

重金属 Pb 和 Cu 对 Cd 在泥鳅(*Misgurnus anguillicaudatus*)组织器官蓄积的影响*

唐建勋 程樟顺 张 婕 徐玉花 邢承华

(金华职业技术学院农业与生物工程学院 金华 321007)

提要 采用静水生物测试方法,研究了 Pb(0.5mg/L)和 Cu(0.1mg/L)的相互作用对 Cd(0.05mg/L)在泥鳅组织器官中蓄积的影响。结果表明,重金属离子相互作用对 Cd 在泥鳅组织器官中蓄积的影响与重金属的种类、数量、染毒时间及组织器官性质有关,Cd 在泥鳅组织器官中的蓄积顺序为肝>肾>肌肉。研究发现,Cd 在组织器官中的蓄积受单一重金属的影响不显著($P>0.05$),而与 Pb、Cu 的联合胁迫有关。随着 Pb、Cu 的混合添加和时间的延续,其相互作用对肝、肾中 Cd 的蓄积影响逐渐变得显著($P<0.05$)和极显著($P<0.01$),但对肌肉中 Cd 的蓄积则未见影响($P>0.05$)。

关键词 泥鳅, 重金属离子, 相互作用, 蓄积, Cd

中图分类号 S965.117

近年来,国内外学者就水环境中污染物之一的重金属对鱼类的胁迫进行了许多卓有成效的探索和研究并取得了一系列的成果(王亚炜等, 2008; Al-Weher, 2008)。然而,总体而言,已有的研究通常以重金属的毒性试验为主,对重金属在鱼类组织器官中的蓄积特性及其影响研究的报道则较少。

泥鳅(*Misgurnus anguillicaudatus*)隶属鲤形目(Cypriniformes)、鳅科(Cobitidae),广泛分布于我国除青藏高原外的广大地区。然而,天然水域中泥鳅资源因过度捕捞和环境污染等因素的影响,其生物量迅速减少。开展泥鳅组织器官的重金属蓄积研究,探索重金属在泥鳅体内的蓄积规律,对泥鳅及其它水生动物种群数量的恢复与水生生物多样性的维系具有较好的现实意义。Cd、Pb、Cu 是水环境中常见的重金属污染物,对水生生物均存在蓄积性和毒性,它们在鱼类等水生生物的组织器官中蓄积,经过食物链的富集放大,最终对人类的健康产生威胁 Has Schon *et al.*, 2007。本文以天然水域常见的鱼类泥鳅为对象,着重研究了重金属 Pb、Cu 的相互作用对 Cd 在泥鳅体内蓄积的影响,以及它们随时间的变化在组织器

官中的蓄积水平,以期重金属对水生动物的胁迫、水环境污染评价和水环境的生态保护等提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料

泥鳅(*Misgurnus anguillicaudatus*)购自浙江省金华市农贸市场,平均体长(11 ± 2.5)cm,平均体质量(13 ± 0.37)g。泥鳅于实验前暂养 5 天,暂养期间活动正常,无病无伤,死亡率低于 5%。

试剂: CdCl₂·2.5H₂O (AR); CuCl₂ (GR); PbCl₂ (AR); PbCl₂ 98.0%; HClO₄ (GR); HCl (GR)。

仪器: 美国 Thermo Elemental 公司 IRIS Intrepid ER/S 型 ICP 原子发射光谱仪, LSP 型远红外消煮炉, DGG-9070A 型电热恒温鼓风干燥箱, pH 计(pHS23 CW)。

1.2 方法

采用静水法生物测试(吴邦灿等, 1999),用 37cm × 27cm × 40cm 的聚乙烯塑料水族箱,各盛曝气 2d 的自来水 20L; 水温范围: 19—23 ; 水质标准: pH 6.3—6.6, DO 5.6—6.4mg/L, 总硬度(均值)279mg/L

* 浙江省自然科学基金项目, Y307535 号, Y304185 号。唐建勋, 副教授, E-mail: jhtjxun@163.com

收稿日期: 2010-08-21, 收修改稿日期: 2010-10-29

(CaCO₃), 总碱度(均值)2.1mmol/L。每只水族箱投放泥鳅 10 尾, 试验期间不更换其中溶液, 不投喂饲料; 用充气泵日充气增氧 6h。

混合重金属 Pb、Cu 和 Cd 的质量浓度分别按照国家渔业水质标准(GB 11607-89)的 10 倍确定。配制 0.05mg/L Cd 溶液, 0.10mg/L Cu 溶液和 0.50mg/L Pb 溶液(实际质量浓度以计算值为准), 混合成 4 组(表 1), 每组 2 个重复。

表 1 不同重金属水溶液处理组暴露方案

Tab.1 The exposure scheme of different heavy metals in aqueous treatment units

处理组	重金属(mg/L)		
	Cd	Cu	Pb
1	+	-	-
2	+	+	-
3	+	-	+
4	+	+	+

注: “+”表示添加, “-”表示未添加

1.3 泥鳅组织器官 Cd 分析

每组随机取泥鳅 3 尾, 解剖后取肝、肾和肌肉, 剪碎并烘干、研细后称取 0.5g 样品, 加 10ml 混合酸(HNO₃ HClO₄ = 4 : 1), 浸泡过夜后于电炉上消解, 至消化成略带黄色, 冷却后定容, 用原子发射光谱仪测定样品中的 Cd 含量。

1.4 数据处理

试验结果统计的处理方法参照文献(熊治延, 2000)。全部数据采用 SPSS11.0 数据处理系统进行统计分析。

2 结果

2.1 鱼体各组织器官中 Cd 含量本底值

于暴露试验前, 每组随机取泥鳅 2 尾, 检测其体内相关组织器官 Cd 的本底均值(湿重), 结果为: 肝脏 0.011mg/kg FW, 肾脏 0.006mg/kg FW, 肌肉 0.001mg/kg FW。

2.2 混合金属离子 Pb、Cu 对 Cd 在泥鳅肝脏中蓄积的影响

在肝脏组织中, 5d 和 10d 内 Cd 的蓄积量均值(湿重)分别为 0.6133 和 0.7583μg/g; Cd+Cu 分别为 0.6633 和 0.8250μg/g; Cd+Pb 分别为 0.7117 和 0.9167μg/g; Cd+Cu+Pb 分别为 1.1700 和 1.5317μg/g。Cd 组与 Cd+Cu、Cd+Pb 组相比, 对 Cd 的蓄积无显著差异(P>0.05), Cd+Cu+Pb 组中 Cd 的蓄积则显著高于 Cd

组(P<0.01), 这说明溶液中 Cu、Pb 离子的混合添加能明显增加 Cd 在肝脏中的蓄积(表 2, 图 1 上)。

表 2 不同时间 Pb、Cu 影响下 Cd 在泥鳅体内的蓄积(μg/g FW)

Tab.2 Temporal changes in Cd accumulation in *M. anguillicaudatus* in the presence of Cu and Pb (μg/g FW)

处理组	时间(d)	组织器官		
		肝脏	肾脏	肌肉
Cd	5	0.6133±0.055 ^a	0.0580±0.023 ^b	0.0140±0.003 ^c
	10	0.7583±0.073 ^a	0.0768±0.001 ^b	0.0147±0.004 ^c
Cd+Cu	5	0.6633±0.071 ^a	0.0802±0.025 ^b	0.0147±0.003 ^c
	10	0.8250±0.066 ^a	0.0813±0.007 ^b	0.0228±0.003 ^c
Cd+Pb	5	0.7117±0.052 ^a	0.0802±0.004 ^b	0.0155±0.004 ^c
	10	0.9167±0.068 ^a	0.0927±0.008 ^{eb}	0.0237±0.003 ^c
Cd+Cu+Pb	5	1.1700±0.183 ^A	0.0928±0.043 ^b	0.0237±0.025 ^c
	10	1.5317±0.019 ^{AB}	0.1057±0.013 ^{CB}	0.0282±0.004 ^{cd}

注: 小写字母相同者为差异不显著(P>0.05), 不同者为差异显著(P<0.05); 大写字母不同者表示差异极显著(P<0.01)

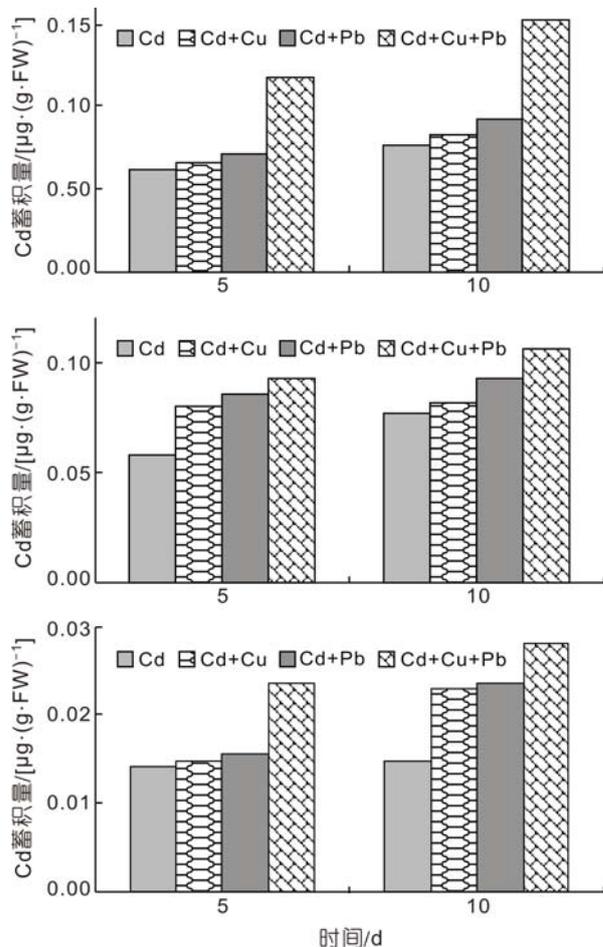


图 1 不同处理组泥鳅肝脏、肾脏、肌肉 Pb、Cu 影响下 Cd 的蓄积

Fig.1 Cd accumulation in the liver, kidney and muscle of *M. anguillicaudatus* in the presence of Cu and Pb

注: 上. 肝脏, 中. 肾脏, 下. 肌肉

2.3 混合金属离子 Pb、Cu 对 Cd 在泥鳅肾脏中蓄积的影响

在肾脏组织中, 5d 和 10d 内 Cd 的蓄积量均值(湿重)分别为 0.0580 和 0.0768 $\mu\text{g/g}$; Cd+Cu 分别为 0.0802 和 0.0813 $\mu\text{g/g}$; Cd+Pb 分别为 0.0802 和 0.0927 $\mu\text{g/g}$; Cd+Cu+Pb 分别为 0.0928 和 0.1057 $\mu\text{g/g}$ 。Cd+Cu 组与 Cd 组相比对 Cd 在肾脏中的蓄积无显著差异($P>0.05$), 说明 Cu 在该质量浓度下对 Cd 在肾脏中的蓄积无影响。Cd 组与 Cd+Pb 组相比差异显著($P<0.05$), 说明在本试验中两种重金属的协同作用可提高 Cd 在肾脏的蓄积量。而 Cd+Cu+Pb 组与 Cd 组相比差异极显著($P<0.01$), 证明混合重金属的相互作用加剧了 Cd 在肾脏组织的蓄积(表 2, 图 1 中)。

2.4 混合金属离子 Pb、Cu 组合对 Cd 在泥鳅肌肉中蓄积的影响

在肌肉组织中, 5d 和 10d 内 Cd 的蓄积量均值(湿重)分别为 0.0140 和 0.0147 $\mu\text{g/g}$; Cd+Cu 分别为 0.0147 和 0.0228 $\mu\text{g/g}$; Cd+Pb 分别为 0.0155 和 0.0237 $\mu\text{g/g}$; Cd+Cu+Pb 分别为 0.0237 和 0.0282 $\mu\text{g/g}$ 。在肌肉中, Cd 组与其余各组相比, 对 Cd 的蓄积均无显著差异($P>0.05$), 无论是 Cd+Cu 组、Cd+Pb 组还是 Cd+Cu+Pb 组, 对 Cd 在肌肉中的蓄积无显著影响。由此可见, 肌肉组织对于蓄积重金属的敏感性远小于其它器官组织(表 2, 图 1 下)。

2.5 泥鳅组织器官 Pb、Cu 影响下 Cd 的蓄积量与暴露时间的关系

在不同的暴露时间, 泥鳅组织器官在 Pb、Cu 的影响下, 其 Cd 的蓄积量与暴露时间之间存在着明显的时间-剂量效应关系, 即暴露时间相对越长, 蓄积量越大, 呈正相关关系。其中, Cd 在肝脏、肾脏、肌肉的相关系数分别为 0.8872、0.9201、0.7856; Cd+Cu 分别为 0.8903、0.7601、0.9728; Cd+Pb 分别为 0.9076、0.8066、0.9690; Cd+Cu+Pb 分别为 0.9150、0.8396、0.8663。其中, 尤以肝脏组织 Cd 对重金属蓄积的相关性最为显著(相关系数平均为 0.9), 说明泥鳅肝脏对重金属蓄积的敏感性均大于肾脏和肌肉(表 3)。

3 讨论

Cd 主要通过水及食物进入生物机体, 与生物体内的巯基结合, 使多种酶的活性抑制或灭活(周启明等, 2004)。脏器作为鱼体内蓄积重金属的主要部位与金属硫蛋白(MT)的诱导作用有关。MT 是一类低分子量(6—7kDa)、富含半胱氨酸、能结合金属的蛋白

表 3 泥鳅组织器官不同时间 Pb、Cu 影响下 Cd 的蓄积量(y)与暴露时间(t)的回归方程及相关系数

Tab.3 The relationship between Cd accumulation in *M. anguillicaudatus* and exposure time in the presence of Pb and Cu

处理组	组织器官	回归方程	相关系数(R^2)
Cd	肝脏	$y = 0.0758t + 0.0780$	0.8872
	肾脏	$y = 0.0077t + 0.0065$	0.9201
	肌肉	$y = 0.0015t - 0.0022$	0.7856
Cd+Cu	肝脏	$y = 0.0825t + 0.0836$	0.8903
	肾脏	$y = 0.0081t + 0.0132$	0.7601
	肌肉	$y = 0.0023t - 0.0011$	0.9728
Cd+Pb	肝脏	$y = 0.0917t + 0.0845$	0.9076
	肾脏	$y = 0.0024t + 0.0012$	0.8066
	肌肉	$y = 0.0119t - 0.0106$	0.9690
Cd+Cu+Pb	肝脏	$y = 0.1532t + 0.1347$	0.9150
	肾脏	$y = 0.0106t + 0.0133$	0.8396
	肌肉	$y = 0.0028t - 0.0032$	0.8663

或多肽。在正常情况下, MT 在生物体内含量很低。当生物体受到 Cd、Cu、Pb 等重金属污染时, 重金属会在体内激活内脏中 MT 基因的转录, 增加 MT 基因的表达量, 使生物体内脏等部位 MT 含量增加, 使进入细胞内的重金属结合到这类新合成的蛋白质上, 或者将原来结合在该蛋白质上的其它金属加以取代而储存于体内(Allen, 1995b)。在本试验中, 无论是单一重金属组还是混合重金属组, 重金属离子的诱导作用均增加了 Cd 在泥鳅肝脏的积累(图 1 上), 当然, 混合重金属的添加加剧了 Cd 在组织器官尤其是在肝脏中的蓄积, 表明这种蓄积作用具有随重金属种类的增加而增加以及随一定时间的延续而递增的倾向。试验表明, 在肾脏组织中, Cu 与 Pb 的协同作用提高了 Cd 在肾脏的蓄积量, 证明混合重金属的添加可加剧 Cd 在肾脏组织的蓄积(图 1 中)。试验还证实了肌肉组织对重金属的亲性和远远低于肾脏和肝脏, 虽然混合重金属的相互作用对 Cd 在肌肉中的蓄积有增加趋势, 但其蓄积过程十分缓慢, 整体差异并不显著(图 1 下)。

在水生动物体内, 肝脏是重金属累积及解毒的主要器官(吴众望等, 2005; 杨晓云等, 2010)。因为肝的解毒作用和肾的排泄作用, 组织器官内可诱导产生大量束缚重金属的 MT, 使肝、肾成为鱼体内积累重金属的主要部位(唐建勋等, 2010), 同时由于肝脏是鱼体受重金属 Cd、Cu、Pb 等攻击的靶器官, 因而有较大的蓄积量(Allen, 1995a)。相对而言, 肌肉对重金属的亲性和远比上述器官和组织弱, 所以重金属

在肌肉中的蓄积量最低, 本试验的结果已足以证明这一点, 且与以往许多研究者的类似研究结果相吻合(汪斌等, 2006; 张海瑞等, 2009)。

由此可见, 重金属在鱼体内各种组织器官中均有累积现象, 但在不同组织器官中的累积量是不均衡的, 这是由各组织器官的生理功能和代谢水平的差异所决定的(Allen, 1995)。泥鳅不同组织器官对各种重金属蓄积能力明显不同, 反映了泥鳅不同组织器官的生理功能及对不同重金属离子的代谢水平存在着差异。然而, 不同组织器官对重金属蓄积水平的差异除了其生理功能和代谢水平之外, 究竟还存在哪些环境条件或制约因子, 尚需继续进行深入的探讨和研究。

参 考 文 献

- 王亚伟, 魏源送, 刘俊新, 2008. 水生生物重金属富集模型研究进展. 环境科学学报, 28(1): 12—20
- 杨晓云, 温 勇, 陈晓燕等, 2010. 重金属在北江鱼类和底栖动物体内的富集及污染评价. 环境科学与技术, 33(6): 194—198
- 吴邦灿, 费 龙, 1999. 现代环境监测技术. 北京: 中国环境科学出版社, 252—254
- 汪 斌, 庄 严, 2006. 低浓度富里酸对底泥中重金属铅的生物有效性影响. 农业环境科学学报, 25(5): 1182—1187
- 张海瑞, 许晓曦, 2009. 重金属离子铜、铅在锦鲤幼鱼体内积累的研究. 食品工业科技, 30(7): 276—278
- 周启明, 孔繁翔, 朱 琳, 2004. 生态毒理学. 北京: 科学出版社, 131—149
- 唐建勋, 邢承华, 刘忠良等, 2010. 重金属 Cu、Pb 在泥鳅(*Misgurnus anguillicaudatus*)卵巢的蓄积特性及其对卵细胞发育的影响. 海洋与湖沼, 41(3): 386—390
- 熊治延, 2000. 环境生物学. 武汉: 武汉大学出版社, 134—137
- Al-Weher S M, 2008. Levels of heavy metal Cd, Cu and Zn in three fish species collected from the North Jordan Valley, Jordan. Journal of Biological Sciences, 1(1): 41—46
- Allen P, 1995a. Accumulation of cadmium in the edible tissue of *Oreochromis aureus* (Steindachner): Modification by mercury and lead. Arch Environ Contain Toxicol, 29: 8—14
- Allen P, 1995b. Soft-tissue accumulation of lead in the blue Tilapia, *Oreochromis aureus* (Steindachner) and the modifying effects of cadmium and mercury. Biological Trace Element Research, 50(3): 193—208
- Has Schon E, Bogut I, 2007. Heavy metal concentration in fish tissues inhabiting waters of Busko Blato reservoir (Bosnia and Herzegovina). Environ Monit Assess, 9(11): 1125—1130

EFFECTS OF LEAD AND COPPER IONS ON CADMIUM ACCUMULATION IN LOACH *MISGURNUS ANGUILLICAUDATUS*

TANG Jian-Xun, CHENG Zhang-Shun, ZHANG Jie, XU Yu-Hua, XING Cheng-Hua
(Agricultural and Bio-engineering School, Jinhua College of Profession and Technology, Jinhua, 321007)

Abstract Using the hydrostatic biological testing method, the interaction effects of lead (0.5mg/L) and copper (0.1mg/L) ions on cadmium(0.05mg/L) accumulation in the tissues and organs of *Misgurnus anguillicaudatus* were studied. The results showed that the effects of cadmium accumulation depended on the type and number of heavy metals, exposure time and tissue types. Cadmium accumulation in the tissues and organs was in the order of liver > kidney > muscle. In the tissues and organs, cadmium accumulation was not significantly affected by the presence of either metal ($P>0.05$), but by the presence of both metals ($P<0.05$). Furthermore, cadmium accumulation in liver and kidney was significantly enhanced ($P<0.05$) by the presence of both metals, and extremely significant difference ($P<0.01$), whereas such accumulation in muscle was not affected ($P>0.05$).

Key words *Misgurnus anguillicaudatus*, Heavy metal ions, Interaction, Accumulation, Cadmium