

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

密閉処理による土壌温度の変化

小 玉 孝 司・福 井 俊 男

Solar Heating Sterilization in the Closed Vinyl House Against Soil-Borne Diseases.

I. The movements of soil temperature and determination of thermal lethal conditions for some soil-borne pathogens.

Takashi KODAMA and Toshio FUKUI

緒 言

施設栽培は規模拡大、省力化を図るなかで重設備化、固定化がすすみ、収益性の高い作物が集中的に栽培されるため、連作による土壌条件の劣悪化や土壌伝染性病原菌に起因する障害も増加の一途をたどっている。

県下のイチゴ栽培においても生産力の低下が随所に見られ、その一因としてイチゴ萎黄病など土壌伝染性病害（以下土壌病害と略）の関与している事例も多い。これらの回避策として薬剤による土壌消毒の有効なことを明らかにした¹⁰⁾。しかしながら、広範な本場の土壌消毒には労力と経費の点で、さらには人畜に対する毒性の点で問題が残されている。

土壌消毒は土壌中の微生物を中心とした生態系の破壊を最少限にすることが重要な課題であり、Bakerら^{1, 2, 3, 21)}は水蒸気に乾燥した空気を混合した aerated-steam treatment が病原菌を選択的に殺菌し、拮抗微生物を残存させることを報告している。手法は異なるが志賀ら²²⁾、宮川ら¹⁶⁾は夏季に温室の保温性を利用した比較的低温による土壌消毒の可能性を示唆した。Katanら⁴⁾はイスラエルの熱帯性の気候を利用して、地表面のポリエチレンフィルムの被覆によるトマト萎ちよう病などの防除を報じた。

筆者らは1974年より夏季のハウス内（温室、以下ハウスと総称）の高温条件に注目し、栽培休閑期のハウスを密閉し、太陽熱を有効に利用した土壌消毒法の実

用化試験を行ってきた。本報告では土壌伝染性病原菌の死滅に関与する温度、湛水などの影響を明らかにし、菌の死滅に要する温度および処理期間を見出す実験を行い、次いで実際の栽培ハウスを用いて、ハウス密閉処理の方法とハウス内の土壌温度の年次変動を調べ、土壌病害を有効に防ぎうる結果を得たので、ここに報告する。

実験材料および方法

供試病原菌（体） イチゴ萎黄病菌 (*Fusarium oxysporum* f. sp. *fragariae* 当場保存 No. S-11)、イチゴ芽枯病菌 (*Rhizoctonia solani* 当場保存 No. SR-3)、トマト白絹病菌 (*Corticium rolfsii* 当場保存 No. CR-2) を供試した。このほかイチゴ萎黄病は自然病土とは場から採集した病株を、ナス半身萎ちよう病 (*Verticillium albo-atrum*)、タバコモザイクウイルス (TMV) は、ほ場から採集したり病主茎を供試した。

恒温処理の方法 温度設定は恒温水槽（田葉井製 T S-11）を用い、所定時間の恒温処理を行った。イチゴ萎黄病菌の液体培養菌はツアベック液 25℃、3日間振とう培養したものを接種源とし、ツアベック・ドッグ液を 10ml 分注した試験管（18×180mm）に 1 ml 接種した。病土、り病株は室内で風乾したものをビーカー（300ml 容）にり病株が埋没するように充填し、上部をアルミホイルで覆った。湛水、有機物の添加処理は、ほ場の病土を 2 mm 篩にかけ、磁器製ポット（径 12cm ×

高さ15cm)に充填し、水深 2~3 cmの湛水状態に保った。有機物、石灰窒素の添加は可溶性でんぷんと肥料用石灰窒素を用い、それぞれ重量比で2.5、5.0%と0.5%になるよう病土に均一に混和した。

イチゴ芽枯病菌、トマト白絹病菌はジャガイモ煎汁寒天培地(PDA)に25℃、14日間培養した菌糸と菌核を用い、試験管のツアベック・ドッグ液中で恒温処理を行った。

病原菌(体)の検出と定量 イチゴ萎黄病の病土およびり病株からの菌の検出は *Fusarium oxysporum* 選択分離培地(駒田、1976)を用い希釈平板法と根冠部からの常法による組織分離を行った。恒温処理実験では処理した試験管(ツアベック・ドッグ液)を急冷し、27℃、7日間の培養のち、菌そうの伸長の有無により生死を判定した。

土壌中に埋没したイチゴ萎黄病、ナス半身萎ちよう病のり病茎、トマト白絹病菌(菌核)は水洗したのちローズベンガル・ストマイ加用PDA培地に組織片および菌核を置床し、25℃、7日間培養により菌の検出を行った。

TMVは常法により *Nicotiana glutinosa* に汁液接種して、その活性を調べた。

土壌の酸化還元電位の測定 測定器(竹村製 DM-38型)を用い、定期的に各ポットの3か所で測定し、 E_h の補正值を求めた。

病原菌(体)のハウス内土壌中への埋没実験 イチゴ萎黄病菌は前年秋にり病株を採集し、ビニール袋につめ室内保存した根冠部を供試した。ナス半身萎ちよう病、トマトTMVのり病茎は風乾したのち、約10cmに切断して用いた。トマト白絹病菌は上記の方法で形成させた菌核を20個ずつ口紙(No. 2、径9cm)に包み、他の資料と同時にゴース布袋につめ供試した。検定資料は土壌の深さ別に1977年7月17日に埋没し、18日からハウス密閉処理を開始した。その後、定期的に掘り上げ病原菌(体)の検出に供した。なお、埋没の位置はハウスの中央部とし、有機物資材、石灰窒素の施用は行わなかった。

ハウス密閉処理の方法 供試ビニールハウスは鉄骨ハウス(間口10m、奥行40m、2連棟)で、標準処理区は10a当り稲わら2t、石灰窒素100Kg(1977、1978)、150Kg(1975、1976)を耕土全層に混和し、小畦(80~90cm)をつくり、ビニールまたはポリエチレンフィルムで地表面を覆った。畦間には十分に湛水し、一時湛水状態とし、落水により減水しながらハウスを昼夜間密

閉状態で保った。なお、1975年は畦間湛水とし、1976年からは一時湛水とし、3日後に落水して畦間に水溜りが残る程度に水管理を行った。

標準無処理区は同一ハウス内に発泡スチロール板の仕切り板を土中80cmまで埋めて周辺部からの影響を減じ、地表面は発泡スチロール板を敷きつめて直射光線を遮断した。なお、有機物資材、石灰窒素は無施用とし、外張りビニールおよび湛水は同一条件とした。

ハウスの密閉期間は1975年7月14日~8月14日、1976年7月21日~8月23日、1977年7月18日~8月7日、1978年7月15日~8月7日までとし、終了後は被覆ビニールを取り除いた。

土壌温度、水平日射量などの測定法 土壌温度の測定はハウス中央部の標準処理区で行ない、畦の最上部から深さ別に感温部(白金抵抗測温体)を埋没し、隔測温度計(千野EH-100)で調べた。ハウス内の位置別の土壌温度の測定は1975年に南北棟ハウスの中央部とハウス両サイド畦の北西端と南東端および中央の東側の4か所とした。

野外の測定は農試内の気象観測露場において隔測温度計(白金抵抗測温体)で調べ、水平日射量はゴルチンスキー型農試農電型日射計を用いて期間中測定した。

実 験 結 果

1. イチゴ萎黄病菌などの死滅に要する処理方法と期間 1-1 イチゴ萎黄病菌などの生存形態別の処理温度と期間

植物病原菌(体)の死滅温度は、通常、10分間など短時間で死滅するもっとも低い温度で示されているが、比較的低温度域すなわち致死温度に近い温度域での長時間処理について恒温条件下で調べた。

その結果は第1表に示すように、イチゴ萎黄病菌は45℃では24時間以内の処理で死滅し、り病株は3日、病土では6日間で検出されなくなった。40℃処理の病土では20日後にも生存を確認した。また、45℃以上の高温では、より短期間に死滅した。供試資料中の菌の生存形態は検鏡の結果から液体培養菌は分生孢子(大型、小型)、菌糸、り病株の根冠部では菌糸、小型分生孢子および厚膜孢子が観察され、病土からは厚膜孢子が確認された。

イチゴ芽枯病菌、トマト白絹病菌の菌核、菌糸は40℃で4~5日、45℃では12時間以内の被熱時間で死滅し、イチゴ萎黄病菌に比べ低温度域の短期間処理で死

第1表 イチゴ萎黄病、イチゴ芽枯病菌、トマト白絹病菌の死滅に要する
処理温度と期間との関係

供試病原菌	設定 温度	処 理 期 間 と 病 原 菌 の 検 出											
		15	30分	1	3	6	12時	1	2	3	4	5	6日
<i>Fusarium oxysporum</i> <i>f.sp. fragariae</i>	45	a) 1	b) ○	○	○	○	○	●	○	○	○	○	○
		2	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		3	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	50	1	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		2	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		3	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	55	1	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		2	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		3	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	60	1	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		2	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		3	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
<i>Rhizoctonia solani</i>	40	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	45	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	50	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	55	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
<i>Corticium rolfsii</i>	40	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	45	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	50	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	55	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

a) 1：液体培養菌、2：病株根冠部、3：自然病土

b) ●：死滅または検出されない ○：生存

滅するようであった。

これらの結果は大半の植物病原菌が45℃前後の土壌温度が持続すれば熱処理のみで土壌消毒が可能であることを示している。

1-2 湛水、有機物資材などの添加とイチゴ萎黄病菌数の経時的な変化

前実験では滅菌水中および風乾土など比較的に微生物活動の影響の少ない条件下での結果であるが、湛水、未熟有機物の添加などは場条件に類似した環境下での熱処理の影響をみた。

その結果は第2表に示すように、30～45℃の恒温、湛水条件とし、でんぷん添加量を変え、滅水分を常時補水し地表面の露出することないように注意した。イチゴ萎黄病菌数は45℃で2日後には激減し、4日後

にはでんぷん無添加に生存を認めるのに対し、添加区は全く検出されなかった。また、40℃前後の低温度域においても湛水、でんぷん添加が菌の死滅に有効に作用し、8～14日後には検出されなくなった。

実験期間中の酸化還元電位(Eh)は第1図に示すように、実験開始時から急激に低下し、時間の経過とともに徐々に低下する傾向を認めた。Eh₆の値は高温、でんぷん添加区が低い値を示した。

湛水条件を同一にし、温度、でんぷんおよび石灰窒素の添加とイチゴ萎黄病菌数との関係を調べた結果、標準処理(湛水)に比べ温度(p=0.01)、でんぷん(p=0.05)に有意な差を認め、石灰窒素の添加は菌数の減少傾向を認めるが有意な差はなく、土壌の酸化還元電位を低下さすようであった。

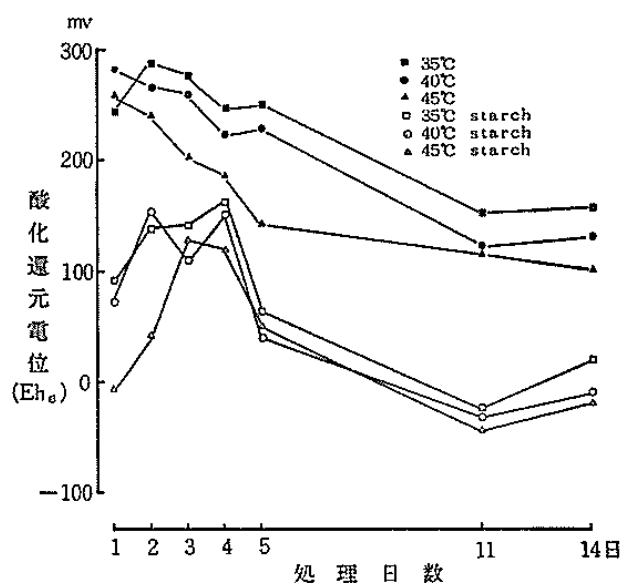
第2表 各温度条件下でのでんぷん添加と
フザリウム菌数の推移

土壌温度 ℃	でんぷん W/W%	<i>Fusarium oxysporum</i> 菌数 $\times 10^3$ /g 乾土	×10 ³ /g 乾土			
		2	4	8	14日 ^{b)}	
30	0	46.8	71.9	47.5	57.5	
	2.5	52.4	64.1	7.8	12.5	
	5.0	70.2	33.4	7.8	2.0	
35	0	41.6	48.1	14.3	17.6	
	2.5	40.3	39.4	1.5	0.0	
	5.0	46.8	44.2	0.1	0.0	
40	0	50.3	16.0	3.9	0.0	
	2.5	24.1	1.7	0.0	0.0	
	5.0	13.5	1.5	0.0	0.0	
45	0	4.8	1.3	0.0	0.0	
	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	
	5.0	0.4	0.0	0.0	0.0	
a) 標準無処理		53.3	56.3	43.5	63.0	
L. S. D. 0.05		23.6	18.3			
0.01		23.8	26.2			

a) 標準無処理土は20℃保存

b) 処理日数

c) 処理区は灌水条件とした

第1図 処理温度とでんぷん添加量の相異による
酸化還元電位の推移

これらの結果は前に設定したイチゴ萎黄病菌などの死滅に要する温度と期間の45℃、6日間よりも低温度域であり、灌水、有機物資材など要因の組み合わせにより土壌消毒に要する到達目標の土壌温度は40℃前後と設定することができた。

第3表 ハウス土壌中に埋没した病原菌(体)の 処理日数と検出率との関係

供試病原菌 (体)	埋没深度 (cm)	病原菌 (体) の 検 出 率 (%)				
		処理 日数	処 理 区			無 処 理 区 9 日
			3	6	9	
<i>Corticium</i> <i>rolfsii</i> (菌核)	5	0	0	0	100	
	10	0	0	0	100	
	15	0	0	0	95	
<i>Verticillium</i> <i>albo-atrum</i> (ナスリ病株)	5	0	0	0	100	
	10	50	0	0	100	
	15	45	0	0	100	
<i>Fusarium</i> <i>oxysporum</i> f.sp.- <i>fragariae</i> (イチゴリ病株)	5	0	0	0	100	
	10	20	0	0	100	
	15	100	0	0	100	
<i>TMV</i> (トマトリ病茎)	5	100	100	100	100	
	10	100	100	100	100	
	15	100	100	100	100	

1-3 ハウス内土壌に埋没した病原菌（体）の検出

実際の密閉ハウス内の土壌温度は恒温で持続することではなく、常に変温条件である。これらの条件下でのり病植物残渣中の病原菌（体）の生存に与える影響を調べた。

この試験では同一ハウス内に標準無処理区を設け、処理区と対比しながら検出率の推移をみた。なお、標準無処理区の土壌温度は地表下5cmで期間中の最高地温は35.8℃であった。

その結果は第3表に示すように、トマト白絹病菌の菌核は処理3日後には地表下15cm層まで検出されず、埋没日数とともに崩壊が進んだ。標準無処理区は地表下5、10cm層では菌糸の伸長と菌核の再形成を認め、地表下15cm層では一部菌核の崩壊が観察された。

ナス半身萎ちょう病、イチゴ萎黄病のり病株は3日間処理で地表下5cm層まで、6日間処理で地表下15cm層まで検出されなかった。イチゴ萎黄病のり病株は前年秋に採集したもので、根冠部の中心柱にまで崩壊が進んだものを供試したこと、厚膜胞子が多数形成され、一般ほ場での生存形態とみることができた。

トマトTMVのり病株からは処理終了時（21日間）にも *N. glutinosa* に局部病斑を形成し、活性を持続

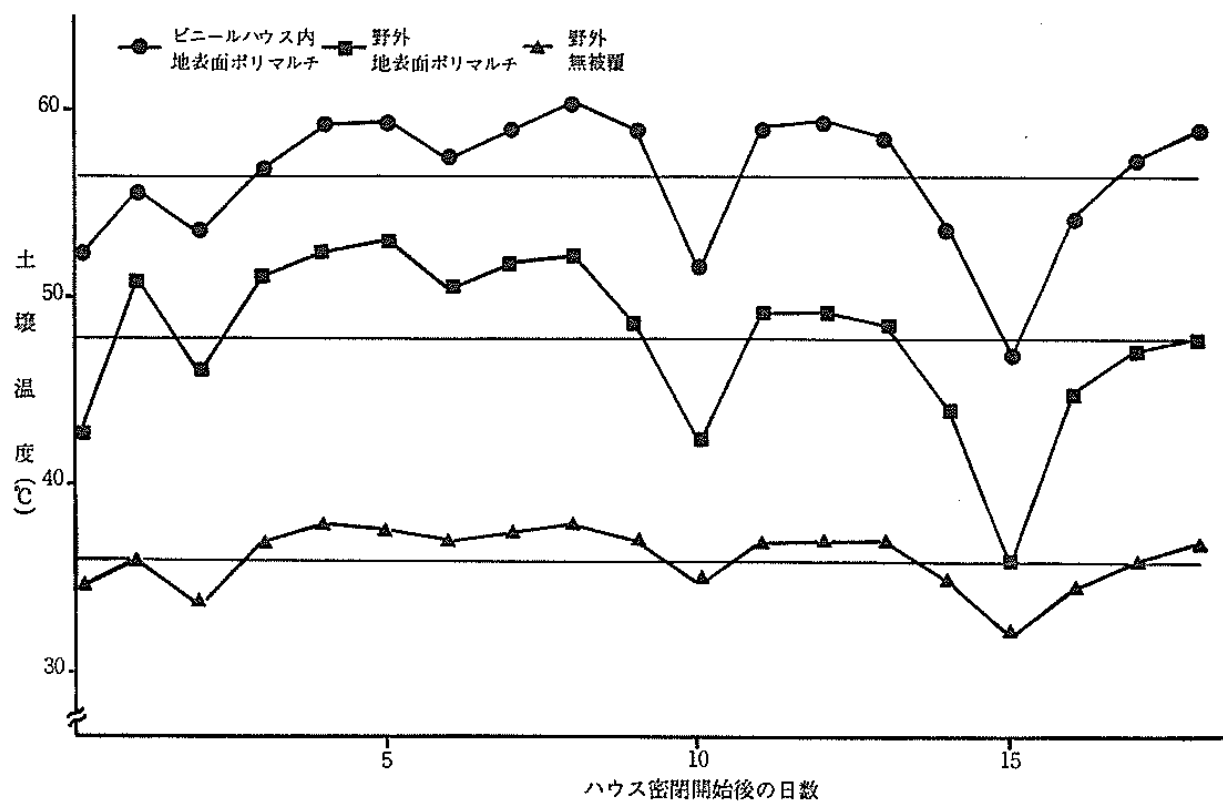
していた。しかし、ハウス開放後にみられる有機物の急激な分解過程から想定して不活性化が考えられるが、1978年の追試結果からハウス開放23日後にも *N. glutinosa* に局部病斑をわずかながら形成し、活性が持続していた。

2. ハウス密閉処理の方法と土壌温度の変化

2-1 ビニルハウス、地表面プラスチック製品の被覆と土壌温度

ハウス密閉処理の手法を確立するため、夏期の日射エネルギーを有効に利用し、ハウスの保温性、地表面のビニルまたはポリエチレンフィルム被覆による土壌温度の変化を調べた。

その結果は第2図に示すように、ビニルハウス内にポリエチレンフィルムを被覆することにより、ハウス外のポリエチレンフィルム被覆の地表下10cmの日最高地温の平均値に比べ8.6℃、野外の地表下10cmに比べ19.4℃高温となった。地表面の被覆資材として透明と黒ポリエチレンフィルムの被覆効果をみたところ透明フィルムでは地表下10cmの日最高地温がハウス内の無被覆に比べ6～7℃上昇し、黒フィルムでは3～4℃上昇することを認めた。



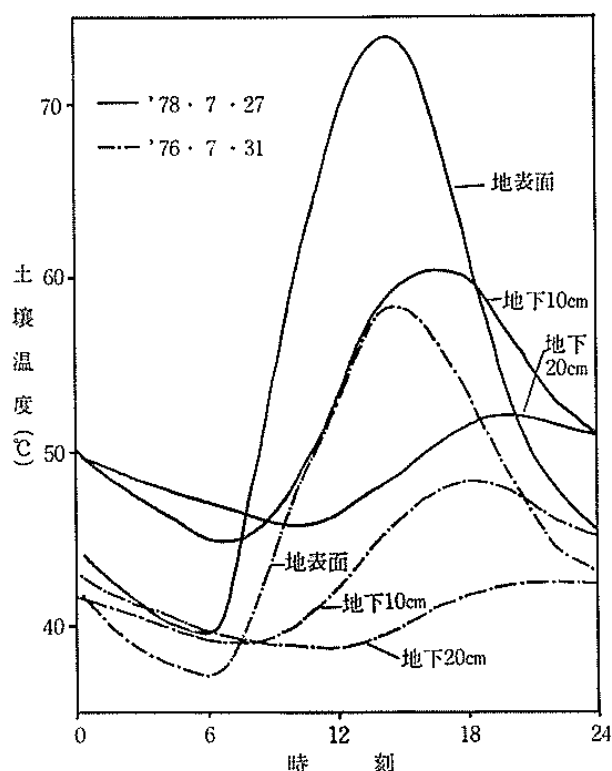
第2図 ビニルハウス・地表面ビニル被覆による土壌温度の上昇効果

ハウス内外における地表面の被覆の有無による土壌温度の日較差は、地表面ではその差を認めないが、深層部ではハウス内の日較差が小さくなった。ハウスの保温性と地表面の被覆により夜間の放熱を少なくする効果が認められた。これらの結果からハウス内の土壌温度を上昇させ、蓄熱するためには昼夜間ハウスを密閉し、地表面を透明ビニルまたはポリエチレンフィルムで被覆するのが有効であった。

2-2 ハウス内土壌温度の日変化

ハウス内の土壌温度は昼間に被覆ビニルを通して到達する日射エネルギーによりハウス内空間が高温となり、土壌中に伝導、蓄熱した熱量と夜間の放熱量により土壌温度が決まり、日変化がみられる。

日変化は第3図に示すように、地表面の日最高地温は13~14時ごろ60~70℃となり、日最低地温は5~6時ごろに記録された。一方、深層部にいくにしたがい時間的なずれがみられ、地表下20cmでは日最高地温が19~20時ごろに遅延した。したがって、土壌温度の測定には土壌深度および時刻による差を考慮する必要がある。なお、高日射年次の1978年と低日射年次の1976年では温度差が大きかった。



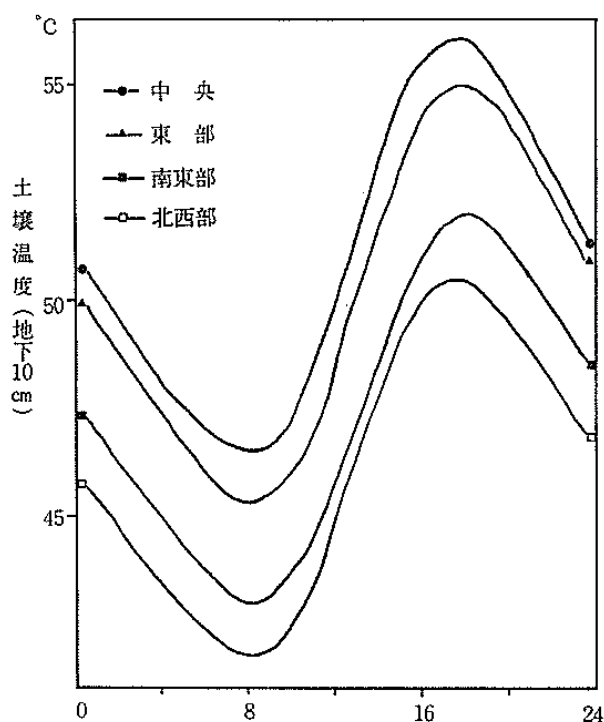
第3図 ハウス密閉処理中の土壌温度の日変化

土壌温度の日較差は深層部ほど小さくなり、地表下20cmでは約5℃の高低となり、恒温処理に類似した温度変化を示す。すなわち、地表面では当日の日射エネルギー量により土壌温度が決まるのに対し、深層部では前日の影響も強く受け、蓄熱的な温度上昇がみられた。

2-3 ハウス内の位置別の土壌温度

同一ハウスにおいても中央部と周辺部では温度分布が異なり、とくに、土壌温度はハウス外の周辺土壌の影響を受けやすいことが想定されるので、南北棟ハウスの中央部はか3か所の温度を測定した。

その結果は第4図に示すように、地表下15cmではハウスの中央部が最も高く、側面部(東側)、妻面部の南東、北西の順に低温となった。地表下10cmの土壌温度差は日最高地温でもっとも高温の中央部と低温の北西妻面部では約6℃の差がみられ、地表下5cmで13~14℃、地表下20cmでは3~4℃と深層部にいくにしたがい、その差は小さくなった。



第4図 ハウス内の位置別の土壌温度の日変化

この試験では妻面、側面部ともに慣行の畦たてをしたのち、畦の最上部からの測定値であり、ハウス側面の支柱際などでは外部の影響をより強く受け昇温が極めて悪く、雑草の繁茂状況からも土壌消毒の設定温度に到達することができないので、あらかじめ通常の畦たてを完了しておくことが必須作業と考えられた。

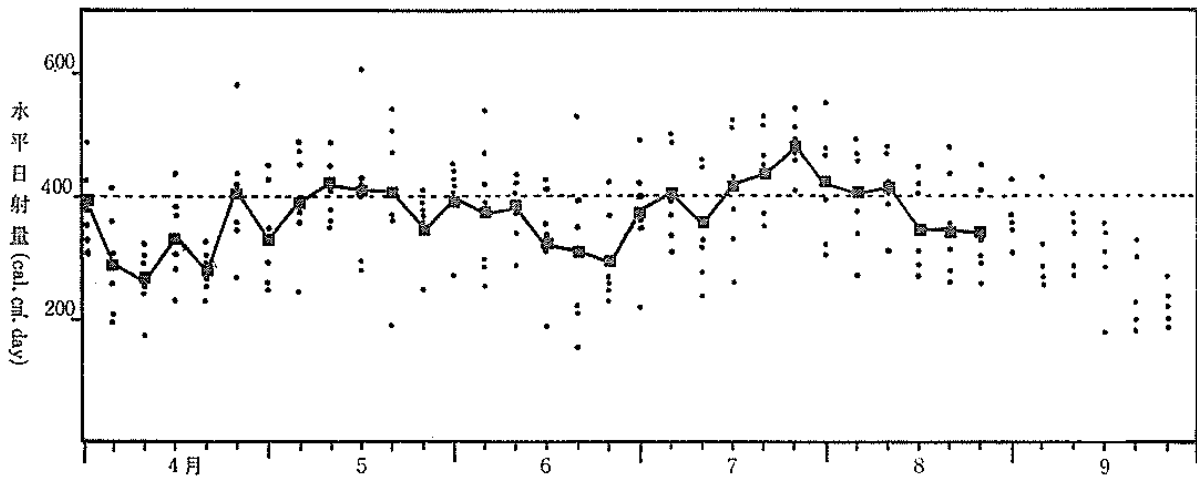
2-4 処理年次による水平日射量と土壌温度別の被熱時間数

密閉ハウス内の温度の上昇は、太陽光の日射エネルギー量の多少で決まり、年次別の水平日射量とハウス内土壌温度の変動を調べた。

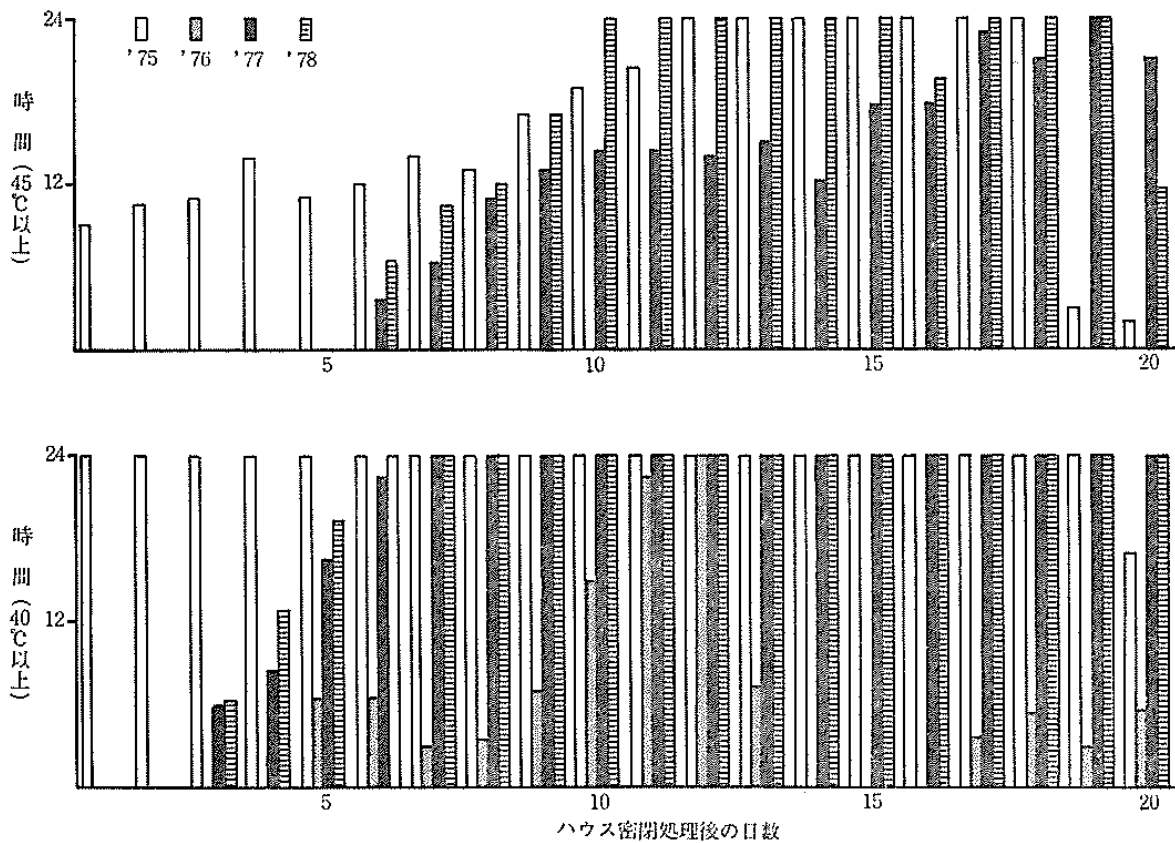
当場における1973年～1978年の6か年の半旬別の平

均水平日射量が常に400 ly以上を示しているのが7月第6半旬で、この前後の7月第5半旬、8月第1半旬がこれについだ（第5図）。この時期の快晴日には水平日射量が600 lyを越える日もあり、この期間を中心に処理時期を決めるのが好ましい。

1975年～1978年のハウス密閉処理期間中の水平日射



第5図 1973～1978年の水平日射量（半旬平均値）の変化



第6図 処理年次による地下20cm土壌温度別の日当り被熱時間数

量が 500 ly 以上の年次別の日比率は1975年から順に 63%、23%、36%、54%であり、年次による変動が大きかった。

ハウス内の土壌温度は1975年、1978年が水平日射量も多く、晴天日が持続したことより高地温となり、日最高地温は1975年7月31日の地表面 72.3℃、地表下10cm 60.5℃、-20cm 53.2℃、1978年7月27日は地表面 73.8℃、地表下 10cm 60.℃、-20cm 52.0℃を観測した。低日射年次の1976年は曇天日が多く、土壌温度の上昇も緩慢となり、7月31日の地表面58.0℃、地表下10cm 48.3℃、-20cm 42.8℃が期間中の最高地温であった。1977年は前年次の中間的な土壌温度を示した。

先に設定した土壌消毒に要する到達目標温度の地表下20cmにおける40、45℃以上の年次別の被熱時間数を第6図に示した。ハウス密閉処理を開始すると3~4日目ごろから40℃以上となり、6~8日目には45℃以上になった。1976年は土壌温度が低く経過し、地表下20cmが45℃以上になることはなかった。また、1975年は畦間灌水の量が少なく、晴天が持続したことより短期間に昇温し、灌水量と初期の昇温との間の関係が深いことを示している。

ハウス中央部の地表下20cm地温が40℃以上となる日当りの被熱時間数の年次別の割合は 1975 年から順に 98.0%、23.6%、82.1%、84.5%となり、水平日射量の年次変動と同じ傾向を認めた。また、40℃以上が昼夜持続するためには処理開始から6~7日間を要し、45℃以上の持続には高日射年次で約10日間を必要とした。

これらの結果から気象の年次変動により土壌温度の上昇に差を認めるが、イチゴ萎黄病菌など土壌伝染性病原菌のは場の一時灌水条件で設定した死滅条件を満たす土壌温度が試験各年次ともに得られ、これらの処理による土壌消毒の可能性を示唆した。

考 察

西南暖地の施設栽培では夏期に休閑期となることが多く、この時期の密閉ハウス内は60~70℃以上の高温となり、この太陽熱を有効に土壌中に伝導、蓄熱する土壌消毒法の実用性について1974年より試験を開始した。

熱利用による植物病害の防除の試みは、国安ら¹²⁾の総説によると20世紀当初より種子伝染性病害に適用され、これらの温度域は菌の致死温度あるいはそれ以上の短時間処理法であった。土壌消毒におい

ても100℃、30分間など高温水蒸気による消毒法が確立され、一方、Bakerら^{1, 2, 3)}は aerated-steam treatment が 60℃前後の比較的低温消毒により *Rhizoctonia solani* を有効に防除し、拮抗微生物を残存させるとしている。

手法は異なるが比較的低温消毒に属する太陽熱を利用した土壌消毒の試みも露地、ハウス条件下ともに試験例がみられるが、広く実用化には至っていない。高日射地域、年次あるいは病害虫の種類によっては地表面のプラスチック製品の被覆による保温のみにより防除効果を得ている^{4, 15)}。ハウスの保温性を利用し、温風暖房機²⁶⁾、電熱線¹⁶⁾、灌水および湛水処理^{6, 7, 8, 9, 16, 20, 22)}、有機物資材^{6, 7, 8, 9, 20)}、石灰窒素^{7, 8, 9, 20)}などの補助手段の組み合わせによる手法も行なわれてきた。

ここで問題となる植物病原菌などの熱に対する致死限界温度は、通常、温湯浸処理により10分間など短時間に死滅するもっとも低い温度で求められており、土壌棲息性菌類の中では土壌伝染性病原菌は耐熱性の低い部類に属し、菌の生存形態による耐熱性も異なるといわれている^{1, 2, 3, 19, 21)}。

この試験では TMV が最も耐熱性が高く、菌類ではイチゴ萎黄病の病土が長期間生存し、その死滅には45℃、6日間を要し、灌水、有機物資材の併用により *Fusarium oxysporum* 菌数は40℃前後の温度域においても8~14日間で検出されなくなった。すなわち、45℃前後の菌の致死温度に達しない比較的低温度域においても、被熱時間を長くすれば死滅に導びくことができ、灌水、湛水などによる水の補給は菌の死滅温度をより有効に低下させると考えられた。

イチゴ萎黄病菌の死滅条件では、白絹病菌、半身萎ちよう病菌などは検出されず、小林⁶⁾および中西(未発表)の結果から植物寄生性センチュウ類はより低温度域で防除が可能であった。TMVはこの処理では活性を持続しており、ハウス開放後の有機物の分解により活性の低下を認めるが、処理区と無処理区の差を認めなかった。そのほかの糸状菌、細菌病など広範な土壌病害虫への適用の可能性を示した。この処理における水は熱の媒体として土壌温度の上昇に有効であるとともに、土壌病害を積極的な防除を目的とした湛水処理により土壌中の病原菌を有効に低下させた事例^{5, 18, 23, 24, 25)}と、水稻を栽培する程度の常温湛水では感染源ポテンシャルを低下させる手段としてはさほど大きな期待をもてないとする説があり^{11, 18)}、一

方、土壌の静菌作用の低下による再汚染の危険性も明らかにされている¹⁴⁾。土壌中の菌密度の維持、増加には酸素の供給が必須条件であり、炭酸ガス混合空気の流し込みによりフザリウム菌の厚膜胞子の発芽と菌糸の生育を促進するが、厚膜胞子の再形成を阻害するといわれている¹³⁾。概して土壌中の酸素不足は病原菌の生存に不適な環境を与えることになると考えられた。

ハウス密閉処理による湛水は高温湛水となり、土壌の酸化還元電位 (Eh) は急激な低下を示し、耐久体の弱体化と副次的な土壌微生物の関与により菌の致死温度以下の死滅が考えられるが、これらの殺菌機作については今後の興味ある検討課題である。

つぎに、実際の栽培ハウスにおいて土壌伝染性病原菌の死滅条件で設定した45℃以上または湛水などの処理の併用による40℃以上の持続を得るためのハウス密閉処理の方法を検討したところ、外張りビニルおよび地表面のプラスチック製フィルムの被覆が土壌温度を有効に上昇させた (第2図)。処理時期については過去6か年の水平日射量から7月第6半旬が平均 400 ly以上と熱量がもっとも多く、この時期を中心に処理時期を設定する必要があった。

土壌温度に日変化、日温度較差がみられるが、土壌の表層部ではすみやかに菌の致死温度に達し、短時間の熱による殺菌が可能であり、深層部にいくにしたがい致死温度以下となり、長期間の被熱による殺菌が必要と考えられた。ハウス内の位置別の土壌温度 (第4図) にみられるように、ハウス周辺部はハウス外の影響を強く受け、中央部に比べ低温となり雑草の繁茂状況からも菌の死滅条件に達しなかった。したがって、作業手順の中でハウスサイド畦では、通常の畦たてを完了しておくのが消毒ムラを生じないためにも重要であった。

日射エネルギー量は年次間の変動がみられ、高日射年次 (1975、1978年) では地表下20cmにおいても45℃以上の温度が昼夜持続し、熱のみによる土壌消毒が可能であるが、低日射年次 (1976年) では耕土全層が45℃に達することがなく、40℃前後の土壌温度で推移した。したがって、これらの年次ではハウスの保温性を高め、湛水、有機物資材および石灰窒素などの補助手段が重要と考えられた。

これらの内の水は温度とともに菌の死滅条件の設定にも寄与率が高いが、小林⁹⁾が指摘しているように深水、掛け流しの状態では水の層から土壌への熱の移動

が妨げられる可能性が大きい。湛水はあくまでも一時湛水とし、土壌中の粗孔隙を充満すれば自然落水または人為落水し、畦間に滞水する程度がよく、よほどの漏水田でないかぎり14~20日間の処理期間中に再湛水 (かん水) する必要はないように考えられた。すなわち、ポリエチレンフィルムなどの被覆により水の蒸発が抑制され、地表面は酸化層となるが地表下数cm以下では還元層で持続しており、試験は場ではハウス開放後も深層部では灰青色の還元層となっていた。

有機物資材、石灰窒素の施用は土壌の酸化還元電位の低下に作用するが、は場における病原菌の死滅、*Fusarium oxysporum* 菌の消長でみるかぎり施用の影響を明らかにすることができなかった。すなわち、この試験の範囲内では土壌消毒のみを目的とする場面で有機物資材、石灰窒素の施用は必須条件とはなり得ないと考えられた。

稲わらなど粗大有機物の施用は地力培養の役割が大きいが、多量施用することにより土壌温度が数℃高くなるのを認めており²⁰⁾、この因については土壌の粗孔隙の増加によるものか、有機物の分解にともなう醗酵熱に起因するかは明らかでない。栽培終了後の植物残渣も熱処理を前提とするならば積極的に利用できるが、TMVの土壌伝染についてはさらに検討を要した。

実際の栽培者にとっては、当然のことながら作物生産が目標であり、土壌消毒と地力培養が同時にできる利点を生かし、なお、かつ土壌消毒の効果を補完する有機物資材と石灰窒素の施用をイチゴ栽培は場における標準処理としたが、適用地域、作物の種類により変法の可能性が残されている。

これらの結果から夏期の太陽熱とハウスの保温性および水利用による経済的で、しかも安全性の高い土壌消毒が可能であり、各種の土壌伝染性病虫害への適用拡大が示唆された。

摘 要

夏期の施設栽培の休閑期に太陽熱とハウス密閉処理、プラスチック製フィルムによる地表面被覆および湛水処理による土壌消毒の実用性を検討し、次の結果を得た。

1. イチゴ萎黄病菌 (*F. oxysporum* f. sp. *fragariae*) の死滅に要する温度と期間は液体培養菌では 45℃、24時間以内、り病株中では 3日間、自然病土では 6日間の恒温処理で検出されず、より高温では短時間

に死滅した。また、湛水、でんぶん添加により病土中の *Fusarium oxysporum* 菌数は激減し、45℃の4日後には検出されず、40℃前後の低温度域においても8～14日後には検出されなくなった。

供試したイチゴ芽枯病菌 (*R. solani*)、トマト白絹病菌 (*C. rolfsii*) の菌糸、菌核ではより短時間の被熱で死滅した。

2. 密閉ハウス内の土壌中に埋没した病原菌 (体) は、トマト白絹病菌の菌核では処理3日後に地表下15cm層まで検出されず、イチゴ萎黄病、ナス半身萎ちよう病 (*V. albo-atrum*) のり病株では3日間処理で地表下5cm層まで、6日間処理で地表下15cm層まで検出されなかった。タバコモザイクウイルス (TMV) のトマトり病茎では処理21日後にも活性を持続しており、処理区と無処理区の差を認めずハウス開放後の有機物の分解過程で活性の低下がみられた。

これらの結果から土壌伝染性病原菌の死滅条件は熱のみによる場合には45℃、6日間を要し、湛水などの併用により40℃前後と設定された。

3. ハウス密閉処理の方法は外張りビニルを密閉し、地表面はビニルまたはポリエチレンフィルムで被覆した。土壌には十分な水分を補給するため一時湛水ののち落水し浅水とした。地力培養との併用効果を期すためには、稲わらなど粗大有機物資材を10a当り1～2t、石灰窒素100～150Kgをハウス密閉前に耕土全層に混和した。

4. 水平日射量には年次変動がみられるが、過去6か年の半旬別の水平日射量がもっとも多いのが7月第6半旬であり、ついで7月第5半旬、8月第1半旬であった。したがって、ハウス密閉処理は7月下旬を中心に実施するのが好適であった。

1975～1978年のハウス密閉処理期間中の水平日射量が500 ly以上の年次別の日比率は1975年から順に63%、23%、36%、54%であり年次変動が大きかった。

5. ハウス内の土壌温度は高日射年次には地表下20cmまで45℃以上となり、表層部では熱のみによる短期間の殺菌が可能であった。しかし、低日射年次では地表下20cmは45℃に達しなかった。土壌温度の最高値は地表面72.3℃、地表下10cm60.5℃、地表下20cm53.2℃ (1975年7月31日) であった。

6. ハウス内土壌の地表下20cmが40℃以上となる日当りの被熱時間数の年次別の割合は1975年から順に98.0%、23.6%、82.1%、84.5%であった。また、40℃以上の土壌温度が昼夜持続するためには処理開始か

ら約6～7日間を要し、45℃以上で持続するためには高日射年次で約10日を要した。

7. 土壌温度の日変化は地表面では日最高地温が13～14時に60～70℃となり、深層部にいくにしたがい時間的に遅延し、地表下20cmでは19～20時ごろにみられた。日較差は地表面ほど大きく、深層部にいくにしたがい小さくなり、地表下20cmでは約5℃の変温であった。

8. これらの結果から気象の年次変動により土壌温度の上昇に差を認めるが、イチゴ萎黄病菌などの湛水処理の併用で設定した菌の死滅条件を満たし、これらの処理による土壌消毒が可能と考えられた。

本研究を実施するにあたりその端緒を与えられ、貴重な助言を賜った電力中央研究所生物環境技術研究所宮川逸平氏、天理農業改良普及所宮本重信技師、また共同研究の任に当られた當場技術課各位にたいし深謝の意を表する。

引用文献

1. BAKER, K. F., N. T. FLENTJE, C. M. OLSEN, and H. M. STRETTON. 1967. Effect of antagonists on growth and survival of *Rhizoctonia solani* in soil. *Phytopathology* 57: 591-597.
2. ———. 1970. Selective killing of soil microorganisms by aerated steam. Pages 234-239 in T. A. TOUSSOUM, R. V. BEGA, and P. E. NELSON, eds. *Root diseases and soil borne pathogens*. Univ. California press. 252p.
3. ———, and R. J. COOK. 1974. *Biological control of plant pathogens*. W. H. Freeman, San Francisco 433p.
4. KATAN, J., A. GREENBERGER, H. ALON, and A. GRINSTEIN. 1976. Solar heating by polyethylene mulching for the control of diseases caused by soil-borne pathogens. *Phytopathology* 66: 683-688.
5. 喜多孝一・孫工弥寿雄 1976. 水利用による土壌病害防除に関する研究 3. 畑湛水による菌核病防除効果の主要因について (講要). *日植病報* 42: 341-342.

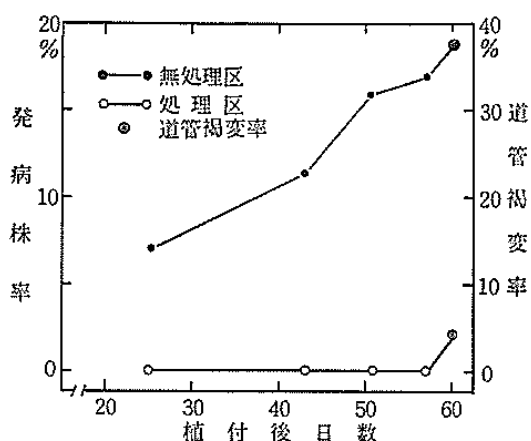
6. 小林義明 1974. 高温, たん水処理によるネコブセンチュウの防除. 静岡農試研報 19: 44—50.
7. 小玉孝司・中西喜徳・福井俊男・芳岡昭夫 1976. イチゴ萎黄病に関する研究. 第6報 ハウス密閉処理による本圃の土壌消毒(講要). 日植病報 42: 347.
8. ———・宮本重信・宮川逸平・志賀陽一 1976. 夏期の温室密閉による土壌消毒法. 農および園 51: 889—894.
9. ———・福井俊男 1977. イチゴ萎黄病に関する研究. 第8報 ハウス密閉による土壌消毒の効果発現に与する諸要因について(講要). 日植病報 43: 344.
10. ———・———・芳岡昭夫 1977. イチゴ萎黄病の薬剤防除について. 奈良農試研報 8: 57—65.
11. 駒田旦 1976. 野菜のフザリウム病菌, *Fusarium oxysporum* の土壌中における活性評価技術に関する研究. 東近農試研報 29: 132—269.
12. 国安克人・中村浩 1978. ユウガオつる割病の種子伝染に関する研究. IV 乾熱殺菌の効果について. 野菜試報 A 4: 149—162.
13. LOUVET, J. 1970. Effect of aeration and of concentration of carbon dioxide on the activity of plant pathogenic fungi in the soil. pages 89—91 in T. A. TOUSSOUM, R. V. BEGA, and P. E. NELSON, eds. Root diseases and soil borne pathogens. Univ. California press. 252p.
14. 松田明・尾崎克己・下長根鴻 1972. 田畑輪換に伴う土壌の静菌作用およびキュウリつる割病の発生の変動(講要). 日植病報 38: 190.
15. 宮沢洋一 1970. ヤクヨウニンジン根腐病を基因する *Cylindrocapon panacis* の死滅温度と本病防除への適応. 農および園 45: 1279—1280.
16. 宮川逸平・志賀陽一 1974. 温室の保温性による温室内の土壌消毒法. 農業電化 27(8): 16—20.
17. 森田 儔 1976. 施設作物の疫病等(高地温化による防除). 日植病土壌伝染病談話会資料 38—42.
18. 奈良農事試験臨時報告第6号 1936. 西瓜萎凋病(萎凋病)に関する研究成績 P. 162.
19. NELSON, P. E., and S. WILHELM 1958. Thermal death range of *Verticillium albo-atrum*. Phytopathology 48: 613—616.
20. 西内義武・森本松男・中越謙三・斉藤 正 1977. 太陽熱による密閉ハウスの高温処理が土壌中の *Fusarium oxysporum* の生存に及ぼす影響(講要). 四国植防研 12: 19—24.
21. OLSEN, C. M., and K. F. BAKER 1968. Selective heat treatment of soil, and its effect on the inhibition of *Rhizoctonia solani* by *Bacillus subtilis*. Phytopathology 58: 79—87.
22. 志賀陽一・宮川逸平 1970. 温室の夏期の保温性にもとづく土壌消毒法について(講要). 日植病報 36: 194.
23. 孫工弥寿雄・喜多孝一 1976. 水利用による土壌病害防除に関する研究 2. ジャガイモそうか病の病土に対する土壌水分調節と発病防止効果(講要). 日植病報 42: 337—338.
24. STOVER, R. H. 1970. Banana root diseases caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*, *Pseudomonas solanacearum*, and *Radopholus similis*: A comparative study of life cycles in relation to control. pages 197—200 in T. A. TOUSSOUM, R. V. BEGA, and P. E. NELSON, eds. Root diseases and soil borne pathogens. Univ. California press. 252p.
25. 渡辺文吉郎 1973. *Rhizoctonia solani* に対する湛水処理の効果(講要). 日植病報 39: 200.

Summary

The soil temperatures increase remarkably in closed vinyl house without any planting especially in midsummer in south-western area in Japan. The phenomenon led to an idea of sterilization by solar heating for control soil-borne diseases.

This paper deals with some investigations of soil sterilization by solar heating in closed vinyl house for a practical use.

In each midsummer from 1975 to 1978, experimental vinyl house was entirely sealed and the soil surface in it was mulched with vinyl or polyethylene film. To keep soil moisture in a high degree, sufficient volume of water was irrigated in it just before mulching.



第4図 ハウス密閉処理によるトマト青枯病の防除効果

1978年は前試験に比べ激発条件となり、第1表に示すように定植後14日頃から発病を認め標準無処理区では57.6%の高率な病株率を示した。処理区では全く発病株を認めず、最終調査時(10月14日)における生育は順調で、標準無処理区の株に比べ草丈で平均15.4cmの生育差を認めた。

第1表 ハウス密閉処理によるトマト青枯病の防除効果

	個体数	発病株率 (%)			
		18/1X	25	1/X	24
処理区	60	0.0	0.0	0.0	0.0
標準無処理区	33	9.0	21.2	27.3	57.6

2か年の試験結果から青枯病に対する防除効果は安定しており、病原菌の再汚染とくに子苗からの持ち込みを注意すれば適用可能と考えられた。

2-3 ホウレンソウ株腐病に対する防除効果

ホウレンソウ株腐病は病土作成時の発病に比べ軽微な発病となったが、第2表に示すように標準無処理区の苗立枯率17.3%、健全株率35.4%に比べ、処理区は発芽後の苗立枯は認めなかった。なお、栽培時期がやや低温となったため、株腐れ症状は抑制されたが、処理区は発芽揃いもよく、生育も良好なことから本病に対し適用可能と判断された。

第2表 ハウス密閉処理によるホウレンソウ株腐病の防除効果

	立枯株率 (%)			健全株率 (%)		
	12/1X	16/1X	21/1X	12/1X	16/1X	21/1X
処理区	0.0	0.0	0.0	57.3	65.5	74.6
標準無処理区	7.2	10.6	17.3	42.7	38.6	35.4

3. 土壌消毒の効果判定基準の設定

土壌消毒の効果判定の指標としては、処理後の雑草種子の発芽状況による事後の確認法にたっており、より適確な方法により処理期間を適正に短縮するためつぎの試験を行った。

3-1 各種植物種子による方法

熱処理による種子の発芽能力の消失について調べた結果、ビニル袋づめした5種の作物種子は45℃、14日間処理においても発芽率の低下はみられず、イチゴ萎黄病菌などの死滅条件と一致しなかった。

つぎに布袋づめした種子を湛水土壤中に埋没したところ、水稻種子以外のトマト、キュウリ、ダイコン、トウモロコシの種子は45℃の短期間に発芽能力を消失した。そこで、菌の死滅条件に近似すると考えられた水稻種子の発芽率推移を調べた結果を第3表に示した。湛水土壤中の種子は35℃の保温によって徐々に発芽率の低下がみられ、10日後には不発芽となった。40℃の保温では急激に発芽率が低下し、6日後には不発芽となり、これらの結果は湛水条件下でのイチゴ萎黄病のり病株および病土中の病原菌の死滅条件と類似していた。

第3表 水稻種子の熱処理の方法と発芽能力との関係

日数	温度(℃)	種子の発芽率 (%)					
		布袋処理			ビニル袋処理		
		35	40	45	35	40	45
2		100	31.0	0	100	100	100
4		79.6	29.3	0	100	100	100
6		73.7	0	0	100	100	100
8		6.3	0	0	100	100	100
10		0	0	0	100	100	67.5
16		0	0	0	100	93.7	14.1

これらの結果に基づき密閉ハウス内の土壌中に深さ別に埋没したイチゴ萎黄病のり病株と水稻種子を対比して調べた結果、1977年の処理ではり病株からの病原菌の検出率は3日間の埋没で地表下5cm層まで死滅し、地表下10、15cmでは生存を認めるのに対し、水稻種子の発芽率は地表下5cmまで不発芽となり、地表下10、15cmではそれぞれ発芽率が20、30%と低下した。6日間の埋没では菌の検出、種子の発芽ともに認めなかった。

1978年の処理においても4日間処理で地表下30cm層まで菌の検出、種子の発芽ともに認めなかった。これらの結果は水稻種子の発芽能力の消失とイチゴ萎黄病

のり病株内の病原菌の死滅条件がよく類似し、消毒効果の指標となりうると考えられた。

3-2 融解点の異なるパラフィンによる方法

融解点の異なる5種類のパラフィンを用い、ハウス密閉期間中の土壌温度の最高値をその融解により判定した。その結果は第4表に示すように、埋没深度別の最高地温とパラフィンの融解度がよく一致し、期間中の土壌温度を推定することができた。

実際の使用場面では融解点別に着色するか、栓を

第4表 融解点の異なるパラフィンの埋没による土壌温度の推定

融 解 点	埋 設 深 度 (地表下—cm)					
	0	5	10	15	20	25
42—44℃	a)○	○	○	○	○	○
46—48	○	○	○	○	○	○
52—54	○	○	○	●	●	●
60—62	○	●	●	●	●	●
64—66	○	●	●	●	●	●
期間中の最高地温	71.5	60.5	55.0	51.3	49.1	47.1

a) ○：溶解、●：不溶

別けすると便利であった。この方法による土壌温度の推定は蓄熱的な温度の持続期間を判定することはできないが、深層部では土壌温度の日較差が小さくなることから、地表下20cm層では融解点42～44℃、46～48℃の製品を用いることにより土壌温度の推定が可能であった。

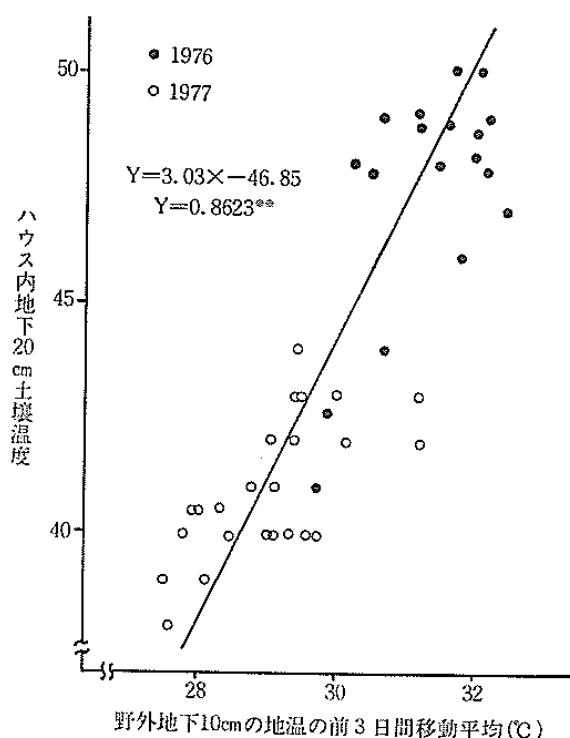
3-3 野外の気象条件からのハウス内土壌温度の推定

ハウス内の土壌温度の上昇程度を野外の最高地温、水平日射量、気温について、1976、1977年の各観測値をもとに検討したところ、第5表に示すような結果が得られた。すなわち、ハウス内土壌の地表下20cmの最高地温と最も相関の高いのは野外の地温であった。水平日射量、気温は3日移動平均値をとると相関が有意($P=0.05$)となり、野外の地温は1976年の単年よりも1976、1977年の2か年の観測値で高い相関が得られた。

第5図に示すように、野外の地表下10cmの最高地温の当日と前2日の3日移動平均値とハウス内土壌の地表下20cmの最高地温の相関が最も高く、湛水処理の併用によるイチゴ萎黄病の死滅温度40℃以上を得るため

第5表 野外の気象条件とハウス内土壌温度との関係

Y	X	r	F検定	式
ハウス内地表下20cmの最高地温 ('76)	野外の地表下20cm最高地温 ('76)	0.7083	※※	$Y=0.885 X+15.138$
〃 ('76)	水平日射量 ('76)	0.380	n. s.	
〃 ('76)	日最高気温 ('76)	0.230	n. s.	
〃 ('76)	野外の地表下20cm最高地温の3日移動平均 ('76)	0.679	※※	$Y=1.039 X+10.789$
〃 ('76)	水平日射量の3日移動平均 ('76)	0.718	※※	$Y=0.011 X+36.258$
〃 ('76)	日最高気温の3日移動平均 ('76)	0.403	※※	$Y=0.599 X+22.018$
〃 ('76, '77)	野外の地表下10cm最高地温 ('76, '77)	0.8342	※※	$Y=2.126 X-19.958$
〃 ('76, '77)	野外の地表下10cm最高地温の3日移動平均 ('76, '77)	0.8623	※※	$Y=3.03 X-46.85$



第5図 野外の地温とハウス内土壌温度の関係

には、野外の10cm最高地温の3日移動平均値28.3℃以上を要すると結論された。

考 察

夏期にハウス密閉、地表面のビニルまたはポリエチレンフィルム被覆と湛水(落水)による土壌温度の上昇とその副次的な効果をねらった土壌消毒はイチゴ萎黄病、ナス半身萎ちよう病、ホウレンソウ株腐病、トマト青枯病を有効に防除し、作物の生育も良好であった。また、消毒効果を適確に察知する指標として3手法を明らかにし、処理期間を適正に短縮することが可能となった。

これらの太陽熱を有効に利用した土壌消毒は日射エネルギー量により適用地域、時期が限定されるが、わが国の盛夏は熱帯性の気候となり、西南暖地の施設栽培では休閒となることが多い。この時期を利用して土壌消毒や地力培養が慣行技術となりつつあり、従来の土壌消毒では適用範囲が制限されることが多かった。これらの手法は省資源、省エネルギー的な立場からも適用拡大が考えられる。

これまでに太陽熱を利用した土壌消毒には宮沢¹¹⁾は、クロロピクリン消毒後の残存菌をポリエチレンフィルムの被覆により補完できるとし、Katanら⁴⁾は

イスラエルの熱帯性の気候を利用して畦面をポリエチレンフィルムで被覆し、土壌温度の上昇により *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*, *Verticillium dahliae* の発病を抑制し、ハウス条件下ではこの方法はより容易に行ない得るとしている。

ハウスの保温性と太陽熱を利用した宮川¹²⁾は、ペレットハウスを用いメロンつる割病を有効に防除し、ハウスの保温性を高め断熱板を埋設することにより適用拡大の可能性を示唆している。小林⁵⁾は夏期のハウス密閉、湛水によりネコブセンチュウを30℃前後の致死温度以下の防除が可能であることを示した。一方、吉野¹⁵⁾は太陽熱と温風暖房機の併用によるキュウリつる割病の防除を報じているが、広範な実用技術にはいたっていない。

高日射年次、地域では露地のポリエチレン被覆のみで、土壌消毒が可能であるが、フザリウム病など病原菌の分布が深層部までおよぶものでは土壌温度の不足が想定され、対象とする病原菌などの種類別の適用を明らかにする必要があると思われる。この試験のハウス条件下では前報⁹⁾で設定した菌の致死温度以下の40℃で湛水、有機物添加を組み合わせることにより適用範囲が拡大され、過去4か年の試験では耕土全層が40℃以上で昼夜持続し、土壌伝染性病原菌の死滅条件を満たすことができた。

イチゴ萎黄病菌数はハウス密閉処理により激減し、稀釈平板法の検出限界以下で経過し、イチゴ定植後も急激な復元はみられず、発病株は認められなかった。しかしながら、処理9か月後には、*F. oxysporum* 菌の増加傾向を認め、この処理の効果持続期間については今後の解明を要すると考えられた(第1、2図)。

一般には場における土壌消毒では耕土全層から病原菌を零にするのは至難であり、発病レベル以下の菌数に低下させられると同時に、他の拮抗微生物をより多く残存させるのが好ましい。Bakerら^{1,2,3)}のaerated steam treatmentは病原菌を選択的に殺滅し、*Rhizoctonia solani* に拮抗する *Bacillus subtilis* など耐熱性菌類の残存が消毒効果を安定したものにしており、植物寄生性病原菌は他の腐生性菌類に比べ致死温度の低いものが多いといわれている¹³⁾。この報告では示さなかったが、ハウス密閉処理による土壌微生物への影響は糸状菌、色素耐性細菌、アンモニア酸化細菌などの減少が著しく、総細菌数には大きな変化がなく、耐熱性菌類の残存を認めている⁷⁾。ハウス開放後の定常状態への回復も20~30日後にはみ

られ、aerated steam treatment に類似した副次的な効果が期待でき、病原菌の復元の遅延、土壌の静菌作用の変化などさらに検討を要する問題と考えられた。

イチゴ萎黄病などフザリウム菌病は土中で容易に耐久体（厚膜胞子）を形成するといわれ¹⁰⁾、前報⁹⁾の菌の死滅条件の実験からフザリウム菌の死滅条件が満たされれば、他の土壌伝染性病害への適用が可能と推察された。この試験で供試したナス半身萎ちよう病、ホウレンソウ株腐病は発病を認めず適用可能と判断され、トマト青枯病は発病抑制効果を認めるが、病原菌の再汚染について激発条件下での再検討が残されている。なお、土壌消毒の効果と同時に雑草繁茂が極めて少なく、イネ科雑草種子はほぼ完璧に殺草され、作業能率の面からも注目された。

この試験では前作の植物残渣をすべて鋤き込み有機物資材として土壌に還元したが、イチゴ、トマト、ホウレンソウ、ナスでは2～4か年の運用では障害性を認めていないことから、ハウス密閉処理を前提とするならば積極的に利用できると考えられた。病土作成区では病植物残渣のみを施用し、他の系外有機物資材、石灰窒素などの施用は一切行わず、ハウス密閉、地表面のポリエチレンフィルム被覆および湛水（落水）によって、土壌消毒の目的が達せられた。有機物資材、石灰窒素の施用は消毒効果を補完し、作物の生育を安定させる地力培養の面で生かされるものと考えられた。

つぎに、土壌消毒の効果判定をより早期に行ない、気象の年次変動に対処した適正な処理期間を決める必要があった。ハウス密閉期間については、単に14～20日間とし低日射年次にはやや長期間とするなど適確な判定基準がなく、消毒後の雑草の繁茂状況による事後の確認法にたよっている。この土壌消毒法が比較的低温による殺菌であるが、長期間持続すれば当然のことながら土壌微生物を非選択的に殺滅することになり、この処理法の特徴が消去される。

そこで、つぎの3指標について、前報の菌の死滅条件の結果と対比しながら調べた。植物種子の発芽による方法は、湿熱では水稲種子を除き短期間に発芽能力を消失し、乾燥種子では40～50℃の比較的低温度域では病原菌の死滅条件より生存が長く消毒効果の指標となり得なかった。水稲種子の湛水土壌およびハウス内土壌への埋没結果からイチゴ萎黄病菌のり病株中での死滅条件と適合し、消毒効果の指標となりうると考え

られた。

融解点の異なるパラフィンによる方法は、パラフィンの融解により最高地温を推定するもので、種子発芽が累積的な温度の影響をみるのに対し、土壌温度の持続期間を察知することはできない。しかし、ハウス内土壌では深層部にいくにしたがい、土壌温度の日較差が小さくなっており、地表下20cmでは融解点42～44℃、46～48℃の製品を利用することにより土壌温度の推定が可能であり、土壌消毒の効果判定に利用できそうであった。

野外の気象条件からハウス内の土壌温度の上昇程度を推定する方法として、1976、1977年の測定値をもとにハウス内で比較的溫度の安定している地表下20cm地温との相関を求めたところ、最も相関の高かったのが、野外の地表下10cm最高地温の3日移動平均値(x)との間に $y = 30.3x - 46.85$ 、 $r = 0.8623^{***}$ の関係を認めた。すなわち、前報で設定した土壌伝染性病原菌の死滅に要する土壌温度40℃を得るためには、野外の地表下10cm最高地温の3日移動平均値28.3℃以上を必要とする。これらの数値はハウス規模、保温性の差による若干の補正が必要と考えられるが、ハウス内の土壌温度を簡易に推定でき消毒効果の指標となり得ると考えられた。

これらの3指標の他に温度変化により発色する試験紙も市販されており、これらの適用も可能であり現場で使いやすいものの検討が残されているが、適確な消毒効果の指標の採択により処理期間を適正に短縮する必要がある。とくに、実際場面においては前後作の作付計画にも影響するもので重要と考えられた。

実施にあたっての注意点としては

- 1) ハウスの保温性を高め夜間の放熱を最少限にする。
- 2) 水は一時湛水とし、深水、掛け流しは土壌温度の上昇を阻害するので、ほ場の減水深に応じた水管理を行なう必要がある。
- 3) 被覆ビニル、ビニル押えバンドなどは高温により可塑性が減じるので継続使用に耐えないことがある。
- 4) 精密計器類は高温湿熱により破損しやすいので、ハウス外に持ち出すなどの配慮を要した。

以上の結果からイチゴ萎黄病ほか土壌伝染性病害に適用拡大が可能であり、処理期間を適正に短縮することにより有害微生物を選択的に殺滅し、消毒後の再汚染の危険性の少ない土壌消毒法とすることが可能と考えられた。今後、適用地域、対象病害虫の種類により

変法が想定でき、ハウス条件下のみならず露地条件下の適用も検討されるべきであろう。

摘 要

夏期のハウス密閉、地表面ビニールまたはポリエチレンフィルム地被および湛水処理による土壌消毒の適用拡大と消毒効果の判定基準について検討し次の結果を得た。

1. この処理によりイチゴ萎黄病菌数は激減し、処理直後には全く検出されなかった。イチゴ定植、ビニール被覆後も菌数の復元は認めなかった。しかし、栽培末期の処理9か月後には低密度ながら *Fusarium oxysporum* 菌数の増加傾向を認めた。

2. イチゴ萎黄病の発病は標準無処理区では兩年次ともに発病株率43.8%、93.0%と高率にみられ、生育も極めて悪く、とくに、1977年は正常果実の収穫は皆無であった。一方、処理区は発病を認めないか、低率の生育不良株にとどまり高い防除効果を示し実用可能と考えられた。

3. ナス半身萎ちよう病は処理区において全く発病を認めず、標準無処理区では発病株率29.0%、道管褐変率47.8%を示し、発病株以外にも生育不良株が多くなった。

ホウレンソウ株腐病は少発生条件ではあったが、処理区の苗立枯れ株はみられず、発芽揃いが良好なのにに対し、標準無処理区は苗立枯率17.3%、健全株率35.4%とかなり劣った。トマト青枯病は1977年の試験では標準無処理区の発病株率が17.1%、道管褐変率37.5%であるのに対し、処理区は発病を認めなかった。しかし、道管褐変率4.3%を認めたことは潜在的な病原菌の生存によるものか、再汚染かは明らかでなかった。1978年の試験では標準無処理区の発病株率57.6%に対し、処理区は全く発病を認めなかった。これらの結果から上記の土壌伝染性病害に対し適用拡大が可能と考えられた。

4. 処理土壌では殺草効果が顕著にみられ、とくに、イネ科雑草の種子はほぼ完全に死滅し、作業上の有利点となった。

5. 土壌消毒効果の判定基準として植物種子の発芽率と菌の死滅条件を比較したところ、水稻種子の発芽能力の推移とイチゴ萎黄病の病株中の菌の死滅条件が類似し、ハウス内土壌の埋没実験からも消毒効果の判定指標として使えそうであった。

6. 融解点の異なるパラフィンの融解と期間中の最

高地温が一致し、土壌温度を推定することができた。地表下20cm層の埋設用には融解点42~44℃、46~48℃の製品を捻子口管びんに分注して用いるのが好適であった。

7. ハウス内の地表下20cm地温と野外の気象条件との関係を求めたところ、野外の地表下10cm地温との相関が高く、最も相関の高かったのが野外の地表下10cm最高地温の3日移動平均であり、 $y = 3.03x - 46.85$ 、 $r = 0.8623^{**}$ の関係式が得られた。この数値はハウス規模など保温性の差により若干の補正を要すると考えられた。

本研究の実施に当たり、その端緒を与えられ、終始現場への普及にご尽力された天理農業改良普及所宮本重信技師ほか所員各位に、また本研究の共同研究に当たられた技術課々員各位に併せ深謝の意を表する。農林水産省野菜試験場萩原広技官には青枯病菌の分譲を受けた記して謝意を表する。

引 用 文 献

1. BAKER, K. F., N. T. FLENTJE, C. M. OLSEN, and H. M. STRETTON 1967. Effect of antagonists on growth and survival of *Rhizoctonia solani* in soil. *Phytopathology* 57: 591-597.
2. ——— 1970. Selective killing of soil microorganisms by aerated steam, pages 234-239 in T. A. TOUSSOUM, R. V. BEGA, and P. E. NELSON, eds. *Root diseases and soil borne pathogens*. Univ. California press. 252p.
3. ———, and R. J. COOK 1974. *Biological control of plant pathogens*. W. H. Freeman, San Francisco 433p.
4. KATAN, J., A. GREENBERGER, H. ALON, and A. GRINSTEIN 1976. Solar heating by polyethylene mulching for the control of diseases caused by soil-borne pathogens. *Phytopathology* 66: 683-688.
5. 小林義明 1974. 高温、たん水処理によるネコブセンチュウの防除. 静岡農試研報 19: 44-50.
6. 小玉孝司・宮本重信・宮川逸平・志賀陽一 1976. 夏期の温室密閉による土壌消毒法. 農および園 51: 889-894.

7. ———・福井俊男 1977. イチゴ萎黄病に関する研究 第9報 ハウス密閉処理による土壤消毒の効果と土壤微生物の消長(講要). 関西病虫研報 19 : 111.
8. ———・——— 1978. 太陽熱利用による土壤消毒の適用拡大について(講要). 日植病報 44:371.
9. ———・——— 1978. 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.
10. 駒田 且 1976. 野菜のフザリウム病菌, *Fusarium oxysporum* の土壤中における活性評価技術に関する研究. 東近農研報 29:132-269.
11. 宮沢洋一 1970. ヤクヨウニンジンの根腐病を基因する *Cylindrocapon panacis* の死滅温度と本病防除への適応. 農および園 45:1279-1280.
12. 宮川逸平・志賀陽一 1974. 温室の保温性による温室内の土壤消毒法. 農業電化 27(8):16-20.
13. OLSEN, C. H., and K. F. BAKER 1968. Selective heat treatment of soil, and its effect on the inhibition of *Rhizoctonia solani* by *Bacillus subtilis*. phytopathology 58: 79-87.
14. 志賀陽一・宮川逸平 1970. 温室の夏期の保温性にもとづく土壤消毒法について(講要). 日植病報 36 : 194.
15. 吉野正義・橋本光司・嶋崎 豊 1974. フザリウム菌病の防除 1) 薬剤ならびに熱利用による防除. 日植病土壤伝染病談話会資料 57-61.

Summary

Following the previous report, the field experiments carried out in the commercial vinyl houses demonstrated that solar heat sterilization should be commonly applicable to the soil-borne diseases of some crops. And, three basic methods were achieved for estimating the effects after treatment. The results obtained are as follows;

1. A couple of commercial vinyl-house, in which the infestation rate of strawberry yellows was about 40-90%, was treated with solar heating except non-treated plot. In non-treated plot there were only poor growth of strawberry and few normal fruits in forced strawberry affected by the disease. On the other hand, treated plot suffered from no disease, though showing poor growth in part. This fact clearly demonstrated the practical effect of solar heating sterilization.

2. There was rapid reduction of *F. oxysporum* f.sp. *fragariae* in population immediately after the start of treatment. And no fungus of this kind had been detected soon after the end of treatment, and no recovery of it was found until the next cropping time of forced strawberry which had been planted 3 weeks after the end of treatment. But, finally at the 9th month after treatment a slight trace of it was observed again.

3. Concerning the other soil-borne diseases controlled by the treatment, following effects were finally obtained. 1) Verticillium wilt of eggplant: No attack could be seen in treated plot. Infestation rate of 29% and 48% in browning vascular part were observed in non-treated plot. 2) Rhizoctonia damping-off and foot-rot of spinach: There was no trace of the disease and vigorous germination in treated one. The rate of damping-off plant and healthy one were 17% and 35%, respectively, in non-treated one. 3) Tomato bacterial wilt (*P. solaniciarum* E.F. Smith): There was no occurrence of the disease in 1977, but the infestation rate of 4.3% in browning vascular were observed in the treated one. The reason for the infection, done not clarified yet, may be partly due to survived bacteria or to re-contamination after treatment.

On the other hand, the infestation rate was 17% in non-treated one. In 1978 the symptom was not recognized in the treated one, while the infestation rate was 57% in non-treated one. From the above mentioned observation, solar heat method may be applicable not only to strawberry yellows but to three pathogens.

4. As an additional effect, there is remarkable inhibition of weed growth. Particularly, the seed of *Gramineae* was completely destroyed.

5. To obtain the standard effect by the treatment, germination of some crops were tested in terms of lethal conditions of the pathogens. It seems that there is a clear relationship between germination of rice seed and lethal conditions of *F. oxysporum* f.sp. *fragariae* in the strawberry crown, which have been buried in the soil treated. Therefore, germinating test of rice seed can be usable to judge the effect of heat sterilization.

6. Buried paraffins, which have various melting points, were affected by maximal soil temperature. The paraffins of 44–42°C or 46–45°C in m.p., which were poured into screw vials and buried in the soil treated, are suitable that the maximal temperatures at the 20cm-depth might be guessed.

7. It is found that soil temperature at 20cm-depth in treated house moves coincidentally with that at 10cm in the open field, especially with maximal temperature averaged for 3 days. In this relationship, the following equation was obtained:

$$Y = 3.03X - 46.85, r = 0.8623^{**}$$

where Y = soil temperature (°C) at the depth of 20cm in treated house; X = average maximal soil temperature of 3 days at the 10cm-depth in the open field.

But, it may be necessary to adjust this equation according to heat input and output in vinyl-house treated as they may be affected by size of vinyl house.