

鲤鱼对汞、六六六、DDT 的积累

中国科学院动物研究所水生生态组

汞、六六六、DDT 在工农业上应用广泛,是污染环境的几种常见污染物。由于它们毒性大,易于积累,所以对生物和人体健康带来一定的危害。

大量资料表明,鱼类对汞、有机氯农药有很强的积累能力^[2-3]。有人认为,鱼直到中毒为止,可一直吸收水中的汞。水中汞浓度很低也能被鱼吸收,没有吸收的低限^[4]。鱼类对汞、六六六、DDT 的吸收,积累及代谢、降解规律是一个相当复杂的问题,迄今尚未完全搞清,仍需深入进行研究。

我们在进行几种毒物混合毒性实验的过程中,初步观察到鲤鱼对汞、六六六、DDT 的积累情况。现将有关资料整理出来,供进一步研究的参考。

材料与方 法

1. 试液的配制 实验分四个浓度组,每个浓度组都含有汞、六六六、DDT,黄磷及氯化物,惟各组浓度不同。各种毒物的浓度系参考天津市水产研究所所作的毒性实验资

料,以比较敏感的梭鱼对上述各种毒物的 96TL_m 值,分别乘以 0.2、0.1、0.01、0.005 制定的。其中六六六为丙体六六六,DDT 为 $\rho\rho'$ -DDT 纯粉,由本所药剂毒理室提供。在实验过程中抽测各组汞、六六六、DDT 和氯化物的浓度。其中 DDT 因方法灵敏度所限未能检出,其它毒物实测浓度与计划配制浓度相近。另外设一个对照组。各组毒物的浓度见表 1。

2. 实验方法 实验在玻璃水族箱中进行,每组试液体积 60 升。每箱规格相近,放养健康的小鲤鱼 25 尾。实验在 1977 年 11 月 30 日开始,历时 65 天。实验水温控制在 $20 \pm 0.5^\circ\text{C}$ 。实验期间每天换液一次,每箱换 50 升。换液后水中氧气在 5 毫克/升以上,氧气下降后,进行充氧,使水中溶氧保持在 3 毫克/升以上,基本保证试验鱼正常呼吸的需要。换液后,各箱投喂等量的未被污染的干鱼虫,除第 I 浓度组外,各组试验鱼吃食基本正常。

实验水族箱的内壁很容易生长各种细菌

表 1 各实验组毒物的浓度(毫克/升)

毒物名称	I	II	III	IV	V(对照)	国家规定浓度
汞*	0.0164	0.0085	0.0018	0.0008	0.0003	0.001
六六六*	0.0305	0.0216	0.0031	0.0022	0.0008	0.02
DDT	0.0004	0.0002	0.00004	0.00002	—	0.001
黄磷	0.0030	0.0015	0.0003	0.00015	—	(0.002)
氯化物	1500	1500	1500	1500	1500	—

* 汞、六六六为实测浓度。

- [2] Pascoe, et al., *J. Fish Biol.*, **11**, 207 (1977).
[3] Eisler, R. et al., *J. Fish Biol.*, **5**, 131 (1973).
[4] Smith, B. P. et al., *Bull. of Environ. Contami. Toxicology*, **15**(3), (1976).

- [5] Weis, J. S. et al., *J. Fish Biol.*, **51**, 49 (1977).
[6] Wilber, C. G., *The Biological Aspects of Water Pollution*, (1971).

和原生动物(如钟形虫),形成一层白色粘膜。毒物浓度大的组,粘膜发展的较快。它们能消耗水中氧气,故每次换水前洗净鱼箱,吸去沉淀物,尽量保持鱼箱清洁。

在实验开始后的第 5、15、25、35、45、55、65 天各取鱼 3 尾,匀样后测全鱼的总汞、丙体六六六及 DDT 的含量。汞用 590 型测汞仪测定,六六六、DDT 用英国 Perkin Elmer F-17 型色谱仪测定。

结果和讨论

1. 生存和生长情况 在实验过程中,观察了各浓度组试验鱼生存和生长的情况。实验开始后不久,第 I 浓度组试验鱼很快出现食欲不振,身体逐渐消瘦,31 天后出现死鱼,54 天内全部死完;除按规定日期取部分供作测定的样品外,累计死亡 13 尾鱼。其余第 II、III、IV 浓度组试验鱼在 65 天实验期间均未见死亡现象(表 2)。

表 2 各浓度组试验鱼的生存情况

项 目	I	II	III	IV	V (对照)
65 天累计死亡鱼数	13	0	0	0	1
第 65 天生存鱼数	0	7	7	7	6

其中,第 II 浓度组的试验鱼在实验期间可见食欲减退。这说明第 I、II 浓度组毒物浓度较高,不适于鲤鱼的生存。致毒原因估计主要是汞浓度过高;由表 1 可见,第 I、II 浓度组试液汞浓度超过国家规定渔业水质标准(0.001)的 8 倍以上。其它六六六、DDT,黄磷等浓度和规定标准接近,当不会是致毒的主要原因。第 III、IV 浓度组试验鱼生存及生长情况与对照组相似,未见异常现象。

2. 鲤鱼对汞、六六六、DDT 的积累 实验结果表明,在各不同浓度组中,鲤鱼对溶在水中的汞、六六六、DDT 三种毒物都有明显的积累(表 3,图 1)。

对汞的积累:鲤鱼积累汞的能力很强,

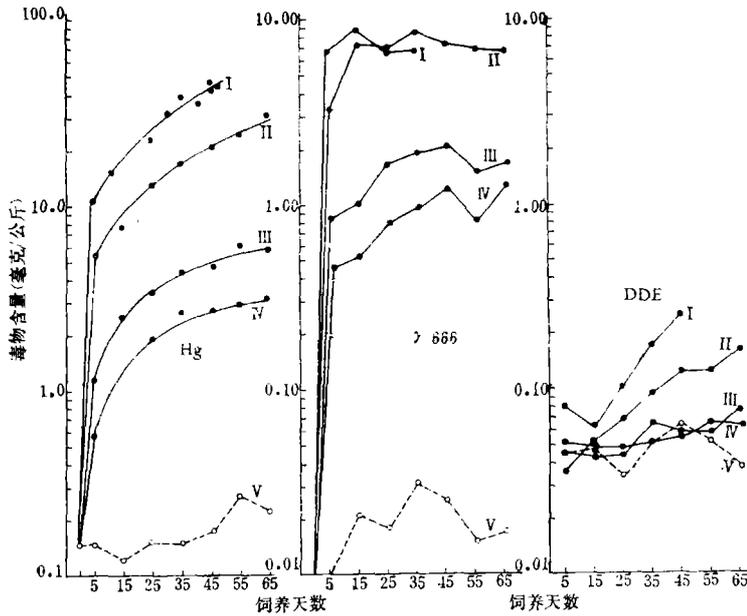
表 3 鲤鱼对几种毒物的积累量(毫克/公斤)及浓缩倍数(20℃)*

毒物名称	饲养天数	I	II	III	IV	V 对照
汞	5	10.44 (638)	6.27 (765)	1.10 (534)	0.55 (506)	0.15
	15		8.55 (1054)	2.50 (1488)	0.53 (513)	0.12
	25	22.63 (1405)	13.13 (2625)	3.38 (2019)	1.90 (2188)	0.15
	35	39.25 (2444)	16.83 (2085)	4.35 (2625)	2.65 (3111)	0.15
	45	41.75 (2599)	20.75 (2572)	4.58 (2750)	2.65 (3073)	0.18
	55		23.90 (2954)	6.10 (3649)	2.80 (3166)	0.27
	65		30.75 (3816)	5.85 (3520)	3.15 (3662)	0.22
丙体 六六六	5	6.72 (220)	3.23 (149)	0.82 (261)	0.46 (205)	0.009
	15	8.72 (285)	7.50 (346)	1.00 (316)	0.53 (235)	0.022
	25	6.70 (219)	6.90 (318)	1.68 (536)	0.81 (360)	0.018
	35	6.72 (219)	8.48 (391)	1.86 (590)	0.96 (423)	0.031
	45		7.46 (344)	2.01 (640)	1.26 (562)	0.025
	55		6.90 (319)	1.47 (470)	0.82 (366)	0.015
	65		6.74 (311)	1.61 (515)	1.27 (571)	0.017
DDE	5	0.083	0.036	0.046	0.052	0.045
	15	0.061	0.053	0.044	0.048	0.046
	25	0.098	0.069	0.044	0.048	0.034
	35	0.197	0.095	0.066	0.052	0.051
	45	0.243	0.121	0.062	0.056	0.064
	55		0.121	0.056	0.066	0.051
	65		0.176	0.076	0.063	0.038

* 括号内为浓缩倍数。

积累速度很快。积累量随水中汞浓度的增加和饲养时间的延长而增加;但不同浓度中,汞的浓缩倍数相近。第 5 天,汞的浓缩倍数在 506—765 倍之间;第 65 天,汞的浓缩倍数为 350—3816 倍之间。有人报导狗鱼肌肉汞含量为环境汞含量的 3000 倍^[4],由于品种不同,条件不一样,不便比较。但大体可见鱼对汞的浓缩倍数在 10³ 数量级。

全鱼汞含量比肌肉汞含量为高。我们比较了饲养 65 天鲤鱼全鱼汞含量约为肌肉汞



鲤鱼对汞(左)、六六六(中)、DDT(右)的累积
(图中 I—IV 为不同浓度组, V 为对照组)

著,温度从 13.6°C 升高到 25°C, 鲤鱼积累汞增加约 2 倍(表 5)。鱼主要通过鳃吸收水中的汞。随温度的升高, 鱼类的代谢活动加强, 呼吸量加大, 通过鳃腔的水量增多, 因而加快了汞的吸收。有人测定水温每增加 10°C, 小鲤鱼的代谢强度大约增加 2 倍^[5] 和 2.4—2.6 倍^[6]; 上述鱼体汞积累量随温度的增加情况大体同此相一致。这说明汞的吸收、积累和环境温度, 鱼体代谢强度是密切相关的。

对六六六的积累: 鲤鱼对丙体六六六也有明显

含量的 3—6 倍(表 4)。以肌肉汞含量来看, 鲤鱼在汞浓度较低的第 IV 组(相当国家规定标准)中, 经 65 天的饲养, 肌肉汞含量达到 1.15 毫克/公斤, 超过国家规定食用标准的 3.8 倍。由此来看, 国家渔业水质标准规定汞的最高允许含量 0.001 毫克/升是偏高的。

的积累, 但积累的形式和汞有所不同, 积累量也比较小。经 65 天实验, 鲤鱼对丙体六六六的浓缩倍数一般在 200—600 倍之间(表 3)。从上图中可以看出, 在第 I (0.0305 毫克/升) 浓度组中, 第 5 天的六六六积累量和第 65 天的积累量差不多; 第 II (0.0216 毫克/升) 浓度组中, 第 15 天以后积累基本上达到平衡; 第 III、IV 浓度组中, 65 天内积累量逐步有所增加。有人在室外大石坑中进行实验, 测定一种淡水鱼对丙体六六六的浓缩因子为 768 倍, 5 天内积累达到平衡^[7]。上述第 I 浓度组的积累形式与其相一致。

表 4 饲养 65 天鲤鱼全鱼与肌肉汞含量的比较(毫克/公斤)

样品	II (0.0085)	III (0.0018)	IV (0.0008)	V (对照)
全鱼	30.75 (3816)*	5.85 (3520)*	3.15 (3662)*	0.22
鱼肉	5.10 (614)*	1.25 (662)*	1.15 (1200)*	0.19

* 为浓缩倍数。

温度对鲤鱼积累汞有明显的影响。我们选择三种温度, 13.6°(室温 11—17°C)、20°、25°C, 汞浓度均为 0.0082 毫克/升, 实验箱体积 60 升, 每箱放规格相近的小鲤鱼 8 尾, 饲养 22 天, 测定各箱鱼体汞含量。结果表明, 鱼体汞含量随温度的增加而增加, 差异显

我国渔业水质标准规定丙体六六六最高

表 5 温度对鲤鱼积累汞的影响*

项 目	13.6°	20°	25°
测定尾数	5	4	5
平均体重(毫克)	1125	925	950
汞含量(毫克/公斤)	4.94±0.21	7.09±0.24	9.51±0.28

* 汞含量系将鱼去其头、尾、鳍、鳞片、内脏后测定的, 各组汞含量平均值±标准误差, 经 t 检验 t>0.01; 相差非常显著。

允许量为 0.02 毫克/升。在本实验的第 II 浓度组中丙体六六六为 0.0216 毫克/升,相当于最高允许量。经过 5 天的饲养,鲤鱼全鱼丙体六六六含量即达到 3.23 毫克/公斤,65 天后达到 6.74 毫克/公斤。比国家规定浓度低 10 倍的第 IV 浓度组,丙体六六六含量为 0.0022 毫克/升,经 5 天的饲养,鲤鱼全鱼丙体六六六含量达到 0.46 毫克/公斤,65 天后达到 1.27 毫克/公斤。若按 0.5 毫克/公斤为食用标准,则所设四个浓度组的全鱼丙体六六六含量约超过食用标准。因鱼体较小,肌肉中六六六含量未能检测。

对 DDT 的积累: 国家规定渔业水质标准 DDT 最高允许量为 0.001 毫克/升,本试验所配制的浓度均远远低于此限(表 1)。由于浓度较低,测定方法灵敏度不够,试液中实际 DDT 含量未能检出,鱼体亦仅检出其代谢物 DDE。鲤鱼全鱼 DDE 含量资料列于表 3。从图 1 中可以清楚地看到 DDE 的积累趋势。第 I、II 浓度组试液 DDT 浓度分别低于国家规定允许量的 2.5 倍和 5 倍,但饲养 25 天后的鲤鱼体内 DDE 含量明显增加;第 III、IV 浓度组(分别低于最高允许量的 25 和 50 倍)中,饲养 65 天后鲤鱼体内 DDE 未见明显增加。可见水中 DDT 浓度在 0.00004 毫克/升以下时,鱼体 DDT 积累不明显。鱼可把体内 DDT 转化为 DDE;有人注射 ^{14}C -DDT 于鱼体内,25 天后发现有 10% DDT 被转化为 DDE^[3]。因此,鱼体 DDE 的含量亦可大概反映出 DDT 的吸收积累情况。鱼对 DDT 的积累能力很强,浓缩因子可达十万倍以上^[8],比汞、六六六的浓缩因子更大。限于我们的实验数据,这里不能进一步讨论。

以上鲤鱼对汞、六六六、DDT 的积累资料,是在混合毒性实验下取得的。各种毒物对彼此的积累有无影响,还有待进一步研究。

结 论

1. 鲤鱼可直接从混合溶液中吸收和积累

汞、六六六和 DDT, 积累能力很强。在一定范围内, 鱼体毒物的积累量随水中毒物浓度的增加和接触时间的延长而增加。

2. 在本实验浓度下, 水温 20℃, 饲养 65 天, 鲤鱼对汞的浓缩倍数: 第 5 天为 5.06— 7.65×10^2 倍; 第 65 天为 3.52— 3.82×10^3 倍。汞的浓缩倍数随接触时间的延长而增大, 与水中毒物浓度大小关系不大。全鱼的浓缩倍数较肌肉为高。

3. 鲤鱼对丙体六六六的浓缩倍数较汞为小, 变动在 1.49— 6.40×10^2 倍之间。在 0.0305、0.0216 毫克/升 2 个浓度下, 鱼体六六六积累量分别在 5 和 15 天达到平衡。

4. 水中 DDT 浓度小于 0.00004 毫克/升时, 鱼体内未见明显积累; 浓度大于 0.0002 毫克/升时, 25 天后, 鱼体中 DDE 含量明显增加, 并随接触时间的延长而逐步增多。

5. 水温对鲤鱼积累汞有明显影响, 在 11—25℃ 范围内, 温度升高 10℃, 积累量大约增加 2 倍。

6. 在国家规定渔业水质标准汞、六六六、DDT 最高允许浓度下, 鲤鱼体内相应毒物的积累量均可超过规定的食品卫生标准。因此, 有关规定还有进一步研究的必要。

参 考 资 料

- [1] Wood, J. M., *Advances in Environmental Science and Technology*, Vol. II, 39 (1971).
- [2] Miettinen, J. K., [In] McIntye, A. D. & Mills, C. F. Ed.: *Ecological Toxicology Research*, p. 215—229 (1975).
- [3] Addison, R. F., [In] Lockwood, A. P. M. Ed.: *Effects of Pollutants on Aquatic Organisms*, p. 127—143 (1976).
- [4] D'Itri, F. M., [In] Glass, G. E. Ed.: *Bioassay Techniques and Environmental Chemistry*, p. 3—70 (1974).
- [5] Винберг, Г. Г., Харгова, Л. Е. *Докл. АН СССР*, 86(6), 1119 (1953).
- [6] Oya, T., Kimata, M., *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 6(6), 287 (1938).
- [7] Hamelink, J. L., Waybrant, R. C., *Trans. Am. Fish Soc.*, 105(1), 124 (1976).
- [8] Jarvinen, A. W. et al., *J. Fish Res. Bd. Canad.*, 34(11), 2089 (1977).