

農業生産現場における農薬の安全利用 技術と合理的施用法に関する研究

Studies on Safe Utilization and Rational Application of
Pesticides in Crop Production

半 川 義 行

Yoshiyuki HANKAWA

目 次

第1章 緒 言	1
第2章 土壤施用農薬の作物移行残留性と移行量の軽減対策	5
第1節 有機塩素系農薬の作物吸収移行性および土壤残留性	5
1. 実験材料および方法	6
2. 結 果	
(1) ドリン系殺虫剤の土壤残留と作物への吸収移行	10
(2) 土壤殺菌剤 PCNB, その代謝物および HCB の作物移行と土壤残留	14
3. 考 察	24
第2節 有機塩素系農薬および有機リン系農薬の作物吸収移行量の軽減対策	30
1. 実験材料および方法	30
2. 結 果	
(1) 活性炭処理による農薬の作物移行抑制効果	34
(2) 活性炭処理による土壤施用殺虫剤の効果発現に及ぼす影響	37
(3) 活性炭処理による土壤処理除草剤の効果発現に及ぼす影響	37
3. 考 察	39
第3章 施設栽培における安全利用と省力防除法の合理化	41
第1節 農薬散布における作業者の農薬被曝	41
1. 実験材料および方法	41
2. 結 果	
(1) 慣行散布法における作業者への農薬付着	44
(2) ドリフトレス散布法における作業者への農薬付着	44
3. 考 察	46
第2節 各種省力防除法における農薬の散布特性と防除効果	49
1. 実験材料および方法	49
2. 結 果	
(1) FD法, 燃烧法および常温煙霧法の散布特性と防除効果	58

(2) 蒸散法, くん煙法の散布特性と防除効果	65
(3) 常温煙霧法およびドリフトレス散布法の散布特性と防除効果	70
3. 考 察	73
第3節 常温煙霧法の噴霧方法の改善と防除効果	78
1. 実験材料および方法	78
2. 結 果	
(1) 噴霧方法と防除効果の関係	80
(2) 噴霧方法と農薬付着量の関係	82
(3) 噴霧方法と農薬の果実残留量の関係	83
3. 考 察	83
第4章 水田における省力防除法(粉剤の多口ホース噴頭散布)の合理化	85
第1節 現地ほ場における防除効果と散布むらの実態	85
1. 実験材料および方法	86
2. 結 果	
(1) 現地試験における防除効果	91
(2) 散布むらの実態	95
(3) 多口ホース内および噴孔部の風速	95
3. 考 察	98
第2節 多口ホース噴頭散布における薬剤落下量と防除効果	100
1. 実験材料および方法	100
2. 結 果	
(1) ホース位置別の防除効果	102
(2) 粉剤特性による平面落下量と垂直面付着量の関係	103
(3) 粉剤特性別の平面落下量および垂直面付着量と防除効果の関係	104
(4) イネの生育時期と薬剤落下量	105
3. 考 察	106
第3節 粉剤特性別のイネ株間における薬剤浮遊性	108
1. 実験材料および方法	108
2. 結 果	
(1) 箱試験における高さ別浮遊濃度と浮遊時間	109

(2) ほ場における浮遊濃度と浮遊時間	111
(3) 粉剤の散布時刻と浮遊濃度	111
3. 考 察	111
第4節 粉剤粒子のホース内分級と落下薬量	113
1. 実験材料および方法	113
2. 結 果	
(1) ホース位置別の落下粒子の分級	114
(2) 粒子表面積と落下薬量	116
3. 考 察	116
第5節 粉剤散布むらの改善方法	118
1. 実験材料および方法	118
2. 結 果	
(1) 大風量散粉機使用による散布むらと防除効果の改善	121
(2) ホース短縮による薬剤落下分布への影響と防除効果	123
(3) 作用機作の異なる薬剤による防除効果の改善	127
3. 考 察	127
第6節 粉体の物理的性状が散布むらに及ぼす影響	129
1. 実験材料および方法	129
2. 結 果	
(1) 粉体の物理的性状と落下分布の関係	132
(2) 粉体の物理的性状と吐出速度の関係	137
3. 考 察	138
第5章 総 合 考 察	141
第6章 摘 要	146
謝 辞	151
引 用 文 献	152
Summary	163

第1章 緒 言

農業生産の量的および質的な向上に農薬の果たした役割は非常に大きい。水稻についてみると、1945年から1955年頃までの10 a 当たりの生産量は300kg前後であったが、1948年から1952年の DDT, BHC, パラチオン, 有機水銀粉剤等の相次ぐ登場によって¹⁰⁸⁾ 凶作の二大原因といわれたニカメイチュウおよびいもち病の効果的防除が可能となり、1960年代には400kg台に達した。1954年にはアルドリン、ディルドリンおよびエンドリンの登場¹⁰⁸⁾ によって、水稻ばかりでなく野菜、果樹の生産量も飛躍的に向上した。また、1950年からの除草剤2, 4-D¹⁰⁸⁾ の普及によって農作業の中で最も過重であった除草労力も軽減された。この結果、農業生産技術は多肥栽培が主流となり、病虫害防除や除草は農薬の使用によって十分可能であるとする農業万能の安易な考え方が一般的となった。

しかし、1965年頃からの高度経済成長期に入り、国民生活の安定とともに、安全な食品への関心が高まり、農産物や環境中への農薬の残留が大きな社会問題となってきた。1971年に農薬取締法の改正が行われ、農薬の残留基準や登録保留基準とこれに伴う安全使用基準が定められ、農業生産現場における農薬の安全使用の徹底が図られた。一方、病原菌や害虫の側では、農薬一辺倒の防除によって、薬剤に対する耐性菌や抵抗性害虫の出現という新たな問題も生じた。さらに、高度経済成長は農村の主要労働力を都会の第二次、第三次産業へと流出させ、その結果として農業労働力の高齢化・婦女子化という現象を招いた。このため、農作業の機械化が行われるなかで病虫害防除作業のみが取り残され、その省力化が強く求められるようになった。また、国民の食生活の面では、消費ニーズが多様化し、周年にわたって新鮮な農産物の供給が求められるようになり、野菜栽培の施設化が進んだ。この結果、病虫害の発生も周年化し、施設での省力安全防除技術の開発が急務となってきた。

本論文は、以上のような歴史的背景の中で、1971年から1991年の20年間にわたり、筆者らが広島県立農業試験場において遂行した農業生産現場における農薬安全利用技術と合理的施用法に関する研究を集成したものである。研究は、①土壌施用農薬の作物移行残留性と移行量の軽減対策、②施設栽培における安全利用と省力防除法の合理化、および③水田における省力防除法（粉剤の多口ホース噴頭散布）の合理化に関するものの3部門からなるが、一貫して農薬利用の安全性と合理化を追求したもので、それぞれの時代の要請を受けた緊急かつ重要な課題であった。

① 土壌施用の農薬の作物移行残留性と移行量の軽減対策：農薬の作物残留と環境汚染性は、1965年頃から大きな社会問題となった。その中でも土壌害虫防除に用いられたアルドリン、ディルドリン、エンドリンなどのドリ剤は土壌中に長期間残留し、農作物にも吸収移行しやすいことから人蓄への影響も懸念された^{16,41,52,53,54,75,76,77,79,89,93,94,109,111,112,147}。そのため、広島県において使用量の多かったドリ剤や PCNB 剤等の有機塩素系農薬を対象として、まず土壌中での残留と農作物への吸収移行の実態を明らかにした。さらに、有機塩素系だけでなく使用の増大している有機リン系農薬も含めて、土壌中農薬の農作物吸収に対する活性炭処理等による軽減対策について検討した。

② 施設栽培における安全利用と省力防除法の合理化：農業生産において農薬の散布作業は重労働であり、大きな負担となっている。特に、施設での防除作業は閉鎖環境での作業となるため、作業者が薬液に被曝する機会が多いことが保健上の問題として憂慮された^{113,114,116,140,151,152,153}。このため、散布作業者の安全性確保に必要な基礎資料を得る目的で、まず農薬被曝の実態調査を行った。また、近年、施設における省力防除法として、蒸散器、くん煙機、常温煙霧機等が開発され現場に導入されてきた^{2,80,83,99,110,134,138,148,154,155}。しかし、これらの器機は、具体的な適用条件などが未検討のまま民間主導で農家に導入され、合理的に使用されていない場合が多かった。そこで、これら省力防除法の現場防除技術を確立するため、広島県内に広く普及している小規模の単棟ビニールハウスを使用し、省力防除法の安全性だけでなく、農薬のハウス内拡散性、作物付着性、気中濃度および防除効果などの特性を明らかにした。

③ 水田における省力防除法の合理化：水田での粉剤散布は、作業の省力化のために1960年代後半から多口ホース噴頭（以下パイプダスター）が導入され¹²⁷、今日では最も広く普及した省力散布技術となっている。広島県でも1965年頃から導入され³⁷、現在では防除面積の90%以上に定着している。

この散布法は従来の直噴管や曲がり噴管による吸込み散布に比較して株元への薬剤到達性が劣り、特に稲作後期の株元に発生する紋枯病（*Rhizoctonia solani* Kühn）やトビイロウンカ（*Nilaparvata lugens* STÅL）に対して防除効果の劣ることが普及当初から懸念された¹³⁶。このため、全国の多くの農業試験場を中心に、普及開始とともに本散布法の防除効果の確認試験が行われた^{4,5,103,124,142}。さらに、粉剤の株元への到達性を高めるための製剤の改良や散布法の改善に関する研究^{36,85,123,150}も1970年代の前半から開始された。その結果、1979年には従来の粉剤の長所を生かし、しかもその欠点である漂流飛散性を少なくした DL 粉剤が開発され^{87,126}、現在では殆どの粉剤が DL 化された。しかし、1979年、1982年、1983

年、1985年および1987年の西日本各地でのトビイロウンカ多発生年における DL 粉剤の防除効果不足が問題となり、広島県での被害量は、2,000～3,000tに達した⁸⁾。また、トビイロウンカの有機リン剤、カーバメート剤に対する抵抗性の増大が DL 剤の開発と時を同じくして認められた^{13,39,40,51,92)}。トビイロウンカに対する防除効果不足の原因は、散布むらや株元葉鞘部への薬剤の付着不良による薬量不足であることが考えられた。これらの問題点を解明するため、パイプダスター散布による散布むらの実態を把握し、散布むらの改善とトビイロウンカに対する防除効果について検討した。

本論文では、農薬の名称は農林水産省に登録された種類名を用いた。研究対象とした農薬の International Standards Organization (ISO) によって承認された名称、主要な商品名を表 1 に示した。

表1 調査対象農薬名および代謝物

種 類 名		I S O 名	主な商品名
殺菌剤	TPN	chlorothalonil	ダコニール
	ピンクロゾリン	vinclozoline	ロニラン
	チオファネートメチル	thiophanate-methyl	トップジンM
	イプロジオン	iprodione	ロブラール
	プロシミドン	procymidone	スミレックス
	PCNB	quintozene	ペンタゲンなど
	(PCA	pentachloroaniline	PCNBの代謝物)
	(PCTA	pentachlorothioanisole	PCNBの代謝物)
	(HCB	hexachlorobenzene	PCNBの不純物)
	IBP	iprobenfos	クタジンP
殺虫剤	アルドリン	aldrin	アルドリン
	ディルドリン	dieldrin	ディルドリン
	エンドリン	endrin	エンドリン
	エチルチオメトン	disulfoton	ダイシストン
	イソチオエート	isothioate	ホスドン
	アセフェート	acephate	オルトラン
	CVP	chlorfenvinphos	ビニフェート
	DMTP	methidathion	スブラサイド
	マラソン	malathion	マラソン
	ホルモチオン	formothion	アンチオ
	BPMC	BPMC	バッサ
	MPP	fenthion	バイジット
	ダイアジノン	diazinon	ダイアジノン
除草剤	ブプロフェジン	buprofezin	アブロード
	トリフルラリン	trifluralin	トレファノサイド
	ジフェナミド	diphenamide	ダイミッドなど
	CAT	simazine	シマジン
	NIP	nitrofen	ニップ
	リニュロン	linuron	ロロックスなど
	ベンチオカーブ	thiobencarb	サターン

第2章 土壤施用農薬の作物移行残留性と移行量の軽減対策

農薬の土壤施用は土壤病害虫への直接接触による防除だけでなく、作物の根から吸収させて地上部病害虫を間接的に防除する施用法としても定着している。ひ酸鉛やクロールピクリン等の使用は古くから行われていた¹⁴⁴⁾。特に、1954年、残効性が長く効果の卓越したアルドリノ、ディルドリン等のドリノ剤の登場を契機として、これらの土壤施用が畑作害虫の省力防除技術として飛躍的に普及した。しかし、1970年頃から環境保全や国民の健康保護の面からドリノ剤の残効性が逆に欠点として問題となってきた。また、土壤殺菌剤である PCNB は現在広く用いられているが、同様なことが懸念された。この問題の解決は、単にドリノ剤や PCNB に留まらず、土壤施用農薬全般にわたる環境汚染防止や土壤中長期残留による後作物への吸収移行の防止対策を考える上で重要な課題となった。

しかしながら、筆者が研究を始めた1970年当時には、この課題に関する我国における研究例は皆無であり、実態の把握とその対策は緊急を要する問題であった。

本章では、1971年から1980年にかけて行った有機塩素系のドリノ剤と PCNB 剤の土壤残留性と作物吸収移行性、活性炭処理などによる移行量の軽減対策、並びに活性炭処理が他の土壤施用農薬の効果に及ぼす影響等に関する一連の研究の結果について述べる。

第1節 有機塩素系農薬の作物吸収移行性および土壤残留性

アルドリノとディルドリンは、広い殺虫スペクトラムと優れた効果を有するため、広島県では瀬戸内海沿岸・島しょ部のバレイショ栽培地帯を中心にコメツキムシ科害虫 (*Agriotes fuscicollis* Miwa, *Melanotus fortnumi* Candeze, *Selatosomus puncticollis* Motschulsky) を始め、各種土壤害虫防除剤として使用された。エンドリンも、バレイショ栽培地帯のジャガイモガ (*Phthorimaea operculella* Zeller) 防除の特効薬として、また、あらゆる作物の害虫防除剤として広く県内で使用された。しかし、これらドリノ剤は作物および土壤残留性だけでなく、農作物を通しての人畜体内蓄積性が懸念され、そのうえ魚介類に対する毒性も高かった。そのため、1971年の農薬取締法改正により作物残留性、土壤残留性および水質汚濁性農薬に指定され、その使用が厳しく規制されて今日に至っている。

PCNB は土壤殺菌剤として今日でも広く使用されている。特に広島県では、バレイショそうか病 (*Streptomyces scabies* (Thaxter) Waksman et Henrici) の防除剤として、さらに広島県の特産物であるヒロシマナなどの十字花科野菜の根こぶ病 (*Plasmodiophora*

brassicae Woronin) の防除剤として多く使用されている。本剤は単位面積当たりの薬剤投下量が多く土壌中残留性も長いことから、そこに栽培されている作物は勿論のこと後作への吸収移行残留が懸念された。

一方、ドリノ剤の土壌残留性や作物への吸収移行性についての研究は、米国では1950年代の終わりから1970年にかけて势力的に行われた。土壌残留性に関しては、EDWARDS⁹⁾の詳細な総説があり、作物への吸収移行性については、LICHTENSTEIN^{62,63,68,69,73,74)}、HARRIS ら³⁰⁾、HERMANSON ら³³⁾の報告がある。これに対して、我国では1970年代に入ってから研究が開始された^{52,53,54,57,75,89)}が、バレイヨに関する報告は未だ見られなかった。また、PCNBの土壌残留性や作物吸収移行性に関しては、筆者の知る限りでは、1967年にGORBACH¹⁵⁾がバレイヨ、1972年にWANG¹⁴¹⁾が土壌、1976年に岡崎¹¹⁷⁾がハクサイについて、それぞれ報告しているに過ぎなかった。さらに、これらの報告ではPCNB代謝物についての検討が不完全で、PCNB製剤中に含まれる不純物(HCB)は全くとり上げられていなかった。

そこで、本節では広島県の特産物であるバレイヨとヒロシマナ、および広く栽培されているキュウリ、シュンギクを対象作物として、これら薬剤の農作物および土壌中での残留実態を把握するためのモデル試験を行い、土壌中濃度と作物中濃度の関係や土壌中農薬の農作物への吸収抑制対策の基礎資料を得るための検討を行った結果を述べる^{17,18,19,20,28)}。なお、アルドリノは土壌中で酸化されてディルドリノに変化し¹⁴⁾、作物中でも同様な現象が起こるとされている⁵²⁾。本報告では、アルドリノ粉剤を処理した場合のアルドリノとディルドリノの動向を追跡した。また、PCNB粉剤に関しても、代謝物のPCAとPCTAの他に製剤中に含まれる不純物のHCBについても追跡した。

1. 実験材料および方法

(1) ドリノ系殺虫剤の土壌残留性と作物吸収移行性の検討

1) 供試農薬および処理方法

1区面積は10m²とし、表2に示す処理を行った。

2) 作物の植付および分析試料の採取

バレイヨ(品種:男爵薯):1971年3月25日に東広島市八本松町の広島県立農業試験場(以下農試)ほ場に植え付けた。土壌の特性は表3に示した。肥培管理は慣行栽培によった。分析試料の採取はバレイヨは生育時期別に4月30日(萌芽期)、5月20日(着蕾期)、6月22日(掘取適期)、7月1日(地上部半部枯死)の6回、土壌は3月26日と7月2日の2回採取して分析に供した。

表2 供試農薬および処理方法

農 薬 名	処 理 量 ^{a)}	処理年月日	処理法	供試作物
アルドリノ粉剤(4%)	0.6kg/a	1971/ 3 /25	土壌混和	バレイショ
〃	〃	〃	〃	キュウリ
〃	1.2kg/a	〃	〃	〃
〃	1.8kg/a	〃	〃	〃
エンドリン乳剤(19.5%)	1,000倍液10 ℓ/a	〃	土壌灌注	〃
〃	500 〃	〃	〃	〃
〃	250 〃	〃	〃	〃

^{a)}アルドリノ粉剤は製剤量

表3 供試ほ場土壌の特性

土性	粗砂	細砂	微砂	粘土	腐植	有効態 磷 酸	磷酸吸 収係数	置 換 容 量	置換性塩基	
									CaO	MgO
SCL	39.7%	28.7%	15.9%	15.5%	1.9%	2.9mg	480	8.8m.e	177.7mg	19.6mg

キュウリ(品種:F₁近成山東):第1作は1971年5月7日には種し,第2作は第1作の収穫終了後同一試験区に7月15日には種した。肥培管理は慣行栽培によった。分析試料の採取は,第1作ではキュウリ果実を7月2日(収穫始め)と7月13日(収穫最盛期)の2回,土壌は7月14日に,また,第2作ではキュウリ果実を9月3日(収穫始め)と9月13日(収穫最盛期)に,土壌は9月22日に採取し分析に供した。

なお,土壌の採取はバレイショ,キュウリとも試験区内6か所から表層10cmの土を採土管(直径6cmの塩ビ管)で採取した。

3) 抽出精製

バレイショおよびキュウリは,試料1kgをミキサーで均質化した後50gをホモジナイザーに秤り取り,アセトン100mlを加えてさらに細切攪拌抽出した。抽出液を約30mlに減圧濃縮して500mlの分液ロートに移し,2%硫酸ナトリウム水溶液250mlを加えて混合した。*n*-ヘキサン100mlおよび50mlで2回分配抽出し,*n*-ヘキサン層を減圧濃縮後,フロリジルカラムで精製を行った。展開溶媒は*n*-ヘキサン・エチルエーテル混液(95:5)200mlを用い,溶出液を減圧濃縮後,*n*-ヘキサンで定容としガスクロマトグラフによってアルドリノ,ディルドリンおよびエンドリンを定量した。

土壌は風乾後乳鉢で磨砕し,2mmのフルイで篩別した土壌30gを500mlの三角フラスコに取り,アセトン100mlを加え1時間横型振とう機で振とう抽出した。その後の操作はバレイショ,キュウリの方法に準じた。

均質化試料に0.1ppm添加量での回収率（以下作物に関してはこの方法に準じる。）は、キュウリ果実ではアルドリン96.4%，ディルドリン87.5%，エンドリン93.3%，また，土壤に0.1ppm添加量での回収率（以下土壤に関してはこの方法に準じる。）はそれぞれ，97.5%，72.5%，80.4%であった。

4) ガスクロマトグラフィー条件

ガスクロマトグラフは島津製作所製 ECD (^{63}Ni) 付 GC-5 AIEE を用いた。カラムは内径3 mm，長さ1.5 mのガラス製を，充填剤は10% DC-200+15% QF-1 (1:1)/クロモゾルプ W, AW, 60~80メッシュを用いた。温度は試料気化室240，カラムオープン190，検出器220~250℃，キャリアーガス (N_2) は40~60ml/minとした。

(2) PCNB, その代謝物および HCB の作物残留と土壤残留の検討

PCNB 粉剤 (20%) を土壤施用したときの，PCNB とその代謝物の PCA と PCTA および不純物として存在する HCB の挙動を追跡した。

1) 栽培場所および土壤の理化学性

気象条件や土壤条件の異なる農試ほ場と因島市重井の農試島しょ部支場(以下因島ほ場)の2か所で検討した。農試ほ場土壤は灰色低地土，因島ほ場土壤は中粗粒褐色森林土（以下褐色森林土）で，その理化学性は表4のとおりであった。

表4 供試土壤の理化学性

供試土壤	pH(水)	腐植	粗砂+ 細砂	微砂	粘土	CEC meq/100 g	圃 場 容水量
灰色低地土	5.1	2.53%	62.4%	17.5%	20.2%	9.6	38.5%
褐色森林土	4.9	1.32	87.5	15.7	7.4	6.0	21.3

2) 処理方法および分析試料の調製

i) バレイショ

農試ほ場では，1977年3月25日に各試験区（1区10m²）に PCNB 粉剤を1および2 kg/aの割合で土壤表面に処理後，鍬で打ち込み土壤とよく混和し，バレイショ（品種：デジマ）を植え付けた。因島ほ場では，1977年3月11日（春作）と9月7日（秋作）に各試験区（1区15m²）に同様に1および2 kg/aの割合で植溝処理した後，バレイショ（品種：春作はデジマ，秋作は農林1号）を植付けた。

土壤の採取は，両ほ場とも処理直前，直後，10，20，30，60および90日後に，前記(1)の2)の方法により採取し，よく混合して生土のまま分析に供した。

また、土壌中における長期残留性は因島ほ場の同一ほ場内で1974年9月3日にPCNB粉剤を2 kg/a処理し、その後引き続いてバレイショを栽培した試験区で検討した。この場合の土壌採取は、処理直後、1か月、2か月、3か月、7か月、20か月および38か月後に、前記(1)の2)の方法で採取した。さらに、この採取時には、土壌中の垂直分布を調査するために表層から30cmまで5 cm間隔で層位別に土壌を採取し生土のまま分析に供した。

バレイショは農試ほ場では6月25日と7月8日の2回、因島ほ場では春作は6月10日と7月6日の2回、秋作は12月8日に掘取り、分析に供した。

ii) シュンギク

農試ほ場(灰色低地土)のみで検討した。1978年9月7日に試験区(1区10m²)にPCNB粉剤を3 kg/aの割合で土壌表面に処理し、鍬で打ち込み土壌とよく混和後直ちにシュンギク(品種：鯉城春菊)を播種した直播区と、10月6日に移植した移植区を設けた。

シュンギクは直播区、移植区とも10月20日、10月30日、11月9日の3回採取した。土壌は11月9日に前記(1)の2)の方法で採取し分析に供した。

iii) 前作および後作への吸収移行試験

農試ほ場(灰色低地土)では、1980年9月4日に各試験区(1区10m²)にPCNB粉剤3 kg/a処理後、前作にヒロシマナ(品種：在来種)をは種した。12月22日に収穫後、直ちに後作のシュンギク(品種：鯉城春菊、11月6日にジフィーポットには種し予め育苗したもの)を定植し、1981年2月9日に収穫するまでビニールトンネルで被覆した。

因島ほ場(褐色森林土)では、1980年8月19日に各試験区(1区15m²)にPCNB粉剤3 kg/a処理後、前作にバレイショ(品種：農林1号)を植付けた。12月19日に収穫後直ちに後作のシュンギク(品種：鯉城春菊)をは種し、1981年3月16日に収穫するまでビニールトンネルで被覆した。

ヒロシマナ、シュンギクおよびバレイショは収穫適期にのみ1回採取した。また、土壌はそれぞれの作物の収穫時に前記(1)の2)の方法で採取し、それぞれ分析に供した。

3) 抽出精製

バレイショおよび土壌は前記(1)の3)の方法によった。シュンギクおよびヒロシマナは、予め均質化した試料50 gを300mlの分液ロートに秤り取り、アセトニトリル100mlおよび50 mlで2回、各5分間振とう抽出した。抽出液を500mlの分液ロートに合わせ4%食塩水350 mlを加え、*n*-ヘキサン100mlで2回振とう抽出した後、*n*-ヘキサン層を減圧濃縮した。以下の操作はバレイショおよび土壌の方法に準じて行った。

以上の抽出精製による回収率は、土壌(0.1ppm添加)では、農試ほ場、因島ほ場でそれぞ

れ、PCNB80.2%, 78.4%, PCA89.7%, 80.4%, PCTA92.2%, 76.4%, HCB78.5%, 83.1%であった。バレイショ (0.2ppm添加) では、各化合物に対し、それぞれ88.0%, 82.8%, 77.0%, 91.0%, 同様にシュンギク (0.1ppm添加) では72.1%, 78.6%, 79.6%, 82.2%, ヒロシマナ (0.2ppm添加) では101.0%, 117.0%, 113.8%, 96.5%であった。

4) ガスクロマトグラフィー条件

カラムに5% DC-200/ガスクロム Q, 60~80メッシュ, 長さ1mのものを用いた以外は、前記(1)の4)の条件とした。

2. 結 果

(1) ドリン系殺虫剤の土壌残留と作物への吸収移行

アルドリン、ディルドリンおよびエンドリンは、土壌残留性が高く作物へも比較的吸収移行しやすいため使用が厳しく制限され、今日では使用されていない。しかし、これらの土壌中残留性と作物吸収移行性の実態を把握しておくことは、今後の農薬の作物および土壌残留対策を考える場合の基礎資料として重要である。本検討では、アルドリン粉剤 (4%) を土壌混和处理したときのアルドリンとその酸化物ディルドリンの挙動、並びにエンドリン乳剤 (19.5%) を土壌灌注したときのエンドリンの挙動を精査した。

1) 作物の生育時期別、器官別の残留量

ドリン剤を吸収しやすいキュウリとバレイショを対象作物として、生育時期別の残留量

表5 キュウリ果実の作期別アルドリン、ディルドリンおよびエンドリンの残留量(ppm)

作期別	調査月日	薬 剤 名	処 理 区					
			アルドリン粉剤			エンドリン乳剤		
			0.6kg	1.2kg	1.8kg	×1,000	×500	×250
第1作	7月2日	アルドリン	0.033	0.020	0.022			
		ディルドリン	0.067	0.067	0.074			
		エンドリン				0.014	0.020	0.038
	7月13日	アルドリン	0.001	0.002	0.006			
		ディルドリン	0.029	0.044	0.041			
		エンドリン				0.011	0.015	0.015
第2作	9月3日	アルドリン	N.D. ^{a)}	N.D.	N.D.			
		ディルドリン	0.025	0.031	0.039			
		エンドリン				0.010	0.012	0.017
	9月13日	アルドリン	N.D.	N.D.	N.D.			
		ディルドリン	0.014	0.029	0.027			
		エンドリン				0.003	0.004	0.014

^{a)} Not detected, <0.001

について検討した。

キュウリでは、第1作、第2作と栽培時期をかえてアルドリンとディルドリンおよびエンドリンの果実中残留量を調査し、表5の結果をえた。

第1作のアルドリンとディルドリンの残留量は、収穫始めの7月2日は処理量に関係なく合計値で0.1ppm前後であった。しかし、収穫最盛期(7月13日)の残留量は、収穫初めに比較し0.6kg/a区では1/3に、1.2kg/a、1.8kg/a区では1/2に減少した。一方、エンドリンは、収穫始めには処理濃度に比例して残留量が多かった。しかし、収穫最盛期の残留量は減少し、処理濃度と関係なく0.011~0.015ppmとなった。

第2作ではアルドリンは全ての処理区で検出限界以下となった。ディルドリンの収穫始め(9月3日)の残留量は、第1作の収穫最盛期より減少した。収穫最盛期(9月13日)には1.2kg/a区では収穫始めと殆ど同じであったが、0.6kg/a区と1.8kg/a区では収穫始めの約2/3の残留量となった。エンドリンも収穫始めの調査では第1作の収穫最盛期の残留量とほぼ同様の値であったが、収穫最盛期の残留量は処理濃度の低い1,000倍および500倍液区で著しく減少し収穫初めの1/3となった。

バレイショでは、アルドリンとディルドリンの生育時期別および器官別の残留量を調査し、表6および図1の結果をえた。

茎葉部では、アルドリンとディルドリンの合計値でみた場合、開花初め(5月31日)から開花盛期(6月10日)に若干減少する傾向がみられたが、その他の時期はほぼ0.08~0.1ppmの範囲であった。

根の残留量は、着蕾期(5月20日)にはアルドリン1.51ppm、ディルドリン1.72ppmと高かったが、開花始め(5月31日)、即ち塊茎肥大開始期ころにかけて減少し、以後掘取時期ま

表6 バレイショの器官別アルドリンおよびディルドリンの残留量(ppm)

調査月日	茎 葉			根			塊 茎		
	アルドリン	ディルドリン	合計値	アルドリン	ディルドリン	合計値	アルドリン	ディルドリン	合計値
4月30日	0.008	0.072	0.080						
5月20日	0.012	0.089	0.101	1.51	1.72	3.23	0.103	0.237	0.340
5月31日	0.006	0.058	0.064	0.279	0.638	0.917	0.003	0.126	0.129
6月10日	0.006	0.065	0.071	0.268	0.583	0.851	0.001	0.078	0.079
6月22日	0.005	0.080	0.085	0.316	0.757	1.07	0.017	0.123	0.140
7月1日	0.008	0.105	0.113	0.261	0.730	0.991	0.003	0.086	0.089

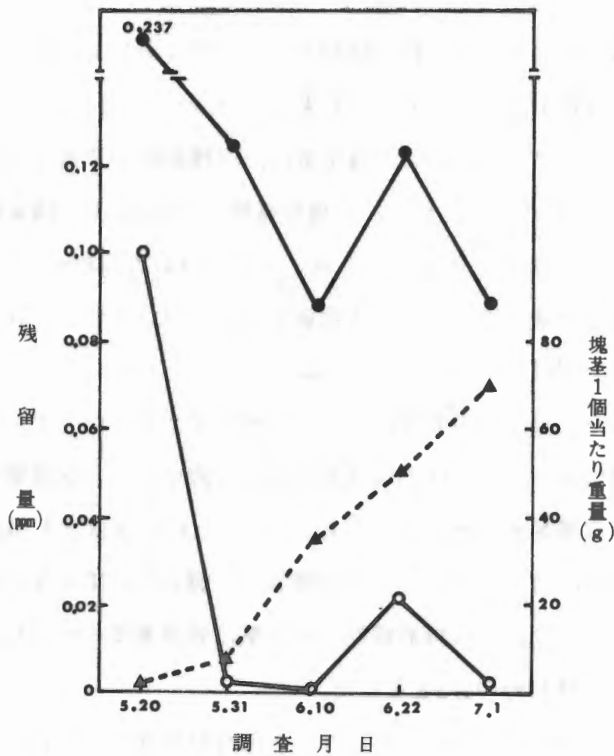


図1 アルドリンおよびディルドリンの生育時期別塊茎中の残留量および塊茎肥大
○：アルドリン，●：ディルドリン
▲：塊茎重量

ではほぼ一定の値であった。この期間の残留量の平均値は、アルドリン0.281ppm、ディルドリン0.677ppmであった。

塊茎中の残留量は根の場合と同様に、着蕾期から開花盛期（6月10日）まで減少したが、地上部が枯死し始める掘取適期（6月22日）には一時的に残留量が増加した。しかし、最終掘取時（7月1日）には残留量は再び減少し、アルドリンが0.003ppm、ディルドリンが0.086ppmとなった。

2) 土壌中残留量と作物残留量の関係

キュウリの第1作と第2作のアルドリンとディルドリンおよびエンドリンの土壌中残留量とキュウリ果実中残留量の関係を図2に示した。アルドリンとディルドリンは合計値で示した。

土壌中残留量とキュウリ果実中残留量の関係は、土壌中残留量がアルドリンとディルドリンの合計値では2.0～3.0ppmの間で、またエンドリンでは0.5ppmを越えるところから、キュウ

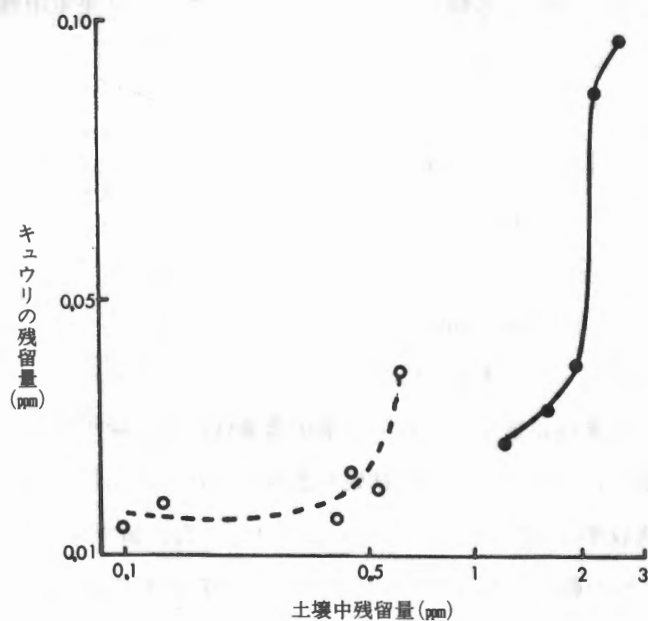


図2 ドリン剤の土壤中残留量とキュウリ残留量との関係

●：アルドリン+ディルドリン
○：エンドリン

表7 キュウリ果実における作期別のアルドリンおよびエンドリン吸収率^{a)}

処理区別	第1作		第2作	
	7月2日	7月13日	9月3日	9月13日
アルドリン0.6kg/a	%	%	2.0%	1.1%
アルドリン1.2kg/a	3.9	2.1	1.9	1.8
アルドリン1.8kg/a	3.5	1.7	2.0	1.4
エンドリン1,000倍液	11.6	8.5	10.1	3.0
エンドリン 500倍液	5.4	3.4	2.3	0.7
エンドリン 250倍液	5.5	2.4	2.9	2.7

^{a)}アルドリン処理区はアルドリンとディルドリンの合計値の吸収率

表8 バレイショにおける器官別のアルドリンおよびディルドリン吸収率

農薬名	茎葉	根	塊茎
アルドリン	0.9%	31.6%	3.6%
ディルドリン	22.3	155.3	18.3
アルドリン+ディルドリン	8.7	76.5	6.9

り果実中残留量が急激に増加する傾向がみられた。またキュウリ果実中残留量 (y) と土壌中残留量 (x) の対数の間に次のような直線回帰式がえられた。ただし、エンドリンでは有意な回帰式はえられなかった。

アルドリンとディルドリンの合計値の場合：

$$\log y = -1.8302 + 1.8473 \log x \quad (r=0.924^*)$$

エンドリンの場合：

$$\log y = -1.3726 + 0.5903 \log x \quad (r=0.577)$$

次に、これら農薬のキュウリ果実およびバレイショへの吸収率について検討した。吸収率は収穫時の作物中農薬残留量を収穫時の土壌中農薬残留量で除す方法⁵²⁾によって求め、キュウリの結果を表7に、バレイショの結果を表8にそれぞれ示した。

キュウリ果実の吸収率は、アルドリンとディルドリンの合計値でみると、第1作で2～4%、第2作で1～2%の範囲であった。エンドリンでも第1作で2～12%、第2作で1～10%の範囲で、土壌中残留量の多い第1作での吸収率がいずれも若干高かった。

なお、バレイショ収穫時の器官別吸収率は、アルドリンでは茎葉、塊茎の吸収率はそれぞれ0.9%と3.6%であるのに対して根では31.6%と特異的に高い吸収率であった。またディルドリンの吸収率はアルドリンに比較して高く、茎葉と塊茎では22.3%と18.3%であるのに対し、根では155.3%と極めて高い吸収率であった。

(2) 土壌殺菌剤 PCNB, その代謝物および HCB の作物移行と土壌残留

土壌殺菌剤である PCNB は長期間土壌中に残留し、さらに土壌中微生物によって代謝されて Pentachloroaniline (PCA) と Pentachlorothioanisole (PCTA) を生成することが知られている^{58,59,95,96,97)}。また、PCNB 剤には不純物として Hexachlorobenzene (HCB) が混在しているが、これらの土壌残留性や作物移行性については明らかにされていない。

ここでは、広島県における PCNB 剤の主な使用地帯である瀬戸内海沿岸・島しょ部の花崗岩崩壊土壌として代表的な褐色森林土（因島ほ場）と、灰色低地土（農試ほ場）を選び、気象条件や耕種条件がこれら化合物の土壌中残留消長と作物への吸収移行に及ぼす影響について検討した。

1) 土壌特性および作期の違いと土壌中残留消長

農薬の土壌中残留性は、土壌条件によって強く影響を受けることが考えられるので、PCNB, PCA, PCTA および HCB についてバレイショほ場で検討した。また、作期の違いによる気温、降雨量などの気象条件が PCNB の土壌中での代謝分解やバレイショ塊茎中への残留に及ぼす影響についても検討した。

まず、土壌特性の差が各化合物の土壌中残留性に及ぼす影響を、褐色森林土と灰色低地土の春作で検討した。残留性は2および1 kg/a 区とも同じ傾向であったので2 kg/a 区のPCNBとHCBの結果を図3に、またバレイショ作付期間中の降雨量、平均気温、地温を表9に示した。

表9 バレイショ栽培期間における降雨量、平均気温および土壌温度

調査項目	因島ほ場 (褐色森林土)										農試ほ場 (灰色低地土)				
	春 作 (月)					秋 作 (月)					春 作 (月)				
	3	4	5	6	7	9	10	11	12		3	4	5	6	7
降 雨 量 (mm)	95	140	81	157	34	112	42	101	3	43	235	106	214	14	
平均気温 (℃)	9.3	14.2	17.6	21.6	25.7	23.5	18.6	13.5	9.4	9.6	13.6	17.1	21.7	26.0	
土壌温度 ^{a)} (℃)	9.5	13.8	17.6	22.0	25.2	23.5	18.7	14.3	9.6						

^{a)} 土壌温度は深さ10cmの位置における温度

PCNB の春作での消長は、土壌中残留量を (y)、処理後日数を (x) としたとき、次の回帰直線に従って消失した。

$$\text{褐色森林土: } \log y = 1.915 - 0.0077x \quad (r = -0.984^{**})$$

$$\text{灰色低地土: } \log y = 1.562 - 0.0029x \quad (r = -0.776^{*})$$

これらの回帰式から次式⁹⁾、即ち、

$$\text{半減期} = (2.303 \times \log 2) / K \quad \text{但し、} K = \text{回帰式の } x \text{ の係数} \times 2.303$$

によって求めた半減期は褐色森林土で39.1日、灰色低地土で103.8日となり後者の半減期が2.5倍以上長くなった。

HCB は両土壌中でPCNBの場合と全く同様の減衰パターンを示した。この場合の回帰式を求めるとそれぞれ次のとおりとなった。

$$\text{褐色森林土: } \log y = 0.373 - 0.0098x \quad (r = -0.952^{**})$$

$$\text{灰色低地土: } \log y = 0.244 - 0.0034x \quad (r = -0.775^{*})$$

回帰式から求めた半減期は褐色森林土で30.7日、灰色低地土では88.5日となり、PCNBの場合と同様に灰色低地土で約3倍長かった。

PCNB からの代謝物のPCAおよびPCTAの生成と残留消長は、図4に示したように褐色森林土と灰色低地土ではかなり異なった様相を呈した。褐色森林土では処理直後から両者とも増加がみられ、PCAは処理20日後に、PCTAは60日後に最高濃度に達した。一方、灰色低地土では処理直後から90日後にかけて徐々に濃度が高まった。

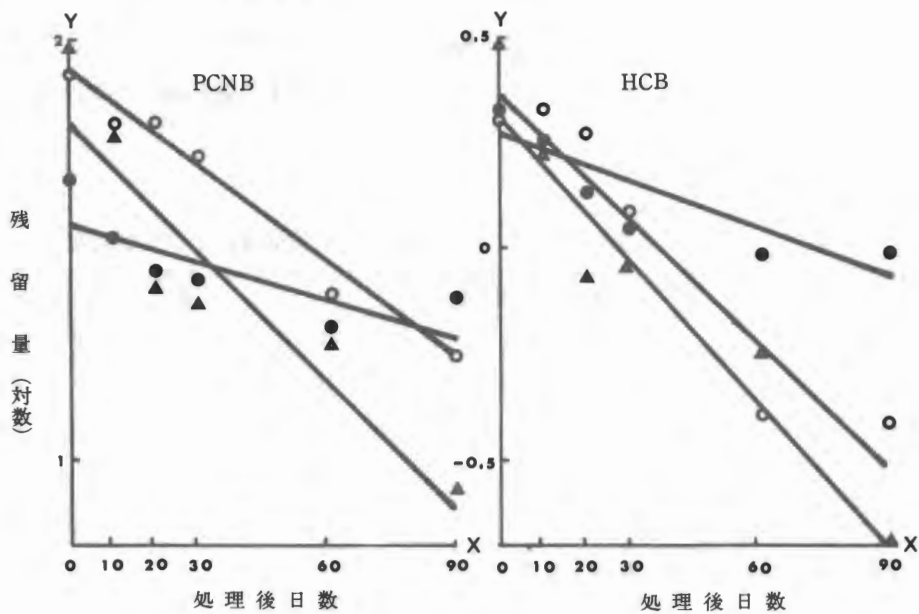


図3 PCNB, HCB の残留に及ぼす土壌および作期の影響
 ○：褐色森林土（春作），△：褐色森林土（秋作）
 ●：灰色低地土（春作）

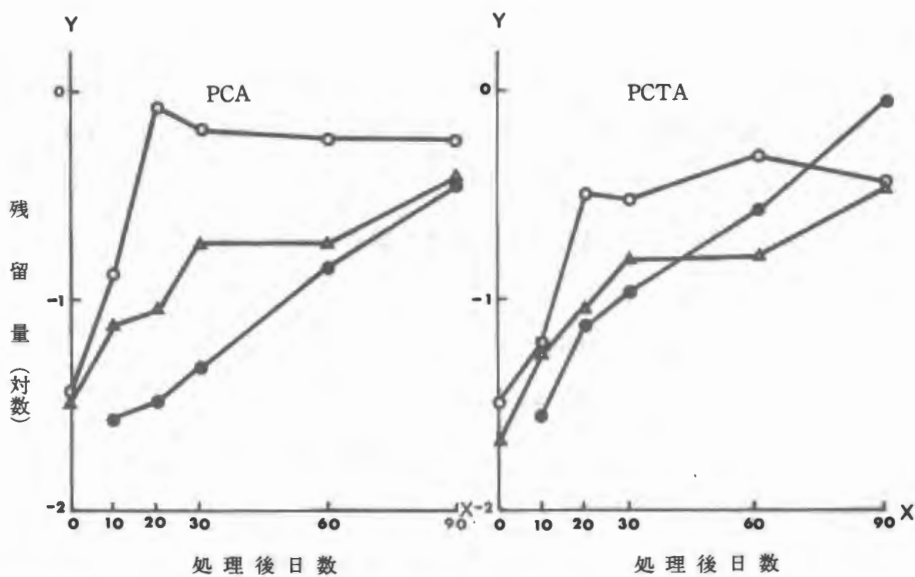


図4 PCNB の PCA, PCTA への変化に及ぼす土壌および作期の影響
 ○：褐色森林土（春作），△：褐色森林土（秋作）
 ●：灰色低地土（春作）

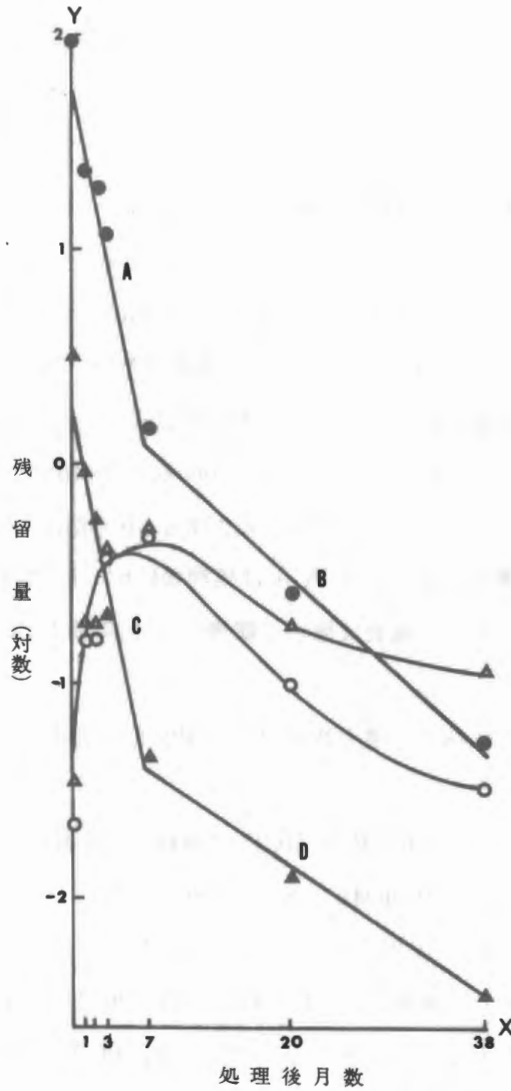


図5 褐色森林土における PCNB, PCA, PCTA および HCB の残留消長
 ● : PCNB ○ : PCA
 △ : PCTA ▲ : HCB

次に、褐色森林土について長期間の残留消長を調査した結果を図5に示す。

PCNB と HCB の残留消長は処理7か月後で折れる2つの直線によって示された。処理7か月後を中心に前期と後期に分けて、図中ではそれぞれA, BおよびC, Dで表した。

これらの直線回帰式は、それぞれ

$$\text{PCNB : } \log y = 1.794 - 0.2392x \quad (\text{A})$$

$$\log y = 0.440 - 0.0470x \quad (B)$$

$$\text{HCB} : \log y = 0.287 - 0.2541x \quad (C)$$

$$\log y = -1.170 - 0.0345x \quad (D)$$

で表された。

これらの回帰式から求めた半減期は、PCNB の A と B はそれぞれ 38 日と 192 日、HCB の C と D は 35 日と 262 日となった。7 か月後までに限ってみると、PCNB と HCB の減衰速度は殆ど変わらないが、7 か月以降では PCNB よりも HCB の減衰は遅かった。

これに対して、PCA と PCTA の消長はともに処理後 7 か月までは増加し、その後は徐々に減少した。両者の全期間にわたる消長は、次の近似式によって表された。

$$\text{PCA} : \log y = -1.5044 + 0.9463\sqrt{x} - 0.2069x + 0.0018x^2$$

$$\text{PCTA} : \log y = -1.7129 + 1.1595\sqrt{x} - 0.2742x + 0.0024x^2$$

これらの式から最高濃度になるのは PCA は処理後 6.6 か月、PCTA は 5.4 か月であった。また、最高濃度に達したあとの減衰は極めて緩慢で、半減期は PCA が 19.0 か月、PCTA が 13.8 か月と計算された。

さらに、バレイショの作期と土壌中残留消長の関係を褐色森林土の春作と秋作で比較検討した。

図 3 に示した秋作における PCNB と HCB の減衰回帰直線は次のようになった。

$$\text{PCNB} : \log y = 1.7859 - 0.0094x \quad (r = -0.865^*)$$

$$\text{HCB} : \log y = 0.3472 - 0.0115x \quad (r = -0.956^{**})$$

これら回帰式から求めた半減期は、それぞれ 32.0 日と 26.2 日となり、PCNB、HCB とも前述の春作の半減期よりも 7～5 日短くなった。一方、PCA と PCTA への変化は春作に比較して緩慢で灰色低地土の春作に近いパターンとなった。

これら残留消長に関係するバレイショの作付期間中の気温と地温は、表 9 に示したように春作では前半の 3 月、4 月が低いのに対して、秋作では作期の期間中を通して春作よりも高く、特に前半の 9 月、10 月が高かった。また降雨量は春作が 507 mm に対して、秋作が 258 mm で春作の雨量が多かった。

2) 土壌中における垂直分布

土壌中に混入されたアルドリンやヘプタクロール等の有機塩素剤は殆ど下層への移動はないとされている^{9,61,66,67)}。そこで、PCNB とその代謝物および HCB についても同様なことがいえるかどうか検討した。

PCNB、PCA、PCTA および HCB の垂直分布を PCNB 粉剤処理 1 か月、7 か月、20

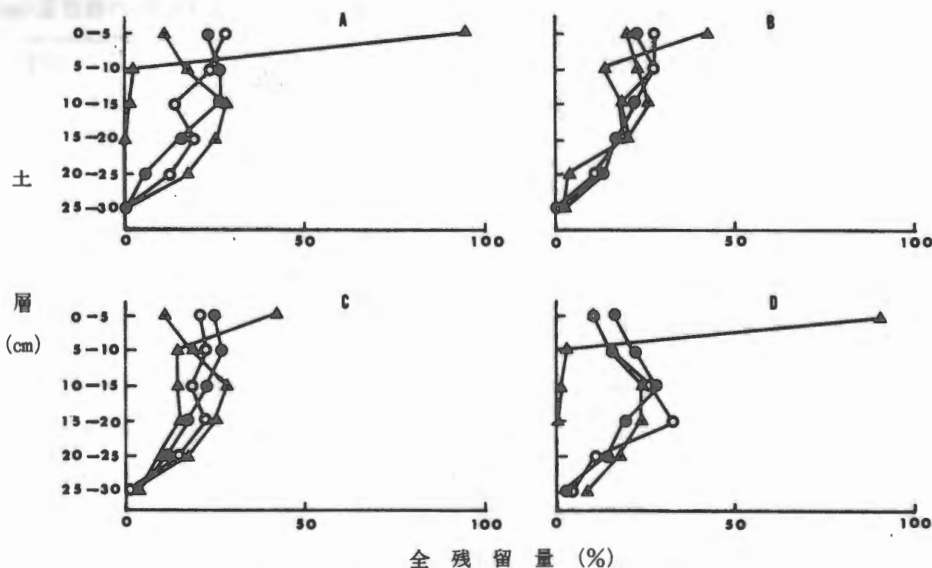


図6 PCNB, PCA, PCTA および HCB の土壤中における垂直分布
 A : PCNB, B : PCA, C : PCTA, D : HCB
 ▲ : 1 か月後, ● : 7 か月後, △ : 20 か月後, ○ : 38 か月後

か月および38か月後に調査した結果を図6に示した。ただし、7か月以降も引き続きバレイショが作付され、掘取りや耕耘が行われた。

1か月後のPCNBとHCBの残留は、全体の90～95%が0～5cm層に分布し、5～30cm層への分布は僅かであった。これに対して、PCAとPCTAは0～5cm層に40%が分布し、5～25cm層に5～20%、25～30cm層には5%以下の分布割合で、PCNBやHCBとは異なった垂直分布を示した。これに対して、バレイショの掘取りや耕耘が行われたあとの7か月後以降は、各化合物とも0～25cmまでの各層に概ね20～30%分布しほぼ安定した分布状態となった。しかし、25～30cm層への分布は各化合物ともに僅少で、殆ど移行していなかった。

3) 土壤中残留量と作物残留量の関係

PCNBとその代謝物およびHCBの土壤中残留量とバレイショ塊茎中残留量の関係を土性の違う褐色森林土と灰色低地土について検討した。

表10には、バレイショ収穫時のPCNBとその代謝物およびHCBの土壤中残留量(B)と塊茎中残留量(A)および吸収率(A/B)を示した。

バレイショ塊茎中のPCNB, PCA, PCTAおよびHCBの平均残留量は褐色森林土では灰色低地土に比較して、それぞれ約5倍、4倍、2倍および4倍多かった。

表10 バレイショおよび土壌中における PCNB, PCA, PCTA および HCB の残留量(ppm)

供試土壌	処理量 ^{a)} (kg/a)	調査 月日	PCNB			PCA			PCTA			HCB		
			塊茎 (A)	土壌 (B)	A/B ^{b)} (%)	塊茎 (A)	土壌 (B)	A/B (%)	塊茎 (A)	土壌 (B)	A/B (%)	塊茎 (A)	土壌 (B)	A/B (%)
灰色 低地土	1	6.25	0.019	12.5	0.2	0.010	0.232	4.3	0.021	0.691	3.0	0.010	0.266	3.8
		7. 8	0.015	9.39	0.2	0.012	0.217	5.5	0.021	0.596	3.5	0.006	0.222	2.7
	2	6.25	0.041	24.2	0.2	0.025	0.357	7.0	0.040	0.875	4.6	0.024	0.975	2.5
		7. 8	0.028	14.6	0.2	0.016	0.377	4.2	0.030	0.817	3.7	0.013	0.478	2.7
褐色 森林土	1	6.10	0.130	7.08	1.8	0.119	0.527	22.6	0.074	0.224	33.0	0.068	0.287	23.7
		7. 6	0.073	3.87	1.9	0.079	0.606	13.0	0.043	0.283	15.2	0.014	0.066	21.2
		12. 8	0.051	5.29	1.0	0.005	0.282	1.8	0.018	0.344	5.2	0.014	0.128	10.9
	2	6.10	0.330	17.6	1.9	0.122	0.567	21.5	0.133	0.461	28.9	0.127	0.387	32.8
		7. 6	0.078	7.46	1.1	0.058	0.609	9.5	0.071	0.364	19.5	0.045	0.211	21.3
		12. 8	0.124	8.64	1.4	0.011	0.387	2.8	0.031	0.368	8.4	0.045	0.198	22.7

a) PCNB 粉剤製剤量

b) 吸収率

表11 PCNB, PCA, PCTA および HCB の土壌中残留量(x)と
バレイショ塊茎中残留量(y)との回帰式

供試土壌	物質名	回 帰 式	相関係数
灰色低地土	PCNB	$\log y = -2.8794 + 1.0895 \log x$	0.977*
	PCA	$\log y = -1.2394 + 1.0776 \log x$	0.800
	PCTA	$\log y = -1.3493 + 1.6551 \log x$	0.916
	HCB	$\log y = -1.6064 + 0.8345 \log x$	0.966*
褐色森林土	PCNB	$\log y = -1.8987 + 1.0626 \log x$	0.990***
	PCA	$\log y = -0.3511 + 3.4589 \log x$	0.974***
	PCTA	$\log y = -0.5175 + 1.7131 \log x$	0.909***
	HCB	$\log y = -0.5984 + 1.0919 \log x$	0.982***

注) *: 5%の有意差, ***: 0.1%の有意差

掘取り時期と残留量の関係は、両土壌で通常の掘取り時期のものは早掘りに比較して全ての残留量が少なかった。なお、バレイショにおける PCNB の登録保留基準は0.1ppmであり、褐色森林土ではこの基準値を越える場合があった。

土壌中残留量は、1および2 kg/a の両処理量で PCA を除きいずれも灰色低地土の方が褐色森林土よりも多い傾向を示し、バレイショ塊茎中残留量の場合とは逆になった。

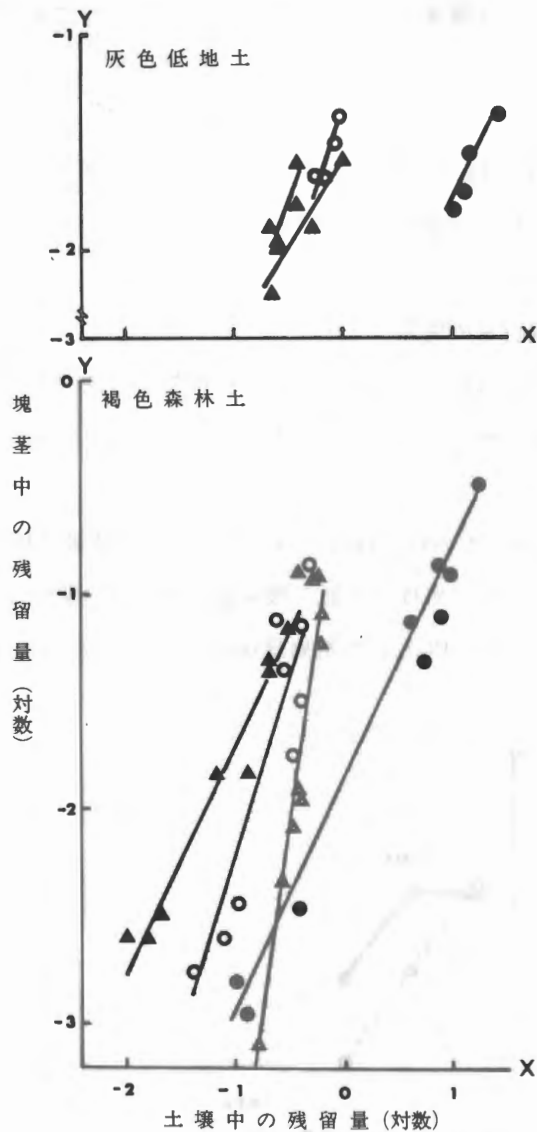


図7 PCNB, PCA, PCTA および HCB
の土壌中残留量とパレイショ塊茎
中残留量との関係
● : PCNB, △ : PCA
○ : PCTA, ▲ : HCB

PCNB, PCA, PCTA および HCB の春作での吸収率を比較すると、全て褐色森林土の方が灰色低地土よりも高かった。吸収率(平均)の高い順序は、褐色森林土では、HCB (22.8%) > PCTA (18.4%) > PCA (11.8%) > PCNB (1.5%) の順であった。これに対して灰色低地土では、PCA (5.3%) > PCTA (3.7%) > HCB (2.9%) > PCNB (0.2%) の順となり土壌によって異なった。

土壌中残留量とバレイショ塊茎中残留量の間には図7に示したように一定の関係がみられた。土壌中残留量を (x) とし、バレイショ塊茎中残留量を (y) として回帰式を求め表11に一括して示した。

褐色森林土では PCNB, PCA, PCTA および HCB で土壌中残留量とバレイショ塊茎中残留量との間に有意な相関が認められた。しかし、灰色低地土では PCNB と HCB のみに有意な相関がみられた。

4) 栽培法の違いと残留量の関係

シュンギクの栽培法には直播きする方法と苗を移植する方法がある。栽培法の違いと残留量の関係を灰色低地土で検討し表12の結果をえた。なお、処理量は現場の実情に合わせて 3 kg/a とした。

PCNB, PCA および HCB の移行残留がみられ、その残留量は移植区で多かった。

また、図8に示したように、処理後日数と残留量の減少との関係は、移植区では直播区に比較して減少が少なかった。PCNB 粉剤処理後63日目の吸収率は、移植区は直播区より

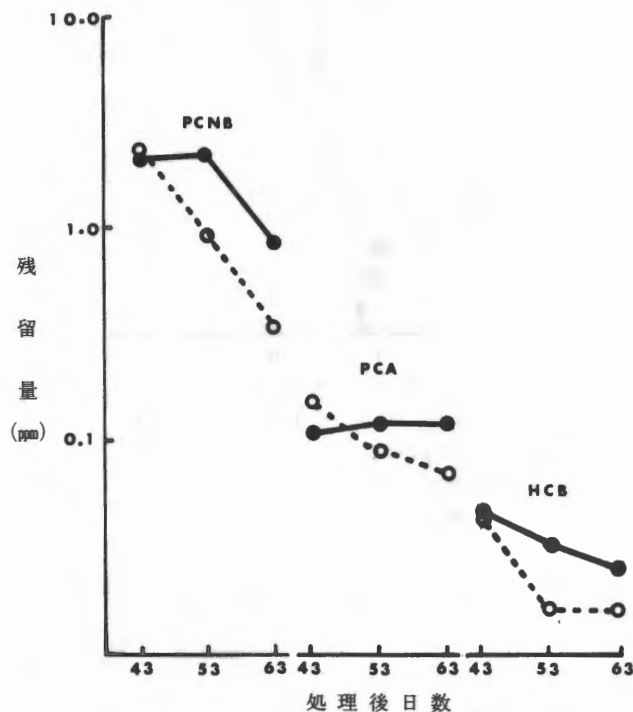


図8 シュンギクの栽培法の違いと収穫時期別の PCNB, PCA, PCTA および HCB 残留量

●：移植栽培，○：直播栽培

表12 シュンギクの栽培法の違いと PCNB, PCA, PCTA および HCB の残留量 (ppm)

処理量 ^{a)} (kg/a)	栽培法	PCNB			PCA			PCTA			HCB		
		作物体 (A)	土壌 (B)	A/B ^{b)} (%)	作物体 (A)	土壌 (B)	A/B (%)	作物体 (A)	土壌 (B)	A/B (%)	作物体 (A)	土壌 (B)	A/B (%)
3	直播区	0.345	50.0	0.7	0.068	0.347	19.6	<0.001	0.324		0.016	1.76	0.9
3	移植区	0.856	50.0	1.7	0.133	0.347	38.3	<0.001	0.324		0.025	1.76	1.4

a) PCNB 粉剤製剤量

b) 吸収率

表13 バレイショ、シュンギク、ヒロシマナおよび土壌中における PCNB, PCA, PCTA および HCB の残留量 (ppm)

供試 土壌	処理量 ^{a)} (kg/a)	作物名	PCNB			PCA			PCTA			HCB		
			作物体 (A)	土壌 (B)	A/B ^{b)} (%)	作物体 (A)	土壌 (B)	A/B (%)	作物体 (A)	土壌 (B)	A/B (%)	作物体 (A)	土壌 (B)	A/B (%)
灰色 低地土	3	ヒロシマナ	0.015	44.4	0.03	0.006	0.849	0.7	0.014	0.980	1.4	<0.001	0.174	
	3	シュンギク	4.20	18.6	22.6	0.080	0.692	11.6	0.047	0.812	5.8	0.013	0.083	15.7
褐色 森林土	3	バレイショ	0.123	32.8	0.4	0.027	0.819	3.3	0.031	0.451	6.9	0.014	0.093	15.1
	3	シュンギク	20.4	28.8	70.8	1.15	0.818	140.6	0.394	0.649	60.7	0.093	0.073	127.4

a) PCNB 粉剤製剤量

b) 吸収率

PCNB で2.4倍, PCA で2倍, HCB で1.6倍高かった(表12)。またシュンギクは, PCNB の残留量が多く, 登録保留基準の0.08ppmを著しく越えた。

5) 前作および後作への吸収移行

PCNB 粉剤の土壌処理後, そこに栽培される作物への移行残留性を前作, 後作の2作にわたって調査した結果を表13に示した。

前作に灰色低地土ではヒロシマナを, 褐色森林土ではバレイショを作付けし, 後作は両土壌ともシュンギクを栽培した。

前作への PCNB, PCA, PCTA および HCB の残留量は, 灰色低地土のヒロシマナでは褐色森林土のバレイショ塊茎に比較して各化合物とも少なく, HCB は検出限界以下であった。また, これら化合物の吸収率は, ヒロシマナではバレイショ塊茎のそれよりも低かった。

後作のシュンギクでのこれら化合物の残留量は, 褐色森林土の場合には灰色低地土の場合に比較して5~14倍も多く, 吸収率も褐色森林土では著しく高かった。

3. 考 察

(1) ドリン剤の土壌残留と作物への吸収移行

ドリン剤のキュウリ果実への吸収移行性に関しては、米国では LICHENSTEIN ら^{62,63,73,74)}による検討があった。しかし、我国では永井⁸⁹⁾の報告があるものの、エンドリンについての記載はなかった。また、ドリン剤のキュウリやパレイショでの生育・収穫時期別や作期別の残留量については検討例が見当たらなかった。

本検討では、まずキュウリ果実の収穫時期別のドリン剤（アルドリン、ディルドリンおよびエンドリン）の残留量について検討し、いずれも収穫盛期よりも収穫始めの方が多いことを示した。その後、奴田原¹¹¹⁾も同様な傾向を報告している。この原因はキュウリ作物体の生長あるいは着果量の増加等による吸収薬剤の希釈による濃度低下であると考えてよい。

次に、作物中残留量には栽培時期の気象条件が影響すると考えられたので、作期と残留量の関係を検討した。第1作に比較して、第2作目になると各化合物とも残留量が減少した。筆者の報告後に、山田¹⁴³⁾はキュウリの春夏作と夏秋作の栽培時期の違いによるドリン剤の残留量を比較し筆者と同様の結果を報告した。彼らは、春夏作で多かった原因は、カボチャ接木台木苗を用いたことによる吸収能の増大のためとしている。しかし、本検討ではそのような要因はなく、土壌中残留量の減少に伴って、キュウリ果実における残留量も減少したと思われ、土壌中の農薬残留量が作物中への移行残留量を左右することを示している。換言すれば、土壌中残留量を減少させることで作物中残留量を減少させる可能性が示唆される。なお、本検討における1作目のキュウリ果実中のドリン剤残留量は、永井⁸⁹⁾および LICHENSTEIN ら⁷⁴⁾の報告とほぼ一致し、妥当なものと思われた。

パレイショ塊茎中のアルドリンとディルドリンの生育時期別残留量は、塊茎肥大初期が多く、その後肥大が進むにしたがって減少した。この原因も、キュウリ果実の場合と同様に、塊茎肥大による濃度低下と思われる。しかし、掘取適期に、一時的に残留量が多くなった。吉崎^{156,157)}は、春作パレイショの養分吸収量が生育後期に一時的に多くなることを報告している。この原因としては、この時期に根の吸収力が高まって吸収移行量が増大したためと考えられる。着蕾期から最終掘取時までのアルドリンとディルドリンの合計値の平均残留量は、LICHENSTEIN ら⁷⁴⁾および HARRIS ら³⁰⁾の報告の概ね2倍であった。この残留量の違いは供試土壌や耕種条件、さらに気象条件の違い^{33,68,71)}に起因すると思われる。また、パレイショの器官別残留量は、根部>塊茎>茎葉の順に多かった。根部で残留量が

多い傾向は、筆者の報告後に山本ら¹⁴⁷⁾がバレイショ、奴田原ら¹¹¹⁾がキュウリ、そして前野ら⁷⁷⁾がトマトとスイカでそれぞれ報告している。アルドリンやディルドリンのように、吸収後の浸透移行性の小さい有機塩素剤では、薬剤の施用場所に近い器官程多く残留するものと思われる。

土壌中のアルドリンとディルドリン残留量とカブ、メロンおよびホウレンソウへの吸収移行量との間に相関関係のあることは既に報告されていた^{52,81,89)}。本検討では、さらにアルドリンとディルドリンの合計値およびエンドリンについて土壌中残留量とキュウリ果実中残留量の対数の間に直線回帰式がえられることを明らかにした。エンドリンでは有意な回帰式ではなかったが、これは土壌中残留量およびキュウリ果実中残留量の高濃度でのデータ不足のためと思われる。このような回帰式により、土壌中の農薬残留量から作物残留量の推定が可能となる。筆者の報告後にも堀田ら⁴¹⁾が、シュンギクやミズナなどについて同様の回帰式を求めている。現在使用されている土壌施用農薬についても、このようなデータの蓄積により、今後土壌汚染問題が生じた場合の安全な農作物栽培を指導するときの判断資料として利用できよう。

また、作物が土壌中の農薬をどの程度吸収するか、即ち、吸収率を明らかにしておくことも、農薬の作物への吸収移行量を推定するうえで参考になる。本検討では収穫時の作物中残留量を収穫時の土壌中残留量で除す方法⁵²⁾で示した。キュウリのドリリン剤吸収率は他作物に比べ高いとされているが^{91,147)}、本検討ではアルドリンとディルドリンの合計値で第1作で2～4%、第2作で1～2%の範囲で、最高でも4%であった。これらの値はLICHENSTEINら⁷³⁾の4.8～7.9%のほぼ1/2かそれ以下であり、山本ら¹⁴⁷⁾の19%、奴田原ら¹¹¹⁾の30%に比較すると著しく低かった。エンドリンの場合は、第1作で2～12%、第2作で1～10%の範囲で比較的高い吸収率であったが、丸ら⁷⁹⁾の14.7～45.9%、山田ら¹⁴³⁾の42%に比較すればはるかに低く、HARRISら³⁰⁾の0.2%よりは高かった。次に、バレイショにおけるアルドリンとディルドリンの吸収率は、アルドリンが0.4%、ディルドリンが6.6%、合計値で6.9%であった。この値は町村ら⁷⁶⁾のアルドリンの10.5%、ディルドリンの12.1%の報告よりも低く、LICHENSTEINら⁷⁴⁾の合計値として5.1～6.6%、五島ら¹⁶⁾のディルドリンの吸収率3.7%に近かった。このような吸収率の違いは、本検討がほ場試験であるのに対して、HARRISら³⁰⁾、LICHENSTEINら^{73,74)}および五島ら¹⁶⁾の場合以外は、何れも有底ポットを用いた小規模の容器内試験であったことによる試験条件の違いや、供試土壌、供試作物品種、薬剤施用量および施用方法などの耕種条件、さらに気象条件などの違いも影響していると思われる^{33,68,69,71)}。したがって、吸収率はあまり厳密に考えずに、作物間にお

ける農薬吸収の差異を知る一つの目安として利用すべきであろう。

川原⁵²⁾は、カブ中でもアルドリンがディルドリンに変化することを報告しているが、本検討のバレイショでもディルドリン化がみられた。しかし、アルドリンとディルドリンの比率は器官によって異なった。茎葉部では、萌芽期から掘取期までの間は1:10のほぼ同じ比率であった。塊茎では、着蕾期に1:2のものが、その後は1:17とディルドリン比率が急増した。根部の場合には、着蕾期には1:1のものが、その後は2:5と若干ディルドリン比率が増加したが、器官のなかではディルドリン化が一番少なかった。このようにアルドリンとディルドリンの比率が器官や生育時期によって異なる原因は次のように考えられる。茎葉でディルドリン比率が高いのは、根から吸収されたアルドリンが茎葉中で代謝(酸化)されてディルドリンに変化した結果であり、また、塊茎で肥大初期よりディルドリン比率が高くなるのは茎葉からの養分転流とともに茎葉部ディルドリンが塊茎に移行し蓄積したためであると考えられる。一方、根部のディルドリン比率が低いのは、絶えず水分、養分の吸収を行っているために、土壌中のアルドリンとディルドリンの濃度変化を直接反映した比率になっているためと考えられる。

(2) PCNB とその代謝物および HCB の土壌、作物における残留

土壌中の農薬の残留消長には、土性だけでなく気象条件や耕種条件も大きく影響してくる。ここでは、PCNB をとり上げ、その代謝物の PCA と PCTA および不純物の HCB も含めて、土壌の理化学性のほかに、気象条件や耕種条件の異なる因島ほ場(褐色森林土)と農試ほ場(灰色低地土)での残留消長を比較した。PCNB と HCB は、処理後3か月の比較的短期間での半減期でみた場合は、褐色森林土では灰色低地土に比較して消失が速かった。試験期間中の気象条件は、平均気温は両土壌でほぼ同じで大差なかった。しかし、降雨量は灰色低地土では褐色森林土よりも多く、消失が速くなる条件⁹⁾であったにもかかわらず、逆に遅くなった。その原因としては、土壌中の粘土含量や腐植含量(表4)が多いと消失が遅延することが既に知られており^{7,10,19,64,71,75)}、この場合も灰色低地土のこれら含量が褐色森林土の2~3倍多いことが関係していると考えられる。

次に PCA と PCTA の残留消長についてみると、褐色森林土では両者の生成が PCNB 粉剤処理直後から顕著に認められたのに対して、灰色低地土では生成が遅れとくに PCA でそれが目立った。PCA と PCTA は PCNB の微生物代謝によって生成され^{58,59,95,96,97)}、両土壌での生成速度の差は、土壌微生物相の違いに起因していると考えられる。即ち、灰色低地土では初めての PCNB 粉剤の使用であったが、褐色森林土では10年以上も前から連用されており、土壌中の PCNB 代謝微生物の集積度が高く、処理直後から PCA と PCTA

の生成が始まったとみることができる。

バレイショの作期と土壤中の残留消長の関係は、PCNB、HCBとも春作よりも秋作で消失が速かった。土壤中農薬の蒸散と揮散に關与する作付期間中の気象条件は、平均気温と地温は、春作では作期前半の3～4月が低いのに対し、秋作では作期前半の9～10月が高く、一方、降雨量は春作より秋作の方が少なかった。一般的に農薬の土壤中からの消失は、温度が高く土壤水分が多いと速くなるとされているが^{29,71)}、この場合には温度の方が土壤水分よりも大きく影響し、作期前半の気温と地温の高かった秋作で消失が早くなったと思われる。一方、PCNBからPCAとPCTAへの変化は、雨量の多い春作でPCNB粉剤処理直後から急激に増加する現象がみられ、これらの変化は土壤水分の多い嫌氣的条件下で促進されるというKoら⁵⁹⁾およびMURTHYら⁸⁸⁾の報告と一致した。土壤中での農薬の残留消長には、土性以外に気象条件の影響を重視する必要がある。

PCNBの土壤中残留について、WANGら¹⁴¹⁾は、その半減期は4.7～9.7か月であったとし、岡崎¹¹⁷⁾は、ハクサイの栽培ほ場試験で処理1年後でも高濃度のPCNBが残留したと報告しており、その土壤中残留は相当長期に及ぶことが予想された。しかし、WANGら¹⁴¹⁾の報告は容器内試験の結果であり、岡崎¹¹⁷⁾の調査期間は12か月と短く、またHCBの残留消長が調査されていなかった。短期間の調査では気象や耕種条件の影響が大きく、本来の残留動向が把握できないと考えられたので、本検討では処理後38か月に亘って追跡調査を行ってみた。PCNBとHCBの残留消長はほぼ同傾向で、既に知られている¹⁰⁴⁾二段階の減衰パターンを示したが、HCBの残留量はPCNBの2～7%の範囲であった。消失パターンは、処理後7か月までの速い消失と、その後の比較的緩慢な消失とに分かれた。それぞれの半減期を7か月後までとそれ以降とに分けてみると、PCNBでは38日と192日、HCBでは35日と262日となった。これらの値は、WANGら¹⁴¹⁾の報告や、筆者の報告後に示された丸ら⁷⁸⁾、西村ら¹⁰¹⁾の値と比較して、多少の長短はあるものの概ね一致し、PCNBとHCBは低濃度域になった後の残留期間の長い化合物であると判断される。また、PCAとPCTAの残留消長は処理後6か月前後までは増加し、その後は穏やかに減少するパターンとなった。最高濃度に達した後の半減期は14～19か月で、上述のPCNBやHCB以上に長期間に亘って土壤中に残留すると考えられる。

土壤処理した農薬の垂直分布の実態を把握しておくことは、土壤病虫害の効果的防除のためだけでなく、地下浸透による環境汚染防止の観点からも重要であるが、PCNBについての報告は皆無であった。本検討ではPCNB粉剤の土壤処理法は、土壤表面に均一散布後、鍬で土壤中に混入する方法をとった。その結果、1か月後には0～5 cm層にはPCNB

と HCB の90%以上が残留していた。これに対して、PCA と PCTA は0～5 cm層には40%の残留であり、5～25cm層まで移行していた。農薬の土壌中での移動や作物体への吸収移行には農薬の水溶解度が影響する⁶⁴⁾。筆者の測定した PCNB、PCA および PCTA の水溶解度(20℃)は、それぞれ0.4、1.5および0.3ppmであった。PCTA は PCNB 並であり、PCA の溶解度は PCNB の概ね4倍であったが、溶解度そのものは低かった。したがって、水溶性増大による PCA と PCTA の下層移動は考え難く、この原因についてはさらに検討を要する。しかし、バレイショの掘取りや耕耘等の人為的な土壌攪拌を行った7か月後から38か月後にかけて、0～25cmの間に殆ど全ての化合物が存在する比較的均質な分布状態が維持された。その後、須田ら¹²²⁾も PCNB の土壌中垂直分布は耕耘の深さと関係があると報告している。PCNB の土壌中での下層への移動は、他の有機塩素系農薬についての報告^{9,16,53,61,66,67)}と同様に、雨水による下層への溶脱は殆どなく、耕耘等による機械的攪拌による拡散であると考えられる。

バレイショ塊茎中の PCNB の残留量は登録保留基準(0.1ppm)を越える場合があった。安全な農作物生産のうえからも本剤の使用に当たっては安全使用基準の遵守などの注意が必要と思われる。なお、GORBACH ら¹⁵⁾の報告した残留量は本検討の10倍以上であった。ただしこの場合は皮層部についての分析結果であり、直接比較には問題があろう。

次に、土壌中の PCNB、PCA、PCTA および HCB 残留量とバレイショ塊茎中残留量との関係を検討し、一定の関係式がえられることを明らかにした。また、土壌中の腐植および粘土含量の低い褐色森林土では、土壌中残留量は少ないが塊茎中残留量は多く、吸収率も灰色低地土よりも2～7倍高かった。これは、主として土壌中粘土と腐植含量が支配する化合物の土壌吸着性の違い^{7,10,30,62,64,75)}が影響したと思われる。各化合物のバレイショ塊茎への吸収率は、PCNB では、灰色低地土と褐色森林土で、それぞれ平均0.2%と1.5%であり、差はあるが吸収移行性は小さいと見てよい。その後、丸ら⁷⁸⁾、西村ら¹⁰¹⁾、須田ら¹²²⁾も同様の報告を行っている。これに対して代謝物の PCA および PCTA の吸収率は、それぞれ平均5.3%と11.9%および3.7%と18.4%で、PCNB よりも高かった。PCNB は植物中でも代謝されて PCA と PCTA を生成するという報告がある¹⁴⁵⁾。この場合も前述の水溶解度による吸収移行量の増大は考え難く、バレイショ塊茎中での PCNB の PCA と PCTA への代謝の可能性が考えられる結果となった。また、HCB の吸収率は、灰色低地土、褐色森林土とも PCA や PCTA と概ね同程度で、PCNB より吸収されやすい化合物であった。

シュンギクにおける PCNB、PCA および HCB の残留量はバレイショの場合に比較す

ると多く、シュンギクはこれらを吸収しやすい作物であった。一方 PCTA は、土壤中には残留しているがシュンギクには全く吸収移行が認められず、その原因は明らかでない。次に、栽培法の違いと吸収率の関係についてみると、移植栽培では PCNB、PCA および HCB で直播栽培に比べてそれぞれ約2.4倍、2倍および1.5倍吸収率が高くなった。この原因は、移植栽培では別の場所で管理し生育の揃った苗を定植するため根群の発達がよく、根からの吸収量が多くなり、しかもその傾向が生育後期まで維持された結果と考えてよい。また、PCA の吸収率は、直播栽培で19.6%、移植栽培では38.3%と異常に高かった。これは PCA が吸収され易いのか、或はバレイショ塊茎でみられたようにシュンギク作物体中で PCNB が PCA へ特異的に代謝されたのかのどちらかであろう。

後作への吸収残留の影響をみた試験では、前作（1作目）のバレイショとヒロシマナにおける残留量は少なかったものの、後作（2作目）のシュンギクでの残留量は多く、特に PCNB では直播栽培や移植栽培の場合（表12）に比較しても10倍以上であった。ただし、この場合のシュンギクは、は種あるいは移植直後にビニールトンネル被覆で栽培した。PCNB は比較的蒸気圧が高く¹³⁰⁾、土壤中からの吸収の他に、土壤表面から揮散する^{118,145)} こと、また、葉面上でこれら化合物は凝結⁷⁾ することが知られており、PCNB の蒸気がビニールトンネル内にこもり葉面上での化合物凝結、または気孔からの侵入等によって異常な残留量になったと考えられる。小木曾ら¹¹⁵⁾ もフキをビニールハウス内で栽培した場合、葉身部分での PCNB の残留が多かったと報告している。したがって、PCNB 粉剤を処理したほ場では、後作の作物の選定や栽培法について配慮する必要があることが示された。また、灰色低地土と褐色森林土におけるシュンギクの PCNB、PCA、PCTA および HCB の吸収率は、バレイショの場合と同様に褐色森林土で高く、土壤中の腐植や粘土含量の違いが影響していると思われた。また、ヒロシマナへの PCNB、PCA および PCTA の吸収移行量は、同じ葉菜類であるシュンギクの場合に比べて著しく少なく、HCB では検出限界以下であった。その後、丸ら⁷⁸⁾ も葉菜類の中ではシュンギクに比較して地上部の大きなレタス、キャベツおよびハクサイではこれら化合物の吸収率が低いと報告しており、ヒロシマナのように地上部が大きく生長する作物では、希釈による濃度低下が大きいと考えてよからう。

第2節 有機塩素系農薬および有機リン系農薬の作物吸収移行量の軽減対策

前節の結果から、有機塩素系農薬のアルドリノとディルドリン、エンドリン並びに PCNB 剤は土壤中に長期間残留し、そこに栽培される農作物に吸収移行しやすく、PCNB は登録保留基準を越える場合もみられ、食品衛生上問題があると思われた。

土壤中に残留する DDT やドリノ剤の作物への吸収抑制に関しては、既に、THURSTON¹²⁹⁾ や LICHENSTEIN ら⁶⁵⁾ の活性炭処理、町村ら⁷⁶⁾ の堆肥施用の効果についての報告があった。本報告ではこれらの有機塩素系農薬の他に、近年土壤施用農薬としての使用量が増えつつある有機リン系殺虫剤も対象として、これら農薬の土壤残留に起因する農作物汚染の軽減を図る目的で活性炭の土壤処理による吸収抑制効果と活性炭の効率的な使用方法について一連の試験を実施した。さらに、活性炭処理と比較するために堆肥の施用や土壤の耕耘処理効果についても検討した。また、土壤の活性炭処理は農薬の農作物への吸収移行を抑制する反面、土壤施用される殺虫剤、除草剤を吸着し殺虫効果や除草効果を低下させることが懸念されるが⁶⁵⁾、この点に関しての検討は未だ行われていなかった。このため、活性炭処理による有機リン系殺虫剤と除草剤の効果発現に及ぼす影響についても検討した²⁸⁾。

1. 実験材料および方法

(1) 土壤中農薬の作物による吸収抑制試験

1) 試験場所および供試ほ場土壤の物理化学性

農試ほ場で行った。また、供試ほ場土壤の物理化学性は表3に示した。

2) 処理方法および分析試料の調製

バレイショ、キュウリおよびニンジンを対象作物としてアルドリノとディルドリンの、またダイコンを対象作物として有機リン系殺虫剤の吸収に対する抑制対策について検討した。活性炭はプロコールB（粉末、太平化学産業製）を用いた。

バレイショ：1971年は、3月25日にアルドリノ粉剤（4%）0.6kg/aを均一に散布後耕耘し、春作バレイショを栽培した跡地に、活性炭区（2kg/a全面処理後耕耘、8月26日処理）、堆肥区（0.2t/a、8月26日処理）、耕耘区（8月13日、8月19日の2回耕耘）および無処理区を設け、バレイショ（品種：農林1号）を8月26日に植付けた。試験区面積は16m²とし、肥培管理は慣行法によった。分析試料の採取時期は11月11日とし、土壤は風乾

後分析に供した。

1972年は、前年の秋作と同じ処理区に春作バレイショ（品種：男爵薯）を3月28日に植付けた。ただし、耕耘区は5月2日、6日、11日、16日に耕耘した。肥培管理は慣行法によった。分析試料の採取時期は7月10日とし、土壌は7月4日に採取し風乾後分析に供した。

キュウリ：1973年5月9日にアルドリリン粉剤2kg/aを均一に散布後耕耘し、活性炭区（2kg/a全面処理後耕耘、5月9日処理）、堆肥区（0.2t/a、5月9日処理）、耕耘区（5月11日、15日、21日、22日、23日、24日の6回耕耘）と、この耕耘区に活性炭区と堆肥区を組合わせた区および無処理区を設け、キュウリ（品種：F₁ 近成山東）を5月24日には種した。試験区面積は5㎡とし肥培管理は慣行法によった。分析試料の採取は7月18日とした。

さらに、活性炭の処理量と処理方法について検討するため、1973年5月19日にアルドリリン粉剤2kg/aを均一に散布後耕耘し、活性炭1および2kg/aの全面処理区および植溝処理区（いずれも5月19日処理）を設けた。キュウリ（品種：F₁ 近成山東）は5月21日には種した。試験区面積は5㎡とし肥培管理は慣行法によった。分析試料の採取は7月12日とした。

ニンジン：1972年5月25日にアルドリリン粉剤0.6kg/aを均一に散布後耕耘し、活性炭1および2kg/a区（いずれも5月25日全面処理）、無処理区を設け、ニンジン（品種：向陽5寸人参）を5月27日には種した。試験区面積は15㎡とし、肥培管理は慣行法によった。分析試料の採取は9月4日とし、土壌は採取後風乾し分析に供した。

ダイコン：1974年9月3日にエチルチオメトン粒剤（5%）区、イソチオエート粒剤（5%）区、アセフェート粒剤（5%）区、CVP粉剤（1.5%）区および無処理区と、さらに、それぞれに対する活性炭区を設けた。供試薬剤および活性炭の処理量はそれぞれ、0.3kg/aと2kg/aとし、まき溝処理して土壌とよく混和した。ダイコン（品種：青首宮重）は薬

表14 分析試料の採取時期

農 薬 名	葉 (間引菜)	大根 (根部)	土 壌		
			第 1 回目	第 2 回目	第 3 回目
エチルチオメトン	'74/10/2	'74/11/ 7	'74/11/18	'75/1/16	'75/3/ 4
イソチオエート	9/30	11/ 6	11/13	1/10	3/ 4
アセフェート	10/ 1	11/ 8	11/16	1/ 9	3/ 8
CVP	9/30	11/ 5	11/13	1/12	3/ 3

剤と活性炭処理直後には種した。肥培管理は慣行法によった。1区面積は7㎡とし3区制、乱塊法により配置した。分析試料の採取時期は表14のとおりとし、土壌は生土のまま分析に供した。

3) 抽出精製

アルドリン、ディルドリン：前節の方法に準じて行った。回収率(0.1ppm添加)はバレイショでアルドリン84.2%、ディルドリン76.8%、キュウリおよびニンジンで、それぞれ96.4%と87.5%、110.1%と116.0%であった。

エチルチオメトン：ダイコンは均質化試料50gにアセトン100mlを加えホモジナイザーで5分間抽出後濾過した。残渣をアセトン100mlで洗浄し濾液と合わせ、これを約50mlまで減圧濃縮し、500mlの分液ロートに移した。これに4%食塩水250mlを加えて混合した後にジクロロメタン50mlで3回抽出を行った。ジクロロメタン層を集めて脱水し2~3mlまで減圧濃縮した後、通風下で溶媒を留去し残渣をアセトン4mlに溶解した。そのうち2mlをエチルチオメトン(P=SS体)測定用試験溶液とした。残りの2mlには20%硫酸マグネシウム液5ml、0.5N過マンガン酸カリウム液20mlを加え30分間放置した後、ジクロロメタン20mlで3回抽出を行った。以下は、前記要領でアセトンに溶解し、エチルチオメトン酸化代謝物のP=SSO₂体およびP=OSO₂体の測定用試験溶液とした。土壌は生土100gにアセトン150mlを加え1時間横型振とう機で振とう抽出した。以下の操作はダイコンの方法に準じて行った。

イソチオエート：ダイコンは均質化試料50gにアセトン150mlを加えホモジナイザーで10分間抽出後濾過した。残渣をアセトン50mlで洗浄し濾液を500mlの分液ロートに移した。これに5%食塩水150mlを加えて混合した後、石油エーテル150mlで2回抽出を行った。石油エーテル層を集めて脱水し、約2mlまで減圧濃縮した液をダルコG-60：アビセル(1:9)5g、無水硫酸ナトリウム2gをつめたガラスクロマト管に移し、アセトン150mlを用いて溶出した。溶出液を減圧濃縮して溶媒を留去した後、*n*-ヘキサンに溶解し試験溶液とした。土壌は生土100gにアセトン150mlを加え1時間横型振とう機で振とう抽出した。以下の操作はダイコンの方法に準じて行った。ただしクリーンアップは省略した。

アセフェート：ダイコンは均質化試料50gに酢酸エチル200mlを加え1晩放置した。これに無水硫酸ナトリウム150gを加えホモジナイザーで5分間抽出後濾過した。濾液を減圧濃縮し溶媒を留去後、アセトンに溶解し試験溶液とした。土壌は生土50gに酢酸エチル200mlを加え1時間横型振とう機で振とう抽出した。以下の操作はダイコンの方法に準じて行った。

CVP：ダイコンは均質化試料50 gにアセトン200mlを加えホモジナイザーで5分間抽出後濾過した。残渣をアセトン100mlで洗浄し濾液と合わせこれを約50mlまで減圧濃縮し1ℓの分液ロートに移した。これに飽和食塩水50mlと水250mlを加えて混合した後、*n*-ヘキサン100mlで3回抽出を行った。*n*-ヘキサン層を集めて脱水し約2～3 mlまで減圧濃縮した後、通風下で溶媒を留去し残渣をアセトンに溶解し試験溶液とした。土壌は生土100 gにアセトン200 mlを加え1時間横型振とう機で振とう抽出した。以下の操作はダイコンの方法に準じて行った。

表15 ガスクロマトグラフィー分析カラム充填剤および薬剤の回収率

薬 剤	固定相液体	担 体	葉部(間引葉)		根部(大根)		土 壌	
			添加 濃度 (ppm)	回収率 (%)	添加 濃度 (ppm)	回収率 (%)	添加 濃度 (ppm)	回収率 (%)
エチルチオメトン(P=SS)	10%DC-200	ガスクロムQ, 80~100メッシュ	1.0	127.4	1.0	80.6	1.0	71.9
〃 P=SSO ₂ 体	〃	〃	1.0	69.1	1.0	82.0	1.0	101.5
〃 P=OSO ₂ 体	〃	〃	1.0	87.2	1.0	100.8	1.0	114.7
イソチオエート	〃	〃	0.2	67.5	0.2	72.5	0.5	88.7
アセフェート	2%Reoplex400	〃	1.0	73.0	1.0	72.9	1.0	71.3
CVP	α体 2%PEGA	クロモゾルプW,AW,60~80メッシュ	0.2	94.5	0.2	88.0	1.0	80.0
〃	β体 〃	〃	0.2	96.5	0.2	91.0	1.0	75.6

以上の抽出精製による回収率は一括して表15に示した。

4) ガスクロマトグラフィー条件

アルドリン、ディルドリンの分析は前節の条件に準じた。有機リン系殺虫剤の分析には島津製作所製 FPD 付 GC-4 BMIF を使用した。カラムは内径3 mm、長さ1.5 mのガラス製を用い、充填剤は表15のとおりとした。温度は試料気化室230、カラムオープン190、検出器250℃とし、感度 Range 2, Sensitivity 10, キャリヤーガス (N₂) 50ml/min, 空気60, H₂ 200ml/min とした。

(2) 有機リン系殺虫剤の効果発現に及ぼす試験

ダイコンのアブラムシ類を対象害虫として、前記(1)の各試験区の20株のダイコン葉の寄生アブラムシ数を1974年9月10日、11日、13日、17日、20日、27日、10月4日、11日の8回調査した。ただし、9月20日までは全葉について、9月27日以降は上位、中位、下位葉各1葉当たりの虫数を調査した。

(3) 除草剤の効果発現に及ぼす試験

1) 供試薬剤および処理量

農試ほ場において、代表的な畑地除草剤であるトリフルラリン乳剤(44.5%)20ml/a区、ジフェナミド水和剤(80%)30g/a区、CAT水和剤(50%)10g/a区、NIP乳剤(25%)80ml/a区、リニュロン水和剤(50%)10g/a区およびベンチオカーブ乳剤(50%)80ml/a区と無処理区を設け、さらにそれぞれに対する活性炭処理区を設けた。薬剤処理は1973年5月4日に行い、薬剤の散布液量は10ℓ/aとし杓型噴霧器で区全体に均一に散布した。活性炭処理区は活性炭を2kg/aの割合で土壌表面に均一に散布し鍬で土壌とよく混和後に薬剤処理した。試験区面積は2㎡とし3区制、乱塊法により配置した。

2) 除草効果の調査時期および方法

第1回調査は6月5日(無処理区が手取除草の適期)に、第2回調査は7月3日(無処理区が手取除草の適期)にそれぞれ、そ菜関係除草剤試験実施基準(昭和40年3月、財団法人日本植物調節剤研究協会)に基づいて行った。

2. 結 果

(1) 活性炭処理による農薬の作物移行抑制効果

バレイショ、キュウリおよびニンジンによるアルドリノとディルドリンの吸収抑制を目的として、土壌の活性炭処理、堆肥施用処理および耕耘処理をした場合のそれぞれの効果について比較した。

バレイショでの結果を表16に示した。活性炭処理区の塊茎中残留量は、1971年秋作(以下秋作)ではアルドリノとディルドリンの合計値で無処理区の73%であったが、1972年春作(以下春作)では31%に減少した。堆肥施用処理区は秋作では無処理区と差がなかったが、春作では無処理区の50%の残留量であった。また、耕耘処理区では秋作、春作とも無処理区と変わらなかった。

キュウリでは活性炭処理、堆肥施用処理および耕耘処理と、これらを組合わせた相乗効果について検討した(表17)。この場合は、耕耘処理と活性炭+耕耘処理が最も吸収抑制効果が高く、アルドリノとディルドリンの合計値で無処理区の25%の残留量となった。堆肥施用区では無処理区の65%の残留量であった。また、単独処理では耕耘区の効果が顕著であった。

キュウリでは活性炭の処理量と処理方法についても検討し表18の結果をえた。処理量と残留量の関係は、活性炭の1kg/a処理と2kg/a処理では後者の方が残留量が少なく無処

表16 アルドリンとディルドリンの土壌およびパレイショ塊茎中の残留量(ppm)

処理	1971 (秋作)				1972 (春作)			
	アルドリン		ディルドリン		アルドリン		ディルドリン	
	土壌	塊茎	土壌	塊茎	土壌	塊茎	土壌	塊茎
活性炭	0.044	0.001	0.215	0.010	0.011	N.D. ^{a)}	0.095	0.005
堆肥	0.033	0.001	0.245	0.015	0.008	N.D.	0.138	0.008
耕耘	0.034	0.004	0.269	0.013	0.018	N.D.	0.160	0.014
無処理	0.039	0.001	0.331	0.014	0.009	N.D.	0.145	0.016

^{a)} Not detected, <0.001

表17 キュウリにおける活性炭、堆肥、耕耘処理によるアルドリンとディルドリンの吸収量抑制効果(ppm)

農薬名	活性炭 堆肥 耕耘	活性炭 堆肥	活性炭 耕耘	活性炭	堆肥 耕耘	堆肥	耕耘	無処理
アルドリン	0.007	0.007	0.006	0.008	0.007	0.007	0.006	0.012
ディルドリン	0.024	0.019	0.012	0.025	0.017	0.039	0.011	0.059

表18 キュウリ、ニンジンにおける活性炭処理と処理方法によるアルドリンとディルドリンの吸収量抑制効果(ppm)

処理量・処理方法		キュウリ		ニンジン			
		アルドリン	ディルドリン	アルドリン		ディルドリン	
				土壌	根部	土壌	根部
2kg/a	溝処理	0.002	0.016				
	全面処理	0.002	0.020	0.330	0.012	0.223	0.040
1kg/a	溝処理	0.004	0.018				
	全面処理	0.005	0.029	0.643	0.040	0.290	0.051
無処理		0.003	0.023	0.571	0.066	0.485	0.097

理区の70%となった。処理方法については両処理量とも全面処理よりも植溝処理の方が吸収抑制効果が高かった。

ニンジンでの活性炭の処理量と残留量の関係は表18のとおりであった。活性炭処理区の残留量が少なく、アルドリンとディルドリンの合計値は2kg/a処理、1kg/a処理でそれぞれ無処理区の30%、55%の残留量であった。

ダイコンでは、土壌施用される有機リン系殺虫剤のエチルチオメン、イソチオエート、

表19 活性炭処理とダイコンおよび土壌中の有機リン系薬剤残留量 (ppm)

薬剤および処理	葉部 (間引菜)	根部 (大根)	土 壌		
			第 1 回目	第 2 回目	第 3 回目
エチルチオメトン (P=SS)	<0.003	<0.002	0.007	0.107	0.189
〃 P=SSO ₂ 体	0.082	<0.008	1.18	1.07	0.981
〃 P=OSO ₂ 体	0.037	<0.016	0.067	0.051	0.044
エチルチオメトン・活性炭 (P=SS)	<0.003	<0.002	0.062	0.202	0.338
〃 P=SSO ₂ 体	0.026	<0.011	2.92	1.77	2.11
〃 P=OSO ₂ 体	0.018	<0.016	0.214	0.094	0.132
イソチオエート	<0.005	<0.005	0.009	0.008	0.007
イソチオエート・活性炭	<0.005	<0.005	0.449	0.437	0.221
アセフェート	0.03	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
アセフェート・活性炭	<0.02	<0.02	0.07	0.03	0.03
CVP α 体	<0.01	<0.01	0.06	0.03	0.03
〃 β 体	<0.01	<0.01	0.23	0.22	0.21
CVP・活性炭 α 体	<0.01	<0.01	0.07	0.07	0.05
〃 β 体	<0.01	<0.01	0.49	0.50	0.32

アセフェートおよび CVP について検討し、表19の結果をえた。

エチルチオメンは、土壌中と作物体中で酸化代謝物を生成するので、本試験では P=OSO₂ 体と P=SSO₂ 体の残留量も調査した。

根部ではどの供試薬剤も活性炭処理区、無処理区とも検出限界以下となった。

葉部は間引菜についてのみ検討したが、エチルチオメトン酸化体の移行残留が目立った。エチルチオメトン (P=SS 体) そのものは活性炭処理区も無処理区も検出限界以下であった。しかし、P=OSO₂ 体と P=SSO₂ 体は活性炭処理によって、それぞれ無処理区の50%と32%までに残留量が減少した。一方、土壌では、全化合物の合計値でみた場合、各調査時とも活性炭処理区は活性炭への吸着保持により無処理区の2倍近い残留量を示し、葉部とは反対の結果となった。

イソチオエートは、葉部では活性炭処理区、無処理区とも検出限界以下であった。しかし、土壌では活性炭による吸着保持が著しく、第1回と第2回の調査時で無処理区の約50倍、第3回調査時では約30倍の残留量であった。

アセフェートは、葉部で活性炭処理区は検出限界以下となったが、無処理区の残留量も検出限界に近い値であった。また、土壌中残留量は無処理区では検出限界以下であり、活

表20 大根葉寄生アブラムシ数^{a)} (3区平均値)

薬剤および処理	調 査 月 日								
	'74./9.10	'74/9.11	'74/9.13	'74/9.17	'74/9.20	'74/9.27	'74/10.4	'74/10.11	
エチルチオメトン	6.7	10.0	17.0	36.7	27.0	34.3	10.3	2.3	
エチルチオメトン・活性炭	14.7	31.3	44.3	66.3	82.3	60.0	28.3	2.7	
イソチオエート	12.3	34.3	70.0	87.3	93.3	65.0	31.3	3.3	
イソチオエート・活性炭	20.0	42.7	69.3	85.0	95.0	122.7	68.3	5.0	
アセフェート	9.0	27.3	44.7	63.0	53.0	86.3	43.0	3.3	
アセフェート・活性炭	8.7	32.3	63.7	63.0	116.7	158.3	24.0	3.3	
CVP	15.0	56.0	75.0	81.0	139.0	154.3	53.3	3.0	
CVP・活性炭	20.7	64.3	88.0	181.3	140.0	146.3	77.0	3.3	
無処理	14.3	44.0	70.7	88.7	133.0	130.0	56.0	2.3	
無処理・活性炭	17.3	54.7	59.0	98.7	154.3	131.3	58.0	3.3	
l.s.d.	0.05	ns ^{b)}	27.8	ns	47.7	59.7	56.6	40.9	ns
	0.01	ns	38.2	ns	65.4	81.8	77.5	56.1	ns

^{a)} アブラムシの大部分はモモアカアブラムシ、ニセダイコンアブラムシである。

^{b)} 有意差なし。

活性炭処理区では残留は認められたが、それでも供試薬剤のなかでは最も少なく、第2回目の調査時以降は活性炭処理区でも検出限界近くまでに減少した。

CVPは、活性炭処理区および無処理区で α 体、 β 体とも葉部では検出限界以下であった。しかし、土壌では残留がみられ両者の合計値で、第1回と第2回調査時までは活性炭処理区は無処理区の約2倍の残留量、第3回調査時には約1.5倍の残留量であった。

(2) 活性炭処理による土壌施用殺虫剤の効果発現に及ぼす影響

前節で土壌中残留農薬の作物体への吸収移行は、活性炭処理によってかなり抑制できることが分かった。しかし、土壌施用殺虫剤のように、作物体への有効成分の吸収によって効果を発現する農薬の場合には、作物体中の農薬濃度が低いことは防除効果上好ましくない。そこで、活性炭処理の有無と殺虫効果の関係をダイコン葉に寄生するアブラムシ数によって調査した。

活性炭処理区では表20に示したように、処理1か月後まで全ての薬剤でアブラムシの寄生数が増える傾向がみられた。特に、エチルチオメトンとアセフェートでその傾向が強かった。

(3) 活性炭処理による土壌処理除草剤の効果発現に及ぼす影響

表21 雑草発生本数および量(指数による)(3区平均値)

薬剤および処理	A 区		B 区			
	1 か月後		2 か月後			
	本数	量	本数	量		
トリフルラリン	1.0	1.0	2.0	2.0	6.0	6.0
トルフルラリン・活性炭	1.3	1.3	1.0	1.0	5.3	5.3
ジフェナミド	1.0	1.0	1.7	1.7	4.0	4.0
ジフェナミド・活性炭	1.0	0.7	1.7	1.7	4.0	4.0
CAT	0.3	0.3	1.0	1.0	6.0	6.0
CAT・活性炭	2.3	2.3	1.7	1.7	6.0	6.0
NIP	2.0	2.0	1.7	1.7	6.7	6.7
NIP・活性炭	1.7	1.0	1.3	1.3	6.0	6.0
リニュロン	1.0	1.0	2.3	2.3	5.0	5.0
リニュロン・活性炭	2.7	2.7	1.7	1.7	7.0	7.0
ベンチオカーブ	0.7	1.0	1.3	1.3	5.0	5.0
ベンチオカーブ・活性炭	0.7	0.7	1.3	1.3	5.0	5.0
無処理	4.0	4.0	1.0	1.0	7.0	7.0
無処理・活性炭	4.0	4.0	0.7	0.7	7.0	7.0
l.s.d.	0.05	0.9	1.1	ns ^{a)}	ns	ns
	0.01	1.3	1.5	ns	ns	ns

^{a)} 有意差なし。

表22 無処理区の雑草発生本数および重量

雑 草 名	A 区		B 区			
	1 か月後		2 か月後			
	本数	重量 (g)	本数	重量 (g)		
タネツケバナ	47.3		6.3	0.4	2.0	0.9
ハルタデ	25.3				0.7	0.7
ミチヤナギ	4.0					
スベリヒユ	28.7		25.0	10.4	2.0	15.1
アカザ	1.3					
クローバー			5.7	0.3	0.3	0.1
その他広葉雑草	10.3				2.0	13.3
アキノメヒシバ			12.3	1.7	26.0	298.3
カヤツリグサ			10.0	0.4	6.3	2.5
ニワホコリ					0.3	0.5
合 計	116.9	278.3	59.3	13.2	39.6	331.4

前節の結果から、土壌施用される除草剤の効果発現にも影響のあることが懸念されたので、同様な検討を行った。

活性炭処理による除草効果への影響を表21および表22に示した。処理1か月後の第1回目の調査時にCATとリニュロンで活性炭処理によって効果の低下がみられた。これに対して他の供試除草剤では活性炭処理の影響は認められなかった。なお、2か月後の第2回目調査時には全供試剤とも活性炭無処理区でも残効性がなくなり差がみられなくなった。

3. 考 察

農薬の農作物への吸収抑制を目的として、米国では活性炭を用いて THURSTON¹²⁹⁾ が土壌中の DDT の被害防止のために、また LICHENSTEIN ら⁶⁵⁾ はアルドリンやディルドリンなどの作物への吸収抑制についての試験を行い、一定の効果をえたと報告している。しかし、我国においては活性炭処理による吸収抑制に関する報告はまったくなかった。本検討では広島県の特産物であるバレイショとドリリン剤を吸収しやすいニンジンおよびキュウリ^{89,90,147)} を対象作物として、活性炭の土壌処理を行いアルドリンとディルドリンの吸収に対して抑制効果のあることを明らかにした。即ち、バレイショでは、土壌中残留量の多い秋作では吸収抑制効果が顕著でなかったが、残留量の少ない春作では活性炭の 2 kg/a 処理によって無処理区の 1/3~2/3 に吸収残留量を減少させた。バレイショと同様に可食部が土壌中にあるニンジンでも活性炭の 2 および 1 kg/a 処理で効果がみられ、吸収残留量は無処理区の 1/3~1/2 になった。LICHENSTEIN ら⁶⁵⁾ は、活性炭濃度が 2,000ppm の場合に、アルドリンとディルドリンの合計値でバレイショでは無処理区の 70~60% まで、ニンジンでは 53% まで減少したとしている。本検討の場合、活性炭の 2 kg/a を作土の 10~20cm の深さに均一に混入したときの活性炭濃度は 20~10ppm になり、LICHENSTEIN ら⁶⁵⁾ の場合よりも著しく低濃度の活性炭処理で同等の効果がえられたことになる。したがって、活性炭処理量と吸収抑制効果との関係は、土壌中の農薬残留量や使用する活性炭の質などによってもかなり大きく異なると思われる。

キュウリでも活性炭の 2 kg/a 処理で吸収抑制効果が認められたので、処理方法の違いと吸収抑制効果について検討した。この結果、全面処理よりも作物の根圏に活性炭を集中的に処理する植溝処理の方が抑制効果が高かった。当然ながら、作物根圏の活性炭濃度が高いほど吸収抑制効果が高いことを示している。

その他に、堆肥施用と耕耘処理による吸収抑制効果についても、バレイショとキュウリで検討した。堆肥施用による効果は、キュウリでは認められたものの、バレイショでは土

壤中のアルドリンとディルドリン残留量が多く、堆肥施用後の期間が短い秋作では十分ではなかったが、土壌中の残留量が少なくなった春作では顕著であった。このように堆肥施用の効果に変動の大きいことは、他の報告でも認められる^{76,93)}。堆肥施用の効果は、直接的には農薬の有機物への吸着、間接的には土壌微生物種の増加とその腐生活動による農薬の分解促進による^{7,9,91,135)}。したがって、その効果を高めるには、長期にわたって継続的に施用することが必要と思われる。

土壌中の有機塩素系殺虫剤の主消失要因は空气中への揮散であるとされている^{9,55,67,71)}。したがって、土壌を耕耘することによって土壌中のアルドリンとディルドリンの揮散を促し、土壌中濃度を低下させて作物への吸収移行量を少なくする可能性が考えられた。検討の結果、耕耘回数が少なかったパレイショでは抑制効果が認められなかったが、頻繁に耕耘したキュウリでは活性炭処理よりも吸収移行量が少なくなった。LICHTENSTEIN ら⁷²⁾もアルドリンの施用は場を毎日耕耘することによって顕著な減少がみられたと報告している。このように耕耘を頻繁に行い農薬の揮散を促進することによっても、土壌中濃度の低下による作物への吸収移行量の低減は可能である。

上述のように活性炭吸着による土壌中のアルドリンとディルドリンの作物吸収抑制効果を実証されたが、その反面、活性炭処理は、土壌処理される他の殺虫剤や除草剤をも吸着して、その効果発現に悪影響を及ぼすことが懸念された。

そこで殺虫剤では有機リン系殺虫剤についてダイコンを用いて検討した。残効の長いエチルチオメトンとアセフェートは、活性炭処理区で明らかに吸収移行量が少なく吸収抑制効果のあることが伺えた。しかし、全供試薬剤とも活性炭処理区ではダイコン葉の寄生アブラムシ数は多くなり、防除効果の面からみれば好ましくない結果となった。

次に、活性炭処理の除草剤の効果発現に及ぼす影響についてみると、供試除草剤はいずれも主として幼植物根系吸収により効果を示す吸収移行型^{158,159)}のものであったが、CAT とリニュロンでは、活性炭吸着によって雑草への吸収移行が抑制され、除草効果が低下した。しかし、他の除草剤では活性炭処理の影響はみられず、NIP では効果がむしろ高まる傾向がみられた。このように除草剤に対する活性炭処理の影響は、有機リン系殺虫剤のようには一様ではなく、化合物の活性炭への吸着特性の差が関与しているように思われる。

上述の結果から、土壌中農薬の作物への吸収軽減対策としての活性炭処理は緊急避難的な場合のみに止め、むしろ土作りを兼ねた耕耘や堆肥などの有機物施用を奨める方が現場技術として合理的な対策と考えられる。

第3章 施設栽培における安全利用と省力防除法の合理化

気象に左右されることなく安定した周年栽培が可能である施設栽培は、消費者ニーズの多様化や高品質指向に伴って益々重要な栽培技術として定着してきている。しかし、施設栽培は密閉された高温、多湿の環境下であるため、作物が軟弱となり病害虫に対する抵抗性が低下する。したがって、病害虫が発生しやすく、一旦発生するとその防除は容易でない。防除作業も、密閉された施設内では露地栽培に比較して薬液の被曝や吸入の機会が多く、散布作業者の安全性に問題がある。また散布された農薬も、施設内では直射日光や風雨に曝されることがないため分解消失速度が遅く、農作物に残留しやすいことが懸念される。このような従来の液剤多量散布法の欠点を改善する防除法として、フローグスト法、燃烧法、蒸散法、くん煙法、常温煙露法等の各種省力防除法が開発され普及しつつある。

本章では、先ず施設における農薬散布作業者の安全性確保のための基礎資料として散布作業者の農薬被曝の実態を明らかにし、その軽減対策について検討した。次いで、広島県内に広く普及定着している小規模の単棟ビニールハウス栽培にこれらの省力防除法を導入するに当たっての問題点を明らかにするため、農薬残留量、農薬のハウス内での拡散性、気中濃度および防除効果等について検討した。

第1節 農薬散布における作業者の農薬被曝

施設内での農薬散布は密閉条件下の作業であるため、農薬の被曝も露地の場合とかなり異なった様相を呈すると考えられる。また最近では、隣接作物への薬害防止や作業者への農薬被曝を少なくする目的で、噴霧粒子を従来よりも2～3倍大きくし、しかも微細粒子を少なくできる特殊なノズルを用いたドリフトレス散布が普及している。そこで、本節では散布作業者の安全性確保の観点から、慣行散布法とドリフトレス散布法による農薬被曝の実態を明らかにし、その被曝量の軽減方法について検討した²¹⁾。

1. 実験材料および方法

(1) 慣行散布における農薬被曝の実態の検討

1) 試験場所および供試散布機、対象作物

1980年4月から6月の間に農試内のほ場またはガラス温室内において散布試験を行った。供試散布機は丸山製作所製 MS-150動力噴霧機を用いた。農薬散布対象作物、散布農薬、

表23 農薬の散布概要

試験区分	露地栽培			施設栽培				
	1	2	3	4	5	6	7	8
作物名	ワケギ	ワケギ	スイカ・メロン	トマト	トマト	エンドウ	キュウリ	キュウリ
草丈 (cm)	47	47	15	160	160	85	190	190
通路 (cm)	40	40		90	90	90	80	80
農薬名および成分(%)	TPN 75	TPN 75	TPN 75	DMTP 40	マラソン 50	ホルモチオン 36	TPN 75	TPN 75
濃度 (希釈倍数)	600	600	600	1000	1000	1500	600	600
散布量 (ℓ)	50	50	20	200	200	30	60	50
散布面積 (a)	3.6	3.6	0.4	5.6	5.6	0.8	1.1	1.1
散布時間 (min)	5	12	2	27	27	6	10	8
噴孔の種類	鉄砲ノズル	鉄砲ノズル	鉄砲ノズル	鉄砲ノズル	鉄砲ノズル	5頭噴孔	鉄砲ノズル	鉄砲ノズル
風速 (m/sec)	1.5	1.0	4.0					
散布作業者	A	B	B	A	A	A	B	B

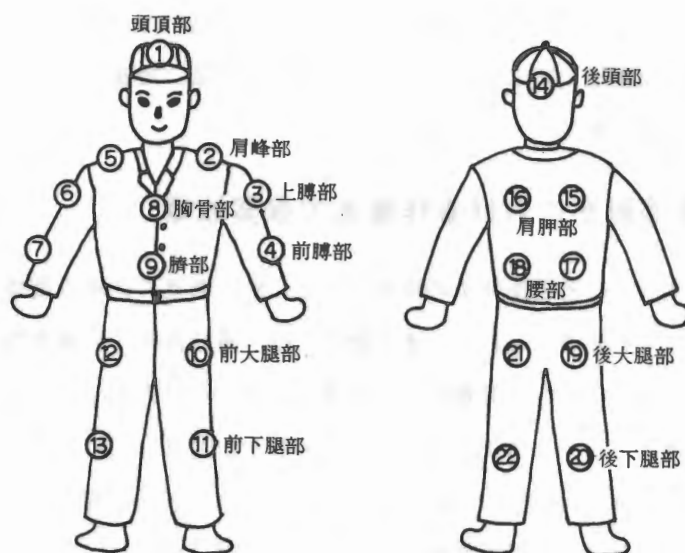


図9 農薬人体付着量調査部位

散布面積，散布所要時間および散布諸元は表23に示した。

2) 農薬付着量の調査

図9に示す位置の作業衣に直径9 cmの東洋濾紙No.2を虫ピンで留め，散布作業終了後濾紙を回収し，ガスクロマトグラフにより有効成分量を定量した。

3) 付着農薬の定量法

回収した濾紙を室内で風乾後500mlのねじ口びんに入れ、アセトン150mlを加えて30分間横型振とう機で振とう抽出した。抽出液をガラスウールをつめたロートで200mlのナス型フラスコ中に濾過し、減圧濃縮後アセトンで定容してガスクロマトグラフで定量した。TPN、マラソン、DMTP およびホルモチオンの回収率は、濾紙に0.01ppmアセトン溶液0.5ml塗布でそれぞれ、76.6%、94.9%、86.0%および107.0%であった。

4) ガスクロマトグラフィー条件

TPN の分析には、島津製作所製 ECD (^{63}Ni) 付 GC-5 AIEE を使用した。カラムは内径3mm、長さ1.5mのガラス製、充填剤は5% OV-17/クロモゾルブ W, AW, 60~80メッシュとした。温度は試料気化室250、カラムオープン190、検出器250℃とし、キャリアーガスは N_2 を用い50ml/minとした。

マラソン、DMTP およびホルモチオンの分析には、島津製作所製 FPD 付 GC-4 BMIF を用いた。カラムは内径3mm、長さ1.5mのガラス製、充填剤は5% DC-200/ガスクロム Q, 60~80メッシュとした。温度は試料気化室250、カラムオープン190、検出器250℃とし、キャリアーガス (N_2) 40~60ml/min, H_2 200, 空気60ml/minとした。

(2) ドリフトレス散布法による農薬被曝量の軽減対策の検討

1) 試験場所

広島県賀茂郡黒瀬町上保田の農家ビニールハウスにおいて実施した。ハウス面積は、ドリフトレス散布法では350 m^2 (間口10m×奥行35m)、慣行散布法では400 m^2 (間口10m×奥行40m) であった。栽培作物はキュウリ (品種：シャープワン) で、草丈2m、栽植本数は1,800本/10aであった。

2) 供試散布機、散布農薬および散布量

ドリフトレス散布法はヤマホキリナシスズラン噴孔2頭口、慣行散布法はスズラン噴孔5頭口によって、丸山製作所製 MS-055E 動力噴霧機で散布した。散布は1990年3月22日に行い、農薬はイプロジオン水和剤 (50%) の1,000倍液を200 ℓ /10a散布した。なお、ドリフトレス散布法では起泡剤は添加しなかった。

3) 農薬付着量の調査

前項と同様に図9に示す頭頂部、胸骨部、右前膊部、左前膊部、右大腿部、左大腿部、右肩胛部、左肩胛部の8か所に直径9cmの東洋濾紙 No.85SA を虫ピンで留め、散布作業終了後に回収してガスクロマトグラフによって有効成分量を定量した。

4) 付着農薬の定量法

前記(1)の3)と同様に濾紙をアセトン100mlで振とう抽出し、抽出液を濾過後濃縮し、5%食塩水200mlと混合してジクロロメタン100mlに2回転溶抽出した。ジクロロメタン層を脱水、濃縮し、通風乾固後アセトンで定容して試験溶液とした。回収率は、濾紙に0.8ppmアセトン溶液0.5ml塗布で108%であった。

5) ガスクロマトグラフィー条件

島津製作所製 FTD 付 GC-5 A を使用した。カラムはガラス製、内径3mm、長さ1.5mを用いた。充填剤は5% DC-200/クロモゾルブ W, HP, 80~100メッシュとした。温度は試料気化室260, カラムオープン220, 検出器250℃とし、ガス流量は He 50, H₂ 3, 空気 170ml/minとした。

2. 結 果

(1) 慣行散布法における作業者への農薬付着

人体各部における農薬付着量を表24に示した。試験番号1~3までは露地、4~8までは施設内での試験結果である。なお、試験毎に対象作物、散布農薬と散布量、散布面積と散布時間等の試験条件が異なるため、この表中の値は散布時間10分間当たりの付着量で示した。

露地の場合は、3回の散布試験とも下半身、特に、左右の前下腿部と後下腿部への付着量が多く、これに前大腿部と前膊部がつづいた。これに比し、上半身への付着量は比較的少なかった。

施設の場合は、5回の散布試験とも農薬付着量の多い部位と少ない部位が露地の場合ほど極端ではなく、露地で比較的付着の少なかった部位でも施設では多い傾向となった。付着量の多い部位は、全体的にみて左前下腿部、左腰部、右前下腿部、左前大腿部、右腰部、左上膊部、左前膊部の順で、全体に左側に多い傾向であった。また、同じ露地、施設の場合でも散布作業者によって付着量に差がみられた。

(2) ドリフトレス散布法における作業者への農薬付着

散布薬液の漂流飛散の少ないドリフトレス散布法で散布したときに、散布作業者への農薬付着量がどの程度軽減できるかについて検討した。表25に、付着量を散布面積10a当たりに換算して、ドリフトレス散布法と慣行散布法との比較を示した。

人体各部の面積および付着量は、農林水産省植物防疫課安全指導係の「昭和62年8月26日付け事務連絡、農薬安全使用推進特別対策事業の進め方について」に基づいて求めた。即ち、人体各部の面積は、濾紙をつけた部位の表面積の人体全表面積に対する割合を頭部9%, 胸部18%, 胸の左右をそれぞれ9%, 胸部の左右をそれぞれ18%, 背部の左右をそ

表24 人体各部における農薬付着量^{a)}

人体部位	試 験 区 分							
	露 地			施 設				
	1	2	3	4	5	6	7	8
頭頸部								
頭 頂 部①	12	198	60	64	37	17	12	405
後 頭 部⑭	14	208	<15	25	14	7	31	69
胸腹部								
左 肩 峰 部②	8	137	<15	215	118	8	37	380
右 肩 峰 部⑤	8	168	80	222	124	15	39	386
胸 骨 部⑧	10	12	3,190	24	16	5	<3	114
臍 部⑨	30	42	860	41	25	63	113	(21,520) ^{b)}
背 部								
左 肩 胛 部⑬	4	217	<15	202	114	8	159	548
右 肩 胛 部⑮	12	137	50	95	56	7	171	266
左 腰 部⑯	28	18	<15	350	198	22	2,908	174
右 腰 部⑰	10	414	<15	98	58	7	1,662	1,206
各上肢								
左 上 膊 部③	18	18	<15	167	94	22	17	1,109
左 前 膊 部④	40	198	270	291	172	10	12	1,076
右 上 膊 部⑥	10	249	100	167	97	10	<3	380
右 前 膊 部⑦	36	472	310	216	125	10	35	571
各下肢								
左前大腿部⑩	32	158	270	425	244	27	344	891
左前下腿部⑪	4,130	5,779	1,820	656	377	38	227	270
右前大腿部⑫	172	404	190	131	75	73	125	(22,604)
右前下腿部⑬	2,454	5,096	1,670	277	148	63	131	1,163
左後大腿部⑲	28	8	50	73	41	7	211	86
左後下腿部⑳	724	1,171	250	113	66	37	201	728
右後大腿部⑱	24	5	60	26	15	13	534	32
右後下腿部㉔	2,702	2,282	220	66	38	17	560	513

^{a)}10分間散布したときの付着量 (ng/cm²)^{b)}()はホースからの薬液のもれによる異常付着

表25 ドリフトレス散布法による農薬の人体付着量^{a)}

人体部位	散 布 法	
	ドリフトレス法	慣行散布法
頭 頂 部①	0.316	0.220
胸 骨 部⑧	0.259	5.56
右前膊部⑦	0.835	6.41
左前膊部④	9.41	8.45
右大腿部⑫	2.47	4.24
左大腿部⑩	33.8	45.2
右肩胛部⑤	0.168	3.76
左肩胛部②	6.14	10.9
全身推定 被 曝 量	53.3	84.7
散布時間 (min)/10a	51.9	73.4

^{a)}面積10 a 散布したときの付着量(mg)

れぞれ9%として、濾紙の農薬付着量より各部の付着量を求めた。また、全体表面積は、散布作業者の身長と体重から次式を用いて求めた。

$$\text{体表面積 (cm}^2\text{)} = \text{体重 (kg)}^{0.444} \times \text{身長 (cm)}^{0.663} \times 88.33$$

散布対象作物がハウス栽培の草丈2mのキュウリであったため、慣行散布法では上半身の胸部の付着量が多かった。

一方、ドリフトレス散布法では慣行散布法に比較し頭頂部と左前膊部でやや付着量が多いものの全体的には少なく、特に、胸骨部では1/20、右前膊部では1/8の付着量で、全身推定被曝量は慣行散布法の3/5以下となり軽減効果が認められた。しかし、両散布法ともに左前膊部、左大腿部、左肩胛部と身体の左側に多く付着する傾向がみられた。

また、散布面積10 a 当たりの所要散布時間はドリフトレス散布法が52分、慣行散布法が73分であり、ドリフトレス散布法では散布時間が慣行散布法の約70%に短縮された。

3. 考 察

農薬散布中の事故は、本人の不注意で発生する場合が最も多く、その原因は防除衣等の装備の不備によるものである^{106,116)}。ただし、農薬散布に当たっての完全な装備は発汗を促

しかえって疲労を増すこともあり、そのために防除衣の材質改善も試みられている。しかし、農薬の散布作業によって、人体のどの部位にどの程度の農薬が付着するかを明らかにしておくことは、安全性の確保や事故防止の上から重要なことである。

農薬散布作業時の身体付着に関する報告はかなりあるが^{114,116,140,151,153)}、野菜を対象作物とした散布試験例は少ない。本検討での露地栽培の場合は、農薬付着は主に大腿部以下と前膊部に集中した。小木曾ら¹¹³⁾は、草丈の低いキクに農薬散布したときノズルを持った腕、脛および大腿部に付着が多かったと報告している。本検討も対象作物（ワケギ、メロン、スイカ）の草丈が低く、噴孔を腰より低い位置に保ち左右に振りながら前進と後退を繰り返したため、農薬付着が両足に集中したことが原因と思われる。前膊部に付着量が多いのは噴孔に最も近く薬液に被曝する機会が多かったためと考えられる。また、露地の場合には人体付着には風の影響が大きいと考えられるが、2 m/sec程度の風速では影響はないという報告もある¹⁵¹⁾。試験3では4 m/secの風速の条件のもとで、風向きに対して直角に歩きながら散布した。このときの付着は試験1、2に比較すると部位による付着量差が大きく、殆ど付着しない部位（腰部等）があるのに対し、胸骨部と臍部では異常に付着量が多かった。この程度以上の風速では乱流によって思わぬ薬液被曝の可能性があり、散布作業は行わない方がよいと思われる。

一方、施設栽培の場合は、全試験例を通して農薬付着量の多い部位と少ない部位が露地の場合ほど明瞭ではなかった。全体的に付着量が多く、また一様に左側と上半身への付着量が多い傾向がみられた。これは、施設内は無風状態であり散布薬液の施設内浮遊が多い¹¹³⁾ことと、この散布作業者が右利きであったこと、また対象作物（トマト、キュウリ）の草丈が高く、しかも繁茂して通路が狭くなっていたために、薬液の付着した作物への接触による二次的付着が多くなったことが原因と考えられる。草丈の低いエンドウ（試験6）の散布例では、トマト（試験4、5）やキュウリ（試験7、8）の場合と比較して付着量が少なく、特に背部付着量が少なくなっている。これは、通路が広く取ってありエンドウは繁茂しても通路を覆う程ではなく、二次的な付着が少なかったためと考えられる。また、人体付着量は作業者によっても異なり、作業者のAとBを比較したとき、Bは露地栽培、施設栽培の両方とも付着量が多かった。作業手順や熟練度なども重要であり、散布作業を始めるに当たり、予め手順を定め無駄な動作を省くことでも付着量の軽減が可能であることを示唆している。二次的付着の軽減対策として、散布作業がしやすい栽植密度や通路幅を十分に取ることも重要である。

以上の結果からも明かなように、農薬被曝の主な原因は散布薬液の漂流飛散である。

そこで、噴霧粒子を大きくして漂流飛散性を小さくしたドリフトレス散布法による農薬被曝の軽減効果について検討した。従来、この散布法の適用は薬害防止の目的から除草剤の散布に限られていた。しかし、本検討の結果では、防除効果は従来の慣行散布法と変わらず、農薬被曝量は全体的に少なく、全身推定被曝量は慣行散布法の3/5以下であった。この散布法は、施設栽培での防除作業の安全性を向上させるだけでなく、散布所要時間も慣行法より短縮でき、省力防除法としての利点も明らかであった。ノズルをドリフトレス散布用に取り替えるだけで従来の動力噴霧機での散布が可能であり、今後の施設栽培でのより安全な防除手段として積極的に普及してよい手法であった。

第2節 各種省力防除法における農薬の散布特性と防除効果

施設栽培の普及とその大型化に伴い、病虫害防除作業の省力化と安全性が重要な問題となってきた。従来の動力噴霧機による液剤多量散布は、防除作業に多大な労力を要した。また、作業者が薬液に直接ふれたり、前節の結果にみられるように農薬被曝による経皮毒性の危険性、あるいは気中に浮遊する薬液の吸入などの増大も懸念された。そのうえ、場合によっては施設内湿度を高め、かえって病虫害の発生を助長するなどの欠点もあった⁴⁶⁾。そのため、従来の液剤多量散布法にかわるフローダスト法(以下FD法)、くん煙法、蒸散法、燃焼煙霧法(以下燃焼法)、常温煙霧法などの省力的で、安全な防除法が開発されている^{86,132,133,134,137,138)}。これらの防除法の散布特性については、モデル試験などのいくつかの報告^{2,49,80,83,84,99,110,148,155)}がある。しかし、いずれも各方法個々の試験結果であり、実際に作物が栽培された条件で、しかも同一条件下でこれら省力防除法の散布特性を相互比較したものは筆者の知る限りでは見られなかった。そこで、本検討では広島県に多い小規模の単棟ビニールハウスにおいて、これら省力防除法における農薬の残留量、付着性、気中濃度および防除効果等の実用性に関する検討を行った。

1. 実験材料および方法

試験Ⅰ FD法、燃焼法および常温煙霧法による防除試験

(1) 農薬残留量調査

1) 試験場所

広島県山県郡芸北町雄鹿原 荒神園芸生産組合農場において1982年に試験した。

2) 対象作物および対象病虫害

トマト(品種:サターン)の葉かび病、疫病およびヒラズハナアザミウマとした。

3) 供試農薬および剤型(有効成分量)

TPNのFD剤(30%)と水和剤(75%),チオファネートメチルのFD剤(30%)と水和剤(70%),DMTPのFD剤(15%)と水和剤(36%)を散布した。

4) 供試防除機

FD法は共立DMD-11E(背負式動力散粉機)、燃焼法はブルスフォグK2G/E、常温煙霧法は岡野機工製試作機、液剤多量散布法(慣行法)は丸山MS-252動力噴霧機を、それぞれ使用した。

表26 農薬散布時期及び供試ハウス面積

散布法	散布時期及び農薬名			供試ハウス面積(㎡)
	7月5日	7月14日	7月26日	
F D 法	TPN FD剤	DMTP, チオファネートメチル FD剤	TPN FD剤	39m×6m=234
燃 焼 法	TPN 水和剤	DMTP, チオファネートメチル 水和剤	TPN 水和剤	42m×6m=252
常温煙霧法	"	"	"	44m×6m=264
慣 行 法	"	"	"	55m×6m=330

表27 供試農薬の濃度及び散布量(10a 当たり)

散布法	7月5日	7月14日		7月26日
	TPN	DMTP	チオファネートメチル	TPN
F D 法	400 g (120 g)	500 g (75 g)	500 g (150 g)	500 g (150 g)
燃 焼 法	24倍液 6 ℓ (188 g)	40倍液 6 ℓ (54 g)	60倍液 6 ℓ (70 g)	18倍液 6 ℓ (250 g)
常温煙霧法	16倍液 1 ℓ (46.9 g)	20倍液 1 ℓ (18 g)	30倍液 1 ℓ (23.3 g)	9倍液 1 ℓ (83.3 g)
慣 行 法	800倍液150 ℓ (141 g)	1,000倍液150 ℓ (54 g)	1,500倍液150 ℓ (70 g)	600倍液200 ℓ (250 g)

注) ()内は有効成分量

5) 農薬散布時期および供試ハウス

散布時期とハウスの面積は表26のとおりであった。なお、供試ハウスはいずれも間口 6 m のビニールハウスとした。

6) 供試農薬の濃度および散布量

供試農薬の濃度、散布量は一括して表27に示した。燃焼法にはタマジェットを300ml加用した。

7) 防除機、トマト葉の採取、農薬付着量調査用のスライドグラス設置位置および病害虫防除効果調査位置

それぞれ図10に示すとおりとした。

8) 残留分析用試料採取方法

TPN は 3 回目の薬剤散布(7月26日)の1日, 3日, 7日および14日後に, チオファネートメチルと DMTP については, 散布13日, 15日および19日後にハウス全体から無作為にトマト果実を採取し, 分析に供した。なお, TPN の1日後のFD法, 燃焼法の試料は, 防除機からの距離別の残留量を調査するために, 図10に示した①~⑨の位置で採取し, I,

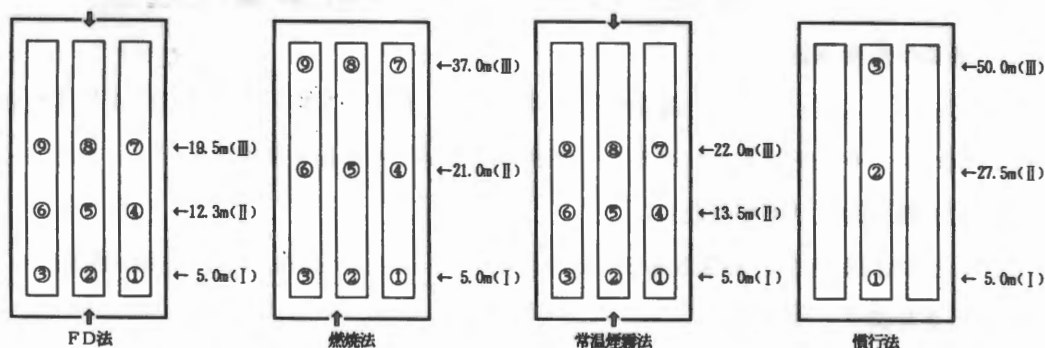


図10 防除機設置，トマト葉採取及びスライドガラス設置位置
 ←は防除機設置位置と吹込み方向，①～⑨はトマト
 葉採取及びスライドガラス設置位置を示す。

Ⅱ，Ⅲの位置別で示した。

9) 残留分析法

TPN は，アセトン抽出，*n*-ヘキサン転溶後，フロリジルカラムでクリーンアップしてガスクロマトグラフで定量した。チオファネートメチルは，メタノール抽出，ジクロロメタン転溶後，さらに50%酢酸と酢酸銅を加え還流煮沸してMBCに変換し，高速液体クロマトグラフで定量した。また，DMTP は，アセトン抽出，*n*-ヘキサン転溶後ガスクロマトグラフで定量した。回収率は，TPN 0.05ppm添加で 74.4%，チオファネートメチル 0.05ppm添加で 67.3%，DMTP 0.01ppm添加で 93.8%であった。

10) ガスクロマトグラフィーおよび高速液体クロマトグラフィー条件

TPN，DMTP およびチオファネートメチルの分析条件は次のとおりとした。

TPN：島津製作所製ECD (⁶³Ni) 付GC-5 AE型を用い，カラムは内径3mm，長さ1.5mガラス製，カラム充填剤は5% OV-17/クロモゾルブ W，AW，80~100メッシュとした。温度は試料気化室230，カラムオープン190，検出器250℃とし，キャリアーガス (N₂) は40~60ml/minとした。

DMTP：島津製作所製FPD (P) 付GC-4 BM型を用い，カラムは内径3mm，長さ1.5mガラス製，カラム充填剤は5% DC-200/ガスクロム Q，80~100メッシュとした。温度は試料気化室250，カラムオープン190℃とし，キャリアーガス (N₂) 40~60ml/min，H₂ 200，空気 60ml/minとし，検出器印加電圧は7.5V (220℃) とした。

チオファネートメチル：島津製作所製LC-4 A型 (検出器 蛍光光度計：励起波長 285nm，蛍光波長 315nm) を用い，カラムはゾルバックス ODS，内径4.6mm，長さ25cmステン

レス製，カラムオープン温度40℃，溶離液メタノール，流速0.5ml/minとした。

(2) 農薬付着量調査

各散布法による農薬のトマト葉全体への付着量と，葉の表・裏への付着状況を知るために，シリコングリスを塗布したスライドガラスを用いて付着量を調査した。

1) 調査農薬および調査時期

TPN と DMTP とし，農薬散布日（7月5日，14日および26日）の1日後に調査した。

2) 付着量調査方法

図10に示す①～⑨の位置通路側で，トマト葉については草丈のほぼ中央の複葉を1か所当たり1枚採取した。また，スライドガラスは①～⑨のトマト作条間の草丈のほぼ半部の高さの位置に水平に設置し，スライドガラス表・裏の付着量を調査した。農薬の定量は，葉，スライドガラスともアセトンで洗浄後定容とし，ガスクロマトグラフで分析し付着有効成分量を求めた。

(3) 農薬の気中濃度調査

農薬散布作業者と栽培管理作業者の安全性確認のため，各散布法による農薬散布中あるいは散布後のハウス内気中濃度を経時的に調査した。

1) 空気中の農薬の採集方法

シバタハイボリウムエアーサンプラー HV-500を用い450 l/minの割合で3分間吸引し採集した。

2) 採集時期

FD法，燃焼法および常温煙霧法はハウス開放前とその1時間後，慣行法は散布中，1時間，2時間，3時間および5時間後とした。

3) 調査農薬および分析定量方法

TPN と DMTP を分析対象化合物とし，エアーサンプラーに装着した濾紙をアセトンで抽出後，前記(1)の10)のガスクロマトグラフィー条件で定量した。

(4) 防除効果調査

1) 調査時期

葉かび病は8月2日，疫病は9月3日に，またヒラズハナアザミウマは7月26日に，それぞれ調査した。

2) 調査方法

葉かび病は，図10に示すⅠ，Ⅱ，Ⅲの各畝1か所当たり5株の最上位展開葉から数えて，7位葉から11位葉の5複葉について，罹病小葉率を求めた。疫病も同様に1か所当たり25

株について、「農作物有害動植物発生予察事業実施要領」¹⁰⁵⁾に基づいた発病度と、展開葉から15位葉までの罹病小葉率を求めた。ヒラズハナアザミウマは、各散布法とも3畝について、畝中央部の50株の2,3段果房の全果について白ふくれ果率を求めた。

試験Ⅱ 蒸散法、くん煙法および燃焼法による防除試験

(1) 農薬残留量調査

1) 試験場所

試験Ⅰと同じ場所で1983年に試験した。

2) 対象作物および対象病害虫

トマト（品種：サターン）の葉かび病および灰色かび病とした。

3) 供試農薬および剤型（有効成分量）

TPNの水和剤（75%）とくん煙剤（28%）、ピンクロゾリンの水和剤（50%）とくん煙剤（30%）を散布した。

4) 供試防除機

蒸散法はエポー1500-B、くん煙法はドクターズモークTIW-1、燃焼法はブルスフォグK2G/E および慣行法は丸山MS-252動力噴霧機をそれぞれ使用した。

表28 各散布法における農薬散布時期・農薬名及び供試ハウス面積

散布法	7月1日		7月15日		7月25日		9月16日		供試ハウス面積 (㎡)
蒸散法	TPN	水和剤	ピンクロゾリン	水和剤	TPN	水和剤	ピンクロゾリン	水和剤	67m×6m=402
くん煙法	"	くん煙剤	"	くん煙剤	"	くん煙剤	"	くん煙剤	70m×6m=420
燃焼法	"	水和剤	"	水和剤	"	水和剤	"	水和剤	74m×6m=444
慣行法	"	"	"	"	"	"	"	"	64m×6m=384

表29 供試農薬の濃度及び散布量(10a当たり)

散布法	7月1日	7月15日	7月25日	9月16日
	TPN	ピンクロゾリン	TPN	ピンクロゾリン
蒸散法	300g(225g)	150g(75g)	340g(255g)	300g(150g)
くん煙法	750g(210g)	375g(113g)	750g(210g)	375g(113g)
燃焼法	24倍液6ℓ(188g)	30倍液6ℓ(100g)	18倍液6ℓ(255g)	20倍液6ℓ(150g)
慣行法	600倍液150ℓ(188g)	1,000倍液200ℓ(100g)	600倍液200ℓ(255g)	1,000倍液300ℓ(150g)

注) ()内は有効成分量

5) 農薬散布時期および供試ハウス

散布時期とハウス面積は表28のとおりである。供試ハウスは試験Ⅰと同様、いずれも間口6mのビニールハウスを用いた。

6) 供試農薬の濃度および散布量

供試農薬の濃度、散布量は表29に示した。燃焼法はタマジエットを300ml加用した。

7) 防除機、トマト葉の採取、農薬付着量調査用のスライドガラス設置位置および病害虫防除効果調査位置

それぞれ図11に示すとおりとした。

8) 残留分析用試料採取方法

TPN、ピンクロゾリンとも薬剤散布1日、3日、7日および14日後にハウス全体から無作為にトマト果実を採取し分析に供した。

9) 残留分析法

TPNは、試験Ⅰと同様とした。ピンクロゾリンは、均質化試料を強アルカリ中で水蒸気蒸留してジクロロアニリンに変換した後、ジクロロメタン転溶し、ガスクロマトグラフで定量した。ピンクロゾリンの回収率は0.01ppm添加で107.6%であった。

10) ガスクロマトグラフィー条件

TPN、ピンクロゾリンとも試験ⅠのTPNに準じた。

(2) 農薬付着量調査

各散布法による農薬のトマト葉全体と単位面積当たりの付着量を調査した。さらに葉の

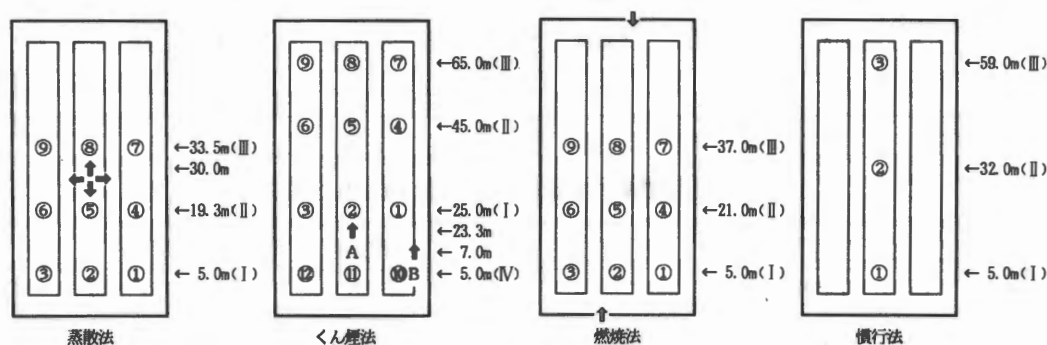


図11 防除機設置、トマト葉採取及びスライドガラス設置位置

←は防除機設置位置と吹込み方向、①～⑫はトマト葉採取及びスライドガラス設置位置を示す。

A: 7月1日トマトの草冠部に設置、B: 7月15日、25日地上に設置。

表・裏への付着状況をシリコングリスを塗布したスライドガラスを用いて調査した。

1) 調査農薬および調査時期

TPN とピンクロゾリンとし、農薬散布日（7月1日と15日および25日）の1日後に調査した。

2) 付着量調査方法

図11に示すⅠ、Ⅱ、ⅢおよびⅣの位置で試験Ⅰの方法によりトマト葉およびスライドガラス表・裏への農薬の付着量調査を行った。単位面積当たりの農薬の付着量は直径10mmのコルクボーラを用いて、採取したトマト複葉を打ち抜き、*n*-ヘキサンで洗浄後定容とし、ガスクロマトグラフで分析し付着有効成分量を求めた。

(3) 農薬の気中濃度調査

試験Ⅰの方法に準じて行った。ただし、採集時期、調査農薬は次のとおりとした。

1) 採集時期

蒸散法、くん煙法および燃焼法はハウス開放前とその1時間後、慣行法は散布中、1時間、3時間および5時間後とした。

2) 調査農薬および分析定量方法

TPN とピンクロゾリンについて、エアーサンプラーに装着した濾紙をアセトンで抽出後、試験Ⅰのガスクロマトグラフィー条件で分析し有効成分量を求めた。

(4) 防除効果調査

1) 調査時期

葉かび病は8月19日に罹病小葉率の調査を行った。灰色かび病は8月19日に発病株率を、9月16日と26日に罹病小葉率の調査を行った。

2) 調査方法

葉かび病は、図11に示すⅠ、Ⅱ、Ⅲの各畝1か所当たり5株について、最上位展開葉から数えて第10位葉から第14葉までの全小葉の発病葉率を求めた。灰色かび病は、8月19日に葉かび病の調査と同じ株について、発病の有無を、また、9月16日と9月26日には、展開葉から第10位葉までの罹病小葉率を求めた。なお、散布前後の調査株は同一とした。

試験Ⅲ 常温煙霧法およびドリフトレス散布法による防除試験

(1) 農薬残留量調査

1) 試験場所

広島県賀茂郡黒瀬町上保田の農家ビニールハウスで1989年に試験した。

2) 対象作物および対象病害虫

キュウリ（品種：シャープワン）灰色かび病とした。

3) 農薬散布時期および供試ハウス

ドリフトレス散布法は4月9日に、常温煙霧法は5月7日に散布した。なお、慣行散布法（慣行法）もそれぞれの対照区として同日に散布した。供試ハウス面積はドリフトレス散布法、常温煙霧法、慣行法とも300m²（間口10m×奥行30m）であった。

4) 供試農薬の濃度および散布量

表30 供試農薬の濃度及び散布量(10a当たり)

散布法	散布月日	農薬名	濃度および散布量
ドリフトレス散布法	4月9日	イプロジオン	1,000倍液 300ℓ (150g)
慣行法	"	"	" (")
常温煙霧法	5月7日	プロシミドン	50倍液 15ℓ (150g)
慣行法	"	"	1,000倍液 300ℓ (150g)

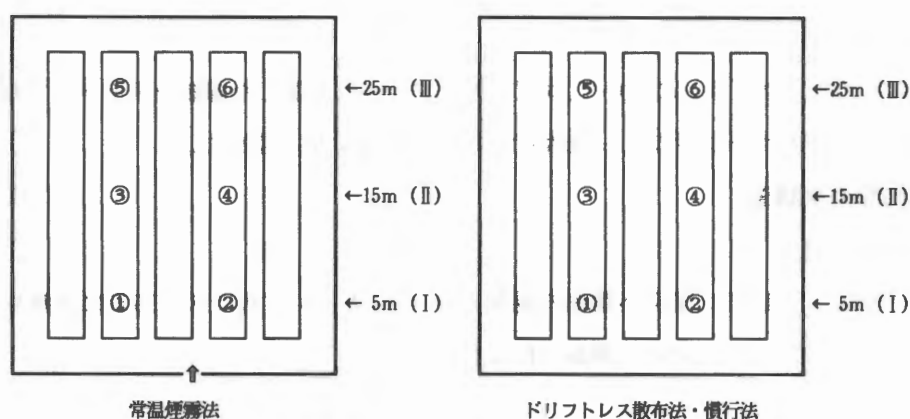


図12 常温煙霧機設置位置、農薬付着量及び防除効果調査位置
←は常温煙霧機設置位置と噴霧方向，①～⑥は農薬付着量，防除効果調査位置を示す。

供試農薬はイプロジオン水和剤（50％）とプロシミドン水和剤（50％）とし、散布濃度と散布量は表30に示した。

5) 供試防除機

常温煙霧法は丸山製作所製 LVE3501フレッシュハウサーで散布した。ドリフトレス散布法はヤマホキリナシスズラン噴孔2頭口を、慣行法はスズラン噴孔5頭口を用い、それぞれ丸山製作所製 MS-055E 動力噴霧機で散布した。

6) 常温煙霧機の設置位置, 農薬付着量および防除効果調査位置

それぞれ図12に示した。

7) 残留分析用試料採取方法

薬剤散布 1 日後にハウス全体から無作為にキュウリ草丈の上位果と下位果に分けて採取し, 別々に分析に供した。

8) 残留分析法

イプロジオンはアセトン抽出, ジクロロメタンに転溶後, アセトニトリルと *n*-ヘキサン
の液-液分配を行い, アセトニトリル層を濃縮した。濃縮液をフロリジルカラムに移し, 先
ずエチルエーテル・*n*-ヘキサン混液 (1:1) 100ml を流下させてこれを捨て, アセトン・*n*-
ヘキサン混液 (15:85) 100ml で溶出させた。溶出液を濃縮乾固後, アセトンで定容として
ガスクロマトグラフで定量した。回収率は0.01ppm添加で87.2%であった。プロシミドンは
アセトン抽出し, *n*-ヘキサン転溶後, *n*-ヘキサン層を濃縮した。濃縮液をフロリジルカラ
ムに流し入れ, エチルエーテル・*n*-ヘキサン混液 (5:95) 100ml を流下させてこれを捨て
た。次いで同混液 (15:85) 100ml で溶出させた。溶出液を濃縮乾固後, *n*-ヘキサンで定容
とし, ガスクロマトグラフで定量した。回収率は0.005ppm添加で85.0%であった。

9) ガスクロマトグラフィー条件

イプロジオン: 島津製作所製 FTD 付GC-15A 型を用いた。カラムは内径 3 mm, 長さ1.5
m のガラス製, カラム充填剤は 5 % DC-200/クロモゾルブ W, HP, 80~100メッシュと
した。温度は試料気化室260, カラムオープン220, 検出器250℃とし, ガス流量はキャリヤ
ーガス (He) 50, H₂ 3, 空気 170ml/minとした。

プロシミドン: カラム充填剤を1.5% OV-17+1.95% QF-1/クロモゾルブ W, AW,
80~100メッシュとし, カラムオープン温度を200℃とした以外は, イプロジオンの場合と
同様とした。

(2) 農薬付着量調査

散布法別の農薬のキュウリ葉の表・裏への付着量と付着状況を知るために, 東洋濾紙
No.85SA を図12に示した位置のキュウリ葉の表面と裏面に固定し, 薬剤散布 1 日後に回収し
て付着量を調査した。

1) 調査農薬

イプロジオン水和剤 (50%) およびプロシミドン水和剤 (50%) とした。

2) 調査時期

イプロジオンは 4 月10日に, プロシミドンは 5 月 8 日に調査した。

3) 調査方法

キュウリ果実の場合に準じてアセトン抽出後、前記(1)の9)のガスクロマトグラフィー条件で有効成分量を定量した。回収率はイプロジオンは0.8ppm添加で108.0%、プロシミドンは0.2ppm添加で80.0%であった。

(3) 防除効果調査

1) 調査時期

ドリフトレス散布法は散布前の4月9日と散布7日後の4月16日に、常温煙霧法では散布前の5月7日と散布7日後の5月14日に調査した。

2) 調査方法

図12に示すハウスの戸口(I)、中央(II)、奥(III)の位置別の3か所で株の上位4節について1か所当たり10株について罹病花率、罹病果率および発病株率を調査した。

2. 結 果

(1) FD 法、燃焼法および常温煙霧法の散布特性と防除効果

FD 法は、特別に製剤化された平均粒径 $5\mu\text{m}$ 以下、見掛け比重0.1以下の著しく軽い微粒子粉剤を用い、一般粉剤散布に使用される背負式動力散粉機でハウス外から吹込み、病害虫を防除する省力防除法である¹³³⁾。燃焼法は、液剤の極少量をパルスジェットエンジンの排気ガスを利用し、薬液を瞬時に微粒子化して排気ガスの気流によってハウス内に拡散させ病害虫を防除する散布法である⁸⁶⁾。また、常温煙霧法も少量の薬液をコンプレッサーからの圧縮空気を利用して常温で煙霧化させ、ファンによってハウス内に拡散させる散布法である⁸⁶⁾。これらの防除法はいずれもハウスの外から省力的かつ短時間で、しかも散布作業者が散布薬液に直接被曝することなく作業を行うことができる利点がある。しかし、これらの方法は噴口位置から遠ざかるにつれて農薬の拡散量が少なくなるといわれている。そのため、ここでは収穫物の農薬残留量、葉部への農薬付着および気中濃度等に及ぼすこれら省力防除法の散布特性と防除効果について検討した²²⁾。

1) 農薬の果実残留量

散布法別のトマト果実における農薬残留量を表31に示した。

TPN の FD 法、燃焼法および常温煙霧法での残留量は慣行法に比べて著しく少なかった。即ち、1日後の残留量は、FD 法では慣行法の概ね $1/2 \sim 1/10$ 、燃焼法、常温煙霧法では $1/5 \sim 1/20$ であった。3日目以降も同様な傾向で残留量は全体的に減少した。チオファネートメチルの残留量は、散布13日後から調査した。FD 法の残留量は慣行法よりやや多かったが、

表31 散布法別のトマト果実における農薬残留量 (ppm)

散布法	採取位置	TPN	DMTP	チオファネートメチル	TPN	DMTP	チオファネートメチル	TPN	DMTP	チオファネートメチル
		1日後	13日後		3日後	15日後		7日後	19日後	
F D 法	I	0.243	0.020							
	II	0.144	0.006	0.18	0.071	0.005	0.08	0.036	<0.002	0.08
	III	0.037	<0.002							
燃 焼 法	I	0.089	<0.002							
	II	0.034	<0.002	0.10	0.034	<0.002	0.03	0.023	<0.002	0.02
	III	0.023	<0.002							
常温煙霧法	I									
	II	0.030	0.005	0.08	0.029	<0.002	0.02	0.021	<0.002	<0.01
	III									
慣 行 法	I	0.045	0.136							
	II	0.558	0.093	0.14	0.550	0.023	0.06	0.412	0.031	0.08
	III	0.617	0.152							

燃焼法と常温煙霧法では慣行法の70%以下の残留量であった。しかし、19日後には常温煙霧法では検出限界以下となった。DMTPの残留量も散布13日後から調査した。FD法では慣行法の概ね1/5以下の残留量、燃焼法と常温煙霧法では検出限界以下であった。

次に、FD法と燃焼法については防除機の設置場所からの距離別に、図10に示した位置からトマト果実を採取して、散布法別の残留量を比較した。FD法では、吹込み位置から離れると著しく残留量が少なくなった。一方、燃焼法でも防除機から離れるに従って残留量は少なくなったが、FD法ほど極端な差はみられなかった。

2) 農薬の葉部付着量

防除機からの距離別にトマト葉を採取し、農薬付着量を調査した結果を表32に示した。

FD法における7月5日散布のTPNでは、防除機に近いⅠの位置に比べⅡ、Ⅲの位置での付着量は60%前後であった。7月14日散布のDMTPと7月26日散布のTPNでは、Ⅱの位置でもⅠの位置と殆ど変わらない付着量であったが、Ⅲの位置では7月5日と同様に、Ⅰの位置の約60%の付着量であった。

燃焼法でも、FD法の場合と同様にTPN(7月5日)とDMTP(7月14日)の付着量は、防除機から離れるに従って少なくなった。即ち、Ⅱ、Ⅲの位置での付着量は、Ⅰの位

表32 トマト葉への薬剤付着量とその変動係数(CV)

散布法	散布 月/日	農薬名	採取 位置	平均付着量 ($\mu\text{g/g}$)	同左CV ^{a)} (%)	草丈 (cm)	葉数 (枚)
FD法	7/5	TPN	I	36.8	34.3	56.8	15.4
			II	22.7			
			III	20.4			
	7/14	DMTP	I	5.5	38.5	91.9	19.7
			II	5.8			
			III	3.2			
	7/26	TPN	I	29.5	34.8	133.0	20.3
			II	27.0			
			III	17.3			
燃焼法	7/5	TPN	I	71.1	68.0	65.6	16.3
			II	33.5			
			III	16.4			
	7/14	DMTP	I	3.2	61.6	95.4	18.8
			II	1.9			
			III	1.2			
	7/26	TPN	I	85.4	116.9	129.5	20.8
			II	35.8			
			III	4.9			
常温煙霧法	7/5	TPN	I	27.2	143.8	57.7	15.5
			II	3.3			
			III	1.5			
	7/14	DMTP	I	8.0	201.2	84.1	18.2
			II	0.3			
			III	0.0			
慣行法	7/5	TPN	I	115.8	29.9	69.5	16.9
			II	171.4			
			III	97.9			
	7/14	DMTP	I	13.9	29.4	92.9	19.4
			II	8.7			
			III	8.5			
	7/26	TPN	I	300.0	32.0	129.7	20.2
			II	292.1			
			III	157.8			

^{a)}FD法, 燃焼法および常温煙霧法では, 9か所, 慣行法では3か所の値

置のそれぞれ50～60%と20～40%であった。しかし、7月26日散布の TPN のⅡ、Ⅲの位置での付着量は、Ⅰの位置のそれぞれ41.9%と5.7%で、Ⅲの位置の付着量が著しく少なかった。

常温煙霧法では、TPN（7月5日）と DMTP（7月14日）とも防除機から離れたⅡ、Ⅲの位置ではⅠの位置の概ね10%以下で、FD法、燃焼法よりもさらに付着量が少なかった。

表33 スライドガラス表・裏への薬剤付着量とその変動係数(CV)

散布法	散布月日	農薬名	設置位置	表側平均付着量 ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)	同左CV ^{a)} (%)	裏側平均付着量 ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)	同左CV (%)	裏／表 (%)
FD法	7/5	TPN	I	5.6	15.7	0.46	19.4	7.8
			II	5.2		0.38		
			III	4.3		0.34		
	7/14	DMTP	I	2.4	50.9	0.10	48.7	4.6
			II	1.3		0.05		
			III	0.7		0.04		
	7/26	TPN	I	3.6	55.1	0.08	65.3	2.3
			II	1.7		0.05		
			III	1.1		0.02		
燃焼法	7/5	TPN	I	9.4	31.4	0.03	21.8	0.4
			II	7.2		0.03		
			III	4.5		0.02		
	7/14	DMTP	I	1.1	61.2	0.05	18.4	8.2
			II	0.5		0.05		
			III	0.4		0.04		
	7/26	TPN	I	9.9	88.5	0.05	17.9	1.8
			II	6.4		0.04		
			III	0.9		0.04		
常温煙霧法	7/26	TPN	I	5.4	144.7	0.006	11.5	0.3
			II	0.37		0.006		
			III	0.02		0.005		
慣行法	7/5	TPN	I	5.9	14.1	0.62	4.3	8.8
			II	7.3		0.63		
			III	7.9		0.58		
	7/14	DMTP	I	0.4	10.8	0.03	40.4	11.0
			II	0.4		0.07		
			III	0.5		0.04		
	7/26	TPN	I	7.2	27.4	0.12	45.6	1.3
			II	10.5		0.15		
			III	6.3		0.05		

^{a)} FD法、燃焼法および常温煙霧法では9か所、慣行法では3か所の値

これら防除法の平均付着量は、慣行法が最も多く、次いで燃焼法＞FD法＞常温煙霧法の順であった。

また、省力防除法によるハウス内での農薬拡散性をトマト葉への付着量の変動係数（以下CV）でみた場合、慣行法では30%前後であるのに対して、FD法では34～39%で概ね慣行法並の比較的均一な拡散がみられたが、燃焼法では62～117%、常温煙霧法では144～201%で拡散性が劣った。

次に、トマト葉の表・裏への付着量を知るためにスライドグラスを用いて調査を行い、表33の結果をえた。

FD法、燃焼法、常温煙霧法における表側への付着量は、いずれも防除機に近いⅠの位置では、慣行法と同等かやや多くなったが、防除機から離れるにしたがって少なくなった。常温煙霧法ではⅡ、Ⅲの位置で著しく付着量が少なかった。Ⅰ、Ⅱ、Ⅲの位置における平均付着量は、慣行法が最も多く、次いで燃焼法＞FD法＞常温煙霧法の順となった。

裏側への付着量は、FD法、燃焼法、常温煙霧法とも防除機から離れるにしたがって少なくなったが、表側ほど顕著でなかった。Ⅰ、Ⅱ、Ⅲの位置の平均付着量は、慣行法が最も多く、次いでFD法＞燃焼法＞常温煙霧法の順となった。トマトの草丈が1.3m、複葉が20枚程度に生育した7月26日散布の場合には、FD法、燃焼法および常温煙霧法では、慣行法に比較して約1/2以下の付着量であった。

また、スライドグラス表側への農薬付着量のCVは、FD法は16～55%、燃焼法は31～89%、常温煙霧法は145%で、慣行法の10～27%に比べて燃焼法と常温煙霧法の拡散性が劣った。

3) 農薬の気中濃度

表34 各散布法における気中濃度(ng/ℓ)

散布月日 (農薬名)	F D 法		燃 焼 法		常温煙霧法		慣 行 法				
	開放前	開放後	開放前	開放後	開放前	開放後	散布中	1時間後	2時間後	3時間後	5時間後
7月5日 (TPN)	0.14	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	0.21	<0.04	— ^{a)}	<0.04	0.14
7月14日 (DMTP)	3.95	0.43	0.64	0.17	0.47	0.18	0.23	0.44	0.61	0.24	—
7月26日 (TPN)	0.16	<0.04	0.18	<0.04	0.55	0.15	133.3	2.50	—	2.03	—

^{a)} 調査せず。

FD 法，燃焼法，常温煙霧法および慣行法で散布した時の農薬気中濃度を表34に示した。

TPN は，7月5日の省力防除法では FD 法のみハウス開放前に検出されたが，慣行法の散布中濃度の2/3の濃度であった。7月26日の場合には，FD 法，燃焼法，常温煙霧法ともにハウス開放前に0.16～0.55ng/ℓ の濃度範囲で検出されたが，慣行法の散布中濃度133.3 ng/ℓ に比較して著しく低かった。ハウス開放後の気中濃度は，7月5日，7月26日ともハウス開放後1時間も経過すれば FD 法と燃焼法では検出されなくなり，常温煙霧法でも1/3以下にまで濃度が低下した。

一方，DMTP のハウス開放前の気中濃度は，全ての省力防除法で慣行法の散布中と同等ないし高めで，FD 法では慣行法の10倍以上の濃度であった。しかし，ハウス開放後の気中濃度は各省力防除法とも低下し，開放前の概ね1/4～1/10の濃度になった。

4) 防除効果

省力防除法で TPN とチオファネートメチルを散布したときの葉かび病に対する防除効果を防除機からの距離別に罹病小葉率で調査し，表35の結果をえた。

平均罹病小葉率でみると，FD 法と燃焼法では慣行法と同等の防除効果がえられたが常温煙霧法では劣った。しかし，燃焼法でも防除機から離れ，葉部への農薬付着量の少なかつ

表35 TPNおよびチオファネートメチル散布による葉位別の葉かび病防除効果(罹病小葉率，%)

散布法	調査位置	葉 位					平均
		7	8	9	10	11	
FD 法	I	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.10a
	II	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1	
	III	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	
燃焼法	I	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.21a
	II	0.0	0.3	0.3	0.0	0.0	
	III	0.8	0.6	0.3	0.0	0.6	
常温煙霧法	I	1.2	1.7	2.4	1.7	2.6	24.37b
	II	8.9	18.6	34.1	37.6	30.9	
	III	28.9	37.8	62.2	61.3	35.7	
慣行法	I	0.0	0.0	0.3	0.5	2.7	0.54a
	II	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	
	III	0.0	0.0	0.1	1.5	2.2	

注) 同じ英文字を付記した数値間には，ダンカンの多重検定による有意差 (5%) なし。

表36 TPN散布による疫病防除効果

散布法	調査位置	発病度	罹病小葉率(%)
F D 法	I	25	38
	II	25	45
	III	25	36
	平均	25.0c	39.7c
燃 焼 法	I	11	17
	II	15	18
	III	12	17
	平均	12.7b	17.3b
常温煙霧法	I	26	78
	II	25	66
	III	30	70
	平均	27.0c	71.3c
慣 行 法	I	3	11
	II	7	6
	III	5	5
	平均	5.0a	7.3a

注) 同じ英文字を付記した数値間には、ダンカンの多重検定による有意差(5%)なし。

表37 ヒラズハナアザミウマによる白ぶくれ果率(%)

散布法	調査位置			
	I	II	III	平均
F D 法	8.8	22.6	17.0	16.1a
燃 焼 法	8.4	4.8	13.9	9.0a
常温煙霧法	4.4	6.1	19.4	10.0a
慣 行 法	8.9	16.3	26.3	17.2a

注1) I, II, IIIの各位置での50株の2, 3段果房について調査した。

注2) 同じ英文字を付記した数値間には、ダンカンの多重検定による有意差(5%)なし。

たⅢの位置では、罹病小葉率は高かった。

疫病に対して TPN を散布したときの防除効果が表36に示したように、燃焼法では慣行法に近い効果があったが、FD 法と常温煙霧法は劣った。

ヒラズハナアザミウマに対して DMTP を散布したときの防除効果は、白ぶくれ果の発生の多少によって間接的に調査した。

その結果は表37に示したように、FD 法、燃焼法および常温煙霧法とも慣行法と同等の防除効果がえられた。また、調査位置別の白ぶくれ果発生率の変動は各散布法とも大きかった。

(2) 蒸散法、くん煙法の散布特性と防除効果

蒸散法は、農薬を加熱水蒸気と接触させ煙霧化し、ボイラーからの水蒸気とともにハウス内に吐出して拡散させる¹³²⁾。これに対して、くん煙法は農薬を電熱器で加熱して煙化させ、発生したくん煙を送風機を利用して強制的にハウス内に拡散させる方法である¹³²⁾。しかし、両方法とも、前述の FD 法や燃焼法と同様に、ハウス内での農薬の拡散性やこれに伴う防除効果などに問題があり、散布法の改善が望まれていた。ここでは慣行法や燃焼法と比較しながらこれらの防除法の散布特性を明らかにし、その防除効果についても検討した²²⁾。

1) 農薬の果実残留量

トマト果実における TPN とピンクロゾリンの散布法別の残留量を表38に示した。

TPN 残留量は、省力防除法ではいずれも慣行法に比較して少なかった。特に、蒸散法とくん煙法で少なく、14日後には慣行法より2桁低い残留量であった。ピンクロゾリンの残

表38 散布法別のトマト果実における TPN 及びピンクロゾリンの残留量(ppm)

散布法	T P N				ピンクロゾリン			
	1日後	3日後	7日後	14日後	1日後	3日後	7日後	14日後
蒸散法	0.105	0.041	0.023	0.007	0.054	0.013	0.012	0.008
くん煙法	0.060	0.057	0.024	0.009	0.058	0.032	0.024	0.008
燃焼法	0.107	0.227	0.110	0.049	0.105	0.040	0.018	0.012
慣行法	0.487	0.966	0.836	0.647	1.00	0.430	0.311	0.054

留量も、TPN の場合と同様に省力防除法では慣行法に比較して少なかった。また、蒸散法とくん煙法では殆ど同量の残留量であるのに対して、燃焼法では、これらの防除法に比べて若干多かった。

表39 トマト葉への薬剤付着量とその変動係数(CV)

散布法	散布 月/日	農薬名	採取 位置	生葉重当たり		単位面積当たり		トマト草丈 (cm)
				平均付着量 ($\mu\text{g/g}$)	同左CV ^{a)} (%)	平均付着量 ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)	同左CV (%)	
蒸散法	7/1	TPN	I	36.1		1.62		68.3
			II	40.0	30.1	1.62	24.5	
			III	40.6		1.66		
	7/15	ピンクロゾリン	I	10.4		0.49		110.4
			II	7.0	39.9	0.34	38.2	
			III	5.3		0.27		
	7/25	TPN	I	115.3		3.45		137.6
			II	28.0	66.8	0.84	66.7	
			III	43.3		1.30		
くん煙法	7/1	TPN	I	43.5		1.87		64.5
			II	30.5	81.2	1.38	80.8	
			III	2.6		0.11		
			IV	8.8		0.37		
	7/15	ピンクロゾリン	I	21.8		1.04		104.4
			II	0.5	105.3	0.02	104.5	
			III	0.1		0.01		
			IV	22.3		1.06		
	7/25	TPN	I	58.2		1.74		132.2
			II	16.6	81.2	0.50	81.3	
			III	0.8		0.02		
			IV	48.6		1.45		
慣行法	7/1	TPN	I	50.0		2.15		68.8
			II	62.0	12.4	2.62	11.9	
			III	50.7		2.14		
	7/15	ピンクロゾリン	I	182.6		9.37		106.3
			II	72.9	47.8	3.71	48.7	
			III	101.5		5.10		
	7/25	TPN	I	121.3		3.63		136.0
			II	95.7	33.6	2.87	33.6	
			III	183.0		5.48		

^{a)} CVは、蒸散法では9か所、くん煙法では12か所、慣行法では3か所の値

2) 農薬の葉部付着量

本検討では、生葉重当たりの付着量の他に、念のため単位面積当たりの付着量についても調査し、表39に示した結果をえた。

防除機からの距離別の生葉重当たりの付着量は、蒸散法の場合、7月1日散布のTPNで

表40 スライドガラス表・裏への薬剤付着量とその変動係数(CV)

散布法	散布 月/日	農薬名	設置 位置	表側平均付着量 ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)	同左CV ^{a)} (%)	裏側平均付着量 ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)	同左CV (%)	裏/表 (%)
蒸散法	7/1	TPN	I	4.4	10.3	0.02	91.8	0.3
			II	4.8		0.01		
			III	4.9		0.01		
	7/15	ピンクロゾリン	I	0.4	24.5	0.16	23.8	4.3
			II	0.5		0.21		
			III	0.5		0.22		
	7/25	TPN	I	4.5	69.8	0.02	100	0.6
			II	1.4		0.01		
			III	1.8		0.01		
くん煙法	7/1	TPN	I	10.0	110.4	0.06	197.1	0.5
			II	3.2		0.01		
			III	0.5		<0.003		
			IV	1.4		<0.003		
	7/15	ピンクロゾリン	I	1.0	92.1	0.31	103.8	18.8
			II	0.1		0.02		
			III	0.1		0.01		
			IV	0.9		0.13		
	7/25	TPN	I	2.8	86.3	0.01	0.0	3.1
			II	0.6		0.01		
			III	0.1		0.01		
			IV	2.8		0.01		
燃焼法	7/1	TPN	I	10.1	41.5	0.02	62.2	0.5
			II	4.9		0.03		
			III	4.8		0.03		
	7/15	ピンクロゾリン	I	1.5	57.0	0.08	29.8	6.3
			II	1.0		0.05		
			III	0.7		0.06		
	7/25	TPN	I	7.6	52.1	0.03	92.3	0.4
			II	4.9		0.02		
			III	2.2		0.01		
慣行法	7/1	TPN	I	8.3	37.1	0.97	54.5	10.5
			II	18.4		2.41		
			III	15.6		1.06		
	7/15	ピンクロゾリン	I	1.9	5.7	0.04	0.0	2.0
			II	2.1		0.04		
			III	2.0		0.04		
	7/25	TPN	I	6.5	61.8	2.48	77.7	37.5
			II	2.5		1.61		
			III	2.5		0.25		

^{a)}CV は、蒸散法、燃焼法では9か所、くん煙法では12か所、慣行法では3か所の値

は、蒸散器から離れたⅠの位置で若干少なかったが概ね均一であった。

しかし、7月15日散布のビクロゾリンおよび7月25日散布のTPNは、逆にⅠの位置における付着量が蒸散器のすぐ近くのⅢの位置の2～2.5倍であった。

くん煙法では、7月1日散布のTPNの付着量は、くん煙機から20m離れたⅠの位置では多かったが、それよりも離れたⅢの位置と、くん煙機の後方のⅣの位置での付着量は著しく少なく、Ⅰの位置の付着量のそれぞれ6%と20%であった。7月15日散布のビクロゾリンおよび7月25日のTPNの付着量もくん煙機に近いⅣとⅠの位置では多いが、くん煙機から離れたⅡ、Ⅲの位置では極端に付着量が少なかった。

一方、慣行法では、調査位置により多少の付着量の変動はあるものの、蒸散法やくん煙法より多かった。

また、防除機からの距離別の単位面積当たりの付着量は、いずれの散布法でも生葉重当たりの結果と全く同様の傾向がみられた。

スライドグラスへの付着量は表40に示した。表側付着量は、省力防除法では、燃焼法の7月25日散布のTPNの場合を別にして、いずれも慣行法よりも少なかった。しかし、省力防除法の中では燃焼法の付着量が最も多かった。くん煙法の場合、全体的に付着量が少なく、くん煙機から離れた位置での付着量が著しく少なかった。同様に裏側への付着量も、省力防除法では、一様に慣行法に比較して少なかった。

表41 各散布法における気中濃度(ng/ℓ)

散布月日 (農薬名)	蒸散法		くん煙法		燃焼法		慣行法			
	開放前	開放後	開放前	開放後	開放前	開放後	散布中	1時間後	3時間後	5時間後
7月1日 (TPN)	3.09	0.45	1.93	0.95	0.68	0.26	61.8	6.82	7.27	— ^{a)}
7月15日 (ビクロゾリン)	0.05	<0.04	0.09	0.04	0.07	0.05	2.08	0.04	0.18	0.09
7月25日 (TPN)	0.51	0.09	0.36	0.17	1.24	0.36	223.0	1.12	0.63	3.64

^{a)} 調査せず。

3) 農薬の気中濃度

蒸散法、くん煙法、燃焼法および慣行法で散布したときの農薬の気中濃度を表41に示した。

TPNの気中濃度は、7月1日散布の省力防除法の場合にはハウス開放前が0.68～3.09ng/

ℓの範囲で、蒸散法、くん煙法、燃焼法の順に高かったが、ハウス開放1時間後には各散布法とも約1/2～1/7の濃度まで低下した。これに対して慣行法では散布中が61.8ng/ℓ、散布1時間後でも6.82ng/ℓと高かった。7月25日散布の場合も、省力防除法ではハウス開放前の濃度は0.36～1.24ng/ℓの範囲であったが、ハウス開放後には約1/2～1/5の濃度まで低下した。一方、慣行法では散布中は223.0ng/ℓの濃度であったが、散布1～5時間後には概ね1/100の濃度までに低下した。それでも、省力防除法の濃度に比較すれば著しく高かった。

ピンクロゾリンの気中濃度は、各省力防除法ともハウス開放前はTPNの場合に比べて低く、0.05～0.09ng/ℓの濃度範囲であった。ハウス開放後は蒸散法では検出されなくなったが、くん煙法と燃焼法では殆ど濃度の低下がみられなかった。慣行法でもTPNの濃度に比べて著しく低く、散布中で2.08ng/ℓ、散布1～5時間後で0.04～0.18ng/ℓの濃度範囲であったが、省力防除法の濃度よりも高かった。

4) 防除効果

省力防除法でTPNを散布したときの葉かび病に対する防除効果は、表42に示したよう

表42 TPN散布による葉位別の葉かび病罹病小葉率(%)

散布法	調査位置	葉位					平均
		10	11	12	13	14	
蒸散法	I	0.0	0.0	3.5	2.3	7.6	1.9 a
	II	0.7	0.4	0.7	3.8	2.7	
	III	0.0	0.7	0.7	2.0	3.2	
くん煙法	I	0.0	0.0	0.9	2.2	2.9	1.9 a
	II	0.0	0.0	1.2	3.3	2.9	
	III	0.0	0.7	1.9	4.5	12.2	
	IV	0.0	0.0	0.6	1.0	2.2	
燃焼法	I	0.0	0.0	0.7	1.8	4.4	1.2 a
	II	0.0	0.0	1.0	1.1	3.0	
	III	0.4	0.6	0.0	1.4	3.6	
慣行法	I	1.1	1.4	5.9	12.6	11.5	4.1 a
	II	0.3	0.3	4.9	7.7	8.3	
	III	0.0	0.0	0.3	3.1	3.9	

注) 同じ英文字を付記した数値間には、ダンカンの多重検定による有意差(5%)なし。

表43 TPN, ビンクロゾリン散布による灰色かび病防除効果

散布法	調査位置	発病株率 (%)	罹病小葉率 (%)	
			散布前	散布後
蒸散法	I	0.0	4.7	15.9
	II	0.0	8.5	36.6
	III	20.0	4.7	40.5
	平均	6.7a	6.0b	31.0c
くん煙法	I	20.0	6.1	28.8
	II	53.3	4.6	41.1
	III	66.7	3.1	31.7
	IV	20.0	4.5	18.3
	平均	40.0b	4.6ab	40.0c
燃焼法	I	0.0	1.9	3.4
	II	0.0	4.1	6.9
	III	0.0	4.6	17.5
	平均	0.0a	3.5ab	9.3ab
慣行法	I	6.7	1.7	4.4
	II	0.0	2.2	8.5
	III	6.7	2.9	9.0
	平均	4.5a	2.3a	7.3ab

注) 同じ英文字を付記した数値間には, デンカンの多重検定による有意差 (5%) なし。

に平均罹病小葉率では各散布法間に有意な差はみられず, 慣行法と同等の防除効果がえられた。しかし, 防除機から離れた蒸散法の I の位置とくん煙法の III の位置では罹病小葉率が高かった。

灰色かび病に対して TPN とビンクロゾリンを散布したときの防除効果は, 表43に示したように, くん煙法では, 平均発病株率と罹病小葉率が高かった。防除機から離れた II と III の位置での発病株率が高く, 防除効果は著しく劣った。

蒸散法では, 平均発病株率は慣行法と同等の効果がえられたが, 罹病小葉率が高く慣行法より劣った。燃焼法では発病株率, 罹病小葉率とも低く慣行法と同等の効果が認められた。しかし, 防除機から離れた III の位置では罹病小葉率が高かった。

(3) 常温煙霧法およびドリフトレス散布法の散布特性と防除効果

常温煙霧法については、既にトマトを対象として検討を行い、ハウス内での農薬の拡散性やトマト葉への付着量が少なく、防除効果も劣ることを明らかにした。しかし、この試験に用いた常温煙霧機は送風機のない試作機であったので完成機を用いて再検討すべき点が残った。常温煙霧法は農薬煙霧化が常温で行われるため加熱による農薬分解の恐れがなく、適用できる農薬の範囲が広い。したがって、今後ハウスでの省力防除法の中心となることが期待された。そこで、本試験では、大型送風装置の装備された市販の常温煙霧機を使用し、対象作物も葉の大きいキュウリを用いて、本法の導入に当たっての問題点を検討した。

また、施設栽培での液剤多量散布は、前述のとおり露地栽培に比較して散布作業者の農薬被曝量が多く安全性の面から好ましくなかった。しかし、薬液の漂流飛散性を少なくしたドリフトレス散布法によって改善されることが明らかになったので、これによって散布することにした。

両法による農薬の果実残留性、葉部付着性および防除効果について検討し、慣行法と比較した。

表44 散布法別のキュウリ果実における農薬残留量(μm)

散布法	農薬名	試料採取部位	残留量
ドリフトレス散布法	イプロジオン	上位果	1.78
		下位果	2.12
慣行法	イプロジオン	上位果	1.12
		下位果	1.02
常温煙霧法	プロシミドン	上位果	0.016
		下位果	0.024
慣行法	プロシミドン	上位果	0.208
		下位果	0.182

1) 農薬の果実残留量

ドリフトレス散布法でイプロジオンを散布したときと、常温煙霧法でプロシミドンを散布したときの、キュウリ果実における残留量を表44に示した。

ドリフトレス散布法によるイプロジオンの残留量は、慣行法に比べ若干多かった。一方、常温煙霧法によるプロシミドンの残留量は、慣行法の概ね1/10であった。また、キュウリ

表45 ハウス内の位置別キュウリ葉への農薬付着量とその変動係数(CV)

散 布 法	農 薬 名	葉表(A) 葉裏(B)	位置別付着量 (μg/cm ²)								同左CV (%)	B/A (%)
			I		II		III		平均			
			①	②	③	④	⑤	⑥				
ドリフトレス散布法	イプロジオン	A	3.53	8.20	1.84	4.31	6.17	1.77	4.30	58.6	2.8	
		B	0.13	0.14	0.06	0.32	0.05	0.01	0.12	93.4		
慣 行 法	イプロジオン	A	7.56	1.86	5.41	1.36	0.38	3.16	3.29	82.8	7.9	
		B	0.76	0.16	0.11	0.16	0.13	0.24	0.26	95.7		
常温煙霧法	プロシミドン	A	1.32	2.23	1.15	0.47	0.04	0.01	0.87	99.1	41.4	
		B	0.29	1.31	0.33	0.16	0.03	0.02	0.36	35.8		
慣 行 法	プロシミドン	A	12.9	19.2	17.5	18.8	28.6	24.3	20.2	24.8	8.5	
		B	0.73	0.25	4.25	2.90	1.89	0.27	1.72	94.2		

果実の採取位置別の上位果，下位果における残留量は，ドリフトレス散布法，常温煙霧法および慣行法の間で一定の傾向はみられず，上位果，下位果ともほぼ同等の残留量であった。

2) 農薬の葉部付着量

ハウス内の位置別のキュウリ葉への農薬付着量は表45のとおりであった。

ドリフトレス散布法でイプロジオンを散布した時の葉表への平均付着量は $4.30\mu\text{g}/\text{cm}^2$ で，慣行法の $3.29\mu\text{g}/\text{cm}^2$ に比べてやや多く，CV も小さくより均一であった。しかし，葉裏への平均付着量は $0.12\mu\text{g}/\text{cm}^2$ であり，慣行法の $0.26\mu\text{g}/\text{cm}^2$ に比較して少なかった。葉表の付着量に対する葉裏への付着割合も，ドリフトレス散布法では3%以下で，慣行法の7.9%に比較して少なかった。

常温煙霧法でプロシミドンを散布したときの葉表への平均付着量は，煙霧機に近いⅠの位置では $1.78\mu\text{g}/\text{cm}^2$ であったが，Ⅱ，Ⅲの位置ではそれぞれ $0.81\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ， $0.02\mu\text{g}/\text{cm}^2$ であり煙霧機から離れる程著しく付着量が少なくなった。これに対して，慣行法では $20.2\mu\text{g}/\text{cm}^2$ とはるかに付着量が多かった。

葉裏の場合も葉表と同様の傾向がみられ，常温煙霧法では煙霧機から離れるほど付着量は少なくなった。慣行法の平均付着量が $1.72\mu\text{g}/\text{cm}^2$ であるのに対して，常温煙霧法のそれは $0.36\mu\text{g}/\text{cm}^2$ で慣行法の1/5程度の付着量であった。しかし，葉表の農薬付着量に対する葉裏の付着割合は41.4%と高かった。

3) 防除効果

キュウリ灰色かび病に対する防除効果を表46に示した。

表46 散布法の違いとハウス位置別の灰色かび防除効果

調査項目	調査位置	ドリフトレス散布法		慣行法		常温煙霧法		慣行法	
		散布前	散布後	散布前	散布後	散布前	散布後	散布前	散布後
罹病花率 (%)	I	27.5	10.0	12.5	17.5	57.5	27.5	30.0	2.5
	II	17.5	5.0	27.5	27.5	40.0	52.5	20.0	5.0
	III	22.5	12.5	30.0	37.5	10.0	32.5	35.0	0.0
	平均	22.5	9.2	23.3	27.5	35.8	37.5	28.3	2.5
罹病果率 (%)	I	10.0	0.0	15.0	12.5	20.0	12.5	17.5	2.5
	II	0.0	7.5	22.5	25.0	27.5	35.0	12.5	12.5
	III	5.0	7.5	27.5	22.5	20.0	7.5	27.5	5.0
	平均	5.0	3.3	21.7	20.0	22.5	18.3	19.2	6.7
発病株率 (%)	I	70.0	30.0	50.0	50.0	100	80.0	70.0	20.0
	II	40.0	20.0	80.0	70.0	90.0	100	50.0	60.0
	III	50.0	40.0	80.0	80.0	70.0	70.0	60.0	20.0
	平均	53.3	30.0	70.0	66.2	86.7	83.3	60.0	33.3

ドリフトレス散布法では、罹病花率、罹病果率、発病株率とも慣行法と同等ないし優る効果がみられた。

一方、常温煙霧法では、罹病果率と発病株率は平均値でみれば薬剤散布によってやや抑えられたが、罹病花率は薬剤散布後も増加がみられ、慣行法に比較して著しく効果が劣った。調査位置別でみた場合には、ハウス入口の噴霧位置に近く農薬付着量が比較的多かったⅠの位置では、罹病花率、罹病果率は薬剤散布前の約1/2までに抑えられたものの、付着量が少なかったⅡ、Ⅲの位置では全く防除効果はみられなかった。

3. 考 察

(1) 省力防除法と農薬残留の関係

一般に施設栽培では、降雨・風などの気象要因による影響が少ないため、散布農薬の作物残留性が問題となる。そのため、農薬残留量が少なく、しかも防除効果の高い防除法の開発が望まれていた。本検討では、先ず、施設栽培の省力防除法として普及しているFD法、蒸散法、くん煙法、燃烧法および常温煙霧法によって薬剤散布したときのトマトおよびキュウリ果実における農薬残留量を、慣行法である液剤多量散布の場合と比較した。農薬の投下有効成分量は、散布法によっては慣行法より少ない場合もあったが、これを考慮して

もこれら省力防除法で散布したときの TPN, DMTP およびピンクロゾリンの残留量は慣行法に比較して少なかった。他にも足立ら²⁾は常温煙霧法 (DMTP) で、藤本ら¹²⁾はくん煙法 (TPN) で、山本ら¹⁴⁾はくん煙法と FD 法 (TPN) で慣行法よりも残留量は少なかったと報告している。したがって、一般的に省力防除法では慣行法に比較して残留量が少ないことは確かと思われる。しかし、チオファネートメチルの場合、FD 法では慣行法と同等の残留量が認められ、省力防除法の中では残留量が多かった。足立ら²⁾が、DMTP の FD 剤をトマトに散布したときの残留量は、常温煙霧法や慣行法で散布したときに比較して多く、この原因として、FD 剤は粒子落下速度が遅いため気中に長く浮遊し、果実付着量が多くなるとしている。本検討の場合、チオファートメチルの FD 剤の特性に起因するものか、あるいは化合物の物理化学性に基づくものか、その原因は明確でない。一方、イプロジオンのドリフトレス散布法の場合の残留量は、慣行法に比べると若干多い傾向がみられた。これは本散布法が慣行法より薬液の飛散が少ないだけ付着量が多くなって、残留量が増加したと考えられる。

省力防除法での残留量が少ない原因は、慣行法の場合は意図的に作物に集中して散布するのに対して、省力防除法は施設内全体への拡散となるためと思われる。さらに、散布薬剤粒子の大きさや、薬剤の物理化学的特性も関係していると思われる。いずれにしても、省力防除法は、農薬残留の面からみた場合には、より安全な防除手段であるといえる。

(2) 省力防除法と作物体への農薬付着の関係

施設内での散布農薬の作物体付着性と均一拡散性は、病虫害防除効果を高めるうえで重要である。本検討では、トマト葉への農薬付着性をみるため(試験Ⅰ, Ⅱ), シリコングリスを塗布したスライドガラスを用いた。この方法で得られた値は、実際のトマト葉への付着量と大差ないと判断できた(表39, 40)。また、キュウリ葉の場合(試験Ⅲ)は、濾紙を葉面に固定して付着量を求めた。検討の結果から、ドリフトレス散布法での付着量は、慣行法と同等と考えてよいと判断された。しかし、FD 法、燃焼法、くん煙法および常温煙霧法の省力防除法では、トマト葉あるいはキュウリ葉への農薬付着量は慣行法に比較して著しく少なく、また防除機から離れるほど付着量は少なくなった。

以上から、これら省力防除法では薬剤の施設内拡散性が不足することが明らかになった。特に、常温煙霧法(試験Ⅰ)で拡散性が劣ったのは、投下有効成分量が他の散布法に比較して1/3~1/4と少ないことと、供試常温煙霧機が試作機で噴霧薬液を拡散させる送風装置が装備されていなかったことが原因であると考えられた。そこで、キュウリを対象に(試験Ⅲ)、送風機能を備えた常温煙霧機を用いて検討を行ったが、それでも煙霧機から15~25

m離れた所では付着量が少なかった。金子ら⁴⁹⁾は、作物の栽培されていないモデル試験でも常温煙霧法は拡散性が悪かったと報告している。以上の結果から間口6～10mのハウスでは、病虫害防除に必要な薬量の拡散距離は、後述の防除効果と総合的に推定して概ねFD法、燃焼法、常温煙霧法およびくん煙法では20m、蒸散法では30mと考えられる。したがって、省力防除法によってハウスの長辺が30m以上のハウスで防除を行う場合には、少なくともハウスの両側2か所からの散布とするなど、散布方法の改善が必要である。

次に、トマトの生育時期と農薬の葉面付着量の関係についてみると、FD法と燃焼法におけるTPNの付着量を投下有効成分量に対する割合でみたとき、生育後期では少なくなった(表32)。他にも蒸散法でトマトの生育が進み葉面積指数が大きくなると葉面付着量は少なくなったという報告⁸³⁾もあり、これら省力防除法では生育後期の植物体が繁茂した状態では防除に必要な農薬付着量の確保が難しくなることが伺える。また、効果的な病虫害防除を行うためには、葉裏にもできるだけ多くの薬剤付着が必要である。これを判断する方法として、葉の表側の薬剤付着量に対する裏側の付着量割合がよい指標になる。本検討におけるこの割合は、試験Ⅰ、ⅡではFD法2～8%、燃焼法0.4～8%、常温煙霧法0.3%、蒸散法0.3～4%、くん煙法0.5～19%、慣行法1～38%であった。試験Ⅲではドリフトレス散布法2.8%、常温煙霧法41%、慣行法8%となり、いずれの防除法も変動幅が大きかった。また、省力防除法間の違いも判然としなかった。しかし、これらの付着割合は既に広く普及しているサーチ式くん煙器での結果⁸⁴⁾や、モデル試験におけるFD法、くん煙法および燃焼法の報告¹¹⁰⁾と概ね一致しており、下限値からみて省力防除法は慣行法より葉裏付着性は劣ると思われた。今後、作物の生育後期でも付着量が多く、しかも葉裏への付着が多くなるような防除機の開発や防除法の改善に関する研究が望まれる。

(3) 省力防除法と農薬気中濃度

農薬の散布作業において最も危険性の高いのは薬液の吸入である。そのため薬液に直接曝晒しない省力防除法は、安全な防除技術として農業生産現場で期待されていた。しかし、省力防除法で散布したときの農薬気中濃度の比較検討を行った例は若干あるが^{2,110,148)}、いずれもモデル試験の結果であり実際場面に適用するには問題があった。

省力防除法による農薬散布は、作業者の安全性、作物への薬害、さらに散布薬剤の拡散性¹⁵⁴⁾等を考慮して、栽培管理作業が終わりハウス内温度が下がり始める夕方に行われる。また、散布中あるいは散布終了後はハウスを密閉し、翌朝再び管理作業を行うまでそのままの状態にしておくのが一般的である。本検討では、実態に合わせて省力防除法については散布直後の気中濃度は測定せず、翌朝のハウス開放前と開放後の測定とした。

慣行法散布における散布中濃度範囲は、TPN 0.21～223.0, DMTP 0.23, ピンクロゾリン 2.08ng/ℓ であり、散布3～5時間後には DMTP 以外では濃度低下がみられ、TPN は<0.04～7.27, ピンクロゾリンは0.09～0.18ng/ℓ となった。これに対して、省力防除法におけるハウス開放前の気中濃度範囲は、TPN は<0.04～3.09, DMTP は0.47～3.95, ピンクロゾリンは0.05～0.09ng/ℓ であった。これらの濃度は DMTP 以外は概ね慣行法の散布3～5時間後の濃度と等しく、開放後1時間も経過すればさらに濃度は低下し、開放前の1/2～1/3となった。これはハウスの開放による外部空気の流入が原因と思われる。DDVP はか数種の農薬については、気中濃度の安全性の目安として一定の基準が設定されている¹²¹⁾。米村ら¹⁵²⁾は、DDVP をくん煙したとき許容基準値 1 mg/ℓ 以下になるのはくん煙後2時間以降であるとしている。TPN, DMTP およびピンクロゾリンについては基準値が未設定であるので上記の値から安全性についての明確な結論は出せないが、散布作業者がハウス内に入らない省力防除法は、散布中の気中農薬濃度の高い慣行法に比較し、より安全性の高い防除法といえる。しかし、DMTP を省力防除法で散布した場合、ハウス開放前の濃度は、慣行法の散布中～2時間後までの濃度よりも高くなっていた。ハウス開放前の気中濃度には有効成分の蒸気圧の影響が大きいと思われるが、本検討の限りでは一定の関係がみられなかった。

省力防除法間の気中濃度の違いは判然としなかったが、強いていえば FD 法で他の防除法よりも気中濃度が高い傾向がみられた。この原因は FD 剤の極めて軽い微粒子という製剤特性に起因するものと思われる。

(4) 省力防除法と防除効果

トマト葉かび病を対象に、TPN とチオファネートメチルを FD 法、燃焼法および常温煙霧法で散布し防除効果をみた(試験Ⅰ)。FD 法と燃焼法で、慣行法と同等の防除効果がえられた。ただし、燃焼法では防除機から離れた位置(Ⅲ)では罹病小葉率が高く、薬剤付着量の不足が原因と思われた。常温煙霧法では煙霧機の近くでは若干発病抑制がみられたが、全体的に明らかに防除効果が劣った。これは、投下有効成分量が他防除法に比較して少ないことや、この試験に使用した常温煙霧機に噴霧薬液を拡散させる送風装置がなかったために散布むらが生じ、煙霧機から離れた位置では薬量不足となったことが原因と思われた。また、蒸散法、くん煙法および燃焼法についても検討した(試験Ⅱ)。供試薬剤は TPN で、投下有効成分量は各散布法ともほぼ同量であった。防除効果は、各散布法間で統計的に有意な差は認められず、慣行法と同等の防除効果があると判断された。しかし、この場合も防除機から離れた位置では罹病小葉率が高く、薬剤付着量不足のためと思われた。

また、この試験では、慣行法でも若干効果が劣った（表42）が、これは慣行法では多量の水を散布するため岩崎ら⁴⁶⁾の報告のようにハウス内湿度を高め、葉かび病の発生を助長したと思われる。この点に関しては殆ど水を使用しない省力防除法は、特に梅雨時期の高温多湿時に適した防除法であるといえる。

トマト疫病に対しては、FD法、燃焼法および常温煙霧法について検討した。FD法と常温煙霧法では防除効果が劣ったが、原因として、TPN そのものが疫病に対して効果が劣る上に、投下有効成分量が燃焼法や慣行法に比し少ないことがあげられる。山本ら¹⁴⁸⁾も疫病の激発条件下でTPNのFD剤による防除効果は劣り、その理由として本剤の使用基準の散布量では、従来の液剤散布に比し投下有効成分量が少ないことをあげている。

トマト灰色かび病に対してTPNとピンクロゾリンを蒸散法、くん煙法および燃焼法で、またキュウリ灰色かび病に対してプロシミドンを常温煙霧法で散布した。各散布法とも投下有効成分量は慣行法とほぼ同量であった。しかし、トマト灰色かび病の場合はくん煙法と蒸散法で、キュウリ灰色かび病の場合は常温煙霧法で、慣行法に比べて防除効果が劣った。ハウスの位置別のトマトやキュウリ葉への農薬付着状況やスライドガラスへの付着量から推察して、薬剤のハウス内での拡散が不均一で散布むらが大きいことと、作物体付着量が少ないことによる薬量不足が原因であると思われる。一方、キュウリ灰色かび病を対象として、ドリフトレス散布法でイプロジオンを散布した場合には慣行法に優る効果がえられた。これはキュウリ葉への付着量が多いことと、ハウス内位置に関係なく比較的均一に付着し、散布むらが少ないことが原因と思われる。

省力防除法による害虫防除は、FD法と燃焼法でDMTPを散布し、ヒラズハナアザミウマによるトマト白ぶくれ果の発生を調査したが、慣行法と変わらない防除効果がえられた。他にも、オンシツコナジラミを対象にFD法、くん煙法、燃焼法でDMTP, endosulfan, permethrin, propoxur等を散布し、成虫に対しては十分な効果をえたが、幼虫に対する防除効果は液剤多量散布より劣ったという報告⁹⁹⁾や、オンシツコナジラミ成虫を対象にFD法でDMTPを散布し、慣行法よりも優れた防除効果をえたという報告²⁾がある。したがって、省力防除法による害虫防除は、飛翔する害虫に対しては慣行法と同等の効果が期待できるものの、葉裏へ寄生する害虫に対しては、当然ながら裏面への薬剤付着量の多少が効果を左右することになる。

以上の結果から省力防除法による病虫害防除効果は、薬剤の拡散性が悪いために慣行法に比して劣ることが明らかとなった。このため施設栽培での省力防除法では、いかにして薬剤を均一に拡散させ、作物体付着量を多くするかが今後の重要な課題であると思われる。

第3節 常温煙霧法の噴霧方法の改善と防除効果

常温煙霧法は、ハウス片側からの噴霧では薬剤の拡散性に難があり、煙霧機の噴口位置から離れた所では防除効果が劣ることが、前節のトマト葉かび病、疫病およびキュウリ灰色かび病を対象とした試験で明らかになった。そこで、本節では噴霧方法を改善し、施設内での農薬の拡散性と作物体への付着性、並びに防除効果と農薬残留量に及ぼす影響について検討を行った²⁷⁾。

1. 実験材料および方法

(1) 防除効果調査

1) 試験場所

広島県賀茂郡黒瀬町菅田の農家ビニールハウスにおいて1983年に試験した。

2) 対象作物および対象害虫

トマト（品種：ハウストップ）のオンシツコナジラミ成虫とした。

3) 供試農薬および剤型（有効成分量）

DMTP 水和剤（36％）とした。

4) 散布方法および機種名

常温煙霧法は丸山フレッシュハウサー MFH300 を使用し、慣行法（液剤多量散布）は初田ダイヤピストン DM 型動力噴霧機を使用しスズラン噴孔5頭口を着装して散布した。

5) 農薬散布時期・濃度・散布量および供試ハウス

散布時期、濃度および散布量は表47に示した。供試ハウスは間口11m、奥行46mのビニールハウスを用いた。

6) 常温煙霧機の設置場所および噴霧方法

散布時期別の常温煙霧機の設置場所と噴霧方向を図13に示した。噴霧方法は図13に示した位置から、第1回目はハウス片側からの噴霧のみ、第2回目は所定薬液を半量ずつハウス両側からの噴霧とした。第3回目はハウス片側からの噴霧のみとしたが、噴霧途中で換気扇を2分間回した。

7) 調査方法

農薬散布日毎に、散布前および散布1日、3日、7日および14日後に各畝とも2.5m間隔で調査株を選び、各株上位3葉の成虫数を数えた。調査株数は、各ハウス5畝について1

表47 DMTPの濃度及び散布量(10 a 当たり)

散布法	9月20日(第1回)	10月4日(第2回)	10月18日(第3回)
常温煙霧法	40倍液 8ℓ (72g)	40倍液 8ℓ (72g)	40倍液 8ℓ (72g)
慣行法	1000倍液 160ℓ (58g)	1000倍液 200ℓ (72g)	1000倍液 200ℓ (72g)

注) ()内は、投下有効成分量

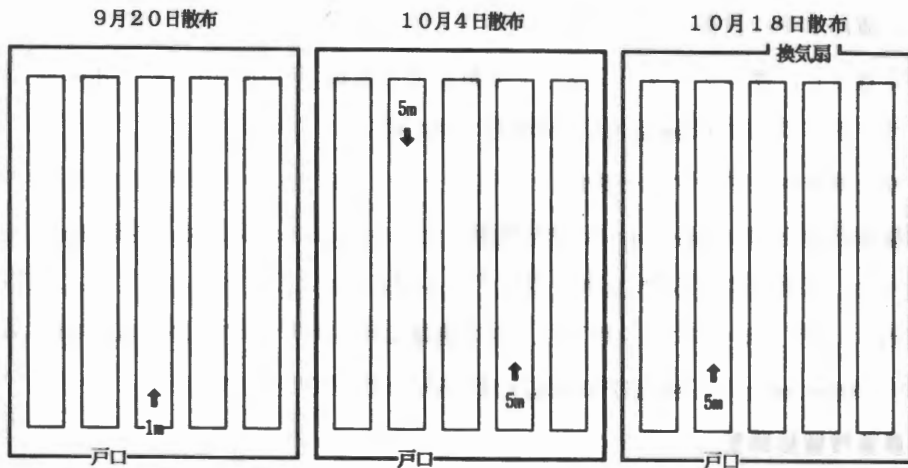


図13 常温煙霧機設置位置及び噴霧方法

←は常温煙霧機設置位置と噴霧方向を示す。

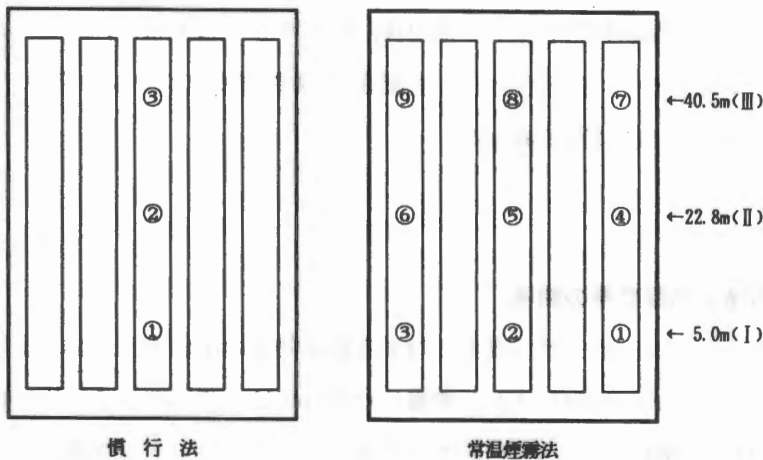


図14 スライドグラス設置位置

畝当たり17株とした。

(2) 農薬付着量調査

1) 調査時期

表47に示した散布日に調査した。

2) 調査方法

調査場所は図14に示したように、ハウス入口(I)、中央(II)、奥(III)のそれぞれ3か所の作条間に、第2節の試験Iの方法により、スライドグラスをトマトの草丈のほぼ半分の高さの位置に水平に設置した。スライドグラスは農薬散布日の翌日に回収し、アセトンで洗浄後定容とし、ガスクロマトグラフで分析して付着量(有効成分量)を求めた。回収率は、スライドグラスに0.5ppm溶液0.5ml塗布で104.6%であった。

3) ガスクロマトグラフィー条件

島津製作所製 FPD 付 GC-4BM 型を使用した。カラムはガラス製、内径3mm、長さ1.5mを用いた。充填剤は5% DC-200/ガスクロムQ、80~100メッシュとした。温度は試料気化室250、カラムオープン190℃とし、ガス流量はキャリアーガス(N₂)40~60ml/min、H₂200、空気60ml/minとし、検出器印加電圧は7.5V(220℃)とした。

(3) 農薬残留量調査

1) 残留分析用試料の採取

第1回、第2回および第3回散布後、それぞれ1日、3日、7日および14日目にハウス全体から無作為に試料を採取し分析に供した。

2) 残留分析法

トマト果実の均質化試料をアセトン抽出後、*n*-ヘキサンに転溶し、フロリジルカラムでクリーンアップ後アセトンで定容とし、上記3)の条件でガスクロマトグラフで定量した。回収率は0.01ppm添加で93.8%であった。

2. 結 果

(1) 噴霧方法と防除効果の関係

噴霧方法とオンシツコナジラミ成虫に対する防除効果の関係を、表48および図15に示した。第1回目のハウスの片側だけから噴霧した場合では、噴霧翌日の平均密度は常温煙霧法では0.3に対し、慣行法では0.4と同等の効果がみられたが、常温煙霧機から離れたII、IIIの位置では生存虫が認められた(図15)。第2回目散布のハウス両側からの半量ずつの噴霧の場合は、慣行法に比べて生存虫の偏りもなく噴霧翌日から第3回目散布直前まで慣行

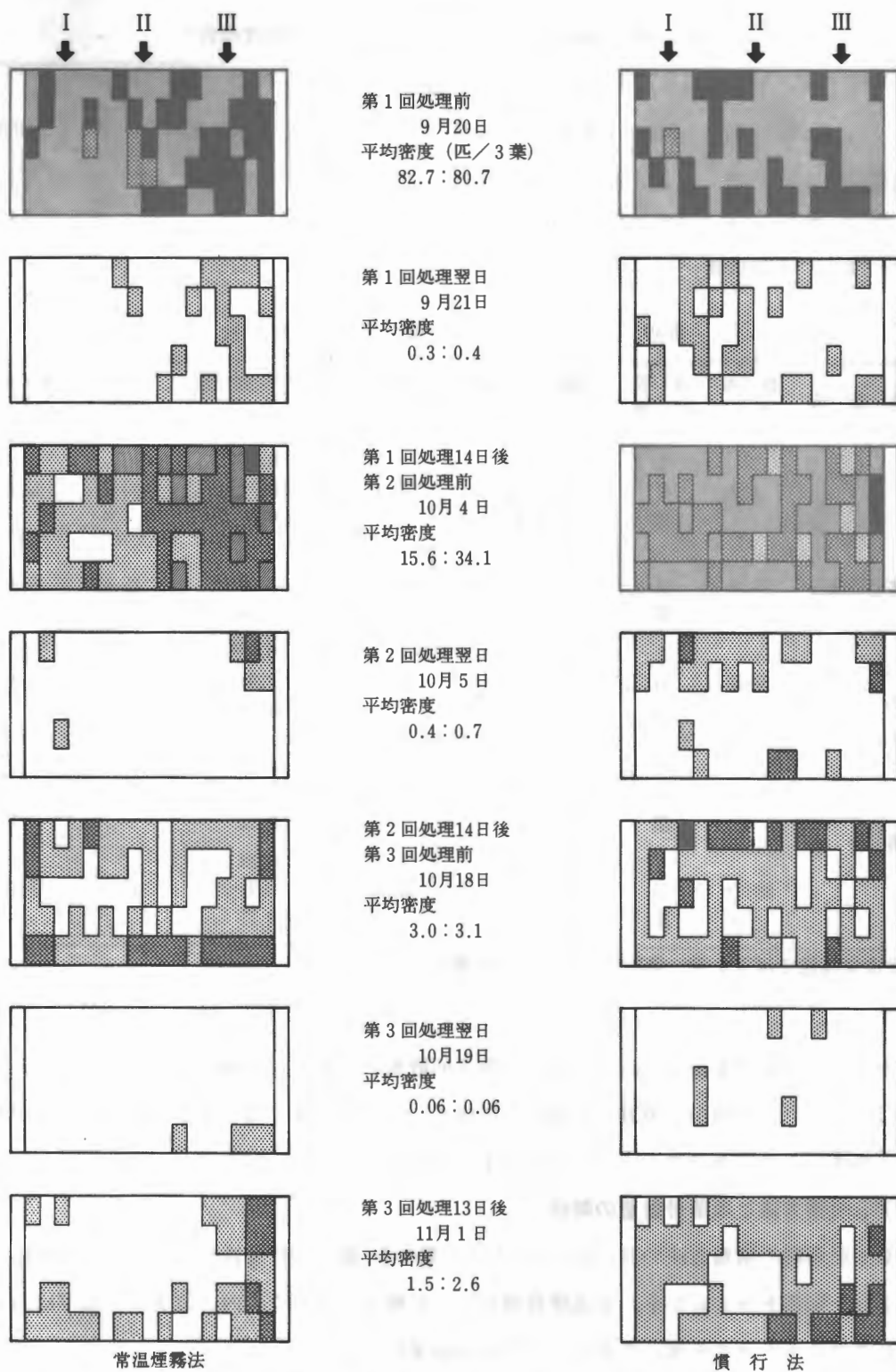


図15 常温煙霧機による噴霧及び慣行散布におけるハウス内のオンシツコナジラミの密度分布

生息密度 □ 0 ▨ 1~5 ▩ 6~25 ▤ 26~100 ■ 100<

表48 DMTP散布後のオンシツコナジラミの密度推移^{a)}

散布法	第1回散布				第2回散布				第3回散布				
	直 前	1日後	3日後	7日後	直 前	1日後	3日後	7日後	直 前	1日後	3日後	7日後	14日後
常温煙霧法	82.7	0.3	2.0	24.2	15.6	0.4	0.1	0.8	3.0	0.1	0.1	0.7	1.5
慣 行 法	80.7	0.4	0.6	10.3	34.1	0.7	0.0	0.7	3.1	0.1	0.0	0.8	2.6

^{a)} 上位3葉当たり平均成虫数

表49 スライドグラス表・裏へのDMTP付着量

散 布 法	散 布 月 日	設 置 位 置	表側平均付着量 ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)	同左CV ^{a)} (%)	裏側平均付着量 ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)	同左CV (%)	裏／表 (%)
常温煙霧法	9/20	I	3.3	90.4	0.16	43.7	5.3
		II	2.5		0.11		
		III	0.4		0.06		
	10/ 4	I	0.4	61.2	0.06	26.5	5.3
		II	1.2		0.08		
		III	2.2		0.06		
	10/18	I	0.9	60.2	0.07	22.5	7.4
		II	1.7		0.08		
		III	0.5		0.08		
慣 行 法	10/ 4	I	1.4	28.5	0.09	11.9	5.0
		II	2.5		0.09		
		III	1.9		0.11		
	10/18	I	0.8	35.3	0.28	42.7	23.1
		II	1.2		0.21		
		III	0.6		0.11		

^{a)} 常温煙霧法では9か所、慣行法では3か所の値

法と同等の防除効果がみられた。また、第3回散布の片側から噴霧して換気扇を回した場合にも、ハウス両側から噴霧した場合と同様に、ハウス全体で慣行法と同等かまたはそれ以上のオンシツコナジラミ成虫の密度低下がみられた。

(2) 噴霧方法と農薬付着量の関係

常温煙霧機の噴霧方法の違いが、DMTPの葉の表・裏への付着性やハウス内拡散性にどのような影響を与えるかを、常温煙霧機からの距離およびハウス内の位置別に水平に設置したスライドグラスを用いて調査し、表49の結果をえた。

9月20日のハウス片側だけからの噴霧では、常温煙霧機に近いⅠの位置の付着量は、表・裏ともに多かったが、常温煙霧機から離れたⅡとⅢの位置では少なかった。付着量の変動

係数 (CV) は表側が90.4%, 裏側が43.7%と大きかった。

これに対して, 10月4日の半量ずつのハウス両側からの噴霧の場合, あるいは10月18日のハウス片側から噴霧し途中から換気扇を回した場合には, 9月20日の片側だけから噴霧した場合に比較して付着量は表・裏とも増加はみられなかったものの, 付着量の CV は, 概ね表側で30%, 裏側で20%それぞれ小さくなり拡散性が改善された。しかし, 表側付着量に対する裏側付着量の割合は, 噴霧方法を変えてもその改善効果は殆どみられなかった。

(3) 噴霧方法と農薬の果実残留量の関係

DMTP のトマト果実における残留量を, 第1回から第3回目散布まで, 散布1日, 3日, 7日および14日後に調査した。残留量の消長はどの散布時期でも同じ傾向がみられたので, 表50には第1回散布と第2回散布後の調査結果を示した。

常温煙霧機で噴霧した場合の残留量は, 慣行法と同等かやや少なかった。また, 散布を重ねることによる残留量の増加は, 両散布法とも見られなかった。DMTP の登録保留基準

表50 トマト果実におけるDMTPの残留量(ppm)

散布法	散布前	第1回散布				第2回散布			
		1日後	3日後	7日後	14日後	1日後	3日後	7日後	14日後
常温煙霧法	<0.002	0.220	0.061	0.093	0.023	0.170	0.221	0.091	0.043
慣行法	<0.002	0.346	0.086	0.089	0.030	0.547	0.385	0.123	0.037

は0.2ppmであり, その安全使用基準は収穫14日前の3回以内であるが, 本試験の結果では散布7日後には登録保留基準以下となった。

3. 考 察

常温煙霧機によるキュウリ灰色かび病の防除試験で, ハウス片側だけから噴霧したときには, 煙霧機から15~25m離れると農薬付着量が少なくなり効果が劣ることが明らかになった。そこで, オンシツコナジラミ成虫を対象に DMTP 剤の噴霧方法を改善し, ハウス内拡散性やトマト葉付着と防除効果およびトマト果実残留量に及ぼす影響について検討した。

噴霧方法の改善法として, ハウスの両側から噴霧する方法と, ハウス片側から噴霧し換気扇でハウス内空気を流動させる方法を試みた。DMTP のトマト葉の葉表と葉裏への付着量および表側付着量に対する裏側付着量の割合とも, 顕著な改善効果はみられなかった。

しかし、ハウス内の薬剤拡散性は、ハウス片側だけからの噴霧の場合に比較すると噴霧位置から離れた位置でも付着量が多くなり、しかも裏側付着量がより均一となった。金子ら⁴⁹⁾もモデル試験で換気扇を回すことによって拡散性が改善されたと報告している。一方、オンシツコナジラミ成虫に対する防除効果は、薬剤のハウス内拡散性とよく一致し、片側だけからの噴霧の場合には噴霧位置の反対側（ハウスの奥）では少数ではあるが生存虫がみられ、散布後日数の経過とともにこの場所を中心として密度回復が認められた(図15)。しかし、ハウス両側からの噴霧やハウス片側からの噴霧で換気扇を回した場合には、生存虫の偏りもなくハウス全体で密度低下がみられ、慣行法と同等以上の防除効果がえられた。また、トマト果実における DMTP の残留量は、噴霧方法に関係なく慣行法と同等かやや少なく、登録保留基準を越えないことも確認された。

以上から、広島県に多い間口 6 m で奥行の長い単棟ハウスに本散布法を導入する場合には、ハウス両側からの噴霧や換気扇の利用は、高い防除効果を得るための必須条件であると考えた。