

# 試験魚の大きさによる $\alpha$ -ヘキサクロロシクロヘキサンの生物濃縮特性の変化

誌名	日本水産學會誌
ISSN	00215392
著者	山田, 久 立石, 晶浩 池田, 久美子
巻/号	61巻6号
掲載ページ	p. 905-911
発行年月	1995年11月

## 試験魚の大きさによる $\alpha$ -ヘキサクロロシクロヘキサンの 生物濃縮特性の変化

山田 久, 立石 晶浩, 池田久美子

(1995年2月10日受付)

### The Effect of the Size of Test Fish Species on Bioconcentration Characteristics of $\alpha$ -Hexachlorocyclohexane\*1

Hisashi Yamada,\*2 Masahiro Tateishi,\*3 and Kumiko Ikeda\*2

Experiments on bioconcentration and elimination of  $\alpha$ -hexachlorocyclohexane ( $\alpha$ -HCH) were carried out by using six sizes of *Sillago japonica* ranging from 0.59 to 10.45 g, five sizes of *Pagrus major* ranging from 1.25 to 9.87 g and two sizes (0.16 and 0.34 g) of *Rudarius ercodes*. Changes of bioconcentration factor (BCF), uptake rate constant ( $k_1$ ) and elimination rate constant ( $k_2$ ) caused by an increase in body weight of these fish species were studied.

$k_2$  declined with an increase in body weight of three fish species. On the other hand, BCF, which is expressed as  $k_1/k_2$ , did not change with an increase in body weight of these fish. These results suggested that  $k_1$  as well as  $k_2$  depends on the size of fish and declines with an increase in body weight, and also suggested that the size of fish is not an important factor in the determination of BCF.

The present study indicated that a suitable body weight of test fish for the bioconcentration experiment is 2-5 g for *S. japonica* and 2-10 g for *P. major*, and that the size of test fish should be selected exactly in experiments on the kinetics of uptake and elimination of hazardous chemicals.

キーワード：海産魚，試験魚，成長過程，生物濃縮試験，生物濃縮係数，取り込み速度定数，排泄速度定数

水中に溶存する有害化学物質の魚類による蓄積，いわゆる生物濃縮の程度は，有害化学物質の取り込み速度と魚体からの排泄速度との差<sup>1)</sup>として表され，試験魚の種類，水温，溶存酸素濃度やpHなどの種々の要因によって変化する。<sup>2)</sup> また，試験魚の大きさは生物濃縮を変動させる種々の要因の中で重要なものの1つである。

水中に溶存する有害化学物質の魚類による取り込みは，魚類の呼吸器官である鰓を中心に行われていると考えられている。<sup>3)</sup> 従って，魚類による有害化学物質の取り込みは，鰓での換水量や鰓表面での物質の交換など魚類の呼吸生理に依存する。鰓換水量や酸素の摂取効率などの魚類の呼吸生理の特性は，魚類の成長にもなって変化し，<sup>4)</sup> 呼吸生理の変化は有害化学物質の取り込みにも影響を及ぼし，有害化学物質の取り込みは魚類の成長にもなって変化することが報告されている。<sup>3)</sup>

一方，魚類に蓄積された有害化学物質は，薬物代謝系酵素の作用を受け代謝・排泄されるが，魚類による有害化学物質の代謝活性は，魚類の成長にもなって変化することが推察される。有害化学物質の取り込みおよび排泄が魚類の成長にもなって変化するので，取り込みと排泄の差である生物濃縮が魚類の成長，すなわち魚体重の増加にもなって変化することが考えられる。有機塩素系農薬の1種であるToxapheneの汽水性のメダカ(*Fundulus heteroclitus*)による生物濃縮は試験魚の成長段階によって相違し，生物濃縮係数(BCF)は，成魚に比較して成長段階の初期の仔稚魚において大きいことが報告されている。<sup>5)</sup> しかし，魚類の成長にもなった生物濃縮の変化に関する研究は少なく，試験魚の大きさと生物濃縮係数(BCF)との関係，取り込み速度定数( $k_1$ )および排泄速度定数( $k_2$ )の試験魚の大きさに

\*1 海産魚を用いる有害化学物質の生物濃縮試験法の確立に関する研究-II (Studies on the Establishment of the Testing Methods on Bioconcentration of Hazardous Chemicals by Marine Fish Species-II).

\*2 水産庁中央水産研究所環境保全部 (Environment Conservation Division, National Research Institute of Fisheries Science, Nagai, Yokosuka, Kanagawa 238-03, Japan).

\*3 財団法人冷凍食品検査協会 (Japan frozen Food Inspection Corporation, Sachiura, Yokohama, Kanagawa 236, Japan).

よる変化を解明する必要がある。また、これらの研究成果を集約して、海産魚を用いる生物濃縮試験を確立するために、試験魚として用いる魚類の大きさを規定する必要がある。

本研究の前報では、<sup>6)</sup> 試験対象魚として選定されたシロギス、アミメハギおよびマダイによる有機スズ化合物やヘキサクロロベンゼン等の数種の有害有機化学物質と重金属(コバルト)の生物濃縮を比較し、生物濃縮試験の試験魚としての適性を評価した。検討した有害化学物質のシロギスおよびマダイによる BCF は、両魚種で大きく変化しなかった。しかし、アミメハギでは、有害有機化学物質の BCF はシロギスおよびマダイに比較して小さいが、コバルトの BCF は 1 オーダー大きかった。この有害化学物質の生物濃縮特性から判断して、シロギスおよびマダイが試験魚として適していると考えられた。

そこで、本報では、シロギス、アミメハギおよびマダイによる有害化学物質として選定した  $\alpha$ -ヘキサクロロシクロヘキサン ( $\alpha$ -HCH) の  $k_1$ ,  $k_2$  および BCF を測定し、 $\alpha$ -HCH の生物濃縮特性の試験魚の大きさによる相違を検討した。これらの結果を取りまとめて生物濃縮試験に適したシロギスおよびマダイの大きさを定めることを目的とした。

## 実験方法

**有害化学物質** 水中で分子として溶存し、かつ、BCF がオクタノール・水分配係数 (Pow) に依存する有機塩素系化合物の  $\alpha$ -ヘキサクロロシクロヘキサン ( $\alpha$ -HCH) を本研究の有害化学物質として選定した。その理由は以下の通りである。(1) Pow から判断して  $\alpha$ -HCH の魚体内濃度は 14 日間の生物濃縮試験で安定し、平衡状態での BCF を測定することができる。<sup>1)</sup> (2) また、魚体からの  $\alpha$ -HCH の排泄は速く、 $\sim 3$  日間の排泄実験で  $k_2$  を測定することが可能である<sup>1)</sup>と考えられる。すなわち、短期間の試験 ( $\sim 15$  日間) で  $k_1$ ,  $k_2$  および BCF を評価することができ、結果の解析において試験魚の成長を無視できる。

$\alpha$ -HCH の  $\log$  Pow は、 $\alpha$ -HCH の水溶解度 (10 mg/l)<sup>7)</sup> から水溶解度と Pow との関係式<sup>8)</sup>により 3.93 と推定される。また、魚体の脂質濃度を 3% とすると  $\log$  Pow と BCF との関係式<sup>8)</sup>から脂質への BCF は約 10000 と推測される。

**試験魚** 前報<sup>6)</sup>で用いた試験魚のシロギス、アミメハギおよびマダイを本研究において用いた。Table 1 に示したように、0.59~10.45 g の 6 種類のシロギス、0.16 g と 0.34 g の 2 種類のアミメハギおよび 1.25~9.87 g

**Table 1.** Bioconcentration factor and elimination rate constant of  $\alpha$ -HCH by several fish species of various weight

Exp. No.	Fish species	No. of fish	Weight of fish	$\alpha$ -HCH concentration		Lipid <sup>*4</sup> content (%)	BCF in lipid	$k_2$ (day <sup>-1</sup> )
				Seawater <sup>*3</sup> (ng/l)	Fish <sup>*4</sup> ( $\mu$ g/g lipid)			
1	<i>S. japonica</i>	52	0.59 $\pm$ 0.09 <sup>*5</sup>	330 $\pm$ 15	5.37 $\pm$ 0.66	1.3 $\pm$ 0.05	16300 $\pm$ 2000	—
2		43	1.10 $\pm$ 0.15	221 $\pm$ 6	5.40 $\pm$ 0.21	4.4 $\pm$ 0.5	24400 $\pm$ 900	1.305
3		40	1.97 $\pm$ 0.20	263 $\pm$ 11	5.77 $\pm$ 0.11	4.3 $\pm$ 1.2	22000 $\pm$ 400	1.394
4		39	3.60 $\pm$ 0.27	276 $\pm$ 36	7.01 $\pm$ 1.48	4.6 $\pm$ 0.4	25400 $\pm$ 5000	0.942
5		32	5.51 $\pm$ 0.33	236 $\pm$ 15	4.52 $\pm$ 0.39	5.0 $\pm$ 1.9	19200 $\pm$ 1600	0.707
6		33	10.45 $\pm$ 1.84	269 $\pm$ 22	6.09 $\pm$ 0.17	6.8 $\pm$ 0.6	22600 $\pm$ 600	0.908
7	<i>R. ercodes</i>	94	0.16 $\pm$ 0.05	241 $\pm$ 17	5.68	4.8	23600	1.319
8		51	0.34 $\pm$ 0.06	232 $\pm$ 13	5.78	6.7	24900	1.010
9	<i>P. major</i>	40	1.25 $\pm$ 0.15	290 $\pm$ 18	5.40 $\pm$ 0.29	3.1 $\pm$ 0.5	18600 $\pm$ 1000	1.660
10		40	2.96 $\pm$ 0.27	191 $\pm$ 12	3.66 $\pm$ 0.03	3.0 $\pm$ 0.2	19200 $\pm$ 100	1.757
11		40	4.64 $\pm$ 0.37	282 $\pm$ 27	4.71 $\pm$ 0.38	3.0 $\pm$ 0.4	16700 $\pm$ 1300	1.052
12		39	6.33 $\pm$ 0.44	271 $\pm$ 52	4.20 $\pm$ 0.31	3.7 $\pm$ 0.9	15500 $\pm$ 1200	0.970
13		40	9.87 $\pm$ 0.74	247 $\pm$ 44	4.69 $\pm$ 0.27	3.6 $\pm$ 0.3	19000 $\pm$ 1100	0.709

\*1 Number of fish introduced into an aquarium at the beginning of the experiment.

\*2 Weight of fish at the beginning of the experiment.

\*3  $\alpha$ -HCH concentration in seawater was determined 7 times during the bioconcentration experiment.

\*4 Three samples of *S. japonica* and *P. major* and two samples of *R. ercodes* were analyzed at the end of 14 days bioconcentration experiment.

\*5 Mean $\pm$ SD.

の5種類のマダイを試験に用いた。これらの試験魚は、(財)海洋生物環境研究所、(財)温水養魚開発協会および(財)静岡県温水利用研究センターから入手した。

**生物濃縮試験** Table 1に示した13の実験区を作成して各種大きさのシロギス、アミメハギおよびマダイによる $\alpha$ -HCHの生物濃縮および排泄の実験を行った。試験魚および試験用水に $\alpha$ -HCHが検出されなかったので対照実験を行わなかった。

アクトロンで水温20°Cに調整された海水を用いて、定濃度流水式装置<sup>9)</sup>で14日間の生物濃縮実験を行った。生物濃縮実験終了後、 $\alpha$ -HCHを含有しない清浄海水中で2~3日間魚類を飼育して排泄実験を行った。生物濃縮実験では、飼育水中の $\alpha$ -HCH濃度を2日に1回測定するとともに魚体内の $\alpha$ -HCH濃度を実験開始日および1, 2, 4, 6, 8, 11および14日目(シロギスおよびマダイの実験)に測定した。排泄実験では、 $\alpha$ -HCHが速やかに排泄されるので、魚体中 $\alpha$ -HCH濃度を排泄実験の初期の0.5日に測定するとともに、1, 2および3日に測定した。飼育水および魚体内 $\alpha$ -HCHは、前報<sup>9)</sup>と同様にECD検出器付きガスクロマトグラフ(GC-ECD)を用いて分析した。また、BCF,  $k_1$ および $k_2$ は前報と同様に魚体内 $\alpha$ -HCH濃度の経時変化をCompartment model<sup>1,6)</sup>に適用して求めた。魚体内の $\alpha$ -HCH濃度は魚体の脂質濃度によって変化するので、個体差を少なくするために $\alpha$ -HCH濃度は脂質当りの濃度( $\mu\text{g/g lipid}$ )に補正して示した。

## 結 果

シロギスの大きさによる生物濃縮および排泄の相違14日の生物濃縮実験終了時の魚体内の脂質濃度をTable 1に示した。脂質濃度は、0.59 g, 1.10 g, 1.97 g, 3.60 g, 5.51 gおよび10.45 gの実験区でそれぞれ1.3%, 4.4%, 4.3%, 4.6%, 5.0%および6.8%であった。1.10 g~5.51 gのシロギスでは脂質濃度に著しい相違は認められないが、10.45 gの実験区ではわずかに濃度が高いのに対し、0.59 gの実験区では脂質濃度が1.3%と他のシロギスに比較して著しく低かった。

実験開始時の魚体重が、0.59 g, 1.10 g, 1.97 g, 3.60 g, 5.51 gおよび10.45 gのシロギスを用いた $\alpha$ -HCHの生物濃縮および排泄実験における魚体内の $\alpha$ -HCH濃度の経時変化をFig. 1に示した。実験開始時のシロギスには $\alpha$ -HCHが検出されなかったが、例えば、1.97 gのシロギスを用いた実験では、実験開始後1日、6日および14日後の魚体内の $\alpha$ -HCH濃度は、それぞれ、 $6.18 \pm 0.41$ ,  $6.71 \pm 0.41$  および  $5.77 \pm 0.11 \mu\text{g/g lipid}$ であった。魚体内の $\alpha$ -HCH濃度は1日の実験期間で著しく高くなり、その後の濃度変化は小さかった。この様な

$\alpha$ -HCHの魚体内濃度変化は、他の試験区のシロギスについても認められた。この $\alpha$ -HCHの魚体内濃度変化をCompartment model<sup>1,6)</sup>に適用することが困難なために、シロギスによる $\alpha$ -HCHの $k_1$ を測定することはできなかった。

$\alpha$ -HCHの排泄実験では、魚体内の $\alpha$ -HCH濃度は急速に低下した。1.97 gのシロギスを用いた実験では、排泄実験期間中の魚体内の $\alpha$ -HCH濃度は、実験開始時の $5.77 \pm 0.55 \mu\text{g/g lipid}$ から実験の1日および2日目には、それぞれ、 $2.04 \pm 0.55$  および  $0.36 \pm 0.11 \mu\text{g/g lipid}$ に低下した。これらの排泄実験における $\alpha$ -HCHの魚体内濃度変化をCompartment modelに適用して $k_2$ を計算した。1.10 g, 1.97 g, 3.60 g, 5.51 gおよび10.45 gのシロギスの $k_2$ は、それぞれ、1.305, 1.394, 0.942, 0.707 および 0.908  $\text{day}^{-1}$ であり、 $k_2$ はシロギスの魚体重の増加にともなって小さくなる傾向であった。0.59 gの一番小さいシロギスを用いた実験では、 $\alpha$ -HCH濃度は排泄実験の0.5日にすでに検出限界(0.2  $\mu\text{g/g lipid}$ )以下に低下しており、0.59 gの小さいシロギスは速やかに $\alpha$ -HCHを代謝・排泄することが明らかであった。従って、0.59 gのシロギスの $k_2$ は、1.10 gのシロギスの1.305  $\text{day}^{-1}$ あるいは1.97 gのシロギスの1.394  $\text{day}^{-1}$ に比較して数倍大きいと推察される。 $\alpha$ -HCHは魚類の脂質画分に蓄積され、また、脂質画分に蓄積された $\alpha$ -HCHは一般的に排泄され難いと考えられる。0.59 gのシロギスの脂質濃度は1.3%であり、他の実験区のシロギスに比較して低い。従って、脂質濃度の低いために $k_2$ が大きいことが推察される。

14日間の生物濃縮実験の終了時における $\alpha$ -HCHの脂質画分への濃縮係数(脂質へのBCF)をTable 1に併せて示した。脂質へのBCFは、0.59 gの実験では $16300 \pm 2000$ と他の実験に比較して小さかった。しかし、0.59 gの実験における魚体内の $\alpha$ -HCH濃度が最大であった実験開始後6日目の脂質へのBCFは $20500 \pm 1200$ であった。従って、脂質へのBCFは試験魚の大きさによって大きく変動しない傾向であった。本研究では、 $k_1$ を測定することはできなかったが、脂質へのBCFがシロギスの魚体重の増加にともなって変化しないのに対し、 $k_2$ が次第に小さくなるので $k_1$ もまた魚体重の増加にともなって小さくなると推察される。

アミメハギの大きさによる生物濃縮および排泄の相違試験に用いたアミメハギの脂質濃度は、0.16 gで4.8%, 0.34 gで6.7%であり、魚体の大きなアミメハギで高い傾向であった。0.16 gと0.34 gの大きさのアミメハギを用いた $\alpha$ -HCHの生物濃縮と排泄実験における魚体内の $\alpha$ -HCH濃度の経時変化をFig. 2に示した。14日間の生物濃縮実験における魚体内の $\alpha$ -HCH濃度は、実験

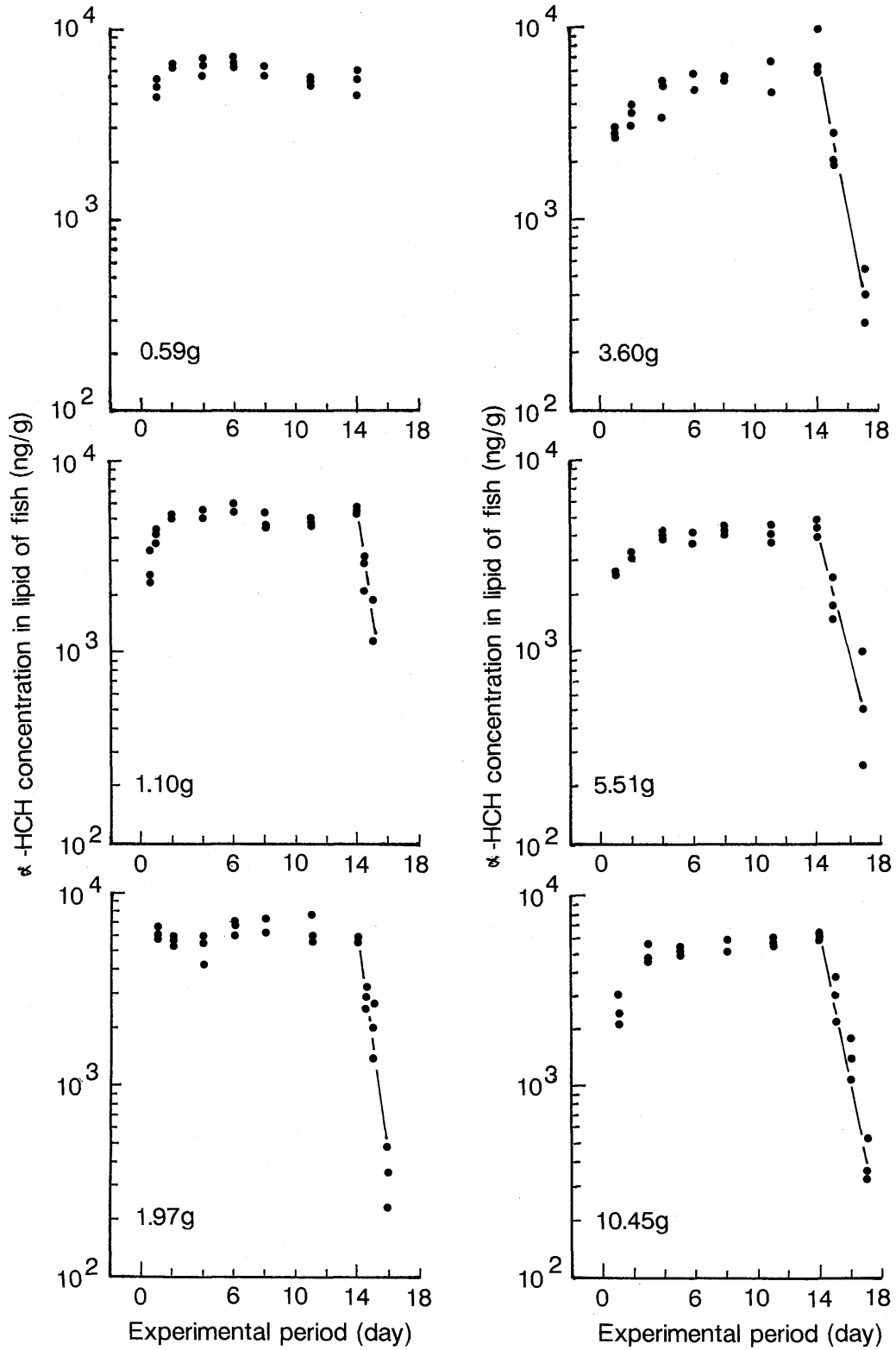


Fig. 1. Changes in  $\alpha$ -HCH concentration with time in various sizes of *Sillago japonica*.  
 The elimination experiment for 2 or 3 days was carried out after 14 days of the bioconcentration experiment.

開始後短期間（1日）に急激に高くなるが、以後その濃度はほとんど変化なく、シロギスの実験における魚体内の $\alpha$ -HCH濃度の変化と同様な傾向であった。14日の生物濃縮実験終了時には、0.16gおよび0.34gのアミメハギ中の $\alpha$ -HCH濃度は、Table 1に示したようにそれぞれ5.68および5.78 $\mu\text{g/g}$  lipidであった。飼育水中の $\alpha$ -HCH濃度を用いて $\alpha$ -HCHの脂質へのBCFを求めると、0.16gおよび0.34gのアミメハギにおける脂質へのBCFは、それぞれ23600および24900であり、 $\alpha$ -HCHの生物濃縮はアミメハギの大きさによって大きく変化しなかった。

$\alpha$ -HCHの $k_2$ は、0.16gおよび0.34gのアミメハギにおいてそれぞれ1.319および1.010 $\text{day}^{-1}$ であり、 $k_2$ はシロギスと同様に魚体重の増加にともなって小さくなった。 $k_2$ は試験魚が大きくなるにしたがって小さくなるのに対し、脂質へのBCFは著しく変動しないので、シロギスと同様にアミメハギにおいても $k_1$ は魚体重の増加にともなって小さくなるのが推察された。

マダイの大きさによる生物濃縮および排泄の相違 シロギスおよびアミメハギの実験と同様に試験に用いたマダイの脂質濃度をTable 1に示した。脂質濃度はTable 1に示したように3.1~3.7%であり、マダイの大きさによって大きく変化しなかった。

試験魚として各種の大きさ（1.25g~9.87g）のマダイを使用した生物濃縮および排泄の実験結果をFig. 3に示した。シロギスやアミメハギの実験結果と同様に、魚体内の $\alpha$ -HCH濃度は生物濃縮実験開始直後に著しく高くなり、実験開始2日後には、魚体内 $\alpha$ -HCH濃度はほぼ平衡状態に近い濃度に達していた。この魚体内濃度の変化をCompartment modelに適用することは困難なためにシロギスやアミメハギと同様に $k_1$ を測定することはできなかった。14日間の生物濃縮実験終了時の魚体内の $\alpha$ -HCH濃度は、 $3.66 \pm 0.03 \sim 5.40 \pm 0.29 \mu\text{g/g}$  lipidであった。飼育水中の $\alpha$ -HCH濃度を用いて脂質へのBCFを求めると、1.25g, 2.96g, 4.64g, 6.33gおよび9.87gのマダイにおける脂質へのBCFは、Table 1に示したように、それぞれ $18600 \pm 1000$ ,  $19200 \pm 100$ ,  $16700 \pm 1300$ ,  $15500 \pm 1200$ および $19000 \pm 1100$ であり、マダイの大きさによる変化は少なかった。

排泄実験では、魚体内の $\alpha$ -HCH濃度は実験の経過とともに急激に低下した。排泄実験の魚体内 $\alpha$ -HCH濃度の経時変化から $k_2$ を求めると、 $k_2$ は1.757 $\text{day}^{-1}$ から0.709 $\text{day}^{-1}$ の範囲にあり、マダイが大きくなるにしたがって小さくなった。一方、前述したように脂質へのBCFはマダイの大きさに依存しないので、 $k_1$ も $k_2$ と同様にマダイの魚体重の増加にともなって小さくなると考えられる。

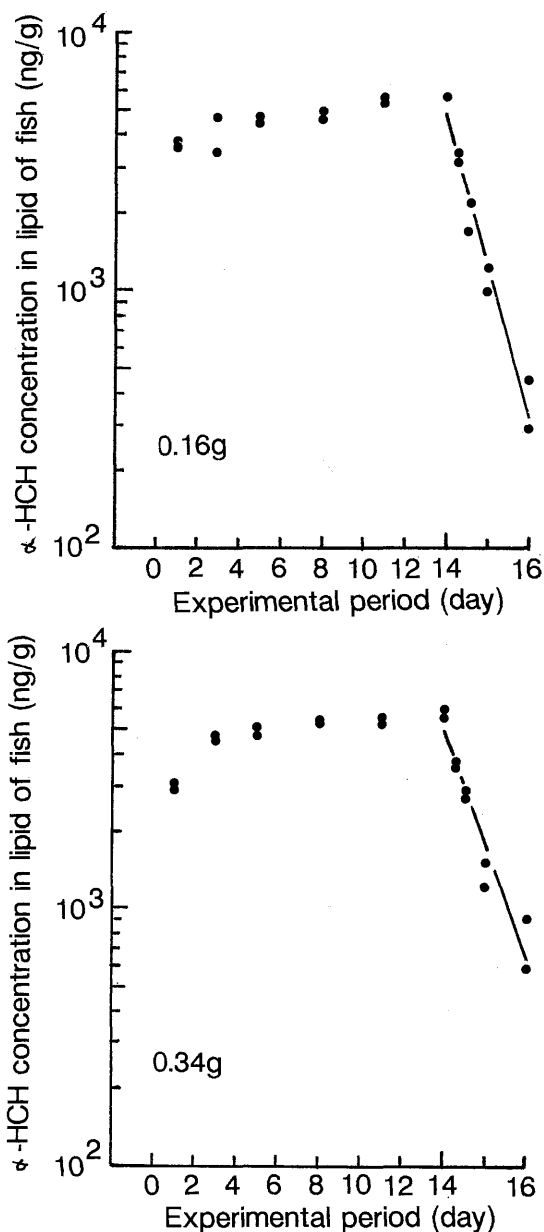


Fig. 2. Changes in  $\alpha$ -HCH concentration with time in two sizes of *Rudarius ercodes*.

The elimination experiment for 2 days was carried out after 14 days of the bioconcentration experiment.

考 察

$\alpha$ -HCHの生物濃縮および排泄実験の結果、本研究で用いたシロギス、アミメハギおよびマダイの3魚種に共通して以下のことが言える。(1)  $k_2$ は試験魚が大きくなるにしたがって小さくなる。(2)  $k_1$ と $k_2$ の比 ( $k_1/k_2$ )

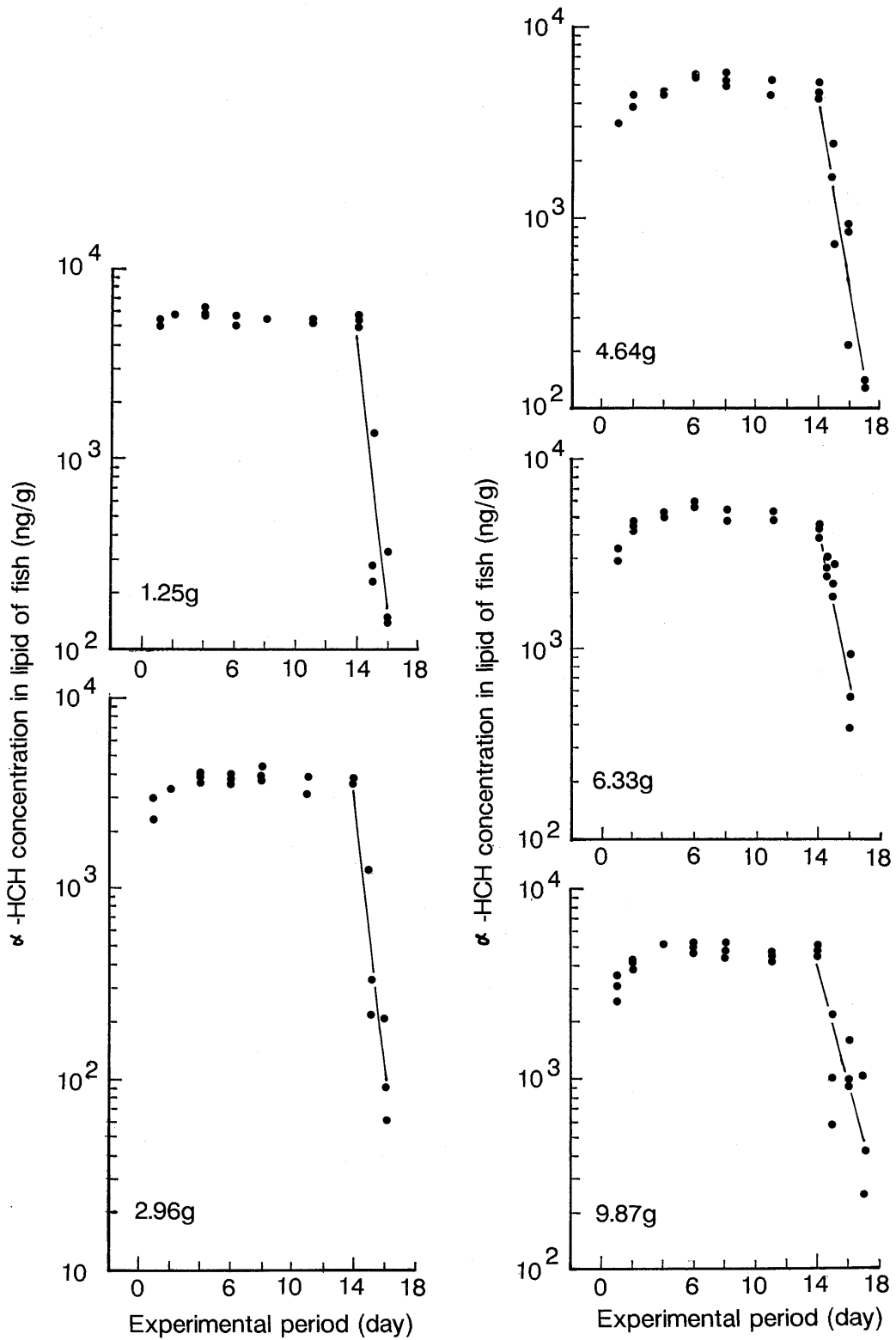


Fig. 3. Changes in  $\alpha$ -HCH concentration with time in various sizes of *Pagrus major*.  
The elimination experiment for 2 or 3 days was carried out after 14 days of the bioconcentration experiment.

として表される生物濃縮係数は、試験魚の大きさによって大きく変化しない。(3)(1)および(2)の結果から、 $k_1$  は  $k_2$  と同様に試験魚が大きくなるにしたがって小さくなる筈である。

魚類の成長にともなって単位体重あたりの酸素消費速度が低下するように、魚類の呼吸の特性は成長にともなって変化することは明らかである。鰓換水量、鰓の表面積や鰓表面での物質交換は魚類の成長にともなって変化するとともに、これらの変化は有害化学物質の鰓を通した取り込み過程にも著しい影響を及ぼす。<sup>1,3)</sup> 一般に、有害化学物質の鰓を通した取り込みは、魚類の成長にともなって低下すると考えられている。<sup>3)</sup> この様な魚類の成長にともなった  $k_1$  および  $k_2$  の変化は、 $\alpha$ -HCH のような有害有機化学物質のみならずカドミウムを用いた実験でも確認されている。<sup>10)</sup> すなわち、カドミウムの  $k_1$  および  $k_2$  は魚体の小さい成長過程の初期において大きく、魚類が大きくなるにしたがって次第に小さくなるが、BCF は魚体の大きさによって大きく変化しないという結果は、 $\alpha$ -HCH を用いた本研究の結果と一致するものであった。魚類の成長過程の初期では、一般的に代謝が活発であると言われているが、このことは有害化学物質の取り込みや排泄にも関連しているものと考えられる。

Schimmel ら<sup>5)</sup> は、有機塩素系農薬である Toxaphene の成長過程 (仔魚、稚魚および成魚) の異なるフンドルス *Fundulus heteroclitus* による生物濃縮を検討した。Toxaphene の BCF は、仔魚で 13300~33300、稚魚で 23700~60000、成魚で 4200~6800 であり、仔稚魚と生理機構が著しく異なる成魚では BCF が著しく小さくなることが明らかであった。しかし、仔稚魚期では魚体の増加にともなう BCF の変動が小さかった。本研究においてもシロギスやマダイによる  $\alpha$ -HCH の BCF が、研究に用いた試験魚の大きさ (稚魚期) において著しく変化しないことが確認された。

生物濃縮実験の試験魚の大きさの決定には、(1)試験魚の生物濃縮特性、(2)魚類飼育実験において取扱が容易なこと、(3)魚体内有害化学物質濃度の測定において、分析精度の確保のために十分な試料量が得られること、などの実験手法も考慮されるべき重要な要因であると考えられる。前報<sup>6)</sup> で選定したシロギスあるいはマダイを試験魚として用いて有害化学物質の BCF を測定することが目的であれば、脂質への BCF がほぼ同じで、また、脂質濃度も大きく変化しなかった 5g までの大きさのシロギスあるいは 10g までの大きさのマダイを選定し、魚体内の有害化学物質の分析など試験の実施にとって好都合な大きさの試験魚を選択することが有利である。魚体重が 2g 前後のシロギスおよびマダイは、飼育実験において取扱いが容易な大きさであり、また、魚体内有害化学物質の分析においても十分な試料量が確保できる。従って、生物濃縮試験の試験魚として 2~5g のシロギスおよび 2~10g のマダイが適していると考えられる。しかし、 $k_1$  および  $k_2$  は試験魚の大きさによって変化するので、有害化学物質の取り込みおよび排泄の kinetics の解析並びに生物学的半減期などを検討する場合には試験魚の大きさには特に注意する必要がある。

## 謝 辞

本研究は、水産庁が実施した事業「海産魚に係る有害化学物質の毒性試験」の一部として行った。本事業の検討委員会委員長としてご指導をいただいた東京水産大学 隆島史夫教授に深謝する。また、本研究の推進のために協力をいただいた水産庁漁場保全課の担当官並びに関係機関の方々に感謝申し上げる。

## 文 献

- 1) D. W. Connell: Bioaccumulation behavior of persistent organic chemicals with aquatic organisms. *Rev. Environ. Contam. Toxicol.*, **101**, 117-154 (1988).
- 2) 山田 久: 海産魚に係る毒性試験の現状と課題, 生物濃縮実験の実験諸条件による BCF の相連, 海産魚に係る有害化学物質の毒性試験に関する総合報告書, 1992, pp. 32-37.
- 3) P. G. Murphy and J. V. Murphy: Correlations between respiration and direct uptake of DDT in the Mosquito Fish. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, **6**, 581-588 (1971).
- 4) 板沢靖男: 呼吸, 「魚類生理学」(板沢靖男, 羽生 功編), 恒星社厚生閣, 東京, 1991, pp. 1-34.
- 5) S. C. Schimmel, J. M. Patrick, Jr., and J. Forester: Uptake and toxicity of toxaphene in several estuarine organisms. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, **5**, 353-367 (1977).
- 6) 山田 久, 高柳和史: 海産魚を用いる有害化学物質の生物濃縮試験のための試験魚の適性の評価. 日本誌, **61**, 895-904 (1995).
- 7) U. S. EPA: Ambient Water Quality Criteria for Hexachlorocyclohexane (PB81-117657), U.S. Department of Commerce, National Technical Information Service, 1980, pp. A1~A5.
- 8) 星川欣孝, 藤本敏雄, 深井堅次, 篠原好幸: 分配係数と濃縮倍率の相関性について. 生態化学, **6**, 45-53 (1983).
- 9) H. Yamada and K. Takayanagi: Bioconcentration and elimination of bis (tributyltin) oxide (TBTO) and triphenyltin chloride (TPTC) in several marine fish species. *Wat. Res.*, **12**, 1589-1595 (1992).
- 10) R. Kuroshima, S. Kimura, K. Date, and Y. Yamamoto: Kinetic analysis of cadmium toxicity to red sea bream, *Pagrus major*. *Environ. Toxicol. Safety*, **25**, 300-314 (1993).