

殺虫剤ベンフラカルブの活性発現
と作用特性に関する研究

1993. 9

大 岡 憲 生

殺虫剤ベンフラカルブの活性発現 と作用特性に関する研究

大 崎 憲 生

殺虫剤ベンフラカルブの活性発現と作用特性に関する研究

大 崎 憲 生

目 次

緒言	1
第 I 章 ベンフラカルブの物理化学的性質と作用特性	5
1. 物理化学的性質	6
2. 稲体における根への吸着および根からの吸収移行	8
3. 作物の茎葉を加害する害虫に対する活性	16
4. サツマイモネコブセンチュウに対する活性	40
5. 考察	69
第 II 章 ベンフラカルブの塗布処理による生物活性	70
1. 作物の茎葉を加害する害虫に対する活性	70
2. サツマイモネコブセンチュウに対する活性	76
3. 考察	82
第 III 章 ベンフラカルブ粒剤の処理時期とコガネムシ類に対する活性発現	83
1. ベンフラカルブのドウガネブイブイに対する生物活性	84
2. ベンフラカルブ粒剤によるコガネムシ類に対する活性発現	88
3. 考察	101
総合考察	106
摘要	110
引用文献	113
Summary	125

緒 言

近年、環境保全型農業が提唱され、農業にできるだけ頼らず生物的防除や耕種的防除などによって、収量と品質を確保していこうとする努力がなされている。一方、日本の農業は農業とともに発展し、多くの薬剤が収量の安定、品質の向上および労働力の軽減に寄与してきた。また、農家を苦しめてきた防除困難な病害虫の防除手段の主役は、やはり農業であった。しかし、その毒性や環境中への残留性がさまざまな問題をひきおこしてきたのも事実である。それらは、化合物の物理化学的性質や毒性を十分に把握していなかったり、施用技術の未熟さ、農耕地を中心とした生態系や対象病害虫に対する理解不足に起因するものが多かった。農業の研究開発は上記の反省に基づいて、高い性能を求めつつ選択性、低毒性、非残留性を追求し続けている。また、製剤や施用技術の発達もめざましく、安全性が高くより少量で高い効果を発現する方向に進んでいる。このような時代の流れの中で、ベンフラカルブは研究された。

本化合物（化学式： $C_{20}H_{30}N_2O_5S$ ）は大塚化学株式会社で開発された新しいカーバメート系殺虫剤（Fig.1 の構造参照）である。カルボフランから誘導されたものであるが、哺乳動物に対する毒性は親化合物に比べて大幅に軽減され（Takagi, 1989）、かつすぐれた殺虫活性（Goto et al., 1983; Takagi, 1989）を有する浸透移行性殺虫剤である。ベンフラカルブ粒剤は、現在水稻のイネミズゾウムシ、イネドロオイムシ（飯村, 1991）、野菜のミナミキイロアザミウマ、アブラムシ類および難防除害虫であるコナガ等の防除剤（岩田, 1990; 岩田ら, 1991）として広く使用されている。

著者はそのスクリーニングから上市まで、同社の生物科学研究所に所属し生物試験を担当した。スクリーニングの段階では、できるだけ基礎活性が高く、幅広い作用特性を持つ化合物の選択に焦点が合わされた。ここでは、既存薬剤の性能と種々の比較がなされ、最終的にベンフラカルブが選ばれた。このスクリーニングの過程でベンフラカルブを含むいくつかの化合物が、局所施用では親化合物のカルボフランよりも重量比較において、活性が低いにもかかわらず土壤に処理された場合、茎葉を加害する害虫に対して重量比較でもカルボフランと同等の活性を示した（Goto et al., 1988）。著者はこの現象に着目し、ベンフラカルブが土壤処理によって植物を介在し、高い活性が発現されるメカニズムを追求した。また、処理方法の違いによって活性はどのように異なるのか、さらに圃場での活性を検討し、ベンフラカルブの活性発現に関与する要因と、そのかかわり方を明らかにしようとしてきた。本研究は、その結果を中心に展開させたものである。

新しい殺虫剤を研究開発するためには、化合物の物理化学的性質、そして、それが処理される農耕地生態系すなわち気温、降水量、土壤などの自然要因、施肥、灌水、作物の栽培などの人為的な要因、さらに作物を加害する害虫の生態を把握することが、きわめて重要であると考えられる。そして、薬剤の効果発現に関与する種々の要因とそれらのかかわ

り合いを明らかにして、研究の過程に取り入れることによつて、目標とする性質を具備する化合物および効果的な処理方法が見出だされるものと思われる。

本研究の第Ⅰ章では、ベンフラカルブとその親化合物であるカルボフランの物理化学的性質の違いが、両化合物の土壌中での動態および作物による吸収にどのような違いをもたらし、活性発現に反映されてくるのかを検討した。また、線虫に対する作用性の比較についても述べる。第Ⅱ章では、作物が薬剤を取りこむ径路の違いと活性発現の関係について考察した。第Ⅲ章では、薬剤の処理時期が、薬剤の物理化学的性質、天候、作物の生育状態および害虫の発生時期との関係において、どのように害虫の防除に結びつくかというテーマを取り扱った。これらの研究を通して、新規カーバメイト殺虫剤であるベンフラカルブの活性発現に関する効率化がテーマとして浮かび上がり、以下に述べるようにベンフラカルブの作用特性および活性発現に関して興味ある知見が得られた。

ベンフラカルブは親化合物のカルボフランに比べて水溶性が低く、土壌中で水による移動が小さいことが明らかになった。また、イネの根部に吸着されやすく、かつ稲体に取り込まれやすいことが判明した。ベンフラカルブの農業害虫に対する生物活性は、局所施用では親化合物のカルボフランより数倍、ある昆虫に対しては10倍も低いものにもかかわらず、土壌処理により作物を経由して同等の生物活性が示された。その原因について、ベンフラカルブが土壌に処理された場合、害虫防除に関与する有効成分の割合がカルボフランよりも高いことが推察された。

サツマイモネコブセンチュウに対しては、親化合物にはみられない孵化促進作用と、幼虫のトマトの根に対する集合を阻害する活性のあることが見出だされた。ベンフラカルブの作物の茎に対する塗布処理では、粒剤の有効成分の1/10 ~ 1/5で粒剤処理と同等の活性が示され、きわめて効率のよい処理方法であることが判明した。

ドウガネブイブイの幼虫に対しては、コガネムシ類の防除剤として広く使用されているフェンチオンと同等の殺虫活性が示された。また、サツマイモ畑においてベンフラカルブ粒剤の活性発現は処理時期に大きく影響をうけ、ドウガネブイブイ成虫の7月上旬の飛来ピークの6~25日前に茎葉処理すると、高い活性の発現がみられた。いまだ多くの問題を未解決のまま残してはいるが、本研究によって明らかにされた結果が植物防疫学の発展に貢献し、今後の研究に役立つことを期待し発表するしだいである。

本研究のとりまとめに当たって、ご指導とご校閲をいただいた大塚化学株式会社・肥料農業部部長 梅津憲治博士、ならびに東京農工大学助教授 佐藤仁彦博士に深い感謝の意を表する。また入社から数年間に亘って線虫の研究ご指導をいただいた名古屋大学名誉教授（故）弥富喜三博士、ならびに殺虫剤、殺線虫剤の研究ご指導およびご援助をいただいた東京農業大学教授 山本 出博士に厚くお礼申し上げる。さらに研究遂行に当たり、ベンフラカルブの物理化学的性質および稲体への移行試験に関して、多大なご助力と貴重なご意見をいただいた大塚化学株式会社・鳴門研究所・代謝分析研究室長 川田充康氏、ならびに生物試験に関して多くのご教唆とご協力をいただいた同研究所・NB研究室長

青木征男氏を初め各研究員，その他多くの方々に心からお礼申し上げます。

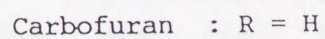
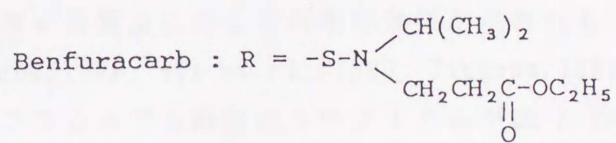
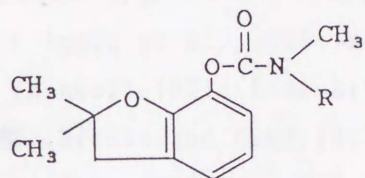


Fig. 1. Structure of benfuracarb and carbofuran.

第 I 章 ベンフラカルブの物理化学的性質と作用特性

内田 (1984) は、農薬の環境中における動態で最も大切な側面は、施用した化合物が土壌、水および植物体の間に分配され活性発現の場に分布していく、すなわち効果を支える過程であろうと述べている。Kishi et al. (1990) は、それぞれへの分配は水溶性、水-オクタノール分配係数 ($\log P_{ow}$)、土壌への吸着などの物理化学的性質によって推定可能であると報告している。重松 (1988) も、農薬が実際場面で使われた場合環境中を移動、拡散し、さらには各種の分解過程を経て環境から消失して行くが、化合物の物理化学的性質に基づいて、活性、薬害、残留面での特徴や問題点の予測がある程度可能であると述べている。以上のことからベンフラカルブの物理化学的性質を明らかにすることは作用特性を把握する上で必須であると思われる。

カルボフランおよびベンフラカルブの生物活性については、多くの研究が行われており要約すると以下のとおりである。カルボフランは殺虫スペクトラムが広く (Homeyer, 1975) 接触作用を有し土壌害虫 (Apple et al., 1969; Mistic et al., 1969; Reynolds and Pless, 1977; Harris and Turnbull, 1977; Kinoshita et al., 1978; Gorder et al., 1980; Sutter, 1982) および線虫類 (Brodie and Good, 1973; Disanzo, 1973; Roades, 1974, 1983, 1984; Miller, 1978; Damadzadeh and Haguc, 1979; Gichure and Ondieki, 1984) に対して優れた防除効果を示す。また、植物に対して浸透移行性があり (Homeyer, 1975)、土壌処理によって茎葉を加害する害虫に対しても防除効果が示される (IRRI Annual report, 1978; Noor and Pareek, 1978; Ali et al., 1980; Tippins, 1981; Pillai and Nair, 1984, 1985)。一方、ベンフラカルブも同様にスペクトラムが広く (Goto et al., 1983; 梅津, 1989; Takagi, 1989)、接触作用を有し土壌害虫に優れた効果を示す (Goto et al., 1983; Percivall et al., 1984; 青木ら, 1989; 梅津, 1989)。また、種子処理によっても高い効果が示されている (Singh and Thobbi, 1982; Pawar et al., 1984)。さらに、カルボフランと同様に植物に対して浸透移行性があり (Takagi, 1989)、土壌に処理されて茎葉を加害するアブラムシ類、コナガ (梅津, 1989; 岩田, 1990; 岩田ら, 1991) 等に優れた効果を持ちイネミズゾウムシ等 (飯村, 1991) の水稻害虫にも卓効が示される。

この章では、ベンフラカルブは親化合物のカルボフランに比べて、物理化学的性質がどのように異なるのか、またそれらの違いが土壌中での動態と作物を介在して、生物活性にいかに関与してくるのかを検討した。一方、作用特性に関しては、カルボフランとの共通点および相違点を中心課題にして、作物の茎葉を加害する害虫と根を加害するサツマイモネコブセンチュウについて検討した。

1 物理化学的性質

Table 1 に、大塚化学で測定されたベンフラカルブおよびカルボフランの物理化学的性質を示した（カルボフランの水溶性と蒸気圧は文献から引用）。尚、ベンフラカルブの土壌吸着平衡定数（ K_{oc} ）は、本化合物が水溶液中で不安定なため測定不可能であった。

水溶性（WS）：ベンフラカルブの水溶性は8.1ppm(20℃)であり、カルボフランは700ppm(25℃)である。物質の環境中における移動度および残留性は、水溶性によって大きく左右される（重松, 1988）ことからベンフラカルブの土壌中での動態はカルボフランと異なることが推察される。

蒸気圧（mmHg）：ベンフラカルブの蒸気圧はカルボフランおよび他の土壌処理剤フェンチオン（ 3×10^{-5} mmHg, 20℃）* やダイアジノン（ 1.4×10^{-4} mmHg, 20℃）* と比較して低かった。

分配係数（LogPow）：ベンフラカルブの分配係数はカルボフランよりも大きく、疎水性は増大したものと思われる。分配係数は、植物系への取り込み（Briggs, 1982）や生物濃縮（Uchida et al., 1982）に關与し、土壌吸着や稲体での化合物の動きにも關する（Uchida and Suzuki, 1983）と報告されている。

土壌吸着平衡定数（ K_{oc} ）：金沢（1990）は一般に水に溶解しやすい化合物ほど土壌に吸着されにくく、小さい K_{oc} を示し、土壌表層から土中へ浸透しやすいと述べている。ベンフラカルブは直接 K_{oc} を測定することはできなかったが、親化合物に比べて水溶性が低いことから土壌に吸着されやすく、土壌中で動きにくい化合物であると考えられる。

本化合物はカルボフランと比較して水溶性および蒸気圧が低く、分配係数は高く疎水性が増大したものと思われる。

* 富沢ら（1989）

Table 1. Physicochemical properties of benfuracarb
and carbofuran

Physicochemical property	Benfuracarb		Carbofuran
Water solubility	8.1 ppm(20 °C)	<100 ppm(25 °C)	700 ppm(25 °C) *
Vapor pressure	2.7×10^{-7} mmHg(20 °C)	$<2.0 \times 10^{-5}$ mmHg(33 °C)	2.0×10^{-5} mmHg(33 °C) *
Log Pow	4.301 (21±1 °C)	>2.0 (25 °C)	1.6 (25 °C)
Koc	-	-	0.688 (25 °C)

* Tomizawa et al.(1989)

2 稲体における根への吸着および根からの吸収移行

材料および方法

材料

ベンフラカルブ：分析用標品，純度97.5%

カルボフラン：分析用標品，純度99.9%

イネ：こしひかり，播種後14日経過

界面活性剤：北広油研工業（株）製 KP1590

大塚ハウス1号：大塚化学（株），養液栽培用肥料（N:10%， P_2O_5 :8%， K_2O :27%， MgO :4%， MnO :0.1%， B_2O_3 :0.1%，Fe:0.18%）

大塚ハウス2号：大塚化学（株），養液栽培用肥料（N:11%，CaO:23%）

pHアップー水耕栽培用pH調節剤：大塚化学（株）製

水耕液の調製

ベンフラカルブ100 ppm 添加水耕液は，ベンフラカルブ0.1gを界面活性剤KP1590を0.1g含むアセトニトリル2mlに溶解し，これを大塚化学（株）製大塚ハウス1号1.5gを脱イオン水1lに溶解したものに大塚化学（株）製pH調節剤pHアップを添加してpH8.0に調製した水耕液に加えて，ベンフラカルブ100ppmを含む水耕液を調製した。

同様の方法で，ベンフラカルブ5 ppm 添加水耕液，カルボフラン100ppm添加水耕液，カルボフラン5 ppm 添加水耕液を調製した。

試験操作

各水耕液をそれぞれ20mlずつ6本の50ml容のサンプル管に入れ，これにそれぞれ稲10本を加えその根部を浸せきした。各サンプル管は下部2/3をアルミホイルで覆い温度28°Cに設定した植物培養装置に置いた。浸せきして1，2，4，6，16および24時間後にそれぞれ1個のサンプル管を取り，すべての稲を取り出し，根部を20mlの脱イオン水で洗浄し，水耕液と合わせた。稲はさらにアセトニトリル20mlで洗浄したのち，根部および茎葉部に分けた。水耕液，洗浄液，稲体はそれぞれ含まれるベンフラカルブまたはカルボフランの分析に供した。

分 析

水耕液および洗浄液

水耕液と脱イオン水洗浄液は合わせて50mlに定容し，5 ppm 添加の場合は直接，100ppm添加の場合はアセトニトリルで希釈後HPLCを用いて分析を行った。なお，HPLCの分析条件はTable 2に示した。

アセトニトリル洗浄液

アセトニトリル洗浄液は濃縮後，3mlに定容して5 ppm 添加の場合は直接，100ppm添加の場合はアセトニトリルで希釈後HPLCを用いて分析を行った。

稲体

稲体は根部および茎葉部に分け、それぞれpH8.0の0.01Mリン酸緩衝溶液5ml、メタノール20mlおよび0.1%のNEM（N-エチルマレイミド）を含むメタノール溶液2mlを添加したのち、20分間振とう抽出後、ろ過した。NEMは分析操作中のベンフラカルブの分解を防止するために添加した。ろ液は減圧濃縮により溶媒を留去したのち、ジクロロメタン10ml、水5mlを加え、分配抽出しジクロロメタン層を取った。水層にはジクロロメタン10mlを加えたのち分配抽出し、ジクロロメタン層を取った。ジクロロメタン層は合一し、乾燥後濃縮し、ジクロロメタン3mlでシリカゲルボンドエートカラムに移し、酢酸エチルーヘキサン（2：8）10mlで溶出し、ベンフラカルブおよびカルボフランを含む画分をそれぞれ得た。各画分は濃縮後、ベンゼン溶液とし、GC-FTDを用いてベンフラカルブおよびカルボフラン量を求めた。なお、GCでの分析条件はTable 3に示した。

結果および考察

結果をTable 4～7に示した。ベンフラカルブ溶液では、経時的にカルボフラン濃度が増加した。浸せき時間が1時間の場合、ベンフラカルブ100ppm溶液では洗浄液に4.1%、根部と茎葉部を合わせて2.4%が検出された。5ppmでは、それぞれ5.7%、6.6%が検出された。一方、カルボフラン溶液では、100ppmの場合、洗浄液に0.4%、根部と茎葉部を合わせて0.7%、5ppmではそれぞれ0.5%、1.0%であった。以上のことから、ベンフラカルブは根への吸着および根からの吸収率がカルボフランよりも高いことが判明した。

経時的な稲体への移行量については、水耕液のpHがイネの浸せき時間の経過に従って酸性に傾き、これによってベンフラカルブが化学的に分解することのために解析は困難であった。

根から茎葉への移行に関しては、ベンフラカルブの場合、根部に存在する割合が茎葉部存在する割合よりも常に大きかった。一方、カルボフランでは茎葉部の割合が経時的に増大し、100ppm溶液では24時間後、5ppm溶液では16時間後に茎葉部に存在する割合が根部に存在の割合よりも大きくなった。このことから、根から茎葉への移行性は、カルボフランの方がベンフラカルブよりも高いことが示唆された。Umetsu (1986) は、ベンフラカルブは、植物体でカルボフランに変換されることを明らかにしていることから、吸収されたベンフラカルブが根で、移行性が高くかつ殺虫性の高いカルボフランに変換され茎葉に移行することが考えられる。

Table 2. Type of H P L C and analytcal conditions

Type

Shimazu HPLC : LC-6A system
 System controller : SCL-6B
 Liquid chromatography pump : LC-6A
 UV ditector : SPD-6A
 Column oven : CT0-6A
 Auto injector : SIL-6B
 Integrator : Chromatopach C-R4A

Analytical condition

Column : Zorbax BP ODS(ϕ 4.6mm \times 25cm)
 Mobil phase : Acetonitrile-Water(80:20) Benfuracarb
 Acetonitrile-Water(50:50) Carbofuran
 Flow rate of carrier liquid : 1.0ml/min
 Column temp. : 55 $^{\circ}$ C
 Injection volume(Load) : 10~20 μ l
 Detective weve length : UV-280nm

Table 3. Type of GC and analytical conditions

Type

Shimazu gas chromatograph : GC-7AG

Detector : FTD

Analytical condition

Column : SPB TM-1 0.53mm I.D. x 15m

Injection port temp. : 270 °C

Column temp. : 220 °C Benfuracarb

140 °C Carbofuran

Injection volume(Load) : 5 µl

Carrier gas : He 30ml/min

Make-up gas : He 40ml/min

Table 4. Amount and percentage of benfuracarb and carbofuran in hydroponic liquid, washing liquid and rice seedlings to the application rate after dipping of the root part in benfuracarb solution(100ppm)

Dipping time(hr)	pH						Carbofuran ¹⁾			
			HL ²⁾	WL ³⁾	R ⁴⁾	SL ⁵⁾	HL	WL	R	SL
1	7.52	Amount(μ g)	1372	82	49	7	49.4	3.5	3.8	1
		% ⁶⁾	68.6	4.1	2.0	0.4	2.5	0.2	0.2	<0.1
2	7.25	Amount(μ g)	1270	77	7	1	99.7	6.7	2.2	2
		%	63.5	3.9	0.4	<0.1	5.0	0.3	0.1	0.1
4	7.15	Amount(μ g)	916	115	7	2	95.5	10.1	1.5	1
		%	45.8	5.8	0.3	0.1	4.8	0.5	0.1	0.1
6	7.06	Amount(μ g)	1238	118	122	0	161.0	6.0	14.1	2
		%	44.8	5.9	6.1	<0.1	8.1	0.3	0.7	0.1
16	6.86	Amount(μ g)	640	107	135	1	221.8	2.1	31.9	5
		%	32.0	5.4	6.8	0.1	11.1	0.1	1.6	0.3
24	6.81	Amount(μ g)	663	35	48	4	300.1	4.5	36.0	10
		%	33.1	1.8	2.4	0.2	15.0	0.2	1.8	0.5

¹⁾ Conversion to benfuracarb.

²⁾ Hydroponic liquid.

³⁾ Washing liquid.

⁴⁾ Root part.

⁵⁾ Stem and leaf part.

⁶⁾ Percentage to the application rate.

Table 5. Amount and percentage of benfuracarb and carbofuran in hydroponic liquid, washing liquid and rice seedlings to the application rate after dipping of the root part in benfuracarb solution(5ppm)

Dipping time(hr)	pH		HL ²⁾	WL ³⁾	R ⁴⁾	SL ⁵⁾	Carbofuran ¹⁾			
							HL	WL	R	SL
1	7.47	Amount(μ g)	66.6	5.7	6.5	0.1	<0.1	<0.1	0.5	0.2
		% ⁶⁾	66.6	5.7	6.5	0.1	<0.2	<0.2	0.5	0.2
2	7.37	Amount(μ g)	62.5	6.5	7.7	0.2	<0.1	<0.1	0.6	0.3
		%	62.5	6.5	7.7	0.2	<0.2	<0.2	0.6	0.3
4	7.12	Amount(μ g)	45.9	5.5	1.9	0.2	14.4	0.2	0.3	0.2
		%	45.9	5.5	1.9	0.2	14.4	0.2	0.3	0.2
6	7.00	Amount(μ g)	38.8	5.2	5.5	0.5	21.0	0.2	1.1	0.5
		%	38.8	5.2	5.5	0.5	21.0	0.2	1.1	0.5
16	6.96	Amount(μ g)	27.9	4.7	6.5	0.4	44.2	0.4	1.6	1.4
		%	27.9	4.7	6.5	0.4	44.2	0.4	1.6	1.4
24	6.84	Amount(μ g)	14.6	1.5	1.5	0.1	47.2	0.2	1.4	0.9
		%	14.6	1.5	1.5	0.1	47.2	0.2	1.3	0.9

1) Conversion to benfuracarb.

2) Hydroponic liquid.

3) Washing liquid.

4) Root part.

5) Stem and leaf part.

6) Percentage to the application rate.

Table 6. Amount and percentage of carbofuran in hydroponic liquid, washing liquid and rice seedlings to the application rate after dipping of the root part in carbofuran solution(100ppm)

Dipping time(hr)	pH		Concn. of carbofuran			
			HL ¹⁾	WL ²⁾	R ³⁾	SL ⁴⁾
1	7.50	Amount(μ g)	1985	8	12	2
		% ⁵⁾	99.2	0.4	0.6	0.1
2	7.36	Amount(μ g)	1952	8	20	5
		%	97.6	0.4	1.0	0.3
4	7.15	Amount(μ g)	1942	8	15	6
		%	97.1	0.4	0.8	0.3
6	7.06	Amount(μ g)	1940	9	13	11
		%	97.0	0.4	0.6	0.5
16	6.98	Amount(μ g)	1880	8	21	15
		%	94.0	0.4	1.0	0.7
24	6.88	Amount(μ g)	1883	7	24	36
		%	94.2	0.3	1.2	1.8

¹⁾ Hydroponic liquid.

²⁾ Washing liquid.

³⁾ Root part.

⁴⁾ Stem and leaf part.

⁵⁾ Percentage to the application rate.

Table 7. Amount and percentage of carbofuran in hydroponic liquid, washing liquid and rice seedlings to the application rate after dipping of the root part in carbofuran solution(5ppm)

Dipping time(hr)	pH		HL ¹⁾	WL ²⁾	R ³⁾	SL ⁴⁾
		Amount(μ g)	95.86	0.46	0.8	0.2
1	7.49	% ⁵⁾	95.9	0.5	0.8	0.2
		Amount(μ g)	98.32	0.45	1.4	0.3
2	7.28	%	98.3	0.5	1.4	0.3
		Amount(μ g)	99.87	0.70	1.1	0.5
4	7.04	%	99.9	0.7	1.1	0.5
		Amount(μ g)	97.84	0.87	1.0	0.7
6	7.03	%	97.8	0.9	1.0	0.7
		Amount(μ g)	95.86	0.61	1.4	1.6
16	6.88	%	95.9	0.6	1.4	1.6
		Amount(μ g)	98.38	0.70	0.6	0.8
24	6.79	%	94.4	0.7	0.2	0.8

¹⁾ Hydroponic liquid.

²⁾ Washing liquid.

³⁾ Root part.

⁴⁾ Stem and leaf part.

⁵⁾ Percentage to the application rate.

3 作物の茎葉を加害する害虫に対する活性

3-1 カルボフランとの活性比較

材料および方法

供試虫

ツマグロヨコバイ (*Nephotettix cincticeps*) は宮城県産の感受性系統を1981年に香川県農業試験場から入手した。トビイロウンカ (*Nilaparvata lugens*) は1980年に香川県の高松市で採集したものを1981年に香川県農業試験場から入手した。セジロウンカ (*Sogatella furcifera*)、ヒメトビウンカ (*Laodelphax striatellus*)、ハスモンヨトウ (*Spodoptera litura*) およびモモアカアブラムシ (*Myzus persicae*) は1981年に徳島県鳴門市の大塚化学(株)試験圃場から採集した。ツマグロヨコバイ、トビイロウンカ、セジロウンカおよびヒメトビウンカは $25 \pm 1^\circ\text{C}$ 、16時間照明下でイネ幼苗で飼育された。なお、イネ苗は1週間に1度取り替えられた。ハスモンヨトウはOyama and Kamano (1976) による人工飼料で、また、モモアカアブラムシはキャベツの葉で、ウンカ類と同じ条件下で飼育された。

供試薬剤

ベンフラカルブの原体(93%)は大塚化学(株)鳴門研究所で合成された。5%粒剤および60%乳剤は上記の原体を用いて製剤された。カルボフランの原体(95%)は、アメリカで市販されている5%粒剤から抽出・精製した。メソミル、プロポキサーおよびダイアジノンの原体(99%)は和光純薬工業(株)製のものをを用いた。ダイアジノンの粒剤は市販のものをを用いた。

局所施用法 (LD_{50} の算出)

各化合物の LD_{50} を求めるための局所施用法は一般に用いられているMetcalf and March (1949)の方法を改変した方法で行った。すなわち、ツマグロヨコバイとウンカ類の場合には、各化合物のアセトン溶液を、ツマグロヨコバイには $0.5 \mu\text{l}$ 、ヒメトビウンカには $0.25 \mu\text{l}$ 、セジロウンカには $0.05 \mu\text{l}$ を羽化後3~5日間経過した雌成虫の腹部背面に、Arnold Hand Microapplicatorを用いて施用した。処理した虫はイネ苗を入れたプラスチック製のカップ(直径8mm, 高さ4cm)に10頭ずつ入れ、 $25 \pm 1^\circ\text{C}$ で1日当たり16時間照明の条件下に置き、24時間後に生死を調査した。ハスモンヨトウの場合には、各化合物のアセトン溶液 $1.0 \mu\text{l}$ を4令幼虫の腹部背面に施用した。処理した幼虫は人工飼料を入れた前述のプラスチックカップに入れ、同様の手続きで生死を調査した。試験は6反復で行った。

セジロウンカに対するポット試験

セジロウンカに対する殺虫活性は、ポットに定植されたイネ苗を用いて次のようにして調査した。茎葉散布試験の場合は各化合物の25~100ppm溶液(アセトン5%水溶液)10mlをプラスチックポット(直径12cm)に定植された5本の播種25日後のイネ苗(約14~15

cmの草丈、2.5 葉期)に散布した。なお、化合物の根からの吸収によるイネ苗への取りこみを防ぐために、薬液の散布前にポットの土壌面をペーパータオルで覆った。散布後イネ苗にステンレス製の網カゴ(直径10cm、高さ20cm)をかぶせ上部の穴(直径 7mm)からセジロウンカの雌成虫をポット当たり10頭放飼してガラスハウス内に置き、24時間後に生死を調査した。試験は3反復で行った。粒剤の場合は、所定量をポットの土壌面に施用し網カゴをかぶせて、散布試験の場合と同様にしてセジロウンカに対する殺虫活性を調査した。

モモアカアブラムシに対するポット試験

所定の濃度に希釈したベンフラカルブ60%乳剤の水溶液10mlおよび5%粒剤23mgをダイコンの播種15日後の苗(高さ約 8~12cm)が1本定植されたポット(直径12cm)の土壌に処理した。経時的にモモアカアブラムシの無羽雌成虫を各ポットのダイコンの葉上に10頭づつ放飼し、24時間後に生存虫を取り除きながら寄生虫数を調査した。なお、調査時には幼虫がみられたポットもあった。試験は6反復で行った。

結 果

局所施用による活性

結果をTable 8に示した。ベンフラカルブの殺虫活性はツマグロヨコバイ、トビイロウンカ、セジロウンカ、ヒメトビウンカおよびハスモンヨトウのいずれの供試虫に対しても、プロポキサールのハスモンヨトウの値を除いて、カルボフランおよび他のカーバメート化合物の殺虫活性と比較して低い値しか示されなかった。

セジロウンカに対する殺虫活性

茎葉散布試験の結果をTable 9に、粒剤処理試験の結果をTable 10に示した。茎葉散布ではセジロウンカに対して100ppmで53%の死虫率が示され、ダイアジノンの24%より高い殺虫活性が示された。しかし、親化合物のカルボフランの97%の死虫率と比べると殺虫活性は低かった。一方、ベンフラカルブ5%粒剤は初期の活性(処理1日および7日後)はやや低かったが、処理10, 14, および24日後にはカルボフランおよびダイアジノンの5%粒剤と比べて同等かあるいはそれ以上の殺虫活性が示された。

モモアカアブラムシに対する殺虫活性

結果をTable 11に示した。ベンフラカルブ乳剤の土壌処理は、2.0 kg a.i./haの処理量でモモアカアブラムシに対して処理1~7日後にカルボフラン5%粒剤と同等の高い殺虫活性が示され、1日後から3日後まではベンフラカルブ5%粒剤より高い活性が示された。以上のようにベンフラカルブは粒剤あるいは乳剤で土壌に処理された時に、重量換算で親化合物のカルボフランと同等の高い活性が示された。ベンフラカルブの分子量は410.5 (Takagi, 1989)でカルボフランの分子量221.3 (Homeyer, 1975)と比較すると約2倍である。このことからベンフラカルブは土壌に処理された時に、カルボフランに比較してモル比換算ではより高い活性が示されることが判明した。

Table 8. Topical LD₅₀ values (μ g/g) of benfuracarb and other carbamate insecticides against different insect pests

Insecticide	Green rice leafhopper	Brown rice planthopper	Whitebacked rice planthopper	Small brown planthopper	Common cutworm
Benfuracarb	9.9	8.5	5.4	3.2	284
Carbofuran	3.9	1.1	0.6	0.32	124
Methomyl	2.7	5.7	5.0>	3.0>	0.95
Propoxur	5.5	4.3	0.6	1.5	436

Table 9. Insecticidal activity of benfuracarb and other insecticides against whitebacked rice planthoppers on potted rice plants:foliar application

Insecticide **	24 hr mortality(%) *		
	100 ppm	50 ppm	25 ppm
Benfuracarb	53 b	20 b	6 b
Carbofuran	97 a	67 a	24 a
Diazinon	24 c	6 b	0 b

* Means within the same column followed by the same letter are not significantly different at 5% level using Duncan's Multiple Range Test.

** Technical grade(benfuracarb, carbofuran) or analytical grade(diazinon).

Table 10. Isecticidal activity of benfuracarb and other insecticides
against whitebacked rice planthoppers on potted rice plants:
granular application

Insecticide	Dose (kg a.i. / ha)	24 hr mortality (%) * after release of the insect at indicated date				
		1	7	10	14	24
Benfuracarb (5G)	1.0	62 b	88 a	93 a	82 a	13 a
Carbofuran (5G)	1.0	93 a	97 a	87 a	67 a	10 a
Diazinon (5G)	1.0	93 a	97 a	93 a	60 a	3 a

For symbols see Table 9.

Table 11. Insecticidal activity of benfuracarb against green peach aphids on potted radish following soil application of granular or emulsifiable concentrate formulation

Insecticide	Dose (kg a.i./ha)	24 hr mortality (%) * after release of the insect at indicated date				
		1	3	5	7	11
Benfuracarb						
(60EC)	2.0	96 a	100 a	-	100 a	-
(5G)	2.0	35 b	69 b	93 a	97 a	100 a
Carbofuran						
(5G)	2.0	49 b	82 ab	100 a	100 a	100 a

For symbols see Table 9.

考 察

ベンフラカルブはプロカーバメート殺虫剤 (Umetsu, 1986) であり, 本来的には活性のない化合物であると考えられている。しかし, 生物学的あるいは化学的作用で活性を有するカルボフランあるいはその関連化合物 (Usui and Umetsu, 1986) に変化する。ベンフラカルブの分子量はカルボフランのおおよそ2倍であり, 重量換算で同量施用された時にはカルボフランよりも活性は低いと考えられる。事実, 何種類かの害虫に対して局所施用や茎葉散布ではカルボフランよりも低い活性が示された。しかし, 今回のセジロウンカおよびモモアカアブラムシに対するポット試験をはじめとして他の多くの試験において, ベンフラカルブが土壌に処理された場合には, たとえ重量換算でカルボフランと同量であっても同等か, ある場合にはカルボフランよりも高い活性が示されている。以上の原因には, ベンフラカルブがカルボフランに比べて作物に取り込まれやすいことが考えられるが, 両化合物の土壌中での動態が異なることが予想されることから, 土壌と活性発現の関係について検討することが必要であると思われる。

3-2 土壌を介在した活性

ベンフラカルブが土壌に処理されたときに高い活性が発現される原因を明らかにするために、ヒメトビウンカを用いて親化合物のカルボフランとの活性を比較した。

3-2-A 閉鎖系での活性

材料および方法

徳島県産の植壤土（砂45.5%，シルト36.6%，粘土17.9%；C.E.C. 7.8mEq/100g；全炭素量0.75%；pH5.4）3gをガラス製のサンプルビン（直径2.6cm，高さ5.5cm）に入れ、 $1.98 \times 10^{-5} \text{M}$ のベンフラカルブ（8.0ppm）あるいは $1.98 \times 10^{-5} \text{M}$ のカルボフラン（4.3ppm）水溶液5mlを加えた。サンプルビンの中に播種15日後のイネ幼苗を移しパラフィルムで固定した。このサンプルビンの上部にガラス管（直径2.6cm，高さ15cm）を乗せ、ガラスビンとガラス管をセロハンテープで固定した。上記の状態では $25 \pm 2^\circ \text{C}$ 、16時間照明下に24時間放置後、このガラス管の中にヒメトビウンカ雌成虫10頭を放飼し、上部をガーゼで覆い24時間後に生死を調査した。以後、9日後まで経時的にウンカを放飼し生死を調査した。試験は5反復で行った。以後、この方法をヒメトビ・シリンダー法と称する（Fig.2, Method 1）。

結 果

Fig.3 から明らかなように、全試験期間を通じてベンフラカルブはカルボフランと同等の活性を示した。このことから、有効成分の流出のない閉鎖系においてはベンフラカルブは等モルでカルボフランと同等の活性を発現すること、言い換えれば重量換算ではカルボフランより低い活性しか示さないことが明らかとなった。

3-2-B 土壌に処理されたベンフラカルブの活性発現と水との関係

閉鎖系の実験からはベンフラカルブが土壌処理された場合に、等薬量（重量）でカルボフランと同等、あるいはそれ以上の活性が示されることを説明することは不可能である。一方、ポット試験や実際の圃場では、土壌中での水の移動が考えられる。そこで、土壌に処理されたベンフラカルブの活性発現と水との関係を検討するために以下の実験を行った。

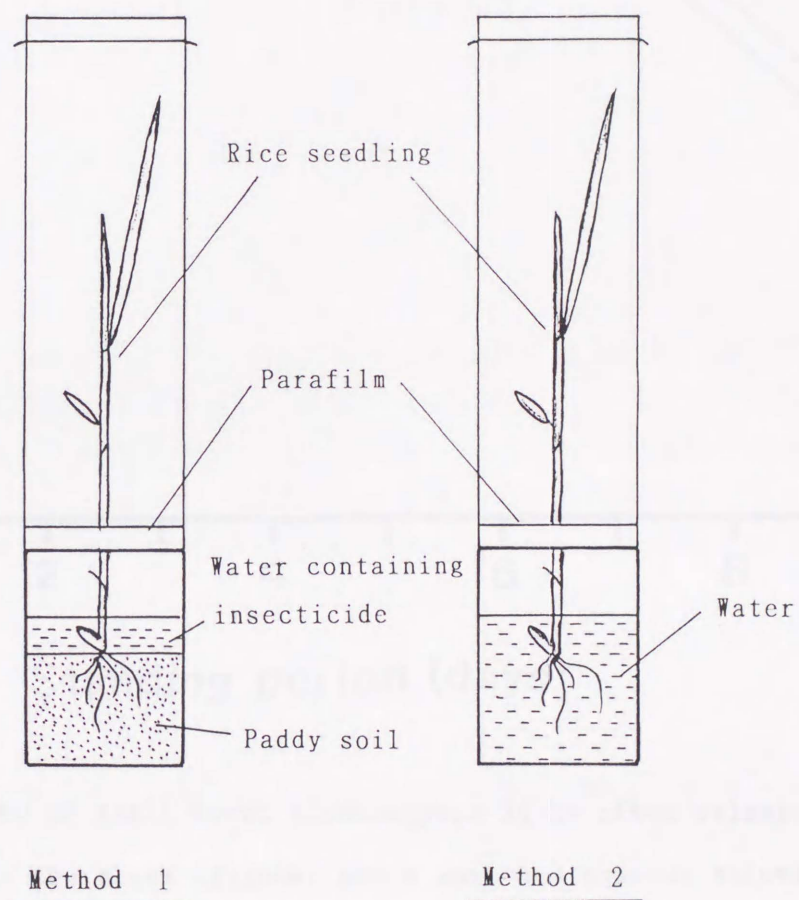


Fig.2. Sylinder method for measurement of insecticidal activity against small brown planthoppers on rice seedling.

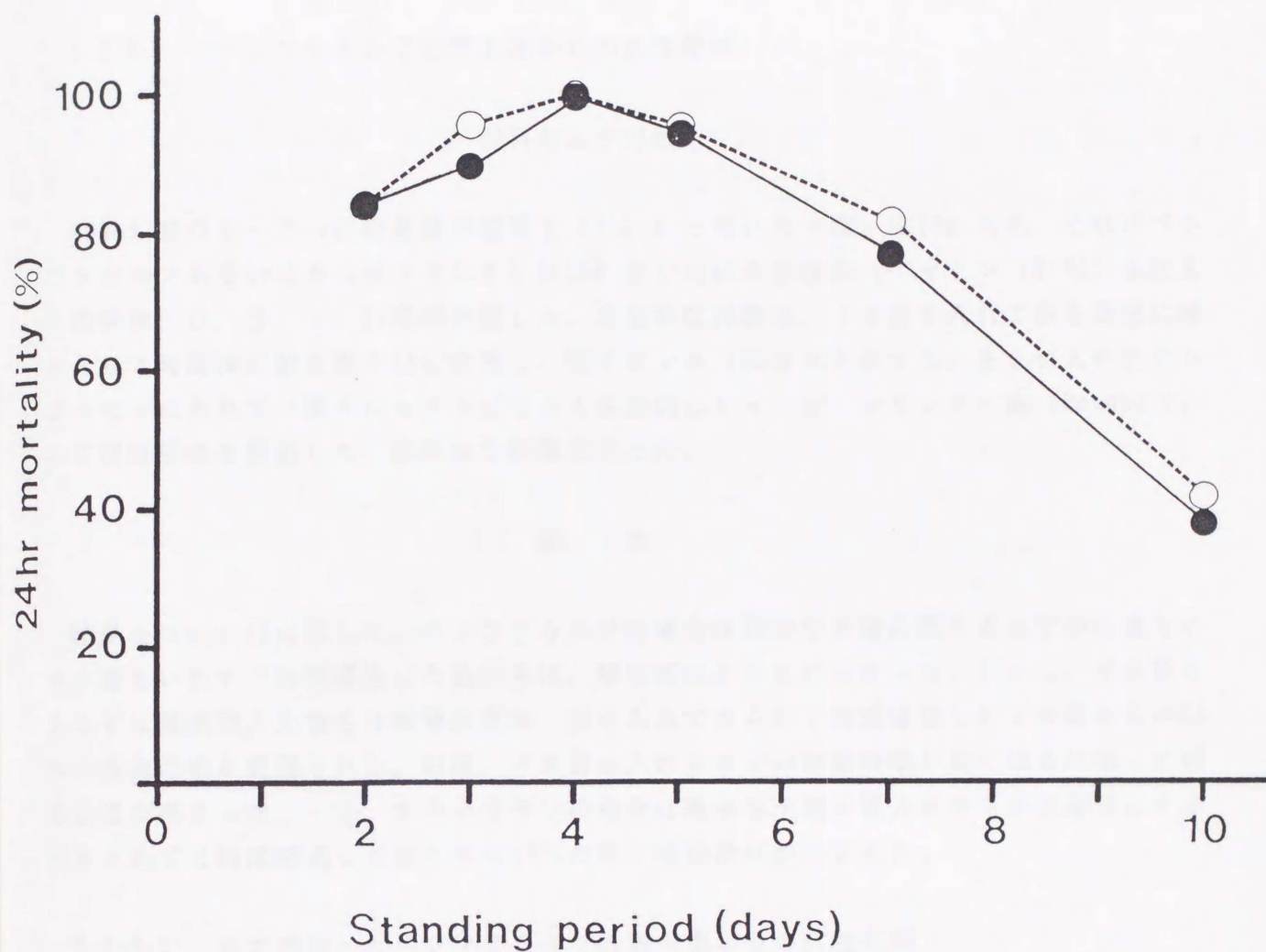


Fig. 3. Mortality of small brown planthoppers 24 hr after released on the rice plant in the glass cylinder where soil and aqueous solution of insecticides were added.

●—● Benfuracarb ($1.98 \times 10^{-5} \text{M}$)

○····○ Carbofuran ($1.98 \times 10^{-5} \text{M}$)

3-2-B-1 ベンフラカルブ処理土壌からの活性発現

材料および方法

100ml 容のビーカーに徳島産の植壤土 (3-2-A で用いた土壌) を10g 入れ、これにベンフラカルブあるいはカルボフランを $4.6 \times 10^{-4} M$ 含む10mlの水溶液 (アセトン 10 %) を加えて攪拌後、0, 3, 9, 21時間放置した。所定時間放置後、イネ苗を入れて根を薬液に浸せきし3時間後に苗を取り出し水洗し、脱イオン水 (以後水と称する) を5ml入れたサンプルビンに入れて、直ちにヒメトビウンカを放飼しヒメトビ・シリンダー法 (Method 2) にて殺虫活性を調査した。試験は5反復で行った。

結 果

結果をTable 12に示した。ベンフラカルブの場合は薬液を土壌に混入させてから直ちにイネ苗をいれて3時間経過した苗からは、殺虫活性が示されなかった。しかし、イネ苗を入れずに薬液混入土壌を3時間放置後、苗を入れてさらに3時間経過したイネ苗からは63%の殺虫活性が発現された。以後、イネ苗を入れるまでの放置時間が長くなるに従って殺虫活性が高まった。一方、カルボフランの場合は薬液を土壌に混入させてから直ちにイネ苗を入れて3時間経過した苗からも98%の高い殺虫活性が示された。

3-2-B-2 水で洗浄したベンフラカルブ処理土壌からの活性発現

ベンフラカルブがカルボフランと比較して、土壌に保持されやすいか否かを明らかにするために以下の実験を行った。

材料および方法

100ml 容のビーカーに、徳島県産の植壤土 (3-2-A で用いた土壌) を10 g入れ、これにベンフラカルブあるいはカルボフランを $4.6 \times 10^{-4} M$ 含む10mlの水溶液 (アセトン 10 %) を加えて攪拌した。それぞれ3, 6, 12および24時間放置後上澄液を捨てた。残った土壌に100mlの水を加え十分に攪拌して静止後上澄液を捨てた。この操作を3回くり返した後に土壌3gをサンプルビンに入れ、ヒメトビ・シリンダー法で殺虫活性を調査した。試験は5反復で行った。

Table 12. Insecticidal activity of the rice seedlings following exposure to the insecticide-treated soil

Insecticide ** treated	Concentration (M)	24 hr mortality(%) * following 3 hr exposure after indicated standing periods (hr)			
		0	3	9	21
Benfuracarb	4.6×10^{-4}	0 b	62 b	84 b	94 a
Carbofuran	4.6×10^{-4}	98 a	100 a	100 a	100 a

* Means within the same column followed by the same letter are not significantly different at 5% level (T-test).

** Technical grade(benfuracarb, carbofuran) or analytical grade(diazinon).

結 果

結果をTable 13に示した。カルボフラン処理土壌からは、放置時間の多少にかかわらず、低い活性しか示されなかった。一方、ベンフラカルブ処理土壌からはカルボフラン処理土壌よりも高い活性が示された。しかし、放置時間が長くなるほど活性は減少した。

Table 13. Insecticidal activity of insecticide-treated and water-washed soil against small brown planthoppers

Insecticide ** treated	Concentration (M)	24 hr mortality(%) * at indicated standing period (hr) before washing			
		3	6	12	24
Benfuracarb	4.6×10^{-4}	72 a	46 a	40 a	28 a
Carbofuran	4.6×10^{-4}	14 b	20 b	12 b	14 b

For symbols see Table 12.

重松（1988）は、土壌吸着定数（ K_d ）は一般に $\log P_{ow}$ に比例して疎水性物質ほど大きな値になると述べている。ベンフラカルブの $\log P_{ow}$ は4.301 で γ -BHCの3.81* より大きく、ディルドリンの4.321 * とほぼ同等で、土壌吸着は強いと考えられる。内田（1984）は、イソプロチオラン関連化合物を用いて土壌吸着の強さと植物への取り込みの関係を検討した結果、土壌吸着が強くなると取り込みが阻害されたことを報告している。

ベンフラカルブに関しても処理土壌からの活性発現試験の結果から、土壌処理直後には土壌に吸着され稲体に取り込まれない状態になったことが考えられる。しかし、時間が経過すると活性が発現されたこと、および洗浄土壌からの活性発現試験において、土壌処理後の時間が長くなるほど有効成分が洗浄によって減少したと考えられることから、ベンフラカルブはいったん土壌に吸着された後、時間の経過とともに水に流されやすい有効成分に変化したことが推察される。また、稲体での吸収移行試験でベンフラカルブは水溶液中で分解されてカルボフランになったことからベンフラカルブが土壌吸着後に土壌水分中に放出された有効成分はカルボフランであると考えられた。

さらに、閉鎖系の試験結果からイネ苗を経由した活性は、試験期間を通して等モルでカルボフランと同等であった。これは、ベンフラカルブの全投与量が土壌中ですべてカルボフランに変換されてから、吸収された場合に予測される活性である。以上のことから、ベンフラカルブを土壌に処理した場合には土壌に吸着されたのち、カルボフランに変化して作物に取り込まれるものと推察された。

* 重松（1988）

3-3 土壌中での下方移行性

ベンフラカルブの土壌中での動きをカルボフランと比較するために植壤土あるいは砂壤土を詰めた土壌カラムを用いて試験を行った。

材料および方法

除草剤試験実施基準(1975)の方法に従って土壌カラムによる試験を行った。Fig. 4 に示されたように、直径16cm (1/5000 a), 高さ4cmで排水口を有する底のついた円筒の上に、直径16cm幅1cmの円筒を10段積み重ねてビニールテープで固定されたガラス製の横割式円筒分割カラムを用いた。このカラムの中に植壤土(3-2-A で用いた土壌)あるいは徳島産の砂壤土(砂71.7%, シルト16.7%, 粘土11.6%; C.E.C. 4.5mEq/100g, 全炭素量4.5%, pH 6.6)を常法に従って、上部2段のカラム幅を残して詰めた。ベンフラカルブあるいはカルボフランの濃度が $2 \times 10^{-3} M$ のアセトン10%水溶液5mlをそれぞれカラムの土壌面に散布し、1時間放置した。ベンフラカルブおよびカルボフランの成分量は、それぞれ10a当たり0.21kgと0.11kg(5%粒剤で4.1kg および2.2kg)の施用量に相当する。カラムの土壌面に100ml ずつ6回、1時間の間隔で水を均一に注いだ後20時間放置して土壌層を安定させた。土壌面から深さ0~1, 1~2, 2~3, 3~5および5~8cmの土壌層を分離し、その中から各3gの土壌を取り出してサンプルビンの中に入れ5mlの脱イオン水を加えて、ヒメトビ・シリンダー法で殺虫活性を調査した。試験は4反復で行った。

結果および考察

Table 14に示されたように、ベンフラカルブを処理した場合、植壤土および砂壤土において0~1cmの表層土壌で最も高い活性が認められた。特に植壤土では0~1cm層に活性が集中し、1cm以上の深さでは活性はほとんど認められず活性成分が下方移行していないことが示された。一方、カルボフランの場合、植壤土では表層0~1cmの土壌に最も高い活性がみられたが1cm以上の深さでも活性がみられ、灌水によって活性成分が下方移行したことが示された。砂壤土でも活性成分の下方移行が認められ、1~2cm層の活性が0~1cmの活性より高かった。以上のことからベンフラカルブはカルボフランと比較して、土壌中における下方移行性が小さいことが示された。なお、いずれの処理区においても5~8cmの層からの土壌には殺虫活性は示されなかった。

Koeppe and Lichtenstein (1984)は、カルボフランが土壌中で動きやすいのはその高い水溶性に関係していると推測している。また、Caro et al. (1976)も高い水溶性と土壌へ吸着されにくい性質がカルボフランの流亡の主な原因であると述べている。

ベンフラカルブの水溶性は8ppmでカルボフランの700ppmと比較すると大幅に低く、ま

たlogPowも親化合物に比べて大きい。重松（1988）は、一般的に土壌への吸着は疎水性が大きいほど強いと述べていることから、ベンフラカルブはカルボフランの化学修飾にともなう疎水性の増大によって、土壌に吸着されやすくなり下方移行性が低下したものと思われる。



Fig. 1. Schematic diagram of the apparatus for measuring the sorption of benflucarb in soil.

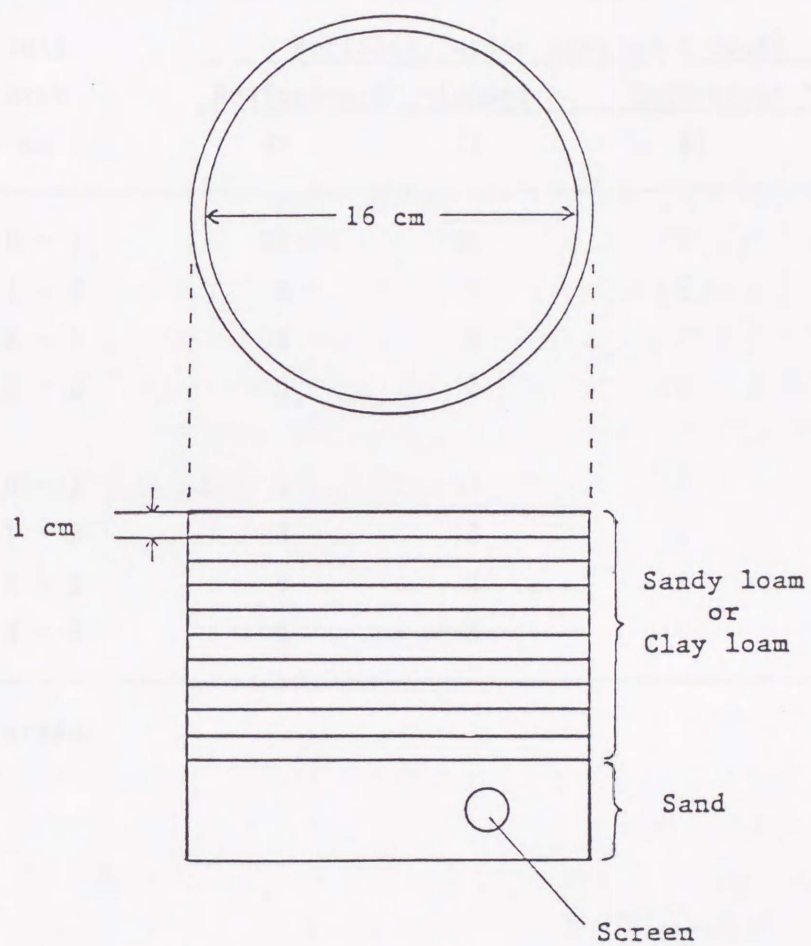


Fig.4. Soil column for measuament of chemical movement in the soil.

Table 14. Insecticidal activity of different soil layers from soil column (loaded with insecticides) against small brown planthoppers following elution with water

Soil type	Soil layer (cm)	Mortality after indicated hours			
		Benfuracarb* -loaded		Carbofuran * -loaded	
		48	72	48	72
Clay loam	0 ~ 1	23	85	8	40
	1 ~ 2	0	0	5	25
	2 ~ 3	0	0	0	15
	3 ~ 5	0	3	5	18
Sandy loam	0 ~ 1	5	45	0	15
	1 ~ 2	3	10	5	28
	2 ~ 3	0	3	3	15
	3 ~ 5	0	3	0	13

* Technical grade.

3-4 人工降雨下での活性

土壌カラムを用いた試験では、ベンフラカルブはカルボフランと比較して土壌中における下方移行性が小さいことが示されたが、この現象が活性発現にどのように影響するかを実際に近い条件で検討した。すなわち、異なる雨量の人工降雨下で粒剤を処理した場合の殺虫活性の推移を調査した。

材料および方法

1/5,000 a のワグナーポットに徳島県産の植壤土 (3-2-A で用いた土壌) を詰め、1本の播種20日後のイネ苗 (約10~12cm, 2葉期) を定植し、3日後に根元の周囲に浅く溝を掘り、その中にベンフラカルブあるいはカルボフランの5%粒剤をそれぞれ2kg/10a相当の薬量で施用し覆土した。試験は非湛水状態 (乾田) で行った。灌水は1日2回ジョロで行い、それぞれ4mm/日, 8mm/日, 16mm/日の降雨量に相当する水量を与えた。生物検定はイネ苗に網カゴ (3-1 で用いたもの) をかぶせ、ヒメトビウンカ雌成虫をポット当たり10頭放飼し24時間後に生死を調査した。試験は3反復で行った。ポットは $25 \pm 3^\circ\text{C}$ のガラスハウス内に置いた。

結果および考察

結果をFig. 5 ~7 に示した。

- (1) 4mm/日の降雨量 (Fig. 5) では、全期間を通してカルボフラン処理区の活性が高く、特に10日後まではベンフラカルブ処理区よりもはるかに高い値が示された。
- (2) 8mm/日の降水量 (Fig. 6) では、7日後まではカルボフラン処理区の活性が高かったが、10日以後はベンフラカルブ処理区がカルボフラン処理区に比べて同等以上の活性が示された。
- (3) 16mm/日の降雨量 (Fig. 7) では、5日後まではカルボフラン処理区の活性が高かったが、7~14日後にはほぼ同等になり21日には逆にベンフラカルブの活性の方が高かった。

カルボフラン処理区では、降雨量によって生物活性は大きく影響を受け、降雨量が増加するに従って著しく活性が減少した。Gorer et al. (1982) は、大雨が降った後カルボフランは表層の土壌から急激に消失したことを報告している。Felsot and Wilson (1980) も、7種類の農耕地の土壌を用いてカルボフランとディルドリンの K_d 値 (土壌吸着係数) を測定した結果、カルボフランの K_d 値はディルドリンと比べて非常に低く、農耕地ではきわめて動きやすい化合物であると結論した。

一方、ベンフラカルブ処理区はカルボフラン処理区と比較して、遅効的であったが降雨

量の多少にかかわらず比較的安定した活性が示された。親化合物に比べて水溶性が1/80以下と低く、土壌吸着がみられることから降雨によって下方に動きにくく、根が吸収可能な範囲に長期間とどまり稲体に吸収された有効成分の割合が高かったものと思われる。



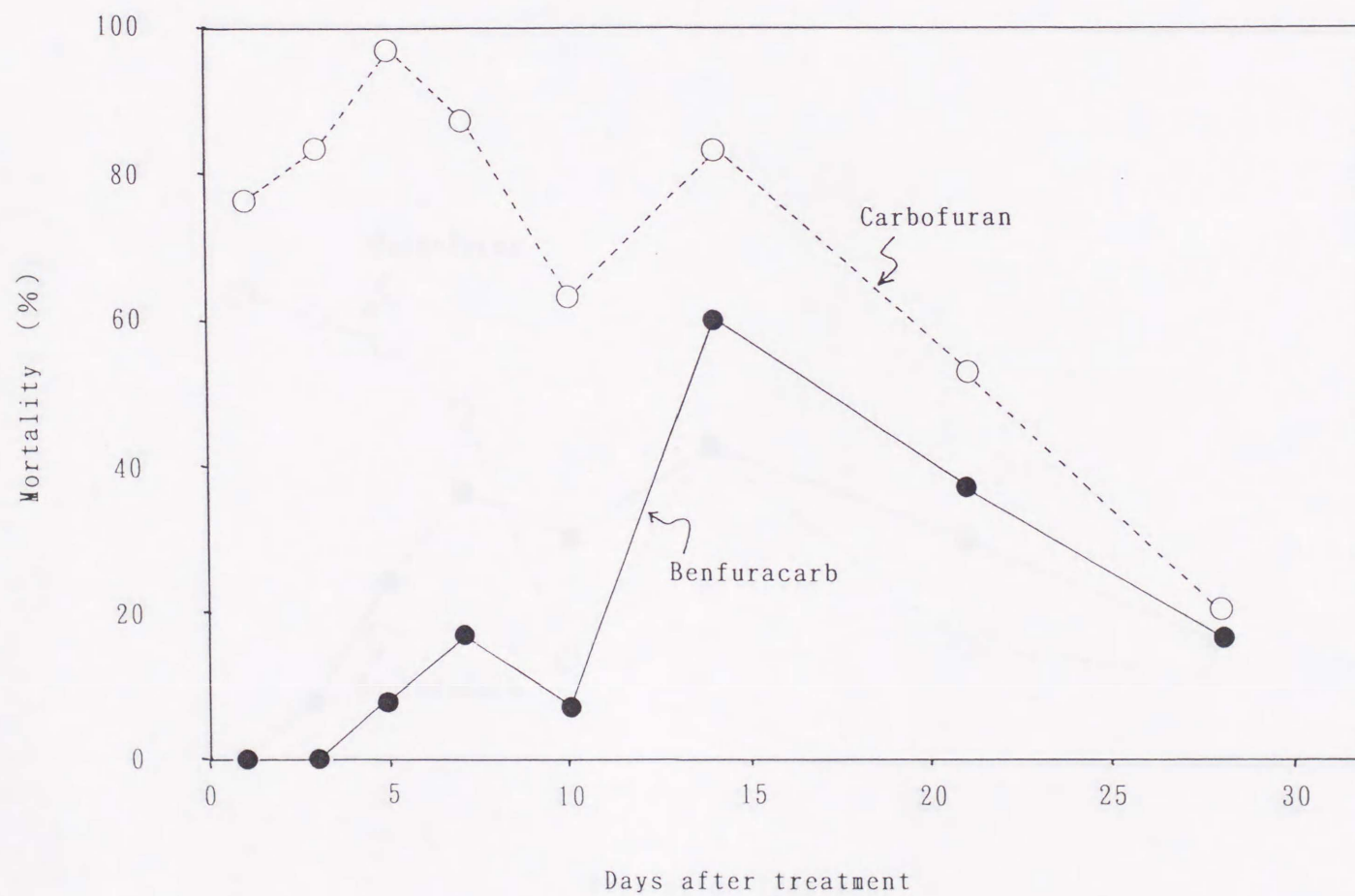


Fig. 5. Biological activity of benfuracarb and carbofuran granules against small brown planthoppers on the rice seedlings in the pots under the artificial rainfall at 4mm/day.

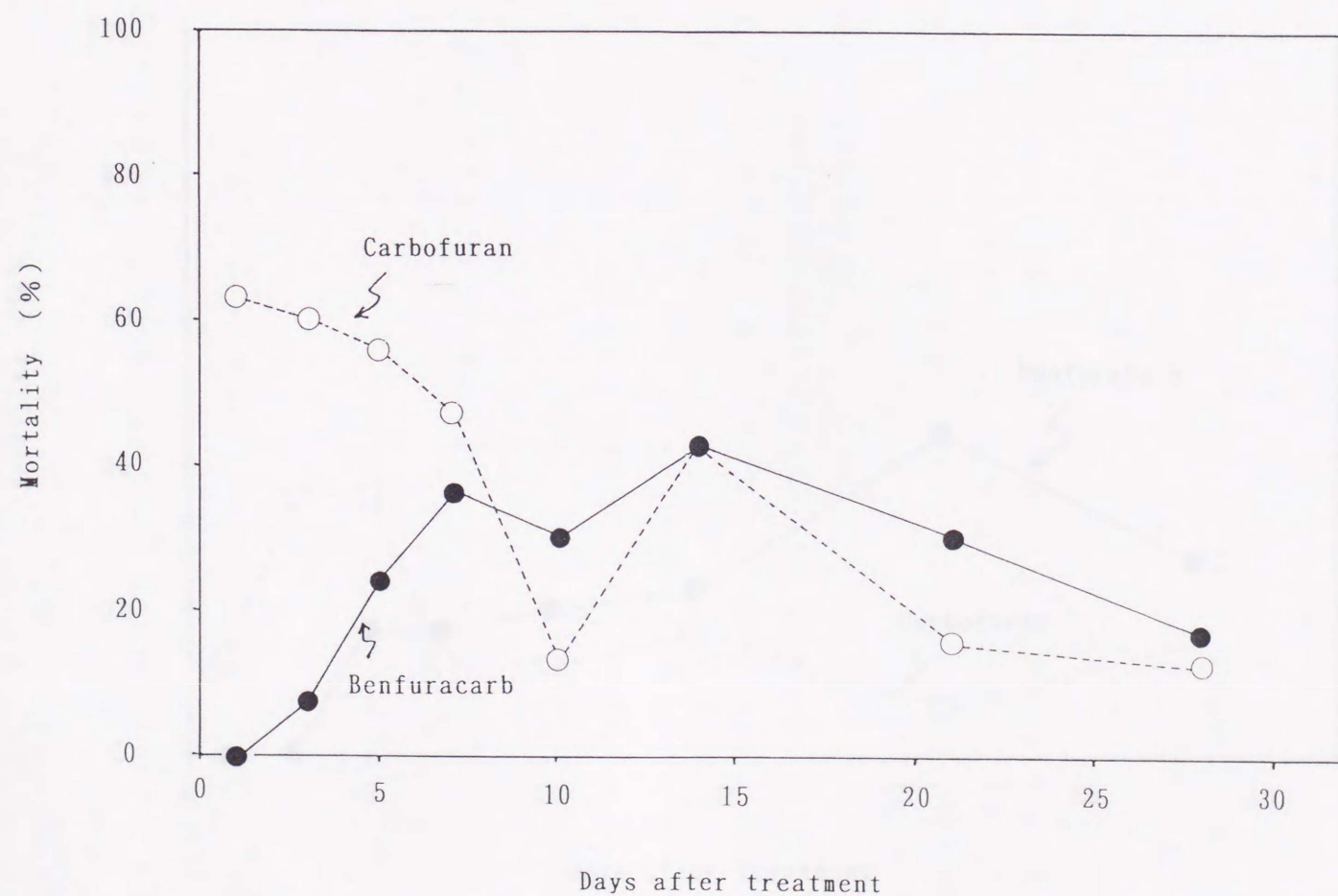


Fig. 6. Biological activity of benfuracarb and carbofuran granules against small brown planthoppers on the rice seedlings in the pots under the artificial rainfall at 8mm/day.

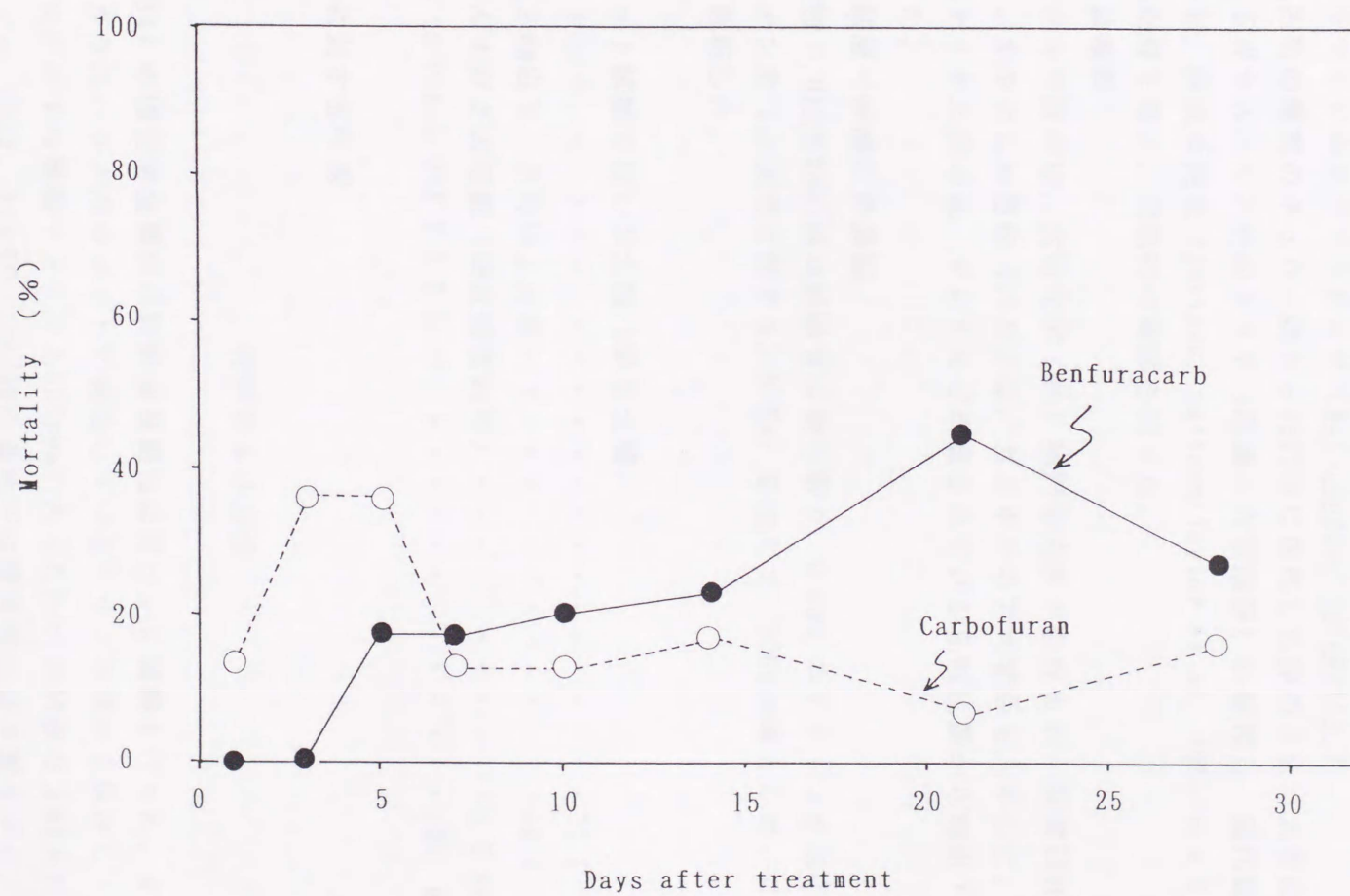


Fig. 7. Biological activity of benfuracarb and carbofuran granules against small brown planthoppers on the rice seedlings in the pots under the artificial rainfall at 16mm/day.

4 サツマイモネコブセンチュウに対する活性

この節に共通する材料

サツマイモネコブセンチュウ (*Meloidogyne incognita*)

徳島県川内町の農家のキュウリ畑から1975年に採取した卵のうを、大塚化学(株)の研究所内にあるガラスハウス内のトマト(品種:大型福寿)に接種し、累代飼育したものをを用いた。なお、線虫の同定はperineal pattern(Taylor et al., 1955)による方法を弥富喜三博士から指導を受け、定期的に確認を行った。

供試薬剤

ベンフラカルブ原体は、大塚化学(株)鳴門研究所で合成され、純度98%以上に精製して使用した。オキサミル原体(99%)は、カルホルニア大学から入手した。カルボフランおよびフェナミホス原体は、アメリカで市販されている5%粒剤から抽出・精製(純度98%以上)した。

供試液(検液)の調製

供試化合物 0.01gを20ml容の試験管に量り取り、0.5mlのアセトンを加えて溶解させ、これに脱イオン水(以後水と称する)9.5mlを加えて1,000ppm液とした。この液を水で所定の濃度に希釈した。

ポット試験で用いた土壌(混合土壌)

植壤土	20 l
砂(直径2mm以下, 吉野川上流産)	40 l
発酵牛ふんオガクズ堆肥(徳島県第86号)	0.5 kg
化成肥料(N:P:K=3.2:3.2:3.2)	100 g

4-1 卵に対する作用

材料および方法

石橋(1984)の植物寄生線虫の殺線虫試験法に基づいて試験を行った。すなわち”白色卵のう”をガラスハウス内のポットで栽培しているトマトの根から採取し、直径6cmの小型シャーレにデヒドロ酢酸ナトリウム500ppmの入ったNaCl 3 M液を5ml入れ、この中に浸せきした。シャーレは、 $25 \pm 2^{\circ}\text{C}$, 16L-8Dの条件下に置き液は毎日取りかえ、1週間後に水で5回洗った卵のうを試験に供した。小型シャーレに所定の濃度に調製した検液3mlを入れ、ナイロンメッシュ(1×1cm)をしずめてその上に卵のうを5個のせた。1薬剤1濃度について5反復で試験を行った。シャーレを塩化ビニール製のケース(15×20×25cm)に

入れ、その中に水を含ませた脱脂綿をいれて乾燥を防止した。ケースは $25 \pm 2^\circ\text{C}$, 16L-8D の条件下に置いた。処理1, 3, 5, 7, 9および11日後に遊出した幼虫を目盛時計皿に移して計数した。11日後を除いて検液はそのつど新しい液に取りかえた。11日後には遊出幼虫数を調査後、アンチホルミン20%を数滴入れて卵のうを崩しながらかきまぜ、水を入れて希釈し未孵化卵、未遊出の幼虫を計数して遊出率を算出した。

結果および考察

結果をTable 15に示した。ベンフラカルブの100 および10ppm 区は、1日後にいずれも対照区より多い幼虫の遊出がみられた。遊出数は3～5日後にピークとなり以後減少した。11日間の遊出率は100ppm区で72%, 10ppm 区で77%であった。対照区は79%であり、ベンフラカルブは幼虫の卵のうからの遊出を阻害する活性はないものと思われる。カルボフラン処理区は100ppm区で3日以後は遊出数がやや少なかったが、高い遊出阻害活性はみられなかった。一方、オキサミルの100ppm区、フェナミホスの100ppm区および10ppm 区では、幼虫の卵のうからの遊出はほとんどなかった。

岡田(1977)はダイズシストセンチュウにおいて広い意味での孵化には卵内での幼虫の発育、卵からの第2期幼虫の孵化、それにシストからの幼虫の遊出が含まれると述べている。ネコブセンチュウにおいても、卵のうからの幼虫の遊出に先立って卵からの第2期幼虫の孵化が起こることから、卵のうからの幼虫の遊出は広い意味で孵化と考えられる。Nordmeyer and Dickson (1980)は各種薬剤を用いて、3種のネコブセンチュウの卵の孵化に与える影響を調査した結果、3種に対する孵化抑制作用の強さはアバーメクチンB2>フェナミホス>エトプロップ>アルディカーブ>オキサミル>カルボフラン>カルボスルファンの順であった。本実験でもフェナミホスの孵化抑制作用は強く、10ppm でも遊出数は少なかった。オキサミルも100ppmで強い抑制作用が示された。一方、カルボフランは100ppmでもサツマイモネコブセンチュウに対しては高い孵化抑制活性はみられなかった。Huang et al. (1983)は、カルボフランはネコブセンチュウの一種*Meloidogyne exigua*の卵に対して0.1ppmの濃度でも孵化抑制活性を示したことを報告していることから、ネコブセンチュウの種間に、カルボフランに対して大きな感受性の差があることが示唆された。一方、ベンフラカルブでは0～3日後に孵化促進活性が示され、親化合物にはみられない新しい性質が付与されたものと思われる。

シストセンチュウの孵化促進物質に関しては多くの研究(堤・桜井, 1966; 岡田, 1971; 1975; Okada, 1972a; 岡田, 1972b; 堤, 1978; 福沢ら, 1984)がありその化学構造が明らかされている(福沢ら, 1984)。また、これらの物質を利用して作物が栽培されていない時期に、卵から幼虫を孵化させて防除することが考えられたが実用には至っていない。サツマイモネコブセンチュウについても卵の孵化促進に関する研究(Viglierchio and Lounsbery, 1960; Ahmed and Khan, 1964; Khan and Saxena, 1968; Hamlen and Bloom,

1968) があり、作物の根から土壤中に放出された炭水化物およびアミノ酸が孵化を促進すると報告されている。しかし、Hamlen et al. (1973) はサツマイモネコブセンチュウの卵は水だけでも51.4~84.4%の孵化率を示し、作物への侵入は孵化物質なしで潜在的に十分可能であると述べている。このことからこの本種の生活史における孵化物質の役割は明らかではなく、ベンフラカルブの孵化促進活性も防除に関与する可能性は少ないものと思われた。

Table 15. Effects of benfuracarb and other chemicals on emergence of larvae from egg masses

Chemical	Concn. (ppm)	Numbers * of larvae from 5 egg masses (DAT)		
		0 ~ 1	1 ~ 3	3 ~ 5
Benfuracarb	100	211 a	833 a	857 ab
	10	194 a	630 b	966 a
Carbofuran	100	100 b	684 ab	688 b
	10	66 bc	604 b	729 ab
Oxamyl	100	3 d	1 d	1 c
	10	35 cd	194 c	119 c
Fenamiphos	100	1 d	0 d	0 c
	10	6 d	4 d	6 c
Control **		94 b	589 b	931 a

* Means within the same column followed by the same letter are not significantly different at 5% level using Duncan's Multiple Range Test.

** Deionized water.

(Continued)

Chemical	Concn. (ppm)	Numbers * of larvae from 5 egg masses			% larvae from egg masses
		5 ~ 7	7 ~ 9	9 ~ 11	
Benfuracarb	100	680 ab	445 ab	142 c	72
	10	803 ab	673 a	208 bc	77
Carbofuran	100	589 b	356 bc	291 ab	76
	10	889 a	486 ab	373 a	78
Oxamyl	100	2 d	1 d	0 d	0
	10	310 c	161 cd	93 cd	22
Fenamiphos	100	0 d	0 d	0 d	0
	10	3 d	3 d	0 d	0
Control		716 ab	459 ab	327 ab	79

4-2 幼虫に対する作用

4-2-A 活動性に対する作用

4-2-A-1 直接観察

材料および方法

5 ml容試験管に所定濃度の供試薬液および対照として水を1 ml入れ、各々に24時間以内に孵化したサツマイモネコブセンチュウの第2期幼虫（以後、幼虫と称する）を約100 頭含む水を1 ml加え、シーロン・フィルム（富士フィルムK.K.製）で試験管の口をふさいだ。 $25 \pm 2^{\circ}\text{C}$ 、16L-8Dの条件下に24時間放置後、各液をシラキウス時計皿に移し実体顕微鏡下で幼虫の活動を観察した。活動状態は岡田（1977）の活動指数を用いて調査した。試験-1においては調査後、各供試液を水で100 倍に希釈し、24および72時間後にも活動状態を調査した。試験は4反復で行った。

結 果

<試験-1>

結果をTable 16に示した。ベンフラカルブは、100, 10ppm のいずれの濃度においても幼虫の活動を阻害する活性はみられなかった。カルボフランは、いずれの濃度においても阻害活性を示したが、供試液を水で100 倍に希釈して24時間放置すると活動性が回復した。オキサミルおよびフェナミホスの100ppm区はいずれも高い活動阻害活性が示された。供試液を100 倍に希釈すると活動性は増大したが、72時間以内に完全な回復はみられなかった。オキサミルの10ppm の阻害活性は低く、希釈して24時間後には活動性は完全に回復した。一方、フェナミホスの10ppm 区は72時間以内に完全な回復は示されなかった。

<試験-2>

結果をTable 17に示した。5 および 1 ppm ではカルボフランに活動阻害活性はみられなかった。オキサミルは 5 ppm で低い阻害活性がみられたが 1 ppm ではみられなかった。一方、フェナミホスでは、いずれの濃度においても約50%の活動阻害活性が示された。

4-2-A-2 ベルマン法の原理を応用した方法

土壌中の線虫を分離するベルマン法は、幼虫の活動性を利用して土壌から幼虫を分離する方法である。幼虫の活動が止まれば分離されなくなることから薬剤の幼虫の活動性に対する阻害活性を、分離された幼虫数によって判定する方法である。Patrick et al. (1965)

Table 16. Activities of Meloidogyne incognita juveniles after dipping in benfuracarb and other chemical solutions for 24 hrs and then in diluted each solution

Chemical	Concn. (ppm)	Activity Index *	Activity Index * in diluted solution	
			24 hrs	72 hrs
Benfuracarb	100	97 a	97 ab	-
	10	99 a	97 ab	-
Carbofuran	100	50 c	94 b	-
	10	91 b	99 ab	-
Oxamyl	100	31 d	40 d	52 c
	10	88 b	97 ab	-
Fenamiphos	100	26 e	28 e	47 c
	10	47 c	50 c	77 b
Control **		99 a	97 ab	94 a

For symbols see Table 15.

Table 17. Activities of Meloidogyne incognita juveniles after dipping in carbofuran, oxamyl and fenamiphos solutions for 24 hrs

Chemical	Concn. (ppm)	Activity Index *
Carbofuran	5	97 b
	1	99 a
Oxamyl	5	91 c
	1	97 b
Fenamiphos	5	47 e
	1	50 d
Control **		98 ab

For symbols see Table 15.

はこの方法によって、毒性を示す化合物の濃度と幼虫の不活化の間には正の相関があることを示した。

材料および方法

5 ml容のサンプル管に所定濃度の薬液 1 mlを入れ、24時間以内に孵化したサツマイモネコブセンチュウの幼虫を約360 頭含む水 1 mlを加えた。対照として水 1 mlに、同数の幼虫を含む水 1 mlを加えた。各 4 反復で試験を行った。サンプル管を $25\pm 2^{\circ}\text{C}$, 16L-8Dの条件下に24時間置いた後、供試数を調査して幼虫の状態を観察し、水で10倍に希釈してベンマン分離装置（キムワイプ：タイプS-200, 十条キンバリー-K. K. 製をフィルターとして1 枚使用、水の容量は100ml である）にかけた。この時、供試液はさらに薄められて最終的に50倍に希釈された。

供試数をA, 48時間後に分離された幼虫数をB, 対照区の分離率をC として次式によって不活化率を算出した。 $\% \text{Inactivity} = (1 - B / A C) \times 100$

結 果

結果をTable 18に示した。ベンフラカルブ処理区では対照区とほぼ同数の幼虫が分離され（分離率 97%），幼虫の活動を阻害する作用はみられなかった。浸せき24時間後の観察でも幼虫の体に動きがみられた。カルボフラン処理区でも同様に不活化作用は示されなかった。一方、オキサミル処理区では浸せき24時間後の観察では、幼虫の動きはほとんど示されなかったが、ベルマン装置で10ppm 処理区で幼虫が分離され回復がみられた。フェナミホス処理区では、薬液中で幼虫の動きはほとんどみられず、分離された幼虫数も少なく高い活動性の阻害活性が示された。

Table 18. Effects of benfuracarb and other chemicals
on activity of Meloidogyne incognita juveniles

Chemical	Concn. (ppm)	Inactivity*
Benfuracarb	100	1 c
	10	0 c
Carbofuran	100	0 c
	10	0 c
Oxamyl	100	57 b
	10	0 c
Fenamiphos	100	98 a
	10	62 b
Control **		0 c

For symbols see Table 15.

材料および方法

供試薬剤の幼虫の分散性に対する作用を、薬剤を含む寒天中での幼虫の移動能力によって調査した。実験は、同心円状に線の入ったシラキウス時計皿 (Fig. 8) を用いて行った。幼虫を放つための中心の円内をLiberation zone, それから遠ざかるにつれてzone 1, 2, 3, 4, 5とし, zone 5をFinal zoneとした。各供試化合物100, 10, 5および1 ppmを含む0.5%寒天液(200, 20, 10および2 ppm溶液各10mlに約50℃の1%寒天液を10ml加え混合した) 5mlを, この時計皿の中に流しこんだ。寒天が固まった後に, 幼虫(孵化後0~24時間)を35~70頭針でつりあげて, Liberation zoneに放った。時計皿は, 直径10cmのシャーレ内の水で湿らせた濾紙の上に置き, 暗黒条件下(27±2℃)に放置した。3および24時間後にすべてのzoneにいる幼虫数を調査し, Liberation zoneおよびFinal zoneにいる線虫数の割合を算出した。試験は4反復で行った。

結 果

結果をTable 19~22に示した。ベンフラカルブおよび対照薬剤を100ppmで処理した場合 (Table 19), 対照区では3時間後には中心のLiberation zone から90%の幼虫が移動し, 一番外側のFinal zoneに30%の幼虫がみられた。これに比べてベンフラカルブ処理区では, 3時間後ではLiberation zoneを移動した幼虫数およびFinal zoneに達した幼虫数は, 対照区に比べると少ないものの24時間後には対照区と差はみられなかった。これに比較してカルボフラン処理区では, 24時間後には80%の幼虫がLiberation zoneを移動したが, Final zoneには2%しかみられず分散阻害活性がみられた。オキサミルおよびフェナミホス処理区ではLiberation zoneから移動した数は少なく, 幼虫の分散を阻害する高い活性が認められた。特にオキサミル処理区では24時間後でも97%がLiberation zoneにとどまっており, Final zoneには1頭もみられなかったことから, オキサミルがサツマイモネコブセンチュウの分散を強く阻害することが明らかになった。10ppm (Table 20) では, カルボフランは幼虫の分散を阻害する活性がみられたが, 5ppm (Table 21) では阻害活性は示されなかった。一方, オキサミルおよびフェナミホス処理区では5ppmで24時間後にLiberation zoneを移動した幼虫数はいずれも80%以上と多かったものの, Final zoneに達した幼虫数は少なく, 幼虫の分散に対して両化合物は5ppmでも阻害活性を示すことが判明した。しかし, 1ppm (Table 22) ではいずれの化合物もセンチュウの分散を阻害する活性はみられなかった。

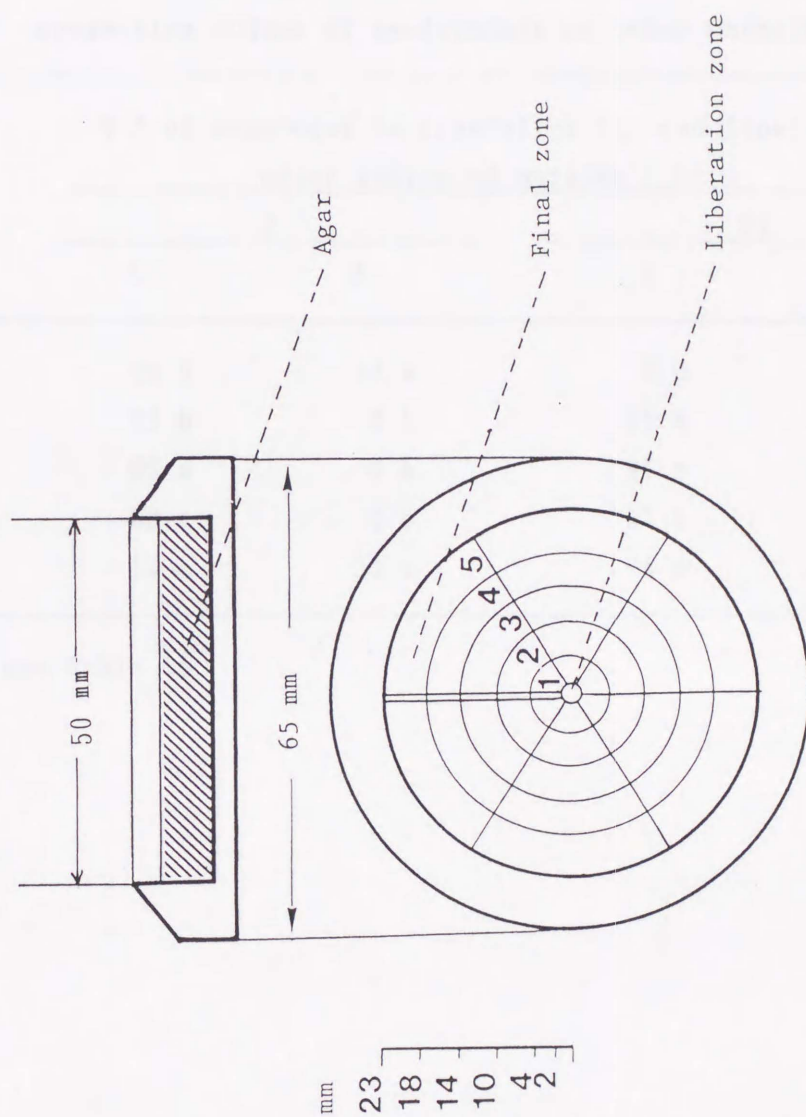


Fig. 8. Syracuse watch-glass migration test

Table 19. Dispersion of Meloidogyne incognita juveniles in 0.5% agar containing 100ppm of benfuracarb or other chemicals

Chemical	% * of nematodes in liberation (L) and final zone (F) after indicated periods (hr)			
	3		24	
	L	F	L	F
Benfuracarb	19 d	11 a	7 d	52 a
Carbofuran	71 b	0 b	20 c	2 b
Oxamyl	99 a	0 b	97 a	0 c
Fenamiphos	62 c	0 b	57 b	1 b
Control **	10 c	30 a	4 d	56 a

For symbols see Table 15.

Table 20. Dispersion of Meloidogyne incognita juveniles in 0.5% agar containing 10 ppm of benfuracarb or other chemicals

Chemical	% * of nematodes in liberation (L) and final zone (F)			
	after indicated periods (hr)			
	3		24	
	L	F	L	F
Benfuracarb	19 d	13 a	11 b	60 a
Carbofuran	33 c	2 b	14 b	39 b
Oxamyl	65 a	0 c	61 a	0 d
Fenamiphos	50 b	0 c	50 a	1 c
Control **	10 d	23 a	7 b	52 a

For symbols see Table 15.

Table 21. Dispersion of Meloidogyne incognita juveniles in 0.5% agar containing 5 ppm of benfuracarb or other chemicals

Chemical	% * of nematodes in liberation (L) and final zone (F) after indicated periods (hr)			
	3		24	
	L	F	L	F
Benfuracarb	12 b	19 a	4 c	63 a
Carbofuran	19 b	17 ab	5 c	58 a
Oxamyl	36 a	3 b	19 a	13 b
Fenamiphos	14 b	10 ab	12 b	11 b
Control **	14 b	14 ab	4 c	59 a

For symbols see Table 15.

Table 22. Dispersion of Meloidogyne incognita juveniles in 0.5% agar containing 1 ppm of benfuracarb or other chemicals

Chemical	% * of nematodes in liberation (L) and final zone (F)			
	after indicated periods (hr)			
	3		24	
	L	F	L	F
Benfuracarb	11 a	25 a	5 b	52 a
Carbofuran	10 a	10 ab	4 b	45 a
Oxamyl	10 a	26 a	5 b	49 a
Fenamiphos	16 a	13 b	10 a	37 a
Control **	9 a	17 ab	7 ab	48 a

For symbols see Table 15.

材料および方法

直径 6 cm のガラス製シャーレに 40~80 メッシュの海砂（和光純薬）を 20 g 入れ、ベンフラカルブまたはカルボフランの 6 ppm 液 5 ml を全面に均等に注ぎ、トマト（品種 大型福寿）の播種 3 日後の芽出し苗の根（長さ 1~2 cm）を Fig. 9 に示したように海砂中に埋め込んだ。次に、500~600 頭の幼虫を含む水 1 ml を中心の Liberation point に注ぎ、5 ppm の薬液中で幼虫が活動する条件にした。27±2°C、暗黒条件下で 3 日間放置後、海砂の各 zone の境界にミクロスパチュラの柄の先端を垂直に押し込んで切れ目を入れ、各 zone の海砂をスパチュラを用いて残らず取り出した。それらの海砂はそれぞれベルマン分離装置で幼虫数（48 時間後分離数）を調査し、苗の存在する zone へのセンチウの集合度合を調べた。また、根は 0.1 % 酸性フクシンラクトフェノール (Southey, 1986) で煮沸染色し、水洗して色素を含まないラクトフェノールで脱色後、実体顕微鏡下で侵入虫数を調査した。各 6 反復で試験を行った。

結 果

対照区およびカルボフラン (5 ppm) 処理区では、根の存在した Test zone から分離された幼虫数は、反対側の zone から分離された幼虫数よりも多かった (Table 23)。これに対してベンフラカルブ (5 ppm) 処理区では、両 zone 間の幼虫数の片寄り認められなかった。根への幼虫侵入数は、ベンフラカルブおよびカルボフラン処理区は対照区と比較して有意に少なかった。

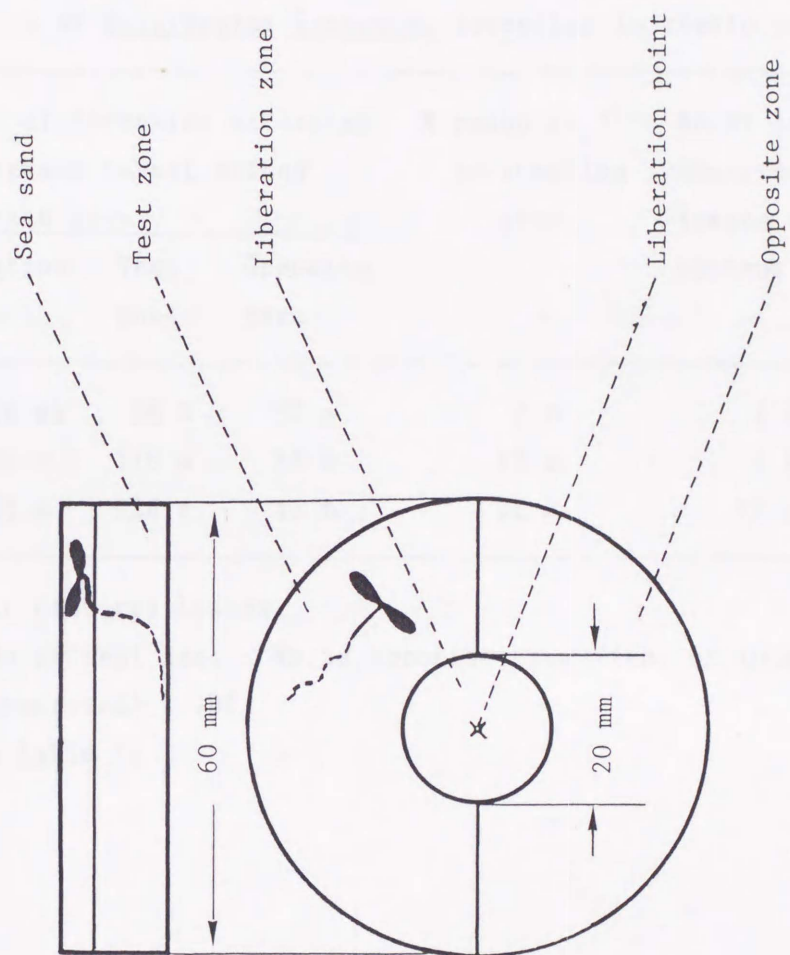


Fig. 9. Petri dish for aggregation and invasion test

Table 23. Effect of 5 ppm of benfuracarb and carbofuran on aggregation and invasion of Meloidogyne incognita juveniles to tomato seedlings

Chemical	No. ¹⁾ * of juveniles extracted by Baermann funnel method from each zone			% response ²⁾ * to seedling side	No. of juveniles ¹⁾ * observed in tomato root systems
	Liveration	Test	Opposite		
	zone	zone	zone		
Benfuracarb	46 ab	86 b	82 a	3 b	6 b
Carbofuran	35 b	118 a	36 b	43 a	2 b
Control **	60 a	126 a	45 b	34 a	17 a

¹⁾ Average number of 6 replicates.

²⁾ % response = (No. in test zone - No. in opposite zone) / (No. of total separated) × 100.

For symbols see Table 15.

材料および方法

試験に用いた幼虫および供試薬液（ベンフラカルブ，カルボフラン，オキサミル，およびフェナミホス）5 ppmを含む0.5 %寒天液は次のようにして作製した。約45℃の1 %寒天液10 ml に，供試薬剤20 ppmの水溶液5 ml および幼虫約1,000 頭（孵化後0～24時間）を含む5 ml の水を加え十分混合した。混合液は，直径6 cm のプラスチック製シャーレに注ぎ込んだ。供試薬剤1 ppm を含む混合液についても同様にして作製した。寒天が固まった後に，播種3日後のトマト（品種：大型福寿，根長0.5～1 cm）の芽出し苗の子葉部分をピンセットでつまみ，根部を寒天中に押し込んだ。苗はシャーレ当たり5本入れた。各薬剤各濃度についてそれぞれ5反復で試験を行った。27±2℃，暗黒条件下に3日間置いた後，前述した酸性フクシンラクトフェノールで染色して，幼虫の根への侵入の有無を調査した。

結 果

ベンフラカルブは5 ppmでは，根への幼虫の侵入を阻害したが，1 ppm では阻害しなかった（Table 24）。また，カルボフランも5 ppmではベンフラカルブ以上の阻害活性を示したが，1 ppm では活性を示さなかった。一方，オキサミルおよびフェナミホスは1 ppm，5 ppmのいずれの濃度でも，幼虫の侵入を完全に阻止した。

Table 24. Effects of benfuracarb and other chemicals on invasion of Meloidogyne incognita juveniles into tomato seedlings

Chemical	Concn. (ppm)	% of seedlings invaded
Benfuracarb	5	64 b
	1	100 a
Carbofuran	5	12 c
	1	92 a
Oxamyl	5	0 c
	1	0 c
Fenamiphos	5	0 c
	1	0 c
Control **		96 a

For symbols see Table 15.

4-2-E 考 察 (幼虫に対する作用)

幼虫の活動性に対しては、ベンフラカルブは100 ppm で幼虫の体の動きや、ベルマン分離装置のフィルターの通り抜けを阻害する活性はみられなかった。一方、カルボフランも、100 ppm でフィルターの通り抜けを阻害する活性は示さなかったが、100 および10 ppm で体の動きを阻害する活性を示したことから、ベンフラカルブは、カルボフランに比較して幼虫の活動を阻害する作用は低いか、あるいは有さないものと思われる。

殺線虫剤が線虫の分散を阻害すれば、寄主植物の根への集合や寄生は阻害されと考えられる。McLeod and Khair(1975)はネコブセンチュウの分散に対する殺線虫剤の作用を、薬剤を処理した砂中における線虫の移動能力によって調査した。彼らはサツマイモネコブセンチュウを含む3種のネコブセンチュウ類に対して、アルディカーブが幼虫の移動を強く阻害し、フェナミホス、チオナジン、メソミルは種によってその阻害程度が異なることを報告している。本実験では、寒天中でカルボフランは10 ppm、オキサミルおよびフェナミホスは5 ppmでサツマイモネコブセンチュウ幼虫の分散を阻害した。Marban-Mendoza and Viglierchio(1980a)も、カルボフランが0.05 mM(約21 ppm) でクルミネグサレセンチュウ幼虫の分散能力を失わせることを報告している。ベンフラカルブは100 ppm でもサツマイモネコブセンチュウ幼虫の分散を阻害しなかった(24時間後)。以上のことから、分散阻害作用に対しても、カルボフランに比較して、阻害作用は大幅に低いか、あるいは有さないものと思われる。

植物寄生線虫が植物の根に誘引されることや集合する現象は、古くから知られ研究されている(Wieser, 1955; 1956; Bird, 1959; 1962; Lownsbery and Viglierchio, 1960; Lavallee and Rohde, 1962; Khara and Zuckerman, 1963; Pitcher, 1967; Griffin and Waite, 1971; Guy and Lewis, 1987)。本実験でも、侵入阻害実験における無処理区の観察から、寒天中のトマトの根に幼虫が集合し、引き続いて侵入が確認された。殺線虫剤が、線虫の寄主を見つける能力あるいは集合を阻害し、結果として作物は加害されなかったと考えられている報告例がある。Forer et al.(1975)は、Longidorus elongatus および Xiphinema diversicaudatum によるトマトに対するウィルスの媒介がオキサミルによって阻害されたが、これは線虫の摂食あるいは寄主植物を見つける能力が阻害されたのではないかと述べている。Disanzo(1973)も、カルボフランを10 ppm処理した土壌中ではナミイシュクセンチュウがトウモロコシ幼苗の方向に移動しないこと、寒天中に同濃度を処理した実験で、キタネグサレセンチュウがトマト幼苗に集合せず、ランダムに動き回ることを報告している。また、クルミネグサレセンチュウもカルボフラン0.005mM(約2.1 ppm)処理後に50%以上の個体が移動能力を有していたものの、マメ幼苗に向かう能力は完全に失われた(Marban-Mendoza and Viglierchio, 1980b)。以上のように、カルボフランは3種類の線虫の根への定位行動を阻害し、結果として根への集合を阻害するとされた。本実験では、カルボフランは5 ppmではサツマイモネコブセンチュウ幼虫の移動やトマト幼苗への集

合を阻害しなかった。このようなDisanzo(1973)等の結果との違いは、供試線虫の種による薬剤感受性の相違が考えられる。これに対して、ベンフラカルブは、移動阻害作用を示さない5 ppmで幼虫の根への集合を阻害した。このことから本剤には親化合物にはみられない活性が付与されたものと思われる。

Wright et al.(1980)は、サツマイモネコブセンチュウによるキュウリの根への侵入が、オキサミルによって阻害されたことを報告している。本実験でも、オキサミルは同種の幼虫に対して1 ppmでトマトの根への侵入を阻害した。カルボフランも5 ppmで侵入阻害作用を示し、同濃度では移動も根への集合も阻害されなかったことから、侵入に必要な行動が阻害されたものと考えられる。一方、ベンフラカルブも5 ppmで侵入阻害作用を示したが、カルボフランに比べて活性は低かった。

Myers(1972)は、制線虫作用は線虫を殺さずにライフ・サイクルの完結を阻害することであると述べている。植物寄生性線虫にとって寄主植物の根へ集合し寄生することは、ライフ・サイクルの一環として必須であると思われる。ベンフラカルブは、サツマイモネコブセンチュウ幼虫のトマトの根への集合を阻害し、カルボフランと比べると弱いながらも侵入阻害作用を示した。これらの制線虫作用が実際の防除に、どのように結びつくかは次の課題である。

4-3 土壌を介在した活性（ポット試験）

4-3-A 土壌混和

材料および方法

20 g 中にサツマイモネコブセンチュウの幼虫が62頭（ベルマン分離で48時間後に分離された数，6反復の平均）生息する混合土壌（水分10.2%）250 gを直径7.5cm のビニールポットにつめ，これに供試化合物の500 あるいは250ppm水溶液 5 mlを注ぎ十分に混和した。また，対照として水 5 mlを混和した区を設定した。各ポットにトマトの苗（品種：大型福寿，播種29日後）を1本定植し，ガラスハウス内（ $25\pm 3^{\circ}\text{C}$ ）に置いた。管理は適度にポットの土壌表面に灌水し，1週間ごとにOKF-1 肥料（大塚化学株式会社製）500 倍希釈液をポット当たり30ml与えた。定植33日後に各ポットの根を水洗し，ネコブの着生度合を5段階に分け根こぶ指数（Smith and Taylor, 1947）を算出した。試験は12反復で行った。

結 果

結果をTable 25に示した。ベンフラカルブ処理区は，いずれの処理量においても高いネコブ着性阻害活性はみられず，カルボフラン処理区よりもやや低かった。フェナミホス処理区では，根こぶの着生は確認できず高い活性が示された。次にオキサミル処理区の活性が高かった。

4-3-B 土壌灌注

材料および方法

混合土壌に定植されたポット植えキュウリ苗（直径12cmポット，品種：北進，播種14日後）を用いて試験を行った。各ポットの土壌表面に供試化合物の250ppmあるいは125ppm水溶液を5 ml注ぎ込み，24時間放置後，幼虫（24時間以内に孵化）を200 頭含む水 5 mlを土壌表面に注いだ。ポットはガラスハウス内（ $25\pm 3^{\circ}\text{C}$ ）に置いた。管理は土壌混和試験と同様にして行った。幼虫を接種してから15日後に，各ポットの根を水洗し根こぶの数を，直径3 mm以上のものと以下のものに分けて調査した。試験は6反復で行った。

Table 25. Preventive activities against Melodogyne incognita juveniles on tomatoes 33 days after treatment with soil incorporation of benfuracarb and other chemicals

Chemical	Concn. (ppm)	No. of plants in each grade					Gall Index
		4	3	2	1	0	
Benfuracarb	500	0	7	4	1	0	62.5
	250	0	10	2	0	0	70.8
Carbofuran	500	0	4	5	3	0	52.1
	250	0	8	4	0	0	66.7
Oxamyl	250	0	0	0	10	2	20.8
Fenamiphos	250	0	0	0	0	12	0
Control *		8	3	1	0	0	89.6

* Deionized water.

結 果

結果をTable 26に示した。ベンフラカルブ処理区では、高濃度区でも根こぶの着生数はカルボフランの低濃度区の根こぶの着生数よりも多く、ベンフラカルブの生物活性はカルボフランよりも低かった。オキサミルおよびフェナミホス処理区では、根こぶの着生は少なく高い根こぶ着性阻害活性がみられた。

4-3-C 治療的作用

材料および方法

直径7.5cm のビニールポットに定植されたトマト幼苗（播種15日後、本葉1～2枚）のポットの土壌表面に、幼虫（24時間以内に孵化）を200頭含む水5mlを注いだ。ポットはグロースキャビネット（30℃：6:00～18:00；20℃：18:00～6:00）内に入れた。4日後に供試薬剤の所定濃度液5mlをポットに灌注した。完全に治療的效果を検定するときは、予め3～4日間の侵入期間を与えた後に薬剤を与えるとされている（西沢，1986）。薬剤を灌注してから18日後に根こぶおよびトマトの生育を調査した。試験は6反復でおこなった。

結 果

結果をTable 27に示した。ベンフラカルブの1,000ppm区で無処理区よりも有意に根こぶの数が少なかったことから、ベンフラカルブは既に侵入しているセンチュウに対して、根こぶの形成を阻害する活性が示された。しかし、この活性はカルボフランと比較して低かった。フェナミホス500ppmおよびオキサミル250ppm区でも、根こぶ数の減少がみられた。

Table 26. Preventive activities of benfuracarb and other chemicals treated with soil drench on the number of galls formed by Meloidogyne incognita juveniles

Chemical	Concn. (ppm)	No. * of galls per cucumber plant	
		Big size (3mm<)	Small size (<3mm)
Benfuracarb	250	2.2 b	21.8 c
	125	2.0 b	40.0 b
Carbofuran	250	0 b	6.8 d
	125	0.5 b	11.3 cd
Oxamyl	250	0 b	1.3 d
	125	0 b	0.2 d
Fenamiphos	250	0 b	0.3 d
	125	0.3 b	3.7 d
Control **		8.3 a	67.0 a

* Means within the same column followed by the same letter are not significantly different at 5% level using Duncan's Multiple Range Test.

** Deionized water.

Table 27. Therapeutic activities of benfuracarb and other chemicals treated with soil drench on the number of galls formed by Meloidogyne incognita juveniles

Chemical	Concn. (ppm)	No. * of galls per plant
Benfuracarb	1000	33.8 bc
	500	50.7 ab
Carbofuran	1000	12.5 c
	500	25.8 bc
Oxamyl	250	33.5 bc
Fenamiphos	500	16.0 c
Control *		64.7 a

* For symbols see Table 26.

4-3-D 考 察（土壌を介在した作用）

化合物を土壌に処理した場合には，殺線虫活性および制線虫活性が総合されて，線虫に作用するものと思われる。そして，活性発現は寄生や被害の軽減となって示される（近藤・石橋，1984）。土壌混和試験では，ベンフラカルブはオキサミルおよびフェナミホスと比較すると活性が低いものの，カルボフランとは接近した活性が示された。しかし，土壌灌注ではカルボフランに比べて活性は大幅に低かった。その原因としてベンフラカルブが土壌表層に吸着されて，土壌中への拡散が十分でなかったことが考えられる。また，キュウリ苗はあらかじめ根が十分にポット内に広がっており，接種された幼虫がランダムに移動してもすぐ根に行き当たり，根への集合を阻害する活性が有効に発現されなかったものと推察される。

治療的活性については，カルボフランと有意差はみられなかったが活性は低かった。いったん侵入した幼虫に対しては，対照薬剤も含めて活性が発現されにくくなるものと思われる。

カーバメート剤および有機燐剤のような接触剤で土壌中の植物寄生線虫類を防除するためには，直接の殺虫力，分散の阻害，根への集合あるいは侵入阻害活性のいずれかを有することが必要であると考えられる。ベンフラカルブは，根への集合阻害活性が付与されたものの，親化合物の有する幼虫の分散を阻害する活性を失い，根への侵入阻害活性が低下したことから，総合的に幼虫に対する生物活性は親化合物に比べて低下したものと思われる。

5 考 察 (ベンフラカルブの作用特性)

ベンフラカルブは、カルボフランの哺乳動物に対する毒性を下げるために化学修飾された化合物である。これによって、分子量は約2倍になり、水溶性が減少し分配係数が大きくなった。この物理化学的性質の変化は、以下で述べるように親化合物とは異なる作用性をもたらした。

ベンフラカルブの生物活性は、直接虫体に施用された場合にはカルボフランよりも大幅に低いにもかかわらず、土壌処理では作物を介在して同等以上の活性が示された。また、ベンフラカルブのイネの根に対する吸着率および根による吸収率は、カルボフランよりは高く、この性質が高い活性を示す要因であると考えられた。しかし、ベンフラカルブの土壌を介在した活性発現機構の検討から、本化合物は土壌に吸着されて、稲体には直接吸収されずカルボフランに変換されて、土壌を離れ稲体に取り込まれることが推察された。

土壌カラムでの移行性試験の結果から、ベンフラカルブはカルボフランに比べ土壌中での移動性が極めて少なく、処理された土壌に保持されることが明らかとなった。さらに、異なった人工降雨下でのポット試験において、降雨量の多少にかかわらず安定した生物活性が示された。このような性質は水溶性が低く、土壌に吸着されやすいベンフラカルブの物理化学的性質に起因するものと思われる。すなわち、本化合物は土壌に処理されたときに、作物の根が吸収可能な範囲内に長期間とどまり、範囲外に速やかに出てしまう親化合物に比べて、施用量に対して作物に吸収され、害虫の防除に関与する活性成分の割合が大きいことが考えられた。

他のカルボフランのスルフェニル誘導体であるカルボスルフェン (Maitlen and Sladen 1979) およびフラチオカルブ (Backman and Drabek, 1981) も分子量はカルボフランよりも大きいにもかかわらず、圃場試験では重量換算の等薬量で同等の活性が示されることは興味を持たれる。

一方、線虫に対する生物活性は化合物が作物を経由しないで、直接土壌中の幼虫に対する接触作用による殺虫力、分散阻害、根への集合あるいは侵入阻害によって幼虫が根へ侵入する以前に、活性が発現されることが重要と考えられる。ベンフラカルブは、サツマイモネコブセンチュウに対して根への集合阻害活性が付与されたものの、親化合物の持つ分散阻害活性を失い、根への侵入阻害活性が低下したことから、本種に対する生物活性は、カルボフランよりも総合的に低下したものと思われる。また、標的生物が土壌中に分散して生息し、直接化合物の接触が必要とされる場面では、土壌中で移動が少ないという性質は、逆に活性が十分に発現されない要因となるものと考えられた。

第Ⅱ章 ベンフラカルブの塗布処理による生物活性

Umetsu et al. (1985) はワタの葉の基部に、 C^{14} でラベルしたベンフラカルブを局所施用したところ、処理した葉と茎全体に放射能活性が確認された。茎への注入では、根を含む植物全体へのより速やかな放射能活性の移行がみられた。以上のことからベンフラカルブは、作物の茎の一部に処理されることによって、有効成分が葉や他の茎に移行して、茎葉を加害する害虫に活性が示されることが考えられる。また、根に移行して線虫類による加害を防ぐことも期待される。この章では、ベンフラカルブのペースト剤をキャベツあるいはキュウリの茎に処理することによって、モモアカアブラムシ (*Myzus persicae*)、コナガ (*Plutella xylostella*) およびワタアブラムシ (*Aphis gossipii*) に対する生物活性を粒剤の活性と比較した。また、トマトの茎に処理することによって、線虫の防除が可能か否かについてオキサミルおよびマレイン酸ヒドラジット (MH) とともに検討した。

1 作物の茎葉を加害する害虫に対する活性

1-1 キャベツのモモアカアブラムシおよびコナガ

材料および方法

試験は、鳴門市の大塚化学(株)試験圃場内にあるガラスハウスで行った。1985年4月23日に、キャベツ苗(品種:四季取りカンラン、播種40日後、本葉4~5枚)を幅120cmの畝に株間50cmの間隔で2列に定植した。施肥は慣行に従った。2日後に大塚化学(株)の製剤研究室で処方したベンフラカルブおよびオキサミルのペースト剤(いずれも有効成分20%)を0.05g(有効成分10mg)量り取った2×4cmのビニールテープ(パラフィルムM)を、子葉の上部に巻きつけクリップ(商品名:接ぎ木フレンド…日本ピアレス工業株式会社製)で固定した。また、ベンフラカルブの粒剤(5%)は2g、オキサミルの粒剤(1%)は10gをキャベツの株元に処理した。1区6株、3反復にて試験を行った。経時的にモモアカアブラムシについては無羽成虫および幼虫数、コナガについては幼虫数を調査した。

結 果

モモアカアブラムシに対する結果をTable 28に、コナガに対する結果をTable 29に示した。ベンフラカルブ・ペースト剤の塗布処理は、粒剤の有効成分の1/10でモモアカアブラムシに対して、処理7日後にベンフラカルブ粒剤処理と同等以上の生物活性が示された。

21および35日後には粒剤の活性よりやや低かったが約70%の活性が示された。オキサミルは、ペースト剤、粒剤ともに処理7日後から35日後まで高い防除効果が示された。

コナガの発生は薬剤処理21日後にみられた。ベンフラカルブ・ペースト剤はコナガに対しては21日後に粒剤と同等の活性が示され、35日後まで粒剤と有意差のない79~87%の高い生物活性が示された。一方、オキサミルはペースト剤、粒剤ともにコナガに対しては活性が低く、35日後の残効性は示されなかった。

Table 28. Comparison of the preventive activity of benfuracarb paste treated on the stems of the cabbages with that of granule against green peach aphids

Insecticide	Dose (mg a.i./plant)	% Control * at indicated days after treatment		
		7	21	35
Benfuracarb (20P) **	10	48 b	68 b	71 b
Oxamyl (20P)	10	100 a	98 a	81 ab
Benfuracarb (5G)***	100	35 b	83 ab	97 a
Oxamyl (1G)	100	100 a	100 a	99 a
Untreated	-	0 c	0 c	0 c
		(3.3) ****	(19.9)	(61.7)

* Means within the same column followed by the same letter are not significantly different at 5% level using Duncan's Multiple Range Test.

** 20% paste.

*** 5% granule.

**** Numbers of insects per plant in untreated plots.

Table 29. Comparison of the preventive activity of benfuracarb paste treated on the stems of the cabbages with that of granule against diamondback moths

Insecticide	Dose (mg a.i./plant)	% Control * at indicated days after treatment		
		21	28	35
Benfuracarb (20P) **	10	88 a	87 a	79 a
Oxamyl (20P)	10	15 bc	51 b	12 b
Benfuracarb (5G)***	100	85 a	96 a	98 a
Oxamyl (1G)	100	39 b	51 b	0 b
Untreated	-	0 c	0 c	0 b
		(1.8) *****	(5.6)	(3.2)

For symbols see Table 28.

1-2 キュウリのワタアブラムシ

材料および方法

試験は、鳴門市の大塚化学（株）試験圃場内にあるガラスハウスで行った。1985年8月17日に、キュウリ苗（品種：夏秋節成，22日苗）を幅120cmの畝に、株間50cmの間隔で1列に定植した。施肥は慣行に従った。定植後ベンフラカルブ・ペースト剤を0.1 g量り取った2×4cmのパラフィルムMを子葉の上部の茎に巻きつけ、クリップ（接ぎ木フレンド）で固定した。また粒剤処理区は各2 gを植穴処理した。1区3株，3反復にて試験を行った。調査は処理6，14および30日後に葉幅が5 cm以上の葉を上位から3枚選び、ワタアブラムシの無羽成虫および幼虫数を調査した。

結 果

結果をTable 30に示した。ベンフラカルブ・ペースト剤の塗布処理は、粒剤の有効成分の1/5でワタアブラムシに対してベンフラカルブ粒剤と同等の高い生物活性が示された。

1-3 考 察（茎葉を加害する害虫に対して）

茎に塗布されたベンフラカルブ・ペースト剤が有効成分を害虫の加害部に持続的に送りこむ源（source）となって、高い活性と残効性が示されたものと思われる。また、粒剤のように土壌を介在していないので、土壌中における分解や流亡がなく、処理された成分が害虫の防除に効率良く関与したものと考えられる。

Table 30. Comparison of the preventive activity of benfuracarb paste treated on the stems of the cucumbers with that of granule against cotton aphids

Insecticide	Dose (mg a.i./plant)	% Control * at indicated days after treatment		
		6	14	30
Benfuracarb (20P) **	20	100 a	100 a	81 a
Benfuracarb (5G)***	100	100 a	93 a	87 a
Carbosulfan (5G)	100	100 a	93 a	55 b
Untreated	-	0 b (3.4) ****	0 b (3.0)	0 c (17.2)

For symbols see Table 28.

2 サツマイモネコブセンチュウに対する活性

材料および方法

大塚化学（株）の製剤研究室で調製されたベンフラカルブ塗布剤（40% a.i.）および対照としてオキサミル塗布剤（処方1:20% a.i.）を試験-1では、1株当たりベンフラカルブは有効成分で24mgおよび10mg、オキサミルは5mgを直径7.5cmのビニールポットに定植されたトマト苗（品種：大型福寿、播種31日後）の子葉下部の茎周囲に塗布した。

試験-2では、オキサミル塗布剤（処方2:20% a.i.）および対照としてMH塗布剤（20% a.i.）を有効成分量で各20mg塗布した。ポットはガラスハウス内（ $25\pm 3^{\circ}\text{C}$ ）に置いた。

試験-1

処理4日後に各トマト苗を1/5,000 aのワグナーポットに移植し、さらに3日後にポットの土壌4ヵ所（ポットに内接する正方形の頂点の位置）に深さ2cm、幅1cmの穴にサツマイモネコブセンチュウの第2期幼虫（孵化24時間以内）を1穴について約250頭（2.5mlの水）、計約1,000頭接種した。

試験-2

処理2日後に直径12cmのポットに移植した。さらに2日後にサツマイモネコブセンチュウの幼虫（孵化24時間以内）約500頭を含む5mlの水を、ポットの土壌全面に均一に注ぎ込んだ。

育苗管理は、適度にポットの土壌表面に水を注ぎ茎葉には水がかからないようにした。なお、塗布剤が流れて土壌面に届くようなことはなかった。薬剤塗布後6および10日後にOKF-1肥料の500倍希釈液をポット当たり50ml与えた。幼虫を接種して、試験-1では13日後、試験-2では12日後に根を水洗し、根こぶ数を直径3mm以上のものと以下のものとに区別して調査した。また、試験-1では薬剤処理4および7日後に葉害を、試験-2では根こぶ調査直前に草丈、地上部重および根の生重量を調査した。なお、ポットに用いた土壌は第1章の4-3で用いた混合土壌である。

結 果

試験-1

結果をTable 31に示した。ベンフラカルブ塗布処理区と無処理区の根こぶ数には差がなく、根こぶ着性阻害活性はみられなかった。一方、対照のオキサミル塗布処理区では3mm以上の根こぶ数と総数が無処理区に比べて有意に少なく、ネコブセンチュウに対する活性がみられた。葉害の程度をTable 32に示した。ベンフラカルブの24mg(a.i.)処理区では4日後に、下葉の周囲にわずかな褐色斑がみられた。また、7日後には症状が進んだ。しか

し、13日後には症状は軽減され生育に影響はみられなかった。

試験 - 2

根こぶの着生の結果をTable 33に示した。オキサミル塗布処理区は無処理区に比べて根こぶの着生数が有意に少なく、根こぶ形成阻害活性がみられた。MH塗布処理区は無処理区に比べて根こぶ数はやや少なかったが有意差はなかった。草丈、地上部および根重の結果をTable 34に示した。オキサミル塗布処理区は無処理区と差がなかった。また、薬害の症状はみられなかった。MH塗布処理区は、生重量と根重において他の区より劣り生育阻害がみられた。特に、根重は無処理区の約50%であった。しかし、葉には薬害の症状は示されなかった。

考 察

C¹⁴-ベンフラカルブをトマトの茎に局所施用することにより、ベンフラカルブが根に移行する可能性がある（柳瀬，私信）。このことからベンフラカルブがトマトの茎に塗布処理されれば，その場所が本化合物を茎から根に持続的に送りこむ源となって，線虫の防除が可能ではないかとの考えに基づいて，試験を行ったが，薬害が発生する処理量を塗布しても活性は示されなかった。このことから，たとえベンフラカルブが根に移行したとしても濃度が十分でなかったか，あるいは根にとどまっている時間が短すぎて，幼虫に対して活性を示すまでには至らなかったことが考えられる。一方，オキサミルを塗布処理した場合には，試験-1および試験-2の両試験においてサツマイモネコブセンチュウに対して根こぶ形成阻害活性が示された。オキサミルを作物の茎葉に散布すれば，線虫あるいは線虫が媒介するウィルス病が防除されることは，多くの研究（Radewald et al., 1970; Birchfield, 1971; Miller, 1972; Rich and Bird, 1973; Abawi and Mai, 1975; Timmer, 1975; Potter and Marks, 1976a; 1976b; Gowen, 1977; Alphey, 1978; Starr et al., 1978; Wright et al., 1980; Wright and Womach, 1981）によって明らかとされている。現在，オキサミル粒剤はガス抜きの不用品殺線虫剤として日本で使用されている。また，浸透移行性を有し粒剤の土壌処理で，ミナミキイロアザミウマ（池田ら，1984；葭原，1985）およびアブラムシ類にも高い防除効果を有している。オキサミルを作物の茎に塗布処理すれば，線虫および茎葉を加害する害虫に対して効率の良い同時防除が期待される。Nusbaum（1958）はタバコで，Peacock（1960, 1963）はトマトで，MHを茎葉散布あるいは茎に処理することによって，サツマイモネコブセンチュウが防除されたことを報告している。しかし，トマトでは根の生育が阻害されたことが述べられている。

Table 31. Effects of painting application of benfuracarb and oxamyl pastes on the number and the size of galls formed by southern root-knot nematodes, Meloidogyne incognita

Chemical	Dose (mg a.i./plant)	Number* of galls per plant		
		3mm<	<3mm	Total number
Benfuracarb (40P)	24	18.2 a	96.8 a	115.0 ab
Benfuracarb (40P)	10	16.2 a	93.0 a	109.2 ab
Oxamyl(20P-Recipe 1)	5	9.2 b	75.8 a	84.2 b
Untreated	-	17.7 a	109.5 a	127.2 a

* Means within the same column followed by the same letter are not significantly different at the 5% level using Duncan's Multiple Range Test.

Table 32. Phytotoxicity by painting application of benfuracarb paste to the tomatoes four and seven days after application

Chemical	Dose (mg a.i./plant)	Phytotoxicity (DAT)	
		4	7
Benfuracarb (40P)	24	- ~ ±	± ~ +
Benfuracarb (40P)	10	-	-
Oxamyl(20P-Recipe 2)	5	-	-
Untreated	-	-	-

- : No phytotox.

± : Slight phytotox. (Brown spots)

+ : Clear phytotox. (Brown spots)

Table 33. Effects of painting application of oxamyl and MH-pastes on the number and the size of galls formed by Meloidogyne incognita juveniles

Chemical	Dose (mg a.i./plant)	Number* of galls per plant		
		3mm<	<3mm	Total number
Oxamyl(20P-Recipe 2)	20	0 a	46.0 b	46.0 b
MH (20P)	20	0.3 a	115.8 a	116.0 a
Untreated	-	0.5 a	144.3 a	144.8 a

For symbols see Table 31.

Table 34. Plant heights and flesh weights of the arial parts and roots of the tomatoes treated with each paste

Chemical	Dose (mg a. i. /plant)	Plant height * (cm)	Flesh weight* (g)	
			Earial part	Root
Oxamyl(20P-Recipe 2)	20	32.5 a	72.5 a	21.0 a
MH (20P)	20	33.1 a	55.3 b	9.6 b
Untreated	-	36.1 a	77.0 a	20.7 a

For symbols see Table 31.

3 考 察 (塗布処理による生物活性)

薬剤を作物の茎あるいは幹に処理して病虫害を防除する試みは、樹木において多く行われてきた。日本では、マツノザイセンチュウ防除のためにマツの幹への薬剤注入(深見, 1984), カンキツのゴマダラカミキリムシに対して幹へのベンゾエピン・ペースト剤塗布処理(前, 1983), あるいはチオファネートメチル・ペースト剤を塗布処理する方法などが知られている。Mcnelly et al. (1969) は、プルーン若木の幹に殺虫剤を吹きつけて、タマムシ科の害虫の防除に成功している。また、Chia and Chu (1977) はカンキツ類の幹にランネートおよびバイデート剤を塗布処理することによって、ミカンハモグリガの防除に成功している。以上は幹や葉を加害する害虫に対してであるが、一方、Peacock (1963; 1966) は作物の茎葉に薬剤を処理することによって、根を加害する線虫類を防除する考えを持っていた。彼は、1,000ppmのマレイン酸ヒドラジット(MH)をトマトの茎から浸透させるとネコブセンチュウの発育が阻害されることをみいだした(Peacock, 1960)。化合物を茎葉に処理して線虫類を防除した例は、Systox (Sasser, 1952), Tionazin (Oliff, 1966; Reddy and Seshadri, 1971), Oxamyl (前出), Fenamiphos (Homeyer, 1971; Griffin, 1975) などで知られている。これらの化合物は、いずれも植物に対して浸透移行性があり有効成分が根に移行して、線虫類に対して活性を示すものと考えられている。

本研究からベンフラカルブのペースト剤を茎の一部に塗布処理すれば、粒剤を土壤に処理した時と同様に長期間、茎葉を加害する害虫を防除することが可能であることが判明した。また、オキサミルのペースト剤を茎の一部に塗布処理すれば、サツマイモネコブセンチュウによる根こぶの形成を阻害する活性が示されることが明らかとなった。ところで、端山(1975)は薬剤を樹木内に浸透させ、目的の病虫害の予防および治療をする方法は、散布法と異なり、直接木に対する必要以外の薬剤は不用できわめて経済的であると述べている。大串(1982)は、農薬の使用量の増大ではなく、より少量の農薬にその効果を十分に発揮させる方向は、省力化とは必ずしも結びつかないが、このような技術改善の方向こそが大切であると述べている。薬剤を作物の茎に塗布して病虫害を防除する方法は、これらの方向と一致するものと考えられる。現在、ハウス栽培などの集約された農業では、非常に多くの労力がかけられている。1本1本の作物に時間と労力をかけても採算が取れる作物では、塗布処理は農家のレベルでも実現可能であると思われる。しかし、将来、種苗会社や農協の育苗センターなどで、農家に苗を手渡す前に一括して短時間に、しかも多量に処理するシステムが開発されることが期待される。

第Ⅲ章 ベンフラカルブ粒剤の処理時期とコガネムシ類に対する活性発現

コガネムシ類の幼虫は、サツマイモの塊根部など畑作物の根部を食害する害虫として古くから知られている（深沢ら，1972 a；山内，1974；山内ら，1974；谷口，1981；稲生・高井，1984；東，1986）が，特に1960年代の後半（深沢・山内，1974；西垣，1974；1977 b）あるいは1970年代（戸塚ら，1976；吉岡・松本，1976；法橋・長嶺，1978；谷口，1981）に入ってから発生が目立ち，関東（深沢・山内，1974；稲生・高井，1978；1984），東海（深沢ら，1972 a；1972 b；深沢・山内，1974；吉田，1986），四国（吉岡，1972；吉岡・山崎，1984）および九州・沖縄（照屋ら，1977；法橋・長嶺，1978）などにおいて被害が多発している。しかし，適切な防除方法は確立されておらず，難防除害虫（甘日出，1984；甘日出ら，1984；稲生，1986；黒木，1986；沢田，1986；内藤，1987）とされている。近年，神奈川，茨城および栃木の3県は，^{*} 行動解析に基づく土壌害虫の効率的防除技術の開発(1990)^{*} として，コガネムシ類の行動特性を利用した効率的防除方法の確立を目指している。この研究の中でベンフラカルブ粒剤は，イチゴのドウガネブイブイに対して優れた効果を示した。また，日本植物防疫協会の委託試験でサツマイモやラッカセイのコガネムシ類幼虫に対しても防除効果が認められている（内藤，1987）。この章では，コガネムシ類の発生時期を踏まえて，ベンフラカルブ粒剤の処理時期と防除効果との関係を調べ，効率的活性発現について検討した。

1 ベンフラカルブのドウガネブイブイに対する生物活性

1-1 成虫に対する活性

材料および方法

鳴門市のブドウ園で葉を摂食中の雌成虫を採集して供試した。試験は深沢ら（1972b）の虫体浸せき法に準じて行った。供試薬剤のうちベンフラカルブ乳剤は大塚化学（株）で調製したものを用い、フェンチオン（バイジット）およびダイアジノン乳剤は市販のものを用いた。供試虫を10頭所定濃度の薬液に約10秒間浸せき後、ろ紙上に移し直ちに人工飼料（天蚕のクロレラ人工飼料：ヤクルト本社中央研究所製）を入れたプラスチックカップ（直径12cm、高さ5cm）に入れ布ぶたをして、 $25\pm 2^{\circ}\text{C}$ 、16L-8Dの条件下に置いた。試験は3反復で行った。処理24時間後に致死個体および歩行不能個体数を調査した。

結果および考察

結果をTable 35に示した。ベンフラカルブは100 ppm で100 %の活性を示し、ダイアジノンの13%と比べると高い活性を示した。しかし、50 ppmでは37%に活性は低下し、フェンチオンの63%と比べると低かった。以上のことからベンフラカルブのドウガネブイブイの成虫に対する生物活性は、フェンチオンよりは低くダイアジノンよりは高いものと思われる。

1-2 幼虫に対する活性

材料および方法

鳴門市内の大塚化学（株）試験圃場の砂壤土（粗砂：13.7%，細砂：57.9%，シルト：15.1%，粘土：13.3%，pH：6.0，最大含水量：44.5%）800 g（水分：1.4 %）に水道水を50ml加え，さらに所定の濃度に調製した薬液を50ml加えて混和した。薬液は，各乳剤を水道水で調製した。各化合物の土壤中での濃度は，水分10.9%を含む900 gの土壤に対しての濃度として計算した。各土壤を300 gずつ3個のプラスチックカップ（直径12cm，高さ5 cm）に入れ，輪切りにしたサツマイモ片（重さ：10 g，直径：34.5±3.4mm；10 個の平均）を中央に上面が土壤表面と同じ高さになるように埋め込んだ。ドウガネブイブイの1令幼虫（体重：46.2±13.0mg；20頭の平均）をポット当たり6頭入れた。試験は3反復で行った。カップを25±2℃，16L-8Dの条件下に5日間置き，幼虫の生死および土壤中に埋め込まれたサツマイモ片の土壤中の片面における食害度を調査した。

Table 35. Activity of benfuracarb against adults of Anomala cuprea

Insecticide	Concn. (a.i. ppm)	Activity(%) *
Benfuracarb 40EC **	100	100 a
	50	37 c
	25	7 d
Fenthion 50EC	100	100 a
	50	63 b
	25	10 d
Diazinon 40EC	200	77 b
	100	13 d
	50	0 d

$$* \frac{\text{No. of dead insects} + \text{No. of insects that can't walk}}{\text{No. of treated insects}} \times 100$$

Means followed by the same letter are not significantly different at 5% level using Duncan's Multiple Range Test.

** 40% emulsifiable concentrate.

調査は次の基準で実施した。食害度 0 : 食害面積 0 %, 食害度 1 : 食害面積 1 ~ 10 %, 食害度 2 : 食害面積 11 ~ 24 %, 食害度 3 : 食害面積 25 ~ 50 %, 食害度 4 : 食害面積 51 % ~

結果および考察

結果をTable 36に示した。ベンフラカルブの処理区では1.0 ppm で100 %, 0.1 ppm で22 %, 0.01 %で6 %の殺虫活性が示された。また, 1.0 ppm ではほとんど食害されていなかったが0.1 および0.01 ppmでは3 ~ 4の食害度を受けた。フェンチオンおよびダイアジノンも1 ppm で100 %の殺虫活性が示された。フェンチオンの0.1 ppm では17 %の殺虫活性が示され, 食害度は3 ~ 4であった。以上のことからベンフラカルブのドウガネブイブイの1令に対する殺虫活性は, 現在サツマイモのコガネムシ防除剤として広く使用されているフェンチオンとほぼ同等と思われる。谷口(1981)は, 砂の中にコガネムシ防除剤として使用されている数種の薬剤を混和し, ドウガネブイブイの3令幼虫を放ち殺虫活性を調査した。その結果, フェンチオンおよびダイアジノンの活性はイソキサチオン, メソミル, DEP およびアセフェートよりも高かった。このことからベンフラカルブのドウガネブイブイ幼虫に対する殺虫活性は慣行薬剤と比較しても高いものと推察された。

Table 36. Activity of benfuracarb against 1st-instar larvae of
Anomala cuprea by soil incorporation

Insecticide	Concn. (a. i. ppm)	Mortality (%)	* Degree of damage ¹⁾
Benfuracarb 40EC**	1.0	100 a	0 ~ 1
	0.1	22 b	3 ~ 4
	0.01	6 bc	3 ~ 4
Fenthion 50EC	1.0	100 a	1
	0.1	17 bc	3 ~ 4
	0.01	0 c	3 ~ 4
Diazinon 40EC	1.0	100 a	0 ~ 1
Untreated	-	0 c	4

- ¹⁾ Degree of damage 0 : % of damaged surface area 0
 1 : % of damaged surface area 1 ~ 10
 2 : % of damaged surface area 11 ~ 24
 3 : % of damaged surface area 25 ~ 50
 4 : % of damaged surface area 51 ~ 100

* Means followed by the same letter are not significantly different
 at 5% level using Duncan's Multiple Range Test.

** 40% emulsifiable concentrate.

2 ベンフラカルブ粒剤のコガネムシ類に対する活性発現

2-1 試験圃場

試験は、徳島県鳴門市の大塚化学（株）試験圃場で行った。圃場の周囲は、5～9（10）月にサツマイモ、9（10）～2（3）月にはダイコンが栽培されている。使用した畑の見取り図をFig. 10に示した。南北に長く、南と西側にガラスハウスがあり北側はスイカ畑である。東側は幅24cmの溝を隔てて土手がある。土手の上には、北からビワ（高さ：2.5m）、スモモ（高さ：2.2m）、ヤマモモ（高さ：1.8m）、ビワ（高さ：2.4m）、スモモ（高さ：2.6m）およびヤマモモ（高さ：1.9m）が定植されており、これらの樹木には6～8月にドウガネブイブイを主体としてコガネムシ類の成虫が飛来した。土手にそって農道があり、農道の東側およびスイカ畑の北側に一般農家のイモ畑が存在した。なお、土壌は砂壤土であり前年もサツマイモが栽培された。

2-2 試験期間中の気象

試験圃場内に設置された百葉箱の温度計および雨量計が記録した試験期間中の最高、最低温度をFig. 11に、雨量をFig. 12に示した。雨量については、雨量計の精度を考慮して3mm以上の値についてピックアップした。これらによると、7月17日までは最高気温が20～25℃の日が多く、最低気温は15℃前後から次第に上昇し20℃前後になる日が続いたが、7月18日からは最高気温が急激に上昇して30℃付近になり、以後9月の最終調査時まで平均して30℃以上の最高気温を記録した。降雨についてみると、5月から7月17日までは定期的に降雨がみられた。しかし、7月18日以後降雨はほとんどなくこの状態が最終調査日まで続いた。

2-3 成虫の飛来消長

材料および方法

土手上の北から6本の樹木（ビワ、スモモ、ヤマモモ各2本）に飛来したコガネムシ類の種類と数を、1986年の6月10日からほぼ5日おきに8月31日まで調査した。調査は10:00（A.M.）から12:00の間に行った。

結果および考察

飛来したコガネムシの大部分がドウガネブイブイであった。その他に、ヒメコガネ、ア

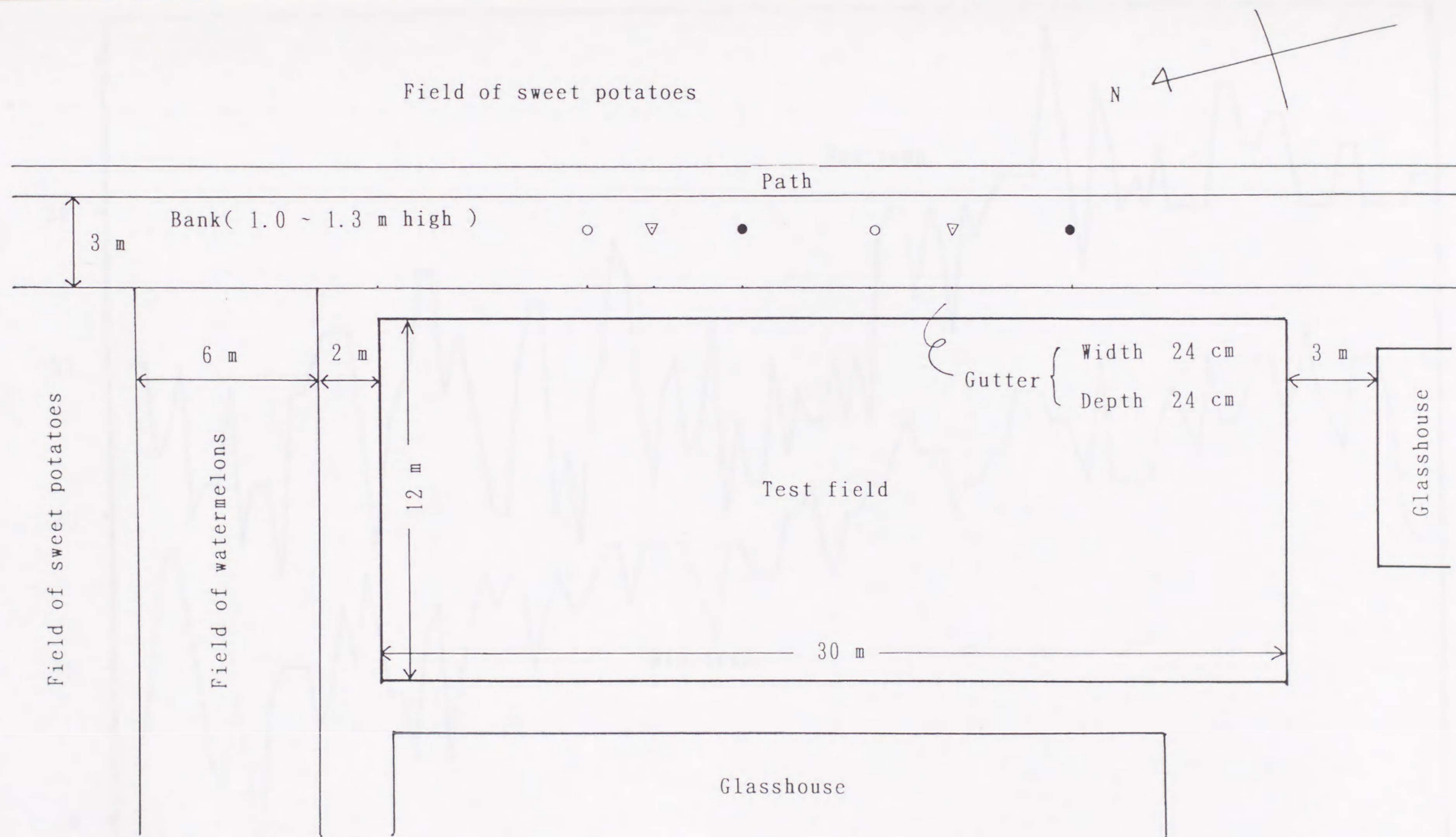


Fig.10. Sketch of the test field.

- Loquat ▽ Plum
 ● Yamamomo

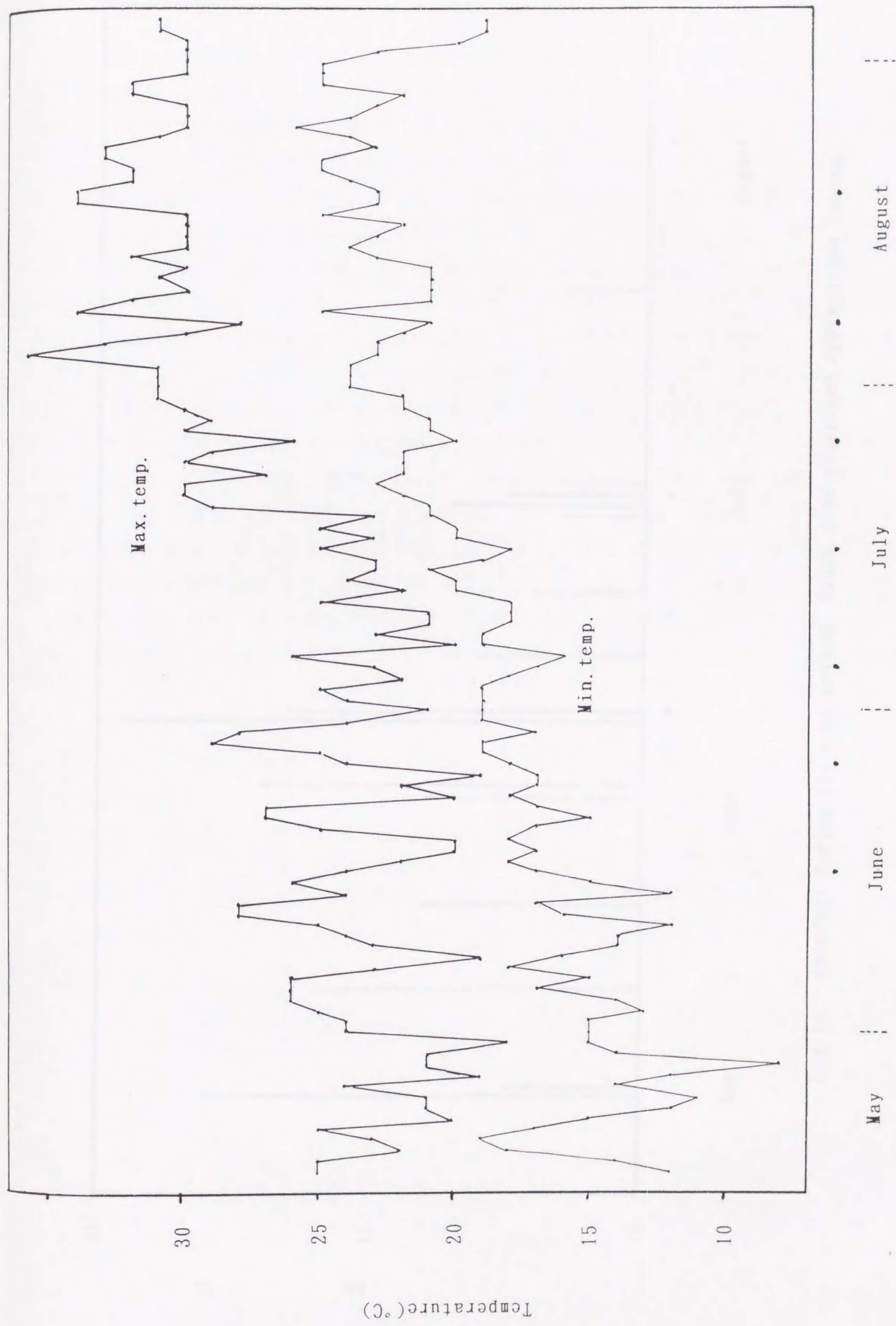


Fig. 11. Maximum and minimum temperature during the test period. Black dots represent application timing.

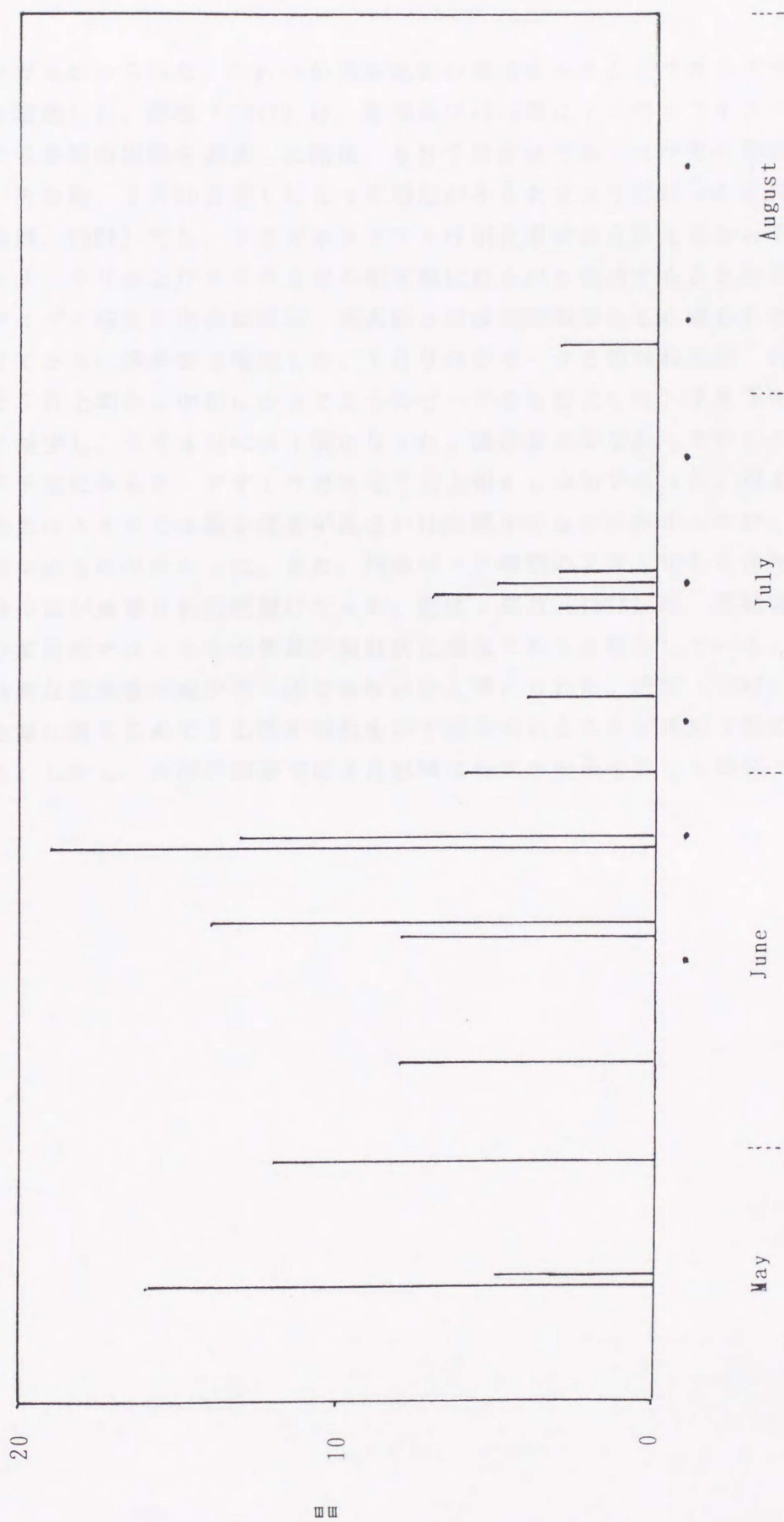


Fig. 12. Rainfall during the test period. Black dots represent application timing.

オドウガネがみられた。Fig.13の飛来総数の消長をみるとドウガネブイブイは6月20日に急激に増加した。西垣(1977)は、静岡県で1972年にドウガネブイブイ成虫の食餌植物上における最初の出現を調査した結果、6月7日前後であったがその時の個体数は非常に少なく、その後、6月20日近くになって増加がみられるようになったと報告している。栃木県(本郷, 1981)でも、ドウガネブイブイは羽化直後の6月上旬から下旬にかけて、ブドウ、ウメ、クリおよびサクラなどの樹木類にむらがり食害することから、鳴門市でのドウガネブイブイ成虫の出現は静岡、栃木県とほぼ同時期であると思われる。その後7月上旬にかけてさらに飛来数は増加した。7月9日がピークと思われたが、10日後に同数飛来したので7月上旬から中旬にかけて2つのピークを形成した。7月下旬になると飛来数は急激に減少し、8月4日には1頭になった。飛来数は少なかったがヒメコガネのピークは6月下旬にみられ、アオドウガネは7月上旬から中旬であった。樹上のドウガネブイブイの成虫はスモモでは葉を摂食中あるいは交尾中のものが多かったが、ヤマモモやビワでは静止中のものが多かった。また、飛来ピーク時期の7月上旬から中旬には、スモモでは大部分の葉が食害された状態になった。稲生・高井(1978)は、茨城県内のドウガネブイブイの多発地ではスモモの新葉が網目状に暴食されると報告している。餌の減少が7月下旬の急激な飛来数の減少の一因ではないかと考えられた。沢田(1986)は8月上旬前後に一旦急激に落ちこんで2山型の消長を示す傾向のあることが各地で認められていると述べている。しかし、今回の調査では8月以降はわずかの飛来数しか確認できなかった。

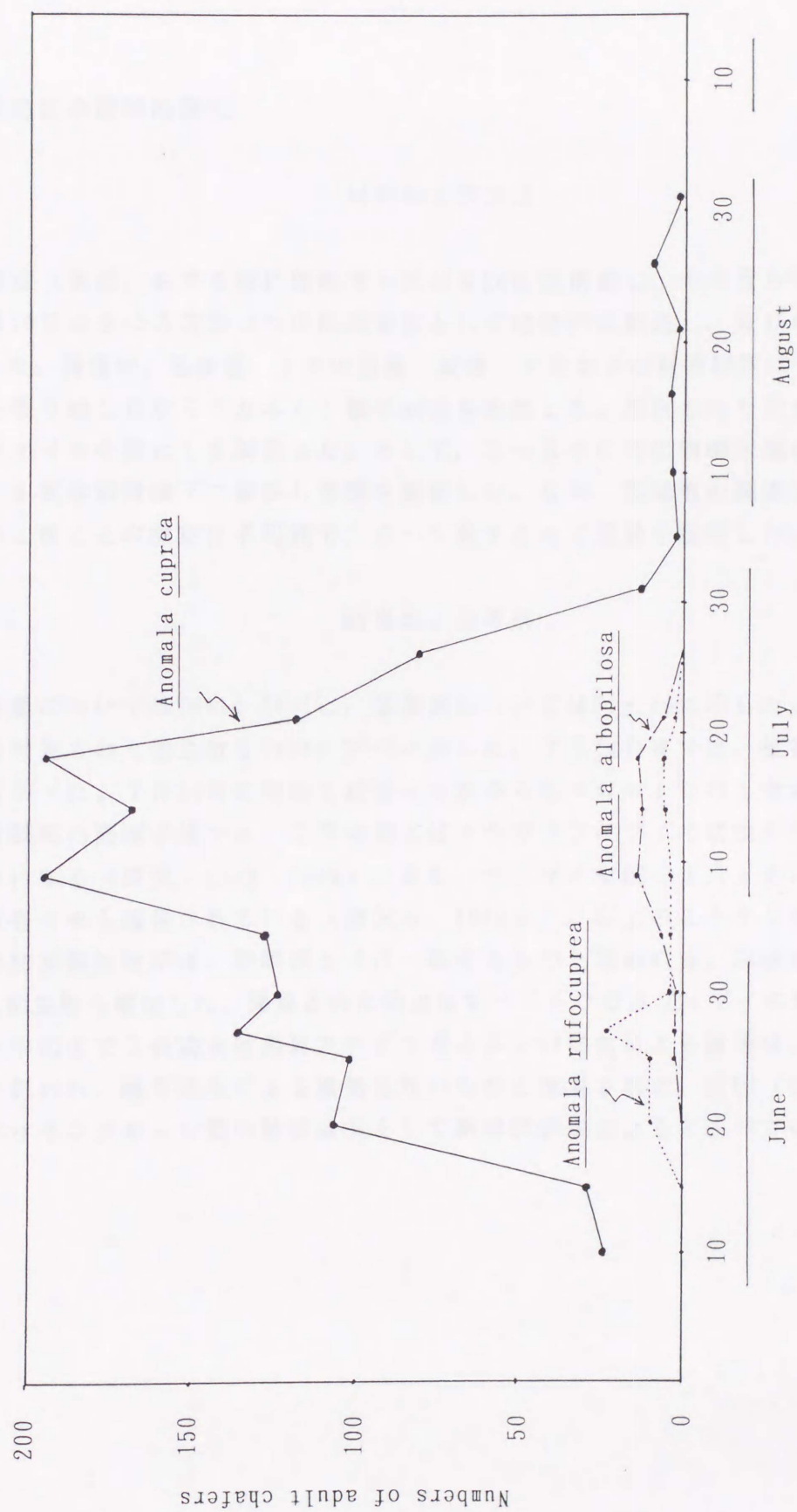


Fig. 13. Number of adult chafers came to the fruit trees on the bank.

2-4 無処区の経時的調査

材料および方法

試験区設定（後述）をする時に無処理の区画を24区画用意し，そのうち21区画は6月14日からほぼ10日おきに3区画づつ中間調査区として経時的に調査し，残りの3区画を最終調査用とした。調査は，茎葉重，イモの重量，被害イモ数および被害程度について行った。また，畝を掘り崩しながらコガネムシ類の幼虫を採集した。発見された幼虫はすべて飼育室内でサツマイモを餌にして飼育した。そして，2～3令の時に腹部末端の棘毛配列（倉永，1986）を実体顕微鏡下で観察し種類を調査した。なお，茎葉重の調査はすでに茎と茎が絡み合い1株ごとの測定は不可能で，6～9株まとめて重量を測定した。

結果および考察

イモの重量についてはTable 37-1に，茎葉重についてはFig. 14に示した。被害イモ数の割合および発見された幼虫数をTable 37-2に示した。7月14日までは，被害イモも幼虫も発見されなかった。7月24日に初めて被害イモがみられコガネムシの1令幼虫が1頭発見された。静岡県海岸砂地では，7月中旬にはドウガネブイブイの幼虫が作物の根部を加害するようになる（深沢・山内，1974）。また，サツマイモ畑で8月上旬に若令幼虫が発見され，被害イモも報告されている（深沢ら，1972a）。以上のことから鳴門市での幼虫のイモへの加害開始時期は，静岡県とほぼ一致するものと思われる。以後被害が増加して発見された幼虫数も増加した。発見された幼虫はすべてドウガネブイブイの幼虫であった。また，8月中旬まで3令幼虫は発見されずコガネムシの幼虫による被害は，新世代幼虫によるものと思われ，越冬幼虫による被害はないものと推察された。沢田（1986）は，サツマイモにおけるコガネムシ類の被害は主として新世代幼虫によると述べている。

Table 37-1. Weights of the sweet potatoes sampled in the 14/June-16/August period from the untreated plots

Date	Days after transplanting	No. of hills	No. of potatoes	Mean \pm S. D. (g)
14 June	37	25	152	1.5 \pm 1.5
24 June	47	19	143	11.7 \pm 10.0
3 July	56	24	178	25.0 \pm 18.9
14 July	67	22	168	35.6 \pm 30.3
24 July	77	27	184	47.7 \pm 43.2
4 August	88	24	147	89.4 \pm 66.7
16 August	100	24	173	119.7 \pm 80.1

Table 37-2. Percentage of the damaged potatoes, the number of the larvae of Anomala cuprea and their insters collected in the 14/June-16/August period from the untreated plots

Date	Days after transplanting	Percentage of damaged potatoes	No. of larvae in each inster		
			1	2	3
14 June	37	0	0	0	0
24 June	47	0	0	0	0
3 July	56	0	0	0	0
14 July	67	0	0	0	0
24 July	77	9.2	1	0	0
4 August	88	21.1	1	1	0
16 August	100	14.5	6	7	0

材料および方法

圃場全体を東西に3等分し、土手側、中間地帯およびハウス側の3ブロックとした。畝は東西に作り幅は80cmとした。慣行に従って1回目の薬剤処理は5月17日(1988)に行い、無処理区を除く全区に対してそれぞれの供試薬剤で、畝立て直前に作条処理を行った。畝立て後マルチ被覆を行い翌日、イモの苗(品種:鳴門金時)を株間45cmで定植した。施肥、定植方法および管理は慣行に従った。なお、6月14日に区と区の間には波板を設置した。試験区は、ベンフラカルブ粒剤を6月14日からほぼ10日おきに8月16日まで1回だけトップドレッシングする7つの区と、ベンフラカルブ、慣行防除薬剤のフェンチオンおよびダイアジノン粒剤を2回の慣行処理時期(7月14日および8月4日)に、それぞれトップドレッシング(茎葉散布)する3つの区および1つの無処理区よりなる。1区画は0.8×4m、株数7~9であり、各試験区の配列は乱塊法により3反復とした。苗を定植してから117日後の9月2日にイモを掘り取って、イモの重量が60g以上のものについて被害イモ数を調査した。

結果および考察

結果をTable 38に示した。トップドレッシング1回のベンフラカルブ粒剤処理区で、7月3日とそれ以前に処理した区はいずれも被害が少なかった。特に、6月14日および24日に処理をした区は、7月14日および8月4日に処理をした区に比較して統計的に有意に被害が少なかった。これらの区は、7月14日以降に処理した区および7月14日と8月4日の慣行防除時期に2回処理を行った区よりも被害は少ない傾向であり、粒剤の活性発現に処理時期がきわめて重要であると思われる。

秋野ら(1973)は、サツマイモ畑におけるコガネムシの成虫飛来期の薬剤の効果について、ダイアジノン微粒剤を用いた試験を行った。その結果、ある特定の処理時期が重要であり、この時期を含む3回の処理区の方が、含まない4回の処理区よりも高い生物活性が示された。また、深沢(1977)はサツマイモのドウガネブイブイの防除において、フェニトロチオン(MEP)粉剤による成虫発生期の散布は、7月23日を含む3回処理は含まない3回処理よりも被害指数で1/3も被害が少なかったことを報告している。特定の時期は栽培作物、定植時期、コガネムシの発生時期および薬剤の物理化学的性質によって異なることが考えられる。

ベンフラカルブ粒剤のトップドレッシングの処理時期、被害イモ率およびドウガネブイブイ成虫の飛来時期の関係をTable 39に表示した。7月9日は成虫の飛来ピークになっており、ピーク前の6月14、23日および7月3日に処理した区はいずれも被害イモ率が低く高い生物活性が示された。一方、ピーク後のベンフラカルブ粒剤処理区は、慣行時期に

2回処理した区も含めて、被害は多い傾向であり、高い活性の発現は示されなかった。現在鳴門市では、慣行の防除は、7月下旬の成虫の飛来ピーク後にフェンチオン粒剤による2回のトップドレッシングで行われている。慣行処理時期に合わせて対照として行ったフェンチオン粒剤処理区では、高い活性の発現がみられたが、ダイアジノン粒剤処理区では活性は低かった。以上のことから、ベンフラカルブ粒剤の処理適期は慣行の処理時期とはちがいが、7月上旬の成虫の飛来ピークの6～25日前であると考えられた。この時期に1回トップドレッシング処理すれば、ピーク後の慣行時期にフェンチオン粒剤によって行われている2回のトップドレッシング処理と同等の高い活性の発現が示されるものと思われる。なお、5月17日の慣行で行われている1回目の薬剤処理が、いかにコガネムシの防除に関与しているのか明らかではなく、今後の課題であると考えられる。

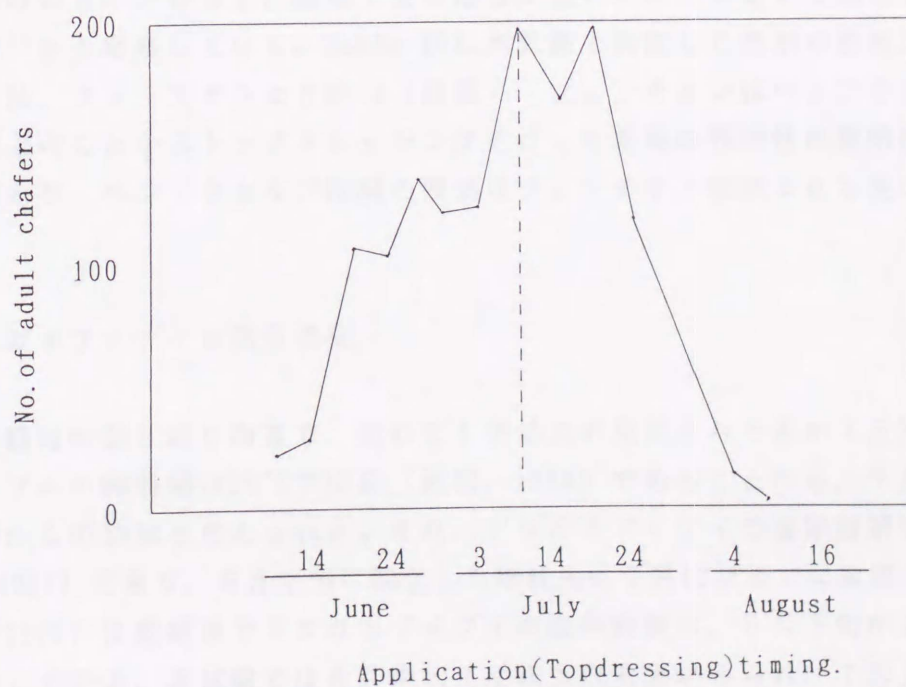
Table 38. Application(Top dressing)timing of benfuracarb granule and their efficacy against chafers

Insecticide	Dose (kg/ha)	Application Date	Damaged potatoes * (%)
Benfuracarb 5G	90	14 June	3.8 d
Benfuracarb 5G	90	24 June	2.2 d
Benfuracarb 5G	90	3 July	4.2 cd
Benfuracarb 5G	90	14 July	22.5 abc
Benfuracarb 5G	90	24 July	11.4 bcd
Benfuracarb 5G	90	4 August	34.3 a
Benfuracarb 5G	90	16 August	19.7 abcd
Benfuracarb 5G	180	14 July, 4 August	20.0 abcd
Fenthion 5G	180	14 July, 4 August	5.9 cd
Diazinon 5G	180	14 July, 4 August	27.5 ab
Untreated			33.1 a

* Means followed by the same letter are not significantly different at 5% level using Duncan's Multiple Range Test.

Table 39. Relationship among application timing of benfuracarb granule, populations of the adult chafers came to the fruit trees on the bank and percentages of the damaged potatoes

Insecticide	Dose (kg/ha)	Application timing							Damaged potatoes (%)
		June		July			August		
		14	24	3	14	24	4	16	
Benfuracarb 5G	90	o							3.8
Benfuracarb 5G	90		o						2.2
Benfuracarb 5G	90			o					4.2
Benfuracarb 5G	90				o				22.5
Benfuracarb 5G	90					o			11.4
Benfuracarb 5G	90						o		34.3
Benfuracarb 5G	90							o	19.7
Benfuracarb 5G	180				o		o		20.0
Fenthion 5G	180				o		o		5.9
Diazinon 5G	180				o		o		27.5
Untreated									33.1



3 考 察

本試験の結果から、7月上旬のドウガネブイブイ成虫の飛来ピーク前に、ベンフラカルブ粒剤を1回トップドレッシングすると高い活性が発現されることが判明した。その原因について、いくつかの要因について個々に考察し、さらにそれらを総合して考察した。

3-1 ベンフラカルブの作用特性

ベンフラカルブのドウガネブイブイの成虫に対する殺虫活性は、フェンチオンに比較してやや低いものの、1令幼虫に対しては同等の殺虫活性を示し、塊根部を直接加害する幼虫に対してはフェンチオンと同等の活性があるものと推察される。フェンチオン粒剤のコガネムシ類に対する高い生物活性は多くの研究によって確認されている（深沢・山内, 1974; 山内ら, 1974; 吉田, 1975; 斎藤ら, 1976; 竹沢, 1976; 戸塚ら, 1976; 深沢, 1977; 深沢・大石, 1978; Tomizawa and Orita, 1979; 久保田ら, 1979, 1980; 山下・藤本, 1982; 吉岡ら, 1982; 藤下, 1986）。しかし、トップドレッシングによる残効はヒメコガネに対して7~10日前後で、成虫の発生時期をカバーするためには、3回以上の散布が必要になる（沢田, 1986）とされている。また、谷口（1981）はナガイモのコガネムシ防除試験でフェンチオン粒剤の地表面散布は、3回が最も効果が高かったと報告している。徳島県のサツマイモ栽培地帯では、慣行防除として7月中旬と8月上旬にフェンチオン粒剤のトップドレッシングが行われており、高い効果をあげている。谷口（1981）は、ダイアジノンが室内試験においてドウガネブイブイの幼虫に対してフェンチオンとほぼ同等の基礎活性があるのにもかかわらず、圃場で生物活性が低いのはガスとして蒸散しやすいことが一因ではないかと考察している。Table 40に本試験で供試した薬剤の蒸気圧を示した。ダイアジノンは、フェンチオンより約4.7倍高く、フェンチオンはベンフラカルブより150倍高い。以上のことからトップドレッシングを行った薬剤の残効性が蒸気圧に関与している可能性があり、ベンフラカルブ粒剤の残効はフェンチオン粒剤よりも長いことが推察される。

3-2 ドウガネブイブイの発生消長

無処理区の経時的掘り取り調査で、初めて1令幼虫が発見されたのが7月24日である。ドウガネブイブイの卵期間は25℃で12日（沢田, 1986）であることから、7月12日以前に産下された卵からの幼虫と考えられる。また、ドウガネブイブイの産卵前期間は約20日（稲生・高井, 1981）であり、6月中旬に羽化した雌成虫は7月12日までに産卵可能となる。吉岡・松本（1972）は愛媛県でドウガネブイブイの産卵時期は、6月下旬から7月下旬頃であると推定している。本試験では6月中旬には成虫の飛来がみられ、7月上旬の飛来

Table 40. Vapor pressures of test chemicals

Chemical	Vaper pressure(mmHg at 20 °C)
Benfuracarb	2×10^{-7} *
Fenthion	3×10^{-5} **
Diazinon	1.4×10^{-4} **

* Takagi, Y. (1989)

** Tomizawa et al. (1989)

ピーク時には産卵が開始されていたことが推察される。ベンフラカルブ粒剤のトップドレッシングが活性を発現するためには、フェンチオン粒剤のように成虫の産卵最盛時期ではなく、それより以前に処理されることが必要であると思われる。

3-3 サツマイモの生育

塊根の重量は6月14日から7月3日にかけて急増した(Table 38-1)。サツマイモの茎葉は7月3日から8月4日の1ヵ月間に急速に生長した(Fig 12)。6月14日の粒剤処理日には、茎はほとんど伸びておらず株と株の葉が接していなかった。6月24日には株と株の葉が重なり、7月3日には茎が畝間に伸び始めた。さらに7月14日には、畝間が茎葉でほぼ被覆された。以上のことから、ベンフラカルブ粒剤が高い防除活性を示したのは、茎葉がまだ十分に繁茂していない時期に当たり、トップドレッシングされた粒剤が株元および周囲の土壤に落下しやすいことが考えられた。

3-4 降雨量

トップドレッシングの6月14日処理では、2～3日後に計22mm、6月24日処理では、前日19mm、当日13mm(処理時に葉は乾いていた)、7月3日処理では、5日前に約6mm、2日後に4mmの降雨があった。慣行処理の1回目の処理日である7月14日は、当日および前後の日に合わせて約18mmの降雨がみられたが(この期間は畝間がサツマイモの茎葉でほぼ被覆された時期に当たる)、以後降雨はほとんどなく乾燥状態が続いた。すなわち、ベンフラカルブ粒剤のトップドレッシングが高い活性を発現したのは、梅雨時期の処理にあたり、土壤の水分が高く有効成分の土壤への浸透が十分であったことが考えられる。

3-5 総合考察

サツマイモの茎葉がまだ十分に繁茂していない梅雨時期に、トップドレッシングされたベンフラカルブ粒剤は、高い割合で株元および周囲の土壤に落下し、土壤水分によって有効成分が徐々に土壤中に放出されたことが推測される。梅雨が明けると気温が上昇し、茎葉が繁茂しコガネムシの産卵が盛んになったと考えられる。産卵のために株元または畝間から土中に侵入を試みたコガネムシの成虫は、ベンフラカルブの粒剤あるいは土中に溶出した有効成分によって地中への侵入を長期間阻止されたか、あるいは、産下された卵からの孵化幼虫は土壤の表層に多く生息している(深沢, 1977)ことから、ベンフラカルブ粒剤からの有効成分によつて若令幼虫が防除されたことが考えられる。一方、茎葉が繁茂した7月14日以降の処理では、トップドレッシングされた粒剤が土壤面に落下しにくく、葉上に長期間とどまっていたことが考えられる。またベンフラカルブは、フェンチオンより

気圧が低いので、葉上にある粒剤からの有効成分のガスによって、成虫の地中への侵入を防ぐ活性はフェンチオン粒剤より低いことが考えられた。また、土壌面に落下した粒剤は、土壌表面の水分不足のために有効成分は溶出せず、成虫は産卵のために土中に容易に侵入することが可能と思われた。



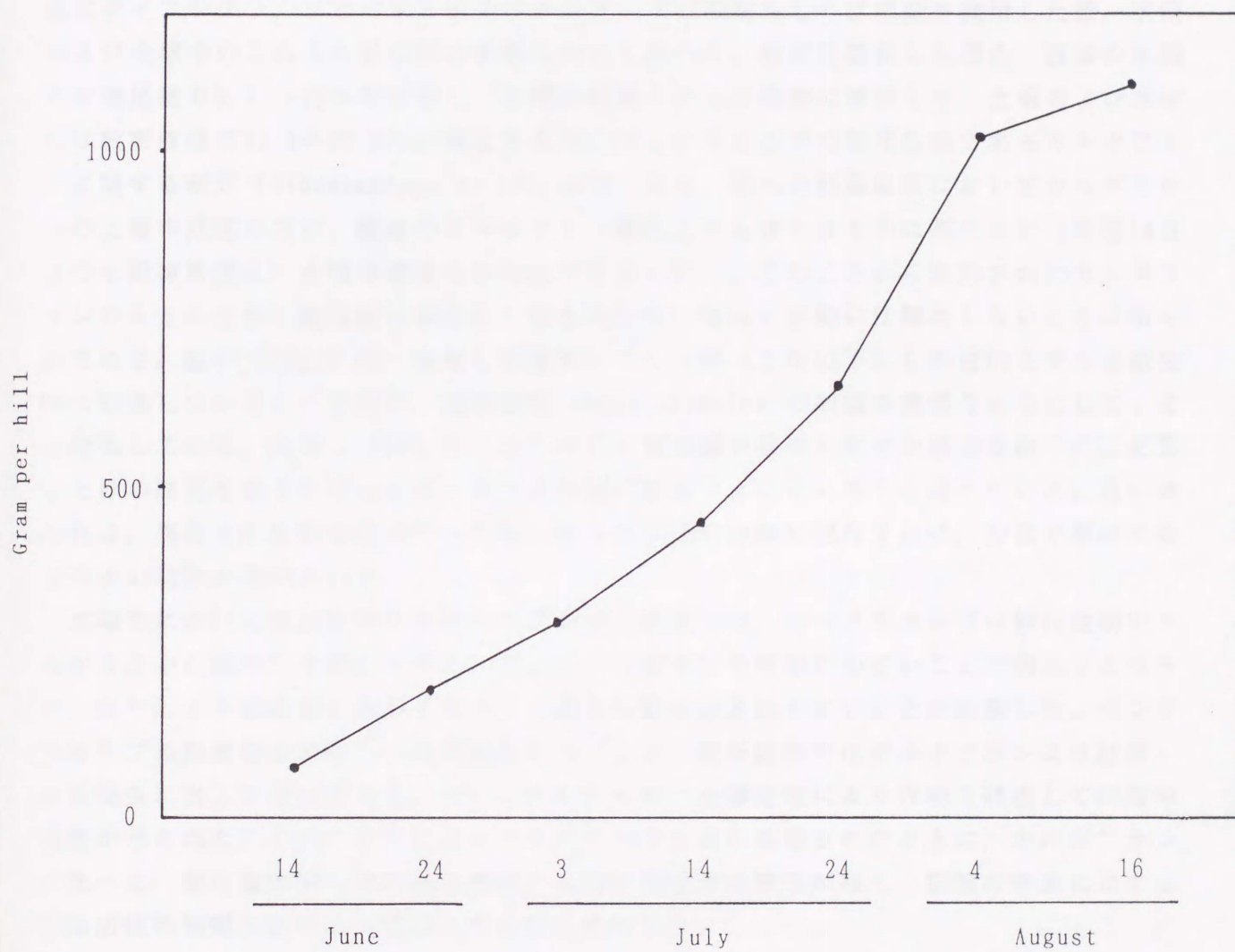


Fig.14. Weights of the runners and leaves of the sweet potatoes.

総 合 考 察

現在、農作物の害虫防除は主として、乳剤、水和剤および粉剤の作物体への散布、あるいは粒剤の土壌処理によって行われている。一般に、散布処理によって作物体に付着する薬剤量は、作物の種類、部位、生育時期などにより異なるが10%（湯島等、1974）あるいはそれ以下と考えられている。Matsuda and Endo（1982）はミニチャンバーを用いて、水稻にダイアジノン、プロパホスおよびカルタップの粉剤もしくは粒剤を施用した後、水稻および土壌中のこれらの殺虫剤の挙動について調べた。粉剤を散布した場合、直後の水稻には施用量の5.7～12%が付着し、時間の経過とともに徐々に減少した。土壌および水中には散布直後に31.5～53.6%が検出された。ベンフラカルブの親化合物であるカルボフランに関する研究（Siddaramappa et al., 1979）でも、稲への根系処理においてカルボフランの土壌中濃度の方が、稲体のカンボフラン濃度よりも常にはるかに高かった（処理14日後でも稲体濃度は、土壌中濃度の5%以下であった）。このことから施用されたカルボフランのほとんどが、施用後に飛来し、稲を吸汁する害虫の防除には関与しないことは明らかである。松中（1982）は、施用した農薬のごく一部（1%以下）しか目的とする害敵生物に到達しないという事実が、薬物移動（dose transfer）の問題を重要なものになっていると指摘している。大串（1982）は、もし本当に病原菌や害虫を殺すか感染を防ぐのに必要なだけの農薬を使うだけならば、今の使用量の数%でよいであろうと述べている。言い換えれば、施用された有効成分がより高い割合で害虫の防除に関与すれば、少量の薬剤で効率のよい防除が期待される。

本報告において物理化学的性質と作用特性の研究では、ベンフラカルブは親化合物のカルボフランに比べて水溶性が低く、水による土壌中での移動が小さいことが明らかとなった。また、イネの根部に吸着されやすく稲体に取り込まれやすいことが判明した。ベンフラカルブの農業害虫に対する生物活性については、局所施用ではカルボフランより数倍、ある昆虫に対しては10倍も低いものにもかかわらず、土壌処理により作物を経由して同等の活性が示された。このことからベンフラカルブは土壌に処理されたときに、カルボフランに比べて、施用量に対して作物に吸収される有効成分の割合が高く、茎葉の害虫に対する生物活性の発現に効率よく関与したものと思われた。

その要因の一つとして、ベンフラカルブの作物への吸収率がカルボフランよりも高いことが考えられた。しかし、本化合物は土壌に吸着され作物に取り込まれない状態になり、活性発現の効率化には関与しないものと思われる。

室内およびハウスでの試験の結果から、ベンフラカルブは土壌処理されたときに、作物の根が吸収可能な範囲内に保持され、有効成分が徐々に放出されるものと推察された。ベンフラカルブの有効成分であるカルボフランは土壌中で動きやすく、消失しやすいと報告されている（Felsot and Wilson, 1980; Gorer et al., 1982）。和田（1988）は、環境で

の有効成分の減少が大きければ大きいほど徐放化の意義が高まり、放出制御は有効成分の消失を遅くし、利用率を高めるとしている。彼は、徐放化の一つに有効成分の化学的修飾をあげている。本化合物は、カルボフランが化学的に修飾され、土壌を介在して、有効成分が放出制御される化合物であると考えられる。すなわち、カルボフランの毒性を下げるために化学修飾されたベンフラカルブは、親化合物に比べて水溶性が減少し、分配係数（logPow）が増大した。この物理化学的性質の変化は、土壌に吸着されやすく移行性が少ないという土壌中での動態の変化をもたらした。その結果、土壌が保持体となり、有効成分の根圏への持続的な供給が可能になったものと思われる。

線虫類に対する活性発現に関しては、根に侵入する前に化合物が直接、接触作用によって、殺線虫活性、分散阻害、根への集合あるいは侵入阻害活性が発現されることが重要と考えられる。事実、接触型線虫剤（近藤, 1985）あるいは非くん蒸剤（西沢, 1989）と言われているカルボフラン、オキサミルおよびフェナミホスは低濃度でこれらの活性を発現した。ベンフラカルブはサツマイモネコブセンチュウに対して、根への集合阻害活性を示した。しかし、親化合物が有する分散阻害活性を失い、根への侵入阻害活性が低下したことから接触作用による活性は、総合的にカルボフランよりも低下したものと考えられる。一方、カルボフランへの変換による活性発現が予測されるが、閉鎖系の試験管およびシャーレ試験においては、たとえカルボフランへ100%の変換がおこっても、重量濃度で投与量の約半分の濃度に減少し、理論的に親化合物と同等の活性は示されない。また、土壌を介在し水を供給した半開放系のポット試験においても、カルボフランを上回る高い活性はみられなかった。線虫は比較的短時間（3-4日）で根への侵入が完了すると考えられており（西沢, 1986）、カルボフランへの変換に要する時間および線虫に作用する濃度と時間が、不十分であったことが考えられる。また、線虫は地上部を加害する害虫の場合とは違って、いったん作物に侵入すると薬剤の作用を受けにくくなることが考えられた。以上のことから、化合物が作物体を経由しないで直接標的生物に作用し、活性を発現する場面では、土壌吸着が強いという性質が、活性発現の効率化に結びつかなかったものと思われる。

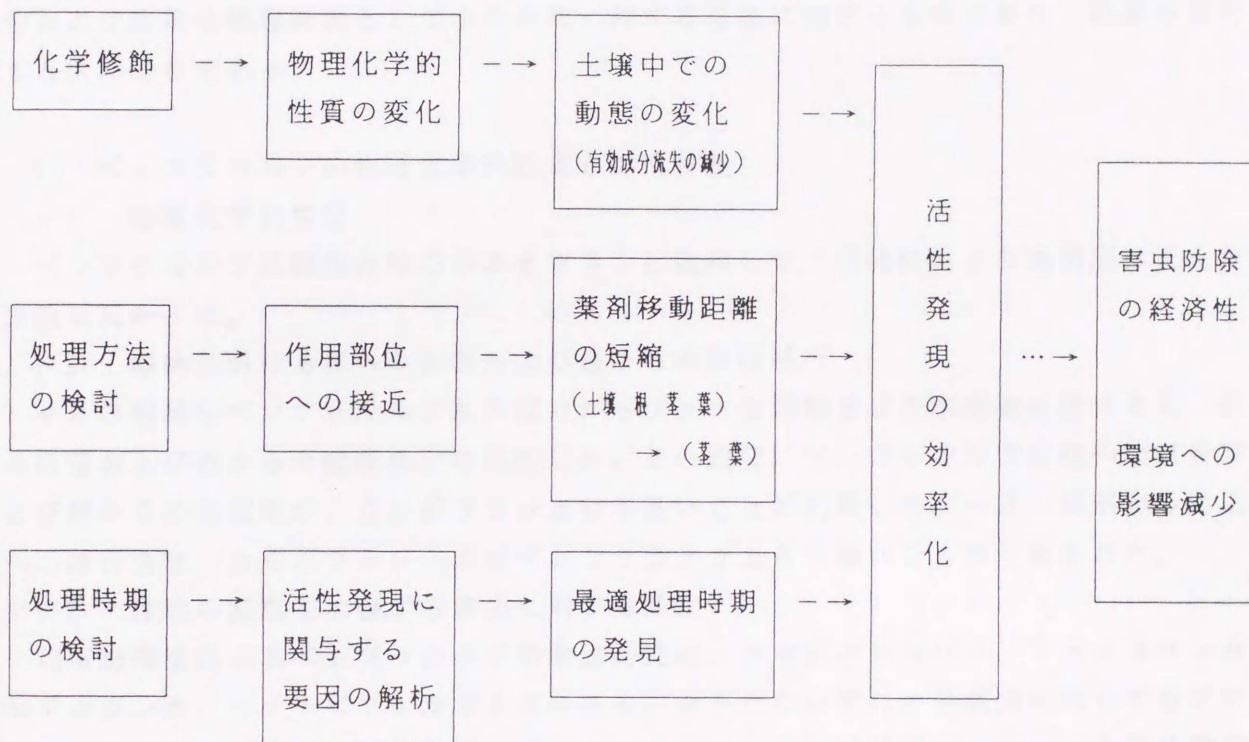
作物に対する塗布処理の研究では、茎に塗布されたベンフラカルブ・ペースト剤が有効成分を害虫の加害部位に持続的に送り込む源（source）となり、粒剤のように土壌を介在していないので土壌中における分解や流亡がなく、有効成分が粒剤よりも効率よく活性の発現に関与したものと思われる。和田（1988）は、次のように述べている。”農薬は開放系に散布される。したがって散布された農薬の何割かが作物集団に到達し、何割かが目標域外に漂流する。これが環境問題と直接かかわると同時に、農薬の利用率を低める”。

薬剤の散布処理が面や空間への多量投与であるとすれば、塗布処理は、点への少量投与と考えられる。また作物という限られた対象への処理であり、害虫だけに作用することが期待される。塗布処理は作業労力など解決すべき問題はあるが、環境に対して影響はほとんどなく、活性発現の効率が非常に高いことから、害虫防除の一つの目標点であると思われる。

処理時期の研究では、サツマイモ畑においてベンフラカルブ粒剤をドウガネブイブイ成虫の飛来ピークの6～25日前に1回茎葉処理（トップドレッシング）すると、高い活性の発現が示された。農薬は農耕地生態系に投入される。この生態系では、施肥、灌水、作物の栽培などの人為的要因と気温、降水量、害虫の発生などの自然要因があり、相互にかかわり合っていると言われている。瀬戸（1992）は、農耕地は遷移の初期の生態系で、病虫害や気候の変動に対して不安定であると述べている。言い換えれば、各要因間のかかわり方が単純であり、農薬の活性発現に影響を及ぼす要因も把握可能と思われる。”行動解析に基づく土壌害虫の効率的防除技術の開発”（1990）によれば、近年のコガネムシ類による被害増大の要因の一つにコガネムシ幼虫の生態・行動の解明が不十分であり、農薬の施用が的確に行われていないことが指摘されている。本研究では、成虫および幼虫の発生と被害の消長を明らかにし、粒剤の処理時期と活性発現の関係を検討した。その結果、薬剤の活性発現は、処理時期に大きく影響をうけた。コガネムシ類の発生時期、サツマイモの茎葉の生育状況、気温、降水量および化合物の物理化学的性質が総合して、活性発現に関与していることが考えられた。また、ベンフラカルブが高い活性発現を示す処理時期は、フェンチオンの処理時期とは異なっており、両者の性質、特に蒸気圧の差に起因することが推察された。以上のように、対象とする農耕地生態系において、薬剤の活性発現におよぼす要因を明らかにし、化合物の物理化学的性質に基づいた処理適期を見出だすことによって、効率のよい活性発現が可能と思われた。

守谷（1990）は、標的部位への薬剤の到達率を高め、環境への放出をできるだけ抑えることは安全で的確な防除につながる。これは農薬の施用に課せられた大きな目標であると述べている。金沢（1992）も、農薬の使用量を少なくするためには、その適期に必要最小限の農薬を、対象物の作用部位に処理することが大切である。これには、製剤の改良と施用法の向上がますます要求されると述べている。

薬剤の活性発現の効率化は害虫防除の経済性を高め、目的以外の生物に対する作用を最少限にとどめて、環境への影響を少なくすることでもある。本研究では、化学的修飾によって、分子レベルで親化合物にはみられない新しい物理化学的性質を獲得すること、また薬剤の作用径路に基づいて、剤型と処理方法を検討すること、さらに農耕地生態系の要因と薬剤の物理化学的性質に基づき、同じ剤型でも最適な処理時期を見出だすことによって、活性発現の効率化が達成されることが明らかにされた。これらの効率化の要因は、今後の農薬研究開発にも参考になるものと思われる。



摘 要

ベンフラカルブはカルボフランのスルフェニル誘導体であり、哺乳動物に対する毒性は親化合物に比べて大幅に軽減され、かつ優れた殺虫活性を有する浸透移行性殺虫剤である。現在、水稻の重要害虫であるイネミズゾウムシ、イネドロオイムシ、野菜のミナミキイロアザミウマ、アブラムシ類および難防除害虫であるコナガ等の防除薬剤として広く使用されている。本研究はベンフラカルブの物理化学的性質と作用特性、塗布処理による生物活性および粒剤の処理時期とコガネムシ類に対する活性に関するものであり、結果を要約すると次の通りである。

1 ベンフラカルブの物理化学的性質と作用特性

1-1 物理化学的性質

ベンフラカルブは親化合物のカルボフランと比較して、水溶性および蒸気圧は低く分配係数は高かった。

1-2 稲体における根への吸着および根からの吸収移行

イネの根部をベンフラカルブまたはカルボフランを溶解させた水溶液に浸せきし、根への吸着および根からの吸収移行を比較した。その結果、ベンフラカルブは根への吸着率および根からの吸収率が、カルボフランよりも高いことが判明した。一方、根部から茎葉部への移行性は、カルボフランの方がベンフラカルブよりも高いことが示唆された。

1-3 作物の茎葉を加害する害虫に対する活性

局所施用法によるベンフラカルブの殺虫活性は、ツマグロヨコバイ、トビイロウンカ、セジロウンカ、ヒメトビウンカおよびハスモンヨトウのいずれの供試虫に対してもプロポキサールのハスモンヨトウの値を除いて、カルボフランおよび他のカーバメート化合物の殺虫活性と比較して低い値しか示されなかった。茎葉散布試験では、セジロウンカに対して対照薬剤のダイアジノンより高い殺虫活性が示されたが、カルボフランと比べると活性は低かった。

一方、ベンフラカルブ5%粒剤の土壌処理によるヒメトビウンカに対する生物活性は、処理10, 14 および24日後にはカルボフランの5%粒剤と比べて同等か、それ以上の活性が示された。また、乳剤の土壌処理はモモアカアブラムシに対して、処理1~7日後にカルボフラン5%粒剤と同等の高い生物活性が示された。ベンフラカルブの分子量はカルボフランの約2倍であり、有効成分はカルボフランとその関連化合物であることから、重量換算で同量施用された時には、カルボフランよりも活性は低いと考えられた。しかし、ベンフラカルブが土壌に処理された場合には、重量換算でカルボフランと同量であっても同等か、ある場合にはカルボフランよりも高い生物活性が示された。すなわち、ベンフラカルブは土壌処理で、作物を經由し茎葉を加害する害虫に対して優れた活性を発現し、モル比でカルボフランより高い活性を示すことが明らかになった。

その要因の一つとして、ベンフラカルブの作物への吸収率がカルボフランよりも高いことが考えられた。しかし、ベンフラカルブは土壤に吸着され、作物に取り込まれない状態になり、活性発現の効率化には関与しないものと思われた。そこで、ヒメトビウンカを用いて、土壤処理によりベンフラカルブが高い活性を発現する機構について検討した。

活性成分の移動の認められない、ガラス管に土壤を入れた閉鎖系試験において、ベンフラカルブはカルボフランとモル比で同等の活性しか示さなかった。しかし処理土壤を水で洗浄した試験においては、ベンフラカルブはモル比でカルボフランよりも高い生物活性を示した。また、土壤移行性試験の結果、ベンフラカルブ処理区ではカルボフラン処理区に比べ、土壤中での成分の移動度が極めて低く、活性成分が保持されることが明らかとなった。このような土壤中での挙動に関する性質は、ベンフラカルブがカルボフランに比較して水溶性が低く、分配係数が高いことに起因するものと考えられた。

1-4 サツマイモネコブセンチュウに対する活性

ベンフラカルブの親化合物であるカルボフランは、線虫防除剤として世界各地で使用されている。そこで、日本でも重要な土壤線虫であるサツマイモネコブセンチュウに対する両化合物の生物活性を比較した。

卵に対して本化合物はカルボフランにはみられない孵化促進作用が示された。幼虫に対しては、100ppmおよび10ppmの濃度で体の動きや、ベルマン分離装置のフィルターを通り抜けることを阻害する活性は示されなかった。カルボフランには同じ濃度で体の動きを阻害する活性がみられたことから、ベンフラカルブはこの活性を受け継がなかったものと思われる。また、100ppmで幼虫の分散を阻害する活性も示されなかった。しかし、5ppmでトマトの根への集合阻害活性、およびカルボフランと比較すると低いながらも侵入阻害活性がみられた。カルボフランの10ppmでは、分散すなわち移動する能力が阻害され、5ppmでは幼虫の分散も根への集合も阻害されなかったが、根への侵入は阻害された。以上のことから、ベンフラカルブはカルボフランの有する制線虫活性のうち、分散を阻害する活性を失い、根への侵入を阻害する活性が低下した。一方、幼虫の根への集合を阻害する活性は付与されたものと思われた。土壤を介在し水を供給した半開放系のポット試験においては、カルボフランを上回る高い活性はみられなかった。

2 ベンフラカルブの塗布処理による生物活性

2-1 作物の茎葉を加害する害虫に対する活性

ベンフラカルブ・ペースト剤によるキャベツの茎に対する塗布処理は、粒剤の有効成分の1/10でモモアカアブラムシに対して初期の活性は粒剤と同等以上であった。また、同時に発生したコナガに対しても、粒剤と同等の高い生物活性が示された。キュウリのワタアブラムシに対しては、粒剤の有効成分量の1/5で粒剤と同等の高い効果が示された。以上のことから茎に塗布されたベンフラカルブ・ペースト剤が、有効成分を害虫の加害部に持続的に送りこむ源 (source) となって、高い活性と残効性が示されたものと思われる。

2-2 サツマイモネコブセンチュウに対する活性

トマトの茎に処理してサツマイモネコブセンチュウに対する効果を検討したが、薬害を発生させる処理量においても活性はみられなかった。一方、対照薬剤として用いたオキサミルには、根こぶの着性を阻害する活性がみられたことから、塗布処理による線虫防除の可能性が示された。

3 ベンフラカルブ粒剤の処理時期とコガネムシ類（ドウガネブイブイ）に対する活性発現

3-1 ベンフラカルブのドウガネブイブイに対する殺虫活性

成虫に対する活性は、コガネムシ防除剤として使われているフェンチオンよりは低く、ダイアジノンよりは高かった。幼虫に対してはフェンチオンと同等の活性が示された。

3-2 ベンフラカルブ粒剤によるコガネムシ類に対する活性発現

サツマイモを加害するコガネムシ類に対する粒剤の処理時期と活性発現との関係を検討した。試験圃場に隣接した樹木には、6～8月にドウガネブイブイを主体としたコガネムシ類の成虫が飛来した。7月9日はドウガネブイブイ成虫の飛来ピークになっており、ピーク前の6月14, 23日あるいは7月3日にトップドレッシング処理（茎葉散布）した区はいずれも被害イモ率が低く高い活性の発現がみられた。一方、ピーク後に処理した区は被害イモ率が高く、ピーク前の処理よりも活性が低い傾向であった。また、慣行で行われている処理時期に2回トップドレッシングした区も被害が多く、飛来ピーク前に1回処理した区に比べて活性が低い傾向であった。以上のことからベンフラカルブ粒剤の処理適期は、慣行で行われている処理時期とは違い、7月上旬の飛来ピークの6～25日前であると考えられた。

引用文献

- Abawi, G. S. and W. F. Mai (1975) Effect of foliar applications of oxamyl on movement of Pratylenchus penetrans in and outside host root. Plant Dis. Repr. 59: 795-799.
- Ahmed, A. and A. M. Khan (1964) Factors influencing larval hatching in the root-knot nematode Meloidogyne incognita (Kofoid and White, 1919; Chitwood, 1949) Indian Phytopathology 17: 102-109.
- 秋野浩二・吉野 旭・加瀬正敏 (1973) サツマイモを加害するコガネムシ類の薬剤防除. 関東東山病虫研究会年報 20: 115.
- Ali, A. B. M., N. Mohandas, A. Visalakshi and K. P. Rajaram (1980) Residues of carbofuran in rice plants and its toxicity to brown plant hopper. Entomon. 5: 59-60.
- Alphey, T. J. W. (1978) Oxamyl sprays for the control of potato spraing disease caused by nematode-transmitted tobacco rattle virus. Ann. appl. Biol. 88: 75-80.
- Alphey, T. J. W., J. I. Cooper and B. D. Harrison (1975) Systemic nematicides for the control of Trichodorida nematodes and potato spring disease caused by tobacco rattle virus. Plant Pathology 24: 117-121.
- 青木征男・大崎憲生・村井啓三郎・安富範雄・梅津憲治 (1989) ベンフラカルブ粒剤5の処理方法と効果. 関西病害虫研究会報 31: 35.
- Apple, J. W., E. T. Walgenbach and W. J. Knee (1969) Northern corn rootworm control by granular insecticide application at planting and cultivation time. J. Econ. Entomol. 62: 1033-1035.
- 東 勝千代 (1986) ドウガネブイブイの発生生態およびエンドウの播種時期の幼虫被害・その対応. 今月の農薬 30: 34-38.
- Backman, F. and J. Drabek (1981) CGA73102, a new soil-applied systemic carbamate insecticide. Proc. Br. Crop. Prot. Conf. - Pests and Dis. 11: 51-58.
- Birchfield, W. (1971) Systemic nematicides control Rotylenchulus remiformis of cotton. Plant Dis. Repr. 55: 362-365.
- Bird, A. F. (1959) The attractiveness of roots to the plant parasitic nematodes Meloidogyne javanica and M. hapla. Nematologica 4: 322-335.
- Bird, A. F. (1962) Orientation of the larvae of Meloidogyne javanica relative to roots. Nematologica 8: 275-287.

- Briggs, G. G., R. H. Bromilow and A. A. Evans (1982) Relationships between lipophilicity and root uptake and translocation of non-ionised chemicals by barley. *Pestic. Sci.* 13:495-504.
- Brodie, B. B. and J. M. Good (1973) Relative efficacy of selected volatile and nonvolatile nematicides for control of Meloidogyne incognita on tobacco. *J. Nematol.* 5:14-18.
- Caro, J. H., A. W. Taylor and H. P. Freeman (1976) Comparative behavior of dieldrin and carbofuran in the field. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 3: 437-447.
- Chia, W. K. and Chu T. C. (1977) Comparative study of spraying and painting insecticides against citrus leaf miner, Phyllocnistis citrella (Phyllocnistidae : Lept.). *Chung-Hua Nung Yen Yen Chiu* 26:158-168.
- Damadzadeh, M. and N. G. M. Hague (1979) Control of stem nematode (Ditylenchus dipsaci) in narcissus and tulip by organophosphate and organocarbamate pesticides. *Pl. Path.* 28:86-90.
- Disanzo, C. P. (1973) Nematode response to carbofuran. *J. Nematol.* 5:22-27.
- Felsot, A. and J. Wilson (1980) Adsorption of carbofuran and movement on soil thin layers. *Bull. Environm. Contam. Toxicol.* 24:778-782.
- Forer, L. B., D. L. Trudgill and T. J. W. Alphery (1975) Some effects of oxamyl on the virus-vector nematodes Longidorus elongutus and Xiphinema siversicautum. *Ann. appl. Biol.* 81:207-214.
- 深見 悌一 (1984) 林業薬剤. その利用実態と研究動向. 今月の農薬 28:63-70.
- 深沢 永光 (1977) サツマイモを加害するドウガネブイブイの発生と防除. 農薬研究 4:12-17.
- 深沢 永光・杉野 万司・沢木 忠雄・佐野 利男・高橋 浅夫・山内 寅好・浦野 春雄・尾崎 (1972a) ドウガネブイブイの野外における発生経過および被害の実態. 静岡県農業試験場研究報告 16:45-61.
- 深沢 永光・佐野 利男・尾崎 丞・榊原 哲男・小栗 雅 (1972b) ドウガネブイブイに対する薬剤の殺虫効力および被害防止効果. 静岡県農業試験場研究報告 16:62-70.
- 深沢 永光・山内 寅好 (1974) 最近におけるドウガネブイブイの多発. 植物防疫 28:351-355.
- 深沢 永光・大石 達明 (1978) サツマイモ圃場の土壌における M P P の消長とコガネムシ幼虫に対する殺虫効力. 関東東山病虫研究会年報 25:100-101.
- 福沢 晃夫・姉帯 正樹・正宗 直 (1984) ダイズシストセンチュウの孵化促進物質. 植物防疫 38:116-120.

- 藤下章男(1986) 静岡県における林苗畑の土壌害虫防除. 農薬研究 32:19-23.
- Gichure, E. and J. Ondieki(1984) Control of root-knot nematode Meloidogyne javanica on potato var. annet in Kenya using four granular nematicides. Pak. J. Nematol. 2:85-90.
- Gorder, G. W., J. J. Tollefson and P. A. Dahm(1980) Carbofuran residue analysis and control of corn rootworm larval damage. Iowa State J. Res. 55:25-33.
- Gorder, G. W., P. A. Dahm and J. J. Tollefson(1982) Carbofuran persistence in cornfield soils. J. Econ. Entomol. 75:637-642.
- Goto, T., A. K. Tanaka, N. Yasudomi, N. Osaki, S. Iida and N. Umetsu(1983) OK-174, a new broad-spectrum carbamate insecticide. Proc. 10th Int. Congr. Plant Prot., Brighton, England, 360-367.
- Gowen, S. R.(1977) Nematicidal effects of oxamyl applied to leaves of banana seedlings. J. Nematol. 9:158-161.
- Griffin, G. D.(1975) Control of Heterodera schachtii with foliar application of nematicides. J. Nematol. 7:347-351.
- Griffin, G. D. and W. W. Waite(1971) Attraction of Ditylenchus dipsaci and Meloidogyne hapla by resistant and susceptible alfalfa seedlings. J. Nematol. 3:215-219.
- Guy, D. W., Jr., and S. A. Lewis(1987) Selective migration and root penetration by Meloidogyne incognita and Hoplolaimus columbus on soybean roots in vitro. J. Nematol. 19:390-392.
- Hamlen, R. A. and J. R. Bloom(1968) The hatching response of Meloidogyne incognita eggs as affected by amino and nonamino acid fractions of root exudates. Phytopathology 58:515-518.
- Hamlen, R. A., J. R. Bloom and F. L. Lukezie(1973) Hatching of Meloidogyne incognita eggs in the neutral carbohydrate fraction of root exudate of gnotobiotically grown alfalfa. J. Nematol. 5:142-146.
- Harris, C. R. and S. A. Turnbull(1977) Laboratory assessment of the potential of 16 experimental compounds as soil insecticides. Can. Ent. 109:1109-1114.
- 端山 勝(1975) 樹木に浸透性薬剤を貼りつけることにより病害虫を防除および治療する方法. 公開特許広報, 11: 特開昭50-52243.

- 甘日出正美(1984) ドウガネブイブイの飼育法. 植物防疫 38:407-410.
- 甘日出正美・山田幸一・飯塚安彦(1984) ドウガネブイブイの累代飼育について.
応動昆 28:14-19.
- 法橋信彦・長嶺将昭(1978) 沖縄におけるアオドウガネ大発生の原因と対策.
植物防疫 32:267-272.
- Homeyer, B. (1971) Nemacur, a highly effective nematocide for protective and curative application. Pflanzenschutz-Nachrichten Bayer 24:48-68.
- Homeyer, B. (1975) Curaterr, a broad spectrum root-systemic insecticide and nematocide. Pflanzenschutz-Nachrichten Bayer 28:3-54.
- 本郷 武(1981) イチゴにおけるコガネムシ類の被害と防除. 新農薬 35:41-45.
- Huang, S. P., I. C. Resende, P. E. de Souza and V. P. Campos(1983) Effect of aldicarb, ethoprop and carbofuran on control root-knot nematode, Meloidogyne exigue. J. Nematol. 15:510-513.
- 飯村 茂 (1991) オンコル粒剤5箱施用による水稻初期害虫の防除. 今月の農業 3月号:202-204.
- 池田二三高・石川つよし・久保田 栄(1984) 温室メロンの育苗時におけるミナミキイロアザミウマの防除. 関西病虫害研究会報 26:56-57.
- 稲生 稔(1986) ラッカセイを加害するコガネムシの生態とアミドチッドの防除効果. 農薬研究 32:32-38.
- 稲生 稔・上田康郎・高井 昭(1977) 越冬後のコガネムシ幼虫に対する各種薬剤の施用効果. 関東東山病虫害研究会年報 24:108-113.
- 稲生 稔・高井 昭(1978) 野菜栽培におけるコガネムシの発生と防除対策. 農業および園芸 53:67-71.
- 稲生 稔・高井 昭(1981) ドウガネブイブイ成虫の行動と卵発育. 第26回 日本応用動物昆虫学会 講演要旨, pp. 69.
- 稲生 稔・高井 昭(1984) ドウガネブイブイの発生要因と成虫の移動. 植物防疫 38:395-398.
- IRRI Annual report for 1978. Control and management of rice pests. pp. 175-199.
- 石橋信義(1984) B. 植物寄生線虫の殺虫試験法. a. 孵化試験 生理活性物質のバイオアッセイ. 講談社, pp. 482-485.
- 岩田直記(1990) ベンフラカルブ粒剤の育苗箱施用によるキャベツ害虫防除. 関東東山病虫害研究会年報 37:193-194.
- 岩田直記・高橋章夫・千本木市夫・金井幸夫(1991) キャベツのコナガに対する殺虫剤防除体系. 関東東山病虫害研究会年報 38:181-184.
- 金沢 純(1990) 農薬の環境中における動態. 農薬の最近の研究成果と今後の課題・問題点. 産業技術研究会, 8, pp. 1-26.

- 金沢 純(1992) 農薬の環境科学. 合同出版株式会社, 310 p.
- Khan, A. M. and S. K. Saxena(1968) Factors influencing larval hatching in the root-knot nematode, Meloidogyne incognita(Kofoid and White)Chitwood. Indian Phytopathology 21:62-65.
- Khera, S. and B. M. Zuckerman(1963) In vitro studies of host-parasitic relationship of some plant-parasitic nematodes. Nematologica 9:1-6.
- Kinoshita, G. B., C. R. Harris, H. J. Svec and F. L. Mclwen(1978) Laboratory and field studies on the chemical control of the crucifer flea beetle, Phyllotrea cruciferae(Coleoptera:chrysomelidae), on cruciferous crops in Ontario. Can. Ent. 110:795-803.
- Kishi, H., N. Kogure and Y. Hashimoto(1990) Contribution of soil constituents in adsorption coefficient of aromatic compounds, halogenated alicycle and aromatic compounds to soil. Chemosphere 21:867-876.
- 行動解析に基づく土壌害虫の効率的防除技術の開発(1990) 共同研究機関 神奈川県農業研究所・茨城県農業試験場・栃木県農業試験場, 123 p.
- Koepe, M. K. and E. P. Lichtenstein(1984) Effects of organic fertilizers on the fate of carbofuran in an agro-microcosm under soil run-off conditions. J. Econ. Entomol. 77:1116-1122.
- 近藤栄造(1985) B. 接触型線虫防除剤の作用特性. 線虫研修会テキストーその見分け方・調べ方・接触剤の試験方法ー九州病虫害防除推進協議会, pp. 14-20.
- 近藤栄造・石橋信義(1984) サツマイモネコブセンチュウの第2期幼虫の形態・運動性および寄生性に及ぼすAldoxycarbの影響. Jpn. J. Nematol. 14:8-14.
- 久保田篤男・高橋兼一・根本 久(1979) サツマイモのコガネムシ類に対するMPP 剤の防除効果と有機物施用. 関東東山病虫害研究会年報 26:101-102.
- 久保田篤男・高橋兼一・根本 久・渋谷三郎・村上正雄・横山泰三郎・石川元一(1980) 青刈り麦施用とMPP 剤によるサツマイモのコガネムシ類の防除. 関東東山病虫害研究会年報 27:134-135.
- 倉永善太郎(1986) 九州地方の林業苗畑におけるコガネムシ類の防除について. 農薬研究 32:5-12.
- 黒木功令(1986) コガネムシ類の生態と防除実態(イチゴ). 昭和61年土壌害虫防除現地検討会(日本植物防疫協会) 講演要旨, pp. 42-53.
- Lavallee, W. H. and R. A. Rohde(1962) Attractiveness of plant roots to Pratylenchus penetrans(Cobb.). Nematologica 8:252-260.
- Lownsbery, B. F. and D. R. Viglierchio(1960) Mechanism of accumulation of Meloidogyne incognita acrita around tomato seedlings. Phytopathology 50:178-179.

- 前 博視(1983) 昭和58年 カンキツ農薬連絡成績(日本植物防疫協会) 20:153.
- Maitlen, E. G. and N. A. Sladen(1979) Effectiveness of granular and sprayable formulations of FMC35001, a new insecticide/nematicide, for use on agricultural crops. Proc. Br. Crop. Prot. Conf. -Pests and Dis. 10:557-564.
- Masuda, T. and S. Endo(1982) Behavior of insecticide in plant chamber following dusting and granular application. J. Pesticide Sci. 7(Special Issue)pp.685.
- 松中昭一(1982) Human Welfare -Environment-Pesticides. 日本農薬学会誌 7:587-589.
- McLeod R. W. and G. T. Khair(1975) Effect of oximecarbamate, organophosphate and benzimidazole nematicides on life cycle stages of root-knot nematodes, Meloidogyne spp. Ann. appl. Biol. 79:329-341.
- Mcnelly, L. B., Jr., D. H. Chaney, G. R. Post and C. S. Davis(1969) Protecting young trees from attack by the pacific flatheaded borer. Calif. Agr. 23:12-13.
- Marban-Mendoza, N. and D. R. Viglierchio(1980a) Behavioral effects of carbofuran and phenamiphos on Pratylenchus vulnus. I. Motility and dispersion. J. Nematol. 12:102-114.
- Marban-Mendoza, N. and D. R. Viglierchio(1980b) Behavioral effects of carbofuran and phenamiphos on Pratylenchus vulnus. II. Attraction to bean roots. J. Nematol. 12:114-114.
- Metcalf, R. L. and R. B. March(1949) Studies of the mode of action of parathion and its derivatives and their toxicity of insect. J. Econ. Entomol. 42:721-728.
- Miller, P. M. (1972) Controlling Heterodera tabacum with sprays and soil treatment with nematicide 1410. Plant Dis. Repr. 43:459-460.
- Miller, P. M. (1978) Effects of nematicides on nematode densities in turf in Connecticut. J. Nematol. 10:122-127.
- Mistic, Jr., W. J., and Smith, F. D. (1969) Chemical control of tobacco and southern potato wireworms on flue-cured tobacco during 1964-68. J. Econ. Entomol. 62:712-715.
- 守谷茂雄(1990) Ⅱ. 薬剤の動きと付着. 農薬の散布と付着(日本農薬学会 農薬製材・施用法研究会編), 日本植物防疫協会, pp. 35-51.

- Myers, R.F.(1972) Assay of nematocidal and nemastatic chemicals using axenic culture of Aphelenchoides rutgersi. Nematologica 18:447-457.
- 内藤 篤(1987) 土壌害虫防除の諸問題. 植物防疫 41:348-353.
- 西垣定治郎(1974) ドウガネブイブイの生態的研究. Ⅲ. 初期幼虫密度の生存に及ぼす影響. 応動昆 8:59-64.
- 西垣定治郎(1977) 最近のコガネムシ類の異常発生とその原因. 植物防疫 31:435-440.
- 西沢 務(1986) 線虫研修会テキスト-生理・生態及び防除法- 日本植物防疫協会, 91 p.
- Noor A. and B.L.Pareek(1978) Relative effect of some insecticidal treatments on control of the maize stem borer. Entomon 3:193-196.
- Nordmeyer, D. and D.W.Dickson(1980) Effect of oximecarbamate, organophosphates and one avermectin on the hatchability of three Meloidogyne species. Nematropica 10:69.
- Nusbaum, C.J.(1958) The response of root-knot-infected tobacco plants to foliar applications of maleic hydrazide. Phytopathology 48:344.
- 岡田利承(1971) ダイズシストセンチュウ卵の前処理と根浸出液の孵化促進効果の関係. 応動昆 15:215-221.
- Okada, T.(1972a) Hatching stimulant in the egg of the soybean cyst nematode, Heterodera glycine, Ichinohe. Appl.Ent.Zool.7:234-237.
- 岡田利承(1972b) ダイズシストセンチュウの孵化に及ぼすフラビアンの影響. Bull. Agr. Chem. Inspect. Stn. 12:93-95.
- 岡田利承(1975) シストセンチュウの孵化刺激物質. Jpn. J. Nematol. 5:1-9.
- 岡田利承(1977) ダイズシストセンチュウ(Heterodera glycines Ichinohe)の孵化要因に関する研究. Jpn. J. Nematol. 6 (特別号):1-52.
- 大串龍一(1982) 農薬なき農業は可能か. 農村漁村文化協会, 221 p.
- Oliff, K.E.(1966) The control of plant parasitic nematodes by water-dispersed nematicides. Hort. Res. 6:79-84.
- Oyama, M. and K.Kamano(1976) A successful technique for mass rearing of the Spodoptera litura(F.). Syokubutsu-Boeki 30:470-474.
- Patrick, Z. A., R. M. Sayre and H. J. Thorpe(1965) Nematocidal substances selective for plant parasitic nematodes in extracts of decomposing rye. Phytopathology 55:702-704.
- Pawar, V. M., G. D. Jadhav and S. P. Shirshikar(1984) Compatibility of oncol 50s.p. with different fungicides on sorghum(CS-3541) against shoot fly (Atherigona soccata Rondani). Pesticides 21:9-10.

- Peacock, F. C. (1960) Inhibiting of root-knot development on tomato by systemic compounds. *Nematologica* 5:219-227.
- Peacock, F. C. (1963) Systemic inhibition of root-knot eelworm(Meloidogyne incognita)on tomato. *Nematologica* 9:581-583.
- Peacock, F. C. (1966) Nematode control by plant chemotherapy. *Nematologica* 12:70-86.
- Percivall, A. L., A. R. Thompson and G. H. Edmonds (1984) Performance of granular formulations of carbofuran, chlorfenvinphos and benfuracarb applied to the soil at drilling to control cabbage root fly. *Ann. appl. Biol.* 104:10-11.
- Pillai, K. S. and M. R. G. K. Nair (1984) Use of insecticides applied as granules in soil for control of the major lepidopteran pests on rice. *Entomon* 9:275-278.
- Pillai K. S. and M. R. G. K. Nair (1985) Effect of irrigation on persistent toxicity of insecticides applied as granules to soil to brown plant hopper and rice swarming caterpillar. *Entomon* 10:71-74.
- Pitcher, R. S. (1967) The host-parasite relations and ecology of Tricodorus viruliferus on apple roots, as observed from an underground laboratory. *Nematologica* 13:547-557.
- Potter, J. W. and C. F. Marks (1976a) Persistence of activity of oxamyl against Heterodera schachtii on cabbage. *J. Nematol.* 8:35-38.
- Potter, J. W. and C. F. Marks (1976b) Efficacy of oxamyl against Heterodera schachtii on cabbage. *J. Nematol.* 8:38-42.
- Radewald, J. D., F. Shibuya, J. Nelson and J. Bivens (1970) Nematode control with 1410, an experimental nematicide-insecticides. *Plant Dis. Repr.* 54:187-190.
- Reddy, D. D. R. and A. R. Seshadri (1971) Studies on some systemic nematicides. 1. Evaluation for systemic and contact action against the root-knot nematode, Meloidogyne incognita. *Indian J. Nematol.* 1:199-208.
- Reynolds, J. H. and C. D. Pless (1977) Forage yield of red clover treated with furadan. *Tennessee Farm and Home Science* July, August, September 13-14.
- Rhoades, H. L. (1974) Comparison of two methods of applying granular nematicides for control of sting nematodes on snap beans, sweet corn and field corn. *Soil and Crop Sci. Soc. of Fla. Proc.* 33:77-79.
- Rhoades, H. L. (1983) Efficacy of soil fumigants and nonfumigants for controlling plant nematodes and increasing yield of snap bean. *Nematropica* 13:239-244.

- Rhoades, H. L. (1984) Control of Pratylenchus scribneri on spearmint, Mentha spicata, with nonfumigant nematicides. *Nematropica* 14:85-89.
- Rich, J. R. and G. W. Bird (1973) Inhibition of Rotylenchulus reniformis penetration of tomato and cotton roots with foliar applications of oxamyl. *J. Nematol.* 5:221-224.
- 斎藤祐司・大野 明・岸春雄・内田貞男(1976) 落花生を加害するコガネムシ類の防除について. 関東東山病虫研究会年報 23:102.
- Sasser, J. N. (1952) Studies on the control of root-knot nematodes(Meloidogyne spp.) with systox spray(E-1059), an organic phosphate insecticide. *Pl. Dis. Reprtr.* 36:228-233.
- 沢田正明(1986) コガネムシ類の生態と防除の実態(ラッカセイ・サツマイモ). s. 61 土壤害虫防除現地検討会(日本植物防疫協会) 講演要旨 pp. 32-41.
- 瀬戸昌之(1992) 生態系 株式会社有斐閣, 184 p.
- Shishido, T. (1990) Future view of pesticide. *Jap. Pestic. Inf.* 57:19-21
- Siddaramappa, R., A. Tirol and I. Watanabe(1979) Persistence in soil and absorption and movement of carbofuran in rice plant. *J. Pesticide Sci.* 4:473-479.
- 重松太一郎(1988) 農薬原体の物理化学性. 農薬の製剤技術と基礎(日本農薬学会 農薬製剤・施用法研究会編) 日本植物防疫協会, pp. 6-34.
- Singh, B. V. and Thobbi(1982) Chemical control of shoot fly on sorghum. *Indian J. Plant. Prot.* 10:73-75.
- Southey, J. F. (1986) *Laboratory Methods for Work with Plant and Soil Nematodes.* 6th. ed. London: Her Majesty's Stationery Office 202p.
- 「除草剤試験実施基準」, (財) 日本植物調節研究協会, 東京, 1975.
- Smith, A. L. and A. L. Taylor(1947) Field methods of testing for root-knot infestation. *Phytopath.* 37:85-93.
- Starr, J. L., W. F. Mai and G. S. Abawi(1978) Effects of oxamyl on the reproduction of Meloidogyne hapla and Heterodera schachtii. *J. Nematol.* 10:378-379.
- Sutter, G. R. (1982) Comparative toxicity of insecticides for corn rootworm (*Coleoptera: Chrysomelidae*) larvae in soil bioassay. *J. Econ. Entomol.* 75:489-491.
- Takagi, Y. (1989) Benfuracarb(Oncol), a new broad-spectrum carbamate insecticide. *Jpn. Pestic. Inf.* 54:23-27.
- 竹沢秀夫(1976) サツマイモのコガネムシ類防除. 新農薬 30:31-34.
- 谷口達雄(1981) ナガイモを加害するコガネムシ類の薬剤防除. 鳥取県野菜試研究報 2:21-34.

- Taylor, A. L., V. H. Dropkin and G. C. Martin (1955) Perineal patterns of root-knot nematodes. *Phytopathology* 45:26-34.
- 照屋林こう・新城朝栄・新城玄隆・根川 守(1977) コガネムシの生態と防除.
I. 宮古島におけるアオドウガネの異常発生の実態および幼虫の防除時期と被害防止の効果. 九州病害虫研究会報 23:132-136.
- Timmer, L. W. (1975) Suppression of populations of the citrus nematode, *Tylenchulus semipenetrans*, which foliar application of oxamyl. *Pl. Dis. Report* 58:882-885.
- Tippins, H. H. (1981) Effect of carbofuran on euryonymus scale. *J. Georgia Entomol. Soc.* 16:436-437.
- Tomizawa, A. and H. Orita (1979) Control of *Anomala cuprea* in sweet potatoes. *Noshi Report* (Ishikawa-ken Nogyo Shikenjo) 29:9-13.
- 富沢長次郎・上路雅子・腰岡政時二(1989) 最新農薬データブック (1989年度版). ソフトサイエンス社, 396 p.
- 戸塚 武・鈴木正勝・徳山忠雄・岩撫才次郎・阿久津四郎・竹沢秀夫(1976) サツマイモを加害するコガネムシ幼虫に対する各種薬剤の防除効果. 関東東山病害虫研究会報 23:103-104.
- 堤 正明(1978) 圃場栽培ジャガイモ浸出液のジャガイモシストセンチュウ孵化促進効果. *Jpn. J. Nematol.* 8:16-19.
- 堤 正明・桜井 清(1966) ダイズシストセンチュウの孵化ならびに幼虫ゆう出に及ぼす寄生・非寄生植物根 出物の影響. 応動昆 10:129-137.
- Uchida, M., S. Funayama and T. Sugimoto (1982) Bioconcentration of fungicidal dialkyl dithiolanylidene-malonates in *Oryzias latipes* L. *J. Pesticide Sci.* 7:181-186.
- Uchida, M. and T. Suzuki (1983) Affinity and mobility of fungicides in soils and rice plant. *IUPSC Pesticide chemistry Human Welfare and the Environment* (Edited by J. Miyamoto et al.) pp. 371-376.
- 内田又左衛門 (1984) イソプロチオラン関連化合物の環境中における動態. 日本農薬学会誌 9:559-569.
- 梅津憲治(1986) メチルカーバメート系殺虫剤の低毒化に関する合成・代謝研究 農薬誌 11:493-503.
- 梅津憲治(1989) 新規カーバメイト系殺虫剤の開発. -ベンフラカルブ及びアラニカルブの場合- 植物防疫 43:599-602.
- Umetsu, N., A. K. Tanaka and T. R. Fukuto (1985) Absorption, translocation and metabolism of the insecticide benfuracarb in plant. *J. Pesticide Sci.* 10: 501-511.

- Usui, M. and N. Umetsu (1986) Metabolism of the insecticide benfuracarb in the housefly. 農薬誌 11:493-503.
- Viglierchio, D. R. and B. F. Lownsbery (1960) The hatching response of Meloidogyne species to the emanations from the roots of germinating tomatoes. Nematologica 5:153-157.
- Viglierchio, D. R. (1961) Attraction of parasitic nematodes by plant root emanations. Phytopathology 51:136-142.
- 和田 譲 (1988) 農薬の放出制御. 農薬の製剤技術と基礎 (日本農薬学会 農薬製剤・施用法研究会 編), 日本植物防疫協会, pp.127-165.
- Wieser, W. (1955) The attractiveness of plants to larvae of root-knot nematodes. I. The effect of tomato seedlings and excised roots on Meloidogyne hapla Chitwood. Proc. Helminthol. Soc. Wash. 22:106-112.
- Wieser, W. (1956) The attractiveness of plants to larvae of root-knot nematodes. II. The effect of excised bean, eggplant and soybean roots on Meloidogyne hapla Chitwood. Prog. Helm. Soc. Wash. 23:59-64.
- Wright, D. J., A. R. K. Blyth and P. E. Pearson (1980) Behaviour of the systemic nematicide oxamyl in plants in relation to control of invasion and development of Meloidogyne incognita. Ann. appl. Biol. 96:323-334.
- Wright, D. J. and J. Womack (1981) Inhibition of development of Meloidogyne incognita by root and foliar applications of oxamyl. Ann. appl. Biol. 97:297-302.
- 山下賢一・藤本 清 (1982) 転作大豆におけるコガネムシ類幼虫の発生と防除. 農薬研究 28:1-10.
- 山下寅好 (1974) サツマイモのドウガネブイブイ幼虫の被害と防除. 今月の農薬 18:65-69.
- 山内寅好・中村文夫・深沢永光 (1974) サツマイモのドウガネブイブイ幼虫に対するMPP剤のうね内処理効果. 関東東山病虫研究会年報 21:100-101.
- 吉田正義 (1975) コガネムシ類の多発の原因. 植物防疫 29:22-28.
- 吉田正義 (1986) 芝生を加害するコガネムシの生態と防除. 農薬研究 32:24-31.
- 葭原敏夫 (1985) ミナミキイロアザミウマの生態と防除. ーバイデート粒剤の特徴と利用場面を重点にー 新農薬 39:28-38.
- 吉岡幸治郎 (1982) サトイモを加害するコガネムシの発生生態と防除. 今月の農薬 26:46-48.

吉岡幸治郎・松本益美(1972) ドウガネブイブイ成虫の生態に関する2・3の知見.

四国植防 12:85-89.

吉岡幸治郎・松本益美(1976) ドウガネブイブイによるイチゴの被害解析.

四国植防 16:29-37.

吉岡幸治郎・山崎康男・土居隆洋・松本益美(1982) サトイモにおけるコガネムシの発生
加害と薬剤防除. 愛媛県農業試験場研究報告 22:35-38.

吉岡幸治郎・山崎康男(1984) オオクロコガネの生態とサトイモの被害. 植物防疫
38:5-8.

湯島 健・桐谷圭二・金沢 純(1974) 生態系と農業. 現代科学選書, 岩波書店, 214 p.

Studies on the Exhibition of Activities and the Properties of
Action about the Insecticide, benfuracarb

Norio Osaki

Summary

Benfuracarb, a sulfenylated derivative of carbofuran, is an excellent systemic insecticide with the lower mammalian toxicity than carbofuran. It is being widely used in Japan against many economically important insect pests such as rice water weevil (Lissorhoptrus oryzophilus), rice leaf beetle (Oulema oryzae), Thrips palmi, aphids and diamondback moth (Plutella xylostella).

This study is concerned with physicochemical properties, characteristics of action, activity of painting application of benfuracarb paste and the relationship between application timing of benfuracarb granule and their activity against chafers.

The results obtained are as follows:

1. Physicochemical properties and characteristics of action

1-1. Physicochemical properties

The water solubility and vapor pressure of benfuracarb were lower than those of carbofuran but the logPow was higher than that of carbofuran.

1-2. Absorption of benfuracarb with roots and uptake of it by roots in rice seedlings

The percentage of absorption of benfuracarb with the roots was higher than that of carbofuran and the percentage of its uptake by the roots was also higher than that of carbofuran in the rice seedlings. On the other hand, the percentage of translocation of benfuracarb from the roots to the stems and leaves were considered to be lower than that of carbofuran.

1-3. Activity of benfuracarb against insect pests that attack stems and leaves of crops

The insecticidal activity of benfuracarb by topical application was lower than those of carbofuran and other carbamate insecticides against green rice leafhopper (Nilaparvata lugens), whiteback rice planthopper (Sogatella furcifera), small brown planthopper (Laodelphax striatellus) and common cutworm (Spodoptera litura) except for that of propoxur against common cutworm. The activity of benfuracarb

against whiteback rice planthoppers was higher than that of diazinon but lower than that of carbofuran by foliar application.

On the other hand, the preventive activity of benfuracarb 5% granule(5G) by soil application against small brown planthoppers was equal to or higher than that of carbofuran 5G 10, 14 and 24 days after application. Soil drench of benfuracarb emulsifiable concentrate also showed the high biological activity against green peach aphid(Myzus persicae) from 1 day to 7 days after application, equal to carbofuran 5G. The molecular weight of benfuracarb is about twice as weight as that of carbofuran and the active ingredients are carbofuran and its related compounds, so it was supposed that the activity of benfuracarb would be lower than that of carbofuran on a weight basis when applied to the soil. But benfuracarb was equal to or more effective than carbofuran even if on a weight basis against insect pests on the leaves or stems of the crops, that is, benfuracarb proved to be more effective than carbofuran on a molar basis by soil application.

It was thought to be one of the reason why benfuracarb showed higher activity than carbofuran by soil application that percentages of uptake of benfuracarb by roots of crops is higher than that of carbofuran. But benfuracarb seemed to be adsorbed to the soil immediately after soil application and not to be available for the rice seedlings. Therefore, studies on the mechanism involved in the enhanced efficacy of benfuracarb compare to carbofuran were conducted using small brown planthopper as a test insect.

Benfuracarb was as effective as carbofuran by soil application on a molar basis in the closed system where no movement or loss of active ingredients in the soil occurred. But the activity from the washed soil treated with benfuracarb was higher than that of carbofuran on a molar basis.

The studies on the mobility of benfuracarb in the soil indicated that the active ingredient in the benfuracarb-treated soil was less or no mobile and retained longer period in the soil than in the carbofuran-treated soil. It was considered that such a characteristic of benfuracarb in the soil was due to its lower water solubility and higher log_P than those of carbofuran.

1-4. Nematic activity against southern root-knot nematodes

Carbofuran is used as a nematicide all over the world. Therefore, the activity of benfuracarb against southern root-knot nematode(Meloidogyne incognita) was compared with that of carbofuran.

Benfuracarb accelerated hatching, but carbofuran didn't. Benfuracarb didn't

inhibit body movement of larvae and their passing through the paper of the Baermann funnels at 100ppm and 10ppm. Carbofuran inhibited body movement at the same concentration, so benfuracarb seemed to lose such activity. It also didn't inhibit dispersion of larvae at 100ppm, but inhibited their aggregation and invasion to the tomato seedlings at 5ppm. On the other hand, carbofuran inhibited dispersion of larvae at 10ppm and didn't inhibited their dispersion and aggregation to the roots at 5ppm. It inhibited invasion of larvae into the roots at 5ppm.

The activity of benfuracarb against nematodes can be summarized as follows. It might lose the activity which inhibit dispersion of nematodes and reduce the activity which inhibit invasion of nematodes into tomato seedlings, carbofuran possess those activity. On the other hand, benfuracarb might have got the activity which inhibit aggregation of larvae to tomato seedlings.

In the pot tests, the preventive activity of benfuracarb was lower than that of carbofuran in the half closed system applied with water at the regular intervals.

2. Biological activity by painting application of benfuracarb paste on stems of crops

2-1. Preventive activity against insects that attack stems and leaves of crops

The benfuracarb paste treated at one tenth amount of active ingredient of its granule on the stems of the cabbage seedlings showed the high preventive activity against green peach aphids. The fast acting was equal to or slightly better than that of granule. It also showed the good activity against diamondback moths, almost equal to its granule. The paste treated on the stems of the cucumbers at one fifth amount of the active ingredient of its granules gave the high activity, equal to that of granule against cotton aphids.

It seems that the benfuracarb paste would be the source that would continuously send the active ingredient to the sites where insectpests were attacking.

2-2. Preventive activity against southern root-knot nematodes

The benfuracarb paste treated on the stems of the tomato seedlings didn't show the activity with the phytotoxicity. On the other hand, the oxamyl paste used as a control showed the activity against nematodes, it seems to be the first case that painting application of paste on crops showed the preventive activity against nematodes.

3. Application timing of benfuracarb granule and its activity against chafers

3-1. Insecticidal activity against chafers(cupreous chafer)

The activity against the adults of cupreous chafers was lower than that of fenthion which is widely used as a chafercide but higher than that of diazinon also used as a chafercide. It was as effective as fenthion against larvae.

3-2. Preventive activity of granules against chafers

The application timing of benfuracarb granule and its preventive activity against chafers on sweet potatoes was investigated. Adult chafers, mainly cupreous chafers(Anomala cuprea), came to the trees on the bank next to the test field from June to August.

9th of July was the first peak of the number of adult chafers on the trees. The preventive activities by top dressing of the granule before 9th of July were higher than those of top dressing after 9th of July including two times on the standard application timing. Therefore, application timing is considered to be very important for benfuracarb granule to show the preventive activity against chafers in sweetpotato fields and it is suggested to apply granules from 6 to 25 days before the first peak of the number of adult chafers to get the high preventive activity.

