

# 汞·铬和镍对唐鱼的急性毒性及安全浓度评价

林爱薇, 管文帅, 方展强 (华南师范大学生命科学学院, 广东广州 510631)

**摘要** [目的] 研究唐鱼对汞(Hg)、铬(Cr)和镍(Ni)3种重金属的致毒敏感度和安全质量浓度。[方法] 采用静水法测试唐鱼对Hg、Cr和Ni重金属溶液的半致死浓度,并评价水环境Hg、Cr和Ni对鱼类的影响。[结果] Hg、Cr和Ni对唐鱼不同时间的半致死质量浓度曲线表明,Hg对唐鱼为剧毒物质,Ni为中毒物质,Cr为低毒物质。3种重金属的毒性依次为Hg>Ni>Cr。Hg、Ni和Cr对唐鱼的24、48、72、96 h的 $LC_{50}$ 分别为0.105、0.092、0.084、0.075 mg/L,36.230、21.960、13.780、9.268 mg/L,84.030、72.260、65.210、55.960 mg/L,其安全质量浓度分别为0.008、0.927、5.596 mg/L。[结论] 唐鱼对这3种重金属的耐受性较高;各种重金属离子共存时可能对唐鱼存在某种协同或拮抗作用,温度、溶解氧等理化因子的改变对重金属的毒性也有影响,还影响 $LC_{50}$ 值。

**关键词** 汞;铬;镍;唐鱼;急性毒性;安全浓度

**中图分类号** S941.91 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2009)02-00627-03

## Acute Toxicity of Mercury, Chrome and Nickel to *Tanichthys albonubes* and Their Safety Assessment

LIN Ai-wei et al (College of Life Sciences, South China Normal University, Guangzhou, Guangdong 510631)

**Abstract** [Objective] The research aimed to study the toxicity sensitivity of *Tanichthys albonubes* to 3 kinds of heavy metal as mercury (Hg), nickel (Ni) and chrome (Cr) and their safe quality concn. [Method] The median lethal concn. ( $LC_{50}$ ) of Hg, Cr and Ni heavy metal solution to *T. albonubes* was determined with the static test method and the effect of Hg, Cr and Ni in water environment on fish was evaluated. [Result] The median lethal quality concn. curve of Hg, Cr and Ni to *T. albonubes* in different time showed that Hg was a drastic toxicant to *T. albonubes*, Cr was median toxicant and Ni was low toxicant. The toxicity sequence of three heavy metals to *T. albonubes* was Hg > Ni > Cr. The  $LC_{50}$  of 24, 48, 72 and 96 h for Hg to *T. albonubes* were 0.105, 0.092, 0.084 and 0.075 mg/L, resp., that for Ni were 36.230, 21.960, 13.780 and 9.268 mg/L, resp. and that for Cr were 84.030, 72.260, 65.210 and 55.960 mg/L, resp. The safe quality concn. of Hg, Cr and Ni were 0.008, 0.927 and 5.596 mg/L, resp. [Conclusion] The tolerance of *T. albonubes* to 3 kinds of heavy metal was higher. The coexistence of each heavy ion might had some cooperation or antagonism effect and the change of physical and chemical factors such as temperature and dissolved oxygen had some effect on the toxicity of heavy metal, as well as on  $LC_{50}$  value.

**Key words** Hg; Cr; Ni; *Tanichthys albonubes*; Acute toxicity; Safety assessment

随着工业废水和城市生活污水排放量的日益增长,水产养殖业规模的日益扩大和集约化程度的不断提高,鱼类赖以生存的水环境日趋恶化,水体中重金属污染对鱼类影响明显增加。同时,重金属污染对人类生存环境的严重危害正日益引起人们对水环境重金属污染的普遍关注。有关重金属对鱼类及水生生物的急性毒性试验研究在国内外已有较多的报道<sup>[1-7]</sup>,鱼类终生生活在水中,其整个生活史的各个时期对各种水环境污染物质最为敏感,因而作为急性毒性受试生物具有方便、敏感和快速等优点<sup>[4]</sup>。

唐鱼(*Tanichthys albonubes*)是一种小型的鲤科鱼类,由于具有体形小、易饲养、性成熟早、1年能繁殖多代等优点,方便在实验室大量人工繁殖因而适合作为一种新的鱼类毒性试验受试生物。有关重金属对唐鱼的急性毒性作用的研究已有一些报道<sup>[8]</sup>,但重金属汞、铬、镍等对唐鱼的毒性影响尚未见报道。笔者采用静水法测试唐鱼对汞(Hg<sup>2+</sup>)、铬(Cr<sup>3+</sup>)和镍(Ni<sup>2+</sup>)3种重金属溶液的半致死浓度,研究唐鱼对3种重金属的致毒敏感度,旨在为评价重金属对水生生物生长、发育和繁殖的影响,为环保部门制订水质标准和废水排放标准,渔业部门防治污染和保护水环境资源等提供依据。

## 1 材料与方法

**1.1 试验动物** 唐鱼取自华南师范大学生命科学学院生态毒理学实验室,均为1周龄的幼鱼。试验在2006年3~4月进行。试验鱼在实验室水族箱驯养1周后进行试验,试验前

1 d 停止喂食。

**1.2 供试药品** 氯化汞(HgCl<sub>2</sub>)、氯化铬(CrCl<sub>3</sub>)和硫酸镍(NiSO<sub>4</sub>)均为广州化学药剂厂产品(A.R)。预先配制成3 000 mg/L的母液,再根据试验需要稀释成相应的质量浓度。

**1.3 试验条件** 试验用水为充分曝气3 d的自来水,水温为(25±3)℃,pH值6.8,硬度约2.2度(德国度)。试验在50 ml的小烧杯中进行。每一烧杯中加入40 ml试验液,并随机放入受试唐鱼10尾。

**1.4 方法** 采用静水生物测试方法,在试验期间不更换药液。为防止饲料对试验造成影响,试验期间停止喂食。确定药液质量浓度的大致范围,先做预备试验,参考已报道的其他鱼类相关资料,分别估计Hg<sup>2+</sup>、Cr<sup>3+</sup>和Ni<sup>2+</sup>的7个质量浓度值,在每一个质量浓度的烧杯内放入5尾唐鱼,观察24 h,计算出唐鱼对各种重金属的最大耐受质量浓度和100%致死质量浓度。根据预备试验结果,按等比级数设5个质量浓度组(各设3个平行组)及1个空白对照组,每一个质量浓度投放唐鱼10尾,在试验过程中观察它们的行为、中毒症状、死亡等现象。中毒后,经多次刺激无反应则判断为死亡,从水中吸出。通过记录各试验组唐鱼24、48、72和96 h的死亡数,计算出平均死亡率,再转换成概率单位,计算出试验液质量浓度对数。用直线内插法,以浓度的常用对数为横坐标,死亡率的概率单位为纵坐标,求出概率单位与试验液质量浓度对数的回归方程、各重金属的半致死质量浓度( $LC_{50}$ )及各自的95%可置信度,并采用常规的96 h  $LC_{50} \times 0.1$ 计算安全质量浓度。

## 2 结果与分析

**2.1 唐鱼的中毒症状** 唐鱼在3种不同质量浓度的重金属溶液中出现了不同程度的中毒症状。高浓度组受试唐鱼在

**基金项目** 广东省科技计划项目(2006B36601008)。

**作者简介** 林爱薇(1960-),女,广东广州人,助理实验师,从事实验动物学研究。

**收稿日期** 2008-10-23

接触含重金属试液 8~10 h 后开始出现活动异常的现象,受试个体首先表现为失去游动的平衡能力,一些个体在水中侧翻或打转,急速游动或上下窜动。持续数小时后,一些个体游动变得缓慢,逐渐丧失运动能力,躺卧杯底。高浓度组受试唐鱼 24 h 后死亡率达 77%~80%。染毒过程发现,唐鱼在毒性较强的含 Hg 溶液中,中毒反应迅速,在短期内有大量个体出现明显中毒症状;而在毒性较弱的含 Cr 溶液中,则经过较长的时间才出现异常症状。Cr 对唐鱼的致毒症状表现为体表和鳃分泌大量的黏液,体表黏附有许多棉絮状的白色小颗粒,随后鱼体体色逐步变黑、口吐大气泡,失去平衡,挣扎而死。这是由于重金属离子进入鱼体组织后,一部分可随血液循环到达各器官组织,引起组织细胞的机能变化;另一部分则可与血浆中的蛋白质和红血球等结合造成贫血<sup>[5]</sup>,或者与酶结合,造成酶的失活而毒害鱼类<sup>[6]</sup>。

**2.2 Hg、Cr 和 Ni 对唐鱼的毒性影响** Hg、Cr 和 Ni 对唐鱼的毒性影响结果及安全浓度见表 1、2。根据鱼类急性中毒试验的 96 h  $LC_{50}$  值,有毒物质对鱼类的毒性作用分为 4 级,分别为: <0.1 mg/L,为剧毒;0.1~1.0 mg/L,为高毒;1.0~10.0 mg/L,为中毒;>10.0 mg/L,为低毒。我国渔业水质标准对  $Hg^{2+}$ 、 $Cr^{3+}$ 、 $Ni^{2+}$  容许的最高质量浓度为: $Hg^{2+} \leq 0.0005$  mg/L; $Cr^{3+} \leq 1.0$  mg/L; $Ni^{2+} \leq 0.1$  mg/L。

表 1 唐鱼在不同质量浓度的 Hg、Cr 和 Ni 溶液中的急性致死率

Table 1 Acute mortality rate of *T. albonubes* in solutions with different Hg, Cr and Ni concentrations

重金属溶液 Heavy metal solution	浓度//mg/L Concentration	不同时间的平均死亡率// % Average mortality rate at different time			
		24 h	48 h	72 h	96 h
Hg	0.058	-	-	3	10
	0.069	-	7	20	33
	0.083	7	30	43	73
	0.100	40	63	83	97
	0.120	77	93	100	
Cr	48.220	-	3	13	27
	56.890	7	13	37	53
	69.440	20	43	63	80
	83.330	43	60	77	97
	100.000	80	97	100	
Ni	5.000	-	-	7	20
	10.000	-	7	30	43
	20.000	30	63	77	93
	40.000	53	80	93	100
	80.000	77	97	100	
对照组 Control group	0	-	-	-	-

由表 2 可知, $Hg^{2+}$  对唐鱼是剧毒物质。该试验结果还表

表 2 Hg、Cr 和 Ni 对唐鱼毒性试验数据的线性回归分析

Table 2 Linear regression analysis of the experimental toxicity data of Hg, Cr and Ni to *T. albonubes*

重金属 Heavy metal	时间//h Time	回归方程 Regression equation	相关系数( $R^2$ ) Correlation coefficient	$LC_{50}$ 值//mg/L $LC_{50}$ value	95% 置信区间 95% confidence interval	安全质量浓度//mg/L Safe mass concentration
Hg	24	$y = 13.871 0x + 18.549 0$	0.996 9	0.105	0.078~0.133	0.008
	48	$y = 11.844 0x + 17.256 0$	0.996 7	0.092	0.063~0.122	
	72	$y = 11.438 0x + 17.307 0$	0.989 6	0.084	0.055~0.113	
	96	$y = 11.962 0x + 18.488 0$	0.996 8	0.075	0.047~0.102	
Cr	24	$y = 9.313 3x - 12.923 0$	0.970 4	84.030	84.000~84.070	5.596
	48	$y = 11.260 0x - 15.931 0$	0.970 7	72.260	72.230~72.290	
	72	$y = 7.936 7x - 9.399 9$	0.972 8	65.210	65.160~65.270	
	96	$y = 10.340 0x - 13.073 0$	0.991 5	55.960	55.920~56.000	
Ni	24	$y = 2.092 8x + 1.737 2$	0.997 0	36.230	35.940~36.520	0.927
	48	$y = 3.524 6x + 0.271 4$	0.949 8	21.960	20.100~23.820	
	72	$y = 3.298 7x + 1.242 3$	0.987 9	13.780	13.370~14.180	
	96	$y = 3.737 2x + 1.386 2$	0.941 7	9.268	8.902~9.633	

明,对唐鱼而言, $Hg^{2+}$  的安全质量浓度为 0.008 mg/L,明显高于我国渔业水域水质标准,可见唐鱼对 Hg 的耐受性较高。实验室条件下研究  $Hg^{2+}$  对石斑鱼中毒致死机理的结果表明, $Hg^{2+}$  可以通过体表和鳃的渗透、吸附在鱼体内富集,它是一种毒性强的元素。染毒早期,大部分、甚至达 80% 的  $Hg^{2+}$  蓄集在鳃上<sup>[9]</sup>。汞对鲤、鲫鱼几种组织转氨酶活性的变化规律的研究结果表明,底泥受汞污染后,鲤、鲫鱼肝、鳃组织 GPT 和 GOT 活性下降,以肝、胰脏最明显;血清转氨酶活性则相反,随着汞浓度的递增而极显著升高;在底泥  $Hg^{2+}$  含量为 3.360 mg/kg 时,肾脏转氨酶达最大活力,但随着汞浓度的加大,其活性下降<sup>[10]</sup>。汞污染还对同工酶基因表达具有一定程度的抑制效应<sup>[11]</sup>,这与该试验的结果相一致,表明 Hg 对唐鱼有明显的致毒作用。

由表 2 可知, $Cr^{3+}$  对唐鱼是低毒物质。对照试验的结果来看,Cr 的安全质量浓度为 5.596 mg/L,略高于我国渔业水

域水质标准。可见唐鱼对 Cr 的耐受性较高。研究表明,黑鲷在汞、铜、铬和亚铁试液中,死亡现象大多发生在 48 h 之内,48 h 内总死亡数的比例又因金属离子的不同而有区别,在汞、铜、亚铁中占 80% 左右,在铬中只占 40% 左右<sup>[12]</sup>。可见,Cr 的毒性要比其他几种重金属的毒性小,这也与该试验结果相一致。

由表 2 可知, $Ni^{2+}$  对唐鱼属中毒物质。对照该试验结果来看,Ni 的安全质量浓度为 0.927 mg/L,略高于我国渔业水域水质标准。将罗非鱼置于重金属溶液中,研究重金属在其体内的富集和分布状况,结果表明,镍在肾中积累的比较多,Ni、Cr 等重金属结合到鳃、肝、肾的金属硫蛋白(Metallothioneins, MT)中,以非毒形式存在于体内,这种内源性的重金属解毒机制大大减少了重金属向其他器官组织的输送,使肌肉中重金属的亲合力远低于鳃、肝、肾等器官,因而罗非鱼肌肉中重金属含量较低,基本符合国家食品限量卫生标准<sup>[13]</sup>。

2.3  $Hg^{2+}$ 、 $Cr^{3+}$  和  $Ni^{2+}$  的毒性比较 由表 1、2 可见,在 3 种金属中,毒性大小依次为  $Hg^{2+} > Ni^{2+} > Cr^{3+}$ ,  $Hg^{2+}$  对唐鱼的致死毒性最大,对其他鱼类也有同样的结论。但是,同一种重金属对不同鱼类或同种鱼处在不同的生活周期其毒性影响也有所不同。该试验仅以重金属的总投入量为依据,仅考虑单一重金属的毒性,事实上各种重金属离子共存时可能存在某种协同或拮抗作用,此外,盐度、温度、溶解氧、pH 值等理化因子的改变对重金属的毒性产生影响,也影响  $LC_{50}$  值。因此,在实际应用时还应考虑混合毒物毒性的变化和互相影响,有关问题尚待进一步探讨。

### 3 结论

研究  $Hg^{2+}$ 、 $Cr^{3+}$  和  $Ni^{2+}$  对唐鱼不同时间的半致死质量浓度曲线,结果发现,在 3 种重金属中,毒性大小依次为  $Hg^{2+} > Ni^{2+} > Cr^{3+}$ ,  $Hg^{2+}$  对唐鱼的致死毒性最大。根据中国渔业水质标准 (GB 11607-89) 对  $Hg^{2+}$ 、 $Cr^{3+}$  和  $Ni^{2+}$  的最高允许浓度的规定,  $Hg^{2+}$  对于唐鱼是剧毒物质,其安全质量浓度为 0.008 mg/L,而  $Ni^{2+}$  和  $Cr^{3+}$  对于唐鱼是中毒和低毒物质,其安全质量浓度分别为 0.927 和 5.596 mg/L。唐鱼对该 3 种重金属的耐受性较高。初步研究了重金属离子对唐鱼的单因子毒性,各种重金属离子共存时可能存在某种协同或拮抗作用,温度、溶解氧等理化因子的改变对重金属的毒性也可产生影响,半数致死质量浓度曲线在实践中的应用、联合毒

性、毒性作用的机制等有待于进一步研究。

### 参考文献

- [1] 修瑞琴,许永香,郑静,等. 镉与锌离子对斑马鱼的联合毒理[J]. 卫生研究,1996,25(2):101-102.
- [2] 曹剑辉,马广智,方展强. 镉对草鱼鳃和肝组织超氧化物歧化酶活性的影响[J]. 水利渔业,2004,24(1):9-11.
- [3] 王银秋,张迎梅,赵东芹. 重金属镉、铅、锌对鲫鱼和泥鳅的毒性[J]. 甘肃科学学报,2003,15(1):35-38.
- [4] 王春风,方展强. 汞和硒对剑尾鱼的急性毒性及其安全浓度评价[J]. 环境科学与技术,2005,28(2):32-34.
- [5] 杨丽华,方展强,郑文彪. 重金属对鲫鱼的急性毒性及安全浓度评价[J]. 华南师范大学学报:自然科学版,2003(2):101-106.
- [6] 杨丽华,方展强,郑文彪,等. 镉对鲫鱼鳃和肝脏超氧化物歧化酶活性影响[J]. 安全与环境学报,2003,3(3):13-16.
- [7] 方展强,杨丽华. 重金属在鲫幼鱼组织中的积累与分布[J]. 水利渔业,2004,24(6):23-26.
- [8] 王瑞龙,马广智,方展强. 铜、镉、锌对唐鱼的急性毒性及安全浓度评价[J]. 水产科学,2006,25(3):117-120.
- [9] KHAN T, WEIS T S. Bioaccumulation of heavy metals in two populations of mummichog (*Fundulus heteroclitus*) [J]. Bull Environ Contam Toxicol, 1993,51(1):1-5.
- [10] 郑永华,蒲富永. 汞对鲤鲫鱼组织转氨酶活性的影响[J]. 西南农业大学学报,1997,19(1):41-45.
- [11] 李亚南. 非离子态  $NH_3$  和  $Hg^{2+}$  对草鱼免疫血清及前肾的 LDH 与 G6PDH 的影响[J]. 浙江大学学报:农业与生命科学版,2000,26(5):555-558.
- [12] 席玉琴,宋学君,岳丙宜,等. 几种重金属离子毒性对黑鲫卵子和稚鱼的影响[J]. 河北渔业,1995(3):3-5.
- [13] 阮晓,郑春霞,王强,等. 重金属在罗非鱼、淡水白鲟和鲤鱼体内的蓄积[J]. 农业环境保护,2001,20(5):357-359.

(上接第 582 页)

致远;汨汨的泉水象征了教师用知识的甘露来浇灌无量英才。由形而神,既是一处愉悦视觉的景点,又有人文教育功能,建成后即成为华侨大学的标志性景点之一。佛山科技学院北院现状校园内景观小品数量太少,尤其缺少这种承载校园文化内涵的标志性建筑小品,改造设计中应增设这方面的内容。

2.2.5 交通系统。完整的交通系统包括各级别道路、停车场和广场。首先,由于校区比较偏远,教职工大部分都要开车来上班,但是教学楼附近没有相应的停车场地,现状教职工的车辆多停放在实验楼前道路上,影响交通。由于行车路线集中在实验楼前道路,因此该道路应考虑人车分流问题,确保交通安全。其次,校区内由于校园建筑建成时间参差不齐,道路设计缺少统一的规划,道路形式多样,同级别的道路在道路形式、路面设计、行道树布置等方面都有很大差异。实验大楼南侧绿地内的游步道设计也违背了便捷性原则,该处绿地连接实验楼、食堂、超市等建筑,人流量较大,但现状道路只有 0.8m 宽,而能容人相向而行的道路最低宽度是 1.2 m,因此此处通行很不方便,路两侧草坪践踏严重。此外,高出两侧草地很多的路面也破坏了草坪景观,经调查,现状草坪经长期践踏已形成明显的痕迹,在进一步改造中应依据这一痕迹铺设道路,因为这代表了最便捷的路线。另外,应采用路面低于地面的道路形式,以保留较完整的绿地景观。

广场是交通系统中重要的组成部分,大学校园需要一定

的广场空间供学生休闲、读书、集会和组织活动等。目前北院学生各种户外活动只能安排在运动场地,分别在教学楼 C 座后下沉篮球场和学生社区篮球场,而且场地没有足够的休息设施和夜间照明设施。在进一步的改造设计中一方面可在这两块场地的基础上增设休息设施和夜间照明设施;另一方面可以开辟林下广场空间,供学生进行各种活动,地点可选在仙溪湖南岸、实验楼南绿地和实验楼前绿地。因为这 3 处绿地现状已有树林景观,在进一步改造设计中只需适当降低局部郁闭度和进行地面铺装设计即可。

### 3 小结

随着学校的发展,校园景观也要在保留一定历史轨迹的基础上定期作调整和改变,以求与现代社会的文化和特点相吻合,因为它是人才的摇篮,而这些人将来是要走进社会,服务社会的。通过总体调查分析,佛山科技学院北院校区目前尚有较大的改造开发潜力,特别是现有的水景资源和植物资源都为进一步改造设计提供了有利条件。通过上述分析和构思,进一步的改造设计应以“尊重历史、尊重自然、尊重文脉、以人为本”为原则,通过改造设计为校园景观增加新的内容,注入蓬勃的生机和活力,为北院师生营造一个舒适、健康的学习和工作环境。

### 参考文献

- [1] 白茵. 大学校园景观探求[D]. 北京:北京林业大学,2004.
- [2] 莫丹,刘洪杰. 生态空间·人本生活——华南师范大学校园环境景观的初步评价[J]. 华南师范大学学报:自然科学版,2006(2):133-137.
- [3] 李寒娥,杨敏辉,周贱平. 佛山市抗大气污染应用植物的选择[J]. 佛山科学技术学院学报:自然科学版,2003,21(3):50-57.