

# 施設防除での安全・省力な化学農薬の施用技術

JA 全農肥料農薬部 <sup>こん</sup>近 <sup>どう</sup>藤 <sup>とし</sup>俊 <sup>お</sup>夫

## はじめに

我が国の施設栽培面積は、平成7年度統計で67,387 ha (野菜:51,026 ha, 花き:9,611 ha, 果樹:6,750 ha) となっており、近年の食生活の多様化に加え、米価低落傾向、減反、海外農産物の輸入増等の情勢を背景に年々増加し続けている (表-1)。

施設栽培は、野外とは異なった環境条件下での栽培になるため、病害虫の発生も露地栽培とは大きく異なっている。特に密閉系で風雨の影響がなく、一般に高温多湿条件となるため病害虫の発生が多く、しかもいったん発生すると被害が急激に進行する例が多い。このため、病害虫の防除は農家の管理作業の大部分を占めるとともに、経営を左右する重要な仕事になっている。

また露地に比べ栽植密度が高く、特に生育盛期の果菜類や果樹などでは通常の液剤散布では作業性が悪いうえに、作業者が薬液を被曝しやすく健康管理上も好ましくない。さらに、多湿条件下で多量の水を散布することになるため病害の発生を助長する恐れもあるなど、多くの問題を抱えている。

施設栽培におけるこうした問題を解決すべく、くん煙

剤やフロードスト、蒸散法、常温煙霧法など施設の特長性を利用した優れた防除技術が開発され普及されてきた (生江・本島, 1998; 米山, 1996)。これらの技術はいずれも省力的で安全性の高い方法だが、個々に見ると使用可能な薬剤に限られる、葉裏への付着が少なく効果が不安定、コストが高いなど、問題点も多い。

そこで、施設におけるこれらの無人防除技術の現状と問題点を整理してみた。

## I 液剤 (多量) 散布法

### 1 畝間走行式自動噴霧機

基本的には、一般に用いられている液剤散布法 (加圧した薬液を無気噴霧ノズルで散布する多量散布) そのものだが、密閉された施設内での散布作業の安全性、省力性を確保するため噴霧機を自動走行させる無人防除機で、ロボットスプレーカー、オートスプレーカー、シャトルスプレーカーなどの商品名で各社がいろいろなタイプの機種を販売している。ここ数年では年間350~500台程度出荷されている (表-2)。

薬液タンクと動噴本体は施設の外部に設置し、ノズルとホースを自動制御のバッテリーカーに搭載してセンサ

表-1 園芸用施設(ガラス室・ハウス)の設置状況(単位: ha)

	設置面積					栽培面積				
	S 50	S 60	H 3	H 5	H 7	S 50	S 60	H 3	H 5	H 7
野菜	18,679	30,369	34,834	36,244	36,510	24,353	41,376	48,496	50,191	51,026
花き	2,227	4,155	6,477	7,082	7,751	2,488	4,934	8,451	8,330	9,611
果樹	1,595	4,564	5,854	6,355	6,750	1,596	4,575	5,871	6,330	6,750
計	22,501	39,087	47,165	49,681	51,011	28,435	50,855	62,818	64,851	67,387

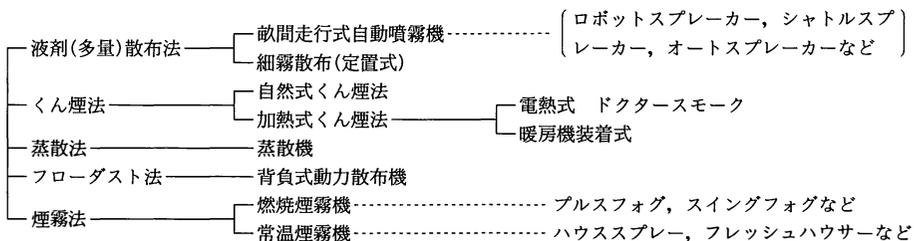


図-1 施設園芸用各種無人防除法

表-2 施設用無人防除機の出荷状況(単位:台)

防除機の種類	H5	H6	H7	H8	H9
走行式自動噴霧機	702	513	342	526	433
常温煙霧機	3,052	2,714	2,758	2,284	2,445

一で左右の畝を感知しながら、あるいはあらかじめ配線した電線の上を電磁誘導センサーで感知しながら自律走行する。バッテリーカーの前面にはオートリバーススイッチを内蔵しており、畝の先端にあらかじめ設置したストッパーを感知もしくは接触して前進から後退に切り替わるようになっている。散布は一般に前進、後退、片側、両側それぞれ設定できるようになっており、作業者はあらかじめこれらの条件を設定することにより、施設内に立ち入ることなく散布作業を行うことができる。

この方法は、薬剤の使用濃度や散布量が一般に行われている液剤散布と同一であるため、現行の登録内容がそのまま適用できる利点を持っている。手作業ほど丁寧な散布はできないが、作物の種類、生育程度等に応じてノズル位置や散布速度等を調整することにより、人力とほぼ同等の効果が期待できる。しかし、多量散布のため、施設内の湿度をさらに上げることになり、病害の発生を助長する欠点はそのまま残っている。また、散布機(バッテリーカー)の畝間走行を前提とした圃場整備等、作付けに当たっての配慮が必要の上設備費がかかるなどの問題もある。

## 2 細霧散布

細霧法とは、天井などに定置配管したパイプに一定間隔で細霧ノズルを取り付け、施設外の動力噴霧機に接続して薬液を散布するものである。そもそもは夏場の施設栽培における高温対策として開発された細霧冷房装置であるが、病害虫防除や液肥の葉面散布、灌水等大型施設の労力軽減のため多目的に利用されている。ノズル部分が移動する方式のものもある。この方法は、散布粒子を細かくした以外は農薬の希釈倍率、散布量等従来の動力噴霧機による液剤散布と変わらないため、現行の農薬登録内容がそのまま適用できるのが特長である。細霧散布の場合、散布された薬液の粒子は煙霧粒子ほど小さくないため施設内での漂流、滞留は少なく、基本的には上部に取り付けたノズルからの落下付着が主体となる。細霧散布を利用した防除試験結果を見ても、①作物が繁茂してくると内部への到達性が悪くなる、②葉裏への付着が葉表に比較して極端に少ない、③ノズルの設置位置と作付けの関係、生育状況等により均一な付着が得られない場合がある、などの問題点も多く、浸透移行性の少ない保護殺菌剤等では十分な効果を発揮するのは難しいと思われる。細霧散布だけで施設栽培の病害虫防除すべてを

まかなうのは無理であろう。また、施設費もかかるため、防除主体に導入する場合は十分な検討が必要である。

## II く ん 煙 法

くん煙法は、農薬の有効成分をいったん加熱して気化させ、それが空気中で急速に冷却して生成した微粒子を施設内の空気の対流で拡散させて作物や病害虫に付着させる方法である。薬剤を気化させる方法により、自然式と加熱式に分けている。自然式は薬剤自体に発熱剤と可燃剤を含んでいて直接着火燃焼させ気化させるのに対し、加熱式は直接薬剤を燃焼させず、他の熱源を利用して気化させる方法をとっている。加熱式はさらに電熱式と暖房機の熱を利用する暖房機装着式に分けられる。薬剤をのせた金属製の皿の下で固型燃料を燃やし加熱、気化させるサーチ式くん煙法も使われていたが、現在は市販されていない。

くん煙法は水を使わないため、施設内を過湿にすることなく作物の汚れも少ない、また、薬剤の配置と点火、機械の作動以外は防除作業のために施設内に入る必要もない省力的で安全な防除法といえる。しかし、薬剤を加熱し気化させなければならないため、熱分解しやすいものは使えず対象薬剤が限定される、一般の液剤散布に比べ葉裏への付着が極端に少ない、などの問題点もあり、くん煙剤だけで一貫防除体系が組める状況にはなっていない。

### 1 自然式くん煙剤

直接薬剤に点火して煙化させるため特別の散布器具は必要としないが、薬剤を施設内に均一に拡散させるためには作物の生育状況に合わせて、つり具や設置台を使った配置が必要となる。薬剤は顆粒状、ドーナツ型、缶詰型など28剤が登録されている(表-3)。

### 2 加熱式くん煙法

#### 1) 電熱くん煙法

専用散布機の薬筒に薬剤を入れ、ヒーターで加熱(300°C程度)して有効成分を気化させ、送風機で施設内に拡散させる。送風機で強制拡散させるため、自然式くん煙剤に比べ薬剤の拡散性や付着の均一性は優れるが専用散布機が必要である。また、薬剤は登録のある専用のスモーク剤以外は使用できない(表-4)。

#### 2) 暖房機利用くん煙法

薬剤を気化させるのに暖房機の熱源を利用するほかは、基本的に電熱くん煙法と同じである。温風暖房機の煙突から逃げる熱を回収する節油機(ボース)を利用して、ここで薬剤を加熱、気化させ送風機の風に乗せて施設内に拡散させる。使える薬剤は電熱くん煙法と同じス

表-3 くん煙剤(自然式)登録状況(平成10年7月現在)

殺 虫 剤		殺 菌 剤	
商品名	有効成分	商品名	有効成分
VP 15 くん煙顆粒	DDVP	サングロール	ピリフェノックス
サンスモーク VP	DDVP	スミブレンドくん煙顆粒	ジェットフェンカルブ, プロシミドン
シーマージェット	テブフェンピラド, BPMC	スミレックスくん煙顆粒	プロシミドン
ジェット VP	DDVP	ダコニール 46 くん煙顆粒	TPN
ダイアジノンくん煙顆粒	ダイアジノン	ダコニールくん煙剤	TPN
テデオン煙霧剤	テトラジホン, マラソン	トリアジンジェット	トリアジン
テルスターくん煙剤	ピフェントリン	トリフミンジェット	トリフルミゾール
トレボン VP くん煙剤	エトフェンブロックス, DDVP	パイレトくん煙顆粒	トリアジメホン
ニッソラン V ジェット	ヘキシチアゾクス, DDVP	フルピカくん煙剤	メパニピリム
ホスピットジェット	DDVP	ルビゲンくん煙剤	フェナリモル
マブリック VP ジェット	フルバリネート, DDVP	ロブラールくん煙剤	イプロジオン
マブリックジェット	フルバリネート	混 合 剤	
マラバッサくん煙剤	マラチオン, BPMC	商品名	有効成分
モスピランジェット	アセタミプリド	モレスタン VP ジェット	キノキサリン, DDVP
ロディー VP くん煙顆粒	フェンプロパトリン, DDVP		
ロディーくん煙顆粒	フェンプロパトリン		

表-4 くん煙剤(加熱式)登録状況(平成10年7月現在)

区分	商品名	有効成分
殺虫剤	VP スモーク	DDVP
	ベンスモーク	フェンプロパトリン
殺菌剤	ダコスモーク	TPN
	モレスタンスモーク	キノキサリン系

表-5 蒸散機用薬剤登録状況(平成10年7月現在)

区分	商品名	有効成分
殺菌剤	サルファグレン	硫黄
	ダコグレン*	TPN

\*: 現在市販されていない。

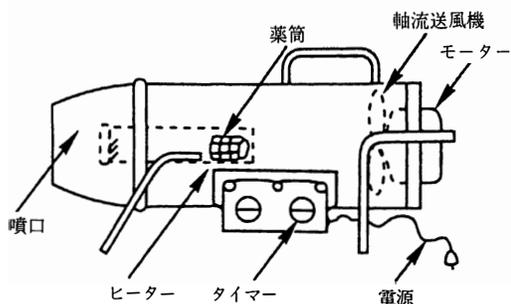


図-2 電熱式送風くん煙機 (ドクターズモーク)

モーク剤だが、暖房機の不稼働期は自然式くん煙剤を着火発煙させて送風機で拡散させている例もある。

### III 蒸 散 法

蒸散法は薬剤をいったん気化させた後空气中で冷却固化した微粒子を施設内の空気の流れに乗せて拡散させる点ではくん煙法と同じである。違いは、くん煙法が乾熱を利用するのに対し、蒸散法では湿熱(過熱水蒸気)を利用する点である。原理はプロパンガスで水を加熱して水蒸気をつくり、これをさらに加熱した約400°Cの過熱

水蒸気で薬剤を気化させる。一般のくん煙法と比較して、①水に溶けにくい成分は、水蒸気により比較的低温でも気化しやすい、②酸素を追い出した過熱水蒸気を用いるため、成分の酸化分解が少ない、③水蒸気が凝集してできる霧が核になり、均一で細かい粒子が生成するため拡散性が良く均一な付着が得られる、などの特長がある。しかしこの方法に使える薬剤は基本的にはくん煙剤としても利用可能な剤がほとんどであるため、蒸散機用に特別に製剤化されている剤は少ない(表-5)。

### IV フローダスト法

くん煙剤は熱分解しやすい薬剤が利用できないため、対象薬剤が限られている。そこで、薬剤をあらかじめくん煙粒子と同程度まで物理的に粉碎して微粉にした「フローダスト」を用いる微粉少量散布法が開発された。散布者は背負式動力散布機を背負って施設の入口に立ち、散布機のエンジンをフル回転させて十分な風量を確保したうえで吐出開度をできるだけ絞り少しずつ十分分散させながら300~500g/10aを吹き込み散布する。特殊製剤であり通常の粉剤に比べ約1/10の少量にはなっているが、粉剤を施設内に散布するため、散布後作業時の気中濃度やいったん地面や作物に落下、付着した薬剤の再

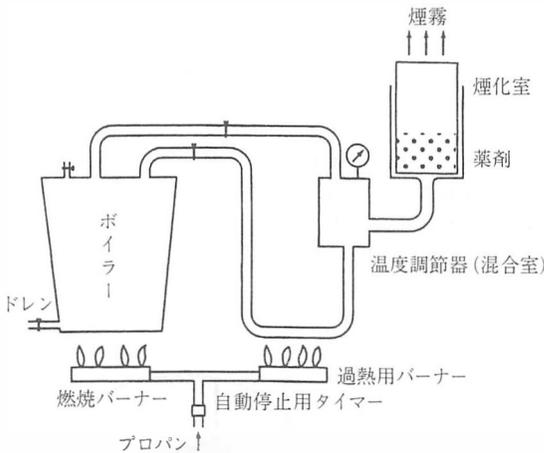


図-3 蒸散機の構造

舞い上がり、被覆資材の汚染、光透過量、作物の汚れや光沢に与える影響等についても十分な試験を実施し、問題のないことを確認したうえで実用化された。

当初、フローダスト法は施設内に入ることもなく10aあたり3~5分程度で防除が可能である、熱分解しやすい薬剤でも製剤化ができる、など、従来の施設での防除の問題点を解決した新しい防除法として注目された。しかし、①特に大型ハウス等では、均一な拡散性を確保するために散布機の風に加えて施設の両サイドを開けての自然風の利用や、ハウス内微気象をうまく活用する必要がある、②多数回散布した後の作物の汚れや粉立ちが気になる、さらに、③背負式動力散布機は水稲農家には普及しているが施設園芸農家では所有しているところが少ない、などの問題もあり、あまり普及しなかった。登録薬剤も一時は13剤ほどになったが現在では登録上は6剤残っているが、出荷されているのはごくわずかである。

一部の根強い愛好者が今でもフローダストの代わりに水和剤を使って同様の散布をしている事例があると聞いている。また、微粉少量散布に適しており水和剤でもフローダスト同様に使えるとの売り込みをしている防除機もあるようだが、農薬の適正使用を守るため自重をお願いしたい。

## V 煙霧法

### 1 燃焼煙霧法

ドイツで開発された防除技術で、パルスジェットエンジンによって起こされる共鳴振動エネルギーにより、排気管内に噴射された農薬の濃厚液を3 $\mu$ m程度の微粒子に霧化して施設内に拡散させる液剤少量散布法である。散布機はプルスフォグ、スイングフォグ、タントスモーク

表-6 フローダストとDL粉剤の物理性

項目	フローダスト	DL粉剤
見掛け比重	0.05~0.10	0.7~1.10
均粒径	5 $\mu$ m以下	20 $\mu$ m以上
浮遊性指数	85以上	20以下
粉末度	99%以上	95以上

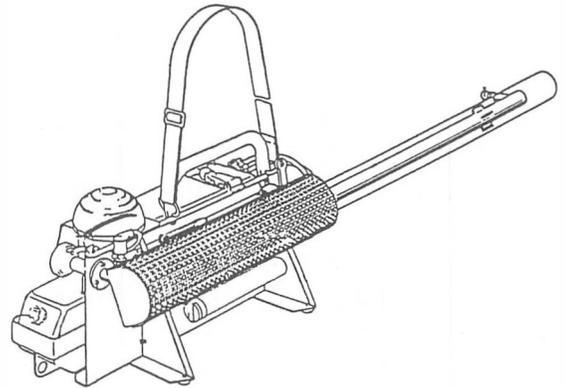


図-4 パルスジェット式煙霧機(プルスフォグ)

等の商品名で市販されている。

この方法では、薬液吐き出し部での排気管内の温度は70~100°Cと高温になるが、薬液がこの温度にさらされる時間が極端に短いため農薬の熱分解が起きない。したがって理論的にはほとんどの液剤散布用農薬(乳剤、水和剤、水溶剤、FL等)の適用が可能である。ただし、濃厚少量散布になるため、この方法に適用できるよう登録された薬剤を使用しなければならない。

この方法の特長として、①施設外からの散布になるため散布者の安全が確保される、②散布液量が3~6 l/10aと少なく10aあたり15分程度で散布できる、③粒子が細かいため拡散が良く汚れも目立たない、等を挙げることができる。反面欠点として、①散布機が高価である、②散布時の騒音がひどい(80~90ホン)、③噴口付近は薬害を起こしやすい、④葉裏への薬剤付着が少ない、などが挙げられる。

### 2 常温煙霧法

燃焼式煙霧法がジェットエンジンの排気ガスを利用したのに対し、常温煙霧はコンプレッサで作られる圧縮空気を利用して薬液を煙霧化させる液剤少量散布法である。散布機は、ハウススプレー、スーパーミスト、フレッシュハウサー等の商品名で市販されている。ここ数年、年間2,500台前後出荷されている(表-2)。

この方法では、常温の圧縮空気を使うが、動力噴霧機のように直接薬液に高圧をかけて噴射するのではなく、

表-7 常温煙霧に適用のある薬剤(平成10年7月現在)

殺虫剤		殺菌剤	
商品名	有効成分	商品名	有効成分
アクテリック乳剤	ピリミホスメチル	スミレックス水和剤	プロシミドン
アドマイヤー水和剤	イミダクロプリド	トップジンM水和剤	チオファネートメチル
ディプテレックス水溶液80	DEP	ベンレート水和剤	ベノミル
ホルスタール乳剤	スルプロホス	モレスタン水和剤	キノキサリン系
マラバッサ乳剤	マラチオン, BPMC	ユーバレン水和剤	スルフェン酸系
		ロブラール水和剤	イプロジオン

コンプレッサでつくられる圧縮空気を薬液にぶつけ、さらに超音波振動などを複合的に作用させて薬液を5~10 $\mu$ の微粒子にすることができる二流体ノズルを使っている。

この方法も加熱を伴わないため理論的にはすべての液剤散布用農薬が利用可能であるが、濃厚少量散布のため、この使用方法に合わせた登録をとらないと使えない。現在11剤が登録されている(表-7)。

常温煙霧機による散布量は一般に3~10 l/10 a, 1分間当たりの吐出量は50~100 mlなので10 a当たりの散布時間は30分~3時間程度となる。薬剤の準備、タイマーのセット以外は特に作業はいらない。くん煙法や蒸散法などと同様、施設内を過湿にすることがなく省力的で安全な防除法であるが、専用の防除機が必要、登録薬剤が少ない、作物の種類や生育程度によって均一な拡散・付着が得られない、葉裏への付着が少ない、などの問題点は解決されていない。

薬剤の拡散性や葉裏への付着性を改善するためダクトを利用した散布法も導入されているが、残念ながら作物付着やダクト内残渣に関するデータがほとんどない。

## VI 今後の課題、静電散布

くん煙法、フローダスト法、常温煙霧法など施設における無人防除法は、いずれも散布作業の軽減、安全性の確保などの点で大きな貢献をした。しかし、これらの防除法はいずれも散布された農薬の粒子が送風や施設内の空気の対流に乗って拡散した後自然落下して作物に付着するため、直接作物めがけて散布する従来の方法に比べると付着量が少なく、特に葉裏への付着が極端に少ない点が共通の欠点になっている。

そこで、薬剤の散布粒子を静電的に帯電させて作物への吸引力を高めることにより付着率を改善しようという研究が行われてきた。

津賀(1988)、高橋・津賀(1988)、藤村ら(1985, 1986)、石塚ら(1987)は、フローダスト剤、くん煙剤、常温煙霧の3種の防除法について試作した装置を用いて

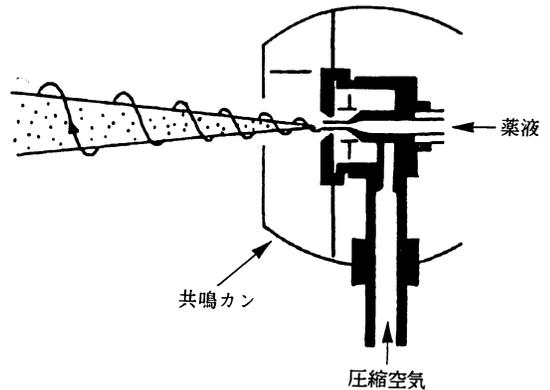


図-5 常温煙霧機用二流体ノズル

散布粒子を帯電させた静電散布を試みている。フローダスト剤、くん煙剤についてはコロナ帯電方式により、常温煙霧については二流体ノズルの先端に環状電極を装着した誘導帯電方式により散布粒子を帯電させ、薬剤の拡散性、作物付着性等について調査した。その結果、いずれも葉表での付着量はそれほど変わらないが、葉裏での付着が大幅に改善されることがわかった。しかし、噴口付近の作物により多く吸引されてしまうため拡散性は逆に悪くなり、特に作物が繁茂した状態ではその傾向が強くなった。また、噴口から遠ざかるにしたがって放電により帯電効果が薄れ、葉裏への付着率も減少した。

予測されたこのような結果の改善を図るため、あらかじめ作物の条間や畝間に-20~-40 kVの高電圧をかけた電線を張りめぐらせて散布粒子と作物との間に電界を形成させ相互の静電的吸引力を均一化したところ、拡散性が良好でなおかつ葉裏への付着率の向上が認められた。しかし施設内に電線を張りめぐらせる方法は電線の敷設費用がかかるほか、他の管理作業に影響する、作物の生長により条件が変わってくるなど、実用化という点では課題も多い。

その後、小野・横山(1993)、小野(1989, 1994 a, b)は、常温煙霧機を利用した静電散布の検討を進める

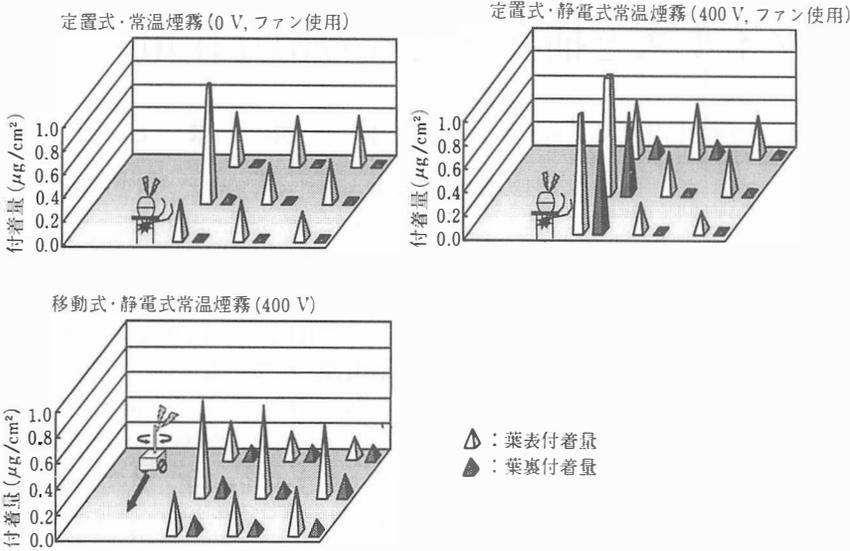


図-6 移動式および定置式の静電式常温煙霧機を用いた散布における葉表・葉裏への薬剤付着量  
各バーの位置はハウス内でのサンプリング位置を、バーの高さは葉面のキノチオネート付着量を表す。

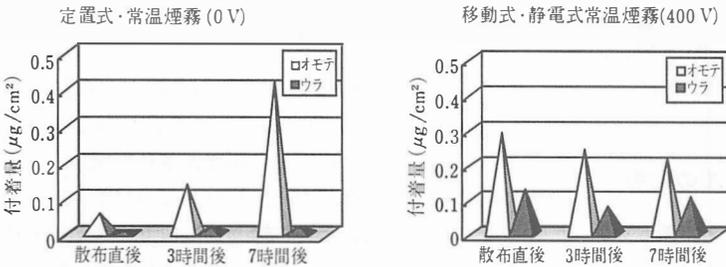


図-7 定置式・常温煙霧機および移動式・静電式常温煙霧機を用いた散布における葉表・葉裏への薬剤付着量の経時変化  
葉面へのキノチオネート付着量。

ど作物付着量や葉裏への付着率が高くなったが、400Vでも特に横方向への拡散性が劣ることが確認された。そこで拡散性の改善を図るため散布装置自体を移動させながら散布する方法を検討したところ、付着の均一性、葉裏への付着ともにほぼ満足のできる結果が得られた。

また同時に実施した調査で、従来の常温煙霧機では散布7時間後まで作物付着量は経時的に増え続けたのに対し、静電散布では散布直後から7時間後までの付着量はほとんど変わらず、散布された粒子が速やかに作物体等に付着することが確認された。このことは薬

剤散布後の作業時安全性確保の点でも好ましい結果といえる。

静電散布に関しては対象作物の種類や生育状況、ハウスの形状、室内の温度や湿度など、多くの変動要因がある中で、まだまだ試験データが不十分である。今後多くの事例の積み上げが必要であるが、目的とする作物や病害虫に薬剤を効率的に到達させる「標的防除」技術として完成されることを期待したい。

参 考 文 献

- 1) 生江洋一・本島 修 (1998)：農薬散布技術。日本植物防疫協会、東京、pp. 229～251。
- 2) 米山伸吾 (1986)：農業富民 58(9)：79～82。
- 3) 津賀幸之介 (1988)：今月の農業 32(5)：82～86。
- 4) 高橋兼一・津賀幸之介 (1988)：関東東山病虫研報 35：153～154。
- 5) 藤村俊彦ら (1985)：農薬散布法に関する試験成績。日本植物防疫協会：31～36。
- 6) 〃〃〃ら (1986)：農薬散布法に関する試験成績。日本植物防疫協会：54～60。
- 7) 石塚 仁ら (1987)：農薬散布法に関する試験成績。日本植物防疫協会：59～61。
- 8) 小野盾男・横山雅機 (1993)：あたらしい農業技術 No. 230：静岡農政部。
- 9) 〃〃〃 (1989)：静岡農試研報 34：65～72。
- 10) 〃〃〃 (1994 a)：機械化農業 特集：42～45。
- 11) 〃〃〃 (1994 b)：植物防疫 48(5)：33～36。
- 12) 林 明子ら (1998)：第18回農薬製剤・施用法シンポジウム講演要旨。

中で、荷電電圧が高いほど葉への付着量は増すが拡散性は劣り、逆に荷電電圧を低くすると拡散性は良くなるが葉への付着量は減少する、すなわち、噴霧粒子の拡散状況は帯電電圧の大きさと粒子を運ぶ送風機の風圧、風量によって決まることを確認した。さらに、拡散性にかかわる粒子の運動エネルギーと付着にかかわる粒子の電荷の適切なバランスを図ることにより拡散性と付着性の改善が図れるはずであるとの立場から検討を進め、その結果、従来の静電散布よりもはるかに低い帯電電圧400V程度が最も実用性が高いことを確認した。

小野らの開発した静電式の常温煙霧機を使って多くの試験例が報告されている。林ら (1998) も荷電電圧400, 800, 1,200 V で試験した結果、電圧が高くなるほ