

# 深層地中加温と太陽熱併用による土壤消毒法の確立

## 第1報 土壤消毒時の地温と消毒効果

中村 靖弘・片瀬 雅彦・久保 周子

キーワード：深層地中加温、太陽熱、土壤消毒、無農薬

### I 緒 言

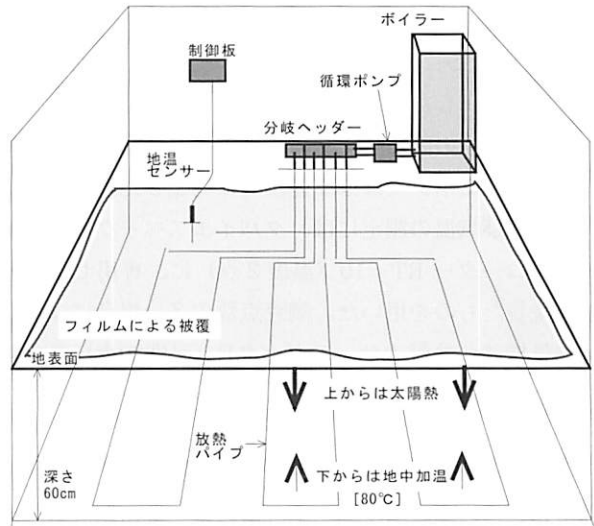
野菜や花きの施設栽培では、土壤病虫害防除及び雑草防除のために、毎年のようにあるいは作付け前ごとに、臭化メチルなどの農薬による土壤消毒を行っている。しかし、臭化メチルがオゾン層に悪影響を及ぼすため2005年には一部を除いて全廃となることから、代替技術の開発が急務となっている。また、ちばエコ農業など環境保全の観点に立った農業を推進するため、減農薬栽培技術の開発が進められている。このような背景から、太陽熱消毒(福井ら、1981;小玉・福井、1979a;小玉ら、1979b;小玉ら、1980)、熱水土壤消毒(國安・竹内、1986;竹内・福田、1993)、蒸気消毒(長井・深津、1970)、土壤還元消毒(新村ら、1999)など、農薬を使わない土壤消毒法の重要性が高まっている。

その中で、株式会社ラジアントが開発した深層地中加温システムと太陽熱消毒を併用した土壤消毒(以下、地中加温消毒)は、農薬を使用しない土壤消毒法の一つとして注目されている。田中ら(2000)は、ナス連作圃場におけるネコブセンチュウ及び埋設した青枯病菌に対し殺虫・殺菌効果があることを報告している。しかし、適用病虫害及び適用作物、効果的な処理条件、低コスト化等検討すべき課題は多い。

本報では、地中加温消毒を施設栽培の土壤消毒法として実用化するために、土壤病虫害に対する殺菌・殺虫効果及び雑草種子に対する殺草効果について検討した。

本試験は、株式会社ラジアントと千葉県との共同研究として行われた。また、本試験の遂行に当たり御協力、御教示いただいた千葉県農業総合研究センターの砂地野菜研究室長(現暖地園芸研究所花き研究室長)青木孝一氏、病理研究室長竹内妙子氏及び暖地園芸研究所環境研究室三平東作氏、並びに放熱パイプの埋設に御協力いただいた皆様に厚くお礼申し上げます。

### II 材料及び方法



第1図 深層地中加温システム概略図(土壤消毒時)

試験圃場として、千葉県農業総合研究センター北総園芸研究所砂地野菜研究室の、間口7.4m、奥行き27m、面積約200m<sup>2</sup>の単棟ガラス温室2棟(中粗粒褐色低地土・長崎統)を用いた。1棟に深層地中加温システムを設置し、太陽熱消毒と併用する地中加温消毒区とした。もう1棟を太陽熱消毒区または薬剤消毒区とした。

深層地中加温システム(株式会社ラジアント製)は、加熱用のボイラー、熱媒体を循環させるポンプ、地中放熱用のパイプなどで構成されている(第1図)。基本的構成は板木・金目(1968)の地中加温システムと同じであるが、放熱パイプが細く、埋設する位置が深いこと、必要とされるボイラーの熱容量が小さいことが、大きく相違する点である。

本試験で用いた放熱パイプは、外径13mmのポリプロピレン製のもので、軽量かつ湾曲が可能なため、土壤中を継ぎ目無しで設置できる。1999年7月に、トレンチャーを用いて地中加温用の放熱パイプを深さ60cmに埋設した。温室の両壁面から最も近い放熱パイプまでの距離は各90cmとし、その間に、60cm間隔で配置した。設置後のメンテナンスを軽減させるため、熱媒体にはエチレングリコールを使用した。ボイラーは、ラジアント社が

提供している中で最も小さい、熱容量31,000kcal/h (300坪用) のものを使用した。これは、熱水土壤消毒用ボイラーの10分の1ほどの熱容量である。また、長さ25cmほどの温度センサーを圃場内に挿し、これによって循環ポンプを制御した。

太陽熱消毒区では、圃場を耕耘してから十分にかん水し、この後に農業用ビニールフィルム（以降、農ビとする）などのプラスチックフィルムで土壤表面を被覆してから温室を密閉した。地中加温消毒区では、太陽熱消毒区と同様に処理し、ガラス温室を密閉した時にボイラー及び循環ポンプを稼働させた。ボイラーの設定温度を80~90℃とし、深さ30cmの地温の測定から循環ポンプの稼働を制御した。地温の測定場所を、地温が最も上昇しにくい温室の隅にしたため、地中加温消毒を実施している間、循環ポンプはほぼ連続的に稼働した。

地温及び気温の測定には、タバイエスベック社製のサーモレコーダーRT-10（温度2点）に、専用センサーを接続したものをを用いた。調査点数の多い場合には、江藤電気株式会社製のサーモダックE（温度30点）または株式会社キーエンス社製のNR-1000（温度16点）を用い、センサーとして熱電対を用いて測定した。

病原菌及び線虫に対する土壤消毒の効果を、埋設法で判定した。白絹病菌については菌核を、線虫類については汚染土壌を、褐色根腐病菌、萎凋病菌（レース2）、根腐萎凋病菌及び青枯病菌についてはトマト罹病株の茎または根を1~2cmに切断したものを、通気・透水性のあるナイロンゴースで別々に包んだ。これを、土壤消毒の直前に、後述の位置及び深さに埋設し、消毒後に掘り上げた。線虫類は、ベルマン法（20g、25℃、72時間）で土壤から分離し、生存数を計数した。褐色根腐病菌、萎凋病菌、根腐萎凋病菌については、茎または根表面の滅菌、水洗等の処理後、おのおのの選択培地において培養し、生存の有無から検出率を算出した。青枯病菌については選択培地上に生じたコロニー数を計数した。

雑草種子に対する土壤消毒の効果を、埋設法で判定した。雑草種子の汚染土として、研究室温室内の雑草繁茂直下の土壌を使用した。ナイロンゴースで包んだ汚染土200gを土壤消毒前に埋設し、消毒後に掘り上げた。これを三等分してそれぞれ連結ポット（縦横4×4穴、1穴は縦横6cm、深さ4.5cm）に入れ、適時灌水し、雑草の出芽数を種類別に計数した。

#### 試験1：地中加温消毒による地温変化と消毒効果

地中加温消毒期間中の地温及び気温を調査した。また、地中加温消毒の病原菌、線虫類、雑草種子に対する効果を太陽熱消毒と比較した。

1999年の試験では、地中加温消毒区及び太陽熱消毒区とも、有機質としての稲わら1t/10a及び石灰窒素100kg/10aをうない込んでから、小畦をつくった。8月7日に温室密閉及びボイラー加熱を開始した。8月30日にボイラー加熱を終了し、31日に両区の温室を開放して被覆を除去した。2000年の試験では、両区とも、有機質及び石灰窒素の施用と小畦立ての作業を行わず、6月16日に温室密閉及びボイラー加熱を開始し、7月4日に終了した。

1999年及び2000年の試験では、埋設法で効果を判定した。埋設位置を、深さ10cm、20cm、40cmとした。1999年の試験では、トマト褐色根腐病菌、トマト根腐萎凋病菌、トマト青枯病菌及びサツマイモネコブセンチュウを材料とし、2000年の試験では、さらにトマト萎凋病菌、ネグサレセンチュウ及び雑草種子を追加した。

#### 試験2：土壤消毒後の病害虫発生

1999年の試験では、土壤消毒後にキュウリとトルコギキョウの2品目を植え付け、病害虫の発生を調査した。キュウリは、品種「シャープ1」の接木苗を購入し、11月4日に定植した。トルコギキョウは、8月6日と7日に播種し、9月9日から33日間12℃で冷蔵処理したセル苗を、10月14日から18日までの間に定植した。地中加温消毒区と太陽熱消毒区とも、冬季の温室内最低気温を15℃に設定した。さらに、地中加温消毒区は、冬季地温を20℃に維持する地中加温栽培とした。土壤消毒後（11月4日）及び作物栽培中（キュウリは12月22日、2000年3月6日及び4月9日、トルコギキョウは3月7日及び5月23日）の土壤中の線虫頭数と根こぶ指数を調査した。また、作物栽培期間中で病害虫の発生が認められたとき、被害程度を調査した。

#### 試験3：薬剤による土壤消毒との効果比較

地中加温消毒と慣行薬剤3種との消毒効果の比較を行った。薬剤として、臭化メチルくん蒸剤（成分量99.5%）、クロルピクリンくん蒸剤（成分量99.5%）、ダゾメット粉粒剤（成分量98.0%）を供試し、ガラス温室1棟を4つに分けて実施した（1区35㎡=7m×5m）。地中加温消毒区の加熱処理期間は、2000年8月17日から31日までの14日間とした。薬剤処理区は、8月15日にそれぞれの薬剤を処理した。臭化メチルは1区35㎡当たり1.5kg（42.9g/㎡）を18日までの3日間、クロルピクリンは1穴当たり3ml（30ml/㎡）を灌注し25日までの10日間、及びダゾメット剤は1区35㎡当たり1,050g（30g/㎡）を土壤混和し同じく10日間、農ビで被覆した。

深さ30cmに、トマト萎凋病菌、トマト青枯病菌、サツ

マイモネコブセンチュウ及び雑草種子を埋設して効果を判定した。

試験4：消毒に要する日数

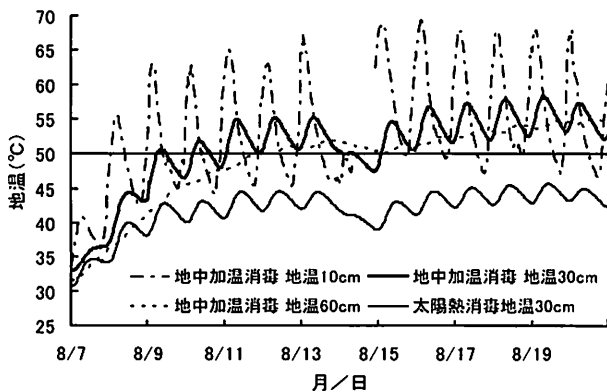
地中加温消毒の適切な土壤消毒期間を明らかにするため、試験3の地中加温消毒区において、深さ30cmの地温が50℃に到達した日から0、1、3、7、14日目に、あらかじめ(2000年8月15日)深さ30cmに埋設しておいたトマト萎凋病菌、トマト青枯病菌、ネコブセンチュウ及び雑草種子を掘り上げ、それぞれの検出数または検出率を調査した。

なお、深さ30cmの地温が50℃に達したのは、処理開始から7日目の8月23日18時30分であった。これに伴い、8月24日(0日区)、25日(1日区)、27日(3日区)、31日(7日区)、9月7日(14日区)に掘り上げ調査した。

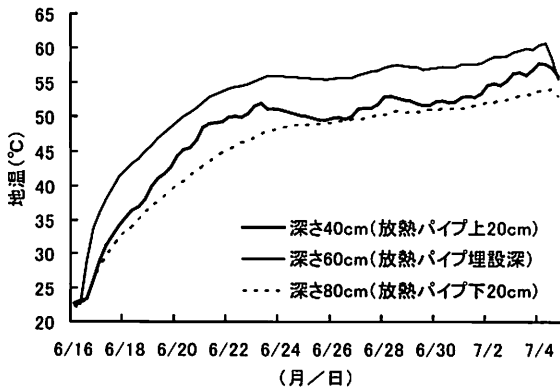
Ⅲ 結 果

試験1：地中加温消毒による地温変化と消毒効果

1999年における地中加温消毒期間中の深さ別地温の推移を第2図に示した。地中加温消毒区では、10～



第2図 地中加温消毒期間中における深さ別地温の推移(1999)



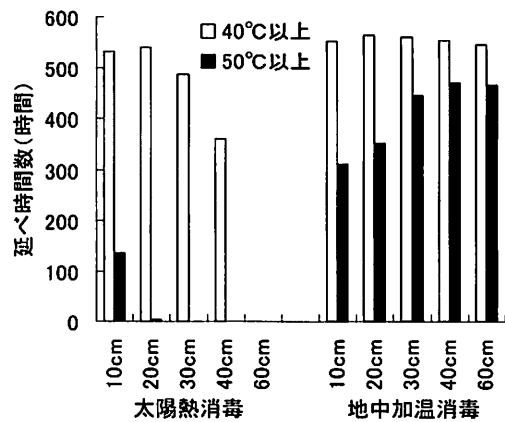
第3図 地中加温消毒期間中における放熱パイプ埋設深さ(60cm)及び上下20cmの地温の推移(2000)

60cmまでのいずれの深さでも消毒開始5日以内に地温が50℃を超えた。これに対し、太陽熱消毒区では、深さ30cmでも最高地温は、45.7℃であった。

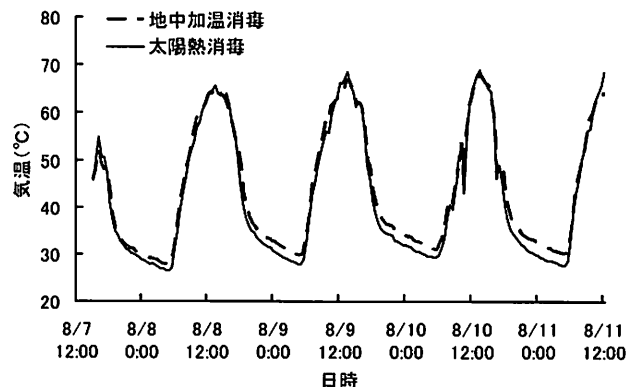
地温の日較差は、地表面に近いほど大きく、深層ほど小さくなったが、いずれの層も時間の経過とともに地温は徐々に上昇した。また、8月14日は雨天であったため、地温が低下した。

2000年における地中加温消毒期間中の深さ別地温の推移を第3図に示した。放熱パイプの設置位置(深さ60cm)と、その20cm上(深さ40cm)及び20cm下(深さ80cm)で地温の推移を測定した。いずれの位置においても、時間の経過とともに地温は上昇していったが、その上昇程度は、20cm上に比べ20cm下の方がやや遅くなった。

1999年における地中加温消毒期間中の地温40℃以上及び50℃以上の延べ時間数を、深さ別に算出して第4図に示した。太陽熱消毒区の場合、8月7日から31日までの25日間(600時間)のうち、40℃以上の時間数は、深さ10cm及び20cmでは500時間以上であったが、これよりも深くなるほど時間数は短くなり、深さ60cmでは0時間であった。50℃以上の時間数は、深さ10cmで137時間、20cmで4時間であり、深さ30cm以下では0時間で



第4図 土壤消毒法の違いが深さ別地温の延べ時間数に及ぼす影響(1999)  
注) 地温の積算は8月7日から31日まで25日(600時間)



第5図 土壤消毒法の違いがハウス内気温に及ぼす影響(1999)  
注) 消毒の処理は8月7日から31日まで実施した

あった。これに対し、地中加温消毒区ではいずれの深さでも、40℃以上の時間数は550時間前後であった。また、50℃以上の時間数は310~470時間であり、深さ40cmから浅くなるほど時間数は短くなる傾向が認められた。

1999年の試験における、高さ1.2mにおける温室内気温の推移を第5図に示した。日中の気温の推移は、地中加温消毒区と太陽熱消毒区で差が認められなかった。最高気温は両区とも60℃を超えた。

一方、夜間の場合、地中加温消毒区の気温が太陽熱消毒区よりも高い傾向があり、地中加温消毒区の最低平均気温が30.4℃と、太陽熱消毒区より3.1℃、外気温より5.9℃高かった。

ポイラー停止翌日(1999年8月31日)の、地中加温消毒区の深さ別地温水平分布を第6図に示した。東西方向の地温分布は、深さ20cm及び50cmのどちらも壁面から0.3mでは約40℃で、温室内側ほど地温は高くなり、2.1mより内側では50℃前後でほぼ安定した地温となった。壁面に最も近い放熱パイプは壁面から0.9mの位置

に設置されているが、この直上の地温が47~48℃であり、温室中心部分の地温より4~7℃低かった。また、温室の南北方向、すなわち北の妻面から南の妻面方向でも調査を行ったが、同様の結果が得られた(データ省略)。

1999年に実施した、埋設法による試験結果を第1表に示した。太陽熱消毒区(中央部)では、白絹病菌は検出されず、サツマイモネコブセンチュウ頭数も極めて低かった。しかし、トマト青枯病菌は全ての深さで、トマト褐色根腐病菌とトマト根腐萎凋病菌は深さ20cm及び40cmで多数検出された。

これに対し、地中加温消毒区の中央部では、埋設したいずれの土壌病原菌も、深さ10cm、20cm及び40cmの全ての深さで検出されなかった。サツマイモネコブセンチュウ頭数も1頭/20g未満で極めて少なかった。しかし、温室壁面近く及び隅近くの深さ20~40cmでは、トマト根腐萎凋病菌及びトマト青枯病菌の検出率、検出数が高かった。

2000年に実施した埋設法による試験結果を第2表に

第1表 土壌消毒法の違いによる位置別深さ別埋設病原菌等の生存状況(1999)

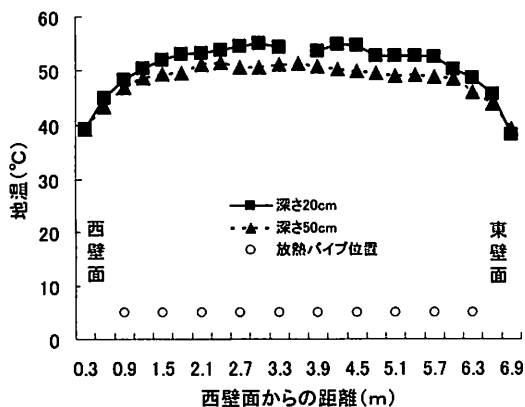
試験区	埋設位置	深さ (cm)	トマト褐色根	トマト根腐萎	白絹病菌	トマト青枯病	サツマイモネコ
			腐病菌 y (%)	凋病菌 y (%)	白絹病菌 y (%)	菌 x (cfu/g)	ブセンチュウ w (頭/20g)
地中加温 消毒 z	中央部	10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3
		20	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		40	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	壁面近く	10	0.0	0.0	—	0.0	0.0
		20	0.0	41.4	—	多	1.0
		40	0.0	0.0	—	0.0	0.0
	隅近く	10	0.0	0.0	—	0.0	0.7
		20	0.0	0.0	—	多	0.0
		40	0.0	4.6	—	多	0.3
太陽熱消 毒 z	中央部	10	0.0	0.0	0.0	117.5	0.0
		20	60.7	1.6	0.0	多	0.0
		40	75.3	27.1	0.0	140.8	0.2

注) z 土壌消毒期間は8月7日~30日とした。

y 検出率(%)

x 1g当たりのコロニー数。多はコロニーが多く、融合してカウントできなかった。

w 生存頭数。初期密度は709.0頭/20g。



第6図 ハウス横断(東西)方向の深さ別地温水平分布(1999.8.31)

注) 地中加温消毒は8月7日から31日まで。放熱パイプの埋設深さは60cmとした。

第2表 土壌消毒法の違いが深さ別に埋設した病原菌等の生存に及ぼす影響(2000.6)

試験区	埋設深さ (cm)	トマト萎凋	ネグサレセ	雑草
		病菌 y (%)	ンチュウ x (頭/20g)	(本/200g)
埋設した汚染土			25.3	24.0
地中加温消毒 z	10	0.0	0.0	0.0
	20	0.0	0.3	0.0
太陽熱消毒 z	10	4.3	0.0	24.0
	20	78.3	4.0	15.0
	40	100.0	15.3	25.0

注) z 土壌消毒期間は6月16日~7月4日とした。

y 検出率

x 検出頭数

w 出芽本数。草種はカタバミ、ノボロギク、メヒシバ。

示した。処理時期が6月16日から7月4日の梅雨期で条件が悪く、期間が18日間と短かった。このため、太陽熱消毒区は、トマト萎凋病菌及びネグサレセンチュウが検出され、深層ほど検出率、検出頭数が高くなった。これに対し、地中加温消毒区では、トマト萎凋病菌の検出率は、いずれの深さも0%であり、ネグサレセンチュウの検出頭数も0または1頭/20g未満と極めて低かった。

無処理の雑草種子汚染土壌200gからは、カタバミ科のカタバミ、イネ科のメヒシバ及びキク科のノボロギクなど合計24本の出芽が確認された。太陽熱消毒区では、埋設した全ての深さでこれに近い本数の雑草の出芽が確認された。これに対し、地中加温消毒区では、いずれからも出芽が確認されなかった。

試験2：土壤消毒後の病害虫発生

土壤消毒後(1999年11月4日)、キュウリ収穫始め(12月22日)及び収穫末期(2000年3月6日)において、土壤中のネコブセンチュウは、地中加温消毒区及び太陽熱消毒区とも検出されなかった。これに対し、キュウリ収穫終了時には、調査位置によってネコブセンチュウと根こぶ被害が検出された(第7図)。ネコブセンチュウ頭数及び根こぶ指数が0であった場所は、地中加温消毒区の畝の中央部分だけであった。ネコブセンチュウ頭数は、地中加温消毒区で少なく、太陽熱消毒区で多かった。同処理区内では北端ほど多かった。根こぶ指数もネコブセンチュウ頭数と同様の傾向が認められた。

その他の病害虫の発生としては、キュウリ作付け中には、両区ともうどんこ病とアブラムシの発生が認められたが、それ以外の病害虫、特に土壤病害虫の発生は認められず、土壤消毒法による発生の差異は認められなかった。

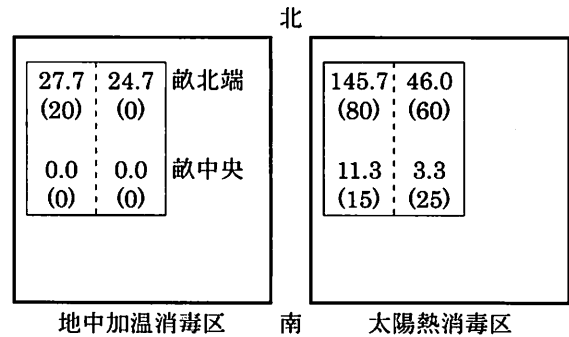
トルコギキョウ採花期(2000年3月7日)における、根こぶの有無及びネコブセンチュウの頭数を第3表に示した。太陽熱消毒区でのみ、根こぶの付着が確認され、土壤中のネコブセンチュウが0.7頭/20g検出された。この時点では、地中加温消毒区では、どちらも検出されなかった。採花末期(5月23日)のネコブセンチュウの頭数及び根こぶ程度を第8図に示した。地中加温消毒区では、ネコブセンチュウの検出頭数は1.7頭/20g以下とわずかであり、根こぶの付着は認められなかった。これに対し、太陽熱消毒区では、ネコブセンチュウが場所によっては100頭/20g以上検出され、根こぶ指数も高かった。ネコブセンチュウの検出数は、端畝ほどかつ北端ほど多かった。

トルコギキョウ栽培中に、両区ともヨトウムシ類とアザミウマ類、灰色かび病の発生が認められた(データ省略)。

第3表 消毒法の違いによるトルコギキョウ採花期における根こぶの有無と土壤中のネコブセンチュウ頭数(2000.3.7)

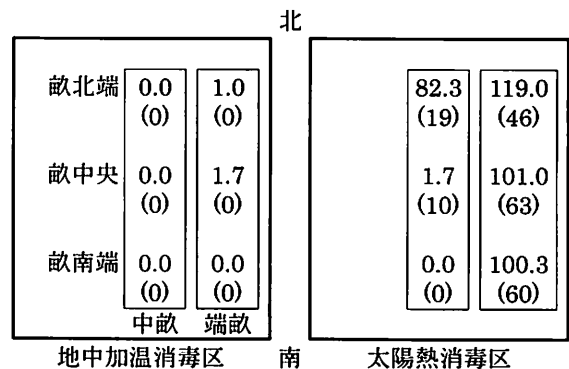
土壤消毒	根こぶの有無	ネコブセンチュウ頭数 z (頭/土壌20g)
地中加温消毒	無	0.0
太陽熱消毒	有	0.7

注) z 調査土壌はそれぞれの処理区の内、端の畝の数地点の、深さ10~20cmから採取した。



第7図 土壤消毒法及び調査位置の違いによるキュウリ収穫終了時の土壤中のネコブセンチュウ頭数と根こぶ指数(2000.4.9)

注) 上段の数字は線虫頭数(g/土壌20g)、下段かつこ内の数字は根こぶ指数。根こぶ指数は0~100、数値が大きいほど甚だしい。キュウリは畝の中心(破線部分)に植え付けた。



第8図 土壤消毒法及び調査位置の違いによるトルコギキョウ採花終了時の土壤中のネコブセンチュウ頭数と根こぶ指数(2000.5.23)

注) 上段の数字は線虫頭数 (g/土壌20g)、下段かつこ内の数字は根こぶ指数。根こぶ指数は0~100、数値が大きいほど甚だしい。

試験3：薬剤による土壤消毒との効果比較

深さ30cmに埋設した病原菌、線虫及び雑草種子に対する地中加温消毒の効果を薬剤消毒と比較した(第4表)。トマト萎凋病菌、サツマイモネコブセンチュウ及び雑草種子は、地中加温消毒、臭化メチル及びクロロピクリンの各処理区で検出されなかった。これらの消毒効果はほぼ同等であり、ダゾメットの効果はこれよりも劣った。トマト青枯病菌の場合、全ての薬剤消毒区で検出されたが地中加温消毒区で

第4表 地中加温消毒及び各種薬剤による土壌消毒が埋設した病原菌等の生存に及ぼす影響(2000)

試験区	土壌消毒		埋設物 掘上げ (月/日)	トマト萎凋 病菌 z (%)	トマト青枯 病菌 y (cfu/g)	サツマイモネコ ブセンチュウ x (頭/±20g)	雑草 w (本/±200g)
	開始日 (月/日)	終了日 (月/日)					
地中加温消毒	8/17	8/31	8/31	0	0	0.0	0
臭化メチル	8/15	8/18	8/28	0	2.5×10 <sup>3</sup>	0.0	0
クロロピクリン	8/15	8/25	8/28	0	2.7×10	0.0	0
ダゾメット	8/15	8/25	8/28	50	1.9×10 <sup>3</sup>	2.3	7
(埋設前)	—	—	—	100	7.9×10 <sup>3</sup>	100.2	54.3

注) z 検出率  
y 1gあたりのコロニー数  
x 生存頭数  
w 雑草出芽数

第5表 地中加温消毒時50℃到達後の日数が埋設した病原菌等の生存に及ぼす影響(2000.8)

試験区	トマト萎凋 病菌 y (%)	トマト青枯 病菌 x (cfu/g)	サツマイモネコ ブセンチュウ w (頭/±20g)	全線虫 w (頭/±20g)	雑草(本/±200g) v			
					合計	イネ科	キク科	カタバミ科
地中加 温消毒 0日	0	3	0.0	3.0	3	3	0	0
z 1日	0	0	0.3	0.7	4	4	0	0
z 3日	0	0	0.0	0.0	1	0	0	1
z 7日	0	0	0.0	0.0	0	0	0	0
z 14日	0	0	0.0	0.3	0	0	0	0
(埋設前)	100	7.9×10 <sup>3</sup>	100.2	284.8	54.3	3.6	8.4	42.3

注) z 地中加温消毒は8月17日処理開始し、深さ30cmの地温が50℃になった時点(8月23日18時30分)から0~14日後に埋設菌株等を掘り上げ調査した。

y 検出率  
x 1gあたりのコロニー数  
w 生存頭数  
v 雑草出芽数

は検出されず、地中加温消毒の高い効果が認められた。

#### 試験4：消毒に要する日数

地中加温消毒で地温50℃を目安として消毒を行った場合の、消毒日数別土壌消毒効果を、第5表に示した。

トマト萎凋病菌の検出率は、50℃に達した日(0日区)には既に0%であった。トマト青枯病菌は、0日区でわずかに検出されたが、1日区で検出されなかった。

土壌20gから検出されたネコブセンチュウ頭数は、埋設前が100.2頭であったのに対し、地中加温消毒1日区が0.3頭、2日区及びそれ以降の区で0頭になった。ネコブセンチュウを含めた全線虫頭数でも、0日区から著しい低下が認められた。

雑草出芽本数は、3日区まで認められたが、7日区で0本になった。なお、判別できた雑草の草種は、イネ科のメヒシバ、キク科のノボロギク、カタバミ科のカタバミであった。このうち、カタバミの出芽数が多かった。

## IV 考 察

田中ら(2000)は、ネコブセンチュウと青枯病菌に対して地中加温消毒の効果が高いことを明かにした。本試験では、トマト褐色根腐病菌、トマト根腐萎凋病菌、白絹病菌、トマト萎凋病菌及びネグサレセンチュウに対する消毒効果を新たに確認した。さらに、カタバミ、メヒシバ及びノボロギクに対する殺草効果も明らかにした。

地中加温消毒では、太陽熱消毒で効果の劣る深さ20~40cmであっても、深さ10cmの表層と同様に消毒効果が高いことが明かになった。また、その消毒効果が、温室中央と周辺部で異なることは、地温の分布と一致していた。すなわち、地中加温消毒により十分地温上昇する部分では消毒効果が高いが、地温上昇の不十分な温室周辺部においては、地中加温消毒による消毒効果が劣り、土壌病害及び線虫類が生き残る可能性があった。

従来の土壌消毒法は、地表面から熱(熱水、蒸気)や薬剤を浸透させるもの、または表層から20cmまでに薬剤や有機質資材を処理するものがほとんどであった。これらの消毒法では、表層近くの土壌ほど消毒効果は高く、深層になるほど薬剤や熱などが拡散により減少し、消毒効果が低下していく。本試験において、太陽熱消毒の場合深さ10cmの地温は50℃以上になったが、深さ30~40cmの地温は40~45℃であった。このため消毒効果は、深さ10cmでは高いが、深さ20cm、40cmでは低下した。一方、熱水土壌消毒に関して、竹内ら(1993)は深さ5cmで地温70~80℃となるが、深さ20cmで地温50~60℃、深さ40cmでは最高地温で35~45℃であり、深さ40cmの青枯病菌に対しては消毒効果が望めなかったと報告している。これに対し、地中加温消毒は、深さ30cmにおいて薬剤と同等かそれ以上の高い消毒効果が認められた。さらに、深さ40cm及び60cmでも50℃以上の地温が得られ、40℃及び50℃の延べ時間数が深さ30cmと同程度であった。今回の試験では、埋設法により深さ40cmまでの消毒効果を確

認したが、地中加温消毒では深さ60cm程度まで高い消毒効果が得られ、従来の消毒法では困難な深層における土壤病虫害防除が容易となることが示唆された。

トマト青枯病菌の死滅時間数は、茎根内での熱処理で、50℃ 3時間と報告されている(竹内・福田, 1993)。また、土壤中のサツマイモネコブセンチュウが検出されなくなるのは、50℃ 1時間以上(皆川ら, 1999)または30分(竹内・福田, 1993)であったとの報告がある。地中加温消毒では、深さ30cmの地温が50℃に達した日もしくはその翌日で、トマト青枯病菌及びサツマイモネコブセンチュウが検出されなくなっており、先の報告と一致していた。

野菜及び花きの施設栽培での難防除病虫害の一つは、線虫類である。毎年土壤消毒しても、圃場内の特定の地点では線虫の被害が発生しているのに対し、隣接地点であっても発生が見られないことが認められている。本試験でも、地中加温消毒によりネコブセンチュウの検出数は0頭になった。しかし、試験によっては、わずかとはいえ消毒後も検出されたり、作付け時には3月まで検出数0であったものが、4月には検出され、根こぶの被害が見られるなど、線虫類の消毒に関しては、まだまだ不明の点が残された。また、線虫類では埋設試験だけでなく、作付け時の圃場中での被害と頭数の調査を行ったのに対し、病害に関しては、本報告では埋設法による判定のみである。従って、防除効果に正確を期するのであれば、いずれ病害に対しても圃場試験を行って防除効果を確認する必要がある。

桑田ら(2000)は、雑草種子の熱による発生抑制には、40℃ または50℃ の高温による、休眠覚醒及び発芽阻害の両方が関係しており、50℃ 以上の日数が10日または50℃ 30時間以上が雑草の発生抑制の目安であったと報告している。地中加温消毒では、消毒開始から地温50℃ 到達日までの処理期間で雑草出芽数がかなり減少し、到達日から7日後に出芽数は0となった。桑田ら(2000)の報告では、表層近くの日較差の大きい地温で50℃ 10日としているが、本報告では日較差の小さい深さ30cmの地温で検討したため、50℃ 7日で高い効果が得られると考えられた。

深層地中加温システムは、放熱パイプを60cmという深層に埋設したことで、放熱パイプ設置後でも、トラクターによる耕耘などの機械作業をこれまでと同様に行うことができるようになった。本報告では、放熱パイプの埋設深を60cmとしたが、実際の設置に当たっては60cmにこだわる必要はないと考えられた。日常の機械作業を考慮すると、深耕作業を行わない通常の耕耘(トラクターまたは耕耘機の使用)のみであれば、耕耘深度は15~20cmまでとなるので、放熱パイプは30~40cmの深さでも問題がないと思われた。放熱パイプの上と下では、上の方が地温上昇したことから、表層から30~40cmまで

の土壤消毒を重点的に行うのであれば、直下となる40cmの深さに放熱パイプを設置するのが効率的である。また、地中加温消毒及び太陽熱消毒のどちらも、8月に温室を密閉する処理は、最高気温が60℃を超えることから、塩ビパイプや各種精密機器など耐熱性の弱い資材・機器類への悪影響が懸念された。

地中加温消毒区で地温が50℃ に到達した時間は深さ10cmが最も早かったが、地温50℃ 以上の延べ時間数は深さ10cmよりも60cmの方が長かった。これは、空中に接していて、太陽熱の影響を受けやすく、熱収支が激しく変動する地表付近の地温と、周辺全てが土壤で覆われていて、熱収支の変動が小さい深層の地温の差によるものと考えられる。従って、地中加温消毒の効果を維持しながら低コストかを図るためには、太陽熱を効率的に取り入れるとともに、地表面からの放熱を抑えることが重要であると考えられた。これらの観点から、効果の安定化及び低コスト化を図っていくことが今後の課題である。

## V 摘 要

深層地中加温システムを用いた土壤消毒効果を検討した。

1. 地中加温消毒により、地表面から深さ60cmまで50℃以上の地温が確保でき、その熱によって土壤病原菌、線虫類、雑草に対して消毒効果があった。
2. 土壤消毒後にキュウリとトルコギキョウを作付けたところ、対照の太陽熱消毒より、根こぶの付着及びネコブセンチュウ頭数は少なかった。
3. 温室内の周辺部は、地温上昇が劣ったため、温室中心部分ほどの消毒効果が得られなかった。
4. 土壤病虫害及び雑草種子に対する消毒効果は太陽熱消毒法に優り、各種薬剤による土壤消毒と同等かそれ以上であった。
5. 消毒に要する期間は、地温50℃ 到達を処理の目安として、到達日+0日から+1日で十分であるが、雑草に対しては、+7日以上処理により高い効果が得られた。

## VI 引用文献

- 福井俊男・小玉孝司・中西喜徳(1981). 太陽熱とハウス密閉処理による土壤消毒法について IV. 露地型被覆処理による土壤伝染性病害虫に対する適用拡大. 奈良農試研報. 12:109-119.
- 板木利隆・金目武男(1968). 温湯利用によるビニルハウスの地中加温に関する試験. 神奈川園研報. 16:57-64.
- 小玉孝司・福井俊男(1979a). 太陽熱とハウス密閉処理による土壤消毒法について I. 土壤伝染性病原菌の死滅条件の設定とハウス密閉処理による土壤温度の

- 変化. 奈良農試研報. 10:71-82.
- 小玉孝司・福井俊男・中西喜徳 (1979b). 太陽熱とハウス密閉処理による土壤消毒法について II. イチゴ萎黄病ほか土壤伝染性病害に対する土壤消毒効果と効果判定基準の設定. 奈良農試研報. 10:83-92.
- 小玉孝司・福井俊男・松本恭昌 (1980). 太陽熱とハウス密閉処理による土壤消毒法について III. ハウス密閉処理が土壤微生物数およびイチゴ萎黄病の行動に及ぼす影響. 奈良農試研報. 11:41-52.
- 國安克人・竹内昭士郎 (1986). 熱水注入による土壤消毒のトマト萎ちょう病に対する防除効果. 野菜試報告A. 14:141-148.
- 桑田主税・成川昇・粕谷洋一 (2000). 太陽熱を利用した畑雑草の防除. 千葉農試研報. 41:35-44.
- 皆川望・片山勝之・三浦憲蔵 (1999). 太陽熱処理を想定した土壤の加温処理による線虫密度低減効果. 日本線虫学会誌. 29 (1) :48.
- 長井雄次・深津量栄 (1970). スイカのCGMMVに対する臭化メチルおよび蒸気による土壤消毒の効果. 関東病虫研報17:53-54
- 新村昭憲・坂本宣崇・阿部秀夫 (1999). 還元消毒法によるネギ根腐れ萎ちょう病の防除. 日植病報. 65 (3) :352-353
- 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.
- 田中哲司・市川耕治・松崎聖史・酒井広蔵 (2000). 深層地中加温と太陽熱の併用処理が地温, ネコブセンチュウ及び青枯病菌に及ぼす影響. 愛知農総試研報 32:105-110.

## Soil Sterilization through Subsoil Heating System with Solar Heat Sterilization I Soil Temperature and Disinfection in Soil Sterilization.

Yasuhiro NAKAMURA, Masahiko KATASE and Chikako KUBO

key word: subsoil heating, solar heat sterilization, soil sterilization, no agrochemical

### Summary

The disinfection and effective directions of a subsoil heating system (SHS) were examined in order to implement soil sterilization through a subsoil heating system with initial solar-heating sterilization.

1. SHS produced a soil temperature of 50°C or more from the earth surface to a depth of 60cm; soil fungi, bacteria, nematodes, and weeds were disinfected by the heat.
2. SHS left fewer root-knots and nematodes after cucumber and prairie gentian cultivation than did solar-heat sterilization.
3. Soil temperatures in circumferential areas of the greenhouse did not rise as much, so the soil disinfection was not as great as in the central part.
4. The disinfection of soil fungi, bacteria, nematodes, and weeds by SHS surpassed the effects of solar-heat disinfection, and was equivalent to or surpassed soil disinfection by various agrichemicals.
5. Disinfection until the soil temperature reaches 50°C or +1 day is adequate. The optimum effect on weeds was obtained when the treatment was continued for seven days or more after the soil temperature reached 50°C.