

低濃度エタノールによる新規土壤消毒法の開発

農業環境技術研究所 小 原 裕 三

はじめに

我が国では、農耕地における連作に伴って発生する土壤病害虫を防除するため、臭化メチルによる土壤くん蒸消毒が広く行われてきた。特に、ピーマン、トマト、メロン等に代表される我が国の園芸農業は、臭化メチルを用いることで連作障害を回避し、集約的生産体系を今日まで維持してきたと言える。しかし、臭化メチルはオゾン層破壊物質であり、モントリオール議定書締約国会議において、日本を含む先進国では、臭化メチル以外では代替不可能な一部の用途（不可欠用途）を除いて2005年に使用が禁止された（表-1）。UNEP（United Nations Environment Programme：国連環境計画）の下部機関であるTEAP（Technology & Economic Assessment Panel：技術・経済評価委員会）・MBTOC（Methyl Bromide Technical Options Committee：臭化メチル技術選択肢委員会）は、不可欠用途においても2013年で完全に撤廃するべきであるとの削減案を提示した。

現在認められている日本における不可欠用途は、ショウガ根茎腐敗病、メロンのえそ斑点病とモザイク病、キュウリとスイカの緑斑モザイク病、トウガラシ類のモザイク病等、臭化メチルの規制以前の適用作物と適用病害虫に比較してごく限られた用途である。代替技術があるとされている適用においても、必ずしも経済的な実行可能性と臭化メチルに比較して十分な消毒効果が得られているとは限らない。代替技術とされている主要な化学的防除資材について、年次別出荷数量は臭化メチルの削減分を補うほどの変化は現れていないため、これらの薬剤に代替えされたとは考えにくい（表-2）。このような状況下、臭化メチルに替わり得る新たな土壤消毒技術が求められている。

代替技術として代替薬剤の適用（化学的防除）以外にも、太陽熱や熱水、蒸気消毒（物理的防除）、生物農薬や拮抗微生物の探索・導入（生物的防除）、病害虫抵抗性品種および抵抗性台木の導入、アブラナ科植物の鋤込み、完熟堆肥の施用、菌根菌の接種や輪作（耕種的防除）

の単用あるいは組み合わせなどの開発と普及が鋭意進められている。しかし、これらの代替技術によっても、防除効果と効果の安定性、環境への影響、また経済性などの観点から、現状において完全に代替することは困難な状況にある。

我々が開発を行ってきた低濃度エタノールを用いた土壤消毒技術は、原料アルコール（エタノール、約95 v/v%：体積濃度）もしくは原料アルコールの蒸留精製時に生じる副生アルコール（約89 v/v%）を水で2 v/v%程度もしくはそれ以下に薄める。そして灌水装置により畑土壌が湛水状態になるまで処理した後、農業用ポリエチレンフィルム（農ポリ）で土壤表面を1週間以上被覆するという低コストで簡便な技術であり（小原, 2007）、臭化メチルを代替する土壤消毒技術の選択肢の一つとして実用化が期待される。

本成果は、(独)農業環境技術研究所、千葉県農業総合研究センター、日本アルコール産業株式会社とで取り組んだ共同研究の成果である。

I 低濃度エタノールによる土壤消毒法の概要

農業従事者の高齢化が進むなか、優れた土壤消毒効果があったとしても、これまで以上の労力や経済的負担を強いような技術は、容易には受け入れられず普及しない。さらに、新規土壤消毒技術を開発するうえで、土壤消毒に関する日本の諸事情に留意しなければならない。土壤消毒に関して欧米諸国と最も異なる点は、欧米諸国では土壤消毒を生業とする専門業者が大型のくん蒸機械を用いて土壤消毒処理を行うのに対して、日本では栽培農家自身が土壤消毒処理を行っている点である。そのため、栽培農家にも容易に導入が行えるように初期投資が不要で低コストの土壤消毒技術が必要である。

新規土壤消毒資材として多くの物質のスクリーニングを行った中で、エタノールは生物活性が小さく、土壌中での拡散性も小さいため、必ずしも有望な資材ではなかった。これは、一般的な消毒用エタノール（別名：消毒用アルコール）が、15℃でエタノールを76.9～81.4 v/v%含有していること、最も殺菌効果があるとされている濃度が79 v/v%付近であることから容易に理解できる。無水エタノール（99.5 v/v%以上）を直接畑土壌中に注入した場合には、種々の植物の種子の発芽抑

New Soil Fumigation Technique with Low Concentration Ethanol.
By Yusō KOBARA

（キーワード：土壤消毒法、低濃度アルコール、臭化メチル、連作障害）

表-1 各国の臭化メチル消費量の推移とモントリオール議定書締約国会議によるベースライン（基準年 1991 年）との比較

国もしくは 国家連合	臭化メチル ベースライン (1991 年) (t)	臭化メチル消費量（上段, t）と 基準年との比較（下段, %）						
		各国からの 報告		不可欠用途として認可された量				
		2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
オーストラリア	704	181	205	147	75	49	48	38
		26	29	21	11	7	7	5
カナダ	200	58	58	62	54	53	42	34
		29	29	31	27	27	21	17
欧州共同体（EC）	20,873	4,921	4,789	4,393	3,537	689	245	0
		24	23	21	17	3	1	0
イスラエル	3,580	992	1,071	1,089	880	967	861	0
		28	30	30	25	27	24	0
日本	6,107	1,430	1,698	748	741	636	444	306
		23	28	12	12	10	7	5
ニュージーランド	135	21	17	50	42	18	0	0
		15	13	37	31	13	0	0
米国	25,529	6,755	7,279	9,553	8,082	6,749	5,355	4,262
		26	29	37	32	26	21	17

UNEP より、

表-2 日本における臭化メチルと主要代替剤の年次別出荷数量の推移（t, kd）

		1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
臭化メチル	土壌用	5,470	5,336	4,391	3,884	3,016	2,764	1,195	2,419	547	526	474
	検疫用	2,030	1,679	1,876	1,591	1,480	1,430	1,403	1,306	1,165	1,039	867
	その他	408	269	517	589	613	526	308	455	465	333	276
合計		7,908	7,284	6,784	6,064	5,109	4,720	2,906	4,180	2,177	1,898	1,617
クロルピクリン剤		8,907	8,802	8,891	8,633	8,013	8,187	8,005	8,535	9,191	8,441	
D-D 剤		12,951	12,187	11,889	11,159	8,633	10,886	9,453	8,802	11,838	10,185	
MITC 剤		884	811	811	866	787	688	550	677	667	695	
カーバムナトリウム塩剤		202	199	210	215	180	192	171	196	195	229	
ダゾメット剤		1,923	2,194	2,720	2,939	2,370	2,612	2,613	2,355	3,033	2,926	
オキサミル剤		2,474	2,126	2,289	2,096	2,023	1,812	1,897	1,944	1,861	1,892	
ホスチアゼート剤		4,707	4,986	5,816	5,178	4,276	5,312	5,696	6,011	6,206	6,138	
カーバム剤（アンモニウム塩）			190	179	207	128	210	208	209	215	194	
クロルピクリン・臭化メチルくん蒸剤			139	223	204	231	178	123	125	90	0	
クロルピクリン・D-D くん蒸剤			0	0	77	338	165	271	316	345	460	
合計		32,048	31,634	33,028	31,574	26,979	30,242	28,987	29,170	33,641	31,160	

農業要覧より、

制効果を指標とした試験で、他の土壌消毒剤と比較しても 10 倍量以上必要であり、実用的なものではなかった。しかし、ヒトなどへの毒性に関する情報の豊富さ（低い毒性）や、環境中で容易に分解され消失する（環境残留性が小さい）ことなどエタノールは多くの利点を有しているため、処理方法の改良によって土壌消毒効果の改善が可能か検討を行った。

種々処理方法の検討を行った結果、エタノールを水で 2 v/v% 程度、もしくはそれ以下の濃度に希釈し、灌水装置などにより消毒を目的とする深さまで土壌を湿潤状態にした後、農ボリで土壌表面を 1 週間以上覆うという簡便な技術（図-1）で主要な土壌消毒剤に比較しても十分に効果が得られることがわかった。また、エタノールは容易に水中で均一化し、プラスチック資材を劣化さ



1 エタノール水溶液を積載した灌水装置



2 エタノール水溶液を湛水状態になるまで灌水処理



3 土壌表面を農業用ポリエチレンフィルムなどで被覆する

図-1 低濃度アルコールを用いた土壌消毒の手順

せるなどの影響もないため、あらかじめ散水チューブを土壌表面に設置して、農ポリで土壌表面を被覆した後、液肥混入器などを用いて低濃度アルコールを処理するなど手順の変更は容易である。農ポリで被覆する目的は、空気（酸素）を遮断するためと、エタノールと水の蒸発を防ぐためである。また、土壌を低濃度エタノールで湿潤状態にするための処理量は畑条件によっても異なるので、条件に合った処理量を把握する必要がある。また、低濃度エタノールを処理する場合に、灌水処理時に湛水状態とすることで、土壌消毒を意図する深さまで低濃度エ

タノールを十分に行き渡らせることが可能であった。

II 土壌消毒効果の範囲と作用特性

本土壌消毒方法で用いる数%程度の低濃度エタノール水溶液では、エタノールによる直接的な殺菌・殺虫効果などの防除効果は期待できない。これは、キュウリつる割病菌、トマト青枯病菌等を用いた室内実験の結果からも明らかであり、この程度のエタノール濃度であれば短時間で死滅させることは難しく、静菌作用程度の効果しか得られていない。まだ、臭化メチルやクロロピクリン、1,3-ジクロロプロペン、メチルイソチオシアネート等がもつ広範囲な適用について評価ができていないわけではないが、実際に低濃度エタノールを畑土壌に処理した場合、代表的な作物種と対象病害虫に対し、細菌、糸状菌、線虫、土壌害虫、雑草に至る広い範囲の土壌病害虫に、十分な防除効果が得られた（表-3）（UEMATSU, 2007）。キュウリネコブセンチュウに対しては、1 v/v%の低い濃度でも効果が十分得られていること（図-2）、また、雑草抑制効果については、0.25 v/v%の非常に希薄な濃度でも効果が得られていることがわかる（図-3）。

本技術が、土壌病害虫などの防除に有効な理由について今後詳細な解析が必要であるが、本技術を適用することで、土壌中の環境が酸化（好氣的）状態から還元（嫌氣的）状態に変化すること（図-4）、有機酸濃度が増加することなどが要因として考えられる（KOBARA, 2007）。これは、土壌の部分殺菌により、土壌微生物全体の内、エタノールに感受性の高い微生物が処理後に死滅し、その死菌体から発生した有機物質やエタノールを基質として他の土壌微生物が増殖する際に、土壌中の酸素を消費し、土壌が湛水状態もしくは湿潤状態であることや、かつ土壌表面を農ポリで被覆することで酸素の流入を制限しているため、酸素濃度が下がり、還元状態が発達する。エタノールに感受性ではない土壌生物の内、酸素を必要とするものも1週間程度で死滅させることが可能で、広範な土壌伝染性の病害虫や雑草抑制に効果が得られるものと考えている。また、処理後に酢酸等有機酸の生成を確認しており、この有機酸による副次的な消毒効果も考えられる。

低濃度エタノールを土壌処理した場合に、この濃度領域で常在の土壌微生物のフザリウム菌（*Fusarium solani sens lato*）やトリコデルマ菌（*Trichoderma* sp.）などが特異的に増殖していることを観察した。ここで、増殖した菌類は、植物に対する影響は小さいようである。種々の植物の種子を埋設して雑草抑制効果を評価した結果、これら菌類による雑草抑制効果への寄与もあるようであ

表-3 土壌病害虫防除効果と資材費用の比較

代替技術名	登録年	毒劇物の 分類	許容濃度 ^{a)} ppm (mg/m ³)	ウイルス	細菌	糸状菌	線虫	土壌 害虫	雑草	資材費用/10 a
物理的・ 耕種の技術	太陽熱消毒			×	○	○	○	○	△	—
	熱水・蒸気消毒			△～×	○	○	○	○	○～△	80,000 円 (灯油)
	抵抗性品種 (台木) ^{b)}			(○)	(○)	(○)	(○)	×	×	—
	対抗植物			×	×	×	△	×	×	—
化学的手法	ダゾメット剤	1980	劇物	×	○	○	○	○	○	30,000 円
	カーバム Na 剤	1993	普通物	×	○	○	○	○	○	21,000 ～ 31,500 円
	D-D 剤	1950	普通物	1 (4.5)	×	×	×	○	×	10,000 円
	クロルピクリン剤	1948	劇物	0.1 (0.67)	×	○	○	○	△	30,000 円
	臭化メチル	1957	劇物	1 (3.89)	○	○	○	○	○	65,000 円
	低濃度エタノール			—	○	○	○	○	○	60,000 円 ^{c)}

○：効果がある，△：やや効果がある，×：効果なし．^{a)} ACGIH（米国産業衛生監督会議）による TVL-TWA（時間加重平均限界濃度）．1 日 8 時間，週 40 時間の正規の労働時間中の時間加重平均濃度．^{b)} 一部作物（品種）に限られる．また，すべてに有効ではない．^{c)} 原料アルコールの輸入価格（2006 年数巻統計実績），副生アルコールの利用によりさらに資材費用の削減が可能．

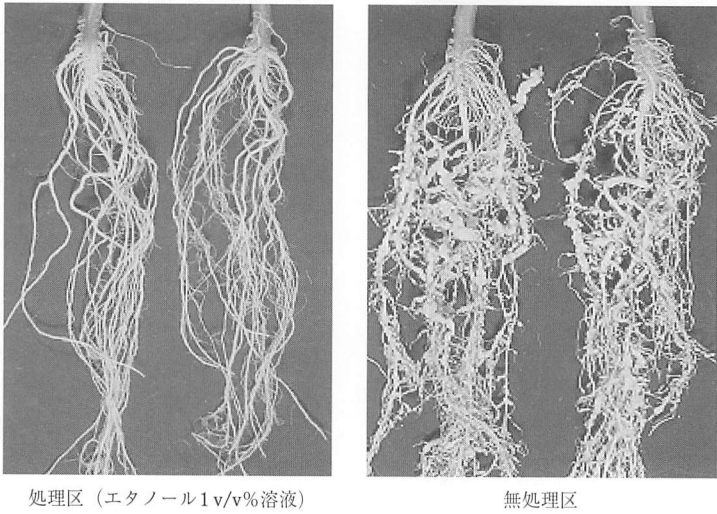


図-2 効果の一例：キュウリ根のネコブセンチュウへの防除効果
エタノール 1% 溶液で処理した畑で栽培したキュウリの根には，ネコブセンチュウの被害が全く見られない。

る。いずれにせよ，今後，本土壌消毒技術の詳細な作用機構の解明が必要であり，得られる科学的知見に基づいた土壌消毒法の確立・最適化が必要である。

III 土壌消毒にかかる経費について

原料アルコール（約 95 v/v%）は，米国，ブラジル，タイ，インドネシア，中国等から年間約 36 万 kl が輸入され，価格は 50 ～ 60 円/l である。この原料アルコールを使用した場合に，1 v/v% エタノールを 100 l/m² で

処理すると，エタノール資材の費用は 60,000 円/10 a である（表-3）。ここでの計算は，エタノールの処理量を過剰に見積もっているが，エタノール濃度を半減することができれば 30,000 円/10 a となり，また，処理量を減らすことが可能であればさらに経費の削減は可能である。また，原料アルコールの蒸留精製過程で，高濃度のエタノールを含有した副生アルコール（約 89 v/v%）が 1% 程度生じている。この副産物を有効に利用することができれば，さらに経費の削減は可能であり，他の土壌

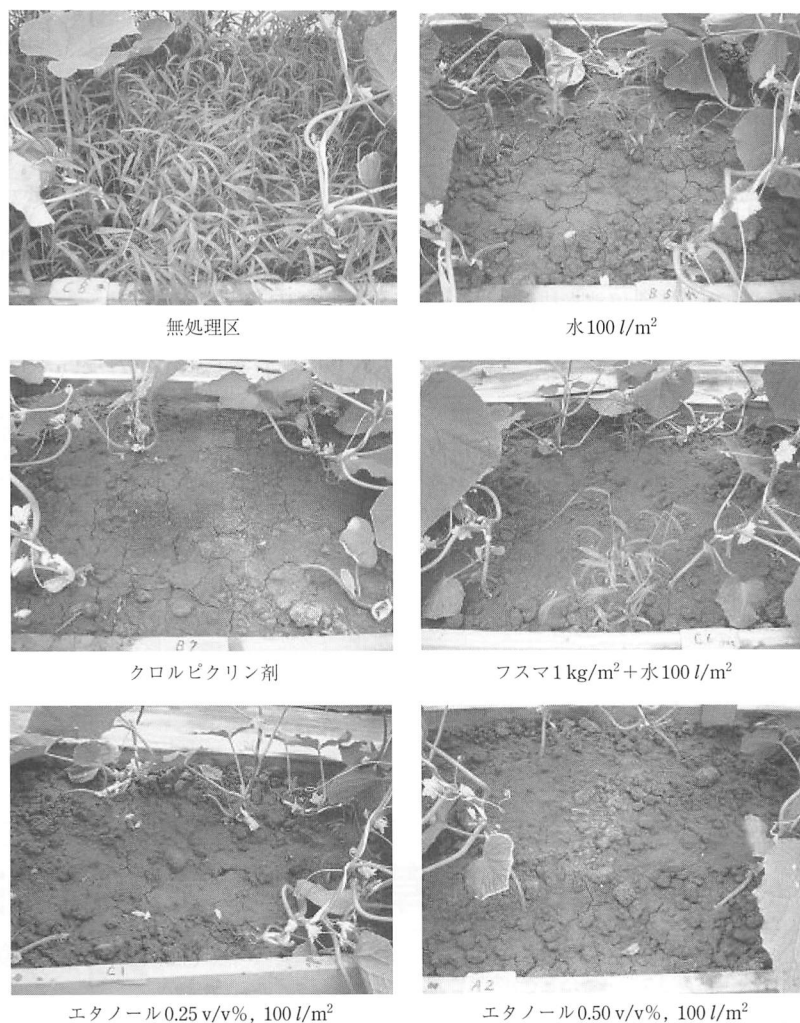


図-3 雑草の抑制効果の比較
キュウリ定植1か月後.

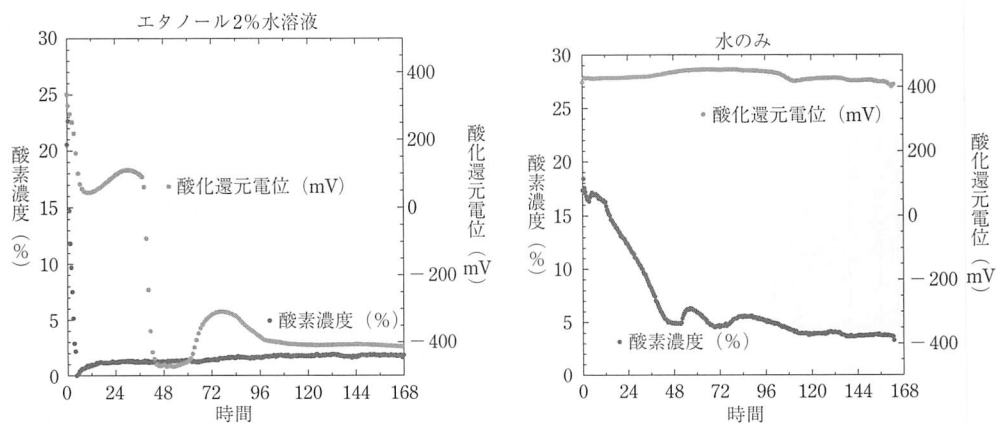


図-4 エタノール 2v/v% 水溶液 (左) および水のみ (右) で処理した場合の土壌水中酸素濃度と酸化還元電位の推移 (農業環境技術研究所内, 黒ボク土)

消毒技術と比較しても、経費面で十分に利点がある。

お わ り に

エタノールは、土壌中では数日で分解消失し、環境への負荷が小さく、また、ヒトに対する毒性データも十分に得られており、安全性の高い技術であると考えられる。フスマや糖蜜を用いた土壌還元消毒法が鋭意実施されているが、至適温度条件、臭気等の問題点があり、適用が制約されることがあった。本土壌消毒技術では、これらの問題点が改善される可能性がある。しかし、本土壌消毒技術には、まだまだ検討しなければならないことが多く残されている。例えば、処理するエタノール濃度や処理量の至適化など、処理方法の検討、防除・作用機構の解明、適用を目的とする作物・病害虫への効果の確

認と実証、土壌消毒から収穫まで、さらに次作への効果の持続性の評価、薬害の確認等、実用化までに多くの課題が残されている。実用化に関して、どのような法律・制度のもとで実用化を目指すか、現在関係する機関と相談検討しているところである。

引 用 文 献

- 1) Methyl bromide Technical Options Committee (MBTOC) Reports (2007) : <http://ozone.unep.org/teap/Reports/MBTOC/index.shtml>
- 2) 小原裕三ら (2007) : 土壌還元消毒方法, 土壌還元消毒剤, 土壌湿潤化消毒方法, 土壌湿潤化消毒剤および土壌消毒剤灌注システム, PCT/JP2007/000472.
- 3) KOBARA, Y. et al. (2007) : Proceeding of 2007 Annual International Research Conference on Methyl Bromide Alternatives and Emissions Reductions : 74.1 ~ 74.2.
- 4) UEMATSU, S. et al. (2007) : Proceeding of 2007 Annual International Research Conference on Methyl Bromide Alternatives and Emissions Reductions : 75.1 ~ 75.2.

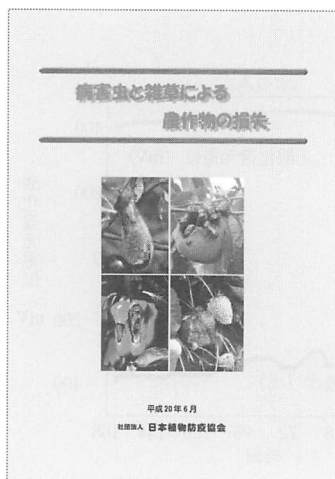
新刊

病害虫と雑草による農作物の損失

(社)日本植物防疫協会 編

A4判 40ページ
定価 525円(税込)
送料80円(メール便)

病害虫や雑草が農作物生産にどのような悪影響を与えているのかを、全国的な規模で行われた調査結果やその他多くのデータに基づいて解説しています。



掲 載 内 容

- 第1章 農作物の敵、病害虫と雑草
- 第2章 病害虫や雑草による経済的な損失
- 第3章 食糧問題と病害虫・雑草防除
- 第4章 病害虫と雑草の防除対策

お問合せとご注文は下記へ

〒170-8484 東京都豊島区駒込1-43-11

(社)日本植物防疫協会 出版情報グループ

TEL 03 (3944) 1561 メール order@jppa.or.jp

ホームページ <http://www.jppa.or.jp/>