

# 施設における土壌の蒸気消毒

愛知県農業総合試験場園芸研究所 **加 藤 喜 重 郎**

## はじめに

野菜類、花き類の施設栽培では近年施設の大型化、集団化が強く推進されており、各地に施設団地が形成されている。この大型団地を中心に広域にわたって共選、共販態勢が整備され、産地間競争に打ち勝つ努力がなされている。しかし、一方ではこれら生産組織の一元化により、作物や品種、作付け体系などが統一され、キュウリ、ナス、カーネーションでは1年1作の長期栽培、メロンでは1年4作型あるいはトマト・メロン、キクメロンなどの組み合わせによる2年5~6作型、イチゴは作型が複雑で一言では表現しにくい、9月に定植して11~12月及び4~5月の2回収穫する作型などが定着している。いずれも施設の高度利用のために連作が行われ、その結果として、4~6年目ごろから土壌伝染性病害虫が多発し、8~10年目には蒸気消毒が導入されるようになる。土壌の蒸気消毒は1930年代から西欧で普及し、我が国では1960年代から導入されている。蒸気消毒法は土量が少ない場合は消毒効果も高いが、広い面積を対象にした土量の多い場合には消毒効果にも問題があり、この点についての実用的な試験成績も少なく、古くて新しい問題であると言える。これまでの試験結果を中心に、本消毒法の概要を述べることにする。

## I 蒸気消毒の方法

水を蒸気にし、土中にこの100°C以上の蒸気を通し連続的に供給すると、熱せられた土壌の孔隙には高温の蒸気が満たされ、熱せられない土壌との境には熱前線を生ずる。この熱前線は蒸気を送り続けると経時的に拡大され、目的の土壌が消毒されることになる。蒸気の発生量はボイラーの種類によって異なり、この蒸気をどのような器具で送蒸するかによって土壌消毒方法が異なってくる。また消毒できる土量も異なるので、まず蒸気消毒用ボイラー及び消毒方式を略記する。

### 1 蒸気消毒用ボイラー

現在使用されている土壌消毒用ボイラーは1時間当たりの蒸気発生量によって、大、中、小に大別されている。大型ボイラーは蒸気量が1,000 kg/h以上のもので、

移動式のものもあるが、実際には施設の暖房用ボイラーを土壌消毒と兼用している例が多い。本県の一例を紹介すると、1,000 m<sup>2</sup>のガラス温室が1か所に22棟集団的に設置されている団地では冬期暖房用として1,750 kg/hのボイラーが2基ボイラー室に固定されていて、交互に運転して安全性や蒸気量の確保に務めている。このボイラーは冬期に全施設を暖房し、春~秋期には土壌消毒ができるように、あらかじめ全温室に土壌消毒用の送蒸管が設置されている。この送蒸管から蒸気を取って作付け前に随時土壌消毒をすることになる。もちろん、この場合生産者の中に1~2名大型ボイラーの運転免許取得者がいる。中型ボイラーは蒸気量が500 kg/h前後の機種であり、土壌消毒専用機である。必要な時期にけん引して使用する移動型であるが、大型ボイラーよりかなり能率が落ちる。小型ボイラーは200 kg/h以下のもので、蒸気量が少ないので小面積の土壌しか消毒できず、苗床土及び鉢用土の消毒に使われている。

### 2 蒸気消毒方式

前述のようにボイラーの性能によって土壌消毒のできる土量が決まり、土壌消毒方式も次のとおり著しく異なる。

#### (1) ホジソンパイプ方式

鉄またはアルミ製で長さ5 m、太さ32~50 mmのパイプを用い、パイプには15 cm間隔で2~3 mmの蒸気噴出孔が開いている。このパイプをホジソンパイプと称し、この管を連結し、消毒しようとする土中30 cmの深さに埋設して通蒸すると、埋設したパイプの深さの約1.3倍の幅の土壌がすべて消毒されることになる。用途としては野菜類、花き類の地床栽培、枠栽培、隔離床、隔離ベンチ、メロンの金鋼床栽培の土壌消毒に広く使用することができる。

#### (2) キャンバスホース方式

消毒しようとする土壌の表面に布ホース(キャンバスホースと称する)を置き、その上をビニールシートで覆う。シートの周囲は蒸気が漏れないように鉄製の鎖または砂袋で固定する。固定後ホース内に通蒸するとシートは大きく膨れ上がるので、破裂しないよう蒸気量を加減し、その後30~40分間通蒸する。本方式では最初地表面が熱せられ(第2図)、熱前線は地下に向かって移動する。現在カーネーション枠栽培で一部使用されている。

Steam Sterilization of Soil under Protected Culture  
By Kijuro Kato

### (3) スチーミングプラウ方式

スパイク状の噴出パイプを鋤状に何本か取り付け、一定の深さに入れ、蒸気を噴出させながらゆっくり前進させるもので、大面積の土壌消毒に向いている。一時カーネーションで使用されていたが、ウインチで引っ張るため重装備になる欠点がある。

### (4) スパイクパイプ方式

太いパイプに何本もの噴出パイプをスパイク状に取り付け、これを土中に挿入して送蒸する方法で、小面積の消毒に主として用いられている。

### (5) 土管法

消毒しようとする土壌の中に土管を固定的に埋設しておき、必要なときに送蒸して土壌消毒する方法で、ホジソンプイプを土管に替えただけのものである。

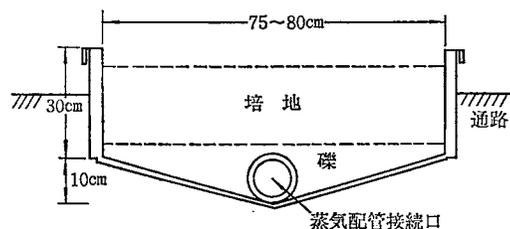
### (6) 固定装置

コンクリートなどで消毒槽を作り、蒸気噴出口をその底に固定、土壌を搬入して消毒する。主として鉢用土、播種床用土の消毒に用いられている。

## 3 蒸気消毒の実際

現在の大型施設は縦 50 m、横 20 m が最小の単位であり、中央に 3~4 m の通路が設けられている。地床栽培では土壌全面積を対象にすると、1 棟を消毒するのに 24 時間は掛かり、ホジソンプイプの埋設と移動に多くの労力が掛かる。したがって、畝を対象に消毒する例が普通である。まず、ほ場を耕起し、23 m 前後の長さの畝を作り、ホジソンプイプを連結して畝中央の深さ 30 cm の位置にパイプを埋設する。埋設後は畝全体をビニールシートで覆い、蒸気が周囲から逃げないように鉄製のチェーンまたは砂袋で固定してから送蒸する。送蒸後 2~3 分でシートは大きく膨れるので、パンクしないよう蒸気の量を調節し、それから 30~40 分間送蒸を続ければよい。終了後はシートを除去し、パイプを掘り出して次の畝に埋設し、順次これを繰り返すことになる。

しかし、地床栽培ではこのような方法で土壌消毒しても効果が不十分であり、より効果を高めるためにトマトでは隔離床、メロンでは金網床栽培に移行している。本県で普及している隔離ベッドはガラス繊維強化プラスチック (FRP) 及びエアネットベンチシステムであり、現在トマトだけでも 20 ha 以上の面積に達している。設置費としては 10 a 当たり 150 万円前後の経費を必要とするが、蒸気消毒が容易で消毒効果も高いのがその理由である。両ベッドとも構造的にはほぼ同一であり、断面の構造は第 1 図に示したとおりである。隔離床全体をビニールで被覆してから蒸気配管接続口から送蒸すると、その先にはベッドの設置時に穴開きの管または



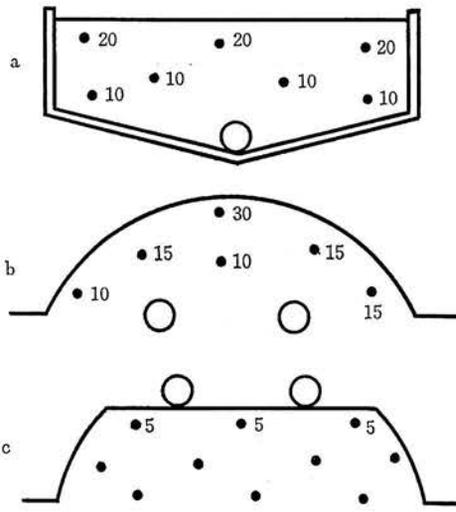
第 1 図 隔離ベッドの断面

エアネットが固定されているため、蒸気は満遍なくこれらの穴から噴出されることになる。また、蒸気噴出口は栽培期間中通気口、排水口となり、収穫後は灌水して除塩に利用することもできる。

## II 温度分布

本法の原理は、100°C の水 1 g を蒸気にするのに 539 cal の熱量が必要で、この蒸気を土中に送ると同量の潜熱を放出して土壌の温度が上昇する、というところにある。蒸気を連続的に供給することで土壌孔隙は蒸気で満たされ、冷たい土壌と熱せられた土壌との間には熱前線ができ、経時的にこの熱前線は拡大されることになる。ここで問題になるのは蒸気量と土量及び温度分布である。1 m<sup>3</sup> の土壌を 95~100°C にするためには理論的に 65~75 kg の蒸気量が必要であり、土質、土壌水分を考慮すると、実際には 90~100 kg の蒸気量が望ましい。500 kg/h の中型蒸気消毒機を用いたとすると、本機の性能から 5 m<sup>3</sup> の土壌を消毒することができる。例えば幅 80 cm、深さ 30 cm、長さ 20 m の隔離ベッドの土量は 4.8 m<sup>3</sup> となるので、本機で 20 m の隔離床土壌を消毒することができる。しかし、実際にはこのような計算が十分なされず、能率だけを考えて 30~40 m の長さを消毒する事例もみられ、このことが消毒効果の劣る一因になっている。

一方、温度分布についてみると、これまで 2、3 の試験成績があり、パイプ直上で早く、数分で 100°C となり、その後熱前線は周囲に拡大するが、パイプの真横の部分は温度が上がらず死角になることが判明している。土壌別には川砂で最も早く温度が上がり、田土がこれに次ぎ、畑土と山土は温度が上がりにくく、殺菌時間を長くする必要がある。隔離床及び地床 (畝幅 120 cm) を使い、送蒸後 90°C 以上になる所要時間を第 2 図に示した。隔離床では 10~20 分後に、地床のホジソンプイプ埋設では 15~30 分後にすべて目的温度に達した。しかしキャンパスホース区では地表面に近い部分で 5 分後に目的温度に達したが、それ以外のところでは 90 分間送



第2図 送蒸後 90°C 以上に達する所要時間

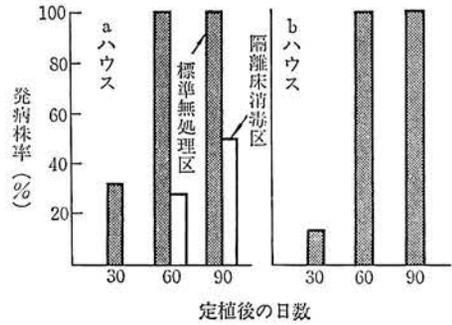
注 a : 隔離床, b : 無処理地床ホジソンパイプ方式, c : 無処理地床キャンパスハウス方式

蒸してもなお 55~78°C であった。

### III 消毒効果

病原菌の死滅温度は各種の菌で明らかにされているが、糸状菌や細菌では 60°C 前後の温度で比較的短時間のうちに死滅し、熱に強いウイルスでも 100°C では容易に不活化されている。したがって、一般にも蒸気消毒をすれば消毒効果は高いものと考えられているむきもあるが、実際には消毒効果の上がらない事例がかなり多い。

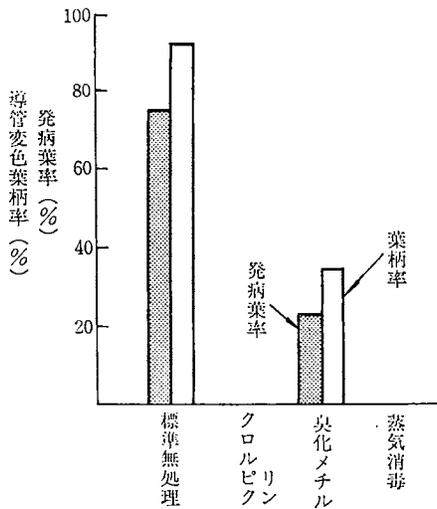
トマト萎ちょう病を例として、蒸気消毒の効果をみると次のようである。試験を2回行い、いずれの場合も本病の多発土壌を 90°C に達してから、更に 30 分間送蒸して消毒した。トマトを定植してから 90 日後の時点で、標準無処理区は両試験とも 100% の発病株率であった。これに対し、第2図の a 区では 39.3 及び 28.6% (前者は試験1の結果、後者は試験2の結果)、b 区は 53.6 及び 57.1% (同)、c 区は 100 及び 96.4% (同) であった。この結果でも明らかなように地床栽培 (b) より隔離床栽培 (a) で土壌消毒の効果は高いこと、キャンパスハウス方式 (c) では無効に近いことが判明した。しかし、隔離床栽培でもこの程度の効果では普及性がないので、更に消毒時間を長くして 60~120 分で検討したが、消毒時間を長くしてもかなり高率に発病した。この原因を明らかにするため、消毒 60 日後の土壌について乾土 1g 当たりのフザリウム菌数を調査した



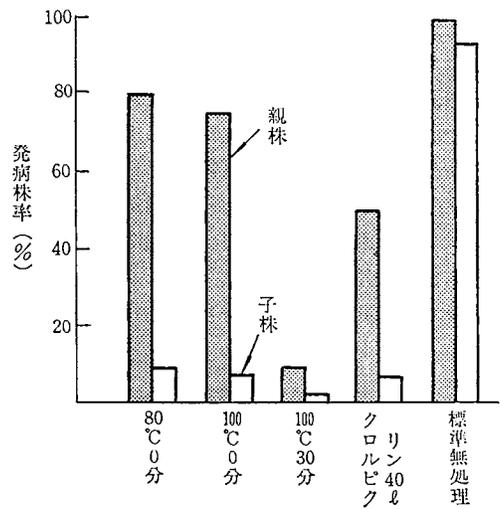
第3図 標準無処理区と隔離床消毒区のトマト萎ちょう病の発病株率推移 (愛知, 1976)

結果、キャンパス方式では地下 30 cm 付近で無処理区に比べ半減し、地表に近い部分では 1/10 程度に減少した。隔離床栽培では全体的に菌数が少なかったが、深層部より上層部土壌でやや多い傾向がみられ、ほかからの飛び込みが示唆された。そこで第3図に示したように、隔離床土壌のみを 100°C で 60 分間消毒した a ハウスと、隔離床土壌はもちろん通路をも含めて全土壌を消毒した b ハウスを用い、発病株率推移を調査した。この図でも明らかなように、両試験とも標準無処理区はトマトを定植してから 60 日後には 100% 発病した。これに対し、隔離床土壌のみを消毒した区では 60 日後に 28.6%、90 日後に 50% の発病株率であり、茎導管の褐変株率は 60.7% であった。ところが全土壌を対象に 100°C で 30 分消毒した場合には 90 日後でも全く発病せず、茎導管の褐変も全く認められなかった。次に、トマトを栽培したことのないほ場に新設したハウスと、これまで本病を多発させたハウスを用い、他の場所で蒸気消毒した土壌を運んでそれぞれの隔離床に充填し、トマトを栽培した結果、前者の消毒効果は顕著で全く発病しなかった。これに対し、多発ハウスでは高率に発病し、標準無処理区の 1/2 の発病株率であった。イチゴ萎黄病の項でも述べるが、多発施設では隔離床の土壌だけを対象にして蒸気消毒してもその効果は劣り、施設全体の土壌を消毒するかまたは隔離床以外の土壌を完全にマルチして病原菌が飛散しないようにすることが大切であると言える。このほかの病害としては、トマト萎ちょう病 (J<sub>a</sub>) 及び青枯病についても蒸気消毒効果を検討したが、トマト萎ちょう病 (J<sub>1</sub>) と同様の注意をすれば、隔離床土壌の蒸気消毒効果は極めて高いことも判明している。

フキ半身萎ちょう病についてはエアネットベンチシステムを用いて検討したが、第4図に示したとおり、標準無処理区の発病葉率は 74.8%、導管変色葉柄率は 92.5% と多発したが、100°C 60 分間の蒸気消毒区及び



第4図 フキ半身萎ちょう病に対する消毒効果 (愛知, 1978)



第5図 イチゴ萎黄病に対する消毒効果 (愛知, 1975)

10a 当たり 40l のクロルビピリン剤処理区では、完全に発病を抑制し顕著な消毒効果を示した。現在隔離床栽培は行っていないが、栽培様式からみて多発地では将来導入しやすい作物であると思われる。

イチゴ萎黄病は採苗床及び仮植床で発生すると被害が大きく、苗不足を招くことが多い。採苗床を対象に土壌消毒効果を検討した結果、ホジソンプイプ方式による蒸気消毒の効果が最も高く、キャンパスホース方式の蒸気消毒はかなり劣り、10a 当たり 40l のクロルビピリン剤処理区とはほぼ同等の効果であった。そこで本病が 100% 発生するは場を用い、消毒温度及び時間の関係を検討した。蒸気消毒は5月に実施し、5月26日にイチゴ親株を定植、9月4日に最終調査した結果は第5図のとおりである。この図でも明らかなように、80°C、100°C に達してから直ちに蒸気を止めた区ではクロルビピリン剤 10a 当たり 40l 処理区より劣り、100°C で30分消毒すると顕著な効果を示している。発病株率は少なくとも発病を認める以上は本病の場合保苗苗が問題であり、より効果を高めるために 100°C で60分、90分間消毒したが、消毒効果は30分と大差がなかった。この原因を明らかにするため、多発は場の風下をすべてビニールで土面を覆い、その上に蒸気消毒土 (100°C 120分) を充填した隔離ベッドを2, 5, 10m 離して設置、イチゴ苗を6月9日に定植し、その後の発病株率推移及び乾土 1g 当たりのフザリウム菌数を調査した。その結果、対照として多発は場内に設置した隔離床では高率に発病したが、多発は場内に直接定植したものより約1か月発病は遅延した。これに対し、2~10m 離れた隔離床では初期発病は著しく少なかったが、10月21日の調査で

は親株の発病株率が 2.7~8.2%、子株の発病株率は 9.1~32.6% となり、2m 離れた区で多い傾向を示したが、10m の距離でも容易に発病し、風雨によって病土が飛散し消毒効果を低下させることが判明した。

以上三つの病害について述べたが、静岡県農業試験場 (以下、静岡農試) では、ネコブセンチュウ (1971年)、トマト褐色根腐病 (1979年) に対しても蒸気消毒効果の高いことを報告している。

#### IV 土壌の理化学的变化

蒸気消毒を前提にした隔離床栽培では養水分管理、作物の種類と培地量 (土量) に問題があった。しかし、静岡農試を中核とした東海4県の総合助成研究によりこれらの点も解決し、ノズルによる散水、緩効性肥料による元肥のみの施肥体系及び基土 3 : 素材 1 (パーク堆肥など) が有効で、1株当たり 30l の土量があれば作物の生育収量には影響のないことが判明した。しかし、マンガ肥料の連用土壌 (静岡農試, 1971)、マンガ含有量の高い山土の客土 (愛知農総試, 1971) では蒸気消毒によってマンガ過剰障害が発生し、消毒時間が長いほどこの障害の大きいことも判明した。また、可溶性塩分も全般的に高くなるが、硝酸化成菌が殺菌されるため硝化作用が抑制され、窒素飢餓、植え傷み、ガス障害などを生ずるので、消毒後の施肥が望ましいようである。

#### おわりに

施設栽培、露地栽培を問わず、土壌病害が多発した場合、土壌中の病原菌が短期間に死滅するなら寄生性の異なる作物との間で輪作によって容易に防除が可能である

と言える。しかし、死滅期間が長いと輪作では無理で転作ということになる。転作するという事は栽培技術、市場開拓、更には現在の重裝備化された共同選果、共販体制下では容易なことではない。筆者らは現在トマト萎ちょう病及びキャベツ萎黄病の多発土壌を用い、休耕年数と発病の関係を検討中であるが、施設内土壌についてみると、トマトの場合、休耕1~4年目では100%発病、6年目に発病が0になっている。キャベツでは1~5年休耕でも100%発病し、6年半後には黄褐色土及

び沖積土のみが発病0になっている。施設栽培では坪当たりの収益性が極めて高く、そのために、発生施設では品種、耕種、薬剤などの防除対策を積極的に取り上げているが、発病遅延、被害軽減程度の効果では満足していない。より完全な防除を期待して蒸気消毒による隔離床栽培に移行しているが、隔離床土壌のみの蒸気消毒では効果不十分であり、隔離床以外の土壌を完全にビニールで被覆しておき、更に施設の周囲から病原菌が飛び込まないように工夫が必要であると言える。(文献省略)

### 本会発行図書

## 農林害虫名鑑

日本応用動物昆虫学会 監修

3,000円 送料300円 A5判 本文307ページ ビニール表紙

日本応用動物昆虫学会の企画により、45名の専門家が分担精検して、農林関係の重要害虫2,215種を収録した名鑑である。既刊の「農林病害虫名鑑(昭和40年)」を改訂し、編集に新しい工夫がこらされている。第1部では系統分類的に重要害虫(学名・和名・英名)がリストアップされ、第2部では農作物・果樹・花卉・林木・養蚕・貯蔵食品・繊維など225に分けそれぞれの害虫が示され、第3部は完璧な索引である。簡明、便利、かつ信頼して使える害虫名鑑であり、植物防疫の関係者にとって必携の書である。

### 本会発行図書

## 農薬ハンドブック 1981年版

福永一夫(理化学研究所名誉研究員)編集

農業技術研究所農薬科・農薬検査所等担当技官執筆

定価3,200円 送料250円 B6判 493ページ 美装幀 ビニールカバー付

現在市販されている農薬を殺虫剤、殺菌剤、殺虫殺菌剤、除草剤、殺そ剤、植物成長調整剤、忌避剤、誘引剤、展着剤などに分け、各薬剤の作用特性、毒性・残留性、製剤(主な商品名を入れた剤別薬剤の紹介)、適用病害虫、取り扱い上の注意などの解説を中心とし、ほかに一般名・商品名、化学名・化学構造式・物理化学的性質、毒性・残留性を表とした農薬成分一覧表、農薬残留基準・農薬登録保留基準・農薬安全使用基準の解説、薬剤名・商品名・一般名・化学名よりひける索引を付した植物防疫関係者座右の書!!

お申込みは前金(現金・振替・小為替)で本会へ