

ミニ特集：低濃度エタノールによる土壌還元消毒

土壌還元消毒効果を高める低濃度エタノールの利用技術

神奈川県農業技術センター

うえくさ 植草 秀敏・折原 紀子・岡本 昌広・
ひろせ ひろ瀬 一郎・北 宜裕

はじめに

低濃度エタノールを利用した土壌還元消毒効果については、既に多くの試験例が報告されているが、ここでは平成20～23年度の4年間にわたり、農林水産省の「新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業」で取り組んだ「低濃度エタノールを用いた新規土壌消毒技術の開発」において、神奈川県が担当した試験の中からエタノールを用いることで新たな技術を開発することを目的としたものを取りまとめた。

試験の内容は二つに分けられ、一つ目は熱水土壌消毒機と組合せて低濃度エタノール水溶液を50℃程度に積極的に加温することで、土壌深層への効果や低温期における土壌還元消毒の安定的な効果を検討した試験、二つ目は水源の乏しい圃場あるいは鉢物用培土等、湛水処理ができないあるいは適さない土壌に対して、エタノールを慣行と同量用いて、水量だけを減らして行う少かん水量土壌還元処理による効果を検討した試験について述べる。

I 低濃度エタノールを利用した土壌還元処理によるカーネーション萎凋細菌病の発病抑制

難防除である細菌性土壌病害の発病抑制手法の開発を目的として、カーネーション萎凋細菌病を対象に低濃度エタノールを用いた土壌還元処理について検討した。慣行のカーネーション栽培における土壌消毒時期が5～6月であるため、十分な処理温度が確保できないことおよび病原細菌が土壌深層部まで生息していること等から、室内試験（結果省略）で本病菌密度低減効果の高かった2%濃度のエタノールを50℃に加温して土壌に処理する方法を中心に試験した。

1 方法

試験は、かながわ農業アカデミー（神奈川県海老名市）

のカーネーション萎凋細菌病菌自然汚染圃場（ガラス温室）において実施し、カーネーション作付け前の2010年6月2日に1区9m²（1m×9m）の試験区に対し、エタノール（EtOH）濃度1%および2%（w/v）と水溶液の温度を常温（20℃程度）および50℃と組合せた4処理区（いずれも処理量は100 l/m²）と対照としてクロルピクリン（CP）処理区（55% テープ剤, 1.1 m/m², 14日処理）および無処理区の6処理区を設定した。50℃のEtOHは、熱水土壌消毒用ボイラーのタンク（1.6 m³）内で濃度調整した後、加温して作製した。各処理後、直ちに処理区全体を透明ポリフィルム（0.05 mm厚）で密封するとともにガラス温室内を閉め切り、6月24日まで22日間処理した。除覆後、6日間ガラス温室を開放して土壌を乾かし、6月30日に耕耘、7月1日に施肥・耕耘し、慣行に従ってカーネーション苗を定植した。

2 結果と考察

処理期間中の地温は、いずれのEtOH処理区とも無処理区およびCP処理区より、また、EtOH濃度は1%より2%処理区のほうがより高く推移した。特に50℃・2% EtOH処理区の深さ40 cmにおける最高地温は34℃、処理期間中の地温30℃以上の積算時間は391時間で、無処理区の最高地温29.3℃および30℃以上の積算が0時間と比べ高温が保たれた。カーネーション萎凋細菌病の発生は、50℃・2% EtOHおよびCP処理区以外では、定植1か月後の8月上旬から萎凋する株が散見され始め、8月下旬にはすべての処理区で萎凋株の発生が認められた。しかし、9月以降、処理区間差が顕著になり（図-1）、11月上旬にはその差が最大となった後、気温が下がってきた12月中旬には発生が終息した。12月15日時点の発病株率は50℃・2% EtOH処理区で27.1%と最も低く、次いでCP処理区の41.1%、常温・2% EtOH処理区の55.6%となった。これに対し、EtOH濃度を1%とした処理区では、処理温度にかかわらず、いずれも無処理区と同等の発病株率で推移した（図-2）。

以上の結果から、カーネーション萎凋細菌病の発病は、50℃・2% EtOHの100 l/m²処理による土壌還元消毒により効果的に抑制できる可能性が示された。室内実験では、EtOH濃度を2%以上に高くすると菌密度低減

Application of Low Concentration Ethanol that Enhances the Efficiency of Anaerobic Soil Disinfection. By Hidetoshi UEKUSA, Noriko ORIHARA, Masahiro OKAMOTO, Ichiro HIROSE and Nobuhiro KITA
（キーワード：土壌還元消毒, 低濃度エタノール, 鉢物用培土, カーネーション萎凋細菌病, ネグサレセンチュウ, ホモブシス根腐病, シクラメン萎凋病）

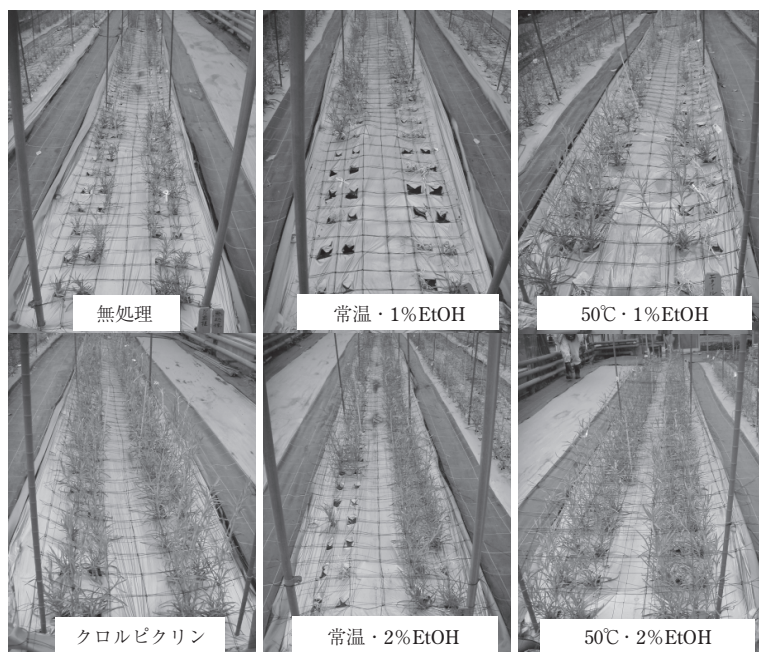


図-1 カーネーション萎凋細菌病自然汚染圃場における各種土壌処理後、育成中の萎凋細菌病発病状況 (2010 年 9 月 30 日撮影)

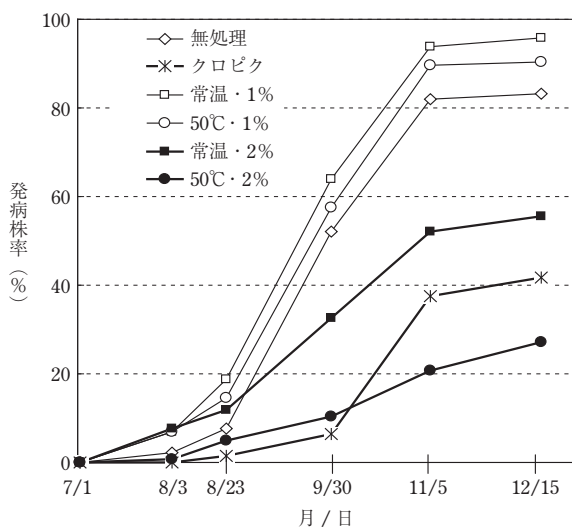


図-2 カーネーション萎凋細菌病自然汚染圃場における各種土壌処理後の萎凋細菌病の時系列発病株率の推移

表示は処理温度と処理エタノール濃度 (w/v) を示す。
定植は 2010 年 7 月 1 日。

効果はより高くなったが、EtOH 濃度を 1% 以下にして処理すると逆に本菌の密度増加が認められる場合もあった (結果省略)。圃場においても処理量と濃度と適切に組合せて、投入する総 EtOH 量を増やせば抑制効果はよ

り安定するかもしれない。なお、EtOH 濃度が 3% でも、定植後の根傷みや生育障害等は認められなかった (結果省略) が、これ以上濃度を高くして処理した場合の生育障害などは不明であり、注意が必要である。また、処理する低濃度 EtOH の調製には、処理温度が 50℃ 程度であれば液肥混入機なども利用できる。しかし、冬期処理において 50℃ では土壌温度がすぐに低下してしまうため、積極的な加温を行う場合は、機材やさらに条件の検討が必要である (北, 2006; 落合ら, 2009)。

II 低濃度エタノールを利用した土壌還元消毒によるダイコンのネグサレセンチュウ害およびウリ科ホモプシス根腐病の抑制

神奈川県三浦半島地域は、7～8月の盛夏が作物のない期間に当たるため、ウリ科ホモプシス根腐病対策としては、前作のダイコンのネグサレセンチュウ対策として行う D-D 油剤消毒と太陽熱消毒を組合せた併用処理が慣行的に行われている (小林ら, 1997)。しかし、近年環境への影響を低減するために D-D の使用を少なくすることが望まれている。化学農薬による土壌消毒の代替としては、土壌還元消毒や熱水土壌消毒が考えられるが、本地域は水源に乏しいため、水を大量に用いるこれら手法を実施するのは難しい。

一方、土壌還元消毒の室内試験において、土壌内の病

原菌密度を低減させる条件として、35℃以上の高温が一定時間維持できれば、湛水により酸素の流入を完全に抑えなくとも可能であることが示された（植草ら、2002；折原・植草、2010）。そこで、エタノールを少量で処理して土壤還元する手法（少かん水量土壤還元消毒）について、処理後1作目のダイコン栽培におけるネグサレセンチュウ害および続く2作目の夏作カボチャ栽培におけるホモプシス根腐病に対する抑制効果を検討した。

1 方法

試験1：ネグサレセンチュウとホモプシス根腐病が自然発生している圃場を用い、2010年8月4日に1%エタノール（100 l/m²）処理区（慣行の低濃度 EtOH 土壤還元消毒）および少かん水量土壤還元消毒処理として面積当たり EtOH 換算で 3%・100 l/m² 処理と同等量の EtOH 資材（土壤消毒用資材 EtOH 56% W/V）を原液のまま処理（5.3 kg/m²）する EtOH 資材原液処理区および対照として D-D 処理区（30 ml/m² 処理後被覆）、無処理・被覆区および無処理・無被覆区の計5処理区を設定した。処理後は、直ちに透明ポリフィルム（0.05 mm 厚）で8月25日まで21日間被覆して太陽熱処理を行った。除覆後、慣行に従って施肥・耕耘し、9月6日にダイコンを播種、慣行に従って栽培後、11月17日に収穫・調査した。

ダイコン栽培を行った試験区をそのまま用いて、引き続き夏作としてカボチャを栽培した。各処理区にカボチャ苗（2011年3月17日播種）を4月8日に定植し、慣行に従って栽培・収穫後、7月25日に抜根してホモプシス根腐病の調査を行った。

各処理終了直後とカボチャ栽培後に、深度20～

30 cm の土壌を採取して9 cm ポット（800 ml）に詰め、メロン種子を7粒ずつ直播し、1～2か月間、ガラス温室内で育苗したときのメロン苗の発病株率による生物検定を実施した。

試験2：試験1とは別のネグサレセンチュウ自然汚染圃場を用い、2011年8月8日に少かん水量土壤還元消毒処理として、EtOH 資材を水で2倍希釈および3倍希釈した液を1 m² 当たり 5.3 kg 散布し、トラクターで耕耘後鎮圧し被覆した区、対照として D-D 処理（30 ml/m²）被覆および無被覆区、無処理・被覆区および無処理・無被覆区の計6処理区を設定した。EtOH の処理は希釈液を散布し、トラクターで耕耘後鎮圧して行った。処理後、直ちに透明ポリフィルム（0.05 mm 厚）で8月29日まで21日間被覆して太陽熱処理を行った。除覆後、慣行に従って耕耘・施肥し、9月26日にダイコンを播種、慣行に従って栽培後、1月5日に収穫・調査した。

2 結果と考察

処理期間中は、被覆した区はいずれも太陽熱により深さ30 cm で35℃以上の地温が100時間程度維持された。試験1および2とも EtOH を処理した区では、いずれも処理後、ネグサレセンチュウは検出されず、結果として栽培終了時のダイコンのネグサレセンチュウ害は無処理区に比べて顕著に抑制された（表-1、2）。興味深いことに、両試験とも EtOH が到達するとは考えにくい深層（30～60 cm）においてもネグサレセンチュウ密度は著しく減少した。また、この深層の自活性センチュウ類も同様に減少しており（表-2）、深層においても何らかのセンチュウ密度低減効果が認められた。

試験1のカボチャ栽培試験において、果実の収量には

表-1 低濃度エタノールおよび各種土壌処理前後の土層別のネグサレセンチュウ数およびその他センチュウ数とダイコン栽培後のダイコンのネグサレセンチュウ被害度

処理区	ネグサレセンチュウ数 ^{a)}				その他センチュウ数 ^{a)}				ダイコン被害度 ^{d)}
	処理前		処理後		処理前		処理後		
	上層 ^{b)}	下層 ^{c)}	上層	下層	上層	下層	上層	下層	
1% EtOH (100 l/m ²)	1.7	1.3	0	0	116.3	27.9	0.9	0.2	1.7
EtOH 資材原液 (5.3 kg/m ²)	0.8	0.8	0	0	55.8	28.5	16.7	4.5	0.6
D-D・被覆	0.2	0.1	0	0	92.7	19.5	2.0	27.2	7.7
無処理・被覆	0.2	0.1	0.6	0.1	59.6	42.7	83.0	45.9	41.7
無処理・無被覆	0.3	0.6	0.5	1.1	104.5	37.7	113.4	44.3	63.7

（試験1：2010年）

a) 乾土20 g 当たりのセンチュウ数をバルマン法により計測。

b) 深度0～30 cm。

c) 深度30～60 cm。

d) 個体当たりの被害痕数について、0：なし、1：1～3、2：4～10、3：11～20、4：20＜により評価し、100分比で示した。

表-2 低濃度エタノールおよび各種土壌処理前後の土層別のネグサレセンチュウ数およびその他センチュウ数とダイコン栽培後のダイコンのネグサレセンチュウ被害度

処理区	ネグサレセンチュウ数 ^{a)}				その他センチュウ数 ^{a)}				ダイコン被害度 ^{d)}
	処理前		処理後		処理前		処理後		
	上層 ^{b)}	下層 ^{c)}	上層	下層	上層	下層	上層	下層	
EtOH 資材 2 倍希釈 ^{e)}	6.5	28.5	0	0	168.7	57.3	1.0	1.5	7.0
EtOH 資材 3 倍希釈 ^{e)}	17.0	32.8	0	0	84.8	49.7	0.0	0.0	7.0
D-D・被覆	3.5	21.7	0	0	115.7	21.3	0.5	1.0	2.0
D-D・無被覆	2.7	8.8	0.5	0	161.0	49.8	4.5	4.0	11.0
無処理・被覆	4.8	12.0	0	2.5	142.0	106.0	32.5	33.5	28.0
無処理・無被覆	0.3	3.0	0.5	4.5	154.5	24.2	386.0	126.0	37.0

(試験 2 : 2011 年)

^{a)} 乾土 20 g 当たりのセンチュウ数をベルマン法により計測。^{b)} 深度 0 ~ 30 cm.^{c)} 深度 30 ~ 60 cm.^{d)} 個体当たりの被害痕数について、0 : なし、1 : 1 ~ 3、2 : 4 ~ 10、3 : 11 ~ 20、4 : 20 < により評価し、100 分比で示した。^{e)} EtOH 土壌消毒用資材 (56% w/v) は水で 2 および 3 倍に希釈して処理した。処理量は 5.3 kg/m² (EtOH 換算で 1.5% および 1% EtOH 水溶液の 100 l/m² 処理と同等量) で、処理法は希釈液を散布し、トラクターで耕耘後鎮圧してポリエチレンフィルムを 21 日間被覆した。

処理区間に有意差は認められなかった (結果省略) が、栽培終了時の 1% EtOH 処理区、EtOH 資材原液処理区および D-D 処理区におけるカボチャ根部のホモブシ根腐病の発病度は、無処理・被覆区および無処理・無被覆区と比較して顕著に低く、高い発病抑制効果が認められた (表-3)。メロン苗を用いた生物検定において、各処理直後の土壌では無処理・無被覆区に比べいずれの処理でも発病は抑制されたが、処理による違いは認められなかった。カボチャ栽培終了後の土壌でも各処理により発病抑制は認められたが、カボチャ根の発病程度とは一致していなかった。カボチャの栽培や収量に影響しない程度の低い菌密度であったので生物検定では正確に評価できなかった可能性がある (表-3)。それゆえ、より菌密度の高い圃場における検討が必要である。

これらの結果から、夏期に行った EtOH の少かん水量土壌還元消毒処理により、処理直後の秋冬ダイコン栽培におけるネグサレセンチュウ害だけでなく、次作の夏作カボチャ栽培でのホモブシ根腐病まで抑制できる可能性が示された。

III 鉢物用培土に対する低濃度エタノールによる土壌還元消毒効果

湛水処理できない鉢物類の培土消毒において、夏期の太陽熱消毒効果を高めるための補完的手法として、エタノールを用いた少かん水量土壌還元消毒について検討した。

表-3 低濃度エタノールおよび各種土壌処理しダイコン栽培後、次作のカボチャ栽培におけるホモブシ根腐病の発病状況と各処理直後およびカボチャ栽培後土壌のメロン苗を用いた生物検定

処理区	カボチャ栽培後、根の発病度 ^{a)}	メロン苗生物検定の発病度 ^{b)}	
		処理直後	栽培終了後
1% EtOH (100 l/m ²)	3.9	34.7	7.1
EtOH 資材原液 (5.3 kg/m ²)	1.3	36.7	25.9
D-D・被覆	7.7	33.3	43.9
無処理・被覆	26.9	37.5	24.8
無処理・無被覆	53.8	85.8	62.5

^{a)} 発病指数を、0 : 無病徴、1 : わずかに根に褐変、2 : 根表面の 50% 程度まで褐変、3 : 根表面の 50% 以上が褐変により評価して 100 分比で示した。^{b)} メロン苗の発病株率から算出した。

1 方法

処理土壌の高さを一定に保つための装置としてスチールアングル枠 (縦 600 mm × 横 600 mm × 高さ 450 mm) にメッシュパネル (50 mm 角格子) を側面にはめ、内部に透明ポリフィルム (0.05 mm 厚) を敷き、培土を 30 cm 高 (体積 108 l) に詰め、アングル枠内の培土全体をこのポリフィルムで被覆して太陽熱処理ができるようにした (図-3)。

処理による土壌消毒効果の判定には、シクラメン萎凋病菌 (*Fusarium oxysporum* f.sp. *cyclaminis*) を用い、そ

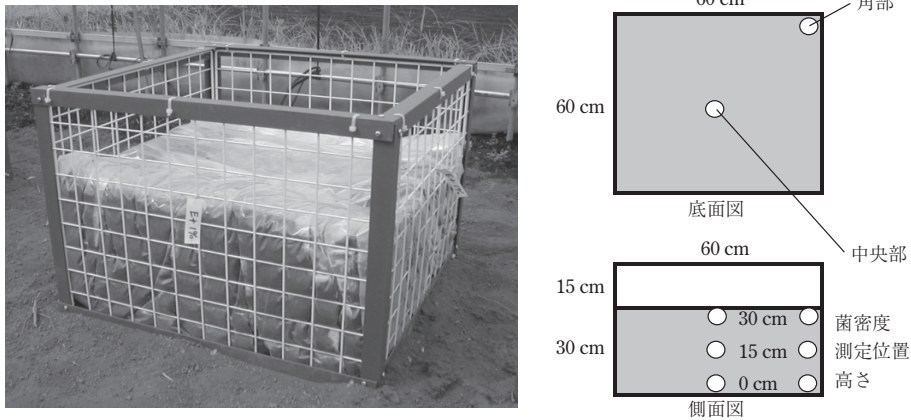


図-3 培土消毒試験に用いたアングル枠（縦 60 cm × 横 60 cm × 高さ 45 cm）と菌密度測定した位置

表-4 鉢用培土に対する各種土壤処理がフザリウム属菌の生存に及ぼす影響（2010 年試験）

埋設位置 ^{a)}	反復	エタノール処理区					クロロピクリン錠剤処理区		無処理区	
		0.5% (w/v) 混和		1% (w/v) 混和		1% (w/v) かん注				
		ハウス ^{b)}	露地	ハウス	露地	ハウス	ハウス	露地	ハウス	露地
0 cm 中央部	—	nd ^{c)}	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	4.2
0 cm 角部	1	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	2.7	4.3
	2	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	4.3
	3	nd	nd	nd	4.3	nd	nd	nd	3.9	4.1
15 cm 中央部	—	nd	nd	nd	3.3	nd	nd	nd	nd	3.7
15 cm 角部	1	nd	nd	nd	3.4	nd	nd	nd	nd	3.9
	2	nd	4.0	nd	4.3	nd	nd	nd	nd	4.1
	3	nd	2.0	nd	4.6	nd	nd	nd	2.2	4.1

a) アングル枠の底からの高さで中心からの位置に不織布の袋に汚染培土をつめて埋設した。

b) 密閉したパイプハウス内に設置。

c) 検出されず。

数値は処理前に埋設したシクラメン萎凋病菌 (*Foxysporium f.sp. cyclaminis*) の処理後の密度で、単位は log cfu/g dry soil.

の厚壁胞子と菌糸を土壤に混和した人工汚染培土を作製した。2010 年の試験では、汚染培土を不織布の袋に詰めアングル枠内の培土に埋設した。2011 年の試験では、処理する培土はすべて汚染培土を用いた。菌密度は処理前後に Fo-G1 培地（西村，2008）を用いた希釈平板法で測定した。

培土に対するエタノール (EtOH) の施用量は EtOH 資材（前出）を水で希釈した水溶液を 8.7 kg/土 m³ とし、EtOH の濃度は培土容量当たり EtOH 重量率で 0.25、0.5、1% になるように水溶液を調整して、攪拌機で培土と混和し、各濃度の EtOH 混和区とした。同様に培土容量当

たり EtOH 重量率で 0.25、0.5、1% になるように水溶液を調整して、手製の土壤かん注装置でアングル枠に詰めた培土の上面から 15 cm の深さに 15 cm 千鳥間隔で処理して EtOH かん注区とした。対照には無処理および 2010 年の試験ではクロロピクリン錠剤を規定量処理するクロロピクリン錠剤処理区を、2011 年の試験はショ糖 (0.5% w/v) 処理区を設定した。

2010 年は露地およびパイプハウス内において 8 月 11 日～9 月 15 日まで 34 日間、2011 年はパイプハウス内において 8 月 9 日～31 日まで 22 日間太陽熱処理を行った。

表-5 鉢物用培土に対する各種土壌処理がフザリウム属菌の生存に及ぼす影響 (2011 年試験)

採土位置 ^{a)}	エタノール処理区				シヨ糖 ^{b)} 処理区	無処理区
	0.25% (w/v)		0.5% (w/v)			
	混和	かん注	混和	かん注		
0 cm 角部	nd ^{c)}	nd	nd	nd	nd	nd
0 cm 中央部	nd	nd	nd	nd	nd	nd
15 cm 角部	3.2	nd	nd	nd	nd	nd
15 cm 中央部	1.4	nd	nd	nd	nd	2.2
30 cm 角部	nd	2.1	nd	nd	nd	3.4
30 cm 中央部	nd	nd	nd	nd	nd	3.7

^{a)} アンゲル杵の底からの高さを中心からの位置の培土を採土した、アンゲル杵は密閉したパイプハウス内に設置。

^{b)} 0.5% (w/v) を土壌に混和した。

^{c)} 検出されず。

数値はシクラメン萎凋病菌の処理後の密度で、単位は $\log^{10}$ cfu/g dry soil, 開始時の菌密度は 4.7.

2 結果と考察

アンゲル杵をハウス内に設置しても無処理区ではかなりの菌数が残存しており、太陽熱消毒による高温だけでは効果が不十分であった。これに対して、EtOH を 0.5% 濃度以上で処理した区ではハウス内に設置した場合には、処理方法や杵内の位置にかかわらず、いずれも病原菌は検出されなかった (表-4, 5)。露地に設置し、十分に加温できなかった場合は EtOH 1% 濃度処理区でも菌が一部残る場合があった (表-4)。培土の温度について露地とハウス内を比べてみると、30℃ 以上になった積算時間はほとんど同じなのに比べて、35℃ 以上になった積算時間が露地ではハウス内の半分程度であった (結果省略)。これは少かん水量土壌還元消毒には 35℃ 以上の高温が一定時間維持されることが必要であることを示している。また、この条件に加え、EtOH 処理した培土が空気になるべく触れないようにフィルムを土壌表面に密着させる工夫なども必要であると考えられる。

以上の結果から、処理条件を満たせば、鉢物用培土に対して EtOH による少かん水土壌還元消毒を適用できる可能性が示された。

お わ り に

0.5 ~ 2% の低濃度エタノールを 100 ~ 200 l/m² 程度処理して行う土壌還元消毒は、多くの試験例が蓄積され土壌病害や線虫に有効な土壌消毒手法であること、また、処理するために特別な設備や装置は不要であること

等普及性は高いと思われる。しかし、対象とする病害虫の種類や使用場面、圃場条件においては、様々な限定要因が少なからずある。今回ここで紹介したエタノール水溶液を積極的に加温する方法や少かん水量による処理方法は、低濃度エタノール土壌還元消毒の効果を高めて安定させたり、慣行の方法では対応できない場面でも本技術を利用しようとする試みで検討した。これらの方法はまだ試験例が少なく異なる土壌や圃場の条件でも効果を発揮できるか検討する必要がある、また、解明されつつある一般的な土壌還元消毒のメカニズム (KATASE et al., 2009; MOMMA et al., 2010; 2011) と少かん水量による効果のメカニズムも同様であるのかなど、まだ不明な点も多くある。しかし、今後、各地でそれぞれの土壌条件や実施時期に合わせて、様々な土壌伝染性病害虫に対して本技術の利用を考えると、今回紹介した方法が、処理方法の最適化の一助となり、さらに広い場面で効果的で安定した発病抑制効果が得られる土壌消毒技術として普及が進むことを期待したい。

引 用 文 献

- 1) KATASE, M. et al. (2009): Nematol. Res. 39: 53 ~ 62.
- 2) 北 宜裕 (2006): 野菜茶業研究集報 3: 7 ~ 15.
- 3) 小林正伸ら (1997): 関東病虫研報 44: 79 ~ 81.
- 4) MOMMA, N. et al. (2010): J. Gen. Plant Pathol. 76: 336 ~ 344.
- 5) ——— et al. (2011): ibid. 77: 331 ~ 335.
- 6) 西村範夫 (2008): 植物防疫 62: 164 ~ 167.
- 7) 落合博之ら (2009): 土壌の物理性 112: 9 ~ 12.
- 8) 折原紀子・植草秀敏 (2010): 関東病虫研報 57: 134 (要旨).
- 9) 植草秀敏ら (2002): 関東病虫研報 49: 23 ~ 29.