

大分方式高設栽培における太陽熱消毒によるイチゴ萎黄病の防除対策

石松敏樹・岡本潤・後藤英世

Control of Fusarium Wilt (*Fusarium oxysporum* f. sp. *fragariae*) on Strawberry in Oita System Bench-cultured Using Solar Heating Disinfestation

Toshiki ISHIMATSU, Jun OKAMOTO and Hideyo GOTO

大分県農林水産研究指導センター農業研究部

Oita Prefectural Agriculture, Forestry and Fisheries Research Center

キーワード：イチゴ萎黄病、太陽熱消毒、高設栽培、土壌くん蒸剤、残渣

目次

I 緒言	9
II 太陽熱消毒と薬剤処理との併用効果	9
III 太陽熱消毒と残渣除去との併用効果	13
IV 太陽熱消毒と湛水処理との併用効果	15
V 現地圃場における実証効果	16
VI 総合考察	17
VII 摘要	17
VIII 謝辞	17
引用文献	17

I 緒言

イチゴ萎黄病は、1965年にオーストラリアで初めて報告され²³⁾、その後1970年に国内で初めて岡山県など数県でほぼ同時期に発生が確認された^{11,12)}。大分県では、1973年に初発が確認されて以降、急速に発生が拡大したが、1984年から開始されたウイルスフリー苗の配布とともに、発生は減少傾向を示した。しかしながら、1995年以降は栽培面積の1割を超えるようになり、以後漸増傾向となっている¹⁴⁾。

本病の発生が確認されて以降、病原菌の生態や防除に関する研究が進められ^{4,10)}、防除技術の一つとして土耕栽培において太陽熱消毒技術が確立された⁸⁾。更に、イチゴ栽培の労力負担軽減を図るために、全国各地で高設栽培技術が確立されると、各県独自の栽培槽や培地が用いられるようになり、それぞれの方式に応じて太陽熱消毒技術の研究が進められてきた^{6,8,15,18)}。

本県では、1992年に大分方式高設栽培が開発され¹⁾、本方式によるイチゴ栽培面積は、現在県全体の約65%まで普及している。本方式では培地に杉バークを使用しており、長期連用を行っているため萎黄病の発生が

みられるようになった。本方式における病害虫防除対策は2008年に総合防除体系が確立されたものの¹³⁾、土壌病害対策は未確立であった。このため、簡便で土壌病害対策に有効な太陽熱消毒の利用が考えられたが、様々なハウス内環境下での効果や土壌くん蒸剤との併用効果等は不明な部分があった。

また、太陽熱消毒はハウスを密閉して高温状態で行う方が効果が高く、処理期間の短縮が可能であるが、一方でハウス内資材の劣化や機器類の障害の発生が懸念される。

そこで本研究では、大分方式高設栽培におけるイチゴ萎黄病の防除のために、開放状態のハウスにおける太陽熱消毒の効果的な処理技術を検討した。また、太陽熱消毒のみでは効果が不十分な場合を想定し、太陽熱消毒と併用する薬剤処理、残渣除去処理および湛水処理の防除効果を併せて検討した。

II 太陽熱消毒と薬剤処理との併用効果

近年普及している大分方式高設栽培においては、土耕栽培で利用されている太陽熱消毒の効果については不明な点が多いため、太陽熱土壌消毒の単独の効果と薬剤処理との併用効果を検討した。

1. 試験方法

試験は農林水産研究センター安全農業研究所（大分県宇佐市）の間口6m、長さ15mのビニルハウスにおいて、2006年～2009年に実施した。杉バークを培土とする幅30cm、深さ25cm、長さ8mの大分方式高設栽培ベンチを使用して行った。

試験区の設置概要を表1に示した。各年とも前年に定植した「さがほのか」の栽培終了株に、鋸で深さ15cmまで根に切れ目を入れたのち、PS液体培地で培養した当所保存のイチゴ萎黄病菌 (*Fusarium*

oxysporum) の胞子を1ml当たり 10^5 個に調整した懸濁液を、各年の6月20日～7月3日の間に1ベンチ当たり50ℓ流し込み接種を行い、7月下旬に地上部を

切り取った。その間に伸長したランナーを採取し、*F. oxysporum*選択培地（Fo-W4）⁷⁾を用いて罹病率を調査した。

表1 各年の処理概要

試験年次	試験区	接種月日	太陽熱消毒期間	太陽熱消毒中のハウスビニル除去	罹病残渣	定植月日	定植株数(株/区)
2006	太陽熱消毒、クロルピクリンくん蒸剤併用 太陽熱消毒、カーバムナトリウム塩液剤併用 太陽熱消毒	7/3	8/1～8/30	サイド除去	有	10/16	40
	無処理区						
2007	太陽熱消毒、クロルピクリンくん蒸剤併用 太陽熱消毒、カーバムナトリウム塩液剤併用 太陽熱消毒	6/20	8/1～8/15 8/1～8/30	天井、サイド除去	有	9/26	80
	無処理						
2008	太陽熱消毒、クロルピクリンくん蒸剤併用 太陽熱消毒 太陽熱消毒、カーバムナトリウム塩液剤併用 太陽熱消毒	6/27	8/1～8/30 8/1～8/15	天井、サイド除去	有 除去	9/25	40
	無処理		有				
2009	太陽熱消毒、クロルピクリンくん蒸剤併用 太陽熱消毒、カーバムナトリウム塩液剤併用 太陽熱消毒	6/26	8/5～9/3	天井、サイド除去	除去	9/18	40
	無処理				有		

試験区は、太陽熱消毒・くん蒸型土壤消毒剤併用区、太陽熱消毒区および無処理区を設け、1区1.5㎡で反復無しとした。土壤消毒は、カーバムナトリウム塩液剤の場合、ビニル被覆後に100倍希釈液を動力噴霧機から灌水チューブを通して、ベンチ実面積換算で10a当たり原液として60ℓを処理した。クロルピクリンくん蒸剤（錠剤）の場合、30cm当たり1錠の割合で高設ベンチに1列に埋め、5cm厚に覆土したのち、ビニルで被覆した。ビニル被覆は、何れも0.1mm厚農業用ビニルを2重にして土壤表面のみを覆い、8月を中心に30日間または15日間処理した。無処理区は全期間被覆をしなかった。ハウスビニルの被覆については、2006年はサイドビニルのみ除去し、2007年から2009年はサイドビニルおよび天井ビニルの両方を除去して行った。

処理終了後に、苦土石灰を株当たり6gと被覆燐硝酸加里をN成分で株当たり4g施肥した。9月中旬から10月中旬に株間25cm、条間20cmの2条千鳥植えて、1区当たり40株または80株定植した。10月下旬に天井ビニルを展張し、11月上旬に黒ポリフィルムでマルチした。冬期は25℃で換気し、最低夜温は6℃で管理した。

調査は、定植後1か月おきに発病の有無を調査した。萎黄病菌の菌数測定のため、1試験区当たり5か所から土壤を採取し、軽く風乾した後に、土壤を

Fo-W4培地に1シャーレ当たり0.1g、1区当たりシャーレ10枚に広げ、概ね20日後に*F. oxysporum*のコロニー数を計測した。2006年は約1か月毎に、その他の年は適宜菌数測定を行った。土壤くん蒸剤の濃度推移の測定のため、北川式ガス検知管で高設ベンチ内の気相部分を5か所を採取し、経時的にクロルピクリンおよびカーバムナトリウム塩のガス濃度を測定した。

2. 結果および考察

1) 培地内温度推移

2006年の太陽熱消毒期間中の高設ベンチ中の地温は、深さ5cmの上層部では、*F. oxysporum*菌が死滅するために目標とする積算時間が十分に確保されていた。深さ20cmの下層部では、45℃以上の高温域の積算時間が不足していたものの、40℃以上の積算時間は目標積算時間の192時間を超え209時間となった（表2）。

2008年は、上層部分および下層部分ともに、目標積算温度を確保できなかった（表2）。この要因として、8月中旬以降の日照時間が少なく経過したことが考えられた（表3）。

表2 太陽熱消毒期間中の各温度域の積算時間（8月1日～30日）

試験年次	測定深さ (cm)	積算時間 (時間)			
		40度以上	45度以上	50度以上	55度以上
2006	5	252	153	55	17
	20	209	86	19	0
2008	5	165 (35) ¹⁾	89 (13)	26 (0)	0
	20	99 (13)	15 (0)	0	0
目標積算時間 ²⁾		192	144	48	12

注1) () は左の数値のうち、8月16日～30日までの間の時間。

2) 目標積算時間は小玉・福井 (1979) による

表3 太陽熱消毒期間中（8月）の日照時間¹⁾

試験年次	日照時間 (時間)			
	上旬	中旬	下旬	合計
2006	105.5	59.7	82.5	247.7
2007	71.4	92.3	84.7	248.4
2008	81.5	55.4	54.1	191.0
2009	43.5	62.9	88.0	194.4
平年	68.2	65.2	73.2	206.4 ²⁾

注1) 大分県豊後高田市のアメダスデータ使用

2) ラウンドの関係で一致しない

2) 土壌くん蒸剤のガス濃度推移

2006年に高設栽培ベンチ内における土壌くん蒸剤のガス濃度を測定した結果、クロルピクリンくん蒸剤は処理4日後に、カーバムナトリウム塩液剤は処理3日後には検出限界以下となった（表4）。

表4 土壌中のガス濃度の推移

供試薬剤	ガス濃度 (ppm)		
	8/3 (処理2日後)	8/4 (処理3日後)	8/5 (処理4日後)
クロルピクリンくん蒸剤	16<	2	0.05>
カーバムナトリウム塩液剤	22	10>	10>

3) 菌密度の推移

各年とも太陽熱消毒を開始する前に、高設ベンチ土壌の*F. oxysporum*菌を分離した結果、ほぼ均一な状態がみられた（表5、表6）。

2006年の推移については、太陽熱消毒開始15日後（8月15日）における*F. oxysporum*菌の密度は、無処理区で高く太陽熱消毒区および太陽熱消毒と薬剤処理

の併用区で一旦検出限界以下になったが、その後は若干増加する傾向がみられた。このことは、萎黄病罹病残渣等に残っている菌が土壌消毒後に増殖している可能性が考えられた。薬剤の違いによる菌密度への大きな差は認められなかった（表5）。定植後は無処理区のみ増加傾向がみられ、他の区は大きく減少した（表5、表6）。

表5 *F. oxysporum*の菌密度の推移（2006年）

試験区	深さ (cm)	菌密度 (CFU/g 乾土)								
		7/10 接種 7日後	8/1 太陽熱消 毒開始前	8/15 太陽熱消毒 開始15日後	9/1 太陽熱消 毒終了時	10/2	11/1	12/1	1/4	2/1
太陽熱消毒、クロルピ クリンくん蒸剤併用	5	- ¹⁾	-	0.1>	2	6	8	-	-	-
	15	85	124	-	-	-	-	8	3	1
	25	-	-	0.1>	2	9	8	-	-	-
太陽熱消毒、カーバム ナトリウム塩液剤併用	5	-	-	0.1>	18	16	35	-	-	-
	15	992	102	-	-	-	-	37	32	26
	25	-	-	0.1>	0.1>	7	19	-	-	-
太陽熱消毒	5	-	-	2	10	24	33	-	-	-
	15	698	127	-	-	-	-	75	10	36
	25	-	-	0.1>	5	60	6	-	-	-
無処理	5	-	-	345	31	16	492	-	-	-
	15	70	185	-	-	-	-	368	497	225
	25	-	-	56	44	22	657	-	-	-

注1) -は非調査

表6 *F. oxysporum*の菌密度の推移

試験 年次	試験区	菌密度 (CFU/g 乾土)			
		太陽熱消 毒開始前	定植前	定植 4ヵ月後	定植 8ヵ月後
2007	太陽熱消毒15日、クロルピクリンくん蒸剤併用	478	12	29	156
	太陽熱消毒15日、カーバムナトリウム塩液剤併用	493	8	36	139
	太陽熱消毒30日	583	16	5	21
	無処理	510	844	902	315
2008	太陽熱消毒30日、クロルピクリンくん蒸剤併用	102	7	54	62
	太陽熱消毒30日	102	10	28	73
	太陽熱消毒15日、カーバムナトリウム塩液剤併用	85	0.1>	47	72
	太陽熱消毒15日	99	0.1>	19	45
	無処理	78	133	137	326

4) 太陽熱消毒と薬剤処理との併用による防除効果

各年における太陽熱消毒と薬剤処理による萎黄病の発病推移を表7に示した。

2006年は、萎黄病で枯死した株は全試験区で認められなかったが、最終調査において無処理区の22.5%で生育不良株が生じた。株が枯死に至らなかった理由として、定植日が10月16日と遅く、発病適温の期間が短かったことが考えられた。無処理区以外の全ての処理区で生育不良株が生じなかったことから、太陽熱消毒は一定の効果があると推察された。

2007年は、無処理区で定植後からの生育が緩慢で、10月下旬に81.2%の株で発病を認め、11月下旬には100%の株が発病し、枯死に至った。30日間の太陽熱消毒区は全く発病が認められず、クロルピクリンくん

蒸剤、又はカーバムナトリウム塩液剤を併用し、太陽熱消毒期間を15日間に短縮した区では、11月下旬に発病がみられ、それ以降発病株の増加が認められた。

2008年は、10月下旬に無処理区で42.5%の株で発病し、1月下旬には50.0%の株で、5月下旬には全ての株で発病が認められた。その他の処理区では11月下旬～12月下旬に発病がみられ始め、その後増加したものの無処理区の発病株率より低く、特にクロルピクリンくん蒸剤およびカーバムナトリウム塩液剤を併用した区の最終の発病株率は7.5%および12.5%と低かった。

2009年は、無処理区で10月下旬から全ての株が発病したのに対し、太陽熱消毒区は11月下旬から12.5%の株に発病が認められ、薬剤と併用した区は全く発病が認められなかった。

表7 萎黄病の発病株率の推移

試験年次	試験区	太陽熱消毒期間	罹病残渣	発病株率 (%)							
				10月下旬	11月下旬	12月下旬	1月下旬	2月下旬	3月下旬	4月下旬	5月下旬
2006	太陽熱消毒、クロルピクリンくん蒸剤併用	8/1~8/30	有	0	0	0	0	0	0	0	0
	太陽熱消毒、カーバムナトリウム塩液剤併用	8/1~8/30	有	0	0	0	0	0	0	0	0
	太陽熱消毒	8/1~8/30	有	0	0	0	0	0	0	0	0
	無処理区		有	0	0	2.5	7.5	7.5	10.0	10.0	22.5
2007	太陽熱消毒、クロルピクリンくん蒸剤併用	8/1~8/15	有	0	6.3	17.5	18.8	20.0	20.0	21.3	42.5
	太陽熱消毒、カーバムナトリウム塩液剤併用	8/1~8/15	有	0	7.5	8.8	11.3	12.5	12.5	12.5	13.8
	太陽熱消毒	8/1~8/30	有	0	0	0	0	0	0	0	0
	無処理		有	81.2	100	100	100	100	100	100	100
2008	太陽熱消毒、クロルピクリンくん蒸剤併用	8/1~8/30	有	0	0	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	7.5
	太陽熱消毒	8/1~8/30	有	0	2.5	2.5	12.5	12.5	12.5	12.5	22.5
	太陽熱消毒、カーバムナトリウム塩液剤併用	8/1~8/15	除去	0	2.5	2.5	7.5	7.5	7.5	10.0	12.5
	太陽熱消毒	8/1~8/15	除去	0	2.5	2.5	5.0	5.0	7.5	7.5	50.0
	無処理		有	42.5	45.0	45.0	50.0	50.0	50.0	52.5	100
2009	太陽熱消毒、クロルピクリンくん蒸剤併用	8/5~9/3	除去	0	0	0	0	0	-	-	-
	太陽熱消毒、カーバムナトリウム塩液剤併用	8/5~9/3	除去	0	0	0	0	0	-	-	-
	太陽熱消毒	8/5~9/3	除去	2.5	12.5	12.5	12.5	12.5	-	-	-
	無処理		有	95.0	100	100	100	100	-	-	-

以上の結果から、8月の30日間の太陽熱消毒では、2006年の場合は、培地内深さ20cmにおける地温40度以上の積算時間が209時間となり、萎黄病に対し高い防除効果が認められたが、2008年の場合は、積算時間が99時間となり防除効果は低かった。防除効果を得るには、小玉らが報告²⁾している培地温40度以上の積算時間を192時間以上確保することが必要と考えられた。また、太陽熱消毒とクロルピクリンくん蒸剤およびカーバムナトリウム塩液剤を併用すると、太陽熱消毒の効果不足を補ないうる可能性が示唆されたが、15日間の太陽熱消毒では、何れの薬剤を併用しても十分な効果が得られなかった。

Ⅲ 太陽熱消毒と残渣除去との併用効果

太陽熱消毒を実施期間中の日照時間が少なく推移した場合に、防除効果を高めるために太陽熱消毒と残渣除去との併用効果を検討した。

1. 試験方法

試験は、農林水産研究センター安全農業研究所のハウスにおいて、2006年および2009年に実施した。試験区には、萎黄病罹病株の地上部を切り取り、クラウンを含む根部はそのまま残し太陽熱消毒のみを行う区と、地上部と根部を取り除いて太陽熱消毒を行う残渣除去区と、無処理区の3区を設けた。その他の処理概要および栽培方法は、Ⅱ-1. の試験方法と同様に行った。

2. 結果および考察

太陽熱消毒終了時である9月1日における*F. oxysporum*の菌密度は無処理区で高く、太陽熱消毒区および太陽熱消毒と残渣除去を併用した区で低かった。太陽熱消毒と残渣除去を併用した区は、10月2日までは検出限界以下となり、その後も低く推移した。太陽熱消毒区は9月1日以降は再び増加傾向が認められ、このことは、罹病残渣等に残っている萎黄病菌が土壤消毒後に増殖している可能性が考えられた（表8）。

萎黄病の発病株の推移は、2006年は無処理区で12月

下旬の2.5%から最終調査では22.5%に増加したのに対し、太陽熱消毒区および太陽熱消毒と残渣除去を併用した区では全く発病は認められなかった（表9）。2009年は、無処理区の全ての株で発病が認められ、太陽熱消毒区は37.5%の発病であったのに対し、残渣除去を併用した場合は発病株率12.5%にとどまった。

以上の結果から、日照時間が少なく、培地温40度以上の目標積算時間192時間を確保出来ない場合は、太陽熱消毒のみでは不十分であったため、太陽熱消毒前に残渣除去を行うことが必要と考えられる。

表8 *F. oxysporum*菌密度の推移（2006年）

試験区	深さ (cm)	菌密度 (CFU/g 乾土)								
		7/10 接種 7日後	8/1 太陽熱消 毒開始前	8/15 太陽熱消毒 開始15日後	9/1 太陽熱消 毒終了時	10/2	11/1	12/1	1/4	2/1
太陽熱消毒、 残渣除去併用	5	-	-	-	0.1>	0.1>	8	-	-	-
	15	-	-	-	-	-	-	2	0.1>	5
	25	-	-	-	0.1>	0.1>	4	-	-	-
太陽熱消毒	5	-	-	2	10	24	33	-	-	-
	15	98	127	-	-	-	-	75	10	36
	25	-	-	0.1>	5	60	6	-	-	-
無処理	5	-	-	345	31	16	492	-	-	-
	15	70	185	-	-	-	-	368	497	225
	25	-	-	56	44	22	657	-	-	-

表9 太陽熱消毒と残渣除去処理後の萎黄病の発病株率の推移

試験 年次	試験区	発病株率 (%)					
		10月下旬	11月下旬	12月下旬	1月下旬	2月下旬	3月下旬
2006	太陽熱消毒、残渣除去併用	0	0	0	0	0	0
	太陽熱消毒	0	0	0	0	0	0
	無処理区	0	0	2.5	7.5	7.5	10.0
2009	太陽熱消毒、残渣除去併用	2.5	12.5	12.5	12.5	12.5	-
	太陽熱消毒	30.0	37.5	37.5	37.5	40.0	-
	無処理	90.0	100	100	100	100	-

IV 太陽熱消毒と湛水処理との併用効果

大分方式高設栽培における太陽熱消毒において、培地内の水分量の違いによる防除効果の差異を明らかにするために、太陽熱消毒時の湛水の有無の影響を検討した。

1. 試験方法

試験は2008年に、農林水産研究センター安全農業研究所のハウスにおいて実施した。試験区には太陽熱消毒区、太陽熱消毒+湛水処理区、および無処理区を設け、1区1.5㎡で反復はとらなかった。湛水処理区のみ深さ8cmの位置まで水を湛水し、太陽熱消毒終了後に排出した。その他の処理概要および栽培方法は、II-1.の試験方法と同様に行った。

2. 結果および考察

湛水処理区の深さ20cmの地温は、湛水しなかった区と比較して低く推移し、萎黄病菌の死滅する目標積算時間には至らなかった(表10)。しかしながら処理25日後の病原菌密度は、湛水処理を併用した区が検出限界以下となり、定植4ヵ月後までは太陽熱消毒のみの区よりも低く推移した(表11)。萎黄病の発病株率は、無処理区では10月27日に42.5%の株で認められて以降増加し、最終的には全ての株で発病した。(表12)。太陽熱消毒のみの区では、11月26日に2.5%の株で発病して以降低く推移し、湛水処理と併用した区では4月27日まで全く認められず、5月26日以降増加した。

以上の結果から、湛水処理は萎黄病菌の死滅に有効と考えられた。また、5月以降の萎黄病の発生は、罹病残渣を除去しなかったことによるものと考えられた。

表10 処理期間中の地温(2007年8月)

湛水の有無	測定深さ	積算時間(時間)		
		40度以上	45度以上	50度以上
湛水有り	20cm(水位の半分)	73(3) ¹⁾	0	0
湛水無し	20cm	99(13)	15	0
	5cm	165(35)	89(13)	26
目標積算時間 ²⁾		192	144	48

注1) () は左の数値のうち、8月16日~30日までの間の時間。

2) 目標積算時間は小玉・福井(1979)による

表11 *F. oxysporum* 菌の密度の推移(2007年)

試験区	菌密度(CFU/g乾土)			
	7/31 処理前	9/25 処理25日後	1/25 定植4ヵ月後	5/25 定植8ヵ月後
太陽熱消毒、湛水処理併用	82	0.1>	4	157
太陽熱消毒	102	10	28	73
無処理	78	133	137	326

表12 萎黄病累計発病株率の推移(2008年)

試験区	発病株率(%)									
	10/27	11/26	12/18	1/26	2/26	3/26	4/27	5/26	6/26	
太陽熱消毒、湛水処理併用	0	0	0	0	0	0	0	5.0	25.0	
太陽熱消毒	0	2.5	2.5	12.5	12.5	12.5	12.5	22.5	30.0	
無処理	42.5	45.0	45.0	50.0	50.0	50.0	52.5	100	100	

V 現地圃場における実証効果

イチゴ萎黄病に対して、高設ベンチの30日間の太陽熱消毒が有効と考えられたため、現地実証を行い防除効果を検討した。

1. 試験方法

2008年5月に大分県佐伯市内のイチゴ生産者の高設栽培（A社、ベンチ素材：ポリエチレン製不織布シート）圃場において、萎黄病の発生調査を行い、発生が多かったA、BおよびCの3戸の圃場を選定した。各圃場において、耕耘機で耕耘した後に残渣を拾い集め、カーバマナトリウム塩液剤を規定量処理し、ベンチ全体をビニルで被覆した。被覆期間は、A圃場は7月10日から7月30日、B圃場は7月11日から8月19日、C圃場は7月18日から8月9日（下段のみ9月9日）とした。太陽熱消毒期間中のハウスの状態は、A圃場は開放し、B圃場およびC圃場は密閉し、換気温度を50度で設定した。定植苗はA圃場のみ自家苗を供試し、BおよびC圃場は購入苗を供試した。各圃場とも1ベンチ当たり150株、計3ベンチを調査した。処理期間中、深さ10cmの位置で地温を測定するとともに、ベンチ内の*F. oxysporum*菌密度を調査し、太陽熱消毒の効果を確認した。

2. 結果および考察

萎黄病菌の滅菌に有効な培地温の積算時間は、各圃場とも目標とする時間を大きく上回り、特にハウスを密閉したB圃場およびC圃場は、A圃場に比べ十分な温度が確保できた（表13）。

ベンチ内の培地における*F. oxysporum*菌の密度推移を調査した結果、処理開始前の5月にA圃場およびC圃場で、乾土1g当たり423CFUおよび281CFUの*F. oxysporum*菌を確認したが、定植直前の9月ではいずれの圃場も乾土1g当たり0.1CFU未満に減少したものの、定植約2か月後の11月調査時点では、A圃場において著しい増加が認められた（表14）。

11月の調査においてA圃場の0.4%で萎黄病の発生が認められたが、他の圃場では認められなかった（表15）。十分な太陽熱消毒の積算時間があったにもかかわらずA圃場において菌密度の増加および萎黄病の発生が認められた原因は、前年に発生した圃場から採取した苗が含まれ罹病していた可能性が考えられた。

以上のことから、薬剤を併用した太陽熱消毒はイチゴ萎黄病に対して有効であり、ハウスを密閉すると高い防除効果が得られると考えられた。

表13 積算地温の概況

圃場	ベンチ位置 (深さ10cm)	積算地温 (時間)			
		40度以上	45度以上	50度以上	55度以上
A	上段	383	272	188	113
	下段	348	227	148	66
B	上段	481	343	254	187
	下段	412	297	217	167
C	上段	512	321	223	153
	下段	456	300	209	143
目標積算時間 ¹⁾		192	144	48	12

注1) 目標積算時間は小玉・福井（1979）による

表14 土壌中の*F. oxysporum*の菌密度の推移

圃場	ベンチ位置	菌密度 (CFU/g乾土)		
		5月 (試験前)	9月 (定植直前)	11月
A	上段	-	0.1>	70
	下段	423	0.1>	26
B	上段	-	0.1>	0.7
	下段	-	0.1>	1.2
C	上段	281	0.1>	0.1>
	下段	-	0.1>	0.1>

表15 萎黄病の発病株率

圃場	発病株率 (%)	
	5月 (試験前)	11月
A	12.0	0.4
B	-	0
C	61.3	0

VI 総合考察

イチゴ栽培においては全国的に高設栽培が拡大しており、萎黄病の防除のために、土耕栽培で利用されている太陽熱消毒の有効性と、太陽熱消毒と併用する土壌くん蒸剤、残渣除去および湛水の各効果について2006年～2009年に試験した。

太陽熱消毒の単独の効果について検討した結果、8月の処理期間中の日照時間が約248時間となった2006年および2007年の場合、クラウンを含む罹病残渣を残した条件下でも、太陽熱消毒のみで高い防除効果が認められた。一方、8月の処理期間中の日照時間が191.0時間および194.4時間であった2008年および2009年の場合は十分に温度を確保出来ず、罹病残渣を除去しても、防除効果は低かった。萎黄病の防除のための有効積算時間として、小玉らは、地温40℃の場合は192時間必要としており^{2,3)}、2006年の測定では209時間を確保していたが、2008年では99時間しかなかったため、効果に差異が生じたと考えられる。被覆資材としては黒マルチよりも透明マルチの方が培地内温度を高く保持することができるため¹⁵⁾、高設栽培での被覆には透明資材の利用がより有効と考えられる。土耕栽培では土壌消毒後に再発する場合があります、この要因として、下層土壌、或いはハウス内周辺部の消毒不完全土壌が土壌消毒後の耕耘により拡散することが考えられており^{20,21)}、この点では培土の移動を伴わない高設栽培での消毒の方が有利と考えられる。

太陽熱消毒と土壌くん蒸剤との併用による防除効果を検討した結果、クロルピクリンくん蒸剤、又はカーバマナトリウム塩液剤との併用処理は、太陽熱消毒の単独処理より防除効果が低い場合があった。効果が低かった2007年は、太陽熱消毒期間を15日に短縮した条件下であったため、土壌くん蒸剤を併用しても、太陽熱消毒期間の短縮を図ることは難しいと考えられる。土耕栽培においては、既にクロルピクリン錠剤による防除効果が認められており¹⁷⁾、高設栽培においても利用可能と考えられる。

太陽熱消毒と残渣除去処理との併用による防除効果を検討した結果、太陽熱消毒のみの場合に比べ、防除効果は高かった。この原因は、残渣を除去しなかった場合には太陽熱消毒後に萎黄病菌の増加が認められたことから、クラウン内部まで病原菌の死滅温度域に達せず、残存した萎黄病菌の増殖により再発したものと推察された。

太陽熱消毒と湛水処理との併用による防除効果を検討した結果、栽培後期に発病が認められたものの、太陽熱消毒単独よりも効果は高く、長期間に渡って発病を抑制した。森・十河はクロルピクリンによる萎黄病の防除における土壌水分の影響について検討し、萎黄

病の防除効果は、壤土および砂壤土では多湿状態より乾燥状態の方が高く、逆に砂土では多湿状態の方が高いことを報告している⁶⁾。また鈴井らは、太陽熱消毒に温湯注水を併用した場合、還元状態の影響で防除効果が高まることを報告している²⁰⁾。大分方式高設栽培では培土に杉バークを使用しており、3分の1程度を湛水状態にした状態で薬剤併用による太陽熱消毒を行う際に、水量等の湛水条件の検討が更に必要である。また、近年土耕栽培においてイチゴ萎黄病防除のために土壌還元消毒法が開発されており^{16,22)}、これらとの併用効果についても検討する必要がある。

以上考察したように、大分方式高設栽培における萎黄病を対象とした太陽熱消毒方法として、前作で萎黄病が発生した圃場では罹病残渣を取り除いた上で、土壌くん蒸剤を併用した太陽熱消毒で、40度以上の地温を概ね192時間以上確保することで有効となる。ハウスは密閉に近い状態を維持する方が効果が高いため、ハウス本体のビニルを除去するのは、太陽熱消毒を終えた後に実施することが望ましい。

VII 摘要

培地に杉バークを使用している大分方式高設栽培において、ハウス内資材および機器の高温による障害回避のために、開放状態のハウスにて太陽熱消毒によるイチゴ萎黄病の防除効果を検討した。

- 1 8月に30日間の太陽熱消毒を行った場合、日照時間が約248時間となった年は、培地温40度以上の積算時間が209時間となり防除効果が認められた。
- 2 日照時間が191～194時間となった年は、培地温40度以上の積算時間が99時間となり防除効果が劣ったが、太陽熱消毒と湛水処理を併用するか、罹病残渣を除去した上で土壌くん蒸剤を併用して行くと、何れも防除効果が高まることが示唆された。

VIII 謝辞

本研究を遂行するにあたり、大分県南部振興局生産流通部の各位、並びにJAおおいた佐伯事業部ト部章吾氏には、現地圃場試験の設置に御協力いただき、心より感謝申し上げます。

引用文献

- 1) 舟越雄二・松垣喜詞・磯村政弘・徳丸健太郎. イチゴの低コスト高設栽培技術の確立. 園芸学会九州支部研究集録(1998);6:93-94.
- 2) 小玉孝司・福井俊男. ハウス密閉処理による太陽熱土壌消毒法について V. イチゴ萎黄病防除に対

- する適用. 日植病報（1982）；48：570-577.
- 3) 小玉孝司・福井俊男. 太陽熱とハウス密閉処理による土壌消毒法について 1. 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. 奈良農試研報（1979）；10：71-82.
 - 4) 牧野秋雄・中村秀雄・鈴木孝仁. イチゴ萎黄病の発病経過と無病徴感染. 静岡農試研報（1982）；27：41-48.
 - 5) 牧野孝宏・手塚信夫・鈴木孝仁・中村秀雄. クロルピクリンの土壌中における拡散とうね内処理によるイチゴ萎黄病の防除. 静岡農試研報（1986）；31：23-30.
 - 6) 森 充隆・十河和博. イチゴの高設栽培における培地の太陽熱消毒. 四植防研（2000）；35：55.
 - 7) 西村範夫. *Fusarium oxysporum*及び硝酸塩代謝能欠損菌株用の選択培地. 日植病報（2000）；66（2）：103
 - 8) 野村 愛・鍛冶原寛. 山口型高設システムにおける太陽熱消毒を利用したイチゴ立枯性病害の防除. 日植病報（2009）；75：245.
 - 9) 岡本康博. イチゴ萎黄病に関する研究. 岡山農試研報（1984）；73：1-92.
 - 10) 岡本康博. 根圏土壌中におけるイチゴ萎黄病の動静. 岡山農試研報（1981）；4：72-75.
 - 11) 岡本康博・藤井新太郎. イチゴ萎黄病の症状とその対策. 農業技術（1970）；25：464-467.
 - 12) 岡本康博・藤井新太郎・加藤喜重郎・芳岡昭夫. イチゴの新病害「萎黄病」について. 日植病報（1970）；36：166.
 - 13) 小野元治・大久保裕行・岡崎真一郎・石松敏樹・字留嶋美奈・吉松英明・加藤徳弘. イチゴ本圃における総合防除体系. 大分農林水研報（2008）；2：11-39.
 - 14) 大分県肥料植物防疫協会. 大分県肥料植物防疫協会半世紀のあゆみ（2011）；112.
 - 15) 小山田浩一・後藤知昭・中山喜一. 養液栽培培地の太陽熱消毒によるイチゴ萎黄病防除. 関東病虫研報（2004）；51：33-36.
 - 16) 小山田浩一・鈴木聡・和田悦郎・齋藤芳彦. 土壌還元消毒法のイチゴ萎黄病に対する防除効果. 関東東山病虫研会報（2003）；50：49-53.
 - 17) 篠崎毅・松崎幸弘・安永忠道. 臭化メチル代替技術によるイチゴ萎黄病の防除. 愛媛農試研報（2003）；37：27-34.
 - 18) 末永寛子. 高設栽培連用培地のイチゴ炭疽病防除における太陽熱消毒の目安. 日植病報（2009）；75：188.
 - 19) 杉村輝彦・西崎仁博・堀本圭一. トンネル型太陽熱処理と温湯注水の併用によるイチゴ萎黄病の防除. 奈良農技セ研報（2001）；32：1-8.
 - 20) 鈴木孝仁・牧野孝宏・中村秀雄. 現地ほ場におけるイチゴ萎黄病の多発事例とその原因. 静岡農試研報（1983）；28：9-16.
 - 21) 手塚信夫・牧野孝宏・中村秀雄・鈴木孝仁. イチゴ萎黄病の伝染源とその広がり. 静岡農試研報（1986）；31：17-22.
 - 22) 上野清・金子勝廣・谷口恵之助. 山形県におけるイチゴ萎黄病および線虫に対する土壌還元消毒の効果. 北日本病虫研報（2006）；57：62-64.
 - 23) Winks, B., and Williams, Y. . A wilt of strawberry caused by a new form of *Fusarium oxysporum*., Queensland J. Agr. Ani. Sci.(1965)；22：475-479.