

## 蒸気土壌消毒時の地温上昇に影響を及ぼす土壌条件

竹内繁治・川田洋一  
(高知県農業技術センター)

### Soil conditions affecting temperature rise in soil steam sterilization.

By Shigeharu TAKEUCHI and Youichi KAWADA (Kochi Agricultural Research Center, Hataeda 1100, Nankoku, Kochi 783-0023, Japan)

(Received December 1, 2006; Accepted December 20, 2006)

### 緒 言

蒸気土壌消毒は床土や隔離栽培の土壌消毒技術として、古くから利用されてきたが(藤村, 1966: 静岡農試, 1971), 最近では2005年に全廃された臭化メチルの代替技術の一つとして, 野菜や花卉類で本圃の土壌消毒技術としての利用が進められている(竹内, 2006)。蒸気土壌消毒で高い防除効果を得るためには, 防除対象となる病害虫の死滅温度以上に地温を上昇させる必要があり, 短時間で効率よく確実に地温を上昇させることが, コスト低減の観点からも重要である。病害虫の死滅温度については多くの報告があるが(小玉・福井, 1979: 古木, 1981: 長井, 1981: 竹内・福田, 1993: 森田ら, 2005: 下元, 2006), 蒸気土壌消毒時の地温上昇と土壌条件との関係については不明な点が多い。そこで, 蒸気土壌消毒時の地温上昇に影響を及ぼす土壌条件について調べたので報告する。

### 材料および方法

#### 1. 供試土壌

全試験を通じて高知県農業技術センター内圃場の土壌(礫質灰色低地土, 土性CL)を供試した。含水率, 孔隙率および三相分布の分析は, 土壌標準分析・測定法委員会(1986)の方法に従って行った。

#### 2. 蒸気土壌消毒

ヤンマーATA500型, 丸文製作所SB-250型また

はSB-700型蒸気土壌消毒機を用い, キャンバスホース法(藤村, 1966)で実施した。地表面の被覆には厚さ0.05mmの透明ポリエチレンシートを用い, シートの端は水を満たしたポリエチレンダクトで固定した。

#### 3. 土壌条件が地温上昇に及ぼす影響の評価

##### 1) 含水率の影響

原土壌を風乾して2mm目合の篩を通し, 乾燥状態での含水率を測定した後, 水道水を加えて含水率を5%, 21%, 40%(試験1)または13%, 18%, 25%(試験2)に調整した。直径11cm長さ30cmの塩化ビニルパイプの一端を防虫ネットで覆い, ネットで覆っていない開口端を上にして, 各含水率の土壌をパイプ2本ずつに上端まで充填した後, 側面に10cm間隔であけた穴から温度センサーを水平に挿入した(第1図)。このパイプをビニルハウス内の幅1.35mの畦(試験1)または幅0.8mの無底コンクリート枠内土壌(試験2)に埋設した。この際, パイプの上端が地表面と同じ高さで温度センサーの挿入位置が地下10cmと20cmになるようにした。パイプの直上にキャンバスホースを設置し, パイプ内の土壌温度を測定・記録しながら蒸気土壌消毒を行った。

一方, 前述の方法で含水率を7%, 15%, 25%および30%に調整した土壌を, 50m容ポリプロピレン製チューブ(高さ11.4cm, 内径2.8cm)2本ずつに上端まで充填した。チューブ上端の中央部から温度センサーを土壌中に垂直に挿入し,



第1図 パイプ試験に用いた塩化ビニルパイプと温度センサー

80℃に調整したウォーターバス内の温水にチューブの底部を浸漬した。この際、温度センサーの感温部が水面上2cmの位置になるよう、水位を調節した。30分後にチューブを温水から取り出し、そのまま室温で放置した。

#### 2) 孔隙率と三相分布の影響

礫や粗大有機物をできるだけ取り除いた原土壌を5.6mm目合と2mm目合の篩を用いて大粒(5.6mm以上)、中粒(2~5.6mm)、細粒(2mm以下)の3段階に分けた。これらについて、孔隙率と三相分布を調べるとともに、前述の方法で塩化ビニルパイプとポリプロピレンチューブに充填し、蒸気土壌消毒時と温水浸漬時の土壌温度の変化を調べた。なお、蒸気土壌消毒は、幅1.35mの畦にパイプを埋設して実施した。

#### 3) 有機質資材の施用が土壌の温度上昇に及ぼす影響

2mm目合の篩を通した原土壌に市販のケイントップ(長さ約4cm)またはバーク堆肥をそれぞれ32g/Lまたは64g/Lの割合で混和した。これらを前述の方法で塩化ビニルパイプとポリプロピレンチューブに充填し、蒸気土壌消毒時と温水浸漬時の土壌温度の変化を資材無添加土壌と比較した。また、2mm目合の篩を通した原土壌の含水率を11%と26%に調整した後、それぞれについて市販のカット稲ワラ(長さ約5cm)を32g/Lの割合で混和し、前述の方法で蒸気土壌消毒時の土壌温度の変化を資材無添加土壌と比較した。なお、蒸

気土壌消毒はいずれも幅1.35mの畦にパイプを埋設して行った。

#### 4. 圃場実証試験

ビニルハウス内に幅1.35m長さ10.6mの畦を4列作成した。そのうち2列についてはケイントップを1.5kg/10aの割合で施用し、トラクタのロータリーで混和後、散水して含水率を高めた。残りの2列にはケイントップを施用せず、散水も行わなかった。蒸気土壌消毒の直前にそれぞれの畦の各1箇所ずつについて、地下10cm、20cmおよび30cmの深さから土壌を採取し、含水率を調べるとともに、各畦のほぼ中央でキャンパスホースの直下となる1地点の地下10cm、20cmおよび30cmに温度センサーを埋設した。蒸気土壌消毒は4畦に対して同時に行った。

### 結 果

#### 1. 含水率の違いが土壌の温度上昇に及ぼす影響

含水率を5%、21%および40%とした土壌の間で蒸気土壌消毒時の温度変化を比較した結果、地下10cmと20cmのいずれの深度においても、5%の土壌で最も早くから温度が上昇し始めたが、後に21%の土壌と逆転し、最終的には21%の土壌が最も高温に到達した。40%の土壌の温度上昇はこれらより遅かった(第2図)。また、含水率13%、18%、25%の土壌について比較した試験では、13%、18%、25%の順に温度が上昇し始めたが、最高到達温度は25%の土壌が最も高く、13%の土壌が最も低かった(第3図)。一方、含水率7%、15%、25%および30%の土壌を温水に浸漬して温度変化を比較した結果、15%、25%、30%の土壌間では温度上昇速度に明瞭な差は認められなかったが、7%の土壌はこれらより温度が上昇しにくく、最高到達温度も低かった。また、温水から取り出した後は、含水率が高い土壌ほど緩やかに温度が降下した(第4図)。

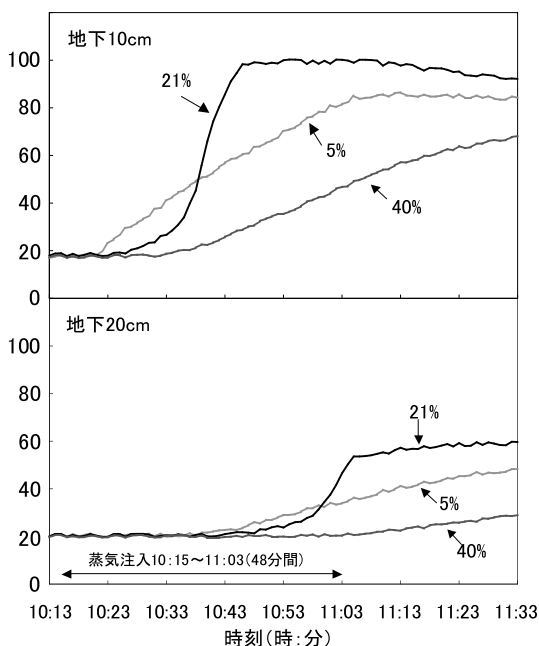
#### 2. 孔隙率と三相分布の違いが土壌の温度上昇に及ぼす影響

供試土壌の孔隙率は中粒が最も高く、細粒が最も低かった。三相分布については、大粒と中粒の間に大きな差は認められなかったが、細粒は他の

2種と比較して液相割合が高く、気相割合が著しく低かった（第1表）。蒸気土壤消毒時の土壤温度は、地下10cmと20cmのいずれにおいても大粒が中粒よりもやや速く上昇したが、最高到達温度はほぼ同じであった。これに対して、細粒は著しく上昇が遅かった（第5図）。一方、これらの土壤を80℃の温水に浸漬した場合、温度の上昇速度に明瞭な差は認められなかった（第6図）。

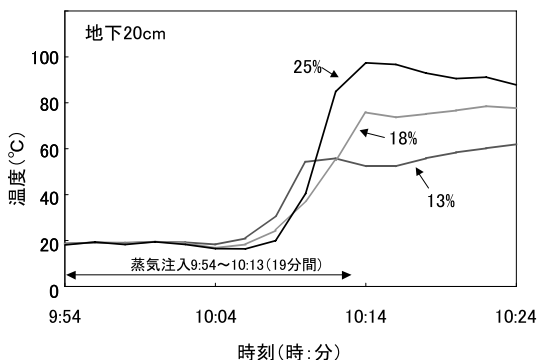
### 3. 有機質資材の施用が土壤の温度上昇に及ぼす影響

ケイントップを添加した土壤の温度は、地下10cmと20cmのいずれにおいても無添加土壤およ

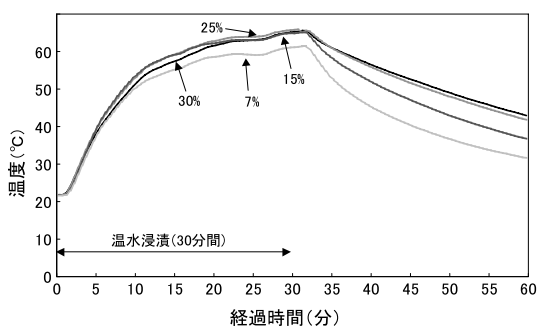


第2図 土壤の含水率と蒸気土壤消毒時の温度上昇（試験1）  
パイプ2本で測定した温度の平均。2002年11月13日実施。

びバーク堆肥を添加した土壤よりも速く上昇した（第7図）。バーク堆肥を添加した土壤は、地下10cmでは初期には無添加土壤より温度上昇が速かったが、後に逆転した。地下20cmでも無添加土壤よりやや温度上昇が速かったが、無添加土壤との差は小さかった。一方、これらの土壤を80℃の温水に浸漬した場合には、蒸気土壤消毒時



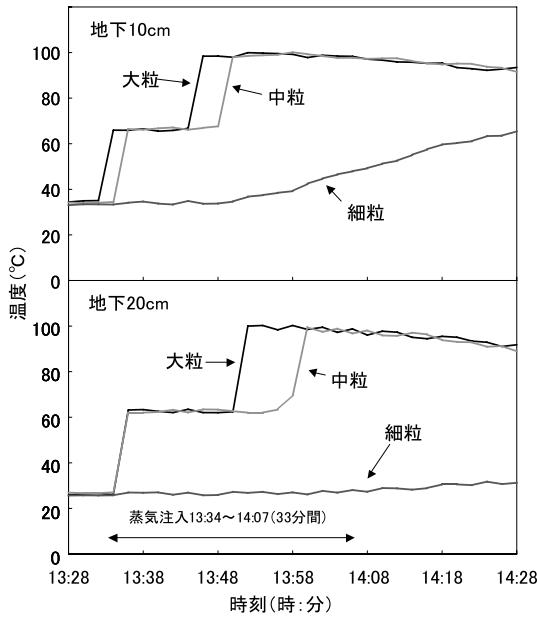
第3図 土壤の含水率と蒸気土壤消毒時の温度上昇（試験2）  
パイプ2本で測定した温度（地下20cm）の平均。2003年2月13日実施。



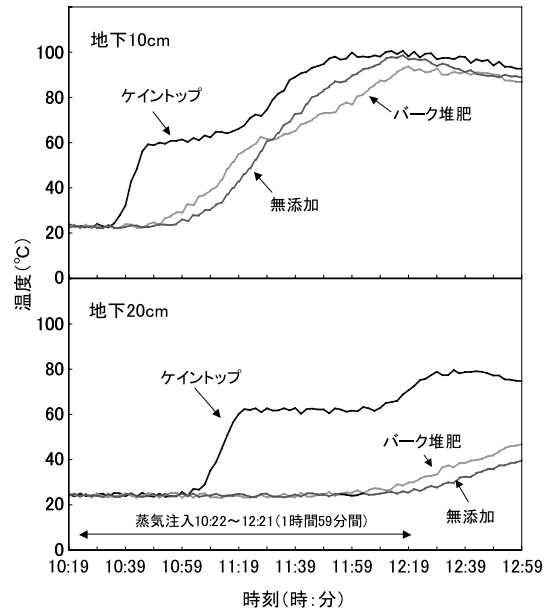
第4図 土壤の含水率と温水浸漬時の温度上昇  
チューブ2本で測定した温度（水面上2cm）の平均。

第1表 供試土壤の孔隙率と三相分布

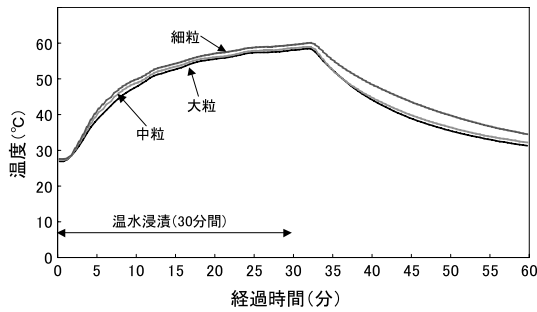
供試土壤	径 (mm)	孔隙率 (%)	三相分布 (%)		
			固相	液相	気相
細粒	2以下	63.1	36.9	53.3	9.8
中粒	2~5.6	70.1	29.9	28.5	41.6
大粒	5.6以上	66.6	33.4	27.0	39.6



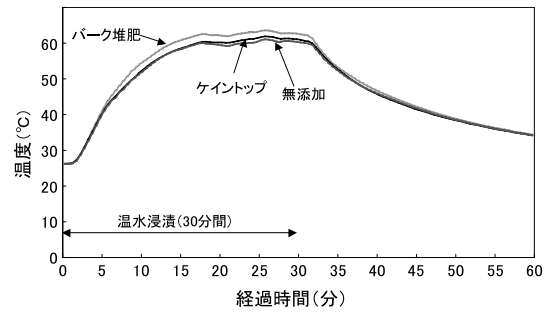
第5図 土壌の孔隙率と蒸気土壌消毒時の温度上昇  
パイプ2本で測定した温度の平均。2004年5月12日実施。



第7図 有機質資材の施用と蒸気土壌消毒時の温度上昇  
パイプ2本で測定した温度の平均。2004年5月18日実施。



第6図 土壌の孔隙率と温水浸漬時の温度上昇  
チューブ2本で測定した温度（水面上2cm）の平均。

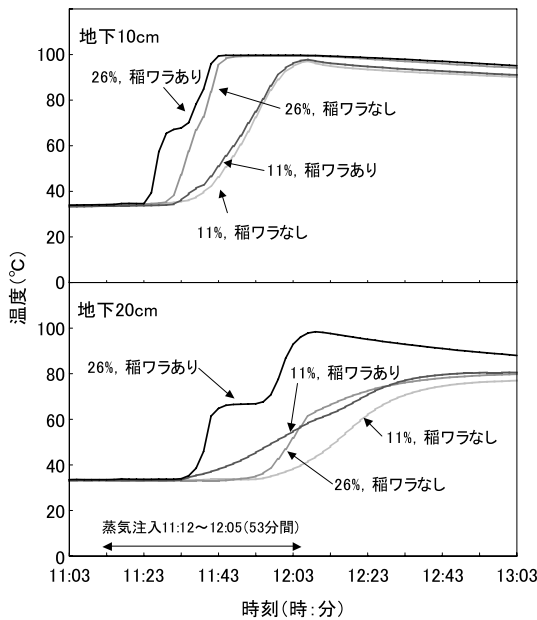


第8図 有機質資材の施用と温水浸漬時の温度上昇  
チューブ2本で測定した温度（水面上2cm）の平均。

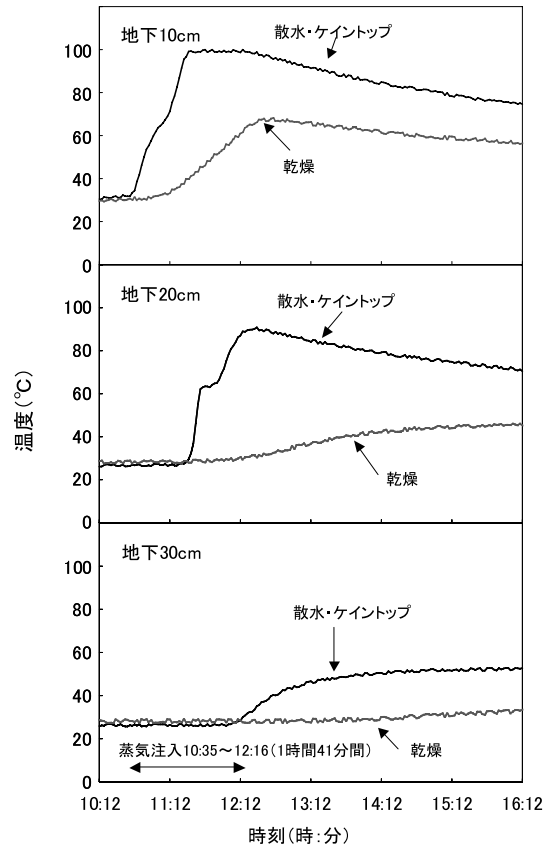
にみられたような温度上昇速度の明瞭な差は認められなかった（第8図）。また、含水率を11%と26%に調整した土壌で稲ワラ混和の影響を調べた結果、いずれの含水率の場合でも、稲ワラを混和した土壌の温度が無添加土壌よりも速く上昇する傾向がみられ、とくに地下20cmで顕著であった。供試した4種の土壌の中では、含水率26%で稲ワラを混和した土壌の温度上昇が最も速く、地下20cmの最高到達温度も高かった（第9図）。

#### 4. 圃場実証試験

散水した畦の含水率は、地下10cm、20cm、30cmでそれぞれ26%、28%、28%（いずれも2地点の平均、以下同じ）、散水を行わなかった畦の含水率は17%、20%、22%であった。蒸気土壌消毒時の地温は、いずれの深度においてもケイントップを混和して散水した畦の方がケイントップを施用せず散水を行っていない畦よりも速く上昇



第9図 土壌の含水率および稲ワラの施用と蒸気土壌消毒時の温度上昇  
パイプ2本で測定した温度の平均。2005年8月11日実施。



第10図 散水およびケイントップ施用と蒸気土壌消毒時の地温上昇（圃場試験）  
同一処理を行った2畦で測定した温度の平均。地下10cm, 20cm, 30cmの含水率は散水区でそれぞれ26%, 28%, 28%（2地点の平均）、乾燥区で17%, 20%, 22%。ケイントップは1.5t/10aの割合で施用した。2004年6月16日実施。

し、最高到達温度も高かった（第10図）。

### 考 察

蒸気土壌消毒では土壌中に噴出された蒸気が熱を放出しながら土壌孔隙中の空気と徐々に置き換わり、次第に拡大することで地温が上昇する（藤村, 1966; 静岡農試, 1971; 加藤, 1982）。このことから、藤村（1966）は蒸気土壌消毒に適した土壌条件として、膨軟な状態であり、土壌表面は平らで土塊は少なくとも4cm以下で、できるだけ乾燥していることが望ましいと述べている。今回、筆者らは蒸気土壌消毒時の地温上昇と土壌条件との関係を詳細に調べるため、少量の均質な土壌で実施可能な試験方法として、各種条件の土壌を充填した塩化ビニルパイプを圃場に埋設して蒸気土壌消毒を行い、パイプ内の土壌温度を比較する方法で試験を実施した。その結果、孔隙率については藤村の記述と同様で、とくに気相割合が高い場合に土壌温度が速く上昇した。また、土壌に有機質資材を混和し、地温上昇に及ぼす影響を調べたところ、バーク堆肥については明らかな影響が認められなかったが、ケイントップと稲ワラは

地温上昇に有効であることがわかった。今回、これらの有機質資材の添加による孔隙率の変化を調査していないが、ケイントップを混和した土壌を温水で加温した場合には、無添加土壌との間に温度上昇速度の差が認められなかったことから、これらの資材が媒体となって熱伝導が促進されたわけではなく、孔隙量を増大させた結果、温度が上昇しやすくなった可能性が高いと考えられた。

一方、土壌水分に関する試験では、含水率40%の土壌は極めて温度が上昇しにくく、藤村の記述と一致する結果であった。しかし、含水率21%あるいは25%の土壌とそれより含水率の低い乾燥土

壤とを比較した場合には、初期には乾燥土壌から先に温度が上昇し始めたが、やがて含水率が高い土壌の温度が急激に上昇し、最高到達温度も高くなった。静岡農試(1971)は、蒸気土壌消毒による熱の伝達は主として蒸気自体が土壌孔隙中を移動することによって行われるが、部分的には伝導による熱伝達が行われていると推察している。今回の試験では、含水率の異なる各土壌の孔隙率を調べていないため、供試土壌の孔隙率の違いが地温上昇に及ぼした影響は不明であるが、ウォーターバス中の温水に浸漬した試験において、含水率7%の乾燥土壌は温度が上昇しにくかったことから、熱伝導の点ではある程度水を含んだ土壌が有利であると考えられ、キャンバスホース法による地床の土壌消毒では、水を介した熱伝導も地温上昇速度に影響している可能性が示唆された。また、温水から取り出した後の温度降下は、含水率の高い土壌ほど緩やかであったことから、蒸気の噴出を停止した後に長時間高温を維持できる点でも、ある程度の水分を含んだ土壌の方が、蒸気土壌消毒の効果を安定させる上で有利であると考えられた。

これらの結果をもとに実施した圃場試験では、ケイントップを施用して散水した畦の方がケイントップを施用せず乾燥した畦よりも明らかに地温上昇が速く、短時間で高温に到達し、パイプを用いた試験の結果とよく一致した。今回の塩化ビニルパイプを用いる試験方法は、少量の均質な土壌で実施可能であり、圃場試験と比較すると土壌条件の調整も容易であることから、蒸気土壌消毒時の地温上昇と土壌条件との関係を調べる手法として有用であると考えられた。

以上のように、蒸気土壌消毒時の地温上昇には土壌の孔隙率と水分含量が影響しており、孔隙率が高い場合に地温上昇しやすいことが改めて確認できた。一方、水分についてはできるだけ乾燥しているほど好ましいという従来の考えとはやや異なり、過乾燥条件ではかえって地温が上昇しにくいことがわかった。また、稲ワラやケイントップの混和は地温上昇を促進することが明らかになった。有機質資材は蒸気土壌消毒による植物のマンガン過剰障害の発生を助長する可能性もあるため(辻ら, 2006)、対象作物に適した資材の種類や処理量についてさらに検討する必要があるが、キャ

ンバスホース法による蒸気土壌消毒を実施するに当たっては、土壌の過湿や過乾燥条件を避け、適切な有機質資材を施用することで、より短時間で地温を高温まで上昇させることが可能になると考えられた。

## 摘 要

キャンバスホース方式による蒸気土壌消毒時の地温上昇に影響を及ぼす土壌条件を調べた。過剰な土壌水分条件では地温が上昇しにくかったが、乾燥条件よりもある程度水分を含んだ土壌のほうが地温の上昇が速く、最高到達温度も高かった。また、気相割合の高い土壌で地温上昇が速かった。ケイントップや稲ワラの施用は地温上昇に効果的であった。

## 引用文献

- 土壌標準分析・測定委員会(1986):土壌標準分析・測定法. 博友社, 東京:8~14.
- 藤村 良(1966):蒸気土壌消毒の方法 [1]. 農業および園芸, 41:673~676.
- 古木市重郎(1981):メロンえそ斑点病の伝染病学的研究. 静岡農試特報, 14:1~86.
- 加藤喜重郎(1982):施設における土壌の蒸気消毒. 植物防疫, 36:452~456.
- 小玉孝司・福井俊男(1979):太陽熱とハウス密閉処理による土壌消毒法について. I. 土壌伝染性病原菌の死滅条件の設定とハウス密閉による土壌温度の変化. 奈良農試研報, 10:71~82.
- 森田泰彰・高橋尚之・川田洋一(2005):メロン黒点根腐病菌の高温域における死滅条件. 高知農技セ研報, 14:1~4.
- 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.
- 下元満喜(2006):サツマイモネコブセンチュウに対する蒸気土壌消毒の防除効果とその問題点. 高知農技セ研報, 15:25~32.
- 静岡県農業試験場(1971):温室メロンの蒸気土壌消毒に関する研究. 静岡農試特別報告, 10:1~80.
- 竹内繁治(2006):高知県における臭化メチル代替技術普及の取り組み. 野菜茶業研究集報, 3:

17~20.

竹内妙子・福田 寛 (1993): 熱水土壤消毒によるトマト青枯病, 褐色根腐病およびサツマイモネコブセンチュウの防除. 千葉農試研報, 34: 85~90.

辻 美希・森 仁・山本岳彦・田中壮太・康 峪梅・櫻井克年・岩崎貢三 (2006): 隔離床メロンハウスで蒸気消毒後に発生したマンガン過剰について. 日本土壤肥科学雑誌, 77:257~263.