

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

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裝備化、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、連作による土壤条件の劣悪化や土壤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壤伝染性病害（以下土壤病害と略）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壤消毒の有効なことを明らかにした¹⁰⁾。しかしながら、広範な本場の土壤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。

土壤消毒は土壤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壤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壤消毒法の実

用化試験を行ってきた。本報告では土壤伝染性病原菌の死滅に關与する温度、灌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壤温度の年次変動を調べ、土壤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* 当场保存 No. S-11)、イチゴ芽枯病菌 (*Rhizoctonia solani* 当场保存 No. SR-3)、トマト白絹病菌 (*Corticium rolfsii* 当场保存 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°C、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。灌水、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2~3cm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)を用い稀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を覆った。畦間には十分に灌水し、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年は畦間灌水とし、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分	30分	1日	3日	6日	12時	1日	2日	3日	4日	5日	6日	
<i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>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ほ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。

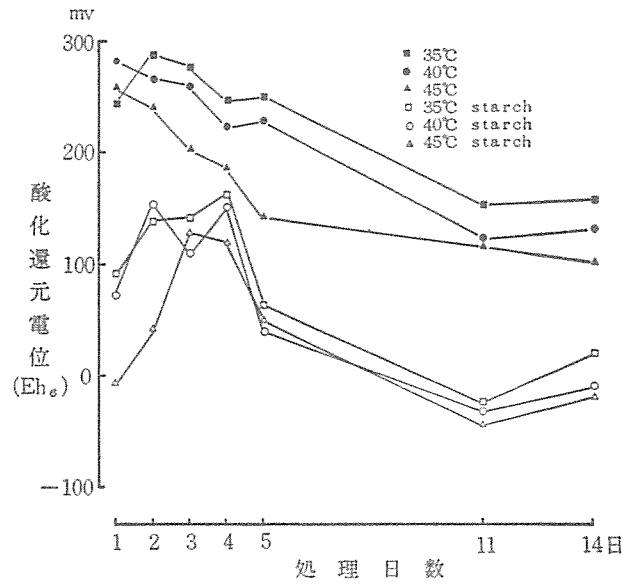
実験期間中の酸化還元電位 (Eh) は第1図に示すように、実験開始時から急激に低下し、時間の経過とともに徐々に低下する傾向を認めた。Eh₆ の値は高温、でんぷん添加区が低い値を示した。

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

土壤温度 ℃	でんぷん W/W%	Fusarium oxysporum菌数 ×10 ² /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) 処理区は湛水条件とした



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、湛水、有機物資材など要因の組み合わせにより土壤消毒に要する到達目標の土壤温度は40℃前後と設定することができた。

第3表 ハウス土壤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 rolfsii</i> (菌核)	5	0	0	0	100	
	10	0	0	0	100	
	15	0	0	0	95	
<i>Verticillium 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 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	
TMV (トマトリ病茎)	5	100	100	100	100	
	10	100	100	100	100	
	15	100	100	100	100	

1-3 ハウス内土壤に埋没した病原菌（体）の検出

実際の密閉ハウス内の土壤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、標準無処理区の土壤温度は地表下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。

ナス半身萎ちよう病、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から、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

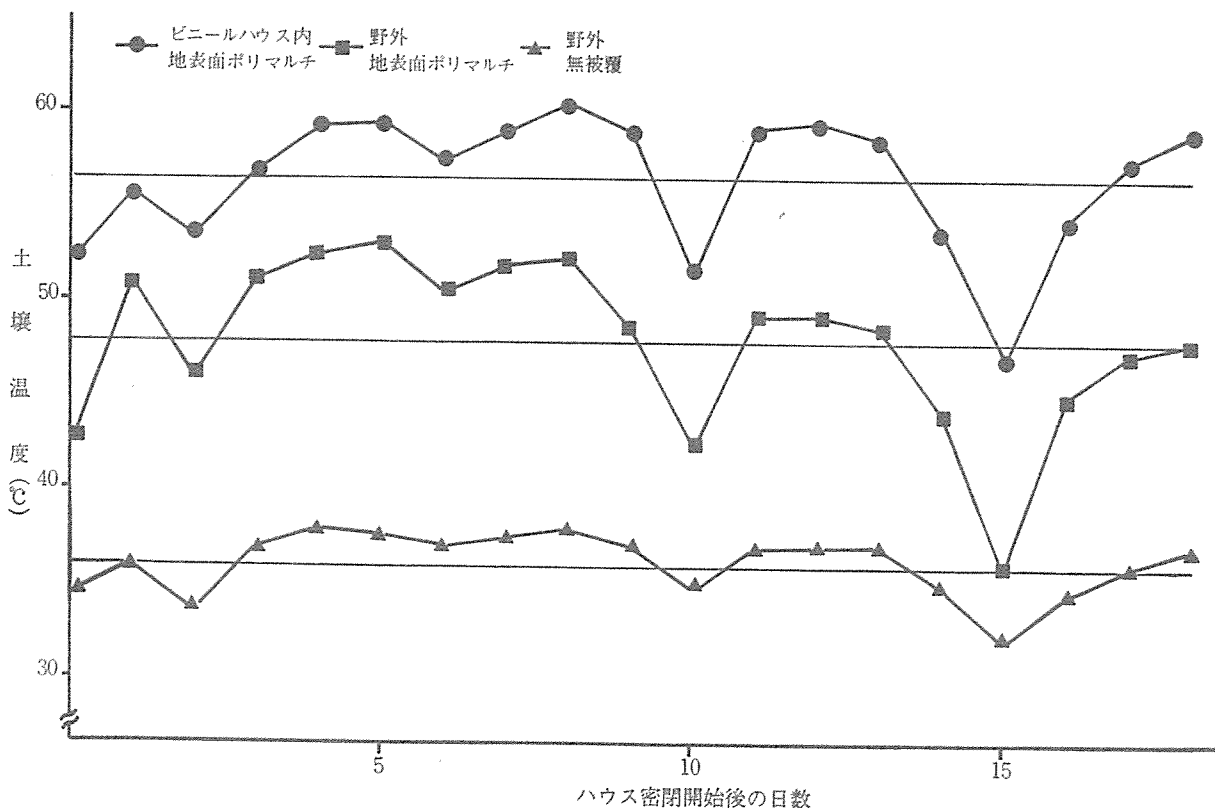
していた。しかし、ハウス開放後にみられる有機物の急激な分解過程から想定して不活性化が考えられるが、1978年の追試結果からハウス開放23日後にも *N. glutinosa* に局部病斑をわずかながら形成し、活性が持続していた。

2. ハウス密閉処理の方法と土壤温度の変化

2-1 ビニルハウス、地表面プラスチック製品の被覆と土壤温度

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壤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。



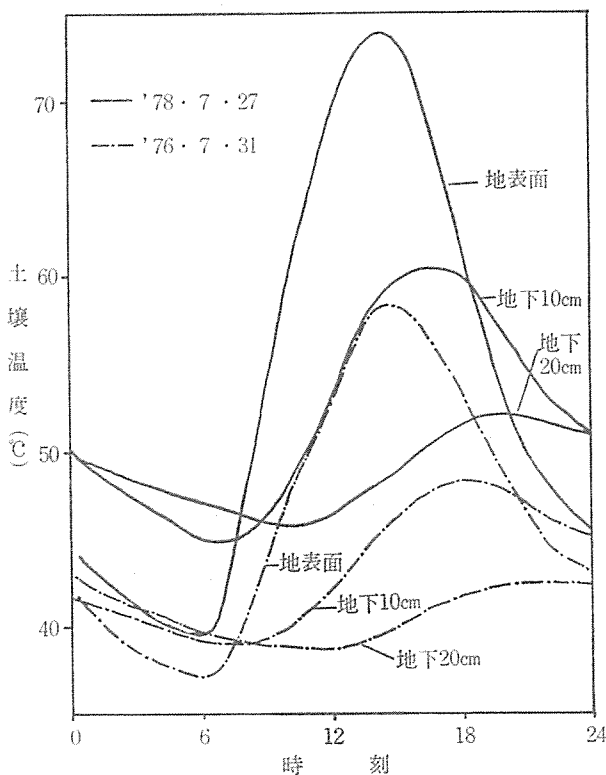
第2図 ビニルハウス・地表面ビニル被覆による土壤温度の上昇効果

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って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った。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。



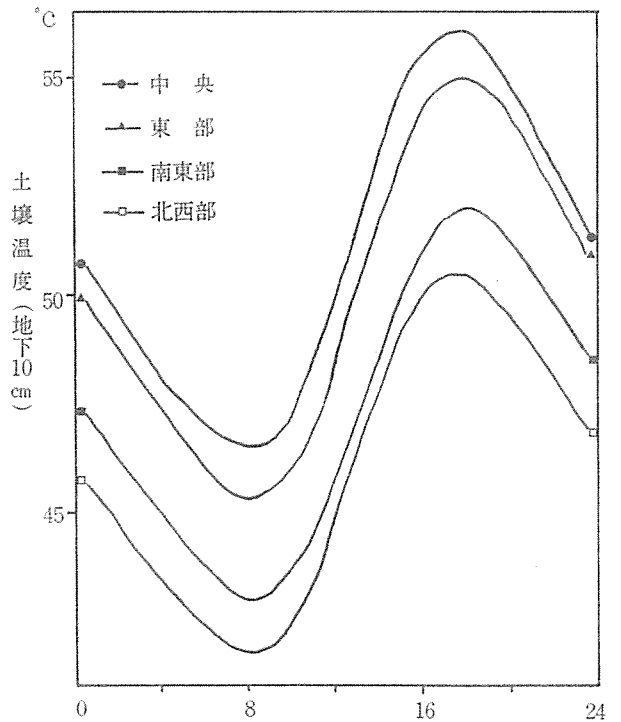
第3図 ハウス密閉処理中の土壌温度の日変化

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ほか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って、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。

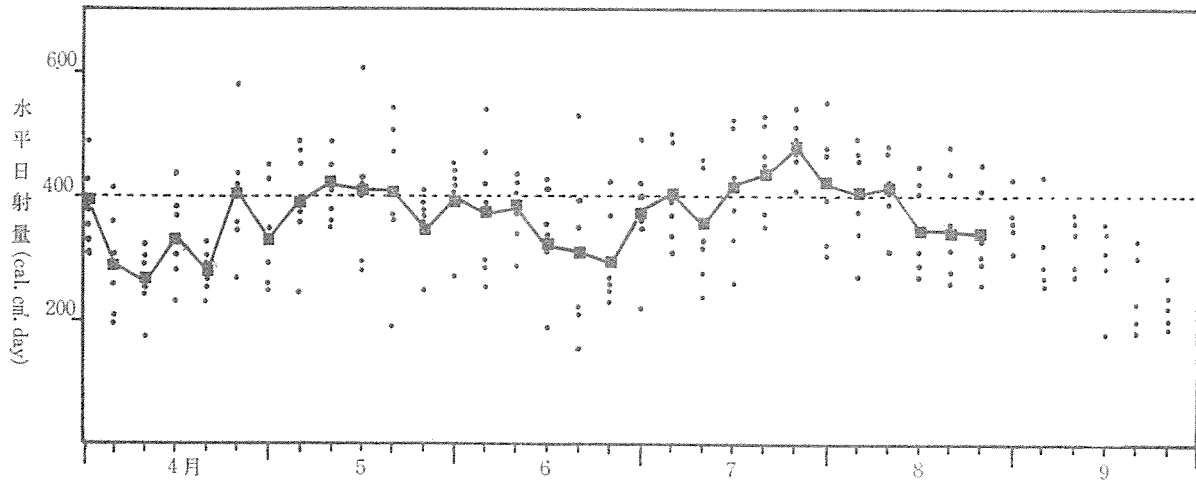
2-4 処理年次による水平日射量と土壌温度別の被熱時間数

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。

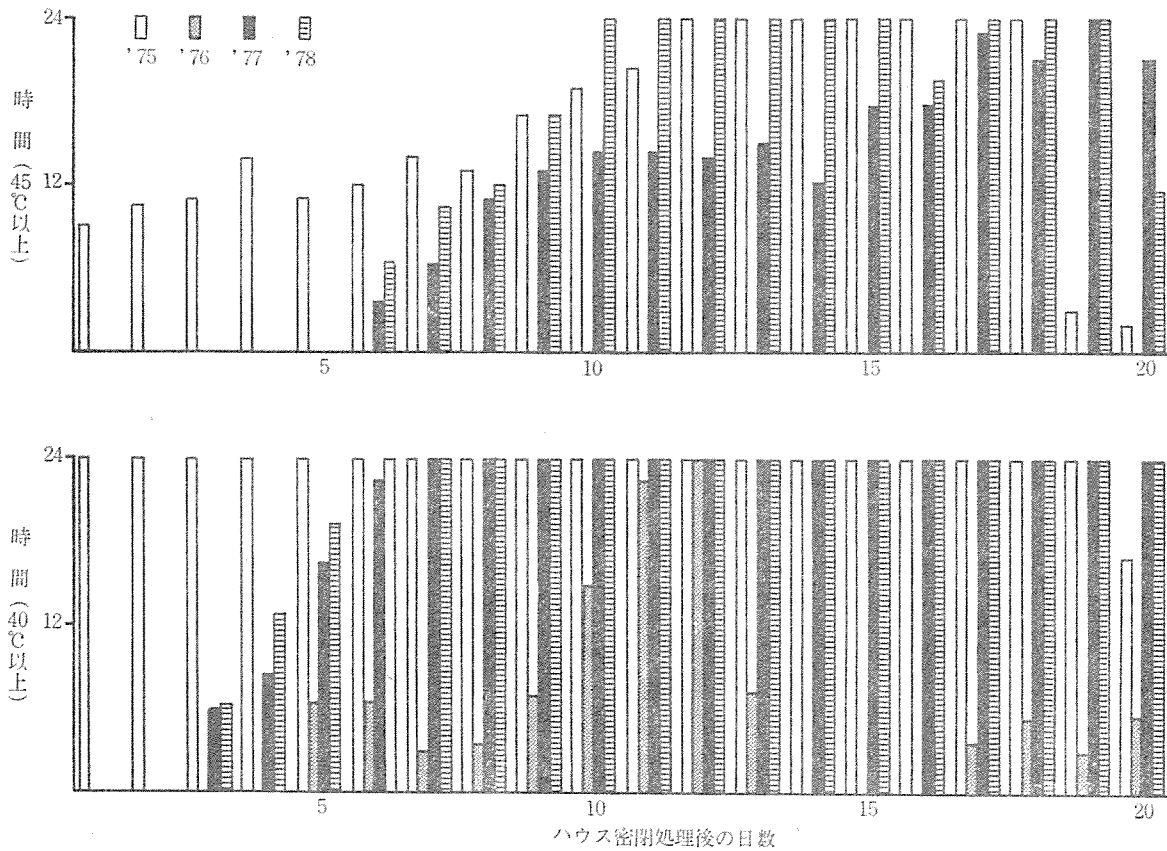
当場における1973年～1978年の6か年の半旬別の平

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から高地温となり、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から短期間に昇温し、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℃以上となる日当た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湛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、湛水、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⁶⁾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、試験ほ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、ほ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ほ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、でんぷ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. rolfisii*) の菌糸、菌核ではより短時間の被熱で死滅した。

2. 密閉ハウス内の土壤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壤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、表面はビニルまたはポリエチレンフィルムで被覆した。土壤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500ly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. ハウス内の土壤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。土壤温度の最高値は地表72.3℃、地表下10cm60.5℃、地表下20cm53.2℃(1975年7月31日)であった。

6. ハウス内土壤の地表下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℃以上の土壤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. 土壤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壤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壤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たられた当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. 水利用による土壤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關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. 駒田且 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.
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. 奈良農事試臨時報告第6号 1936. 西瓜蔓割病(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・斎藤 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.

Additionally, to form an ideal-soil conditions, chopped rice straw (1 to 2 tons/10a) and other rough organic materials (green manure, saw-dust, barnyard manure etc.) were ploughed into the soil together with calcium cyanamid (100 to 150 kg) before irrigation.

1. The volumes of solar radiation and soil temperatures recorded in the experimental house are as follows : 1) The former obviously changed year by year. The highest solar radiation in every 5-day period (during a month) in the past six years was marked in the 6th period in July, and the second highest one in the first period in August. 2) The ratios of days on which over 500 ly a day was recorded in every treatment period were 63% in 1975, 23% in 1976, 36% in 1977 and 54% in 1978, respectively. 3) Maximal soil temperatures in these experimental years were 72.3°C on the surface, 60.5°C at 10 cm-depth and 53.2°C at 20 cm (recorded July 31, 1975, the most insolated year), while soil temperature never rose to 45°C at the 20 cm-depth in the least insolated year. 4) The ratios of daily hours in when soil temperature of higher than 40°C was maintained at the 20 cm-depth during the treatment period were 98% in 1975, 24% in 1976, 82% in 1977 and 85% in 1978, respectively. About 7 or 8 days were necessary to keep the temperature at 40 C throughout day and night, and about 10 days necessary for getting 45 C even in the most insolated year. 5) There were daily change of soil temperature, which was also affected by the depth. Thermal peaks were recorded between 1 p.m. and 2 p.m. at the lower layer (e.g. between 7 p.m. and 8 p.m. at the 20 cm-depth). Daily change at the 20 cm-depth took place with a variation of 5°C in range. Change in temperature there was smaller than that on the surface.

2. The following inocula were buried into the soil at various depths in various periods to investigate their lethal exposure conditions. 1) Sclerotia of *Corticium rolfsii* (Saccardo) Curzi were not detected at the depth of 15 cm 3 days after the treatment. 2) *Fusarium oxysporum* f.sp. *fragariae* Winks et Williams in the strawberry crowns and roots and *Verticillium albo-atrum* Reinke et Berthold in the egg-plant stems were eliminated from the place of 5 cm-depth after 3 days, and from 15 cm-depth after 6 days. 3) TMV in tomato stems remained active until the 21st day since the treatment, however it decreased gradually in activity because of the decomposition of ploughed organic materials which had been brought about by house opening.

3. In another test, lethal exposures at 45°C concerning *F. oxysporum* f.sp. *fragariae* are recognized as follows : 24 hours for hyphae and conidia in the liquid medium, 3 days in the strawberry crowns and roots, and 6 days for the chlamidospores in the originally contaminated soil. Lethal exposures were shortened according to the rise in temperature. Submerging and added starch still more shortened these above lethal exposures in 4 days at 45°C and 8-14 days at 40°C.

Fungi of *Rhizoctonia solani* Kühn (strawberry crown and stem rot) and *C. rolfsii* (tomato southern blight) were destroyed easily by more mild treatments.

From the practical standpoint solar heating sterilization in closed vinyl house seem to be very effective in the midsummer in the south-western area in Japan, particularly in the most insolated period toward the end of July.