

今月の農業

農薬・資材・技術

5

2003

特別企画

臭化メチル代替技術

第2部 物理的消毒法を中心に



化学工業日報社

〔総論〕

化学合成農薬に依存しない 土壌病害防除技術開発の現状

(独法) 農業技術研究機構 野菜茶業研究所果菜研究部

病害研究室長

にし
西

かず
和

ふみ
文

臭化メチル生産の原則ゼロスター卜年である二〇〇五年を目前にして、新段階を迎えた土壌病害対策では、代替農薬を用いた土壌消毒法(本誌四月号で広く紹介している)と並んで、物理的手法による土壌消毒技術が広く注目を集めてきている。また、抵抗性品種・台木の使用や生物防除法などの研究も進んでいる。本号ではこれら化学合成農薬に依存しない土壌病害防除技術について紹介し、新しい時代の土壌病害防除対策技術選択の糧としたい。

ポスト臭化メチル時代の土壌消毒技術として今注目を集めているのが、熱を利用した物理的消毒法である。化学合成農薬に依存せず、かつ応用範囲の広い技術として、新たな技術開発と従来からの技術の見直しと改良が進んでいる。熱を加えることにより土壌中の有害微生物が死滅することは古くからよく知られており、現在では第一表に示すような各種技術が実用に供され、あるいは実用段階に達している。このほかに、マイクロ波加熱技術など、試験段階のものもある。

第一表にあげたものの中で、火焰

消毒(牧草地や芝地の火入れなど)この方式の変法と考えることができる)や焼土法は、近代農業以前から実用技術として用いられてきた。現在でも、火焰消毒は農耕地や草地の除草対策に用いられており、焼土法は育苗土の消毒技術として広範に使用されている。しかし、火焰消毒では効果のおよぶ範囲が土壌の表面部分のみである点で、本圃の土壌消毒に適用することは困難である。また、本圃の深さ数十センチまでの土壌をすべて消毒機に投入することは物理的に困難といわざるをえず、焼土法の本圃への適用も現実的とはいえない。本圃での効果的利用が可能な物理的消毒法は、蒸気消毒、太陽熱消毒、熱水、土壌消毒、土壌還元消毒、土中加温消毒、散水蒸気消毒の六種類であろう。蒸気消毒(第一図参照)は、一九三〇年代以降ヨーロッパなどに広く普及した。ポイラーで発生させた水蒸気を土壌中に導いて地温を上げ、消毒効果を上げようというものである。わが国へは一九六〇年代に導入され、隔離ベット方式の施設栽培や床土消毒に広く用いられている。静岡県の温室メロン栽培などは、メロン

【第1表】熱を利用した主な物理的消毒法

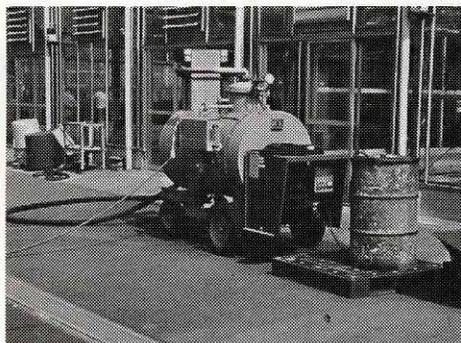
種類	内容と特徴
火焰消毒	一種の火焰放射機で土壌表面の火焰消毒を行う。土壌内部への熱の浸透はなく、表土上の病原菌、昆虫、雑草などにのみ有効である。本圃への適用は困難である。
焼土法	土壌を攪拌しながら熱し、消毒する。床土消毒や隔離ベツト用の土壌消毒には有効であるが、本圃への適用は困難である。
蒸気消毒	水蒸気を地表面あるいは土壌内部から浸透させることにより消毒を行う。隔離ベツト栽培や床土消毒では極めて有効。土耕栽培では効果がやや劣る。作業性とマンガン過剰症発生の恐れがある点にやや難がある。ヨーロッパでは広く使用されている。使用時期の制限もほとんどない。
太陽熱消毒	土壌に十分な水分を持たせた上でマルチを行い、施設では密閉処理して太陽のエネルギーを取り込み、消毒を行う。コストのかからない有用な技術で、施設栽培の基本技術の一つといえる。難点は、防除効果が天候に左右されやすいこと、高標高地や寒冷地では実施困難なこと、実施時期が夏期に限定されること、処理に長時間を要すること、露地圃場での効果は限られていることなどである。わが国で開発・実用化された技術で、海外にも広まっている。
熱水土壌消毒	土壌中に熱水（通常80～95℃）を注入して地温を上げ、土壌消毒を行う。積雪地などを除くと厳冬期でも実施可能（効率は夏期よりも劣る）で、作物の生育も良好となる場合が多い。多量の水を必要とするが、マンガン過剰症発生の可能性は低い。傾斜地や難透水性土壌を除くと、防除効果は安定している。わが国で開発・実用化された技術である。
土壌還元消毒	土壌中に多量の分解しやすい未熟有機物をすきこんだ上で、太陽熱消毒を行う。他の物理的消毒法より低温でも効果があり、寒冷地や高標高地でも実施可能。作物に対する生育促進効果も認められる。実施時期は夏期を中心とした時期であるが、熱水土壌消毒と組み合わせることで通年実施可能となる。保水性の劣る土壌での効果はやや低くなる。
土中加温消毒	土壌中にパイプを埋設し、そこに熱水あるいは熱媒体となる液体を循環させて、土壌内部から地温を上昇させて消毒する。土壌表層部分の消毒は、通常太陽熱消毒とする。コストはかかるが、土壌深部までの消毒が可能である。
散水蒸気消毒	通常の蒸気消毒を終えた後で表面から散水する。散水された水は蒸気のもたらしたエネルギーを受けて熱水に変わり、下層に浸透する。蒸気消毒よりも下層部の消毒効果を高めることが可能である。わが国で開発され、現在実用化の道を歩みつつある最新技術である。

毛根病など対処困難な病害も一部にはみられるものの、蒸気消毒の導入で土壌病害を克服したといっても過言ではない。

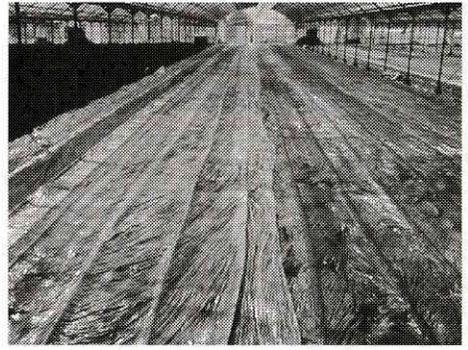
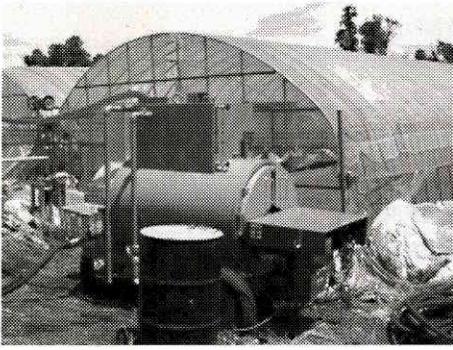
ただ土耕栽培の場合には、効果のおよぶ範囲が土壌表面の浅い部分（通常二〇センチ程度）に限られがちなことと、蒸気が土壌中に均一に浸透せず、結果的に未消毒部分ができ

てしまう場合があることなどから、十分な防除効果が得られない事例も散見される。また、消毒の作業労力が大変なこと、マンガン過剰症による生育障害が発生するおそれがあることなどが、問題点として指摘されている。蒸気を土壌中に注入する方式には、ホジソンプイプ方式、スパイクパイプ方式、キャンパスホース方式などがある。

太陽熱利用ハウス密閉処理による土壌消毒は、奈良県ではまった技術で、多くの土壌病害や有害線虫に適用でき、海外でも採用されることとなつている。多くの土壌病害に対し成功事例があり、ポスト臭化メチル時代においても土壌病害対策の基本技術として、実施可能な条件にある栽培体系では必須の対策として取り入れたい技術である。稲わらなどの粗大有機物や石灰窒素を施用し



【第1図】蒸気消毒の実施風景



【第2図】熱水土壤消毒の実施状況

たあと畦をたて、畦間灌漑のあとビニール被覆をし、ハウス密閉処理を行う。

安価で安全、残留農薬の心配のない技術として、関東以西の地域で広く取り入れられている。近年、宮崎県では作畦後に太陽熱土壤消毒を行い、消毒後はその畦をそのまま利用して（耕起することなく）栽培する改良型の太陽熱土壤消毒法を開発し、実用に移されている。太陽熱利用ハウス密閉処理による土壤消毒の難点は、天候に左右されて消毒効果が不安定なこと、盛夏期以外には防除効果が十分に上がらないこと、北日本や高標高地での適用が困難なこと、処理に要する期間が長いこと、メロンの黒点根腐病などのように十分な効果が認められない病害が存在すること、ハウス内のセンサー類やパイプ類に障害をおよぼすことがあるなどである。露地圃場における太陽熱消毒は、野菜類の苗立枯病などでの効果が認められているが、効果の安定性や適用範囲の狭さなどの点で、あまり普及していない。

熱水土壤消毒(第二図参照)は、今最も注目を集めている土壤消毒技術

の一つで、規模の大きさを問わず施設栽培農家で実施できる実用技術として注目され、近年現場への普及が急速に進んでいる。

高温の熱水(通常 $80\sim 95$ 度 C)を圃場に導くことで、地温を上げて土壤消毒を行う。基本的にはわが国で開発・実用化された技術で、現在、アメリカなどでも本技術の研究がはじめられている。試験的には露地野菜や畑作物などの土壤病害虫にも適用可能である(第二表参照)が、コストや水利問題などから、当面は施設での果菜類、花き類、軟弱野菜類を中心に普及してゆくと考えられる。高温の熱水(通常は $80\sim 95$ 度 C 程度)のものが用いられる。圃場表面から注入し、地温を上げて殺菌を図るものである。熱水の注入量は $100\sim 200$ リットル/平方メートルを基本に、対象作物、病害、土質、地温、注入する熱水の温度などを考慮して調整する。

熱媒体となる熱水は、土壤表面から内部へと自然に浸透してゆくので、蒸気消毒の場合よりも土壤深部への熱の伝導性が優れ、土耕栽培における消毒効果も優れる。糸状菌病に対

する防除効果は高く、細菌病に対する防除効果も認められる。雑草に対する抑制効果も高い。土壤伝染性のウイルス病に対する消毒効果は、メロンえそ斑点病のように媒介糸状菌に作用して間接的に防除効果を示すような場合を除くと、あまり期待できない。消毒の実施には地域的あるいは季節的な制約が少ない(少なくとも九州地域の平坦部では厳冬期でも実施可能である)。

しかし本法による消毒効果は、透水性の悪い圃場や傾斜のある圃場では十分に発揮できないことが多い。蒸気消毒に比較すると作業性は圧倒的に優れ、マンガン過剰による生育障害発生の可能性も少ない。消毒開始から定植(播種)可能となるまでの時間は、透水性の優れた圃場では、土壌くん蒸剤を用いた土壤消毒の場合よりも短い。また、生育している作物のすぐそばでも実施可能である。熱水土壤消毒は、単独の技術としてみても十分な効果を示すが、土壌還元消毒や土中加温方式と組み合わせることによって、防除効果をさらに増進させることも可能である。土中加温とは、土壤中に埋設した

【第2表】熱水土壤消毒により良好な防除効果が得られた例

対象作物	対象病虫害	病原菌・線虫名
1、熱水土壤消毒により良好な防除効果が得られた試験例		
ホウレンソウ ダイコン	萎凋病 萎黄病 根腐線虫病 根こぶ病 根こぶ病 根腐線虫病 青枯病 萎凋病 褐色根腐病 根腐萎凋病 根こぶ線虫病	<i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>spinaciae</i> <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>raphani</i> <i>Pratylenchus penetrans</i> <i>Plasmodiophora brassicae</i> <i>Plasmodiophora brassicae</i> <i>Pratylenchus vulnus</i> <i>Ralstonia solanacearum</i>
ハクサイ チンゲンサイ イチゴ トマト	萎凋病 褐色根腐病 根腐萎凋病 黒点根腐病 黒点根腐病 つる割病 根こぶ線虫病 黒根腐病 シスト線虫病	<i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>lycopersici</i> <i>Pyrenochaeta lycopersici</i> <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>radicis-lycopersici</i> <i>Meloidogyne incognita</i> <i>Monosporascus cannonballus</i> <i>Monosporascus cannonballus</i> <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>melonis</i> <i>Meloidogyne incognita</i> <i>Calonectria ilicicola</i> <i>Heterodera glycines</i>
スイカン メロン	黒点根腐病 黒点根腐病 つる割病 根こぶ線虫病 黒根腐病 シスト線虫病	<i>Gaeumannomyces graminis</i> var. <i>tritici</i> <i>Urocystis agropyri</i> <i>Phytophthora cryptogea</i>
ダイズ コムギ ガーベラ	根腐病	
2、熱水土壤消毒により土壤中の病虫害密度が顕著に減少した試験例*		
ダイズ ゴボウ メロウリ メユウリ トマト	白絹病 白絹病 菌核病 緑斑モザイク病 苗立枯病*** ホモプシス根腐病 モザイク病 半身萎凋病	<i>Sclerotium rolfsii</i> <i>Sclerotium rolfsii</i> <i>Sclerotinia sclerotiorum</i> <i>Kyuri green mottle mosaic virus**</i> <i>Phomopsis</i> sp. <i>Tomato mosaic virus**</i> <i>Verticillium dahliae</i>
3、熱水土壤消毒により前作よりも発病が大きく軽減された例*		
ホウレンソウ ナスト マト セルリー ピーマン スイカン メロン シネギ ネギ ク トルコギキョウ カーネーション スイートピー	株腐病 立枯病*** 青枯病 半身萎凋病 萎黄病 疫病 つる割病 毛根病 根こぶ線虫病*** 萎凋病 黒穂病 立枯病 青枯病 萎凋細菌病 萎凋病 腰折病	<i>Rhizoctonia solani</i> <i>Ralstonia solanacearum</i> <i>Verticillium dahliae</i> <i>Fusarium oxysporum</i> <i>Phytophthora capsici</i> <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>niveum</i> <i>Agrobacterium rhizogenes</i> <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>cepae</i> <i>Urocystis cepulae</i> <i>Rhizoctonia solani</i> <i>Ralstonia solanacearum</i> <i>Burkholderia andropogonis</i> <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>dianthi</i> <i>Rhizoctonia solani</i>

【注】* 1にあげたものは除く。

** CGMMVおよび ToMVの不活化は土壤浅部でのみ認められた。

*** 病原菌（線虫）は複数種あり、供試菌の種類が文献からは特定できない。

放熱パイプ（管）を利用して地温を上げるものである。もともとは根の発育促進を狙った技術であったが、近年、土壤消毒にも利用しようという動きが出てきた。土中からの加温だけでは消毒効果は十分でないの、他の技術との組み合わせが必要となる。現在は太陽熱利用土壤消毒との

組み合わせで好結果が得られているが、いつでも実施可能という視点からは、熱水土壤消毒や蒸気消毒、散水蒸気消毒と組み合わせることも考慮しておくといと考えられる。放熱パイプの埋設に手間とコストがかかるが、土壤深部の消毒効果に優れるという他の物理的消毒法にはない

利点をもつ。普及度はまだ低いが、根の発育促進を狙ってすでに地中配管が実施されている圃場では、容易に実施可能と考えられる。この方式では、消毒の都度放熱パイプを埋設する方式と、一度埋設したあとは恒常的に埋設した状態を維持する方式がある。埋設の手間とコストの面から

後者のほうがより実用的と考えられるが、現在の普及度は、両者ともまだ高くない。神奈川県園芸試験場（現神奈川県農業総合研究所）で開発された温湯土壤消毒法は、発想および開発の経緯こそ異なるものの、原理的には同じものと考えることができる。

【第3表】 土壤病虫害に適用のある微生物農薬

一般名(商品名)	適用病虫害
アグロバクテリウム・ラジオバクター剤 (バクテロース)	ナシ、バラおよびキクの根頭がんしゅ病
シュードモナス・フルオレッセンス剤 (セル苗元気)	トマト青枯病、根腐萎凋病
スタイナーネマ・カーボカプサエ剤 (バイオセーフ)	シバのシバオサゾウムシ、タマナヤガ
スタイナーネマ・クシダイ水和剤 (芝市ネマ)	シバのシバオサゾウムシ、コガネムシ類
スタイナーネマ・グラセライ剤 (バイオトピア)	サツマイモおよびシバのコガネムシ類、シバのシバオサゾウムシ
対抗菌剤(トリコデルマ生菌)	タバコ白絹病、腰折病
バストゥーリア・ベネトランス水和剤 (バストリア水和剤)	サツマイモ、トマト、キュウリ、カボチャ、メロンおよびイチジクのネコブセンチュウ
非病原性エルビニア・カロトボラ水和剤 (バイオキーパー水和剤)	ハクサイ、ジャガイモ、キャベツ、ダイコン、タマネギ、ネギ、レタスおよびパセリの軟腐病
非病原性フザリウム・オキシスポラム水和剤 (マルカライト)	サツマイモつる割病
モナクロスボリウム・フィマトバガム剤 (ネマヒトン)	タバコおよびトマトのサツマイモネコブセンチュウ

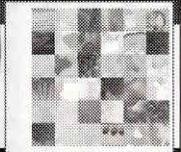
土壤還元消毒は、近年わが国で独自に開発された新しい土壤消毒法である。フスマや米糠などの分解の早い未熟有機物を大量に土壤にすきこみ(フスマの場合一ト/一〇〇以上)、湛水状態(一〇〇〜一五〇リ/平方メートルの水を注入)にしてハウス密閉処理による太陽熱利用土壤消毒を実施する(ドブ臭が発生するまで二〇日間以上のハウス密閉処理)というのが、本方法の基本的な実施手順である。本消毒法の核心は、ある程度の温度条件の下で分解の早い未熟有機物を多量に含む土壤を湛水すると土壤の還元化が急速に進行し、病原菌密度が急速に低下することにある。

この方法で土壤消毒効果をも十分に発揮させるためには、混和する有機物、土壤水分、温度条件の三

読んでなるほど、知って得²〜やさいの秘密

野菜の魅力

〜暮らしの中の野菜と健康〜



野菜の魅力

本書は、日本人の食べ物のなかで占める野菜の位置付けを、広く一般の人々に知っていただき、暮らしのなかで野菜を積極的に利用し、健康長寿に繋げていただきたいとの願いをこめたものです。人の健康と野菜との関わりを主体に、暮らしに密着した野菜のありよう、野菜の持つ魅力、さらに、研究現場からのメッセージを付加して、野菜をよりよく知ってもらうようにと努めました。そのため、科学的根拠に基づきつつ、分かりやすく、面白い内容となるよう、コラム欄やQ & Aのスタイルも取り入れました。

(本書「編集後記」より)

中村 浩 編著
今月の農業編集室刊

A5判 260頁
定価 本体2,000円
(税・送料別)

■本書の内容■

第I章 暮らしと野菜と健康

1 野菜は日本型食生活の柱/2 野菜は暮らしと健康のバロメーター!/?/3 千差万別、野菜の素顔
[コラム] ちょっと一服(季節で選んだ野菜の話-9編)

第II章 野菜の健康パワー

1 野菜で食欲増進/2 野菜は栄養の宝庫/野菜の生理機能/4 野菜はガン予防に有効か/?/5 野菜を食べて生活習慣病予防/6 調理上手と栄養成分

[コラム] ちょっと一服(個々の野菜の栄養・機能性のお話-12編)

第III章 魅力ある野菜たち

1 野菜の種類は150種/2 葉菜類(キャベツ・ハクサイ・ブロッコリー・ホウレンソウ・ネギ・タマネギ・レタス)/3 果菜類(トマト・ナス・ピーマン・キュウリ・スイカ・メロン・カボチャ・イチゴ)/4 根菜類(ダイコン・ニンジン・サトイモ・ジャガイモ)/5 その他(マメ・スイートコーン)

[コラム] ちょっと一服(野菜に関する興味ある話題-19編)

第IV章 21世紀は野菜が主役

1 暮らしに生きる野菜研究と技術開発/2 野菜の夢-野菜研究の最前線

第V章 野菜の一口メモ

45編の野菜に対する疑問をわかりやすく問答形式で解説

用語解説

本文中に出てくる専門用語などを平易に解説

索引

●ご注文、お問い合わせは 化学工業日報社 営業局 TEL 03-3663-7932
電話またはFAXで 〒103-8485 東京都中央区日本橋浜町3-16-8 FAX 03-3663-7275

者が重要なポイントとなる。混和する有機物は分解が早く微生物の餌となりやすいものがよく、土壌水分は圃場容水量以上を保持することが重要である。土壌温度は三〇度C以上とすることが重要で、太陽熱利用土壌消毒よりも低温でも、防除効果が期待できる。このため太陽熱利用土壌消毒よりも、地域的あるいは季節的な制約は少ない。本法には、処理に必要な期間が長いこと、湛水困難な土壌では消毒効果が低下すること、悪臭（ドブ臭）が発生することなどの弱点がある。

最近、本法と熱水土壌消毒を組み合わせることで処理効果をあげ、かつ処理時間の短縮が可能となること
が示されたが、この組み合わせ法を採用すれば、同時に実施時期の制限も著しく少なくなると考えられる。

散水蒸気消毒は、熱水土壌消毒で開発された追加給水による消毒効果の増進作用を、蒸気消毒に取り入れた新しい土壌消毒技術である。本法では、まず最初に通常の蒸気消毒を行うが、蒸気の注入を停止したらだちに土壌表面から常温水（特に加熱を行っていない通常水）を散布するという手順で

土壌消毒を行う。散布された水は高温の熱水に変わり、地中に浸透する。その過程で地温を高め、蒸気消毒では消毒効果が不十分となりやすい土壌深部の消毒が可能となる。現在、技術開発が進行中で、蒸気消毒と散水の組み合わせ方法などについて検討が進められている。

熱を利用した物理的消毒法は、微生物を一定の温度に接触させた場合、高温では短時間の接触で死滅するが、比較的低温でも長時間接触させることにより死滅させることが可能であるという原理を巧みに利用する。同時に、土壌が保温性に優れ、表層を除けば気温の変化にあまり関係せず一定の温度が長時間維持される点を利用する。土壌病原菌の死滅温度はその種類により異なるが、一般には四〇〜五〇度Cの温度に数時間接触させると死滅するといわれている。土壌中に均一に熱エネルギーを浸透させて、消毒に必要な温度以上到達させ、そのような状態を一定時間維持することができれば、十分な土壌消毒効果があげられる理屈である。

熱を利用する物理的消毒法以外の

方法では、生物防除や耕種的防除も重要である。しかし、これらの技術の現状は、圃場に発生する主要な病害虫のごく一部に適用可能という段階であるので、現状では補完的な防除技術の位置に甘んじざるを得ないが、将来の技術目標としては、きわめて重要と考えられる。第三表に、現在、生物農薬として土壌病害虫を対象に利用可能なものを示す。

生物の持つ能力を利用するという点では、抵抗性品種・台木の利用も重要である。しかし、現実に抵抗性品種・台木を利用すると簡単

ではない。抵抗性品種・台木の利用が万能でない理由としては、①現在育成されている抵抗性品種・台木は特定病害ないしは特定病原菌レースに対して抵抗性という場合がほとんどで、抵抗性の幅が狭く、通常発生するすべての病害とまではいかなくとも主要な病害に対する抵抗性をすべて備えた抵抗性品種・台木が存在しないこと、②抵抗性のレベルも決して完全というわけではなく、病原菌密度が高かったり、高温あるいは高密度の線虫の共存下などで罹病性に変わることもあること、③罹病性

品種に対する市場からの要請が高く、抵抗性品種への変更が容易でない場合があること、④メロンなどでは台木品種の導入による果実の品質低下を恐れて自根栽培が好まれる傾向にあること、⑤せっかく抵抗性品種台木を導入しても病原菌の新しいレースの出現で抵抗性が崩壊する事例があることなどがあげられる。とはいっても、抵抗性品種・台木の利用は最も安価で環境負荷の少ない方法であり、ポスト臭化メチル時代の土壌病害虫対策で最も有力な補完技術のひとつといえよう。

田畑輪換、作物残渣の適正な処理、対抗植物の栽培などといった耕種的防除対策は、汎用性に欠けることと、病原菌密度がある程度高くなった状態での利用が困難なことから、軽視されがちな傾向にある。しかし、土壌病害対策の基本技術として、また土壌消毒効果をより高めるためにも、利用できる局面では積極的活用を図りたいものである。

二〇〇五年一月一日まであとわずか。臭化メチルに頼らず自らの圃場の実態にマッチした土壌消毒技術を、一日も早く選択する必要がある。