

铅与镉在被金鱼吸收积累过程中的相互作用

刘长发*, 陶 澍**, 龙爱民, 曹 军, 徐福留

(北京大学城市与环境学系, 北京 100871)

摘要:采用混合体系暴露和顺次暴露的方法研究了铅和镉在被金鱼吸收过程中的相互作用。结果表明,混合暴露条件下,保持镉暴露量不变,增加铅的投放量,鳃镉与肝镉含量与单独暴露的结果无显著性差异,肾镉含量则随铅暴露浓度增加而减少。保持铅浓度不变,增加镉的投放量可导致鳃和肾铅含量下降。在镉、铅顺序暴露后则没有观测到鳃、肝和肾铅含量的规律性变化。

关键词:铅;镉;金鱼;形态;吸收

Interactions of lead and cadmium on uptake and accumulation by gold fish, *Carassius auratus*

LIU Chang-Fa, TAO Shu, LONG Ai-Min, CAO Jun, XU Fu-Liu (Department of Urban and Environmental Sciences, Peking University, Beijing 100871, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(11): 1863-1868.

Abstract: By using simultaneous exposure to Pb and Cd, and exposure to Cd after Pb acclimation, the interaction of the two metals on the branchial uptake and hepatic and renal accumulation in goldfish, *Carassius auratus* were studied. In the fish exposed to mixtures of constant Cd at 4.448 $\mu\text{mol/L}$ and varied Pb at 0, 1.448, 2.896, 4.344, 5.792, 7.239, and 8.687 $\mu\text{mol/L}$ in artificial freshwater for ten days, increased branchial uptake and renal accumulation, but not hepatic accumulation, of Pb were observed as Pb concentration went up. The gill uptake and kidney accumulation of Cd were not affected by Pb. The average branchial concentrations (0.026 ± 0.011 mmol/kg fresh weight) and hepatic accumulation of Cd (0.0527 ± 0.0126 mmol Cd/kg fresh weight) in fish exposed to the mixture of constant Cd and varied Pb were not significantly different from those exposed to Cd alone (0.019 mmol Cd/kg fresh weight for gills; 0.0395 mmol/kg fresh weight for liver; t -test, $\alpha=0.05$). The concentration of Cd accumulated in the kidney tend toward decline. When fish exposed to the mixture of constant Pb at 4.344 $\mu\text{mol/L}$ and varied Cd at 0, 0.145, 0.890, 2.669, 4.448, 6.227, and 8.006 $\mu\text{mol/L}$, the branchial uptake and hepatic and renal accumulations of Cd linearly increased with increased concentrations of free ions Cd^{2+} in the ambient water. The gill uptake and kidney accumulations of Pb decreased with increase in concentrations of free ions Cd^{2+} . However, the accumulation of Pb in the liver (0.0103 ± 0.0059 mmol/kg wet weight) was not influenced by Cd exposure, which was not significant different from that (0.0097 mmol Pb/kg fresh weight) of fish exposed to the Pb alone (t -test, $\alpha=0.05$). For the fish exposed to constant Pb at 4.344 $\mu\text{mol/L}$ for five days after adaptation to Cd exposure at varied concentrations, it was found that uptake of Cd in the gills and accumulations of Pb in the liver and kidney linearly increased with increased concentration of free Cd^{2+} in the ambient water. While branchial uptake and hepatic and renal accumulations of Pb were not significantly dif-

基金项目:国家杰出青年基金(49525102)和辽宁省科学技术基金(001055)资助项目

* 大连水产学院养殖系,农业部海洋水产增养殖生态学重点开放实验室,大连 116023

** 通讯联系人

收稿日期:2000-03-30; **修订日期:**2000-09-05

作者简介:刘长发(1964~),男,内蒙古通辽市人,博士,副教授。主要从事水生毒理学,水产养殖环境科学与技术研究。

万方数据
WANGFANG DATA

ferent from the background concentrations of Pb in the gills, liver and kidney, respectively ($\alpha=0.05$), indicating that acclimation of Cd had no effect on branchial Pb uptake and hepatic and renal Pb accumulations.

Key words: lead; cadmium; fish; speciation; accumulation; interaction

文章编号:1000-0933(2001)11-1863-06 中图分类号:Q958.116 文献标识码:A

鳃、肝、肾是鱼体吸收积累水相重金属的主要靶组织。鳃中的重金属含量与鱼体中毒程度有直接关系^[1],肝、肾则是将重金属解毒和代谢的重要组织。由于被污染水体往往是多种重金属共存的混合体系,暴露于其中的生物因其生理、生化机制的差异可能对不同重金属的同时暴露表现出不同的反应。两种重金属污染物急性毒性显示的相互作用有相加作用、大于相加作用、小于相加作用和独立作用等^[2]。长期暴露于两种金属混合物中的生物体的吸收蓄积也表现出拮抗^[3,4]或协同^[5]现象。本研究通过固定一种重金属浓度,改变另一种重金属浓度的方法探讨金鱼同时或先后暴露于铅、镉溶液中的吸收蓄积,并与单独暴露实验结果进行比较。籍以探讨两种金属共存条件下被金鱼吸收过程中的相互作用。

1 材料与方法

1.1 实验材料

实验用金鱼(*Carassius auratus*)购自北京市通州区,运回实验室后暂养于曝气的自来水中,期间投喂市售颗粒饵料,每2~3d吸去粪便、残饵,每5~6d换水。实验前5d停止投喂使肠内粪便排出。用人工河水驯化1d后用于实验。人工河水常量离子含量为 Ca^{2+} 0.710, Mg^{2+} 0.324, Na^+ 0.143, K^+ 0.009, Cl^- 1.121, SO_4^{2-} 0.324 mmol/L。驯化及实验期间不投喂食物。

1.2 暴露实验

暴露实验在盛有10L曝气人工河水的玻璃水族箱中进行(水温23~27℃)。每个暴露水平投放4尾金鱼。铅实验暴露(铅浓度0, 1.448, 2.896, 4.344, 5.792, 7.239, 8.687 $\mu\text{mol/L}$)10d, pH 9.01 \pm 0.01, 碱度 0.359 \pm 0.047 mmol/L。金鱼平均体重 9.77 \pm 2.72 g。镉实验暴露(镉浓度0, 0.445, 0.890, 2.669, 4.448, 6.227, 8.006 $\mu\text{mol/L}$)10d, pH 8.84 \pm 0.05, 碱度 0.676 \pm 0.227 mmol/L。金鱼平均体重 23.96 \pm 4.31 g。铅镉混合暴露(记为铅+镉, 镉浓度4.448 $\mu\text{mol/L}$, 铅浓度0, 1.448, 2.896, 4.344, 5.792, 7.239, 8.687 $\mu\text{mol/L}$)10d, pH 9.11 \pm 0.04, 碱度 0.522 \pm 0.151 mmol/L。金鱼平均体重 21.06 \pm 4.67 g。镉铅混合暴露(记为镉+铅, 铅浓度4.344 $\mu\text{mol/L}$, 镉浓度0, 0.445, 0.890, 2.669, 4.448, 6.227, 8.006 $\mu\text{mol/L}$)10d, pH 9.04 \pm 0.06, 碱度 0.689 \pm 0.212 mmol/L。金鱼平均体重 23.99 \pm 4.33 g。镉驯化+铅暴露实验是镉驯化5d后转移至4.344 $\mu\text{mol/L}$ 铅溶液中暴露5d。实测 pH 7.47 \pm 0.11, 碱度 0.446 \pm 0.074 mmol/L, 水温 25~27℃。镉的驯化暴露浓度分别为0, 0.445, 0.890, 2.669, 4.448, 6.227, 8.006 $\mu\text{mol/L}$ 。金鱼平均体重 5.55 \pm 1.59 g。

1.3 样品测试

暴露实验结束后,解剖出金鱼的鳃、肝和肾。将解剖出的约0.5g组织样品置于聚四氟乙烯消解罐中称重后加入约5ml浓 HNO_3 (GR)和约2ml 30% H_2O_2 (GR)封盖后于CEM MDS2000微波样品消解装置中分步消解。消解后的样品转移至小烧杯中于调温电热板上蒸干并加少量去离子水溶解,用1mol/L NaOH(GR)溶液调pH近中性后定容于50ml容量瓶中,成待测样品溶液。用配有303悬汞电极的EG&G PAR 384极谱仪(阳极溶出伏安法)测定铅、镉浓度。以1.0mol/L乙酸-乙酸钠为缓冲液(样品/缓冲液为9:1 v/v)。测定条件为曝气时间180s,富集时间120s,平衡时间30s,扫描范围-0.8~0.2mV,扫描速度4mV/s。铅、镉形态分布用MINTEQA2程序计算。

2 结果与讨论

2.1 单独暴露铅、镉实验

细胞吸收金属离子的过程包括两步,金属首先结合到细胞表面的特殊转运位点上,然后被转运穿过细胞膜。前者速度较快,并依赖于水相中金属活性形态的浓度,而金属穿过细胞原生质膜脂质双分子层的转运速度则相对较慢,常常是金属吸收过程中的速率限制步骤^[6]。金属-生物的相互作用可以用“游离离子活度模型”(FIAM)描述。用与本研究相同条件下进行的单金属暴露实验证明暴露于铅或镉溶液中的金鱼鳃

吸收量可用 Langmuir 等温式拟合。计算的 Hill 常数为铅: $H_n = 1.019$, 镉: $H_n = 1.174$, 表明金鱼鳃上仅有一种类型的铅或镉的结合位点^[7]。

2.2 铅、镉混合体系暴露实验

图 1 为铅 + 镉实验和镉 + 铅实验中金鱼鳃铅、镉含量与水相游离态金属离子活度间的关系。

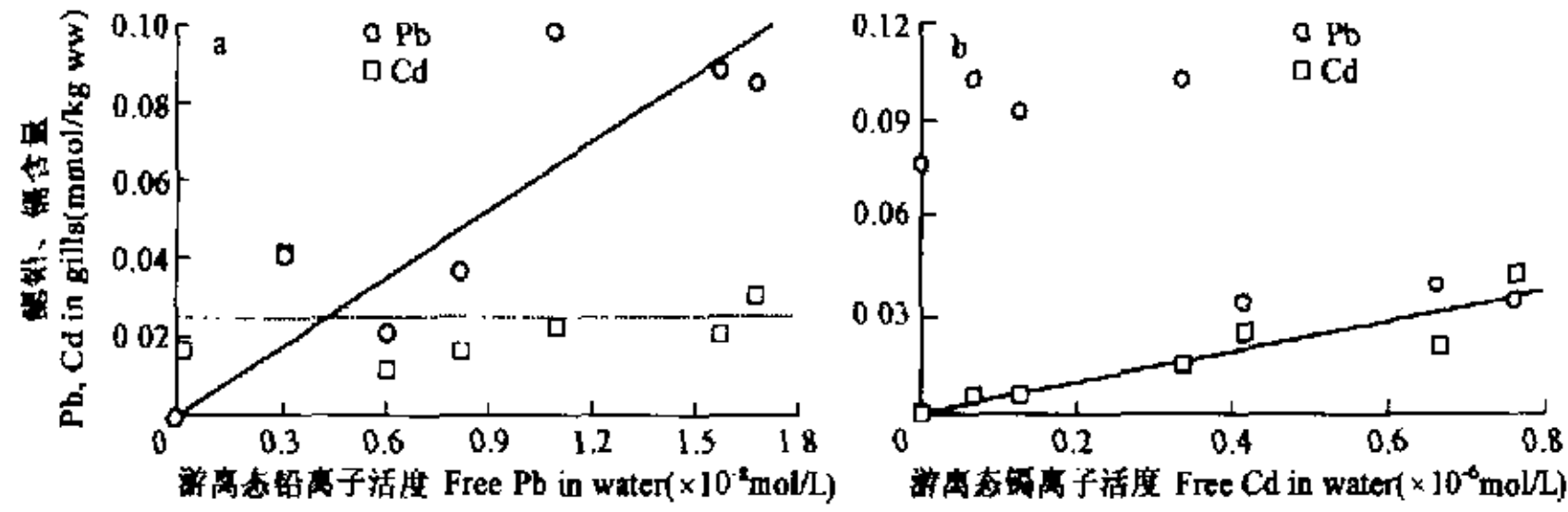


图 1 铅 + 镉(a, 镉含量恒定)和镉 + 铅(b, 铅含量恒定)实验中的金鱼鳃铅、镉累积量(湿重)

Fig. 1 Lead and cadmium concentrations on the gills of fish exposed to Pb+Cd (a, constant Cd) and Cd+Pb (b, constant Pb) (wet weight)

图 1a 中虚线表示鳃镉平均含量。由该图可见, 金鱼鳃铅吸收量随水相游离态铅离子活度增加而线性增加, 但鳃镉含量却表现出随机波动。*t*-检验结果表明, 金鱼鳃镉平均含量 $0.026 \pm 0.011 \text{ mmol/kg}$ (湿重) 与单独暴露实验中的鳃镉含量 0.019 mmol/kg 湿重间无显著性差异 ($\alpha = 0.05$)。加入并增加铅的暴露没有显著改变鳃镉的吸收量。在图 1b 中, 鳃镉吸收量随水相游离态镉离子活度线性增加, 鳃铅含量则呈现出随之减少的趋势。表明暴露体系中加入镉改变了鳃铅吸收量, 但只有当镉的暴露量超过 $4.5 \mu\text{mol/L}$ 时, 鳃铅吸收量才有大幅下降。据图 1 的结果, 在铅、镉混合体系中暴露的金鱼鳃吸收铅受镉的影响, 但鳃吸收镉则很少受铅的影响。已有研究结果显示, 用放射性标记方法研究斑马鱼鳃吸收 ^{109}Cd 和 ^{203}Hg 时发现因 1 mmol/L 镉的存在, 金属镉、汞的鳃吸收与对照相比有所减少^[11]。在镉的暴露量保持恒定时, 增加铅暴露量会导致彩虹方头鱼鳃镉含量的增加¹²。Allen^[8]的研究结果发现混合暴露于铅、镉 ($0.05 \text{ mg/L Cd} + 0.05 \text{ mg/L Pb}$) 中的罗非鱼鳃镉含量与暴露于 0.05 mg/L 镉中的鳃镉含量相差很小。暴露于 $0.05 \text{ mg/L Pb} + 0.05 \text{ mg/L Cd}$ 中的罗非鱼鳃铅蓄积量大于单独暴露于 0.05 mg/L Pb 中的鳃铅蓄积量^[9]。尽管有研究显示具有相似吸收机制的金属阳离子间相互竞争生物配位体结合位点^[11], 但导致本研究中发现的镉对铅影响与铅对镉影响不一致的机理有待进一步探讨。

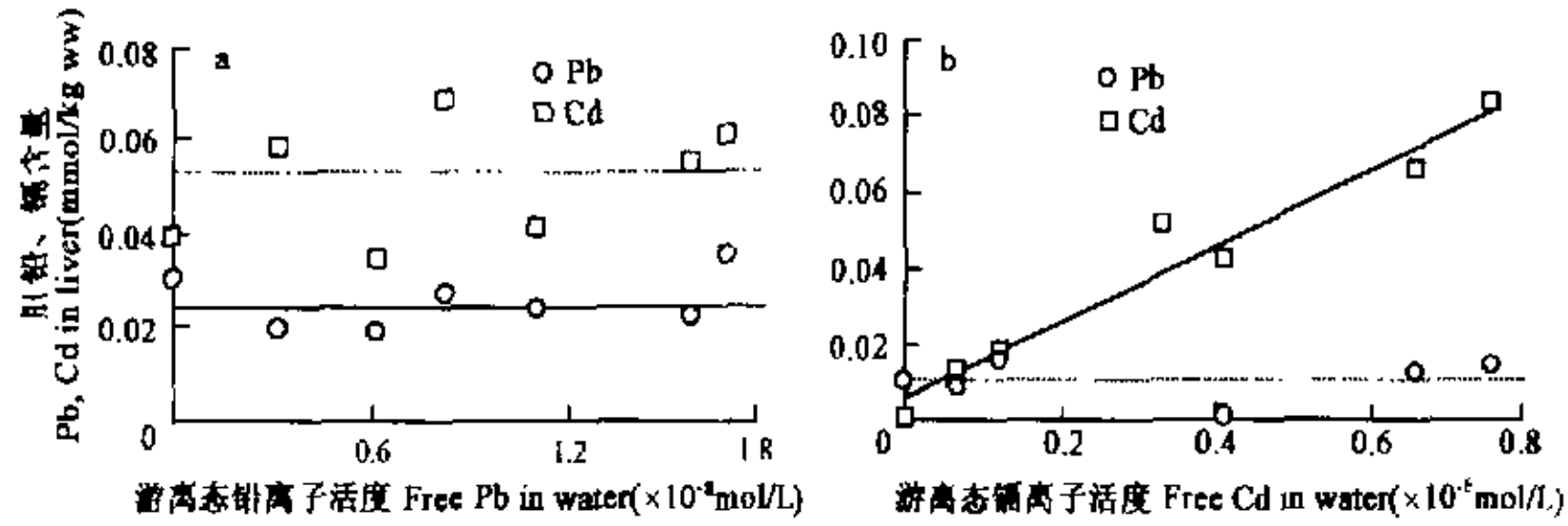


图 2 铅 + 镉(a)和镉 + 铅(b)实验的金鱼肝铅、镉含量(湿重)

Fig. 2 Lead and cadmium concentrations in liver of fish exposed to Pb+Cd (a, constant Cd) and Cd+Pb (b, constant Pb) (wet weight)

图 2 表示铅 + 镉(a)和镉 + 铅(b)实验中金鱼肝脏的铅、镉蓄积量。图 2a 中实线为肝铅的平均蓄积量 $0.0243 \pm 0.0060 \text{ mmol/kg}$ 湿重, 虚线则为肝镉的平均蓄积量 $0.0527 \pm 0.0126 \text{ mmol/kg}$ 湿重。两者与单独暴露实验中的肝铅含量 0.0302 mmol/kg 湿重或肝镉含量 0.0395 mmol/kg 湿重均无显著差异 (*t*-检验, $\alpha =$

0.05)。在镉离子存在条件下,随着铅离子暴露量的增加,鳃铅吸收量没有增加,这与单独暴露铅实验中观测到的结果肝铅含量随水相游离态铅离子活度增加而线性增加不同^[17]。图 2b 中虚线表示肝铅的平均含量 0.0103 ± 0.0059 mmol/kg 湿重。该结果与单独暴露铅实验中的肝铅含量 0.0097 mmol/kg 湿重相比不具有显著性差异 (t -检验, $\alpha=0.05$),表明增加镉的暴露并不影响金鱼肝脏对铅的吸收。反之,肝脏镉含量随水相游离态镉含量增加而线性增加。

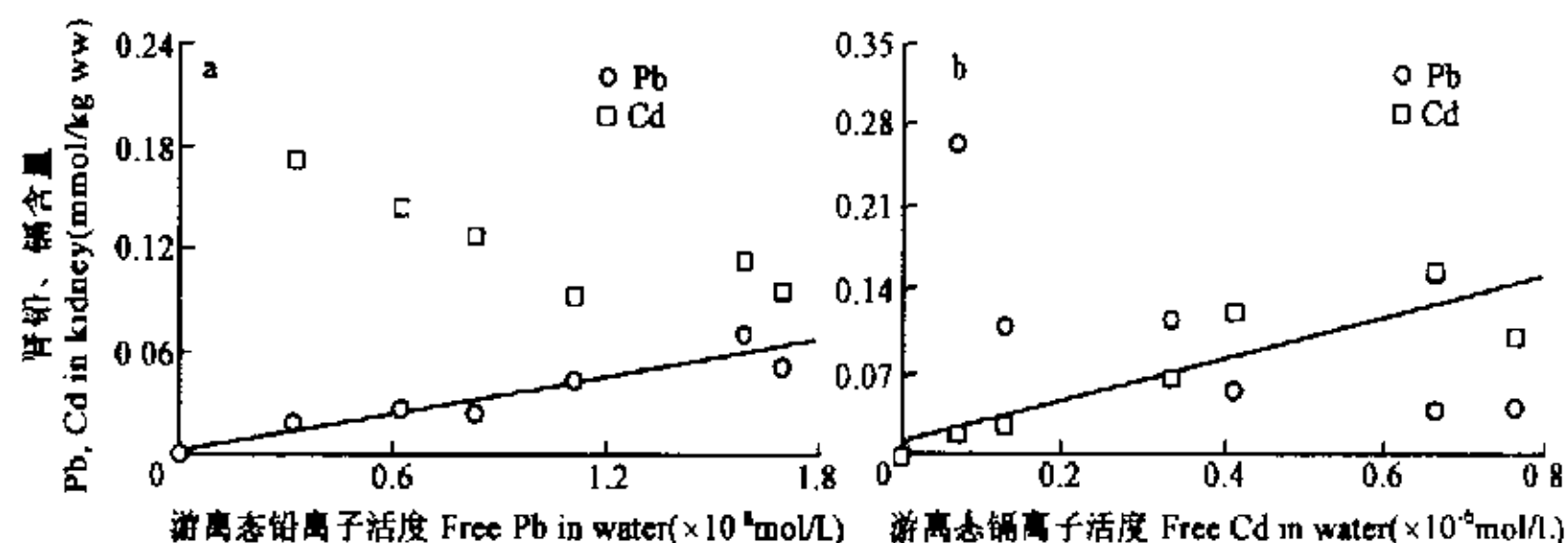


图 3 铅+镉(a,镉含量恒定)和镉+铅(b,铅含量恒定)实验的金鱼肾铅、镉含量(湿重)

Fig. 3 Lead and cadmium concentrations in kidney of fish exposed to Pb+Cd (a, constant Cd) and Cd+Pb (b, constant Pb) (wet weight)

图 3 表示铅+镉实验(a)和镉+铅实验(b)中金鱼肾脏的铅、镉蓄积量。在铅-镉暴露实验中(图 3a),肾铅蓄积量随水相游离态铅离子活度的增加而线性增加,而肾镉含量则随游离态铅离子活度的增加呈下降趋势。在镉+铅实验中(图 3b),肾镉含量随水相游离态镉含量增加而线性增加,肾铅含量则随水相游离态镉含量呈减少的趋势。已有的研究表明,暴露于 0.05 mg/L Pb+ 0.05 mg/L Cd 混合体系中的罗非鱼肾铅含量低于单独暴露 0.05 mg/L Pb 中的肾铅含量^[9]。同样暴露于 0.05 mg/L Cd+ 0.05 mg/L Pb 混合体系中的罗非鱼肾脏镉蓄积量低于单独暴露于 0.05 mg/L Cd 中的肾脏镉蓄积量^[8]。有关研究表明,在镉的暴露量保持一致的条件下,增加铅的暴露量会导致彩虹方头鱼鱼体(去鳃)铜含量增加^[17]。此外,与单独暴露镉相比,罗非鱼幼鱼暴露于 Cu/Cd 混合体系中鱼体总镉含量明显地减少^[31]。

暴露于重金属混合体系中的鱼类蓄积金属的相互作用机制不同,而特定金属的相互作用机制尚待进一步研究。一般认为,金属间的相互作用可能包括两类机理,首先是金属可能竞争相同的吸附位点^[11],例如铜可能因此影响淡水鱼对钠的吸收,镉可能影响对钙的吸收^[11]。其次可能与长期暴露的去毒机制有关,如受多种重金属暴露影响的生物可能导致金属硫蛋白生成量的变化,从而表现为金属间的相互影响。

2.3 镉驯化对金鱼吸收铅的影响

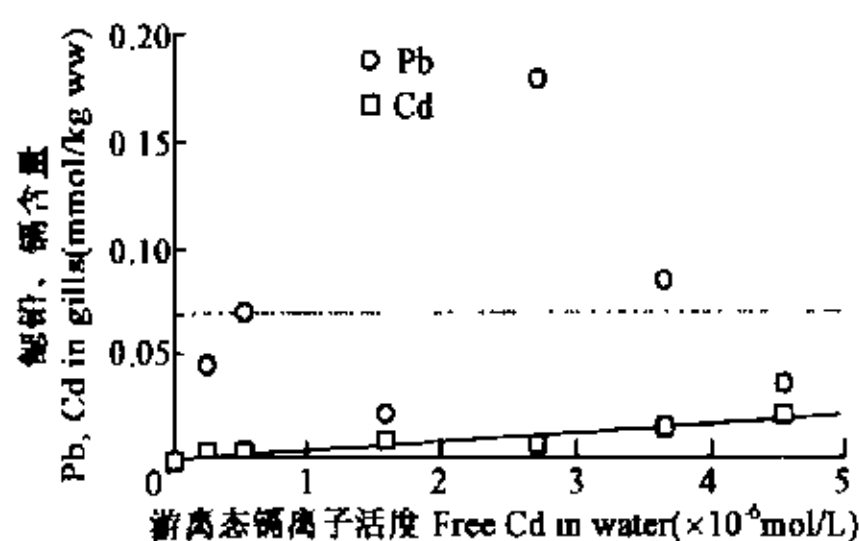


图 4 镉驯化+铅实验中的鳃铅、镉含量

Fig. 4 Lead and cadmium concentrations in the gills of fish exposed to constant Pb after adaptation to Cd exposure (wet weight)

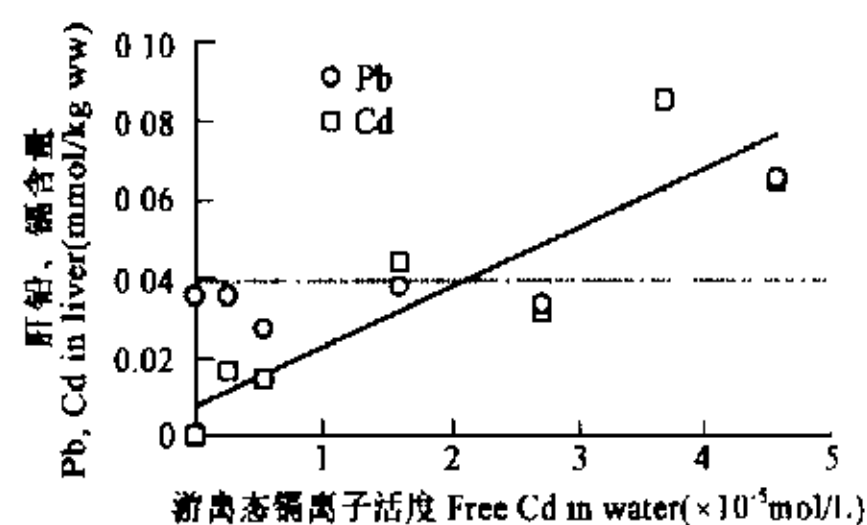


图 5 镉驯化+铅实验中的金鱼肝铅、镉含量(湿重)

Fig. 5 Lead and cadmium concentrations in the liver of fish exposed to constant Pb after adaptation to Cd exposure (wet weight)

图 1 表示不同浓度铜驯化暴露 5d 后再暴露于相同浓度铅溶液中 5d 的金鱼鳃中的铅、镉吸收量与水相游离态镉离子活度间的关系。由图可见,鱼鳃的镉吸收量随水相游离态镉离子活度增加而呈线性增加($r=0.947$)。再暴露于相同铅浓度体系中 5d 后的鳃铅平均含量为 $0.0670 \pm 0.0573 \text{ mmol/kg}$ 湿重,仅略低于单独暴露同样铅浓度 10d 的鳃铅含量(0.0785 mmol/kg 湿重),不能认为经铜驯化后影响了鳃铅的吸收(t -检验不显著, $\alpha=0.05$)。这与铜+铅混合暴露的结果(见图 1b)不同,很可能在铜+铅混合暴露实验中铜、铅离子竞争鳃上的金属结合位点。

图 5 为铜驯化+铅实验中的金鱼肝铅、镉含量。图中虚线表示肝铅平均含量($0.0394 \pm 0.0116 \text{ mmol/kg}$ 湿重),与肝铅背景含量(0.0354 mmol/kg 湿重)间没有显著差异(t -检验, $\alpha=0.05$)。另一方面,肝镉含量则随水相游离态镉离子活度呈线性增加,这与铜+铅混合暴露实验结果(图 2b)相似。

图 6 为铜驯化+铅实验中的金鱼肾铅、镉含量。图中虚线表示肾铅的平均含量($0.0411 \pm 0.0319 \text{ mmol/kg}$ 湿重),与肾脏背景铅含量(0.0275 mmol/kg 湿重)相比,并无显著差异(t -检验, $\alpha=0.05$)。而肾镉含量则随水相游离态镉含量增加而线性增加。此外,与铜+铅混合暴露的结果(图 3)不同,顺次镉、铅暴露并未使肾铅蓄积量减少。

有关研究表明,经不同浓度铜驯化后再暴露于相同浓度铅体系中的彩虹方头鱼鳃和鱼体铅累积量随着铜驯化暴露浓度增加而增加^[12]。已有研究证明,鱼类会因亚致死浓度金属的长期暴露而提高其耐受性^[13],这可能与金属硫蛋白的去毒作用及鳃上皮的生理或生化改变有关^[12]。但在本项研究中没有观测到金鱼对铅的吸收蓄积量随铜驯化暴露量增加而增加的现象。

3 结论

铅、镉混合体系暴露中,保持镉浓度不变,增加铅的暴露浓度并不改变金鱼鳃和肝脏对镉的吸收蓄积量,但会使肾镉蓄积量有所减少;在保持铅浓度不变,仅改变镉浓度时,增加镉的投放量可导致鳃和肾铅含量减少;在顺序暴露实验中,没有观测到任何形式的相互作用。

参考文献

- [1] Meyer JS, Santore RC, Bobbitt JP, et al. Binding of nickel and copper to fish gills predicts toxicity when water hardness varies, but free-ion activity does not. *Environ. Sci. Technol.*, 1999, **33**:913~916.
- [2] Calamari D, Alabaster JS. An approach to theoretical models in evaluating the effects of mixture of toxicants in the aquatic environment. *Chemosphere*, 1980, **9**:533~538.
- [3] Pelgrom SMGJ, Lamers LPM, Garrisson JAM, et al. Interactions between copper and cadmium during single and combined exposure in juvenile tilapia *Oreochromis mossambicus*: influence of feeding condition on whole body metal accumulation and the effect of the metals on tissue water and ion content. *Aquatic Toxicol.*, 1994, **30**:117~135.
- [4] Glynn AW, Norrgren L, Mussener A. Differences in uptake of inorganic mercury and cadmium in the gills of the zebrafish, *Brachydanio rerio*. *Aquat. Toxicol.*, 1994, **30**:13~26.
- [5] Tao S, Dawson R, Liang T, et al. Synergistic effect of copper and lead uptake by fish. *Ecotoxicol. Environ. Safe.*, 1999, **44**:190~195.
- [6] Mason AZ, Jenkins KD. Metal detoxification in aquatic organisms. In: Tessier A, Turner DR, Eds. *Metal speciation and bioavailability in aquatic systems*. IUPAC, Chichester: John Wiley & Sons, Ltd., 1995, 479~605.
- [7] 刘长发,陶 澍,龙爱民. 金鱼(*Carassius auratus*)对铅和镉的吸收蓄积. *水生生物学报*, 2001, **25**(4):344~349.
- [8] Allen P. Chronic accumulation of cadmium in the edible tissues of *Oreochromis aureus* (Steindachner); modification by mercury and lead. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, 1995, **29**:8~14.
- [9] Allen P. Soft tissue accumulation of lead in the blue tilapia, *Oreochromis aureus* (Steindachner), and the modifying effects of cadmium and mercury. *Biol. Trace Element Res.*, 1995, **50**:193~208.
- [10] Wood CM, Adam WJ, Ankley GT, et al. Environmental toxicology of metals. In: Bergman HL, Dorward-King EJ, Eds. *Reassessment of metals criteria for aquatic life protection; Priorities for research and implementation*.

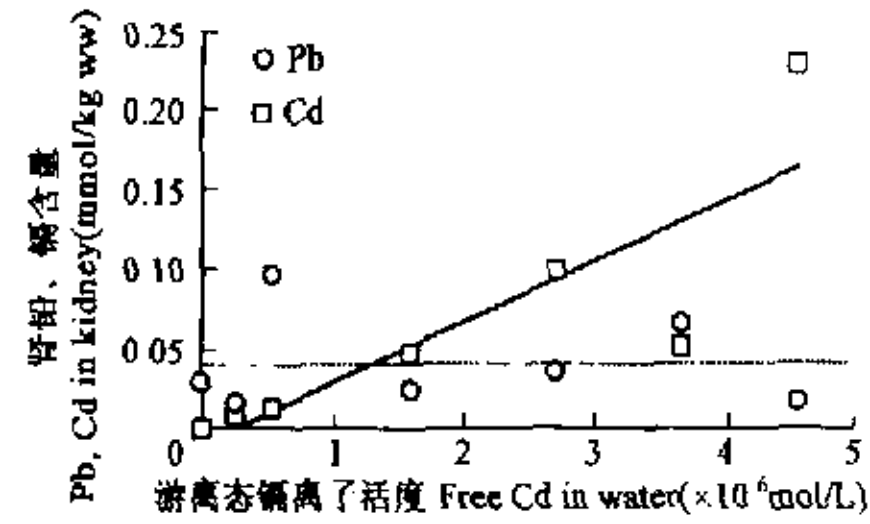


图 6 铜驯化+铅实验中的金鱼肾脏铅、镉含量(湿重)

Fig. 6 Lead and cadmium concentrations in the kidney of fish exposed to constant Pb after adaptation to Cd exposure (wet weight)

Pensacola (Florida); SETAC Press, 1997, 31~56.

- [11] Dixon DG, Sprague JB. Acclimation to copper by rainbow trout (*Salmo gairdneri*) -- A modifying factor to toxicity. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 1981, 38:880~888.
- [12] Roch M, McCarter JA. Hepatic metallothionein production and resistance of heavy metals by rainbow trout (*Salmo gairdneri*). II. Held in serious of contaminated lakes. *Comp. Biochem. Physiol.*, 1981, 77C:77~82.

《动物生态学原理》(第三版)介绍

姜涛(北京师范大学出版社,100875)

人类已经步入 21 世纪,伴随着人类科学技术的迅猛发展,人类的物质文明也达到了一个新的高峰。但是,在这令人感到颇为骄傲的物质文明的背后,却是对环境的肆意破坏,是全球生态环境的极端恶化。温室效应、植被破坏,以及新近出现的二噁英污染、疯牛病等等无不在警醒人类改变生活方式,关注全球生态现状,保护全球生态环境。幸运的是,人类已经深刻认识到目前生态恶化的现状,采取了许多切实有效的措施,这其中也包括在理论研究上对生态学的重视。

在我国,已有许多高等院校和科研机构将生态学作为一门学生必修和基础课程,这包括了生物学、环境科学、林学、农学、野生动物学和人类学等等专业。

在这种背景下,北京师范大学出版社于 2001 年 9 月隆重推出由中国科学院院士孙儒泳先生编著的《动物生态学原理》(第三版)。本书曾于 1986 年和 1992 年出版过第一版和第二版,前两版在全国都引起了比较好的反响,许多高校和科研机构将其选为教材使用,港台地区更将其推荐为公众阅读的十本大陆图书之一,在一些与汉语有关的国家如韩国等也引起关注。

《动物生态学原理》(第三版)主要有如下特色:

1. 第三版秉承了前两版的编写体系和风格,仍以介绍动物生态学基本原理为主,开篇即在绪论中讨论了生态学的定义及其研究对象、范围以及发展简史;然后按照生态学的研究层次展开介绍有机体(个体)、种群、种间相互作用、群落、生态系统、大尺度生态学等,最后介绍应用生态学。

2. 第三版与前两版相比,在内容上也做了许多增补与调整。其中一个主要表现是在讲述基础理论知识的同时,非常重视与人类社会需要的密切结合,这也是现代生态学的一个重要特点。如新增加第 11 章“大尺度生态学”(包括景观生态学和全球生态学两部分);第 12 章“应用生态学”中新增加了生物多样性保护、生态系统服务和生态系统管理三节等。

3. 第二版更加注重知识的更新以及权威性。生态学本身就是一门蓬勃发展的科学,随着人类对生态学研究的日益重视,这种发展趋势还在加快;而且生态学本身也包含了许多分支的研究领域。本书第二版充分考虑了这些方面。首先注意了知识的更新,如第 10 章生态系统部分对全球初级生产力的估计,就采用 1998 年 Science 上报道的最新数据,此外在种群调节理论等方面也注意了新的进展。其次在一些章节的修改与增补上,邀请了该领域内一些著名学者参与编写,如编写“行为生态学”部分的房继明教授、“有机体与环境”部分的王德华研究员以及“生态遗传学和种间相互作用”的张大勇教授等,他们都是各自研究领域的杰出研究者,邀请他们作为编者,不仅保证了资料的完整性和准确性,而且可以反映这一领域的最新进展。

4. 第三版在教育方法以及版式上也做了比较大的调整。采用了新的国家标准中推荐的国际流行大 16 开本,在正文的切口处均留有 3~5cm 的空白,便于读者做阅读记录使用;新增加了 50 余幅与正文相关的精美的彩色插图;同时每一章起始均以与本章内容密切相关的章头图和一段简明扼要的引言开始,有利于读者了解一章的全貌;在书的最后附有参考文献、中文词汇索引和英文词汇索引,同时应信息技术飞速发展的需要,还分门别类地新增了与生态学有关的一些网址。

《动物生态学原理》(第三版)出版于 21 世纪的开端,伴随着这一崭新时代的开始,本书必将能在为专业读者提供参考资料的同时,也能够为提高人们的生态意识,为有关部门进行与生态学有关的决策提供帮助。