

蒸気土壌消毒による *Pepper mild mottle virus* の土壌伝染防除

竹内繁治・川田洋一*

(高知県農業技術センター・*高知県中央東農業振興センター嶺北農業改良普及所)

Prevention of soil transmission of *Pepper mild mottle virus* by soil steam sterilization.

By Shigeharu TAKEUCHI and Youichi KAWADA (Kochi Agricultural Research Center, Hataeda 1100, Nankoku, Kochi 783-0023, Japan, *Reihoku Agriculture Development Expansion Center, Tai, Tosa-cho, Kochi 781-3521, Japan)

To prevent soil transmission of *Pepper mild mottle virus* (PMMoV), we evaluated the control effect of soil steam sterilization. PMMoV in pepper roots was inactivated by heat treatment for 30 min at 90°C or 12 h at 80°C. In soil steam sterilization with the canvas hose manner, it was difficult to raise temperature of deep layer soil such as 30cm under ground, and infectivity of PMMoV in pepper roots buried in such deep layer was not affected. On the contrary, temperature of surface layer soil, which contains PMMoV virions involving soil transmission of PMMoV, was raised until enough level for inactivation of PMMoV. In the field trials conducted in PMMoV infested soils, soil steam sterilization absolutely prevented PMMoV infection to pepper plants through soil. Thus, we concluded soil steam sterilization with the canvas hose manner is a practical technique for control of PMMoV infection through soil.

緒 言

Pepper mild mottle virus (PMMoV) によるピーマンモザイク病は、収量や果実品質の低下によって大きな経済的損失を招くピーマンの重要病害である(長井ら, 1981; 竹内, 2000)。PMMoVなどのトバモウイルスは、ピーマンでは種子伝染によって圃場に持ち込まれ、強い接触伝染力によって急速に圃場内に蔓延し、栽培終了後は罹病植物の残渣とともに土壌中に残って次作への伝染源となる(Tosic *et al.*, 1980; Pares and Gunn, 1989; 竹内, 2000)。このため、PMMoVによるモザイク病を防除するためには、無病種子の生産や種子消毒の励行など、種子伝染の防止対策が重要であると同時に、既発圃場では土壌中に存在するウイルスを不活化する必要がある。

PMMoVの土壌伝染防止法として、これまでは臭化メチルによる植付け前の土壌くん蒸が一般的に実施されてきた(米山, 1988a; 米山, 1988b)。ところが、臭化メチルはオゾン層破壊物質に指定され、その使用が厳しく制限されるようになった(楯谷, 1998; 楯谷, 2006)。このため、臭化メチルに代わるPMMoVの土壌伝染防除技術の確立が強く求められている。

そこで今回、PMMoVの土壌伝染に対する蒸気土壌消毒の防除効果を検討したところ、高い効果を確認できたので報告する。

材料および方法

PMMoV-#7 (Takeuchi *et al.*, 2005) の純化粒子10 µg/mlをポット植えのピーマン幼苗(品種:

トサヒメ：齊藤・中沢，1984) にカーボランダム法で機械接種した。接種15日～28日後に苗をポットから抜き取り，根を水洗して長さ約1cmに細断した。この断片数本をひとまとめにして重量を測定した後，1.5m容量のマイクロチューブに詰めた含水率25%の土壌（灰色低地土）中に埋め込み，ふたを閉じた。チューブ24本を1組とし，熱処理区として70℃，80℃，90℃または100℃に設定した恒温器（Perfect oven PH-100, TabaiまたはConstant temperature oven DK63, Yamato）内に21本，無処理区として室温条件に3本静置した。また，熱処理区には根を埋め込んだチューブとは別に土壌だけを充填したチューブを1本ずつ用意し，チューブのふたに穴をあけて上から土壌中にセンサーを挿入して温度を測定した。土壌の温度が恒温器の設定温度に到達した時点と起點として，10分，30分，1時間，3時間，6時間，12時間および24時間後に根を含んだチューブを3本ずつ取り出し，水中で冷却した後室温に保った。24時間処理が終了した後にそれぞれのチューブから根を掘り出し，0.1Mリン酸緩衝液（pH7.0，以下PB）中で洗浄した後，次のような手順で根に含まれるPMMoVの感染性を検定した。まず，掘り出した根の断片を少量のPB中で磨砕し，熱処理前に測定した重量を基準として1：1000（wv）となるようにPBで希釈した。この磨砕希釈液を接種源として，*Nicotiana tabacum* cv. Xanthi-nc（以下Xanthi-nc）の成葉からコルクボーラーで打ち抜いた直径12mmのリーフディスクに接種した。接種後直ちにリーフディスクを蒸留水で洗浄し，乾燥を防ぐため直径9cmのガラスシャーレ中の0.4%寒天平板上に置床した。シャーレを25℃恒温，16時間日長条件下に保ち，接種3日後にディスク上の局部病斑数を計数した。なお，1試料に対してリーフディスクを5枚ずつ使用し，3回繰り返して検定した。

2. 蒸気土壌消毒の有効深度

PMMoV-#7を接種したポット植えピーマン（トサヒメ）の苗を，接種20日後にポットから抜き取り，根を回収して1.5gずつに分け，ガーゼで包んだ。ビニルハウス内の幅0.8m×長さ12.6mのコンクリート枠（無底）内に，高さ30cm，上面幅15cm，底面幅80cmの畦を作製し，長さ6.3mず

つに二分して一方を蒸気土壌消毒区，他方を無処理区とした。蒸気土壌消毒区については，畦中央の地表面から深さ30cmまで，5cmおきにガーゼで包んだピーマンの根を埋設するとともに，それぞれの近傍に温度センサーを埋設した。無処理区については，深さ15cmにのみ根を埋設した。蒸気土壌消毒は丸文製作所SB-250型蒸気土壌消毒機を用いたキャンパスホース法（藤村，1966）で2003年12月4日に実施した。この際，2分間隔で地温を記録し，深さ20cmの地温が60℃を超えるまで20分間蒸気を注入した。翌日，埋設した根を掘り出して水洗し，15mのPB中で磨砕してSuzuki *et al.* (1990)の方法に準じて間接ELISAを行った。また，この磨砕液をPBでさらに100倍希釈し，Xanthi-ncの3個体にわたる3半葉に接種した。この際，それぞれの対半葉にはPMMoV-#7の純化粒子（5μg/ml）を接種した。接種後植物をガラス温室内に保ち，接種5日後に局部病斑数を計数した。

3. 防除試験

試験1

ビニルハウス内の幅0.8，長さ12.6m，無底のコンクリート枠内（灰色低地土）で行った。あらかじめピーマンの苗（品種：トサヒメR：松本ら，1999）を定植し，PMMoV-#7の純化粒子10μg/mlを接種して2003年3月26日から7月1日まで96日間栽培し，土壌をウイルスで汚染した。接種株を抜き取って土壌を耕耘した後，高さ20cm，上面幅20cm，底面幅80cmの畦を作製し，長さ6.3mずつに二分して一方を蒸気土壌消毒区，他方を無処理区とした。蒸気土壌消毒に先立ち，各区の地表面と深さ10cm，20cmおよび30cmの位置から土壌を少量採取してTakeuchi *et al.* (2000)の方法で間接ELISAを実施し，土壌の汚染程度を調べた。蒸気土壌消毒は接種株を抜き取った翌日の7月2日に，丸文製作所SB-250型蒸気土壌消毒機を用いたキャンパスホース法で行った。この際，深さ10cm，20cmおよび30cmの地温を2分間隔で測定し，深さ20cmの地温が60℃を超えるまで24分間蒸気を注入した。7月4日（蒸気土壌消毒の翌々日）にピーマン（トサヒメR）の苗を各区12株ずつ50cm間隔で定植した。定植後の整枝，剪定，収穫などの管理作業に際しては，そ

それぞれの区で専用のはさみを使用し、区間を移動する際に石鹸で手を洗うことで区間の接触伝染を防いだ。ただし、区内での接触伝染防止対策はとらなかった。定植直後から適宜葉のモザイク病斑の有無を肉眼観察するとともに、定植80日後の9月22日に全株について、DAS-ELISAとRT-PCRでPMMoVの感染を確認した。

試験2

ビニルハウス内（幅7m×長さ10.6m、灰色低地土）で行った。あらかじめ圃場内に定植したピーマン（トサヒメR）の苗に対して、2004年7月1日にPMMoV-#7の純化粒子10 μ g/mlを接種し、11月1日まで92日間栽培して土壌を汚染した。接種株を抜き取った後、圃場全体を耕耘し、幅1.35m×長さ5.3m、高さ20~23cmの畦を8畦作製した。このうち半分の4畦を蒸気土壌消毒区、残りの4畦を無処理区とした。さらに、各区4畦のうちの2畦ずつに対して、蒸気土壌消毒時の地温上昇を促進する目的で、稲ワラの混和（1.4t/10a）と散水による前処理（竹内・川田、2006）を行った。蒸気土壌消毒区については、各畦中央部の深さ10cm、20cmおよび30cmの位置に温度センサーを埋設するとともに、温度センサー近傍の土壌を少量採取し、無処理区全体の中から任意に選んだ1地点の深さ10cm、20cmおよび30cmから採取した土壌とともに間接ELISAを行ってPMMoVの汚染を確認した。また、蒸気土壌消毒区から採取した土壌については、105 $^{\circ}$ Cで4日間乾燥させ、乾燥前後の重量差から含水率を算出した。蒸気土壌消毒は接種株を抜き取った4日後の11月5日に、ヤンマーAT-500型蒸気土壌消毒機を用いたキャンバスホース法で実施した。この際、2分

間隔で土壌の温度を測定し、前処理を行った蒸気土壌消毒区の深さ20cmの温度が2畦とも60 $^{\circ}$ Cを超えるまで、3時間25分蒸気を注入した。播種前に種子がトバモウイルスで汚染されていないことをDISA（Takeuchi *et al.*, 1999）によって確認し、その後育苗したピーマン（トサヒメR）の苗を蒸気土壌消毒の4日後（11月9日）に株間50cmで各区8株ずつ定植した。定植後の栽培管理にあたっては、試験区ごとに使い捨てのビニール手袋と専用のはさみを用い、区間の接触伝染を防いだ。ただし、区内での接触伝染防止対策はとらなかった。定植直後から葉のモザイク症状の有無について適宜肉眼観察を行うとともに、定植160日後の4月18日に全株を抜き取り、DAS-ELISAによって葉と根へのPMMoVの感染の有無を調べた。なお、無処理区のうち、前処理未実施の一方の反復区に疫病が発生し、1月21日までに2株、4月1日に1株が枯死したため、それ以降の調査から除外した。ただし、4月1日の枯死株については、根を保存してELISAに供した。

結 果

1. PMMoVの耐熱性

土壌に埋設されたピーマンの根に含まれるPMMoVの感染性は、70 $^{\circ}$ Cでは12時間処理で低下せず、24時間処理でやや低くなった。80 $^{\circ}$ Cでは30分処理で著しく低下し、12時間処理で感染性が認められなくなった。90 $^{\circ}$ Cでは30分処理、100 $^{\circ}$ Cでは10分処理で完全に失活した（第1表）。

2. 蒸気土壌消毒の有効深度

蒸気土壌消毒によって、地表面から深さ15cm

第1表 ピーマンの根片中のPMMoVの耐熱性

温度（ $^{\circ}$ C）	処理時間							
	無処理	10分	30分	1時間	3時間	6時間	12時間	24時間
70	107.0 ^{a)}	115.0	119.7	121.3	101.7	118.3	117.7	65.3
80	74.0	16.3	4.3	1.7	4.0	2.7	0	0
90	117.7	0.3	0	0	0	0	0	0
100	84.3	0	0	0	0	0	0	0

a) 数字は*Nicotiana tabacum* cv. Xanthi-ncのリーフディスク（ ϕ 12mm）5枚上に生じた局部病斑数（各3試料3反復の平均値）

第2表 蒸気土壌消毒時の最高到達温度と温度域別保持時間（時間：分）

深度 (cm)	最高温度 (°C)	温度域 (°C)			
		90≤	80≤<90	70≤<80	60≤<70
0	100	0:30	0:14	0:40	0:56
5	100	0:38	0:36	0:54	1:08
10	100	0:38	0:36	0:56	1:20
15	99	0:20	0:34	0:58	1:26
20	84	0:00	0:02	0:18	1:46
25	52	0:00	0:00	0:00	0:00
30	34	0:00	0:00	0:00	0:00

第3表 蒸気土壌消毒後のピーマン根から抽出されたPMMoVの感染性とELISA値^{a)}

深度 (cm)	蒸気土壌消毒		無処理	
	感染性	ELISA値	感染性	ELISA値
0	0.000	0.109		
5	0.002	0.052		
10	0.000	0.095		
15	0.013	0.084	1.390	1.834
20	0.000	0.077		
25	1.147	1.803		
30	1.106	1.751		

a) 感染性は試料の接種によって *Nicotiana tabacum* cv. Xanthi-nc の半葉に生じた局部病斑数を PMMoV の純化粒子 (5 μg/ml) の接種によって対半葉に生じた局部病斑数で除した値。3葉の平均値。ELISA値は基質注入60分後 (25°C) に測定した405nmにおける吸光度。3ウエルの平均値。

まではほぼ100°Cに到達し、90°C以上の地温が20~38分間維持された。しかし、深さ20cmでは84°Cまでしか上昇せず、80°C以上の地温も2分しか維持されなかった。深さ25cmと30cmではさらに地温が上昇しにくかった (第2表)。一方、深さ20cmより浅い位置に埋設した根から抽出されたPMMoVは、ほとんど感染性が認められず、ELISAにおける吸光度も低かった。しかし、深さ25cmと30cmに埋設した根から抽出されたPMMoVは、無処理区の深さ15cmに埋設した根から抽出されたPMMoVと同等の感染性およびELISA値を示した (第3表)。

3. 防除試験

試験1と2のいずれにおいても、試験開始前の土壌からELISAによってPMMoVが検出され、土壌の汚染が確認された (第4, 6表)。試験1では、地温は地表面と深さ10cmで99°Cま

第4表 蒸気土壌消毒前の土壌抽出液のELISA値^{a)} (試験1)

試験区	深度 (cm)	A ₄₀₅
蒸気土壌消毒	0	0.697
	10	0.755
	20	0.910
	30	0.291
無処理	0	0.292
	10	0.051
	20	0.461
	30	0.440

a) 基質注入60分後 (25°C) に吸光度を測定した。数値は3ウエルの平均値

で上昇し、90°C以上の地温がそれぞれ42分と1時間14分持続した。深さ20cmの最高地温は80°Cで6分間持続し、70°C以上の地温は1時間36分持続したが、深さ30cmでは47°Cまでしか上昇しなかった (第5表)。無処理区では、定植45日後の8月

第5表 蒸気土壌消毒時の温度域別持続時間（時間：分）（試験1）

深度 (cm)	最高温度 (°C)	温度域			
		90≤	80≤<90	70≤<80	60≤<70
0 (地表面)	99	0:4	0:3	1:8	1:4
10	99	1:4	1:2	1:6	2:5
20	80	0:0	0:6	1:3	3:5
30	47	0:0	0:0	0:0	0:0

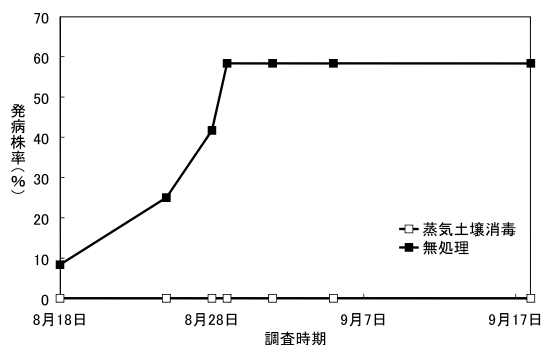
第6表 蒸気土壌消毒前の土壌抽出液のELISA値^{a)}（試験2）

試験区	前処理	反復	深度 (cm)	A ₄₀₅
蒸気土壌消毒	有	I	10	0.634
			20	0.632
			30	0.339
		II	10	0.732
			20	0.495
			30	0.078
	無	I	10	0.512
			20	0.633
			30	0.663
		II	10	0.562
			20	0.606
			30	0.253
無処理			10	0.713
			20	0.136
			30	0.059
非汚染土				0.088

a) 基質注入60分後（25°C）に吸光度を測定した。数値は3ウエルの平均値。

18日になって1株にモザイク症状が認められ、以後漸増した。調査を打ち切った9月17日までに12株中7株が発病し、最終的な発病株率は58.3%となった。これに対し、蒸気土壌消毒区では試験期間中全く発病が認められなかった（第1図）。ELISAとRT-PCRの結果、発病が認められた全株からPMMoVが検出され、発病しなかった株からは検出されなかった（データ省略）。

試験2において、土壌の前処理を行った畦と行わなかった畦の含水率は、深さ10cm, 20cm, 30cmでそれぞれ25.5%, 22.5%, 23.0%と15.7%, 17.6%, 20.1%（いずれも2畦の平均）であった。地温は前処理を行った畦で速く上昇し、いずれの反復区でも深さ10cmの地温が100°Cに到達した。これに対し、前処理を行わなかった区は90°Cまたは73°Cまでしか上昇しなかった（第7表）。無



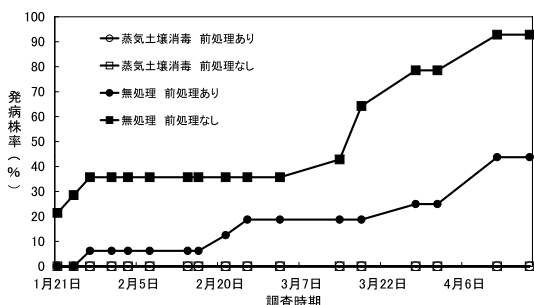
第1図 圃場に定植したピーマンのモザイク病発病推移（試験1）。1区12株無反復

処理区のうち、土壌の前処理を行わなかった区では、定植73日後の1月21日にモザイク症状が認められはじめ、以後漸増して最終的には疫病で枯死した2株を除き、両反復区を合わせた14株のうちの13株が発病して発病株率は92.9%となった。一方、土壌の前処理を行った区でも、定植79日後の1月27日からモザイク症状が認められ、最終的には16株中7株が発病し、発病株率は43.8%となった。これに対し、蒸気土壌消毒を行った区では、土壌の前処理の有無に関わらず、調査期間中全く発病が認められなかった（第2図）。さらに、

調査終了後に全株を抜き取り、葉と根に分けてELISAを実施した結果、全ての発病株の葉からPMMoVが検出され、無発病株の葉からは検出されなかった。また、無処理区では地上部に病徴が認められなくても根からPMMoVが検出される場合があった。これに対して、蒸気土壌消毒区では全ての株で根からもPMMoVは検出されなかった（第8表）。

第7表 蒸気土壌消毒時の温度域別地温保持時間（時間：分）（試験2）

前処理	反復	深度 (cm)	最高温度 (℃)	温度域 (℃)		
				90≤	80≤<90	70≤<80
有	I	10	100	3:38	2:14	2:30
		20	100	2:30	2:12	2:38
		30	86	0:00	0:35	1:42
	II	10	100	3:10	1:34	2:04
		20	68	0:00	0:00	0:00
		30	43	0:00	0:00	0:00
無	I	10	90	0:04	1:40	1:48
		20	50	0:00	0:00	0:00
		30	39	0:00	0:00	0:00
	II	10	73	0:00	0:00	1:30
		20	43	0:00	0:00	0:00
		30	34	0:00	0:00	0:00



第2図 圃場に定植したピーマンのモザイク病発病推移（試験2）。1区8株2反復で実施し、その合計を示した。

第8表 DAS-ELISAにおけるPMMoV陽性株数

試験区	前処理	反復	調査株数	検定部位	
				葉	根
蒸気土壌消毒	有	I	8	0	0
		II	8	0	0
	無	I	8	0	0
		II	8	0	0
無処理	有	I	8	7	8
		II	8	0	1
	無	I	6 (5) ^{a)}	5	6
		II	8	8	8

a) 疫病により1月21日までに2株、4月1日に1株が枯死したため、ELISAは枯死しなかった5株の葉と4月1日に枯死した1株を含む6株の根を対象に実施した。

考 察

PMMoVの粗汁液または葉片中での耐熱性は80～90℃ 10分と報告されている（長井ら，1981）。今回は，蒸気土壤消毒を行う場面でウイルスの不活化に必要な温度と時間を推定するため，PMMoVに感染したピーマンの根を土壤中に埋設して所定の時間熱処理を行い，根から抽出されるウイルスの感染性を調べた。その結果，土壤中に埋設された根片中のPMMoVは，土壤温度が90℃の場合は30分，80℃では12時間で不活化されることがわかった。一方，ピーマンの栽培圃場の土壤で，PMMoVは少なくとも深さ30cmまで分布することが明らかにされている（竹内，2000）。このことから，蒸気土壤消毒によって土壤中のPMMoVを完全に不活化するためには，深さ30cmの地温を90℃に上昇させて10分以上，あるいは80℃で12時間以上保つ必要があると考えられた。

しかし，キャンバスホース法による蒸気土壤消毒で，深さ30cmの地温を80℃以上に上昇させることは極めて難しく，今回の試験で使用したような小面積のコンクリート枠内という条件でも，深さ25cmの最高地温は52℃に留まり，これより深層に埋設したピーマンの根に含まれるPMMoVは不活化されなかった。

このような結果は，汚染圃場で蒸気土壤消毒を行った防除試験においても同様であり，コンクリート枠内で行った試験1では深さ30cmの最高地温が47℃に留まった。また，通常のビニルハウスで行った試験2では，既報（竹内・川田，2006）のように土壤の前処理として稲ワラの施用と散水を行うことで，乾燥土壤よりも最高到達温度は高くなり，一方の反復区では深さ30cmの最高到達温度が80℃を上回った。これに対して，土壤の前処理を行わなかった場合には深さ20cmでも50℃に留まった。

ところが，このような温度であったにもかかわらず，試験1と2のいずれにおいても，蒸気土壤消毒を行った区に定植したピーマンには，調査期間中全くモザイク症状が認められず，根からもPMMoVが検出されなかった。

魚住・西村（1971）はタバコモザイクウイルスのタバコへの土壤伝染に寄与するのは，地表面付

近に分布するウイルス粒子であると述べている。また，PMMoVの土壤伝染に關与するのは，地表面付近のウイルス粒子であり，定植後に伸張した根がウイルスと接触して感染する確率は極めて低いことが示唆されている（竹内，2000；大木ら，2003）。キャンバスホース法による蒸気土壤消毒では，深層の土壤をPMMoVの不活化に有効な温度に上昇させることはできないが，地表面に蒸気を噴出するために，地表面付近の地温は短時間でも容易に高温まで上昇する。その結果，土壤伝染に最も關与する表層土壤に存在するPMMoVはほぼ完全に不活化され，高い防除効果が得られたものと推察された。

防除試験2において，無処理区のうち，前処理として稲ワラ施用と散水を行った区では，前処理を行っていない区よりも発病時期が遅れ，その後の発病株率も低く推移した。土壤中のタバコウイルスの感染性保持時間は，土壤中の罹病残渣の腐敗速度に依存しており，適当な水分を含んだ土壤条件の場合に湛水条件や乾燥条件よりも腐敗が進行しやすく，ウイルスの不活化も速いことが報告されている（長井，1981；竹内，2000）。本試験で観察された現象も，これらの報告と類似しているが，土壤の前処理から定植までの期間がわずか8日間であったことから，腐敗促進以外の要因によって発病が遅延した可能性もあり，前処理と土壤伝染との関係については，今後詳細に調べる必要がある。また，蒸気土壤消毒で不活化されなかった深層土壤のウイルス粒子は，長井（1981）が述べているように，時間の経過とともに徐々に感染性を喪失すると考えられるが，翌年の伝染源として機能し得るかどうかについては，今後検討する必要がある。

以上のように，キャンバスホース法による蒸気土壤消毒は，ピーマンにおけるPMMoVの土壤伝染に極めて高い防除効果を示し，臭化メチルに代わる土壤消毒技術として有望であると考えられた。

摘 要

ピーマンにおけるPMMoVの土壤伝染に対する蒸気土壤消毒の防除効果を調べた。ピーマン根片中のPMMoVを完全に失活させるには，90℃で

30分、80℃では12時間の熱処理が必要であった。キャンバスホース法による蒸気土壌消毒では、深さ20cmより深層の土壌をPMMoVの不活化に有効な温度にまで上昇させることは難しく、温度上昇が不十分な深さに埋設したピーマン根片中のPMMoVは、蒸気土壌消毒によって不活化されなかった。しかし、表層土壌の温度は比較的容易に上昇した。PMMoV汚染圃場で実施した防除試験では、無処理区でPMMoVの感染が認められたのに対して、蒸気土壌消毒区では伝染に参与する地表面付近のウイルスを不活化することで、全く感染が認められず、高い防除効果が確認された。

引用文献

- 藤村 良 (1966): 蒸気土壌消毒の方法 [1]. 農業および園芸, 41:673~676.
- 松本満夫・新田益男・沢田博正・野町敦志 (1999): PMMoV抵抗性ピーマン‘トサヒメR’の育成. 高知農技セ研報, 8:47-52.
- 長井雄治 (1981): タバコ・モザイク・ウイルスに起因するトマトおよびピーマンのモザイク病の防除に関する研究. 千葉農試特報, 9:1-109.
- 長井雄治・竹内妙子・栃原比呂志 (1981): タバコ・モザイク・ウイルストウガラシ系によるピーマンのモザイク病. 日植病報, 47:541-546.
- 大木健広・津田新哉・本田要八郎 (2003): ピートモス成型ポット移植によるトウガラシマイルドモットルウイルス (PMMoV) の土壌伝染抑制. 関東東山病害虫研報, 50:29~32.
- Pares, R. D. and Gunn, L. V. (1989): The role of non-vectored soil transmission as a primary source of infection by pepper mild mottle and cucumber mosaic virus in greenhouse-grown *Capsicum* in Australia. J. Phytopathology, 126:353-360.
- 齊藤誠市・中沢 伝 (1984): ピーマン新品種‘トサヒメ’の育成について. 高知園試研報, 2:1~6.
- Suzuki, N., Shirako, Y. and Ehara, Y. (1990): A simple method for elimination of non-specific reactions in non-precoated indirect and electroblot enzyme-linked immunosorbent assay procedure used for detection of zucchini yellow mosaic virus. Ann. Phytopathol. Soc. Jpn., 56:337-341.
- Takeuchi, S., Hikichi, Y., Kawada, Y. and Okuno, T. (1999): Direct immunostaining assay, a new simplified technique for detection of tobamoviruses from seeds of green pepper (*Capsicum annuum* L.). Ann. Phytopathol. Soc. Jpn., 65:189-191.
- Takeuchi, S., Hikichi, Y., Kawada, Y. and Okuno, T. (2000): Detection of tobamoviruses from soils by non-precoated indirect ELISA. J. Gen. Plant. Pathol., 66:153-158.
- 竹内繁治 (2000): *Capsicum*属植物におけるトバモウイルス病の発生生態とその防除に関する研究. 高知農技セ特研報, 3:1~53.
- Takeuchi, S., Hamada, H., Toyoda, K., Suzuki, K., Kiba, A., Hikich, Y. and Okuno, T. (2005): Discrimination between tobamovirus and their pathotypes for L-gene-mediated resistance in green pepper (*Capsicum annuum* L.) by reverse transcription-polymerase chain reaction. J Gen Plant Pathol, 71: 60-67.
- 竹内繁治・川田洋一 (2006): 蒸気土壌消毒時の地温上昇に影響を及ぼす土壌条件. 四国植防, 41:25~31.
- 楢谷昭夫 (1998): 臭化メチル使用規制の経緯, 代替技術開発・普及の現状および今後の防除対策について. 今月の農業, 42 (12):19~22.
- 楢谷昭夫 (2006): 2005年の臭化メチル不可欠用途申請とその決議②. 今月の農業, 50 (3):76~79.
- Tosic, M., Sutic, D. and Pesic, Z. (1980): Transmission of tobacco mosaic virus through pepper (*Capsicum annuum* L.) seed. Phytopath. Z., 97: 10-13.
- 魚住哲郎・西村紀子 (1971): タバコモザイク病の土壌伝染. 盛岡たばこ試報, 6:41~64.
- 米山伸吾 (1988a): タバコモザイクウイルスP系統によるピーマンウイルス病の防除 (2) メチルプロマイドによる春期の土壌消毒による防除効果. 関東東山病害虫研報, 35:53~55.
- 米山伸吾 (1988b): タバコモザイクウイルスP系統によるピーマンウイルス病の防除 (3) メチルプロマイドによる夏期の土壌消毒による防除効果. 関東東山病害虫研報, 35:56~57.