水中に微量に溶存する農薬の数種水棲生物による取り込み*

柘植 茂晃**, 西村 隆信***, 風野 光****, 富沢長次郎****

, * 農林水産省農薬検査所

**** 農林水産省農業技術研究所

(昭和 55 年 6 月 15 日受理)

Uptake of Pesticides from Aquarium Tank Water by Aquatic Organisms*

Shigeaki TSUGE,** Takanobu NISHIMURA,*** Hikaru KAZANO****
and Chojiro TOMIZAWA****

, * Agricultural Chemicals Inspection Station, Kodaira, Tokyo 187, Japan

**** National Institute of Agricultural Sciences, 3-1-1 Kannondai,

Yatabe-machi, Tsukuba-gun, Ibaraki 305, Japan

Aquatic organisms were kept in an aquarium tank containing 1 ppb of chlorophenyl-(U)- ^{14}C -DDT, 1,2,3,4,10- ^{14}C -aldrin, 2,4-dichlorophenyl-(U)- ^{14}C -prothiophos (O-2,4-dichlorophenyl O-ethyl S-propylphosphorodithioate), dimethyl- ^{14}C -isothioate [S-2-(isopropylthio)-ethyl dimethylphosphorothiolothionate], naphthyl-1- ^{14}C -carbaryl, and N-methyl- ^{14}C -XMC (3,5-xylyl methylcarbamate), respectively, and uptake of these pesticides in guppy (*Lebistes reticulatus* Peters), red snail (*Indoplanorbis exustus* Deshayes), mosquito larvae (*Culex pipiens pallens molestus* Foriskal) and *Daphnia pulex* deGeer was investigated. Uptake of DDT by mosquito larvae was the most rapid among the aquatic organisms tested, and the snail accumulated the least in this experiment. Aldrin was rapidly transformed to dieldrin in guppy, but was scarcely found at all in *Daphnia*. The uptake of prothiophos was high in *Daphnia*, differing from the lower uptake by other organisms which easily degraded this chemical compound. The uptake of isothioate, carbaryl and XMC was fairly low, and those three pesticides were metabolized rapidly by all organisms. The uptake and metabolism of pesticides were remarkably influenced by difference of aquatic organism species and chemical variety. It was also found that the uptake of pesticides in the present experiment was different from that in the model ecosystem study which involved a food chain system.

緒 言

近年、多種類の化学物質が大量に生産されるに従ってそれらによる環境汚染が社会問題となり、環境における残留性や水棲生物への蓄積性についての関心が高まっている。とくに農薬については、その使用状況から、水系の自然環境に与える影響は大きいと考えられるが、こ

うした問題に対する研究は、従来、水棲生物に対する急性毒性試験に関するものが多く、農薬の種類や生物種の相違による水棲生物への取り込みや蓄積性の有無について行なわれた研究は必ずしも多くはない。

われわれは、すでに Metcalf らの考案したモデルエコシステム¹⁾を用いて、生物濃縮に関する検討を重ねてきた²⁻⁴⁾。この方法では、陸系の生物や水系の微生物などを経由した農薬の親化合物およびその代謝物が、呼吸、体表からの浸透、食物連鎖などによって水棲生物に取り込まれ、代謝分解され、あるいは蓄積される可能性の有無を検討することはできるが、系が複雑であるために、生物濃縮の主たる経路を明らかにすることはできなかった。

本報では、系を単純化し、微量の農薬が混入している

* 本報告の概要は日本農薬学会第2回大会において発表した。

** 現在：農林水産省農蚕園芸局果樹花き課
Present address: Fruit and Flower Division,
Agricultural Production Division, Ministry of
Agriculture, Forestry and Fisheries

水の中での、種の異なる水棲生物による農薬の取り込みについて検討した。

実験材料および方法

1. 供試化合物

本実験には、有機塩素殺虫剤の DDT, アルドリノ, 有機リン殺虫剤のプロチオホス, イソチオエート, カバメート殺虫剤のカルバリル, XMC の計 6 種類の農薬を使用した。p-クロルフェニル- ^{14}C -(U)-標識-p, p'-DDT (比放射能 29.7 mCi/mmol) と 1, 2, 3, 4, 10- ^{14}C -標識-アルドリノ (比放射能 40.0 mCi/mmol) は英国 Amersham 社製を購入した。フェニル- ^{14}C -(U)-標識プロチオホス (O-2, 4-dichlorophenyl O-ethyl S-propylphosphorodithioate, 比放射能 2.6 mCi/mmol) は, ^{14}C -(U)-sodium 2, 4-dichlorophenolate と O-ethyl S-propylphosphorochloridodithionate から合成した⁵⁾。メチル- ^{14}C -標識-イソチオエート [S-2-(isopropylthio)ethyl dimethylphosphorothiolothionate, 比放射能 6.2 mCi/mmol] は, 日本農薬株式会社から提供された。1-ナフチル-1- ^{14}C -標識-カルバリル (比放射能 6.1 mCi/mmol) と N-メチル- ^{14}C -標識-XMC (3, 5-dimethylphenyl-N-methylcarbamate, 比放射能 2.9 mCi/mmol) は前報において用いたものと同じである^{2, 3)}。

標識農薬は、いずれも使用直前に薄層クロマトグラフィー (tlc, シリカゲル GF-254, 厚さ 0.5 mm) により精製して実験に供した。tlc に用いた展開溶媒と標品の Rf 値は次のとおりである。

DDT (Rf 0.55): n-ヘキサン-エチルエーテル (100 : 2)

アルドリノ (Rf 0.81): n-ヘキサン-エチルエーテル (1 : 1)

プロチオホス (Rf 0.50): n-ヘキサン-エチルエーテル (9 : 1)

イソチオエート (Rf 0.80): n-ヘキサン-アセトン (8 : 2)

カルバリル (Rf 0.61): エチルエーテル-n-ヘキサン (4 : 1)

XMC (Rf 0.53): エチルエーテル-n-ヘキサン (3 : 1)

放射化学的純度は tlc-オートラジオグラフィーによりいずれも 99% 以上であることを確認した。

2. 想定代謝物

DDD, DDE ディルドリンおよび 1-ナフトールは和光純薬製を用いた。5-ヒドロキシカルバリルは Dorough & Casida の方法によって、1, 5-ジヒドロキシナフタレンとイソシアン酸ジメチルから合成した⁶⁾。これらの化合物

は、それぞれ、関連する農薬の代謝物を同定するためのクロマトグラフィーに用いた。

3. 供試生物

次の 4 種の水棲生物を実験に供した。

グッピー (*Lebistes reticulatus* Peters), 体重約 200 mg の雌個体を 1 試験処理区当たり 4~6 個体用いた。red snail (*Indoplanorbis exustus* Deshayes), 体重約 200 mg の個体を 1 試験処理区当たり 5 個体使用した。チカイエカ幼虫 (*Culex pipiens pallens molestus* Foriskal), 4 令の個体 (約 2 mg/頭) を約 500 頭用いた。

ミジンコ (*Daphnia pulex* deGeer), 雌成熟個体 (約 0.7 mg/頭) 約 1,500 頭使用した。

なお、使用前に、グッピーと red snail は 24 時間、チカイエカ幼虫とミジンコは 3 時間、それぞれ農薬を含まない 25°C の水に移して馴致させた。

4. 試験水の調製および実験条件

水道水を活性炭で処理し、25°C で一昼夜通気した水を試験用水とした。この水に標識農薬のエチルセロソルブ溶液を必要量添加し、十分攪拌したのちしばらく静置した。農薬の種類によってはその一部が水の表面に遊離してくるおそれがあるためサイフォンを用いて表層を残し、下層の水を採取した。これを所定濃度 (1 ppb) となるようにさらに試験用水で希釈して試験水を調製した。試験水の容量は、放飼する供試生物の重量の約 1 万倍に設定して実験を行なった。

Fig. 1 に魚を用いた場合の実験例を模式図で示した。

試験水槽は、10 l 容の全ガラス製容器を用いた。水温を 25°C に保持するため、試験水槽をさらに大型の水槽に入れ、外側の水槽を加温することによって、間接的に試験水槽の水温を制御した。なお、試験水への通気は水中の農薬の揮散が懸念されるので行なわなかった。

5. 分析方法

供試生物は経時的に採集し、水洗したのち、グッピーおよび red snail は紙タオルを用いて、また、チカイエ

Fig. 1 Schematic drawing of aquarium tank.

カ幼虫およびミジンコは吸引濾過して、それぞれ水を除去し新鮮体重を秤量した。続いて、それぞれ、アセトニトリル-水 (7:3) で磨砕抽出し、吸引濾過し、残渣を上記の溶媒で洗浄した。濾液を合わせ、クロロホルムを加えて振とうし、クロロホルム層 (クロロホルム分画) と水層 (水溶性分画) に液液分配し、それぞれの分画の一部を採取して、液体シンチレーションスペクトロメーター (Nuclear Chicago 社製, Isocap 300 型) により放射能を測定した。供試生物に蓄積された農薬およびその代謝物の分離確認と定量を行なうために、さらに、クロロホルム層を濃縮して *tlc*-オートラジオグラフィーを行なった。抽出残渣 (不溶性分画) については、オートオキシダイザー (日本無線医理学研究所製, ASC 111 型) により、 $^{14}\text{CO}_2$ として放射能を測定した。

試験水については、実験開始 24 時間後の水を 100 ml 採取し、クロロホルム 100 ml を加えて振とうし、クロロホルム層と水層のそれぞれについて放射能を測定した。また、一部のクロロホルム層は *tlc* に供した。

tlc に用いた展開溶媒は、標識農薬の精製に用いたものと同一のものを用了。

結 果

1. 有機塩素殺虫剤の取り込み

DDT とアルドリンの、グッピー、red snail、チカイエカ幼虫およびミジンコによる取り込みを Fig. 2 に示した。

DDT の場合、グッピーでは 24 時間後の ^{14}C 濃度は DDT 換算で 1,350 ppb となり、*tlc*-オートラジオグラフィーによりそのほとんどが DDT として存在していることが確認された。1 週間後の ^{14}C 濃度は 5,000 ppb に達した。red snail では 24 時間後の ^{14}C 濃度は 450 ppb で、1 週間後においてもわずかな増加に留まった。

グッピー、red snail、およびミジンコが水中の溶存酸素を利用して呼吸するのに対して、チカイエカ幼虫は空気呼吸する点で他の 3 種の水棲生物と生理的に大きく異なっていると考えられるが、チカイエカ幼虫の 24 時間後の ^{14}C 濃度は 3,400 ppb で、4 種の供試生物のなかで最も大きい値を示した。

ミジンコは、1 時間後まではチカイエカ幼虫と同様の急速な取り込みが認められたが、実験開始の約 3 時間後から死亡する個体が現われ、24 時間後にはほとんどの個体が死亡した。

Table 1 に、4 種供試生物のクロロホルム分画の *tlc*-オートラジオグラフィーによる放射能の分布を示した。グッピー、red snail およびチカイエカ幼虫については 24 時間後、ミジンコについては 3 時間後の値を表示した。

グッピーでは、取りこまれた DDT の代謝がほとんど進まなかった。これに対して、チカイエカ幼虫では DDT から DDE への変換が容易に進行しており、また、他の 3 種の生物と比べて多種類の代謝物のスポットが認められた。red snail は、他の 3 種の生物が DDE への変換を主とするのに対し、DDD への変換を主とする特徴があり、*tlc* の原点に残る極性の代謝物もやや多かった。24 時間後の試験水は、いずれもほとんどの ^{14}C がクロロホルム分画に存在したが、体内への取り込み量の多かったチカイエカ幼虫の試験水の ^{14}C 濃度が、他と比較してもっとも減少していた (Table 2)。

アルドリンの場合、取り込み量の最も多い供試生物は DDT の場合と同様にチカイエカ幼虫で、以下、グッピー>ミジンコ>red snail の順であった。ディルドリンへの変換速度では、生物種間に大きな相違が認められ、グッピーでは、時間の経過とともに生物体内の ^{14}C の大部分がディルドリンに変換されるのに対し、ミジンコでは

Table 1 Per cent distribution of DDT and its metabolites in chloroform fraction of aquatic organisms.

	<i>Rf</i> *	Fish**	Snail**	Mosquito larva**	Daphnia***
DDE	0.79	1.3	trace	54.2	0.9
I****	0.65			0.7	
DDT	0.55	98.2	94.6	39.4	98.5
DDD	0.36	0.3	3.3	1.9	0.4
II	0.10			2.6	
Origin	0.00	0.2	2.1	1.2	0.2

* Silica gel GF-254, *n*-hexane: ethyl ether, 100:2 by volume.

** 1 day after treatment.

*** 3 hours after treatment.

**** Roman numerals indicate compounds whose chemical structures are unknown.

Fig. 2 Uptake and fate of organochlorine insecticides by aquatic organisms.

●: total ^{14}C , ○: ^{14}C in chloroform fraction, △: ^{14}C in aqueous fraction, □: ^{14}C in residue fraction, ▲: insecticide, *: metabolite.

ディルドリンへの変成はわずかであり、ほとんど親化合物のアルドリンの形態で存在していた。

2. 有機リン殺虫剤の取り込み

プロチオホスとイソチオエートについての結果を、Fig. 3 に示した。

プロチオホスの場合、取り込み量の最も多い供試生物はミジンコで、 ^{14}C の大部分は親化合物で占められているのに対し、他の3種の生物の ^{14}C 濃度は相対的に低く ^{14}C 全体に占める親化合物の比率は24時間後で2/3~1/4であった。グッピーでは親化合物から水溶性物質へ

Fig. 3 Uptake and fate of organophosphorus insecticides by aquatic organisms.

●: total ^{14}C , ○: ^{14}C in chloroform fraction, △: ^{14}C in aqueous fraction, □: ^{14}C in residue fraction, ▲: insecticide.

の代謝が顕著で、3時間後以降で水溶性分画の放射能がクロロホルム分画のそれを上回った。プロチオホスは水から容易に生物体内に取り込まれるが、代謝能力の乏しいミジンコを除けば、比較的速く代謝されるために、親化合物の形態での残存は低い値を示した。

イソチオエートの場合、放射能の取り込みはプロチオホスと比べてかなり小さく、チカイエカ幼虫の場合実験の初期にやや取り込みが認められたものの、 ^{14}C 濃度で200 ppbを超えることはなかった。また、いずれの供試生物からも親化合物は検出されなかった。Table 2 に示

Fig. 4 Uptake and fate of carbamate insecticides by aquatic organisms.
 ●: total ^{14}C , ○: ^{14}C in chloroform fraction, △: ^{14}C in aqueous fraction,
 □: ^{14}C in residue fraction, ▲: insecticide.

したイソチオエートにおける 24 時間後の試験水の放射能分布はいずれの供試生物区についても、 ^{14}C 全体の 50% 前後を水溶性分画が占めており、この農薬の水中の易分解性を暗示させた。

3. カーバメート殺虫剤の取り込み

カルバリルと XMC についての結果を、Fig. 4 に示した。

カルバリルの場合、24 時間後の供試生物中の ^{14}C 濃度はいずれも親化合物換算で 100 ppb 以下であった。生

Table 2 Concentration of radioactivity in chloroform fraction and in aqueous fraction from water kept aquatic organisms 1 day after treatment.

Pesticide	Concentration, equivalent ppb							
	Fish		Snail		Mosquito larva		Daphnia	
	CHCl ₃	H ₂ O	CHCl ₃	H ₂ O	CHCl ₃	H ₂ O	CHCl ₃	H ₂ O
DDT	0.90	0	0.95	0	0.69	0.02	0.98	0
Aldrin	0.70	0	0.95	0	0.68	0.01	0.71	0
Prothiophos	0.76	0.21	0.63	0.23	0.72	0.21	0.37	0.18
Isothioate	0.44	0.51	0.53	0.45	0.43	0.55	0.48	0.46
Carbaryl	0.66	0.11	0.61	0.16	0.60	0.11	0.82	0.05
XMC	0.93	0.01	0.95	0.03	0.82	0.04	0.91	0.05

Table 3 Per cent distribution of carbaryl and its metabolites in chloroform fraction of aquatic organisms and water kept them for 7 days.

	R _f *	Guppy			Snail			Mosquito larva**	Daphnia**
		1 day**	7 days	Water	1 day	7 days	Water		
I***	0.98		14.0	5.0	55.4	79.0	4.1	95.6	97.8
1-naphthol	0.90			19.5			2.3		
II	0.72								0.1
Carbaryl	0.61	14.0	2.0	29.0	24.6	12.0	88.0	0.9	0.7
5-hydroxy carbaryl	0.38			27.0			2.2		1.4
Origin	0.00	86.0	84.0	19.5	20.0	9.0	3.4	3.5	

* Silica gel GF-254, ethyl ether : *n*-hexane, 4 : 1 by volume.

** 1 day after treatment.

*** Roman numerals indicate compounds whose chemical structures are unknown.

物に取り込まれた放射能の分布をみると、水溶性分画または不溶性分画に含まれる割合が大きく、親化合物であるカルバリルの形態での生物体内への残存量はわずかであった。クロロホルム分画の *tlc*-オートラジオグラフィによる放射能の分布を Table 3 に示した。

グッピーでは ¹⁴C の大部分が極性の代謝物として原点に残るのに対し、他の 3 種の水棲生物では ¹⁴C の大部分が *R_f* 値 1.0 付近に分布し、生物種による代謝の相違が認められた。

なお、7 日後のグッピーと red snail の試験水から、1-ナフトールと 5-ヒドロキシカルバリルが検出されたがこれらの化合物は供試生物体から検出されなかったので、水中の微生物に由来する代謝物ではないかと推定される。

XMC の場合も、カルバリルの場合とほぼ同様に ¹⁴C の取り込み量は経時的にある程度増加するが、代謝が早いので親化合物である XMC の形態での残留は少なかった。

同一条件で行なわれたカルバリルと XMC のモデルエ

コシステム^{3,4)}における生物濃縮係数 (Ecological magnification value⁷⁾ = $\frac{\text{供試生物体中の親化合物の濃度}}{\text{試験水中の親化合物の濃度}}$) は、グッピーおよび red snail のいずれにおいても XMC のほうが大きかったが、本実験のように単純化した系での呼吸および体表からの浸透による取り込みでは、カルバリル、XMC とともに生物濃縮性の低い農薬であるという結果を示した。

なお、Table 2 に示した XMC の 24 時間後の試験水の放射能分布は、カルバリルと比べて水溶性分画に含まれる放射能の割合が低かった。

考 察

1. 試験方法

化学物質の水棲生物に対する影響を把握するための実験には、大きく分けて止水式と定濃度流水式 (連続流水式) の試験方法があるが、本報告のように放射性同位元素を用いた実験では、薬量の確保と廃液の処理が困難であるため、止水式を採用した。この場合、試験水量に対して

供試生物の総量が多いと、生物体に取り込まれやすい性質を有する農薬の試験では、試験水中の農薬が急速に減少する結果、当初の試験設定濃度との間に著しい相違が生ずる。農林水産省や日本工業規格の魚類に対する毒性試験法^{8,9)}では、主として溶存酸素量を考慮して、試験水量 1 l に対して供試魚の重量 1 g の比率 (1,000 : 1) を基準としているが、取り込み量の大きい農薬について試験する場合は、試験水を頻繁に交換する等の工夫が必要であろう。

試験水中の農薬濃度は、金沢・富沢¹⁰⁾の報告にみられるように、定濃度流水式においても試験開始後 2~3 日は低下することが観察されており、濃度の維持は、この種の試験を行なう場合の大きな課題となっている。

本報告では、試験水量と供試生物の総重量の比率を、10,000 : 1 に一定して実験を行ない、試験開始後 24 時間では、試験設定濃度の維持に比較的満足すべき結果が得られたが、数日間にわたる試験ではカルバリルで示されたように、水中微生物の繁殖によると考えられる影響等が加わってくる可能性があるため、止水式による長期の試験には限界があると判断された。また、イソチオエートのように、とくに水中で分解されやすい農薬については、試験設定濃度の維持は困難であろう。

2. モデルエコシステムとの比較

前報³⁾に示したように、DDT のモデルエコシステムによる実験結果では、グッピーおよび red snail (生物濃縮係数は、それぞれ、13,047 および 6,241) に DDT が高濃度に蓄積された。DDT の本実験における結果では、グッピーは DDT を高濃度に蓄積したが、red snail については 7 日後の生物体内の DDT 濃度がグッピーの 10 分の 1 以下であり、グッピーが食物連鎖を経由せず呼吸および体表からの浸透のみによっても生物濃縮が高濃度にまで進行しうのに対し、red snail については、呼吸および体表からの浸透のみでは高濃度に達しないことが確認された。このことからモデルエコシステムにおける red snail への DDT の高濃度の蓄積は主として食物連鎖 (藻類の摂食) によって進行したものであることが暗示された。

また、本実験のカルバリルと XMC の結果では、いずれの供試生物についても親化合物はほとんど蓄積されず Kanazawa によるこれらの農薬のモツゴに対する取り込みの報告¹¹⁾と同様の結果を得た。しかしながら、モデルエコシステムを用いた XMC についての実験⁴⁾ではグッピーと red snail の生物濃縮係数 (それぞれ 1,477 と 318) として比較的高い数値が得られており、一方、本実験の結果から呼吸および体表からの浸透による XMC

の濃縮は否定されたので、グッピーと red snail の場合には食物連鎖により XMC が両生物に濃縮されたと考えられる。

3. 農薬および生物の種類の相違による取り込みの差異

本実験の結果から、農薬の種類によって、水棲生物による取り込みや蓄積には大きな相違があり、有機リン殺虫剤およびカーバメート殺虫剤は有機塩素殺虫剤と比べて蓄積性が小さく、また、有機リン殺虫剤でも水に対する溶解度 (プロチオホス 1.7 ppm, イソチオエート 90 ppm) の違いによって取り込みにかなりの差異を生ずることが明らかである。

Metcalf & Sanborn¹²⁾ は数十種に及ぶ農薬についてのモデルエコシステムを用いた研究から魚類による親化合物の生物濃縮係数と農薬の水に対する溶解度の間に、かなり高い負の相関性 ($r = -0.76$) があることを報告しているが、本実験で用いた 6 種類の農薬についても、グッピーにおける生物濃縮性は同様の傾向を示している。

また、同一農薬についても、水棲生物の種の違いにより、取り込み、蓄積および代謝にかなりの相違が認められた。西内・吉田¹³⁾は、red snail を含む淡水産巻貝での 108 種類の農薬に対する感受性の研究において、巻貝 (red snail) は魚 (コイ) と比較して薬剤感受性が低く両者の感受性の間には高い相関性がみられないと報告しているが、本実験の結果においても、巻貝 (red snail) は取り込み量や蓄積量が魚 (グッピー) よりも少なく両者の取り込み量や蓄積量の間の相関性は低いようである。

チカイエカ幼虫は、他の 3 種の供試生物と比べて農薬の取り込みが顕著であったが、これは小動物では体表からの浸透による取り込みが非常に大きな因子となっていることを示唆している。ミジンコやカ幼虫のような水棲小動物においては、農薬の種類によっては短時間に急速に取り込まれる可能性が高く、これが食物連鎖によって魚類への蓄積につながるおそれも懸念されるので、魚類や貝類のみならず、水棲小動物における農薬の取り込みや蓄積に関する知見を把握集積することは、農薬の水質環境への影響を明らかにするためにも重要な課題であると考えられる。

要 約

1) ¹⁴C-DDT, アルドリノ, プロチオホス, イソチオエート, カルバリル, XMC の 1 ppb 水溶液を調製し、グッピー, red snail, チカイエカ幼虫, ミジンコによるこれらの農薬の取り込みを比較した。

2) DDT の場合、グッピーと red snail とでは取り込

み量にかなりの相違が認められた。また、グッピーでは取り込まれた放射能の大部分が DDT のままで存在したが、red snail では DDD に、チカイエカ幼虫では DDE に変換していた。

3) アルドリンでは ^{14}C の取り込み量はチカイエカ幼虫>グッピー>ミジンコ>red snail の順であった。また、ディルドリンへの変換は生物種により相違が認められ、グッピーでは時間の経過とともに大部分の ^{14}C がディルドリンに変換されるのに対し、ミジンコでは ^{14}C は親化合物の形態で検出された。

4) プロチオホスはミジンコを除いて生物体内で水溶性物質への代謝が顕著であり、水溶液からの取り込みは多くても親化合物の形態での残存量は小さかった。

5) イソチオエートの取りこみはプロチオホスよりもさらに小さく、また、いずれの生物からも親化合物は検出されなかった。

6) カルバリルと XMC の場合、取り込まれた放射能の大部分は水溶性または不溶性分画に分布し、親化合物としての存在量はわずかであった。

7) 生物による水からの農薬の取り込み量は生物種や化合物によりかなりの相違があることが認められた。また、食物連鎖を通しての取り込みと水からの直接の取り込みとの間には必ずしも相関はなく、生物種と化合物により食物連鎖による取り込みの寄与の程度に差が認められた。

おわりに、メチル- ^{14}C -標識-イソチオエートを提供いただいた日本農薬株式会社、および、チカイエカを提供いただいた日本特殊農薬製造株式会社に謝意を表する。

引用文献

- 1) R. L. Metcalf, G. K. Sangha & I. P. Kapoor: *Environ. Sci. Tech.* **5**, 709 (1971)
- 2) H. Kazano, M. Asakawa & C. Tomizawa: *Appl. Entomol. Zool.* **10**, 108 (1975)
- 3) S. Tsuge, H. Kazano & C. Tomizawa: *J. Pesticide Sci.* **1**, 307 (1976)
- 4) H. Kazano, M. Asakawa, C. Tomizawa & S. Tsuge: *Appl. Entomol. Zool.* **11**, 263 (1976)
- 5) A. Kudamatsu: *Jpn. Pestic. Inf. No.* **26**, 14 (1976)
- 6) H. W. Dorough & J. E. Casida: *J. Agric. Food Chem.* **12**, 294 (1964)
- 7) R. L. Metcalf, I. P. Kapoor, P. Y. Lu, C. K. Schuth & P. Sherman: *Environ. Health Pers.* **4**, 35 (1973)
- 8) 農薬検査所報告 **9**, 45 (1969)
- 9) JIS K 0102 (1974)
- 10) 金沢 純・富沢長次郎: 日本農薬学会第2回大会講演要旨集, p. 236, 1977
- 11) J. Kanazawa: *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* **14**, 346 (1975)
- 12) R. L. Metcalf & J. R. Sanborn: *Ill. Nat. Hist. Surv.* **31**, 379 (1975)
- 13) 西内康浩・吉田孝二: 農薬検査所報告 **12**, 86 (1972)