	栽植本数	2.2本/m ²
発生時期	1999年までは年1作の越冬長期どり栽培（夏期休閑）で発生無し。 2000年より年2作の栽培を始めたが、抑制1作目から自根苗で発生あり。		

表3-2 青枯病発生状況

時 期	2002年	2003年	2004年		2005年
	抑 制	抑 制	半促成	抑 制	半促成
品 種	ハウス桃太郎	ハウス桃太郎	ハウス桃太郎	ハウス桃太郎	ハウス桃太郎
台 木	Bバリア	Bバリア	ガードナー	Bバリア	ガードナー
作付前 土壤消毒	無 し	熱水土壤消毒 250 l / m ²	無 し	熱水土壤消毒 250 l / m ²	無 し
発 生 率	50%以上	0.8%	0.1%	4.0%	0.0%
発生時期	3段開花時以降	4段収穫期 (9/下)以降	4/下自根1株 6/上接ぎ木1株	桃太郎ファイトで 8/上(5段開花期)以降	発生無し

では、地温上昇が確保しづらい周縁部も殺線虫剤の施用によって抑制効果が認められた(図6)。また、根部被害は全体的に軽度であったが、熱水が十分に入らなかったハウス側面とウインチ設置場所はネコブセンチュウによる被害が発生した。

4.2 熱水土壌消毒前後の土壌分析調査(2004年11月実施)

熱水土壌消毒による残存肥料成分の土壌中における動態を明らかにするため、処理前後に土壌中の肥料成分を調査した。その結果、処理後、硝酸態窒素は減少しECが低下するが、可給態リン酸および交換性塩基類は下層部に移行していた。また、処理直後のアンモニア態窒素が増加した。この原因としては、熱水による硝酸化性菌の一時的な減少でアンモニア態窒素から硝酸態窒素への生成が滞っていたことが考えられる(表4)。

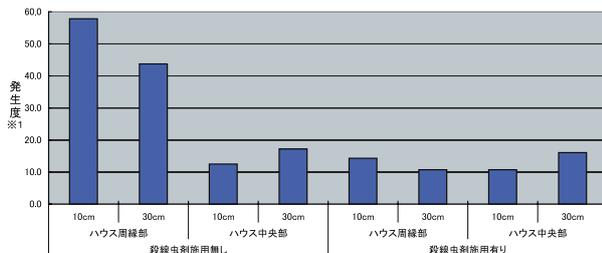


図6 熱水土壌消毒処理圃場のトマト作付後におけるネコブセンチュウに対するハウス中央部およびハウス周縁部の熱水土壌消毒効果と殺線虫剤の併用効果 ※2

- ※1 発生度の算出は以下の指数および式による。
 指数0: ネコブセンチュウ頭数0, 指数1: 1頭以上10頭未満, 指数2: 10頭以上100頭未満, 指数3: 100頭以上1,000頭未満, 指数4: 1,000頭以上。

$$\text{発生度} = \left\{ \sum (\text{指数} \times \text{発生程度別点数}) / 4 \times \text{調査点数} \right\} \times 100$$
- ※2 ネコブセンチュウ調査は、ベルマン法による生土20g中の頭数調査を実施。

4.3 作付後のネコブセンチュウ・褐色根腐病被害調査(2005年6月)

3連棟ハウスにおいて、半促成トマト栽培前に1棟の間口10mを5mずつ2回に分けて牽引方式により200 l/m²の熱水を投入し、定植後約7カ月経過した作付後にネコブセンチュウおよび褐色根腐病の根部被害調査を行った(図7-1, 2)。

いずれも被害程度を4段階に分け程度別に色分けした。その結果、ネコブセンチュウによるネコブ被害根は散湯機が脇を通過したハウス谷部や中央部付近でより多く見られた。ただし、ネコブの発生位置は根の先端部付近に集中しており、生育後半に寄生したと思われる。

次に褐色根腐病による褐変根では、程度の差はあったもののほぼハウス全体で見られた。中でもハウス北側に被害の大きい褐変根が集中していた。この理由として、北側はウインチ設置位置であったことと生育時の地温の上がりにくい環境が影響していたことが考えられる。しかし、栽培期間を通じて草勢は例年より強めで土壌病害虫の被害による地上部の萎凋症状は一切見られなかった。

5 当地域における熱水土壌消毒実施にあたってのポイント

これまでの長生地域における熱水土壌消毒実施調査結果をふまえ、当地域のトマト土壌病害虫防除を目的とした熱水土壌消毒のポイント(図8)を以下に述べる⁵⁾。

5.1 熱水土壌消毒は土壌病害虫多発圃場で実施。

熱水土壌消毒にかかかかる費用は、レンタルの場合で燃料費も含めると20万円程度/10aと慣行土壌消毒剤(5~7万円/10a)に比べ割高となる。このため、土壌病害虫密度が極めて高いために慣行薬剤では防除効果が認められず、かつ抵抗性台木を用いてもかなりの被害が発生するような圃場を最優先とする。

表3-3 土壌中の青枯病菌密度調査結果単位: $\times 10^3$ /g 乾土

NO.	採土場所	2003年 抑制前		2004年 抑制前		2004年
		熱水前	熱水後	熱水前	熱水後	抑制後
		6月14日	6月29日	6月14日	6月29日	10月25日
1	A -10cm	$<10^3$	※ (90.0)	2.05	0.00	8.43
2	A -30cm	3.9	※ (6.1)	0.00	0.00	2.73
3	A -60cm	0.0	※ (11.1)	0.00	0.00	0.00
4	B -10cm	1.3	0.4	2.44	0.00	17.22
5	B -30cm	2.8	0.4	2.48	0.00	2.40
6	B -60cm	0.0	0.0	1.25	0.00	0.00
7	C -10cm	1.8	0.0	15.85	0.00	30.16
8	C -30cm	$<10^3$	0.0	0.00	0.00	8.80
9	C -60cm	0.0	0.0	1.24	0.00	8.11

※ 地点Aの()内数字は青枯病菌に類似するが未同定のコロニー数

2004年は栽培中に台風の影響でベットに冠水があったため、表層部に青枯病菌が多くなったと考える。
 青枯病菌調査協力機関: 野菜茶業研究所病害研究室

表4 11月に熱水を200 ℓ / m²投入した圃場における土壌消毒処理前後の土壌分析結果 ※1

採土 時期	土壌深さ (cm)	pH	EC (dS/m)	交換性塩基 (mg/100g)			NO ₃ -N ※2 (mg/100g)	無機態窒素含量 (mg/100g) ※3			P ₂ O ₅ (mg/100g)
				CaO	MgO	K ₂ O		NO ₃ -N	NH ₄ -N	可給態窒素	
処理前	10	6.6	0.5	334	90	77	19	0.8	- 0.7	0.1	336
	30	5.8	0.6	180	36	40	20	- 1.0	0.5	- 0.5	46
処理後	10	6.9	0.1	337	77	50	2	5.1	- 2.0	3.2	289
	30	6.2	0.1	209	49	59	3	0.0	4.1	4.1	82

※1 協力機関：千葉農総研土壌環境研究室

※2 NO₃-Nは、紫外吸光法による。

※3 無機態窒素含量は、インキュベーション法による。

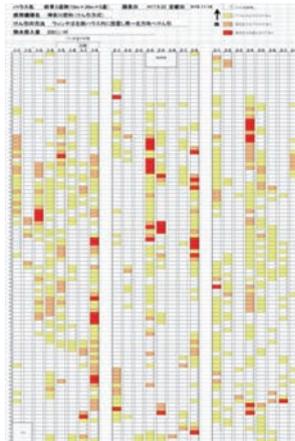


図7-1 作付後のネコブセンチュウ被害調査

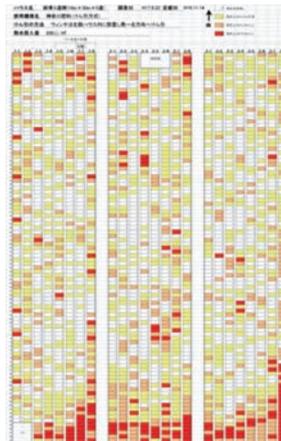


図7-2 作付後の褐色根腐病被害調査



図8 長生版熱水土壌消毒資料
(実施農家への配布資料表紙)



図9 ウィンチ設置部分の横引き牽引

5.2 青枯病防除は接ぎ木栽培を継続

今回の調査から青枯病菌の菌密度は低く抑えられるが、完璧な消毒効果には至っていない。そこで、当面の間、接ぎ木栽培を継続することを指導している。自根栽培への転換については、ハウス全体を一度に実施せず、接ぎ木栽培圃場の一部で自根株を栽培し防除効果を確認した上で徐々に自根栽培率を増やしていく。

なお、感染拡大の要因には、葉かき・整枝作業や灌水時の水の移動が考えられるので、栽培中の管理も注意が必要である。

5.3 熱水の浸透しづらい部位への工夫（特にネコブセンチュウ防除対策）

ハウス周縁部やウィンチを設置した場所は熱水が浸透しづらく、ネコブセンチュウ防除効果が十分に発揮されにくい。そこで、散湯機は牽引方向側面の散湯口数を増やし、ハウス周縁部等の側面への散湯量が増えるように改良した。

また、ウィンチの設置場所では最後に横方向へ牽引（図9）したり、散湯チューブを設置して処理することも有効と思われる。しかし、施設の構造上等の理由からこうした有効策を講じられずに深層部までの均一な浸透が難しい場合、定植前のネマトリン粒剤処理で防除することが一手段と思われる。

5.4 標準熱水投入量：250 ℓ / m²

対象病害虫および栽培作物にもよるが、当長生地区のトマト（果菜類）においては、夏期の処理量を250 ℓ / m²を標準とする。このことにより、表層だけでなく深層に分布する病害虫も防除できる。冬期はこれより処理量を若干多くする。また、前作が土壌病害虫多発圃場は、発生程度、菌密度により加算する。ハウス内の同じ場所で毎年発生する場合、発生場所を散湯機が通過する際に牽引速度を遅くして多量に投入することが効果的であると思われる。

5.5 水質によってはスケール（湯アカ）の詰まりに注意

熱水の水源となる地下水はカルシウム、ナトリウムなどを非常に多く含んでいる場合もあり、スケールが多量に生じて消毒機内に詰まり、故障の原因となった圃場も認められた。このため散湯器をこまめに掃除し、夜間運転を行わない場合はタンク内を空にして沈殿物の付着を



図 10-1 深耕機「ミラクル」



図 10-2 ミラクルによる深耕

防ぐように心がけたい。

5.6 処理後のトマトは強草勢となるので基肥は1~2割減に
熱水土壤消毒を行った圃場ではいずれも、草勢が強くなった。この理由として、生育を阻害してきた土壤病害虫が防除されたこと、土壤水分が豊富なために根張りが良好となり初期生育が旺盛となったこと、熱水により一時的に激減していた硝酸化性菌が再活性化し硝酸態窒素が生成されることが考えられる。このため、基肥は減肥することが望ましい。



図 11 深耕機「ドーリームロータリー」

5.7 処理後の定植は土壤の様子をみてから

夏期では地温がなかなか下がらないことがあり、十分下がったことを確認して定植する。また、深層には土壤水分が高いまま残存している場合が多く、草勢が強くなり、空洞果の発生を招くので、定植後の土壤水分管理には十分注意が必要である。

5.8 処理前圃場の深耕・均平化・乾燥の徹底

深耕ロータリーまたはサブソイラー等の使用(図10-1,2, 図11)で硬盤をなくし、スムーズかつ均一に深層部まで熱水を浸透させ、防除効果を高める。また、圃場に凹凸があると、熱水が均一に散湯できないので、処理前に平らにする。さらに、土壤水分が多いと熱水の浸透を妨げて土壤温度が上がりにくくなる。このため、既存の土壤消毒剤を用いる際の土壤水分よりも低く、できる限り土壤を乾燥させることも必要と思われた。

現状では土壤病害虫の種類や発生状況によっては、熱水土壤消毒の実施だけでなく、化学農薬との併用も必要であるが、今後のさらなる調査検討から、より効果的な消毒法を模索し農薬に頼らない環境にやさしい農業の実践へとつなげていきたい。

6 おわりに

当地域での熱水土壤消毒の普及推進にあたって、野菜研病害研究室 西和文室長ならびに神奈川肥料株式会社 窪田耕一社長には多大なご支援ご鞭撻をいただいたこと

をこの場をお借りしてお礼申し上げる。

摘要

千葉県長生地域にはトマトを中心に施設野菜栽培の盛んな砂質土壤地域がある。栽培上ネコブセンチュウ、褐色根腐病、青枯病が問題となり、臭化メチル剤による土壤消毒が主流であった。トマト青枯病の多発に悩む農家が熱水土壤消毒技術を取り入れた結果、生育が安定したことにより、臭化メチル代替技術の一つとして地域のトマト農家に位置付けられた。実施圃場の調査結果から、青枯病は抵抗性台木による接ぎ木栽培も併用することで大幅に発病率が減少した。ネコブセンチュウは熱水の浸透しづらいハウス周縁部を中心に根部への寄生が認められた。長生地域版熱水土壤消毒のポイントとして、事前準備、実施時の注意点、処理後の栽培管理を整理した。

引用文献

- 1) 岸 國平・我孫子和雄. 2002. 野菜病害の見分け方—診断と防除のコツ—. 全国農村教育協会: 117
- 2) 西 和文. 2004. 臭化メチル代替技術の現状と展望. 今月の農業. 48 (5): 15 - 19
- 3) 大嵩洋子. 2004. 熱水土壤消毒によるトマト青枯病の防除事例. 今月の農業. 48 (6): 15 - 20
- 4) 大嵩洋子. 2005. 千葉県長生地域におけるトマトでの熱水土壤消毒の取り組み. 農耕と園藝. 60 (5): 42 - 46
- 5) 西 和文 (編). 2002. 熱水土壤消毒—その原理と実践の記録—. 日本施設園芸協会: 76 - 81