

土壌消毒の海外事情

一般社団法人日本くん蒸技術協会
技術顧問

楯谷 昭夫 (たてや あきお)

は じ め に

国際環境計画 (UNEP) の臭化メチル技術選択肢委員会 (MBTOC) が作成した 2014 MBTOC Assessment Report には臭化メチルの代替技術として海外での様々な土壌消毒が紹介されている。ここには日本でもなじみのある土壌消毒方法も数多く載せられているが、海外でそれらがどのような状況にあり、どのように利用されているかを知ることができる。

オゾン層を破壊する物質に関するモントリオール議定書により日本は 2005 年に土壌消毒に用いる臭化メチルを全廃し、関係者が一体となって代替剤の開発に専念した。日本は 2005 年からメロン、キュウリ、スイカ、ピーマン、ショウガの土壌消毒には臭化メチルの不可欠用途申請を行ったが、2013 年に全廃した。2008～14 年までに「臭化メチル剤から完全に脱却した産地適合型栽培マニュアルの開発」事業が行われ、不可欠用途申請していた臭化メチルによる土壌消毒については代替技術が確立し、2013 年に臭化メチルを全廃し、防除上の問題は解決している。

しかしながら、県の試験研究機関では多様な土壌病害対策としてさらなる代替技術の開発を進めている。MBTOC がとりまとめた海外の代替技術が我が国の防除技術のさらなる開発において役立つことを祈念し、その概要を紹介する。

I 化学的な土壌消毒剤

1 クロルピクリン

本剤は、野菜、花き、ショウガの土壌病菌と土壌害虫に効果があるが、雑草には効果が劣る。VIF (難透過性フィルム)、TIF (全不浸透性フィルム) で被覆すると薬量を減らすことができる。イスラエル、米国、スペイン、オーストラリアでは薬量を増加すると *Macrophomina phaseolina* の発生が多発し、イチゴが減収するとの報告がある。

2 1,3-Dichloropropene (1,3-D)

本剤は、土壌線虫への防除効果が高い。VIF と TIF の被覆により臭化メチルと同様の殺線虫効果が上がる。米国カリフォルニアでは、California Department of Pesticide Regulation により使用規制がなされ、本剤とクロルピクリンの混合剤は緩衝地帯では使用できず、イチゴの栽培面積の半分の面積しか使用できない。1,3-D とクロルピクリンの混合剤 Telone C-35 は、雑草の *Digitaria chinensis*, *Eleusina indica*, *Portulaca oleracea*, *Stellaria media* の発芽を抑制し、トマトの収量は臭化メチルとクロルピクリンの混合剤と同様に高い。

中国で開発された 1,3-D とクロルピクリンの混合剤のゼラチン錠剤は、1,3-D とクロルピクリンの液剤のくん蒸剤より環境への放出が少なく、作業への安全性が高い。また、ゼラチン錠剤は、30 g/m² あるいは 50 g/m² で *Fusarium* spp., *Phytophthora* spp., *Pythium* spp., *Meloidogyne* spp. の土壌病害虫の発生をよく抑制し、臭化メチルとクロルピクリンの混合剤あるいは 1,3-D とクロルピクリンの液剤の混合剤とほぼ同等の収量が得られている。

3 メチルイソチオシアネート (MITC)

ダズメット, metham sodium, metham ammonium,

Overseas Circumstances of Soil Disinfestation. By Akio TATEYA

(キーワード: モントリオール議定書, MBTOC, 臭化メチル, 化学的土壌消毒, 非化学的土壌消毒, クロルピクリン, 1,3-D, 土壌還元処理, Soilless Culture)

metham potassium は、広範な土壌害虫、土壌病害菌、線虫防除と除草に効果があるが、土壌細菌と root-knot nematode への効果が小さい。米国カリフォルニア州で sting nematode により無処理区で著しい発育不全が見られたが、MITC は、クロルピクリン単剤区並びにクロルピクリンと 1,3-D 混合剤区より高い効果が見られた。MITC は米国南東部で現在広く利用されている。

4 デイメチルデサルファイド (Dimethyl disulfide DMDS)

DMDS は多くの国で登録されており、米国でも最近登録された。しかしながらカリフォルニアでは使用が認められず、イチゴへの代替剤として使用できない。DMDS はタバコ、にんじん等多くの野菜栽培での土壌病害菌の防除に用いられている。また、雑草の黄色ハマスゲ yellow nutsedge (*Cyperus esculentus*) の防除には VIF, TIF による被覆でさらなる効果が認められている。

5 アリルイソチオシアネート (Allyl isothiocyanate AITC)

AITC はマスタードオイルとも言われ、薬草あるいは漢方薬にも入れられる自然由来の物質である。Isothiocyanate (ITCs) はアブラナ科植物により生成される。AITC はポリエチレンシートの被覆で雑草種子、線虫ならびに土壌病原菌への防除効果が認められている。AITC は 2013 年に米国で登録されたが、カリフォルニアでは使用が認められていない。

6 サルフリール フルオライド (Sulfuryl fluoride SF)

SF は害虫、ネズミ防除のためのくん蒸剤としてひろく使用されている。中国では 2014 年にキュウリの土壌消毒用に登録された。SF の処理後の植え付け可能時期は他のくん蒸剤より早く、また沸点が低いので、土壌温度が低くても使用できる。

7 アバメクチン (Abamectin)

土壌中から高頻度で分離され、*Streptomyces avermitilis* から分離された抗生物質産生菌として知られている。アバメクチン B_{1a} 80% とアバメクチン B_{1b} 20% の混合剤。中国ではキュウリ、トマト、スイカ、ピーマン、タバコの主要な殺線虫剤として使われている。

8 フルエンサルフォン (Fluensulfone)

ニンジン、キュウリ、メロンカンタロープへの新しい殺線虫剤として試験されており、2-8 kg/ha の処理では 1,3-D 84 litter/ha での殺線虫効果と変わらない。

II 化学的代替剤の組合せ

混合剤は、単剤では土壌中での劣化によるその効果が減退するが、混合剤になると、その劣化の速度は遅くな

り、その効果が長続きする。混合剤あるいは非化学的防除による連続処理は臭化メチル土壌くん蒸と同等の効果を生み、土壌病害の防除と収量増に結びつく。

1 1,3-D とクロルピクリン混合剤

この混合剤は Telopic™, Telodrip™, Inline™などの商品名で利用され、線虫、雑草と土壌病菌の防除のために広く利用されている。処理費用は臭化メチルと同等かより少ない。1,3-D とクロルピクリン混合剤には多様な製剤が登録されているが、なかでも TC-35 が主流である。しかしながら EU では 1,3-D とクロルピクリンへの使用規制が強化されるので、臭化メチルの代替剤として利用してきたスペインでは大きな影響を受けることになる。米国では 1,3-D については単位面積当たりの使用量が制限され、使用した圃場の外側には緩衝地帯が設定され、石灰岩地帯では地下水への汚染が懸念されその使用が規制される。カリフォルニアとフロリダでは臭化メチルの代替剤としてその利用に限界がある。さらに本剤は重粘土質土壌、地温が 10 度以下のところでは薬害が起りやすい。

2 1,3-D と MITC の連続処理

1,3-D 処理後に MITC を処理する連続処理は土壌病害虫防除に高い効果があるが、処理後に植え付けできるまでの時間が長く、砂質土では MITC の劣化が問題となる。1,3-D 処理後のダゾメット処理は 1,3-D あるいはダゾメットの単独処理より防除効果、薬害の減少と収量について臭化メチルより効果が高い。

3 1,3-D, クロルピクリンと MITC 混合剤

この連続処理は、線虫、土壌病菌、雑草、土壌害虫の防除に非常に効果があるのでここ 10 年注目されてきた。しかし薬害が発生しやすいので、処理後に植え付けできるまでの時間を長くとらなければならない。この製剤は米国では 1992 年に登録保留された。しかしカナダ、メキシコ等の国々では登録されている。この混合剤は 1,3-D とクロルピクリン混合剤より土壌病菌、線虫と雑草防除に優れている。

4 フォルマリンとメタムソジウムの混合剤

本剤は適用病害虫の範囲が広く、さらに土壌病菌に対しては相乗効果が大きい。また、メタムソジウムの劣化速度を落とし、その効果が長く続くことが見込まれる。他の剤での防除が困難な *Fusarium oxysporum*, *Monosporascus cannonballus*, *Rhizoctonia solani* をよく防除するとの報告がある。フォルマリンとメタムソジウムは混合すると非常に強く反応するので、別々の容器に保管し、使用時に混合する。

5 1,3-D とダゾメット並びに DMDS とダゾメットの連続処理

1,3-D とダゾメットの連続処理は、線虫、土壤病原菌、雑草の防除に相乗効果があり非常に有効である。他方作物の生育や収量への影響も少なく、この連続処理は臭化メチルと同等の効果がハウスのきゅうり栽培で認められている。1,3-D と DMDS の連続処理も線虫、土壤病原菌、雑草の防除にそれぞれの薬量の半分でも相乗効果が露地のきゅうり栽培で認められている。

6 クロルピクリンと DMDS

クロルピクリンと DMDS の連続処理は、トマト栽培における黄色ハマスゲ yellow nutsedge (*Cyperus esculentus*) と土壤病原菌の防除に臭化メチルの代替剤として有効である。フランス、イタリア、カリフォルニアではイチゴの土壤消毒として初めにクロルピクリンを処理し、その後 DMDS を処理すると土壤病原菌と線虫に対し大きな防除効果が見られたと報告されている。

III 土壤消毒剤の施用方法

土壤消毒剤は、土壤病虫害への最大の防除効果をもたらす、作業者への安全を確保し、環境への影響を最小限にするために様々な施用方法がある。

1 機械による注入方式

深さ 15 cm から 30 cm の深さで土壤中に注入する方式 (shallow injection あるいは shank injection という)。注入後ただちにポリエチレンシートか VIF で被覆する。畝処理は、全面処理より単位面積当たり少ない薬量で済む。

2 深層処理

深層処理は深さ 80 cm に注入する。シートでの被覆を必要としない。主に畝処理で行われるが、米国ではぶどうなど落葉樹の植え付け前になされることが多い。

3 缶からの処理

事前にガス化させて投薬する方法で Hot gas 方式という。この方式は小規模な畑地、あるいは機械の導入が難しい圃場での投薬に適している。シリンダーの内圧で放出された臭化メチルの液が熱交換器を経てガス化し、被覆シートの中で拡散し土壤中に拡散するくん蒸方法がある。この方式は開発途上国の露地での消毒に用いられていたが、先進国と開発途上国の施設でのたばこ苗栽培、ポット栽培で用いられていた。

臭化メチルは 1 kg の缶に封入されている。この缶を土壤表面に配置し、その上を被覆して被覆の上から缶をたたいて缶に穴をあけて投薬する方式で、これを Cold gas 方式という。缶による投薬は、被覆の下においた缶を被覆の上から叩いて穴をあけ、ガスを放出させるので、被

覆シートにダメージを与え、作業者の安全を損なう恐れがあるので、先進国では禁止されているが、中国、ヨルダン、エジプトでは今なお登録されている。

4 錠剤による施用

1,3-D とクロルピクリンの混合剤をゼラチン錠剤に封入して緩慢にガスを放出させる方法が中国で開発されている。ゼラチン錠剤を畝と畝の間の 15 cm 下の土壤中に配置してくん蒸する方法。臭化メチル、1,3-D とクロルピクリン混合剤のくん蒸と同等の効果が認められている。

5 くん蒸剤を灌漑システムを用いて投薬する方法 (Drip irrigation method)

これは施設での臭化メチルによる土壤消毒に利用されていたが、代替剤でのくん蒸にも使用されるようになった。米国では 1,3-D とクロルピクリン混合剤、あるいはこの混合剤を投薬した後 MITC 剤を投薬する連続処理で用いられている。土壤中での拡散が早いことから難浸透性フィルム (VIF) を用いればさらなる薬量の削減につながる。

IV 臭化メチル代替剤の登録問題

代替剤に登録がないため、あるいは代替剤の使用規制のために臭化メチルを全廃することができず、不可欠用途申請している国がある。

1 オーストラリア

イチゴの苗を栽培する土壤の消毒剤としてヨウ化メチルが登録されていたが、登録申請者の Arysta Lifescience (株) は、2012 年に登録を保留した。BOC/Linde 社は 2010 年に Ethandinitrile (EDN) の登録申請用データの準備を中止した。Nordiko 社は、回収された臭化メチルの登録申請を中止した。

登録されている 1,3-D とクロルピクリンの混合剤は薬害があり苗収量が減少するため臭化メチルの不可欠用途申請を続けている。現在 1,3-D/クロルピクリンの剤型を 20/80 と 40/60 に変更した試験研究、MITC との連続処理ならびに苗植えつけ後の除草剤処理の研究を進めている。

2 カナダ

クロルピクリン 100% が登録されており、イチゴの苗を栽培する土壤消毒用として最も適切な代替剤と考えられているが、苗を栽培する Prince Edward 島の当局はクロルピクリンが飲料水として使用している地下水を汚染するのではないかと懸念し、その使用を認めていない。クロルピクリン 100% が地下水を汚染せず、2017 年にはクロルピクリンが代替剤になると期待されたが、その調査は 2014 年に中止された。2011 年には地下水に 1,3-D

が検出されイチゴの苗の土壌消毒への使用は中止されている。カナダは Prince Edward 島でのイチゴ苗栽培のため臭化メチルの不可欠用途申請を続けている。

3 米国

高濃度のクロルピクリンを利用してカリフォルニアのイチゴ圃場の土壌消毒を行うことができるとして、不可欠用途申請していた臭化メチルの使用は 2017 年に中止することになった。また、臭化メチルの新たな代替剤として 2013 年 9 月にアリルイソチオシアネート剤 (AITC) とマスタードオイルの混合剤がイチゴ、ピーマン、トマト、ナス、にんじん等多くの野菜に登録されたが、カリフォルニアでは使用規制されている。

1,3-D は、土壌消毒に使用したものが大気に検出されたことから、その使用は中止になったが、臭化メチルが 2005 年に全廃されたことから、使用方法を改めて使えるようになった。カリフォルニアでは 6 マイル平方の郡区 (Township) 毎に使用量を制限する Cap を設け、郡区毎に Cap として 90,250 ポンドの使用が認められ、さらにいくつかの郡区では 180,500 ポンドの使用が認められていた。しかしながら、2014 年にはいずれの郡区も最大 90,250 ポンドに制限された。米国環境保護庁 (EPA) は、2012 年 12 月には作業者と住民の健康保護のため 1,3-D で消毒した畑の周辺には 1,3-D を使用しない Buffer zone を設けることを決定した。カリフォルニアではイチゴの栽培面積が増大し、許容数量の 1,3-D では土壌消毒できないところはクロルピクリンが用いられ、さらに不可欠用途規制除外の臭化メチルが用いられた。しかしながら米国は 2017 年には臭化メチルの使用を全廃することを決定した。

4 アルゼンチン

トマト、ピーマン、イチゴでの土壌病害虫の多発地帯では臭化メチルを不可欠用途申請して使用しているが、クロルピクリンとダゾメットの登録申請の準備を進めている。

5 中国

ショウガの小規模農家では、不可欠用途規制除外の臭化メチルを使用している。代替剤はクロルピクリンがあるが、線虫防除には不十分であり、また土壌消毒時期の土壌温度が低いことからくん蒸処理に時間がかかることが問題。1,3-D、ダゾメット、メタムソジウム、DMDS の早期登録を目指している。中国は 2019 年には臭化メチルを全廃する。

6 メキシコ

イチゴとラズベリーの土壌消毒に不可欠用途規制除外の臭化メチルを使用しているが、代替剤として 1,3-D と

クロルピクリンの混合剤、クロルピクリンとメタムソジウムの混合剤とメタムソジウムの試験研究を進めている。

V 非化学的代替法

1 接ぎ木

接ぎ木は、アジアでは土壌病菌を防除し、収量をあげ、植物の勢いを上げる方法としてほぼ 100 年にわたり利用されている。米国では過去 20 年から野菜に導入され、大規模生産用として利用されている。接ぎ木は、広範囲の植物病害と線虫被害をまぬかれ、収量の増加、植物の生長力の増加をもたらす。接ぎ木は、環境にやさしい病害虫防除で、IPM の一つとして数えられる。接ぎ木により、塩分の多い土壌、重金属の多い土壌、有機物による汚染土壌で利用され、干ばつ、低温、高温に耐える作物として利用されている。

多くの野菜に発生する *Phytophthora capsici* による Crown rot には接ぎ木により被害が軽減されている。1,3-D で土壌消毒を行い、接ぎ木植物を植え付けることで線虫への被害が軽減されている。トルコでは土壌への太陽熱処理と接ぎ木植物の併用で、土壌病菌と線虫の被害が軽減し、キュウリの収量が増加したと報告されている。イタリアではこの方法でナスの収量が増加したとの報告がある。ルーマニアではメタムソジウムで消毒し、接ぎ木を用いて、キュウリ、スイカ、トマトの収量が増加したとの報告がある。

2 抵抗性品種

野菜やイチゴでの病害虫や線虫への抵抗性品種育成は、代替技術の一つと考えられる。抵抗性品種の育成には 5 ～ 15 年の長年月を要する。イチゴに被害を与える主要な病菌への抵抗性系統も新しく育成されている。カリフォルニアでは *Macrophomina phaseolina* と *Fusarium oxysporum* が多発し、イチゴを枯死させ収量を減少させている。いくつかの開発された系統は *Fusarium oxysporum* には抵抗性を示したが、*Macrophomina phaseolina* には弱い。すべての病害菌に抵抗性を示す系統の開発は困難だと報告されている。

3 培養基質による非土壌栽培

ハウス栽培では培養基質としてピートモス、バーミキュライト、パーライト等土を使わない Soilless culture による栽培が臭化メチルの代替技術として注目される。イチゴの Soilless culture では *Phytophthora cactorum* が重要病害としてあげられ、防除方法が見いだせていなかったが、灌漑用水をろ過することで、病害の被害を 45 ～ 65% 減少させた。培養基質に堆肥を混合して用いることもできる。培養基質に接ぎ木植物を用いることも病

害発生を減少させることができる。

4 蒸気消毒

蒸気を土壤に注入し、深さ 10 ~ 20 cm の土壤の温度を 60 ~ 80℃ にして消毒する。これに係る蒸気の量と時間は土質、土壤湿度等が関係する。カリフォルニアではイチゴ植え付け用露地で現在大規模な試験が行われている。蒸気消毒は、くん蒸剤を使用するため設定された緩衝地帯や都市近郊の広大な農地にも適用できる。蒸気消毒により土壤中の有用な微生物をすべて根絶するため灌漑水、種子あるいはプランターにより運ばれてくる病原菌が一気に広がる恐れがある。そのため土壤を過熱せず、また蒸気消毒終了後ただちに堆肥を施用している。現在より効率的で経済的な蒸気処理装置の開発が進められ、その利用がより広範囲に進められている。例えば砂壤土では土壤深度の浅いところに蒸気を送る方法などが開発されている。

5 熱水処理

日本では例えばセロリーの連作圃場で *Fusarium oxysporum* を防除するために可動ボイラーからの熱水を圃場に注入するケースがある。日本ではそのほかに花きや野菜を作付けするハウスでの土壤消毒に用いられている。マスクメロンの栽培において土壤線虫や根腐れ病防除のため 200 l/m² の熱水が必要。しかしコストがかかるためこの処理方法の利用は減少している。

6 太陽熱処理

土壤表面をプラスチックシートで被覆して太陽熱処理を行うと土壤 30 ~ 45 cm の深さまで加熱され土壤中の線虫や土壤病菌が殺菌される。太陽熱処理効果は土壤表面では高く、土壤深度が深まると効果は減少する。土壤深度 5 cm では最大 40 ~ 70℃ になり、深度 45 cm では 30 ~ 37 度になる。殺菌は夏季の太陽の日照条件による。病菌によっては数日で死滅するが、多くの病菌では普通 4 ~ 6 週間の処理が必要。太陽熱処理では処理害や病菌による再汚染は報告されていない。太陽熱処理は 1970 年代にもともとイスラエルで開発され、トマトとナスの *Verticillium dahlia* の防除で効果が確認された。その後、エジプト、メキシコ、アルゼンチン、スペイン、コスタリカ、ギリシャ、イタリアで利用されるようになった。太陽熱処理は、土壤病菌の防除のみならず、植物の生長促進と収量増加に寄与している。ブラジルのハウスではポットにパーミキュライトなどの培養基質を少量配置して太陽熱を捕集して作物の生長を促進している。

7 Biofumigation

植物が分解して発生する揮発性化学物質により土壤病害虫を消毒することをいう。この化学物質として *gluco-*

sinolates (GLSs) や *cognate isothiocyanates* (ITC) が *Bionematocide* として知られる。これらの化学物質はアブラナ科植物のカラシナから発せられるマスタードガスとして知られている。アブラナ科植物を被覆作物として用い、それが土壤中で分解するときに発生するガスにより土壤病害虫を防除する方法。ピーマンの土壤病害の *Rhizoctonia solani*, *Sclerotium rolfsii*, *Pythium* spp. はラディッシュの *Raphanus sativus*, カラシナの *Brassica juncea*, レーブシードの *Brassica napus* を用いて防除されている。これらの被覆作物は春先に土壤に埋め込み難透過性フィルムで被覆すると、発生した揮発性有毒ガスの透過をおさえ、土壤病害虫を消毒する。マスタードガスの発生は、レーブシードが高く、次いでラディッシュとの報告がある。

にんにくの残渣は土壤中の根こぶ線虫の防除に用いられる。残渣から発する硫黄物質が根こぶ線虫の発生を抑制すると考えられている。ねぎ属の植物には硫黄物質が大量に含まれ、これが土壤中 *Biofumigation* し、土壤線虫を消毒する。ねぎ属から発する活性成分は *dimethyl disulfide* (DMDs) と *dipropyl disulfide* (DPDS) と報告されている。IPM プログラムの一環として *Biofumigation* と *Biosolarization* を組合せた方法が、臭化メチルの代替技術として用いられている。

8 土壤還元処理 Anaerobic soil disinfestation (ASD)

日本では “soil reduction redox potential”, “reductive soil disinfestation”, “biological soil disinfestation”, あるいは “anaerobic soil disinfestation” と呼ばれる。土壤還元処理は日本の野菜栽培農家で広く普及している。

ASD による土壤消毒は、土中に土壤微生物の餌となる炭水化物を投与し、シートで被覆し、深さ 5 cm になるまで灌水する。土壤微生物が大繁殖し、酸素を消費するので土壤は還元状態になる。シートで被覆され、酸素の供給がないので、土壤病害虫は死滅、あるいは減少する。土着の微生物はある程度維持されるので、病原性微生物による再汚染を長期間抑制する効果も期待できる。ASD は日本では広く普及し、その効果を知った国々で利用が進んでいる。土壤病害虫への防除効果は、炭水化物の投与と、高い土壤湿度により土壤が還元状態になり、有機酸と鉄イオンが生成している。日本では米ぬかあるいは小麦のふすまを土壤中に混和し、灌水してプラスチックシートで少なくとも 3 週間被覆する。これにより土壤微生物が大繁殖し、土壤中の酸素を消費されるので、土壤中の酸素がなくなり、還元状態となり土壤病害菌を死滅させる。カリフォルニアでの砂壤土あるいは粘質土の畑地では ASD 処理には米ぬかが用いられ *Verticil-*

lium dahlia を抑えている。カリフォルニアのイチゴ、フロリダの野菜栽培地でも利用されている。最新の研究では雑草防除と殺線虫への利用も研究されているが、イチゴと野菜栽培での ASD の雑草防除は限界があるとの報告もある。この技術は、住宅や公共施設に隣接する農地等、土壌くん蒸剤の使用が難しい農地の土壌消毒に有効。土壌中での微生物が摂取する小麦ふすまに代わりに希釈されたエタノールを用いる技術も開発されている。

9 生物防除

非病害菌の *Trichoderma* spp., *Bacillus* spp. は土壌病害菌を防除する。ホンジュラスでは臭化メチルの代替方法としてメロンの栽培に *Trichoderma harzianum* の 2 系統と *Basillus subtilis* の 1 系統が *Fusarium oxysporum* と *Monosporascus cannonballus* を防除するために用いられている。そのほかに *Trichoderma asperellum*, *T. polysporum*, *T. viride*, *T. virens* が用いられている。イタリアでは *Sclerotinia sclerotiorum* と *Coniothyrium minitans* が用いられ、米国では *Streptomyces lydicus* が土壌病害菌の防除用として登録されている。

10 輪作と間作

中国では、ヒマ、トウガラシ、ヒナギクで輪作すると *Meloidogyne incognita* の被害が非常に少なくなると報告されている。マリーゴールドを被覆作物（カバークロップ）として入れると、線虫の発生を抑制することが知られている。将来、マリーゴールドが線虫発生を抑制する機作を解明することが待たれている。

11 代替技術の組合せによる IPM アプローチ

IPM アプローチとは化学的防除法と非化学的防除法を組合せて土壌病害虫を防除することをいう。多くの先進国や開発途上国では臭化メチルを用いないで IPM による土壌病害の防除に成功している。スペインでは太陽

熱処理ではネコブセンチュウの防除が難しかったが、家禽類の糞のペレットを混入して太陽熱処理を行うと 1,3-D/Pic 処理と同等のイチゴの収量があったとの報告がある。インドでは、*Macrophomina phaseolina* は非常に被害を与える土壌病菌であるが、夏季にマスタード油を灌漑水に混ぜて利用すると、土壌病菌の発生を減少させると報告されている。イタリアでは接ぎ木と堆肥の施用によりピーマンに被害を与える *Phytophthora capsici* を防除したとの報告がある。トルコではナスの接ぎ木とメタムソジウムでの土壌消毒によりナスの病害の *Fusarium oxysporum*, *Verticillium dahlia* ならびに土壌線虫の *Meloidogyne incognita* の発生が低くなったとの報告がある。米国では、ASD と太陽熱処理を組合せたところ、土壌線虫の発生が少なくなったと報告されている。

おわりに

MBTOC では 4 年に一度、Assessment Report を作成する。内外のシンポジウムや学会で報告された論文を参照し、臭化メチルの代替技術をまとめている。今般 2014 年の Assessment Report に載せられた土壌病害虫の防除方法を紹介した。我が国でもなじみのある防除方法も多い。海外諸国では、土壌消毒にはそれぞれの事情があり、特別な使用規制が課されているものもある。我が国では、登録されている代替剤は、ラベルに記載された使用方法を遵守して使用すれば問題なく、防除効果を確保し、安全に使用することができる。ここで紹介した代替技術には我が国で使用されていないものもあるが、今後の代替技術の開発の参考になれば幸いである。

参考文献

- 1) MBTOC (2014): Report of Methyl Bromide Technical Options Committee 2014 MBTOC Assessment Report.