

熱水土壤消毒法の現状と今後の展望

農林水産省農業研究センター なか 中 やま 山 たか 尊 と 登

はじめに

農業生産において、特に高収益性の作物を年廻り連作する施設栽培農業は、土壤消毒なくしては成り立ち得ない。土壤消毒目的に使用される化学農薬の中で臭化メチルはその広い殺菌・殺虫活性ばかりでなく、土壤伝染性ウイルスや雑草の防除にも有効であることから広く用いられてきたが、オゾン層破壊物質として2005年の全廃が既に決定された。そのため、既存のクロロピクリン剤等の適用拡大や新剤型の開発を中心に対応が図られているが、臭化メチルに相当する有効な薬剤は今のところ見いだされていない。こうした状況と、農薬の環境への影響に対する懸念から、太陽熱消毒や蒸気消毒等の熱を利用した土壤消毒技術が再び注目され始めている。これらの技術は処理期間が長い、消毒作業の労力が大きい等の理由から、広く普及しているとは言いがたいが、処理法・作業形態の改善、薬剤との併用等による防除効果や作業効率の向上が報告されている(中澤, 1996; 白木, 1999)。

熱による別の土壤消毒法として、國安ら(1986, 1991)によって開発された熱水土壤消毒法がある。本法は、土壤表面から熱水を土壤中に注入することによって病原菌や害虫を死滅させる方法で、これまでにトマト萎凋病(國安ら, 1986)、ホウレンソウ萎凋病(國安ら, 1993)、ハクサイ根こぶ病(森谷ら, 1994)、コムギ立枯

病(西ら, 1992)、コムギから黒穂病(萩原ら, 1996)、ダイズ黒根腐病(西ら, 1990)、キタネグサレセンチュウ(森谷ら, 1994)、サツマイモネコブセンチュウ(百田, 1991)に対する防除効果が報告されている。また林(1992)により神奈川県でバラ根頭がんしゅ病に対する熱湯土壤消毒法が開発され、同法は現在、バラだけでなく同県内のトマト栽培農家で実用的に用いられている(北, 1999)。

本稿では、農林水産省農業研究センター、群馬県園芸試験場並びに高知県農業技術センターで行われた熱水土壤消毒法に関する研究成果を中心に、臭化メチル代替技術としての本方法の現状と問題点、その将来展望について述べる。

I 熱水土壤消毒法の概要

熱水土壤消毒法に必要な機材・資材は、熱水製造用ボイラー、燃料、散水用ホース類、被覆用フィルム、水源(井戸等)および電源である。現在筆者らが使用しているボイラー(丸文製作所製)は、出力25万kcal/hで、A重油または灯油を燃料に使い、95℃の熱水を毎分50ℓ作り出すことができる。散布経路の自動切替装置を用いることにより、大面積の連続処理も可能である。散水チューブには市販の園芸用散水チューブ(スミサンスイR横飛び)を使用し、被覆には農業用ポリエチレンフィルムを使用している(図-1)。

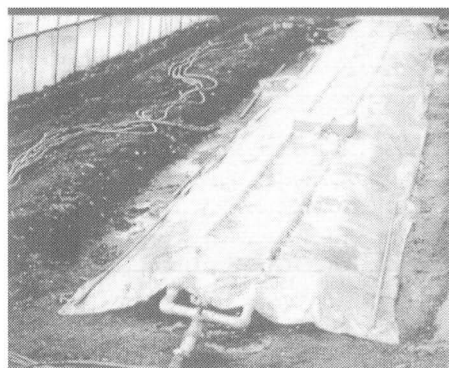
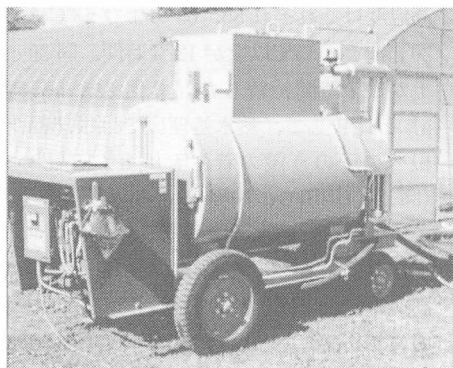


図-1 熱水ボイラー(左)と熱水処理時の様子(右)

熱水注入前に圃場はできるだけ乾燥させ、深耕、均平化する。圃場表面に散水チューブを30～40 cm間隔で平行に敷設し、これを耐熱ホースを経由してボイラーに接続する。以上の準備が整ったら圃場表面を被覆フィルムで覆い、熱水を注入する。処理後1～2日間は被覆を続け保温を図り、被覆を除去した後、必要に応じて肥料等を混和すれば定植可能である。なお筆者らの行っている条件（熱水製造能力約50 l/分、熱水注入量200 l/m²、注入速度2 l/m²・分）で熱水注入処理を行う場合、同時処理が可能な面積は25 m²、同面積当たりの所要時間は約100分である。連続処理をした場合、10 aの処理に要する時間は約67時間になる。

II トマト萎凋病の防除

フザリウム菌の熱死滅条件を接種土壌で調べたところ、おおむね50℃、8時間で死滅することが判明した（中山ら、1997）。また、滅菌土壌の下層にトマト萎凋病菌の汚染土壌を埋め込んだ深底ポットでトマトを栽培したところ、地表面から30 cmまで殺菌状態であれば、発病は大幅に軽減された（中山ら、1998）。以上から実際に熱水土壌消毒を行うに当たっての目標を、地表下30 cmの土壌温度が50℃で8時間以上持続することとした。

農業研究センター内のトマト萎凋病菌を接種した圃場で熱水土壌消毒による防除試験を行った（図-2）。熱水処理量は150、200 l/m²、あるいは熱水150 l/m²散布の後に温水（約50℃）を50 l/m²散布する処理も行った（追加給水区）。熱水処理量と土壌温度の関係を調べた結果、95℃の熱水を200 l/m²処理することにより、地表下30 cmの土壌温度を50℃以上に約8時間持続さ

せることができた。また追加給水区では、150 l/m²処理の場合よりも地表下30 cmの土壌温度が上昇した。萎凋病の防除効果は、熱水処理区ではいずれも優れた効果が認められ、また追加給水区では200 l/m²と同程度に発病が抑えられた（図-2）（中山ら、1998）。これは、追加給水により地表から浸透してきた水によって、先に土壌中に注入された高温の水塊が下層へと押し下げられたことを示している。このように、下層土壌の消毒には、熱水注入の後、熱水の前線を押し下げるための追加給水が有効であると考えられる。実際に追加給水に用いる水にはボイラーを消火した後の残り湯を用いればよく、追加給水は熱水土壌消毒法のコスト削減にもなると思われる。今後、防除効果を上げるための熱水処理量と追加給水量との関係について明らかにする必要がある。

III ウリ類黒点根腐病の防除

平成9年12月、群馬県新田郡藪塚本町の小玉スイカ栽培農家圃場において、スイカ黒点根腐病の熱水土壌消毒による防除試験を行い、薬剤の防除効果との比較を行った（図-3）。熱水処理（約180 l/m²）による試験区内6地点の地表下10、20、30および40 cmの最高温度はそれぞれ65～88℃、48～82℃、37～74℃、34～67℃とばらつきが見られたが、6地点のうち、5地点の地表下20 cmで55℃以上が2時間以上持続した。クロルピクリン錠剤区（1万錠/10 a）で最も防除効果が高く、次いで臭化メチル区（30 kg/10 a）、熱水処理区、カーバマナトリウム塩液剤区（40 l/10 a）の順で、熱水処理区は臭化メチルとほぼ同等の防除効果が認められた（酒井ら、1998）。また平成10年8月、高知県安芸郡芸西村のメロン栽培農家において行った試験では、熱水処理区（約130 l/m²）の地表下10、20および30 cm地点の最高温度はそれぞれ86、63および53℃であった。地表下20 cmでは55℃以上が12.3時間、同30 cmでは50℃以上が9.7時間持続した。臭化メチル処理区（20 kg/10 a）と比較して、熱水処理区では根部褐変程度は低く、根への子のう殻の着生もほとんど認められなかった（図-3）（川田ら、未発表）。

以上から、熱水土壌消毒法はウリ類黒点根腐病に対しても有効であると考えられた。しかし病原菌の耐熱性が高いので、下層土壌の最高到達温度はトマト萎凋病菌等のフザリウム菌の場合より高くなるように処理を行う必要がある。

IV 線虫害の防除

清水ら（1997）は、サツマイモネコブセンチュウ、キ

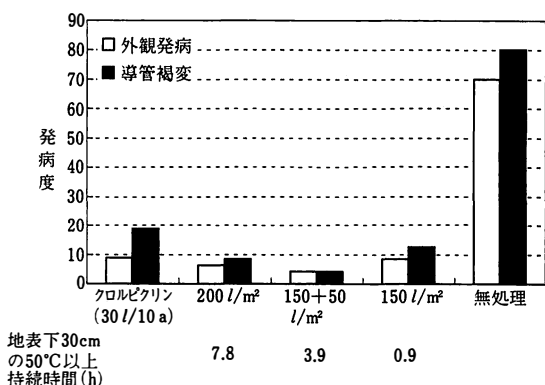


図-2 トマト萎凋病に対する熱水土壌消毒の防除効果
（中山ら、1998）
150+50 l/m²区は熱水150 l/m²注入後、50 l/m²の追加給水を行った。

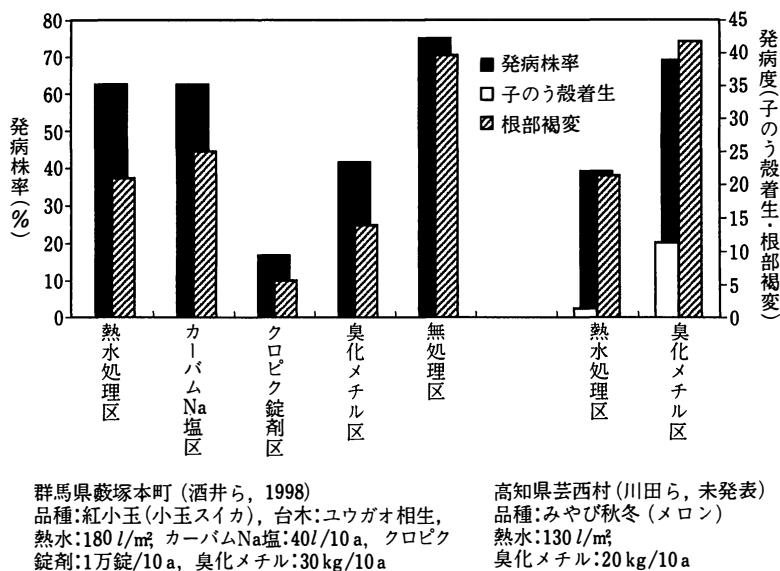


図-3 ウリ類黒点根腐病に対する熱水土壌消毒の効果

タネグサレセンチュウ、およびダイズシストセンチュウの汚染土壌を埋設した圃場において、熱水処理 (95°C, 約 240 l/m²) の効果を検討した。熱水注入によって地表下 20 cm の土壌温度は 75°C ないし 85°C に達し、同深度に埋めた汚染土壌から線虫は全種とも全く検出されず、十分な消毒効果が得られた。しかし地表下 40 cm の土壌温度は 45°C ないし 50°C までしか上昇しなかったため、線虫の一部残存が認められた。このことから熱水土壌消毒による線虫害の防除では、熱水による消毒効果が得られにくい深層土壌の線虫制御が課題と考えられる。

V 土壌伝染性ウイルス病害の防除

本田ら (1999) はキュウリ緑斑モザイクウイルス (CGMMV) やトマトモザイクウイルス (ToMV) の感染植物体を地表下 5~30 cm に埋めて熱水処理 (約 200 l/m²) を行い、処理後試料中のウイルス活性を調べた。熱水消毒の効果 (ウイルスの不活性化) は土壌温度が 90°C 以上に上昇した地表下 5~10 cm までしか認められず、それより下層では温度上昇が不十分なためウイルスの不活性化は認められなかった。しかし地表から 10 cm までウイルスが不活性化されていれば苗移植時における根の有傷感染が起こらないことが確かめられたことから、熱水処理による 90°C 以上の土壌深度をさらに深くすることで、これらウイルス病の防除が可能であると考えられる。

VI 除草効果・除塩効果・土壌微生物相への影響

臭化メチルが広く用いられてきた理由の一つに、雑草防除効果があり、クロルピクリンや MITC 剤等で効果試験が進められている。熱水土壌消毒法による雑草抑制効果は、西ら (1999) や森谷ら (1994) によって報告されている。本法には施設栽培で問題となる塩類集積土壌の除塩効果もあり、熱水処理によって硝酸態窒素やカリウム含量が低下するとの報告がある (北, 1999)。また、薬剤による土壌消毒では処理土壌中の微生物相への影響は極めて大きい。熱水土壌消毒法の場合、ダイズの根粒菌や自活性線虫への影響は少ないと報告されている (西ら, 1999; 百田ら, 1992)。

おわりに

臭化メチル使用量の削減が進んでいる現在、熱水土壌消毒法はその代替技術の一つとして期待されるが、現時点ではまだいくつかの問題点が残されている。

本法は熱水を土壌中へ浸透させ、その熱エネルギーによって消毒するため、透水性の悪い土壌では処理が困難である。そのような圃場では、深耕や暗渠の導入等によって透水性を改善する必要がある。また、地表下 30 cm より深層の土壌温度を十分に上昇させるには、多量の熱水の注入が必要であるが、実際には経済性の点から困難である。このため、深層土壌の消毒に関しては、農薬あるいは生物防除剤との組み合わせや、還元消毒法 (新村

ら、1999) 等の他の防除手段との組み合わせを検討する必要がある。

薬剤と 10 a 当たりの処理コストを比較した場合、熱水土壤消毒法 (200 l/m² 処理) は燃料費のみで 8 万円 (灯油 2 kl, ¥40/l) から 6 万円 (A 重油, 消費量同じ, ¥30/l で計算) かかり、クロルピクリン液剤の 3.3 万円 (30 l/10 a, ¥1,100/l), 臭化メチルの 3.9 万円 (30 kg/10 a, ¥1,300/kg) と比較すると割高である。しかし北 (1999) が述べているように、熱水による消毒効果が 3 年持続すれば、処理コストは毎年の薬剤防除と同等となることから、今後処理後の土壤管理を含め、効果を長期間持続させるための組み合わせ技術を確立する必要がある。また本法の導入のための初期コストとして、出力 25 万 kcal の熱水ボイラー本体が約 300 万円、他に耐熱ホース等を含めると一式で約 360 万円の経費がかかるので、積極的な導入を進めるためには、共同使用による農家一戸当たりの負担の軽減、あるいは導入のための補助金制度等の行政的なバックアップが重要である。資材に関しても、今後均一に散水可能で十分な耐熱性のある散水チューブや、温室暖房用ボイラーとの共用可能な熱水ボイラーの開発等が望まれる。

熱水土壤消毒法は、ウイルスを除く土壤病害虫に対する防除効果があり、加えて除草効果や除塩効果など、薬剤にはない効果が期待できることから、有機栽培技術の一つとして受け入れられていくことが今後期待される。

引 用 文 献

- 1) 萩原 廣ら (1996): 関東病虫研報 43: 57~58.
- 2) 林 勇 (1992): 現代農業 71: 154~157.
- 3) 本田要八郎ら (1999): 平成 10 年度総合農業試験研究成績・計画概要集—病害—
- 4) 北 宜裕 (1999): “農業技術体系” 第 5-① 巻 (追録第 10 号): 畑 216 の 7 の 2~7. 農山漁村文化協会, 東京.
- 5) 國安克人・竹内昭士郎 (1986): 野菜試報 A 14: 141~148.
- 6) ———ら (1991): 植物防疫 45: 247~251.
- 7) ———ら (1993): 関東病虫研報 40: 97~99.
- 8) 百田洋二 (1991): 日植病報 57: 127 (講要).
- 9) ———・國安克人 (1992): 同上 58: 107 (講要).
- 10) 森谷 茂ら (1994): 北日本病虫研報 45: 76~79.
- 11) ———ら (1994): 東北農業研究 47: 309~310.
- 12) 中澤端彦 (1996): 農業春秋 73: 17~20.
- 13) 中山尊登ら (1997): 日植病報 63: 215 (講要).
- 14) ———ら (1998): 同上 64: 341 (講要).
- 15) 西 和文ら (1990): 菌草研究所研報 28: 321~333.
- 16) ———ら (1992): 関東病虫研報 39: 39~42.
- 17) ———ら (1999): 農研センター研報 30: 11~109.
- 18) 酒井 宏ら (1998): 関東病虫研報 45: 77~79.
- 19) 清水 啓ら (1997): 同上 44: 303~305.
- 20) 新村昭憲ら (1999): 日植病報 65: 352~353 (講要).
- 21) 白木己歳 (1999): 臭化メチルに頼らないハウスの新しい太陽熱処理法, 農文協, 東京, 135 pp.

■ 農薬に関する唯一の統計資料集

■ 登録のある全ての農薬名を掲載

1999 年版 (平成 10 農薬年度)

農 薬 要 覧

農林水産省農産園芸局植物防疫課 監修

主 な 目 次

- I 農薬の生産, 出荷—種類別生産出荷数量・金額/製剤形態別生産数量・金額/主要農薬原体生産数量/種類別会社別農薬生産・出荷数量/など
- II 農薬の流通, 消費—県別農薬種類別出荷金額/農薬の農家購入価格の推移/など
- III 農薬の輸出, 輸入—種類別輸出数量/種類別輸入数量/仕向地別輸出金額/など
- IV 登録農薬—平成 10 年 9 月末現在の登録農薬一覧/農薬登録のしくみ/など
- V 新農薬解説
- VI 関連資料—10 年度農作物作付(栽培)面積/主要病害虫の発生面積・防除面積/など
- VII 付 録—農薬の毒性及び魚毒性一覧表/関係機関等名簿/登録農薬索引/など

- ◆ B6 判・753 ページ
- ◆ 定価 本体 7,200 円 (税別)
- ◆ 送料サービス

バックナンバー

- 1998 年版—7,350 円 送料サービス
- 1997 年版—7,350 円 //
- 1995 年版—5,505 円 //
- 1994 年版—5,301 円 //
- 1989 年版—4,485 円 送料 340 円

※定価は税込価格です。

■ 品切絶版

1963~82, 83~88, 90~93, 96 年版

■ ご注文は、個人は前金 (現金・振替) で、機関購入は後払いも可、本会へ