

# 六六六在水环境中转移、积累和归趋研究

## 3. 六六六在鱼体的积累释放

张甬元 张全正 张进军

(中国科学院水生生物研究所)

### 提 要

鳃是六六六进入鱼体的主要通道，鱼体的残留水平决定于水与体脂间的分配平衡。要使背肌六六六残留低于0.5毫克/公斤，则水中六六六含量要低于0.024毫克/升。

鱼体六六六残留向水体释放的速度与温度有关，温度低，释放慢；当温度低于10℃时，释放的速度极慢以至难以检出。

建议采用清水寄养的方法，让鱼体释放六六六，降低残毒，提高商品质量。这种方法估计也适用于其它脂溶性的与水分配系数不是太大的污染物。

一般认为有机氯农药在水生态系中通过食物链逐级浓缩，营养级越高积累的倍数也愈大。鱼类在水生态系中属顶级生物，所以通过食物链的浓集，倍数也最高。即所谓“生物放大”<sup>[3,5]</sup>。但 Hamelink<sup>[2]</sup> 在研究了 DDT 在鱼体和其它水生物的残留规律后，提出 DDT 在鱼体的残留水平决定于分配平衡的假说。Ferguson 等和 Tooby 等分别研究了异狄氏剂和林丹在鱼体的积累和释放<sup>[1,4]</sup>，观察到鱼可以直接通过鳃从水中摄取异狄氏剂。目前我国六六六的使用量甚大，六六六的污染问题相当普遍。因此，确切了解六六六在鱼体的积累和释放规律，对污染控制和制订合理的水质标准都是十分必要的。

### 材 料 和 方 法

六六六的分析：取生物样品适当量(5—20克)，加10—40毫升冰醋酸和过氯酸(1:1)混合液，置150毫升平底烧瓶，90℃消煮2小时。冷却，加蒸馏水稀释到约150毫升。用石油醚萃取，每次10毫升，共3次。合并石油醚层，并定容到一定体积。用浓硫酸碘化后，取上清液。用气相色谱电子捕获检测器测定六六六含量。因鱼背肌含脂量比较稳定，为便于比较，除小鱼种外，均取背肌进行分析。

六六六通过鱼鳃进入鱼体的试验装置如图1，用一橡皮膜间隔适当距离开2—4个小孔，孔径比试验鱼头部略小。将橡皮膜装在一玻璃筒的一端，另一端装橡皮塞，塞上插2支玻管，一支插到接近橡皮膜，另一支齐塞子。实验时将试验鱼头部插到橡皮膜的孔中，使

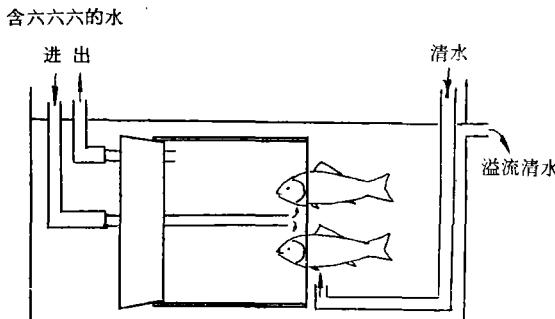


图1 试验装置示意图

鳃盖刚在橡皮膜里边，然后，将经曝气的含六六六的水由玻管进入筒内并从短管排出，使其不断流动。在外缸放清水，并用一玻管不断在鱼体附近加入清水，以洗去可能从橡皮膜漏出之少量六六六溶液。橡皮膜孔径的大小以能栓住试验鱼不会挣脱，但又不致影响呼吸为准。试验进行完毕后，取出试验鱼，用水冲洗。为避免鳃对六六六可能产生吸附而影响结果，在制备分析样品时将鳃摘除，并用丙酮和水轮换将鱼体冲洗3次，然后用上述方法进行六六六的分析。试验鱼为鲤鱼鱼种，体长5厘米。

试验用六六六系工业原粉，取自葛店化工厂。

## 结 果 和 讨 论

### 1. 六六六进入鱼体的主要通道

试验在六六六含量相同的水中分3组进行：鱼头部接触含六六六水，躯干接触清水；躯干接触含六六六水，头接触清水；鱼体全部接触含六六六水。均处理100分钟，然后观察鱼体内六六六的积累。其结果如表1。

表1 不同部位接触含六六六水时鱼体内六六六的积累情况

构体	头部接触六六六		躯干接触六六六		全部接触六六六		水中六六六	
	含量 毫克/公斤	%	含量 毫克/公斤	%	含量 毫克/公斤	%	含量 毫克/公斤	%
$\alpha$	9.290	49.2	1.082	49.2	12.722	51.3	0.553	52.6
$\beta$	4.166	22.1	0.445	20.2	5.044	20.4	0.250	23.8
$\gamma$	2.875	15.2	0.332	15.1	3.839	15.5	0.164	15.6
$\delta$	2.541	13.5	0.341	15.5	3.169	12.8	0.084	8.0
$\Sigma$	18.872		2.200		24.774		1.051	

由表1可见，头部接触六六六的比躯干接触六六六的鱼体内残留量高7倍以上，证明鳃在呼吸过程中六六六可以直接进入体内。当鲤鱼鱼种全部接触含六六六水时（六六六含量1.05毫克/升）每隔一定时间取样分析鱼体残留，其积累曲线如图2。由图2可见鲤鱼种体内残留量到8小时基本稳定，而在30分钟时的残留量约为最高残留量（24.774毫克/公斤）的1/2，可见六六六进入鱼体的速度相当快，而用含有六六六的饵料灌喂的初步试验表明，用含六六六的鱼肝油灌喂鲫鱼时，鱼体摄取量与通过消化道的六六六之比为0.01左右，可见由消化道进入鱼体的速度是比较缓慢的。因此，可以认为鳃是六六六进入

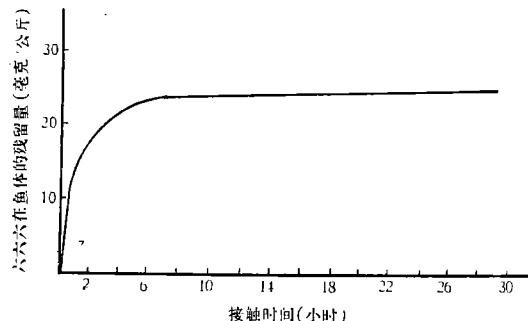


图 2 鲤鱼鱼种六六六积累情况

鱼体的一个主要通道。

## 2. 鱼体六六六残留量与水中残留量的关系

在鸭儿湖氧化塘的鱼种塘中，观察了水中不同六六六含量与鱼体残留的关系（图 3），可用以下回归方程表示

$$C_f = 0.0491 + 0.0183 C_w$$

式中：  $C_f$ ——鱼体六六六含量（毫克/公斤）

$C_w$ ——水中六六六含量（微克/升）

0.0491——常数

在鱼种湖中当年鱼的背肌的积累系数为 18.25。而花、白鲢的食料浮游生物，用同一时间里的一组观察结果为例，六六六在浮游生物（25# 浮游生物网捞获）中的残留量为 3.5 毫克/公斤，花、白鲢（背肌）为 1.47 毫克/公斤，水中为 0.073 毫克/升。可见六六六的积累系数并未因营养级提高而增加。野外观察结果表明，食物只是六六六进入鱼体的途径之一，而水中六六六残留量与鱼体内的残留水平有明显的相关。

根据以上结果，假如要将鱼残留（背肌）水平控制在 0.5 毫克/公斤，则水中六六六含量应控制在 24 微克/升以下。

## 3. 鱼体六六六残留的释放

如果把水中的六六六向鱼体体脂转移即积累过程作为正向分配。那末当水中六六六含量很低时，体内的六六六也可以通过血液循环由鳃逐渐向水作反相分配，即残留释放。这种残留释放过程已从室内外的试验得到证实。

将鱼体残留水平在 4—6 毫克/公斤的鲫鱼，不加饵料放养在 2 升蒸馏水中，可以发现水中六六六含量不断增加，见表 2。

在自然条件下，将残留较高的鱼转入洁净的池塘中寄养，残留释放与时间的关系如图 4。

释放的速率也可用下式表示：

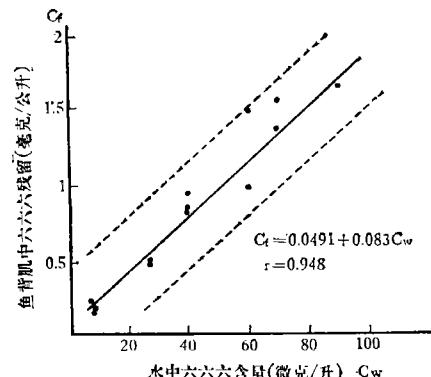


图 3 家鱼背肌残留与水中六六六含量关系

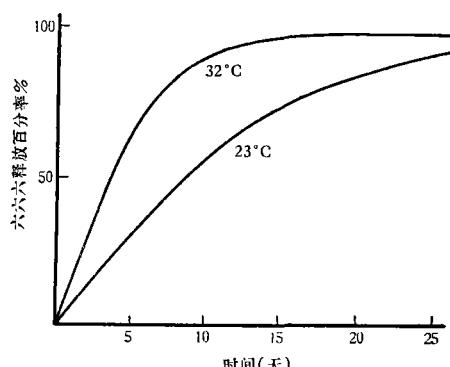


图4 鲢鱼在不同释放时间的释放率

表2 有六六六残留的鱼在洁净水中放养时水中

六六六含量变化

时间 (天)	水中六六六含量毫克/升
1	0.00
2	0.114
3	0.194
4	0.416

注：鲫鱼3尾，重量为300克，水体积为2升，温度30—32℃

$$R = b (1 - e^{-C_t K t})$$

式中： R——六六六从鱼体释放%

C<sub>t</sub>——温度

K——释放系数

t——时间

b——100或释放水体中某一六六六残留水平时可能达到的最高释放率

释放速度与温度有密切关系，在水温为32℃时，K = 0.0072。而温度为23℃时K = 0.0034。当温度低于10℃释放过程十分缓慢，甚至难于检出。一般在夏季鱼体残留(背肌)为1.4—3.2毫克/公斤时，经15—20天就可以降到0.5毫克/公斤以下。

用白鲢体脂作六六六的溶解试验，溶解度为2.5%左右，各异构体的百分率组成见表3。水中六六六的溶解度为10毫克/升左右，因此六六六在鱼体脂和水之间的分配系数为 $2.57 \times 10^3$ 左右。

表3 六六六及各异构体在鱼体脂中的溶解度

异构体	溶解度	体脂中的溶解度(%)	总百分率
α		1.19	46.3
β		0.41	16.0
γ		0.65	25.3
δ		0.32	12.4
Σ		2.57	

以上研究表明，鱼体六六六残留主要是通过鳃在进行呼吸过程中，由血液中的类脂质直接由水中分配获得，并输送到身体各部的类脂质中。

这一过程为可逆过程，当水环境中六六六含量降低时可以由血液通过鳃向水作反向分配。即：水  $\rightleftharpoons$  鳃  $\rightleftharpoons$  血液  $\rightleftharpoons$  细胞内类脂质。因而，鱼体的六六六残留量决定于正反二个分配过程的平衡。当达到平衡时鱼体积累系数相当于水与鱼组织含脂量之间分配

系数。如上测定鱼脂肪与水相的分配系数为  $2.57 \times 10^3$ 。以鱼背肌湿重含脂量 1% 计算，则六六六积累系数的理论值为 25。1977 年我们实测当年花、白鲢背肌中的积累系数为 16—25。当然这个值不是绝对的，同鱼的含脂量、生理条件、生态环境的不同而有差异。

根据以上原理，可以认为呼吸频率和血液循环的速度与积累和释放过程的平衡有密切关系，呼吸频率越高，血液与水之间的相互洗提的次数也相应增加。因此积累和释放的速度，特别是释放的速度将会加速。冬季由于鱼类基础代谢速率降低，呼吸频率相应降低，因此鱼体六六六残留释放速度随之缓慢。由此可见，任何能增进呼吸频率和血液循环的措施都加速积累和释放的过程。

根据上述结果可以推论，除六六六以外，残留积累与释放的溶度平衡规律也可适用于其他性质较稳定的不易被鱼类所代谢的脂溶性污染物质。

### 参 考 文 献

- [1] Ferguson, D. E. et al., 1966. Dynamics of endrin uptake and release by resistant and susceptible strains of Mosquitofish. *Trans. Amer. Fish. Soc.*, 95(4): 335—344.
- [2] Hamelink, J. L. et al., 1971. A proposal: Exchange equilibria control the degree chlorinated hydrocarbons are biologically magnified in lentic environments. *Trans. Amer. Fish. Soc.*, 100(2): 207—214.
- [3] Hunt, E. C., 1966. Biological magnification of pesticides. *Symp. Sci. Aspects of Pest Control*. Publ. Nat. Acad. Sci. Washington D. C. p. 251. U. S. A.
- [4] Tooby, T. E. and F. J. Durbin, 1975. Lindane residue accumulation and elimination in Rainbow trout (*Salmo gairdneri richardson*) and Roach (*Rutilus rutilus*). *Environ. Poll.*, 8(2): 79—89.
- [5] Woodwell, G. M. et al., 1967. DDT residues in an east coast estuary: A case of biological concentration of a persistent insecticide. *Science*, 156: 821—824.

## TRANSPORT AND FATE OF BHC IN AQUATIC ENVIRONMENT

### 3. BHC ACCUMULATION AND ELIMINATION IN FISH

Zhang Yongyuan, Zhang Quanzheng and Zhang Jinjun

(*Institute of Hydrobiology, Academia Sinica*)

#### Abstract

The dynamic of accumulation in fish was studied both in field and in laboratory. The results show that residues level in fish is largely controlled through a solubility equilibrium with the residue level in water and fish. Experiments show that fish may take up BHC directly from water via gills. When fish reared in BHC contaminated water were removed to a clean pond, their BHC residue began to decrease through elimination into the surrounding water. The percentage of elimination may be expressed by  $R = b(1 - e^{-ct/k})$ . The rate of elimination is closely related to water temperature. When water temperature is lower than 10°C, the rate of BHC elimination is very slow.