

還元消毒法の効果と原理

誌名	農業および園芸 = Agriculture and horticulture
ISSN	03695247
著者名	新村,昭憲
発行元	養賢堂
巻/号	85巻8号
掲載ページ	p. 810-816
発行年月	2010年8月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



還元消毒法の効果と原理

新村昭憲*

〔キーワード〕: 土壌病害, 還元消毒, 太陽熱消毒,
湛水処理

はじめに

土壌病害は古くから生産者を悩ませ、作物の収量に大きな打撃を与えてきた。そのため作物の栽培は輪作を基本とし、連作障害を回避してきた。現在でも大規模畑作栽培では土壌消毒などは現実的に困難なため輪作体系が必要であり、北海道の十勝地方では小麦、ビート、豆類、馬鈴薯の4作物の輪作が基本となっている。一方、比較的小規模な栽培や施設栽培では、経済性や生産性、市場からの要望などから、単一の作物を連作することが避けられなくなっていることも事実である。連作によってほとんどの作物で連作障害が発生するが、その要因は多くの場合が線虫類を含む土壌中の微生物によって引き起こされる。連作を続けながらこれらの病害虫を防除する最も効果的な方法として、土壌消毒が考えられる。土壌消毒には臭化メチルが様々な病原体に対する効果や作業性の面で最も優れていたが、2005年1月に原則全廃され、効果はやや劣るがクロロピクリンやダゾメットなどが代替技術として各地で利用されている。一方、薬剤によらない消毒方法として太陽熱消毒、蒸気消毒、熱水消毒そして還元消毒が現在利用されている。このうち熱水消毒と還元消毒は近年開発された方法で、考え方は異なるが、既存の方法よりも安定して高い効果が得られることを目的に開発された。ここでは還元消毒の理論とその効果、今後の発展方向について述べたい。

還元消毒とは

還元消毒法とは、土壌消毒を行っているときの土壌の化学的状態から名付けた消毒方法である。畑土壌では通常比較的浅い土壌(作土層)は空気にさらされているため酸化的な状態として存在するが、水田土壌では稲作期間中は水面下にあり、表層以外の土壌は酸素が供給されない上に、土壌中の有機物が

微生物によって分解されることで、土壌中の酸素が消費され酸化還元電位が低下、土壌が還元状態となる。この状態を人為的に作り出し、土壌を消毒する技術が還元消毒法である。

水田のような湛水条件では土壌中の有機物によって自然に土壌の還元化が進み、通常の畑状態で活発に活動し、連作障害の原因となる *Fusarium*, *Verticillium*, ジャガイモそうか病菌などや線虫類の多くは徐々に密度が低下する(梅川 1989, 田中ら 1986)。そのため、湛水処理や田畑輪換などの技術によって連作障害を回避することが可能になるが、これは小麦の立枯病菌 (*Gaeumannomyces graminis*) などの湛水条件で比較的死滅しやすい病原菌であれば多発生圃場でも一度水田にすることで効果を示すが(宮島 1986)、耐久組織を持つ *F. oxysporum* などでは発病が多少は少なくなるものの十分ではなく(駒田ら 1970)、小豆の立枯病やスイカのつる割病では5年程度水田にすることが必要と報告されている(近藤 1991, 村田ら 1938)。つまり、連作障害が発生していない状態で田畑輪換を行えば連作障害の発生を回避できるが、すでに連作障害が発生している状態になってから1回水田に戻ただけでは十分な効果は得られない。このことから湛水処理による土壌病害の防除は古くから行われているものの、広く各種土壌病害に利用できるものではない。しかし、湛水処理に有機物を施用することで *Fusarium* 病の防除効果が高まることが報告されており(Stoverら 1952, 1958, 孫工 1978)、単なる湛水ではなく、還元化を積極的に進めることで効果が安定すると考えられる。この他に線虫類、そうか病菌でも湛水処理中に有機物を投入することで防除効果が上昇することが報告されており(古賀 1981, 仲川ら 2006)我々も湛水処理(田畑輪換)のモデル試験を行ったところ、有機物(稲わら)の添加によって *Fusarium* 属菌の死滅が早まることが確認できた(図1)。

*北海道立中央農業試験場 (Akinori Shinmura)

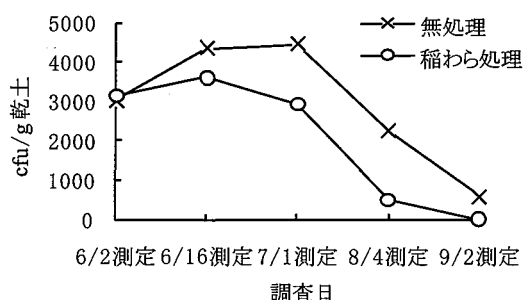


図1 田畑輪環による *Fusarium redolens* 菌密度の変化
5/30 に水田内に設置
稲わら処理：稲わら 700kg/10a 混和

一方、太陽熱消毒は夏期にビニールハウスを閉め切ることで地温を上げ、その熱を利用して土壌を消毒する技術である。イチゴ萎黄病菌の消毒に必要な温度は小玉 (1979, 1980) らによると地温 45℃で6日間必要であり、40℃では効果が不安定であるとされている。しかし、稲わらと石灰窒素を投入し、十分な灌水を行うことによって土壌の還元化を進めることで、40℃でも消毒が可能である。しかし、40℃の地温の確保も、晴天が続かない場合や盛夏に消毒が行えない場合には難しく、特に深い土層では防除効果が十分得られない場合がある。

上記の2つの技術は土壌消毒剤を利用しないこと、化石燃料を使わないことから環境への負荷も少なく優れた点も多い技術であるが、灌水処理では時間がかかること、太陽熱消毒では十分な地温が必要であることから、十分な効果を発揮することは困難な場合が多い。また、両技術とも有機物を加えることで土壌が還元化し効果が高くなることが確認されているものの、その効果は積極的に利用されてこなかった。そこで、土壌の還元化の効果を有効に利用し、灌水処理と太陽熱消毒を相互に補完することで消毒効果を高めた技術が還元消毒法である。

本法は土壌の還元化を効率的に進めるためフスマ等の易分解性の有機物を混和し、土壌の間隙を満たすほどの灌水を行うことで一時的に灌水状態にする。この状態で蒸散を防ぎ、地温を上げるためにビニールやポリエチレンフィルムで地表面を覆う。豊富な養分と水分を与えられ、30℃ほどに地温が上昇すると土壌中の微生物によって急速にフスマが分解、酸素が消費され土壌が還元状態となる。このように効率的に土壌を還元化させることによって消毒効果が高く、簡易に低温でも消毒が可能になる

ことによって利便性が高まり各地に普及したと考えられる。

還元消毒法の作用機作は全てが明らかにされていないわけではないが、その要因についていくつか検討されている。有機物添加による土壌の還元化による殺菌効果について、岡崎ら (1985, 1986) は、土壌に3%のグルコース液を加え灌水することで土壌を還元状態に保ち、これにより発生する揮発性物質に *F. oxysporum* の厚壁胞子を殺菌する効果があることを報告しており、殺菌効果は酢酸と *n*-酪酸の効果によるものとしている。また、久保ら (2002) は通常のフスマを用いた還元消毒では有機酸として主に酢酸が検出され、消毒効果は酢酸と嫌気的環境に条件によるものと報告している。このように還元消毒の殺菌効果は有機酸が主な要因と考えられるが、実際の現場では温度によって効果が大きく異なることから加えて温度条件や嫌気的な条件も関与している可能性がある。

還元消毒に必要な各種条件

低温で土壌消毒を行うことを可能にするため、土壌を還元化させるためのより効果的な有機物と必要な水分条件、温度条件について検討を行った。まず、有機物はバクテリアを増殖させるための養分となる必要があるため、糖質を多く含み、形状も分解されやすい粉末に近い形状で、さらに実際の利用場面を考えると価格が安いことが重要である。そこで、太陽熱消毒に用いられる稲わら (粉末) を対照として、大麦粉末、フスマ、セルロース粉末、デンプン、ショ糖を用いて還元消毒のモデル試験を行った。その結果、ショ糖、大麦粉末、フスマが稲わらに比較し消毒効果が高く、速やかに *F. oxysporum* 菌数が低下することが明らかとなった (表1)。この中でフスマは粉状で扱いやすく価格も安いこともあり、実際の圃場における利用に有望であると考えられた。また、後の試験で米糠でも同等の効果が認められ、フスマ同様に利用可能であった。

次に、水分条件が本消毒に重要であるが、フスマを用いた30℃の条件では、ほ場容水量以上の水分条件であれば酸化還元電位が低下し、14日で土壌が還元化し *F. oxysporum* が検出されなくなった (表2)。圃場容水量条件で消毒が可能であることは還元消毒の利用上非常に大きな利点の一つであり、畑の状

表1 各種有機物を用いた還元消毒による *Fusarium oxysporum* 菌数の変化

培養温度 培養日数	<i>Fusarium oxysporum</i> 菌数(菌数/g 乾土)														
	30°C					35°C					40°C				
	2	7	14	21	28	2	7	14	21	28	2	7	14	21	28
稲わら	2667	1333	133	0	0	133	633	367	0	0	0	0	0	0	0
大麦	2167	300	100	0	0	667	0	0	0	0	0	0	0	0	0
フスマ	600	200	33	0	0	233	0	0	0	0	0	0	0	0	0
セルロース	2867	2200	3000	5800	4133	1367	733	867	1500	467	1133	0	0	0	0
デンプン	5733	1500	900	67	0	867	0	0	0	0	0	0	0	0	0
シヨ糖	2167	100	0	0	0	1133	0	0	0	0	0	0	0	0	0
無処理	3567	1767	2567	5300	2467	3133	2233	233	367	33	2667	67	0	0	0

表2 30°C条件における土壌水分と有機物が *F. oxysporum* の死滅に及ぼす影響

土壌水分(%)	フスマ添加 (1%)	Eh(mV)			病原菌数(/g 乾土)		
		7日	14日	21日	7日	14日	21日
畑水分(18%)	—	249	200	305	4390	3610	3220
ほ場容水量(26%)	—	228	193	282	5405	4757	3351
最大容水量(32%)	—	192	183	193	5529	3059	4353
湛水(40%)	—				4000	2800	3333
畑水分(18%)	+	184	110	310	14244	13171	8171
ほ場容水量(26%)	+	-120	-157	48	12793	0	0
最大容水量(32%)	+	-128	-184	-145	1294	0	0
湛水(40%)	+	-190	-217	-168	1867	0	0

態で土壌を還元化させ、消毒を可能にするために重要である。温度条件は、太陽熱消毒の場合40°Cの地温で8~14日前後の消毒期間が必要であり、この条件が冷涼な地域における消毒を困難にしているが、還元消毒ではモデル試験において一定温度条件下で消毒を行ったところ、40°Cでは2日、35°Cでは7日、30°Cでは14日で土壌中の *F. oxysporum* の消毒が可能であった(表1, 2)。

次に、有機物の混和量について圃場試験で検討を行った。ネギ根腐萎凋病 (*Fusarium redolens*) の発生ほ場で稲わら 2.0t/10a と石灰窒素による太陽熱消毒とフスマの 0.5~2.0t/10a 処理を比較したが、処理10日後では明らかにフスマ 1t 及び 2t 処理区で高い効果が認められた。10日以降は非常に温度が高く推移(10日までの土壌10cm深における40°C以上時間0時間に対し11日以降は40°C以上が51時間、45°C以上が25時間)したために、他の処理でも効果が認められたが、安定した効果が得られることを考慮するとフスマ 1t/10a 以上の混和が必要と考えられた(表3)。

日本においてはフスマを利用した還元消毒が一般的であるが、海外でも同様の土壌消毒法が報告さ

れている。オランダの Blok ら(2000)の報告では混和する有機物としてブロッコリーおよび牧草を利用し、生重で3.4~4.0kg/m²混和している。一晚灌水を行い、プラスチックフィルムで表面を覆うことで土壌の還元化を促進、この結果酸化還元電位が-200mVまで低下し *Rhizoctonia solani*, *Verticillium dahliae*, *Fusarium oxysporum* に効果を示している。地温に関しても40°Cに満たない温度で処理していることから還元消毒法と同様の消毒技術と考えられる。

実際の処理法

実際のほ場で土壌還元消毒を行う場合、まず処理を行う時期が問題になる。太陽熱消毒ほどの温度は必要ないが、地温を30°C以上にするにはある程度の気温が必要で、北海道のビニールハウスにおいて7月上旬から9月上旬まで処理が可能であるが、温暖な地域では処理可能な時期は北海道よりも大幅に広がると考えられる。消毒期間のアメダスの平均気温と消毒時の地温データから日平均気温で15~18°C以上あれば可能であると推定しているが、場所により日照時間、日射エネルギー、日中の気温、夜温が異なるため、初めて処理する場合は処理中の地

表3 ネギ根腐萎凋病発生圃場における各処理後の病原菌数

処理(/10a)	処理10日後(7/10)			処理17日後(7/17)		
	含水率 (%)	酸化還元電位 (mV)	病原菌数 (cfu/g 乾土)	含水率 (%)	酸化還元電位 (mV)	病原菌数 (cfu/g 乾土)
稲わら2.0t	32.5	116	1422	31.7	-49	0
フスマ0.5t	28	-75	117	30.4	-165	0
フスマ1.0t	31.8	-117	0	31	-175	0
フスマ2.0t	31.8	-138	0	30.7	-171	0
灌水のみ	30	200	2857	29.5	-18	110

温を測っておくことが賢明である。

ほ場での還元消毒法の処理の手順は、作土のみの消毒の場合は有機物としてフスマまたは米糠を 10a 当たり 1t 散布し、トラクター等で耕起(耕起深 15~20cm 程度)し、土壌と十分に混和する。次に灌水むらが出来ないように土地を平らにし灌水する。灌水は圃場に均一に出来るように行いが、我々は灌水チューブを用いて間隔を 60cm 以下にし、被覆資材の下に設置した。灌水チューブを数多く設置できない場合は、ほ場全面に灌水した後に透明なポリエチレンフィルムやビニール資材で全面を覆う。灌水量は作土の消毒で 100~150mm 程度が目安であるが、圃場条件で異なるため、目的とする深さまで満水状態(一時的な湛水状態)にすることを目標とする。この状態で地表面を覆い、ハウスを密閉し地温の上昇を促す。土壌中に十分に水分がある状態(ほ場含水量以上)で地温が 30℃以上上昇すると、土壌の還元化が進み、5 日前後で土壌からドブ臭がする。この状態になれば、北海道で 20 日後には土壌消毒が完了する。

フスマ、米糠を用いた還元消毒の条件としては、処理時期は土地によって異なるが、地温が 30℃以上上昇する時期に行うこと。有機物を 10a 当たり 1t 以上均一に混和すること。被覆を行い、土壌が十分な水分(ほ場含水量以上)を保持することが重要である。

還元消毒は、当初はネギ根腐萎凋病対策として行った消毒法であるが、本病以外にも多くの病害で効果が期待出来る。しかし病害によっては 50~60cm 程度まで消毒する必要性も想定され、特にトマトなどのように根域の深い作物では下層土まで消毒する必要がある、その場合は深耕ロータリーを用いて有機物を混和する。この場合土壌の体積が 2 倍程度になるため、面積当たりの有機物量も 2 倍程

度に増やす必要がある。

この他下層土まで消毒を行う方法として、液状の有機物を利用することが考えられ、比較的安価に入手できる糖蜜を用いて還元消毒の検討を行った。方法は土壌フスマ培養したトマト萎凋病菌をナイロンメッシュで包み、ビニールハウス内の地表下 15, 30, 50cm の深さに埋めた。糖蜜は固形分 55% のビート糖蜜を用い、液肥混入器によって濃度を 0.4%~0.8% (w/w) とし、150mm の灌水を行った。その結果、0.6% (w/w) 以上の濃度で深さ 50cm までの消毒効果が認められた(図 2)。

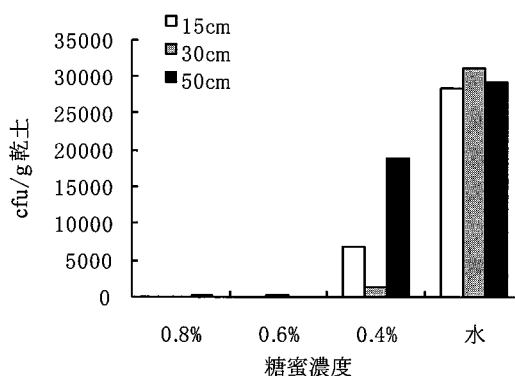


図2 糖蜜を用いた還元消毒の効果
各深さにトマト萎凋病菌接種土壌を埋設
菌密度は駒田培地に生育した全ての *Fusarium oxysporum* 数

また同様の方法を異なるハウスでも検討し、地表下 15, 30, 50cm の深さに埋めたトマト萎凋病菌、半身萎凋病菌、青枯病菌に対し還元消毒を行った。その結果、0.4% の場合は青枯病菌を除き十分な効果が得られない場合が認められたが、0.6% 以上の濃度でそれぞれの病原菌に対し十分な効果が認められた。以上の結果から、0.6% が還元消毒に用いる糖蜜濃度として適当と考えられた(表 4)。

表4 糖蜜液の灌水による下層土還元消毒試験における各病原菌に対する効果

糖蜜濃度	深さ	<i>Fusarium oxysporum</i>	<i>Verticillium dahliae</i>		青枯病菌	
		菌数/g 乾土	微小菌核数/g 乾土		菌数/g 乾土	
		20日目	9日目	21日目	9日目	21日目
0.80%	15cm	0~0	0	0	0	0
	30cm	0~0	0	0	0	0
	50cm	0~50	0	0	0	0
0.60%	15cm	0~0	0	0	0	0
	30cm	0~50	0	0	0	0
	50cm	0~0	0	0	0	0
0.40%	15cm	2200~1600	0.5	0	0	0
	30cm	0~3750	0.5	0	0	0
	50cm	1600~31400	0.1	16.2	0	0
水	15cm	24850~30900	—	78.9	5.7×10^5	3.3×10^5
	30cm	24600~36700	—	143.1	7.7×10^5	8.3×10^5
	50cm	25950~33500	—	189.4	8.6×10^5	10.9×10^5
無処理	15cm	—	—	194.6	—	2.9×10^5
	30cm	—	—	112	—	5.8×10^5
	50cm	—	—	166.1	—	9.1×10^5

還元消毒の効果

本消毒法は *Fusarium* 属菌以外に *V. dahliae*, *Ralstonia solanacearum*, ホモプシス根腐病菌 (*Phomopsis sclerotioides*), 青かび根腐病菌 (*Penicillium* sp.), サツマイモネコブセンチュウなど各種土壌病害に効果が認められており, 広範囲の土壌病害に効果があると考えられる。しかし, 対象植物の根の深さや対象病害の生存する土壌深によって十分に消毒できない場合や, 青枯病のように還元消毒法自体の効果はあるものの十分な効果に至らない場合もある。ここでは北海道の農家圃場で行った幾つかの事例について紹介する。

イチゴ萎黄病 (*Fusarium oxysporum* f. sp. *fragariae*) に対する還元消毒の効果

(1) 方法

北海道仁木町のイチゴ萎黄病発生現地ハウスにおいて, 平成12年6月に発病状況を調査したハウス2棟において7月に土壌消毒を行い, 処理前後の土壌の *Fusarium oxysporum* 菌密度の調査および処理前後土壌を用いてポットにイチゴを栽培し, 発病程度を調査した。また, 平成13年5月に前年調査した同じ場所に移植されたイチゴの萎黄病発病状況を調査した。

試験ハウス: A 農家 330m²ハウス1棟

B 農家 330m²ハウス1棟

有機物: 米糠 1t/10a

灌水量: 推定 100mm (ほ場に水が浮くまで)

灌水後にビニールフィルムで被覆。

還元消毒処理期間: 7月3日~7月28日

7月3日(処理前)および7月28日(処理後)に土壌採取し, 採取土壌を用いてイチゴ「宝交早生」をポット栽培した。ポット栽培の移植は10月20日, 調査は1月15日に行った。現地ほ場発病調査は, 消毒前は平成12年6月12日, 消毒後は平成13年5月8日に行った。

(2) 結果

還元消毒処理によって, *Fusarium oxysporum* の菌密度は明らかに低下した。また, 処理前後の土壌に栽培したイチゴは, 処理前土壌では明確な萎黄病の病徴が認められたのに対し, 処理後の土壌では発病は認められなかった。また, 消毒の次年度のほ場調査では両農家のほ場とも前年認められた発病株は認められなかった。イチゴは比較的根が浅い植物であるため, 耕起深(約15cm)の消毒で十分な効果が得られた(表5, 表6)。

トマト青枯病 (*Ralstonia solanacearum*) に対する還元消毒の効果

(1) 方法

北海道北斗市のトマト青枯病発生現地ほ場(ビニールハウス), 1区20m²反復無し。糖蜜0.6%液

灌水処理（液肥混入器使用）によって、80mmの灌水を行った。灌水後に厚さ0.05mmのポリエチレンフィルムによる被覆とトンネルによって地温を上昇させ、平成14年8月31日～9月26日まで消毒した。土壌採取は平成14年8月30日（処理前）および9月26日（処理後）に行い、土壌中の青枯病菌数の調査およびポット試験として処理前後の土壌にトマトを栽培し、発病調査を行った。採取土壌のポット試験は9月30日にトマト「大型福寿」を移植、10月9日より平均気温33℃、最高気温37℃、最低気温27℃のビニールハウス内で管理し、土壌は多水分条件（ほ場容水量以上）として、青枯病の発病を促した。発病調査は10月31日および11月20日に行った。

(2) 結果

原小野培地を用いて検出した場合、処理前の土壌の作土層からは検出することが出来たが、下層土からは検出できなかった。処理後の土壌からは全く分離されず、還元消毒の効果があることが確認された（表7）。また、トマトを栽培した場合、10/30までは処理前の土壌のみで発病し、処理後の土壌では発

病しなかった。しかし11/20に処理後の下層土の土壌で1株の発病が認められた。現地圃場の都合で灌水量が80mmと不十分だったため、30cmの深さまでは十分消毒できなかった可能性が高い（表8）。

以上のように、イチゴの萎黄病に対する効果は高く、複数の圃場で安定した効果が認められた。この要因としてイチゴの根域の浅く、消毒を実施した土層内に根がとどまっていることが考えられる。一方トマトの青枯病では実施した圃場の作土の下には粘土層があり排水が不良であることが少ない灌水量でも効果があった要因と考えられる。しかし、現地圃場での栽培を行っていないため評価できていないが、青枯病の場合は僅かでも病原菌が生存していると収穫中に発病に至る可能性がある。そのため、青枯病に対しては下層土までの消毒を実施した上で抵抗性台木を利用する必要がある。

還元消毒法は土壌病害に対して非常に有効な方法であるが、一方で圃場条件によっては十分な効果を示さない場合もあるため、本消毒法を十分理解した上で圃場条件を見極める必要がある。

表5 イチゴ萎黄病に対する還元消毒の効果

	A農家		B農家	
	消毒前	消毒後	消毒前	消毒後
調査株数	120	120	120	120
発病度	59.8	0	24.7	0
発病株率	86.7%	0.0%	53.3%	0.0%

表6 イチゴ萎黄病現地試験の消毒前後の菌密度と採取土壌での発病

ほ場	深さ	F. oxysporum 菌数/g 乾土		イチゴ発病度	
		処理前	処理後	処理前	処理後
A農家	0-15cm	5865.9	0.0	58 67	0 0
	15-30cm		93.7		0 0
B農家	0-15cm	8378.4	0.0	33 33	0 0
	15-30cm		353.3		0 0

10/20 移植「宝交早生」, 1/15 調査

表7 還元消毒による青枯病の効果

採取時期	地点	深さ	菌数/g 乾土
処理前	中央	0-15cm	8088
		15-30cm	0
	北側	0-15cm	13971
		15-30cm	0
処理後	中央	0-10cm	0
		10-20cm	0
		20-30cm	0
	北側	0-10cm	0
		10-20cm	0
		20-30cm	0

表8 還元消毒前後の土壌に移植したトマトの発病状況

	供試株数	発病株数		
		10月30日	11月19日	
北側	処理前	0-15cm	5	5
		15-30cm	5	2
		30-45cm	5	2
	処理後	0-10cm	5	0
		10-20cm	5	0
		20-30cm	5	0
中央	処理前	0-15cm	5	1
		15-30cm	5	1
		30-45cm	5	1
	処理後	0-10cm	5	0
		10-20cm	5	0
		20-30cm	5	0

還元消毒のこれから

還元消毒法は効果の高さ、消毒資材の価格の安さ、処理方法が容易なことなど、比較的取り組みやすい消毒方法であることが普及している理由と考えられる。しかし、消毒の深さ、有機物の選択、灌水量、土壌の排水性など十分に考慮し自分の土地に合った方法で行わなければ十分な効果は得られない。特に圃場の排水が良すぎて多水分条件を維持できない場合や、乾燥ししやすいハウスサイドでは消毒が不十分になる場合が多く、灌水量の増加や土壌の鎮圧など土地にあった工夫が必要であり、そのための細かな条件の設定や乾燥防止対策などの今後の技術開発も必要である。また、現在フスマや米糠が多く利用されているが、投入量が多いと肥料成分としても無視できないため、少ない使用量で効果を安定させる方法や海外の事例のように緑肥などの利用も検討する必要があると考えられる。

一方、土壌消毒一般に言えることであるが、消毒効果を長期間維持することは難しく、効果が期待できるのは1~2年程度の場合が多い。そのため今後は現在の還元消毒の効果を更に高め、安定的に高い効果が得られる技術、より使いやすい方法など更に改良や新しい消毒法の開発が期待される。

2008年には農業環境技術研究所より低濃度エタノールによる土壌消毒技術が報告された。この技術も還元消毒法の一つと考えられ、一般的に利用されているフスマと比較し、消毒効果の高さ、より低温での処理、短期間での効果などが期待できる。現在様々な土壌病害に対する効果が検証されており、今後の研究が期待される。

引用文献

- Blok, W. J., Lamers, J. G., Termorshuizen, A. J. and Bollen, G. J. 2000. Control of Soilborne Plant Pathogens by Incorporating Fresh Organic Amendments Followed by Tarping. *Phytopathology*, 90: 253-259.
- 小原裕三・植松清次・田中千華・佐藤理恵子・佐藤充克 2008. 低濃度エタノールを用いた新規土壌消毒法の開発. 農

- 林水産技術研究ジャーナル 31 (3) :15-20.
- 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. 静岡県農業試験場研究報告 19: 44-51.
- 小玉孝司・福井俊男 1979. 太陽熱とハウス密閉処理による土壌消毒法について I. 奈良農試研報 10: 71-82.
- 小玉孝司・福井俊男 1979. 太陽熱とハウス密閉処理による土壌消毒法について II. 奈良農試研報 10: 83-92.
- 小玉孝司・福井俊男 1980. 太陽熱とハウス密閉処理による土壌消毒法について III. 奈良農試研報 11: 41-52.
- 古賀成司・古閑孝彦 1981. ネコブセンチュウの耕種的防除法に関する研究. 熊本県農業試験場報告 7: 51-90.
- 駒田 旦・竹内昭士郎・藤井 淳・井上義孝 1970. そさい類土壌病原菌の水田土壌中における生存. 東海近畿農試研報 20: 151-166.
- 近藤則夫 1995. アズキ萎凋病に関する研究. 北海道大学邦文紀要 19 (5): 411-472.
- 久保周子・片瀬雅彦・牛尾進吾・大塚英一・山本二美・竹内妙子 2002. 還元消毒の消毒効果に関する要因. 日本植物病理学会報: 206.
- 松井梨絵・新村昭憲・成松 靖・秋村 聖 2009. トルコギキョウの青かび根腐病に対する土壌還元消毒の防除効果. 北海道園芸研究談話会報 42: 24-25.
- 三木静恵・漆原寿彦・酒井 宏 2008. キュウリホモブシ根腐病に対する土壌還元消毒法の防除効果関東東山病害虫研究会報 55: 19-20.
- 宮島邦之 1986. コムギ立枯病の発生生態と防除. 植物防疫 40: 159-162.
- 村田寿太郎, 大原 清 1938. 西瓜蔓割病(萎凋病)に関する研究成績 (10). 病害雑誌 25: 491-489.
- 仲川晃生・中村吉秀・菅 康弘・迎田幸博 2006. 土壌の湛水化がジャガイモそうか病の発生に及ぼす影響. 関東東山病害虫研究会報 53: 23-28.
- Okazaki, H. 1985. *Ann. Phytopath. Soc. Japan* 51: 264-271.
- Okazaki, H. and K. Nose 1986. *Ann. Phytopath. Soc. Japan* 52: 384-393.
- 孫工弥寿雄 1978. 水利用による土壌伝染性病害防除の実際 [1]. 農及園 53: 1255-1259. 養賢堂.
- 孫工弥寿雄 1978. 水利用による土壌伝染性病害防除の実際 [2]. 農及園 53: 1373-1378. 養賢堂.
- 孫工弥寿雄・喜多孝一 1979. 水利用による土壌病害防除に関する研究 7. 有機物とマルチ処理が Eh やトマト萎ちょう病防除に及ぼす影響. 日本植物病理学会報 45: 524-525 (講要).
- Stover, R. H., Thornton, N. C. and Dunlap, V. C. 1952. *Phytopathology* 42: 476.
- Stover, R. H. and Freiberg, S. R. 1958. *Nature* 181: 788-789.
- 田中 寛・草刈真一 1986. 湛水ヒエ栽培による *Verticillium dahliae* 菌核密度減少とナス半萎凋病の防除効果. 日本植物病理学会報 52 (1): 124-125.