

A-2 臭化メチル等の環境中での動態の把握と削減・代替技術の開発に関する研究

(2) 臭化メチル等の削減・代替技術の開発と評価に関する研究

③ 土壌消毒用臭化メチルの代替技術の開発に関する研究

研究代表者 農業研究センター病害虫防除部長 藤澤 一郎
農業研究センター

病害虫防除部	上席研究官	本田要八郎
	ウイルス病害研究室	御子柴義郎・小林有紀
	畑病害研究室	中山尊登・竹原利明・齊藤初雄
	線虫害研究室	奈良部 孝・伊藤賢治・水久保隆之
(委託先)	群馬県園芸試験場	酒井 宏・漆原寿彦
	高知県農林技術センター	川田洋一・竹内繁治

平成8～10年度合計予算額 48、792千円
(平成10年度予算額 19、960千円)

[要旨] 臭化メチルの代替農薬を探索するため、ショウガ根茎腐敗病に対する数種土壌くん蒸剤の防除効果を検討した。その結果、無処理区の発病が90%を越えるような甚発生条件下での代替くん蒸剤の防除効果は、臭化メチルと比較すると必ずしも十分ではなかった。また、低透過性被覆資材(オルガロフィルム)の使用によって臭化メチルの減量が可能であることが示された。現地圃場での数種土壌くん蒸剤の効果をみると、キルパー液剤処理が臭化メチルと同等であった。メロン疫病に対する数種土壌くん蒸剤の防除効果をみると、クロルピクリン錠剤の各処理、CPテープの埋込み処理及びキルパー液剤の散布混合処理が臭化メチルとほぼ同等であった。メロン黒点根腐病に対しては、クロルピクリンまたはCPテープ処理が臭化メチルにはやや劣るもののある程度の防除効果が期待できるのに対し、キルパー錠剤の散布処理では十分な防除効果が得られなかった。ピーマンモザイクウイルス(PMMV)感染ピーマン栽培圃場の土壌では、少なくとも30cmの深さまでPMMVが存在しており、罹病性品種を継続して栽培しない条件下では土壌中のPMMV量は比較的速やかに減少すると推察された。キルパー液剤による土壌くん蒸はPMMVの土壌伝染には効果的ではなく、前作の残漬の分解が不十分な状態でのくん蒸は、土壌伝染を助長する可能性が示唆された。トマト根腐萎凋病に対する熱水注入土壌消毒の効果は、臭化メチルとほぼ同等であった。メロン黒点根腐病に対する熱水注入処理は、耕土の下に難透水性の硬い層のある場合や多量のかん水で固まる圃場では効果が劣ると考えられた。

スイカ黒点根腐病に対する臭化メチル代替薬剤及び熱水土壌消毒の防除効果を検討した結果、クロルピクリン錠剤の効果が高く、熱水処理とキルパー液剤(10倍希釈液を土壌表面散布)はやや劣った。しかし、キルパー液剤の原液点注処理及び100倍希釈液の散水処理は臭化メチルよりは劣るが実用的な防除効果を示した。

ネコブセンチュウに対する熱水土壌消毒の効果を天敵出芽細菌バスターリア菌で補完する可能性を検討するため、熱水処理が細菌胞子に与える影響を検討した。その結果、地表下20cm以下では増殖能力への熱水(最高到達温度65℃)の影響はほとんどなかった。65℃では大部分のネコブセ

ンチュウが死滅するため天敵細菌と熱水処理を組み合わせたネコブセンチュウ防除が可能である。

熱水土壤消毒法において、熱水温度ならびに処理量の違いがトマト萎凋病の防除効果に及ぼす影響について検討した結果、より高温かつ多量の熱水処理によって温度上昇が速まると防除効果が高かった。主要土壤病原菌の熱死滅条件を検討したところ、供試菌中では *Fusarium oxysporum* が最も耐熱性が高かった。このことから、*Fusarium* 菌の熱死滅条件に沿った熱水処理により他の主要土壤病原糸状菌による被害は回避できると考えられた。ナス半身萎凋病を防除するために必要な殺菌深度は地表下30cm以深であることが判明した。

[キーワード] 熱水土壤消毒, フザリウム菌, 線虫, 土壤伝染性ウイルス, スイカ黒点根腐病, ショウガ根茎腐敗病, トマト萎凋病

1. 序

臭化メチルはウイルス, 細菌, 糸状菌, 線虫等の多種の土壤病害虫に対して薬効があり, 土壤くん蒸剤として農業生産の維持のために不可欠のものとなっている。しかし本物質はオゾン層破壊物質であることから, 2005年までに使用を全廃することが国際合意された。そのため本剤に代わる土壤病害虫防除技術の開発と利用が急務となっている。

2. 研究目的

主要土壤病害虫に対する熱水土壤消毒法や他の薬剤等の有効性を検討し, 土壤消毒用臭化メチルの代替技術となりうる熱処理, 薬剤や生物的手法による防除技術の開発を行う。

3. 研究方法

1) ショウガ根茎腐敗病に対する数種土壤くん蒸剤の処理は, 大ショウガの植付け以前に行った。処理直後にポリエチレンフィルムまたはオルガロフィルムで被覆した。耕起によるガス抜きは行わなかった。臭化メチルは被覆後に開缶した。

2) ショウガ根腐腐敗病に対する数種土壤くん蒸剤の効果をショウガ連作地である現地圃場で検討した。

3) メロン疫病に対する数種土壤くん蒸剤の防除効果をメロン播種3日後に1)と同様の方法で行った。

4) メロン黒点根腐病に対する数種土壤くん蒸剤の防除効果をメロン根付け21日前に1)と同様の方法で行った。

5) ビニールハウス内にピーマンを定植し, 7日後にPMMV分離株の純化ウイルスを接種した。栽培後層別に土壤を採取し, 定法によってウイルスを抽出し, 煮沸処理後に間接ELISAを行った。キルバー液剤に対する防除効果の検討はポリポットを用いて行った。

6) 前年度にトマト根腐萎凋病が発生していた高知県春野町の現地トマトハウスで熱水注入土壤消毒の効果を検討した。メロン黒点根腐病に対する熱水処理試験も前年に本病が発生した現地ビニールハウスで行った。

7) 群馬県新田郡藪塚本町のスイカ黒点根腐病が発生した農家圃場で臭化メチル代替薬剤と熱水処理の防除効果を検討した。地上部の生育状況を調査するとともに収穫終了後に発病調査を行

った。

8) ポット試験により、熱水処理後の深度別センチュウ増殖様態を解析した。また、天敵出芽細菌パスツリア菌のネコブセンチュウへの付着及び土壌中での細菌胞子の増殖について検討した。

9) パイプハウス内の土壌にトマト萎凋病菌を接種し、熱水処理温度ならびに処理量の違いがトマト萎凋病の防除効果に及ぼす影響について検討した。

10) 培地上で主要土壌病原菌（苗立枯病菌、ピーマン半身萎凋病菌、ハウレンソウ萎凋病菌、トマト褐色根腐病菌など）の熱死滅条件を検討した。

4. 実験結果

1) ショウガ根茎腐敗病に対するキルパー液剤の各処理区、クロルピクリン錠剤の地表面処理区では、7月中～下旬まではある程度発病抑制が認められたが、その後急速に発病株が増加した。ガスタード微粒剤及び臭化メチル処理区では早い時期から発病が認められ、ガスタード処理区ではその後発病株の増加が目立ったのに対し臭化メチル処理区では病勢進展が緩慢であった。とくに、臭化メチル処理時にオルガロフィルムで被覆した区では、最終調査時まで発病株率が低く推移した（第1表）。ショウガ連作地の現地圃場での試験では、キルパー液剤処理がショウガの収量に及ぼす影響は、臭化メチル処理と同等であった。

2) メロン疫病に対する数種土壌くん蒸剤防除効果をみると、クロルピクリン錠剤の各処理、CPテープの埋込処理、キルパー液剤の散布混和処理は臭化メチルくん蒸剤と同等であった（第2表）。しかし、キルパー液剤散布混和処理では、散布直後からMITCガスによると思われる眼や咽頭部への強い刺激が認められた

3) メロン疫病に対する数種土壌くん蒸剤の防除効果は、クロルピクリン錠剤の各処理、CPテープの埋込処理、キルパー液剤の散布混和処理とも臭化メチルくん蒸剤とほぼ同等であった。

4) メロン黒点根腐病に対する数種土壌くん蒸剤の防除効果は、クロルピクリンとCPテープは、ほぼ同等であったがいずれも臭化メチルに比べやや劣った。キルパー液剤の散布処理では防除効果が認められなかった。

5) ピーマン栽培圃場で土壌中に存在するPMMV量を深度別に調査した結果、3地点のいずれかにおいても30cmの深さまでは比較的高深度のPMMVが検出されたが、30cm以深ではほとんど検出されなかった。調査時にすでにPMMVによる発病が認められていた圃場及び罹病性品種栽培圃場の土壌では、ELISAで比較的高い吸光度が示された。抵抗性品種を栽培し、発病が認められていない圃場では、抵抗性品種の栽培年数が短い場合でもELISAの吸光度は低かった。キルパー液剤のPMMVに対する防除効果は、処理による感染株率の低下は認められず逆に処理区で無処理区よりも感染株率が高くなる傾向が認められた。

6) 土壌中のトマト根腐萎凋病菌に対しては、熱水、臭化メチル処理区とも地下20cmまでは滅菌されていたが地下30cmでは残存が認められた（第3表）。栽培終了後の掘取りによる根部調査ではいずれの区でも根腐萎凋病による根部腐敗や維管束褐変は認められなかった。しかし、褐色根腐病と思われる根部褐変がみられ、その発生程度は熱水注入区が臭化メチルより低かった（第4表）。

7) メロン黒点根腐病に対して現地ビニールハウスで行った熱水土壌消毒試験では、深さ30～40cmの耕土の下に水を通し難い硬い層があったことから、注入後半には畝間にも熱水があふれ出

た。また土粒が細かく、熱水注入後乾燥すると堅く締まったのでメロン地上部での発病は農家慣行区（臭化メチル30kg/10a処理）ではみられなかったが、熱水処理区では、対照の臭化メチル20kg/10a処理に比べると少なかったものの発病が認められた。

8) スイカ黒点根腐病発病圃場での熱水処理による深度別温度変化をみると、30~40cmの深さでは最高到達温度が40°C以下の地点がいくつかみられた。スイカ黒点根腐病に対する防除効果は、クロピクリン錠剤が最も高く、熱水処理区は対照の臭化メチルより劣った（第5表、第1図）。また、キルパー液剤の点注区（40L/10a）、散水区（6,000L/10a）の効果は比較的高かった。

9) ネコブセンチュウに対する熱水土壤消毒（85°Cの熱水処理）の効果をみると、5cmの層で40°C以上の温度が4時間継続したが、15cm以下の層は40°Cに達しなかった。処理5日後の処理間2期幼虫数の比較では、85°C熱水の殺線虫効果が20cm層に及んだが、30cm層では効果がなく、40cm以下の深層では対照区よりむしろ多かった（第2図）。熱水処理区に線虫害抑制効果が認められたが、対照区と熱水処理区に播種したトマトはそれぞれ処理後33日及び92日までに枯死したため、線虫増殖の処理間比較はできなかった。熱水処理直後の天敵細菌胞子では、2期幼虫に対する付着率・付着数に関して処理間に差異は認められなかった。しかし、トマトを1, 2作した後の地表下5cm及び10cmの区では胞子の付着率・付着数が他の区より有意に低かった。

10) トマト萎凋病に対する熱水土壤試験において、土壤の深度別温度は、熱水温度ならびに処理量が増加するのに伴い、最高温度、55°C以上、50°C以上ならびに45°C以上の持続期間は大きな値をとった。しかし、温度が最もよく上昇した95°C、100L/m²区においても、20cm以深の最高温度は50°Cに達しなかった。トマト萎凋病の防除効果は、無処理区では定植57日以降発病が急激に上昇したが、これに対して各熱水処理区ではいずれも発病の遅延効果が認められた（第3図）。

11) 主要土壤病原菌である苗立枯病菌 (*Rhizoctonia solani*) キャベツピシウム腐敗病菌 (*Pythium aphanidermatum*)、ピーマン半身萎凋病菌 (*Verticillium dahliae*)、ホウレンソウ萎凋病菌 (*Fusarium oxysporum* f.sp.*spinaciae*)、ナス白絹病菌 (*Corticium rolfsii*) 及びトマト褐色根腐病菌 (*Pyrenochaeta lycopersici*) の熱死滅条件を検討した。地表から30cmより浅い層の土壤が到達可能な温度である50°Cでは、*F.oxysporum*以外の菌は2~3時間以内に死滅したが、同菌は3.5時間の処理でも死滅しなかった。40°Cでは*P.lycopersici*は30時間、*R.solani*は3日、*V.dahliae*は8日の処理で死滅した。供試した病原菌の中では*P.lycopersici*が最も感受性が高く、次いで*V.dahliae*、*R.solani*、*C.rolfsii*、*P.aphanidermatum*の順に熱感受性が高く、供試菌中では*F.oxysporum*の耐熱性が最も高かった。

5. 考察

1) ショウガ根茎腐敗病に対しては、甚発生条件下では臭化メチル代替農薬の防除効果は不十分であると考えられた。キルパー液剤の散布処理は省力的ではあるが散布直後から地表面で高濃度のMITCが検出されたため、作業や周辺への影響についてさらに検討が必要であると考えられた。

2) メロン疫病に対しては、クロロピクリン錠剤、CPテープ、キルパー液剤の防除効果が高く、除草効果も期待できると考えられた。しかし、キルパー液剤の散布混和処理には前項のような問題がある。

3) ピーマンモザイク病 (PMMV) については、煮沸処理を組み込んだ間接ELISAによ

って土壌の汚染程度を量的に把握することが可能であると考えられた。PMMV感染ピーマン栽培圃場の土壌では、少なくとも30cmの深さまでPMMVが存在していると考えられ、罹病性品種を継続して栽培しない条件では、土壌中のPMMV量は比較的速やかに減少すると推定された。キルパー液剤による土壌くん蒸はPMMVの土壌伝染には効果的ではなく、前作の残漬の分解が不十分な状態でのくん蒸は、土壌伝染を助長する可能性が示唆された。

4) トマト根腐萎凋病に対する熱水土壌注入消毒の効果は、臭化メチルとほぼ同等と考えられた。メロン黒点根腐病に対する熱水処理はある程度効果は認められるものの臭化メチルの慣行処理(30kg/10a)には劣り、また耕土の下に難透水性の硬い層のある場合や熱水注入のように多量のかん水で固まる圃場では利用しにくいと考えられた。

5) 比較的発病が軽微な圃場では、スイカ黒点根腐病の防除にはクロルピクリン錠剤の効果が高いと考えられた。熱水処理、キルパー液剤ともに有効であるが、効果はクロルピクリン錠剤、臭化メチルと比較するとやや劣ると考えられた。熱水処理の防除効果が低い原因として、20cm以深の温度が十分に上がらなかったためと推定された。

6) 熱水処理後の深度別線虫増殖様態を検討した結果、深層部の線虫密度が長時間維持されたため、熱水処理の場合、深層部線虫の防止対策がとくに重要と考えられた。65℃の熱水では、大部分のネコブセンチュウは死滅する一方、天敵細菌の増殖能力は失われないため、天敵細菌と熱水消毒を組み合わせた防除では適切な温度設定が必要である。

7) トマト萎凋病に対する熱水土壌消毒においては、より高温かつより多量の熱水処理によって温度上昇が速まると防除効果が高いことが示された。主要土壌病原菌の熱死滅条件を検討した結果、供試した中では*F. oxysporum*が最も耐熱性が高いと考えられた。このことから、土壌中の生息深度の違いを考慮に入れる必要はあるが、*Fusarium*菌の熱死滅条件に沿った熱水処理により、他の主要土壌病原菌による病害は回避できると考えられた。

6. まとめ

1) ショウガ根茎腐敗病、トマト根腐萎凋病、メロン疫病、スイカ黒点根腐病に対しては、キルパー液剤、クロルピクリン錠剤などが臭化メチルとほぼ同等の効果を示し、これらは代替薬剤として有用である。

2) 熱水土壌消毒法はトマト根腐萎凋病、トマト萎凋病、ナス半身萎凋病、作物寄生性線虫等に対しては有効であるが、メロン黒点根腐病、スイカ黒点根腐病に対しては代替薬剤に比べ効果が低い場合がみられた。

3) TMVに対しては熱水土壌消毒法は有効であるが、ピーマン及びシトウガラシのウイルス病に対しては効果が低く、臭化メチルに替わる防除法は現在のところない。

[研究成果の発表状況]

(1) 口頭発表

(2) 誌上発表

① 酒井 宏・白石俊昌・萩原 廣・竹原利明・中山尊登・齊藤初雄・漆原寿彦・蓼沼 優：
関東東山病虫研報45, 77-79 (1998)

「スイカ黒点根腐病の熱水処理および薬剤による防除」

第1表 数種土壌くん蒸剤の根茎腐敗病および雑草に対する効果

供試薬剤 ^{a)}	処理方法	処理量	被覆 ^{b)} フィルム	調査 株数	発病株率(%)			雑草発生程度 ^{c)}	
					6/26	8/18	10/20	3/18	5/11
MS	3倍希釈 散布混和	60 L	P	175	0	0	0.6	0.3	2.3
MS	4倍希釈 散布混和	60 L	P	120	0	0	0.8	0.0	3.5
MS	4倍希釈 散布混和	60 L	0	120	0	0	0	0.0	3.5
MS	4倍希釈 散布混和	40 L	0	120	0	0	1.7	0.0	3.5
DM	土壌混和	30kg	0	120	0	0	3.3	1.0	3.0
DM	土壌混和	30kg	P	120	0	0	6.7	0.5	4.0
MB	開缶・空間	20kg	0	120	0	0	0	1.0	1.5
MB	開缶・べた	20kg	0	205	0	0	0	0.5	2.0
MB	開缶・空間	30kg	0	95	0	0	0	0.0	2.0
MB	開缶・べた	30kg	P	140	0	0	4.3	0.0	2.3
MB	開缶・べた	50kg	P	80	0	0	0	0.0	1.3

a) MS：カーバムナトリウム塩液剤、DM：ダズメット粉粒剤、MB：臭化メチルくん蒸剤

b) P：ポリエチレンフィルム、0：オルガロイフィルム

c) 0：発生なし、1：1～数本の発生、2：部分的にまばらに発生、3：部分的に密に発生、4：全面にまばらに発生、5：全面に密に発生

第2表 数種土壌くん蒸剤のメロン疫病に対する防除効果

供試薬剤 ^{a)}	処理量/10a	処理方法	発病株率 (%)
MS	60L	灌水チューブ散布	0
MS	60L	散布混和	0
MB	30kg	開銜	0
無処理	—	—	0

a) MS:カーバムナトリウム塩液剤、MB:臭化メチルくん蒸剤

第3表 熱水注入土壌におけるF. oxysporum菌の密度変化

区	土壌中のF. oxysporum数(×10 ³) (菌数/乾土1g)					
	処 理 前			処 理 後		
	10	20	30 (cm)	10	20	30 (cm)
熱 水	12.3	5.1	3.1	0	0	0.1
臭化メチル剤	2.7	9.3	0.4	0	0	2.0

第4表 栽培終了時におけるトマトの根部褐変及び維管束褐変

区	根部褐変 ^{a)}		維管束褐変程度
	発生株率	発生度	
熱 水	33 %	10.0	0
臭化メチル剤	80	26.7	0

a) 根部に亀裂やコルク化が見られ、褐変部からは *Pyrenochaeta* 属菌が高率に分離されたことから褐色根腐病によるものと思われた。

$$\text{発生度} = \frac{\sum (\text{発生程度別株数} \times \text{指数})}{4 \times \text{調査株数}} \times 100$$

- 指数 0 : 根の褐変は見られない
 1 : 根の1/3以下に褐変が見られる
 2 : 根の1/3~2/3に褐変が見られる
 3 : 根の2/3以上に褐変が見られる

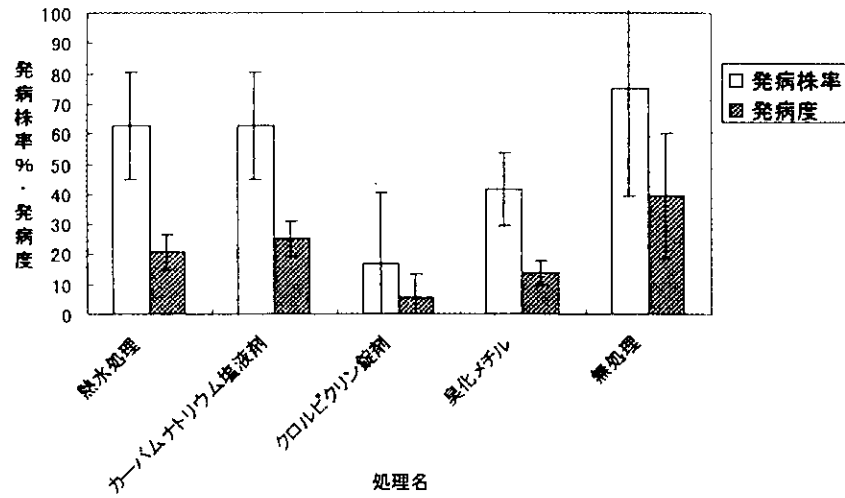
第5表 熱水処理後の深度別最高到達温度と55℃以上遭遇時間

計測地点名 —深度	最高到達温度 (℃)	55℃以上 遭遇時間(h)
A1-10cm	85.8	7
A2- "	82	7
A3- "	88.4	4
B1- "	80	4
B2- "	84.9	9
B3- "	65.4	3

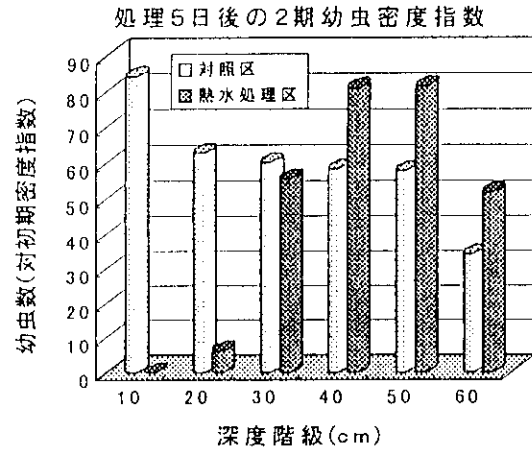
A1-20cm	70.2	8
A2- "	59.9	4
A3- "	48.3	0
B1- "	55.7	2
B2- "	81.8	13
B3- "	63.4	4

A1-30cm	57.8	4
A2- "	59.9	4
A3- "	45.7	0
B1- "	38.1	0
B2- "	73.8	8
B3- "	36.7	0

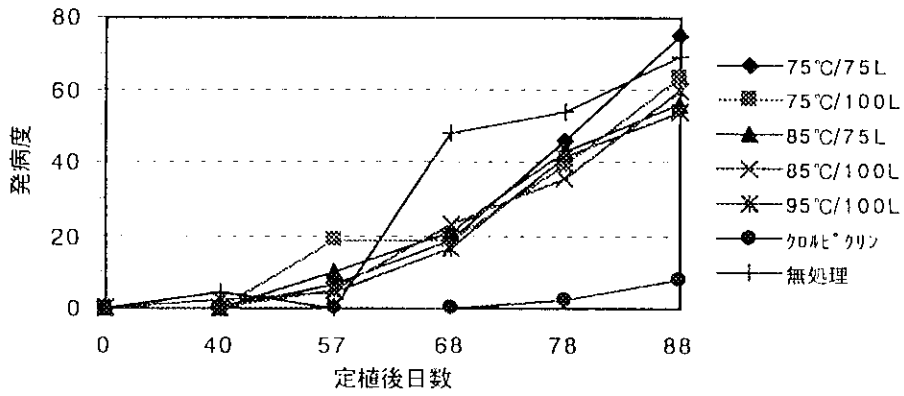
A1-40cm	40.5	0
A2- "	39.1	0
B1- "	33.9	0
B2- "	67.1	9



第1図 スイカ黒点根腐病に対する熱水処理、各種薬剤の防除効果



第2図 熱水処理区と対照区のネコブセンチュウ幼虫指数の層別比較



第3図 トマト萎凋病の発病経過