

# 土壌還元促進によるハウレンソウ萎凋病菌の防除

本多範行\*・竹内将史\*\*・西端善丸\*\*\*・福田明美\*・岡本 博\*

## Control of Fusarium Wilt of Spinach by Soil Reduction

Noriyuki HONDA\*, Masashi TAKEUCHI\*\*, Yoshimaru NISHIBATA\*\*\*  
Akemi FUKUDA\* and Hiroshi OKAMOTO\*

ハウレンソウ萎凋病菌に対する土壌還元消毒の防除効果を明らかにした。フスマを土壌に加えて土壌還元処理すると、萎凋病菌の死滅期間は短縮され、45℃で1日、40℃では4日で死滅した。滅菌効果は病原菌密度に影響され、菌密度が低い場合は35℃で10日間で死滅した。フスマを添加した土壌の酸化還元電位は無添加土壌に比べ、急速に低下した。圃場試験において、6～7月にフスマを1 kg/m<sup>2</sup>混和、灌水100mm、透明マルチ被覆、ハウス密閉による土壌還元消毒は高い防除効果と収穫量が認められた。また、土壌還元消毒後の不耕起栽培はさらに効果が高まった。隔離ベクト栽培においても土壌還元消毒の防除効果が認められた。

Key words : ハウレンソウ, 萎凋病, 土壌還元消毒, 有機物, 不耕起栽培

## I. 緒言

福井県におけるハウレンソウ栽培は、福井市近郊の水田地帯で古くから春冬作が行われ、さらに、近年は7～8月の盛夏に出荷する施設を利用した作型も行われている。連作されているため、養分の土壌への過剰蓄積とともに、土壌伝染性病害の発生が問題となっている。

ハウレンソウに発生する土壌病害には、株腐病、萎凋病、根腐病、立枯病などがある。特に、萎凋病は幼苗期から収穫期に発生し、導管病であること、耐久器官でしかも感染源となる厚膜胞子を容易に形成することや種子伝染することから難防除病害とされている。本病が問題となった背景には、発病しない秋冬作から、発病適温に遭遇する夏採り栽培に前進したこともその一因と考えられている<sup>2)</sup>。

本病の防除対策は主にくん蒸剤による土壌消毒によって行われている。しかし、土壌消毒は防除効果が高いものの作業に危険が伴うことや周辺環境への影響などから敬遠されがちで、さらに環境保全の立場からも農薬だけに頼らない防除法が求められている。

生態系への影響が少ない土壌消毒法である、夏期にハウスを密閉して行う太陽熱利用による土壌消毒は、萎凋

病をはじめその他の土壌伝染性病害防除への有効性が示されている<sup>1,4)</sup>。本県では太陽熱消毒を7～8月にかけて約1か月間の処理が行われている<sup>6)</sup>が、太陽熱消毒は夏期の気象条件が大きな制限要因となることや長期間処理が必要であること、萎凋病菌は高温での耐性が高いことから、必ずしも実用性は高くない。一方、一定期間土壌水分を過飽和状態に保つ湛水処理は、*Fusarium* 菌が減少させるとされているが、湛水の条件、病原菌や土壌の種類によって効果が異なる<sup>5)</sup>。新村<sup>8)</sup>は湛水処理によって酸化還元電位が低下した状態でネギ根腐萎凋病菌 (*F. re-dolens*) が死滅することに注目し、土壌還元消毒法によるネギ根腐萎凋病の防除を報告し、新たな防除法として注目されている。

本報告では、ハウレンソウ萎凋病菌の死滅に及ぼす有機物、土壌水分および温度の影響を明らかにし、圃場における土壌還元消毒の防除効果を検討したので報告する。

## II. 材料および方法

### 1. 供試菌株と供試土壌

病原菌は農業生物資源研究所ジーンバンクより提供を受けたハウレンソウ萎凋病菌 *Fusarium oxysporum* f. sp. *spinaciae* (菌株名 ; MAFF103060) を供試した。また、病原菌を特異的に検出するために、竹原<sup>10)</sup>の方法によって病原菌から作出した塩素酸カリ耐性の *nit* 変異菌株 (Fosn1 菌株) を供試した。

\* 福井県農業試験場 生産環境部 病理研究G

\*\* 同上 園芸バイテク部 野菜花き研究G

\*\*\* 同上 生産環境部 環境調和研究G

土壌は福井農試内の水田土壌(細粒強グライ土)を風乾砕土後、9メッシュの篩にとおしたものに、Fosn 1 菌株を2%しょ糖加用ジャガイモ煎汁液体培地で28℃・5日間振とう培養後、二重ガーゼで菌糸片を除き、2回遠心分離(3,000rpm:10分)・洗浄した芽胞状菌体懸濁液を接種した汚染土壌を供試した。汚染土壌は4℃で保存し、試験には室温に3~5日間おいてから用いた。

## 2. 土壌還元消毒と病原菌死滅温度

組織培養用試験管(直径20mm×120mm)に汚染土壌20gを詰めた。土壌水分は湛水処理が含水率42%、最大圃場容水量処理が含水率40%、圃場容水量処理が含水率28%になるように殺菌水を注入し、二重のアルミホイルで覆った。乾土の含水率は4%であった。有機物としてグルコース、稲わら(5mmに切断)、米糠およびフスマ(金沢製粉、窒素分2.4%、炭素分38%、水分12.6%)の1%(w/w)を汚染土に均一に混和した。45℃、40℃、35℃および25℃の恒温槽で一定期間処理した。

病原菌の定量は、処理した土壌5gを0.1%寒天液45mlで10倍に希釈し、1シャーレ当たり0.5mlを *nit* 変異菌株選択培地(Fo-N培地)<sup>7)</sup>にひろげた。25℃で9日間培養後菌密度を調査した。1処理当たり5シャーレを用いた。

## 3. 酸化還元電位の測定

ポリ容器に汚染土壌80gを詰め、フスマを1%(w/w)混和した。35℃の温度に設定した恒温水槽中で処理した。ポリ容器内に銀-塩化銀電極と飽和甘コウ電極を挿入し、土壌水分を最大圃場容水量(含水率40%)および圃場容水量(含水率28%)となるように殺菌水を注入し、Ehメーター(OMR-6F, 東亜電波工業製)を用いて電位差の変化を測定した。対照にフスマを混和しない区と殺菌水を注入しない乾土(含水率4%)区を設けた。また、45℃、55℃の温度条件における電位差の変化を同様に調査した。

## 4. 土壌微生物数の測定

組織培養用試験管に汚染土壌20gを詰め、35℃、25℃で土壌還元処理を7日間行った。処理した土壌は殺菌水で希釈し、細菌は Tryptic soy agar 培地、糸状菌はローズベンガル寒天培地を用いて、希釈平板法で行った。1処理当たり5シャーレを用いた。

## 5. 病原菌密度と発病、土壌還元処理効果

水田土壌にパーミキュライトを混和し、1/5,000 a ポットに詰めた。Fosn 1 菌株を25℃で10日間フスマ培養し、培養菌をポット当たり0.1g、1.0g、10gおよび100g混和した。施肥量はポット当たり苦土石灰2.7g、ようりん1.8g、石灰窒素0.7g、ホウ素入り燐硝安加里S602を1.4g施用した。2000年5月25日にポット当たり20粒播種し、ガラス室で栽培した。ハウレンソウ品種は「アクティブ」を用いた。6月30日に掘り上げ、発病を調査した。病原菌の定量は前述のFo-N培地を用い、希釈平板法で播種時と収穫時に行った。1処理3ポットで行った。

福井農試内のハウレンソウ連作畑土壌を風乾後、9メッ

シュの篩にかけたものに、Fosn 1 菌株の菌体懸濁液を接種して汚染土壌を作成した。室温で7日間静置後、汚染土壌の割合が1%、10%、100%(w/w)になるように非汚染土壌に混和し、20gを組織培養用試験管に詰めて土壌還元処理試験に供した。フスマ混和量は1%と2%(w/w)とし、湛水は含水率47%、最大容水量は含水率42%に調整した。25℃、35℃および40℃の恒温槽で10日間処理し、病原菌の定量を行った。

## 6. 圃場における防除効果

2001年の圃場試験は福井農試内のミニガラス温室で行った。5月24日に萎凋病菌のフスマ培養菌100g/m<sup>2</sup>を圃場に接種し、十分混和した。ハウレンソウを1作栽培し、発病を確認後、汚染圃場とした。土壌還元処理は6月25日にフスマを1kg/m<sup>2</sup>混和し、平畝にした。灌水チューブ(スミサンスイマルチ60, 住友化学社製)を用い、100mmの灌水を行い、厚さ0.03mmの透明ポリエチレンフィルムでベタかけした。ガラス温室を6月26日~7月10日まで14日間密閉した。土壌改良資材と基肥(ホウ素入り燐硝安加里S602)の処理前施肥は6月25日に、処理後施肥は7月13日に施用し耕耘した。施肥量は1a当たりN:2kg, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:2.85kg, K<sub>2</sub>O:1.5kgとした。対照としてクロールピクリン処理(錠剤9錠/m<sup>2</sup>)区と無処理区を設けた。7月18日に品種「アクティブ」を播種し、8月1日に発芽率を調査後、間引きを行った。収穫および発病調査は8月17日に行った。発病度は根の黒変程度から0(健全)、1(根の先端黒変)、2(根の中央部黒変)、3(胚軸の導管黒変)、4(枯死)に分け、加算した。1区8m<sup>2</sup>、1連制で行い、10株2か所について調査した。土壌温度の測定は畦中央部の深さ15cmにT熱電対を設置し測定した。

隔離ベット(FRP材ドレンベット, 全農式, 幅85cm×深さ15cm×長さ24m)における試験は福井農試内のガラス温室で行った。萎凋病菌のフスマ培養菌を2000年7月19日に100g/m<sup>2</sup>接種し、汚染圃場とした。7月19日に土壌改良資材を、7月25日に基肥を施用した。土壌還元消毒はフスマを1kg/m<sup>2</sup>混和後、透明ポリエチレンフィルムをベタかけ被覆し、水道水を60l/m<sup>2</sup>灌水チューブで灌水した。透明ビニールでトンネル被覆し、ガラス温室の窓は開放とした。被覆期間は7月26日~8月2日の7日間行った。熱水土壌還元消毒はフスマを同量混和し、85~95℃の熱水を60l/m<sup>2</sup>灌水チューブで灌注した。被覆は同期間とした。8月4日に播種し、収穫は9月14日に行った。発芽率調査は8月18日に行い、発病度は前述と同様に算出した。1区1m<sup>2</sup>、2連制で行った。土壌酸化還元電位調査は、7月26日~28日に畦の中央部に白金電極を挿入し、そのまま放置し、測定時に飽和甘コウ電極との電位差から測定した。土壌温度の測定は前述の方法で行った。

第1表 土壤還元消毒における有機物の種類がハウレンソウ萎凋病菌死滅に及ぼす影響

有機物の種類	含水率	CFU/g乾土									
		40℃				35℃					
		2日	3日	4日	7日	18日	2日	3日	4日	7日	18日
フスマ	40%	7	0	0	—	—	—	—	+	2133	300
	28%	2272	177	11	—	—	—	—	+++	+	+
米糠	40%	647	7	0	—	—	—	—	++	260	460
	28%	1217	1506	11	—	—	—	—	+++	+	+
稲わら	40%	3040	107	0	—	—	—	—	++	+	377
	28%	2039	4639	400	—	—	—	—	+++	+++	3583
グルコース	40%	707	73	0	—	—	—	—	4393	1920	+
	28%	1144	761	11	—	—	—	—	+++	+++	++
無添加	40%	1907	973	147	—	—	—	—	++	+	247
	28%	5239	3372	67	—	—	—	—	+++	++	+

注) 0: 5CFU/g乾土以下 (検出限界), +, ++, +++: 菌叢の密度から3段階に分けた -; 未調査

第2表 土壤還元処理と温度がハウレンソウ萎凋病菌の死滅に及ぼす影響

温度	処 理		CFU/g乾土								
	含水率	フスマ混和	1時間	6時間	1日	2日	3日	4日	7日	14日	22日
50℃	42%	有	++	152	0	0	0	0	—	—	—
	42%	無	++	19	0	0	0	0	—	—	—
	4%	無	++	++	++	++	++	0	—	—	—
45℃	42%	有	—	+	0	0	0	0	—	—	—
	42%	無	—	+	419	0	0	0	—	—	—
	4%	無	—	++	++	++	++	+	—	—	—
40℃	42%	有	—	—	+	762	514	0	0	—	—
	42%	無	—	—	++	++	609	371	0	—	—
	4%	無	—	—	++	++	++	++	++	—	—
35℃	42%	有	—	—	—	+	905	429	609	210	143
	42%	無	—	—	—	+	++	+	+	95	1073
	4%	無	—	—	—	++	++	++	++	++	+
30℃	42%	有	—	—	—	—	—	—	+	++	3086
	42%	無	—	—	—	—	—	—	++	876	2990
	4%	無	—	—	—	—	—	—	++	++	++
25℃	4%	無	++	—	—	++	++	++	++	++	++

注) 0: 5CFU/g乾土以下 (検出限界), +, ++: 4,000CFU/g乾土以上を菌叢から2段階に分けた, -: 未調査

### Ⅲ. 結 果

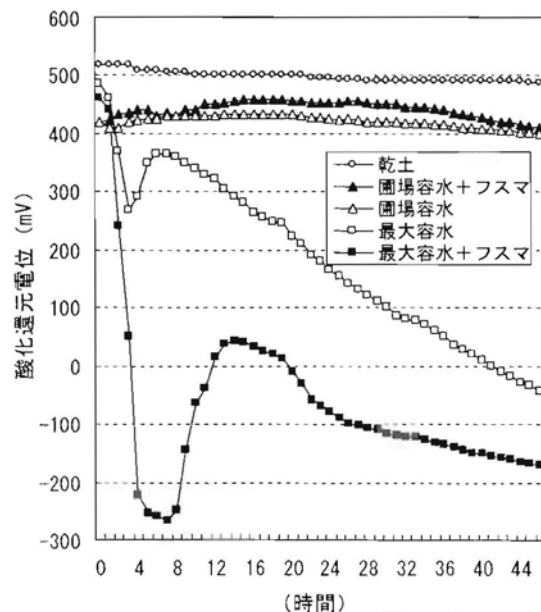
#### 1. 有機物の種類および土壤水分と病原菌致死日数

含水率40%の土壤を40℃で処理すると、有機物混和区では、混和しない土壤に比べ、病原菌の死滅日数は短くなった。フスマ混和区では処理3日後に検出限界となり、死滅日数は米糠区、稲わら区、グルコース区の4日に比べ短かった。処理3日後の病原菌密度は米糠区<グルコース区<稲わらの順に高かった。含水率28%の土壤でも菌密度を減少させる傾向が見られたが、含水率40%に比べ、その効果は低かった(第1表)。

#### 2. 土壤還元処理および培養温度と病原菌致死日数

病原菌は湛水処理によって、50℃で1日、45℃で2日、40℃では7日で死滅した。フスマを1%添加し、湛水処理を行うと、45℃で1日、40℃では4日で検出限界となり、フスマを添加しなかった区に比べ、死滅が早まった。また、35℃でも病原菌密度は減少する傾向にあった(第2表)。

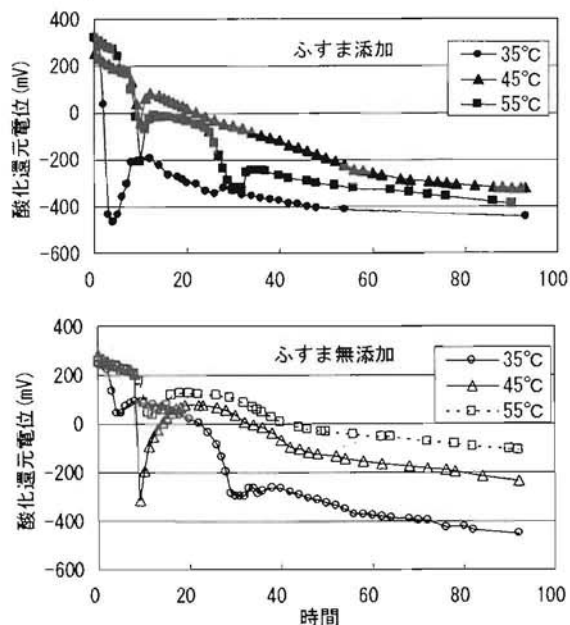
#### 3. 培養温度と土壤酸化還元電位との関係



第1図 土壤還元初期における酸化還元電位の推移(35℃)

培養温度35℃における乾土の酸化還元電位は500mVで推移した。含水率24%の圃場容水量ではフスマ添加の有無





第2図 温度、フスマの添加が酸化還元電位の低下に及ぼす影響（最大圃場含水量）

にかかわらず、わずかに低下し、400mVで推移した。一方、含水率40%の最大含水量では緩やかに低下し、40時間後に0mV以下となった。フスマを添加し、最大含水量の水分で処理すると、処理後急激に低下し、わずか4時間後に0mV以下となり、その後もフスマ無添加区より低く推移した(第1図)。45℃、55℃の温度処理では無添加区より低く推移したが、35℃処理に比べ酸化還元電位はやや高かった(第2図)。

4. 土壌還元処理が土壌微生物に及ぼす影響

土壌にフスマを混和することによって、糸状菌類の密度が高くなった。特に、*Mucor* 菌が多く分離されてきた。

第4表 ホウレンソウ萎凋病菌接種密度と発病との関係

接種菌量 (ポット当たり)	発芽率 (%)	発病株率(%)				収穫時		病原菌密度 (CFU/g乾土)	
		10日	12日	19日	31日	発病株率(%)	発病度	播種時	収穫時
無接種	57	0	0	0	0	12	10	0×10 <sup>3</sup>	0.05×10 <sup>2</sup>
0.1g	27	0	0	6	36	53	50	0.3	1.3
1.0g	23	8	8	8	44	69	60	1.6	2.0
10g	17	0	0	33	48	78	67	77.2	18.6
100g	17	0	7	38	100	100	100	369.8	107.2

第5表 ホウレンソウ萎凋病菌密度の異なる土壌における土壌還元消毒の効果

土壌水分 (含水率)	フスマ 添加量	微汚染土			軽汚染土			重汚染土		
		40℃	35℃	25℃	40℃	35℃	25℃	40℃	35℃	25℃
47%	1%	—	0	74	—	0	1170	—	22	68700
47%	2%	0	0	1060	0	7	20000	0	228	9800
42%	1%	—	20	760	—	159	31200	—	725	76000
42%	2%	0	62	14940	0	235	6120	0	382	21500

注) 菌密度: CFU/g乾土, 実施処理期間: 10日間, —: 未調査.

第3表 フスマの混和、処理温度および土壌水分が土壌微生物に及ぼす影響

培養温度	フスマの有無	含水率	CFU/g乾土	
			糸状菌	細菌
35℃	有	40%	36.7×10 <sup>5</sup>	86.7×10 <sup>6</sup>
	有	28%	110.0	93.6
	無	40%	2.3	36.0
	無	28%	23.9	49.3
25℃	有	40%	82.0	91.3
	有	28%	171.3	35.9
	無	40%	3.6	29.3
	無	28%	15.3	74.7
	無	13%	3.2	13.8

含水率40%の土壌では含水率28%の土壌に比べて、糸状菌密度はやや低くなる傾向にあった。しかし、一般細菌密度の処理による差はほとんど見られなかった。滅菌効果の高かった含水率40%・フスマ混和区の微生物密度は必ずしも高くなかった(第3表)。

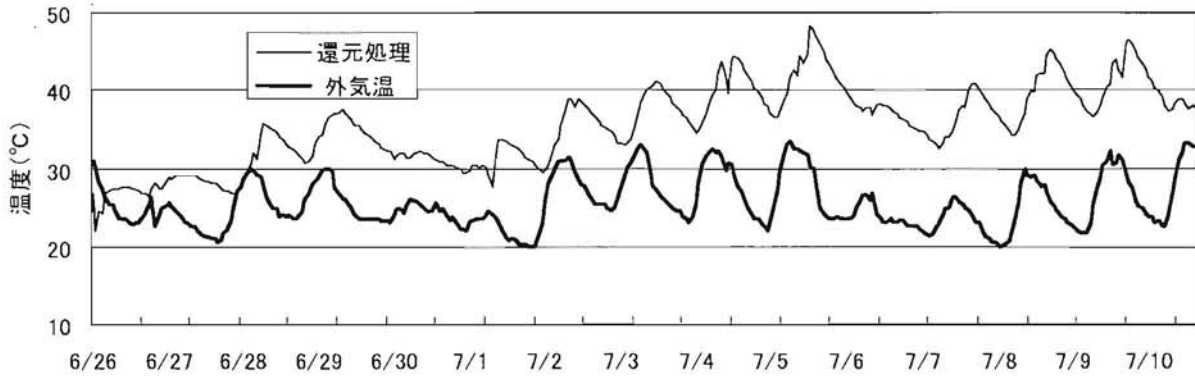
5. 病原菌密度と発病、土壌還元処理効果

接種した病原菌量が多いほど、発芽率が低く、発病が早く、発病株率、発病度も高くなった。播種時の菌密度が30CFU/g乾土でも発病度50となった。無接種区でもコンタミし、わずかに発病が見られた(第4表)。

汚染土壌を希釈した軽汚染土、微汚染土における土壌還元処理の効果は、病原菌密度に影響された。処理温度35℃では25℃に比べ、病原菌は明らかに減少し、微汚染土、軽汚染土では病原菌は死滅した。また、土壌水分は高い方が、効果が高くなる傾向にあった。フスマを2%混和すると、かえって菌密度が高くなる場合があった(第5表)。

6. 圃場における土壌還元消毒の効果

6~7月にかけてミニガラス温室で14日間土壌還元処理を行った。処理期間中の外気温の最高温度30℃以上の



第3図 ミニガラス温室における土壌還元消毒期間中の外気温と土壌深15cmの地温の推移

第6表 ミニガラス温室地床栽培における施肥後の土壌還元消毒によるハウレンソウ萎凋病の防除

処 理	土深15cm積算温度(時間)			発芽率 (%)	発病株率 (%)	発度病	上物率 (%)	上物収穫量 (kg/a)
	35°C	40°C	45°C					
施肥後還元消毒	221	74	13	64.4	7.6	4.0	90.0	127.0
施肥前還元消毒	193	74	12	58.9	12.2	12.2	81.2	108.7
クロピク消毒	—	—	—	62.6	4.2	1.0	95.8	113.8
無 処 理	0	0	0	54.2	76.5	57.5	11.2	9.3

注) 病原菌接種：2001年5/24，試験前栽培：5/30～6/25，品種：アクティブ，播種：7/18  
 間引き：8/1(7,272株/a)，収穫：8/17，施肥：6/25，7/13(施肥量N:2.0，P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:2.85，K<sub>2</sub>O:1.5kg/a)，  
 クロピク処理：6/26～7/10(14日間，錠剤9錠/m<sup>2</sup>)  
 還元消毒：6/26～7/10(14日間，灌水100mm，フスマ1kg/m<sup>2</sup>，透明マルチ，ハウス密閉)

日は8日であった。深さ15cmの45°C以上の積算温度は12～13時間，40°C以上で74時間，35°Cで193～221時間で，太陽熱消毒の致死条件<sup>1)</sup>に達していなかったが，土壌還元処理による40°C・3日に達した。無処理区の発病度は，57.5であったのに対して，還元消毒区は12.2と防除効果が認められ，収穫量も無処理区の1a当たり9.3kgに対して108kgと高かった。土壌還元処理前に基肥を施用し，耕耘せずに播種すると，発病株率7.6%，発度病4.0とクロールピクリン処理にせまる効果が認められた。収穫量は1a当たり127kgとクロールピクリン区を上まわり，また，葉色が淡くなるなどの品質への影響は認められなかった(第3図，第6表)。

隔離ベット栽培では，フスマを1kg/m<sup>2</sup>混和，基肥施用後灌水し，7日間土壌還元処理を行うと，深さ15cmの積算地温は，45°C以上が8時間，40°C以上が69時間で，太陽熱消毒の死滅条件に達していなかった。熱水還元区では45°C以上が45時間，40°C以上が145時間と，致死条件におおむね達していた。還元消毒区の酸化還元電位は処理後低下し，処理1日後には-95～-225mVと還元状態となった。しかし，2日後にはやや高くなり-10～-15mVであった。熱水を灌注した区の酸化還元電位は，還元消毒区に比べやや高く推移した(第7表)。

隔離ベット栽培において土壌還元消毒区の発病株率は49%とやや高かったが，発度病は17で，防除価71と高かった。収穫量は無処理に比べ明らかに高く，熱水還元消毒区にせまる効果を示した(第8表)。

## IV. 考 察

フザリウム病に対する田畑輪換の効果試験は古くから行われているが，他の病原菌ほど効果は期待できない<sup>5)</sup>。ハウレンソウ萎凋病は高温になるほど発生する病気である<sup>2)</sup>。乾燥した土壌では萎凋病菌は50°Cで3日，45°Cで4日，40°Cでは7日でも生存した。しかし，水分が高い土壌では死滅までの期間は短縮された。室内実験によると株腐病菌は37°C・112時間，立枯病菌は40°C・32時間，根腐病菌は40°C・16時間，萎凋病は45°C・48時間で死滅するとされている<sup>1)</sup>。萎凋病菌は高温耐性が強く，太陽熱消毒も地温45°C以上の確保を目安にしている。萎凋病菌を接種した土壌に有機物と水を加え，死滅に要する時間を40°Cの温度で調べたところ，最大圃場容水量ではフスマで72時間，米糠，稲わら，グルコースで96時間と，太陽熱消毒で通常使われている稲わらに比べて，フスマの方が死滅に要する期間が短かった。用いられる有機物は，土壌微生物の餌になり易く，分解が早く，しかも土壌に接しやすい細かいものが有効とされ<sup>8)</sup>，フスマのほかに，農家で入手し易い米糠も効果が示されている<sup>11)</sup>。また処理温度が45°Cでも病原菌の死滅に要する期間が短くなり，35°Cにおいても処理期間中に病原菌密度の低減効果が認められた。しかし，フスマの添加量が2%では1%に比べ病原菌密度が増加したり，アンモニア態窒素や硝酸態窒

第7表 隔離ベット栽培における土壌還元消毒処理による積算地温と土壌酸化還元電位の変化

処 理	15cmの積算時間(時間)			酸化還元電位 (mV・処理後時間)					
	35℃	40℃	45℃	1時間	8時間	23時間	28時間	51時間	55時間
土壌還元消毒	144	69	8	—	15	-95	-225	-10	-15
熱水土壌還元消毒	167	145	45	140	125	135	-70	45	50
無 処 理	0	0	0	—	—	—	—	—	—

注) 土壌還元消毒: 灌水60mm, フスマ1kg/m<sup>2</sup>, 透明マルチ・トンネル被覆期間: 7/26~8/2,  
熱水土壌還元消毒: 85~95℃の熱水60mm, フスマ1kg/m<sup>2</sup>, 透明マルチ・トンネル被覆期間: 7/26~8/2,  
—: 未調査

第8表 隔離ベット栽培における土壌還元消毒法によるホウレンソウ萎凋病の防除効果

処 理	発芽率 (%)	枯死苗率 (%)	発病株率 (%)	発病度 (防除価)	総収穫量 (g/m <sup>2</sup> )	上物収穫量 (g/m <sup>2</sup> )
土壌還元消毒	69.3	3.0	49	17(71)	1,674	1,384
熱水土壌還元消毒	64.7	1.0	20	8(86)	1,786	1,538
無 処 理	41.0	44.0	88	58(—)	569	289

注) 品種: アクティブ, 播種: 8/4, 収穫: 9/14, 発芽率調査: 8/18,  
施肥: 7/25, 施肥量: N:2.0, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:2.85, K<sub>2</sub>O:1.5kg/a,

素が必要以上に増加することがあるので、添加量は1%が適量と考えられた。

土壌還元過程において最初に還元される無機成分は酸素で、これは土壌微生物の呼吸によって急速に消失する。還元初期の主導的な微生物群は好気性および条件的嫌気性細菌で、温度は微生物代謝、酸化還元電位の低下に影響を及ぼすとされている<sup>9)</sup>。しかし、フスマを添加した土壌では、35℃に比べ45、55℃の酸化還元電位の低下はやや緩慢で、35℃以上ではそれほど微生物代謝の影響はないと考えられた。土壌還元においてフスマが添加されていると、酸化還元電位は初期から急速に低下した。フスマのような易分解性有機物の存在は、還元初期過程から *Fusarium* 菌に対して抗菌効果を有する酢酸<sup>9)</sup>などの有機酸の生成・蓄積が行われる。また、透水性の良い圃場でも還元過程の発達を促進するとされている<sup>9)</sup>。フスマの混和によって土壌還元化が促進され、酸素の消失、有機酸の生成・蓄積などによって萎凋病菌の減少、死滅に影響を及ぼしたものと考えられる。

圃場試験では、太陽熱消毒のみによる効果では不十分な温度条件であった地床栽培試験、隔離ベット栽培試験においても、土壌還元消毒によって高い防除効果が認められた。土壌還元消毒では太陽熱消毒よりやや低い温度で、しかも短い処理期間で土壌消毒効果が期待できることから、本県では初夏~初秋と太陽熱消毒に比べ、適用時期が広がると考えられる。ネギ根腐萎凋病では地温30℃以上・20日間土壌還元処理を行っている<sup>8)</sup>。ホウレンソウ萎凋病では35℃でも菌密度低下が認められるものの、22日以上でも死滅しなかったことから、40℃・72時間を効果の得られる基準と考える方が安全である。防除効果を得るための処理日数は、太陽熱消毒では目安が示されている<sup>9)</sup>。本試験では外気温が30℃以上になると深さ15cmの地温は40℃以上となる(第3図)ことから、最高気

温が30℃を超える日数が7日以上あれば効果が期待できると考えられた。フスマの混和重2%では病原菌密度が増加することがあり、また、フスマから溶出する窒素分を考えると混和重は1kg/m<sup>2</sup>が適量と考えられる。

本法は土壌微生物の極端な変動がないため、残ったわずかの病原菌による極端な発病増加の恐れがない土壌消毒法である。しかし、土壌消毒後の土壌攪拌による再汚染防止に不耕起栽培は有効であった。また、処理前に基肥を施用しておいても、収穫量や葉色等品質への影響は見られず、ほとんど肥料の流亡はなかったと考えられる。フスマの混和によって、かえって窒素分が増加することがあるので、施肥量については、今後検討する必要がある。

本病の初発時の菌密度は乾土1g当り10~100個の胞子で、常発するようになると6×10<sup>3</sup>個レベルの菌数に達するとされている<sup>2)</sup>。本試験でも播種時の菌密度30個でも収穫時には発病度50に達し、無接種区でも発病したことから、かなり低密度でも発病するものと考えられた。土壌還元消毒の効果は病原菌密度が低い土壌ほど、低い温度で短時間に病原菌を死滅させることができることから、初発段階の圃場ではより効果的であると考えられる。

以上のことから、ホウレンソウ萎凋病に対しても土壌還元消毒は太陽熱消毒より短い積算時間で消毒できる可能性が示唆された。しかし、連作、または短期連作を行うと萎凋病など土壌伝染性病害は必ず発生する病気である。土壌消毒は一旦行くと、毎年実施することが必要になる。土壌伝染性病害は発病してからの対策はなく、予防的な対策が必要である。そのために、まずは作物にとって最適な栽培環境づくり、土壌環境づくりなど日頃からの耕種的対策が肝要であろう。



## V. 引用文献

- 1) 赤司和隆(1991)ハウレンソウ根腐病の発生機構と生態的防除法に関する研究. 北海道農業試験場報告74: 1~100.
- 2) 福西 務(1999)ハウレンソウ萎凋病の生態と各種防除法. 1999年度日本菌学会西日本支部大会講演要旨集 11~14.
- 3) 片岡周子・片瀬雅彦・牛尾信吾・大塚英一・山本二美・竹内妙子(2002)還元消毒法の消毒効果に関与する要因(講要). 平成14年度日本植物病理学会大会講演要旨集 320.
- 4) 小玉孝司・福井俊男(1982)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 48: 570~577.
- 5) 駒田 旦(1973)野菜の *Fusarium* 病防除研究の現状と問題点. 関西病虫研報 15: 97~107.
- 6) 三谷和弘・佐藤信二(1993)夏季太陽熱を利用したハウス土壌消毒による病害制御技術. 北陸農業の新技术 6: 156~162.
- 7) 西村範夫(2001)*Fusarium oxysporum* 硝酸塩代謝能欠損菌株用の選択培地(講要). 九州病虫研報 47: 156.
- 8) 新村昭憲(2000)ネギ根腐萎凋病の病原と対策. 土壌伝染病談話会レポート 20: 133~143.
- 9) 高井康雄(1979)2. 湛水下における土壌の基本的挙動. 水田土壌学(川口桂三郎編), 21~63, 講談社, 東京.
- 10) 竹原利明(1994) *nit* 変異菌株を用いたフザリウム病の発生生態の解明II. *Fusarium oxysporum* の *nit* 変異菌株の選択分離培地を用いた分離. 日植病報 60: 705~491.
- 11) 上田賢悦・佐藤玄・佐山玲(2002)秋田県における土壌還元消毒によるハウレンソウ萎凋病の防除. 北日本病虫研報 53: 52~54.

# Control of Fusarium Wilt of Spinach by Soil Reduction

Noriyuki HONDA, Masashi TAKEUCHI, Yoshimaru NISHIBATA,  
Akemi FUKUDA and Hiroshi OKAMOTO

## Summary

Control of Fusarium wilt of spinach by means of soil reduction was examined in plastic greenhouse cultivation. The chlamidospores of *Fusarium oxysporum* f. sp. *spinaciae* in the soil were killed by a adding wheat bran soil reduction treatment and keeping soil temperature at 45 °C for one day or 40 °C for 4 days. The pathogen was easily destroyed by the addition of wheat bran to the soil. The effect of sterilization depended on the inoculum concentration. The pathogen was killed using a low-level inoculant treatment (35 °C for 10 days). The rapid decrease in the oxidation-reduction potential of the soil was observed in the treatment, which added wheat bran and a sufficient amount of water. Actual treatment was that the wheat bran was applied 1 kg/m<sup>2</sup> and mixed with soil, and 100 mm of water was injected, then the entire surface of the field was covered with polyethylene film. This treatment was conducted in a closed greenhouse during June and July in Fukui Prefecture. The yield of spinach in a treated field was superior to those in the non-treated field and Fusarium wilt was effectively controlled. Non-tillage cultivation after soil sterilization was more effective because mixing with non-sterilized subsoil was avoided. The effect of soil reduction was also recognized in the bed cultivation of spinach.