

「千葉県における代替技術普及の取組み」

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組み

千葉県長生農林振興センター 大嵩洋子・若梅均

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・長生村は昭和50年代より栽培されているトマトを中心に、メロン、きゅうり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グリーンウェーブ長生)を拠点として、JA長生施設野菜部会員192戸が約60haのトマト栽培を行ない、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壌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壌病害虫は、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木栽培や土壌消毒が行なわれている。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、有効な抵抗性台木を利用した接木栽培を生産者のほとんどが実施している。しかし、夏期では高温期の接木作業の難しさと、台木の青枯病に対する抵抗性が不十分なことから、夏期の接木栽培の実施は一部に限られている。

一方、土壌消毒による防除は2001年以前まではほとんどの施設で臭化メチルを使用した土壌消毒を行っていた。2002年からは長生地域でも臭化メチルの削減から、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、熱水土壤消毒法等、様々な試みが行われた(図2)。

長生地域の施設利用効率は高い。JA長生育苗センターの全面的利用から前作と次作の期間が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する消毒法であり、受け入れがたい状況にある。また、土壌還元消毒法は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という課題もあり、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、当初導入検討された熱水土壤消毒のチューブ方式は熱水の温度・量・地温の上昇確保について課題が残されていた。

3 期待される熱水土壤消毒法

2003年、牽引式熱水土壤消毒をメロンの土壌伝染性ウィ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導入試験が行われた。メロンのウィルス対策には不十分であったが、トマトの土壌消毒法として注目された。牽引式熱水土壤消毒機の性能・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も高い関心が寄せられた。同年、野菜茶業研究所(野茶研)及び千葉農総研の協力を得て、トマト青枯病に悩む農家2戸で熱水土壤消毒試験を実施した。この農

家のほ場は、青枯病抵抗性台木を使用した接木栽培でも第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ほ場であったが、熱水土壤消毒（牽引式、熱水投入量：250ℓ/m²、接木栽培も継続）を実施した結果、発病株率1%以内にまで激減した（図3）。

2004年、長生地域の砂質土壤や対象病虫害にあわせた熱水土壤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なった。

トマト青枯病激発ほ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。

また、熱水土壤消毒機の導入にあたり、2004年（平成15および16年度）にそれぞれ県単補助事業を活用し計2台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・土壤消毒メーカーの協力を得て、土壤消毒研修会や土壤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なった（図5）。

こうしてトマト土壤病虫害に対する牽引式熱水土壤消毒の有効性はJA長生施設野菜部会で確認され、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、褐色根腐病及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6）。

4 熱水土壤消毒の問題点

2004年、管内で熱水土壤消毒実施ほ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の15ほ場で千葉農総研及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なった。

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および8ほ場で処理前の耕耘法・熱水投入量と測定場所別地温の変化との関係について調査している。

（1）15ほ場における作付後の調査結果（2004年11月実施）

①青枯病に対する効果

15ほ場のうち青枯病防除を目的に実施した7ほ場で、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ほ場あった。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。発生程度はいずれも熱水土壤消毒前より低く、実施農家の熱水土壤消毒に対する評価は高かった（表2）。

また、2003年以降抑制トマト栽培の作付前後に熱水土壤消毒実施ほ場で青枯病の追跡調査を行なった（表3-1）。

このほ場は、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ている（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一切検出されなかった。しかし、防除率100%とはいえ栽培中に青枯病の発生があり、作付後の青枯病菌調査からも表層部を中心に青枯病菌がカウントされている（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。

②ネコブセンチュウ

熱水土壤消毒後に殺線虫粒剤（ネマトリンエース粒剤）を施用しなかった8ほ場では、ハウス中央部では高い抑制効果が認められたが、周縁部は多くのほ場で多発した。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。定植前に殺線虫粒剤を併用処理した7ほ場では、地温上昇が確保しづらい周縁部も粒剤の施用によって抑制効果が認められた（図7）。

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。

（2）熱水土壤消毒前後の土壤分析調査（2004年11月実施）

熱水土壤消毒による残存肥料成分の土壤中における動態を明らかにするため、処理前後に土壤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、可給態リン酸及び交換性塩基類は下層部に移行していた（表3）。

また、処理直後のアンモニア態窒素が増加した。

この要因には、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）。

（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）

間口10mの3連棟ハウスにおいて、半促成トマト栽培前に1棟当たり2回に分けて㎡当たり200ℓ散布し、定植後約7ヶ月経過した作付後の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なった（図8-1, 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部先端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壤病害虫の被害による地上部の萎ちょう症状は一切見られなかった。

（4）熱水投入前の耕耘法と熱水投入量の違いによる地温調査（2005年7～8月実施）

ハウス谷部から70cm内側で深さ15cmごとに75cmまでの地温を測定した。

その結果、熱水土壤消毒前の深耕をミラクルで耕耘したほ場とドリームロータリーで耕耘したほ場とで熱水250ℓ/㎡を投入し地温60℃以上の延べ時間を比較した場合、同様の地温上昇が認められた（図9, 10）。

さらに深耕ロータリーを実施したほ場の熱水量及び採土場所の違いによる地温60℃以上延べ時間を調査した。その結果、深耕して熱水投入量300ℓ/㎡のほ場はハウスサイド部分でも地温上昇が確保された（表5, 6）。

5 当地域における熱水土壤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壤消毒実施調査結果をふまえ、当地域のトマト土壤病害虫防除を目的とした熱水土壤消毒のポイントを以下に述べる。

①処理前ほ場の深耕・均平化・乾燥の徹底

深耕ロータリーまたはサブソイラーの使用で硬盤をなくし、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、ほ場に凹凸があると、熱水が均一に散湯できないので、処理前に平らにする。土壌水分が多いと土壌温度が上がりにくくなるので、土壌を乾燥させることも必要と思われた。

②標準熱水投入量：250ℓ/㎡

対象病害虫及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250ℓ/㎡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ほ場は、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は、この部分に多量に投入することも効果的であると思われる。

③熱水の浸透しづらい場所でのネコブセンチュウ防除には殺センチュウ粒剤散布の実施

ハウス周縁部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ない。このため、均一な地温上昇が最優先で、熱水が浸透しづらい周縁部やウィンチ設置した場所は、最後に横方向へ牽引したり、散湯チューブを設置して処理することが有効と思われる。また、深層部の地温上昇が期待できない場合、特に周縁部での定植前ネマトリン粒剤の処理が望まれる。

④青枯病防除は接木栽培を継続

今回の調査から青枯病菌の菌密度は低く抑えられるが、完璧な殺菌には到っていない。そこで、当面の間、接木栽培を継続することを指導している。また、チェックのために、ほ場の数か所に自根苗も栽培する。

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ほ場も認められた。このため散湯器をこまめに掃除し、夜間運転を行なわない場合はタンク内を空にして沈殿物の付着を防ぐように心がけたい。

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

熱水土壌消毒を行ったほ場ではいずれも、草勢が強くなった。この理由には、生育を阻害してきた土壌病害虫が防除されたこともあるが、処理により根張りが良好となり、土壌水分も豊富なために、初期生育が旺盛となった。また、中盤以降もこの傾向が継続するが、これは硝酸化性菌の再活性化で硝酸態窒素が生成されることも影響していると思われる。

⑦処理後の定植は土壌の様子をみてから

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、深層には土壌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、定植後の土壌水分管理には十分注意が必要である。

⑧熱水土壌消毒は土壌病害虫多発ほ場で実施。

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まったく認められず，抵抗性台木を用いてもかなりの被害が発生するようなほ場を最優先したい．

現状では土壌病害虫の種類や発生状況によっては，熱水土壌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．

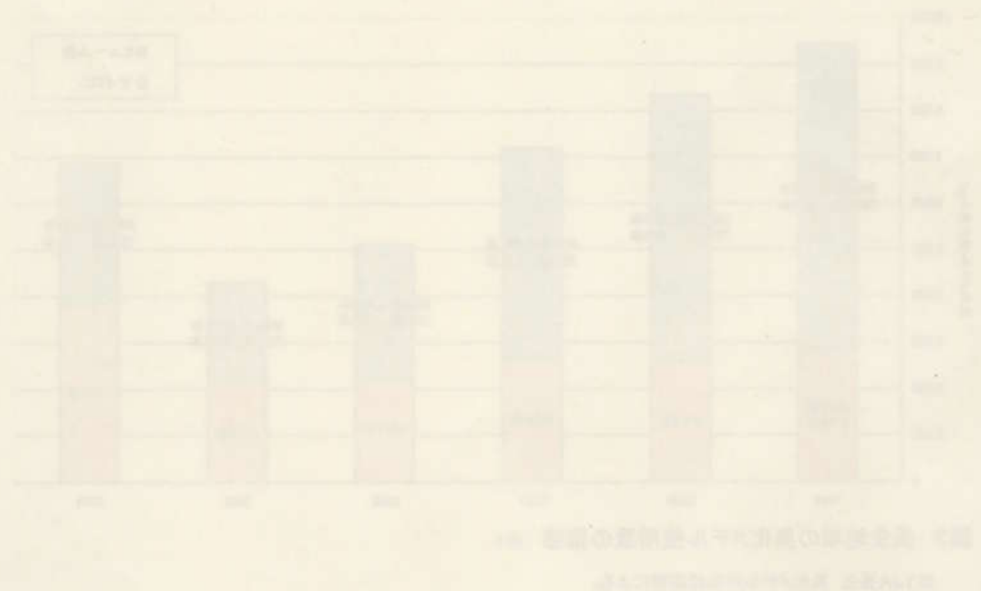
6 おわりに

当地域での熱水土壌消毒の普及推進にあたって，野茶研病害研究室 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．

熱水土壌消毒による土壌病害虫の発生状況調査結果表

調査区画	消毒前	消毒後	備考
10a	発生状況	発生状況	消毒効果
20a	発生状況	発生状況	消毒効果
30a	発生状況	発生状況	消毒効果
40a	発生状況	発生状況	消毒効果
50a	発生状況	発生状況	消毒効果
60a	発生状況	発生状況	消毒効果
70a	発生状況	発生状況	消毒効果
80a	発生状況	発生状況	消毒効果
90a	発生状況	発生状況	消毒効果
100a	発生状況	発生状況	消毒効果

発生状況：○ 発生 △ 発生 〇 発生
 消毒効果：○ 効果 △ 効果 〇 効果



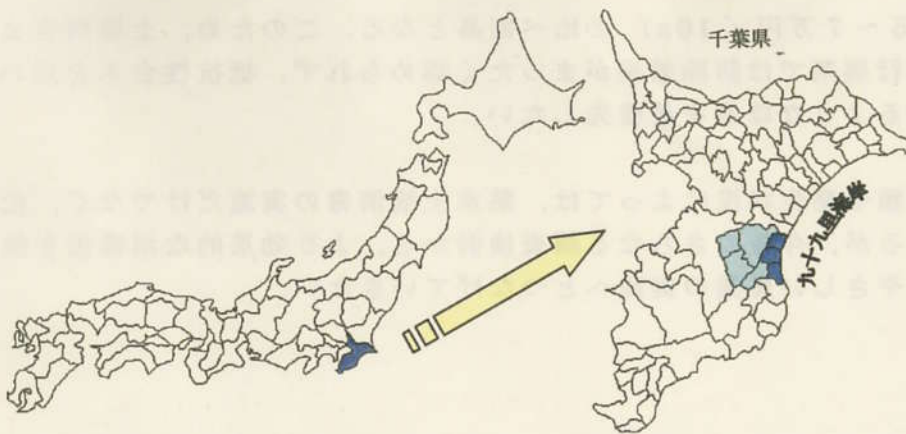


図1 千葉県長生地域の位置地図

表1 J A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7-ルメロン +越冬トマト	13.8ha	□□□□		○	△		□□		○	△		□□□□	
春トマト +抑制トマト	22.4ha 10.2ha		□□□□□□□□					○	△		○×	△	
または 抑制キュウリ										○△	□□□□		
養液トマト ・NFT(2~3.5作) ・ロケットル(2作) ・湛液(ハイネーカ1作)	延べ 20ha	□□□□□□□□□□□□								○	△	□□□□	

○播種 ×接木 △定植 □収穫



図2 長生地域の臭化メチル使用量の推移 ※1

※1JA長生 臭化メチル剤供給実績による。

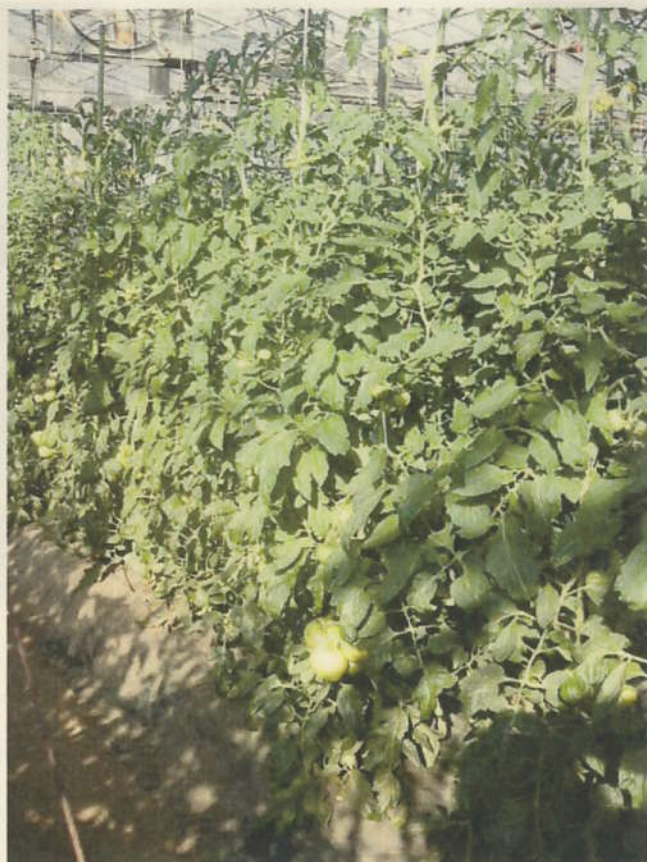


図3 熱水土壤消毒実施前後のトマトのすがた

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段開花期より萎ちょう症状発生．萎ちょう株率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株萎ちょう症状発生．萎ちょう株率0.1%



図4 事業導入により4戸で共同購入した熱水土壤消毒機



図5 土壌消毒研修会の実施（2004. 7. 15）

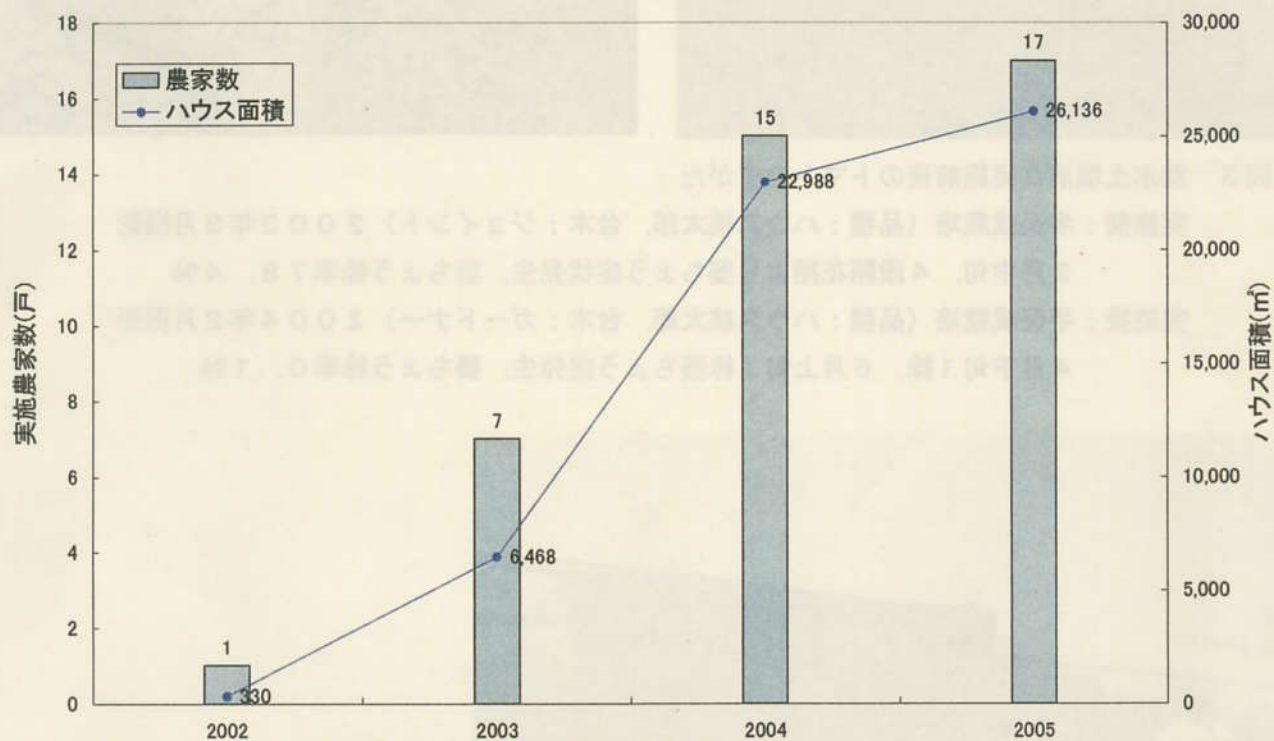


図6 長生地域における熱水土壌消毒の実施状況の推移

表2 作付後の青枯病発生調査

ほ場 NO.	熱水投入量 (kg/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250 kg/m^2)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	ほ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 青枯病菌追跡調査ほ場概要

住所	千葉県長生郡長生村	栽培品目	年2作のトマト栽培
ほ場	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
作 型	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 桃太郎ファイト自根 100株点在	ガードナー
作付前 土壌消毒	無し	熱水土壌消毒 250 l/m^2	無し	熱水土壌消毒 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/上接木1株	桃太郎ファイトで 8/上(5段開花期)以降	発生無し

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

N O.	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

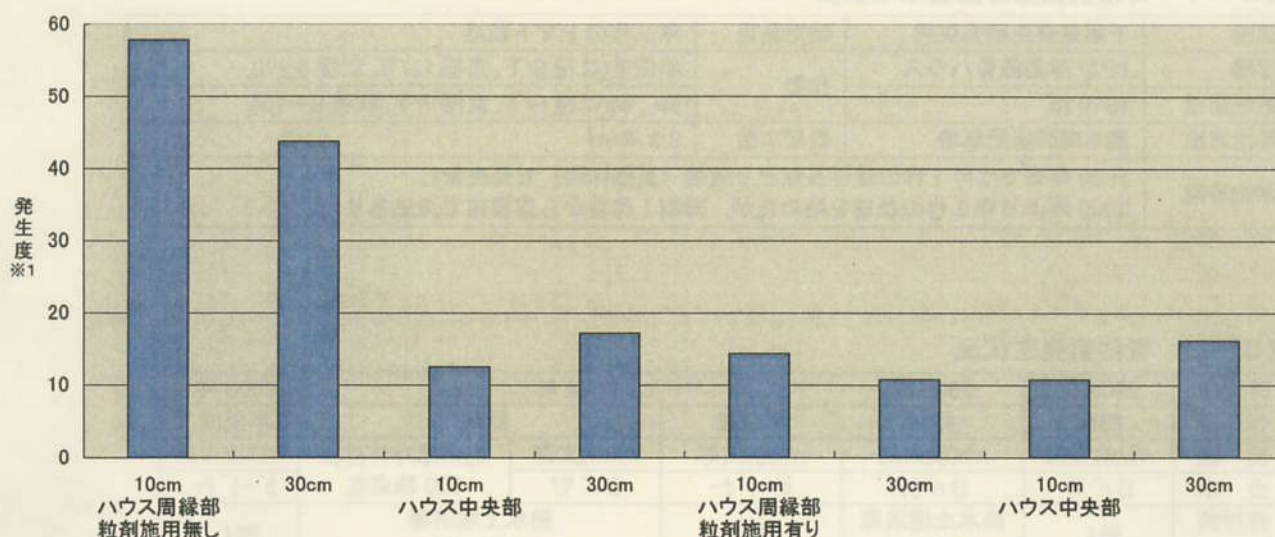


図 7 熱水土壤消毒処理ほ場のトマト作付後におけるネコブセンチュウに対するハウス中央部及びハウス周縁部の熱水土壤消毒効果と殺線虫粒剤の併用効果 ※2

※ 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。
 発生度 = $\{ \sum (\text{指数} \times \text{発生程度別点数}) / 4 \times \text{調査点数} \} \times 100$

※ 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。
 調査協力機関：千葉農総研応用昆虫研究室

表 4 11月に熱水を200ℓ/㎡投入したほ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8-1 作付後のネコブセンチュウ被害調査

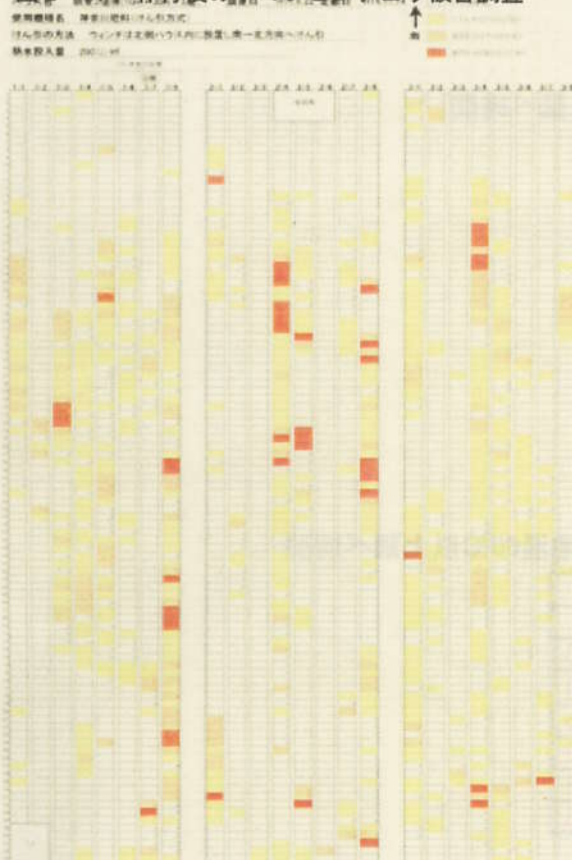


図8-2 作付後の褐色根腐病被害調査

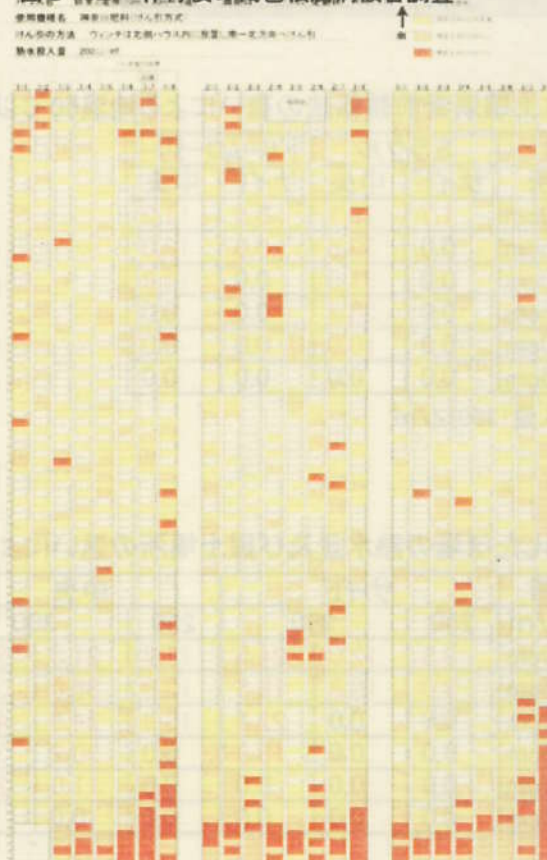


図9 ミラクルによる深耕



図10 ドリームロータリー



表5 熱水土壤消毒前耕耘法の違いによる地温60℃以上延べ時間

耕耘法		ミラクル		ドリームロータリー	
採土場所		サイド	中央	サイド	中央
土 壌 深 度 (cm)	0cm	1.7	18.7	3.5	11.2
	15cm	0.0	30.5	3.0	13.0
	30cm	0.0	31.5	0.0	13.8
	45cm	0.0	26.3	0.0	0.0
	60cm	0.0	10.0	0.0	0.0
	75cm	0.0	0.0	0.0	0.0

※熱水投入量:250ℓ/㎡

表6 深耕したほ場の熱水量及び採土場所の違いによる地温60℃以上延べ時間

採土場所		サイド			中央		
熱水量ℓ/㎡		250	300		250	300	
土 壌 深 度 (cm)	0cm	3.5	12.0	24.5	11.2	21.3	33.0
	15cm	3.0	18.8	19.5	13.0	35.0	38.8
	30cm	0.0	0.0	22.5	13.8	34.5	42.5
	45cm	0.0	0.0	18.8	0.0	30.2	34.2
	60cm	0.0	0.0	0.0	0.0	11.0	26.5
	75cm	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8