

六价铬对黄颡鱼仔鱼和稚鱼的急性毒性效应研究

梁 峰, 杨绍贵, 孙 成

(南京大学环境学院, 污染控制与资源化研究国家重点实验室, 南京 210093)

摘 要:利用静水式鱼类急性毒性测试法, 分别以黄颡鱼(*Pelteobagrus fulvidraco*)仔鱼和稚鱼为受试对象, 通过六价铬的急性毒性试验, 获得 24、48、72、96 h 相应的半数致死浓度 LC_{50} 值, 比较了六价铬对黄颡鱼仔鱼和稚鱼的致毒敏感性, 计算了六价铬对黄颡鱼的安全质量浓度并对六价铬对于黄颡鱼急性毒性等级进行了评价。旨在通过开展我国本土水生生物的急性毒性效应的研究, 获得相应的毒理学数据, 为推导符合我国生态分区特点的水质基准提供基础信息。结果表明, 在水温为 $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ 条件下, 六价铬对黄颡鱼仔鱼 24、48、72、96 h 的半数致死浓度 LC_{50} 分别为 28.32、21.99、17.70、15.79 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 而对黄颡鱼稚鱼 24、48、72、96 h 的 LC_{50} 分别为 138.5、88.36、68.55、57.98 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 说明黄颡鱼仔鱼对于六价铬毒性的敏感性明显高于稚鱼。六价铬对黄颡鱼仔鱼和稚鱼的安全浓度分别为 1.579、5.798 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 依据急性毒性结果和鱼类急性毒性分级标准, 六价铬对于黄颡鱼毒性等级属于中等毒性。

关键词:六价铬; 黄颡鱼; 急性毒性; 水质基准

中图分类号:X503.225 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-2043(2010)09-1665-05

The Acute Toxicity of Hexavalent Chromium on *Pelteobagrus fulvidraco* Fry and Fingerling

LIANG Feng, YANG Shao-gui, SUN Cheng

(State Key Laboratory of Pollution Control and Resource Reuse, School of the Environment, Nanjing University, Nanjing 210093, China)

Abstract: The acute toxicity of hexavalent chromium to fry and fingerling of *Pelteobagrus fulvidraco*, including 24 h LC_{50} , 48 h LC_{50} , 72 LC_{50} and 96 h LC_{50} values, was determined with the static test method in this study, the toxicity sensitivity of fry and fingerling was analyzed, the safety concentration of hexavalent chromium to *Pelteobagrus fulvidraco* was calculated and the fish acute virulence classification was evaluated. The results showed that under the test condition of water temperature $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$, the 24 h LC_{50} , 48 h LC_{50} , 72 LC_{50} and 96 h LC_{50} values of hexavalent chromium to fry and fingerling of *Pelteobagrus fulvidraco* were 28.32, 21.99, 17.70, 15.79 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ and 138.5, 88.36, 68.55, 57.98 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, respectively. It indicated that the toxicity of *Pelteobagrus fulvidraco* fry was obviously higher than that of fingerling. The native aquatic toxicological data obtained from this study could be used to derive the water quality criteria for the protection of aquatic organisms. Based on these acute toxic values and the fish acute virulence classification standard, hexavalent chromium had the moderate toxicity to *Pelteobagrus fulvidraco*.

Keywords: hexavalent chromium; *Pelteobagrus fulvidraco*; acute toxicity; water quality criteria

铬是 14 种最有害的重金属之一。由于毒性较高, 铬及其化合物被列入中国水环境优先污染物黑名单^[1]。在环境中稳定存在的 Cr(Ⅲ)和 Cr(Ⅵ)两种价态的铬却有着几乎相反的性质, 适量的 Cr(Ⅲ)可以降低人体血浆中的血糖浓度, 提高人体胰岛素活性, 促进糖

和脂肪代谢, 提高人体的应激反应能力等。而 Cr(Ⅵ)则是一种强氧化剂, 具有强致癌变、致畸变、致突变作用, 对生物体伤害较大^[2]。通常认为六价铬的毒性比三价铬的毒性高 100 倍^[3]。美国环保局认为最具毒性和致癌性的铬化合物是含六价铬的化合物。六价铬具有较大毒性, 研究发现它具有免疫毒性、神经毒性、生殖毒性、遗传毒性及致癌性^[4]。

水质基准是制定水质标准的基础。我国水质基准研究相对滞后^[5], 没有开展针对我国生物物种系统的水质基准的研究^[6], 完全参考国外的水质标准而制定

收稿日期: 2010-04-14

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2008ZX08526-003)

作者简介: 梁 峰(1973—), 男, 河南平顶山人, 博士研究生。

E-mail: 93311f@163.com

通讯作者: 孙 成 E-mail: envidean@nju.edu.cn

出来我国现行的水质标准,对于我国的水生生物存在着“过保护”和“欠保护”的可能^[7]。鱼类急性毒性试验作为测试保护天然水体的重要手段之一,不仅可以用以评价化学物质对鱼类的影响,在水质基准的推导过程中也起着重要的作用。本试验选择我国的土著生物黄颡鱼作为受试生物,开展六价铬的急性毒性效应研究,旨在为我国水质基准的推导提供本土物种的基础性毒理数据。黄颡鱼(*Pelteobagrus fulvidraco*)俗名昂刺鱼,隶属于硬骨鱼纲(Osteichthyes)鲇形目(Siluriformes)鲿科(Bagridae),是东亚特有的鲿科鱼类。分别用仔鱼和稚鱼进行毒性试验,试图从不同规格大小试验鱼急性毒性数据的比较中,选择确定试验操作方便且对污染物敏感的受试生物开展毒性试验,以图推导出能对水生生物更好保护的水质基准。

1 材料与方法

1.1 试验用鱼

试验用黄颡鱼仔鱼和稚鱼,均购自浙江湖州泉心特种鱼苗养殖场,为人工繁殖培育的黄颡鱼。所用仔鱼系胚胎孵化生长的 20 日龄,平均体长为 20.0 mm,平均体重为 0.05 g;稚鱼为 90 日龄鱼苗,平均体长为 40.0 mm,平均体重为 0.4 g。试验前,各受试生物均在实验室水族箱中驯养,仔鱼驯养 3 d,稚鱼驯养两周。驯养期间通过加热棒控制水温,增氧泵增氧,每日换水约 1/3,记录水温,每日喂食 1~2 次,并及时清理食物残渣及粪便等杂物,试验前一日停止喂食,驯养期间死亡率小于 5%,符合低于 10%的要求,然后从中选取规格基本一致的个体,随机分组作为试验对象。

1.2 试验用水

实验用水为经曝气脱氯充氧 24 h 以上的自来水,pH 7.4~7.8,溶解氧 7.5~7.8 mg·L⁻¹,电导率 290 μS·cm⁻¹,总硬度 120 mg·L⁻¹(以 CaCO₃ 计)。

1.3 试验药品

六价铬试验使用的物质为重铬酸钾(A.R.),购自南京化学试剂有限公司,用去离子水配成浓度为 3 000 mg·L⁻¹(以 Cr⁶⁺计)的母液备用,试验前用曝气水稀释成所需的质量浓度的试验液。

1.4 试验方法

由于六价铬化学性质比较稳定,在水中不易发生沉淀、光解、挥发等作用,通过测定试验开始和结束时试液浓度,发现各浓度组六价铬在试验前后变化均小于 1%,远低于在初始值 20%以内的允许波动范围,因此试验可采用静水式。试验所用容器,仔鱼为

1 000 mL 的大烧杯,稚鱼为 4 000 mL 圆形玻璃鱼缸,试验鱼的承载量分别为 0.5 g·L⁻¹和 1 g·L⁻¹,满足要求。试验期间保持温度为(23±2)℃,不调节 pH,试验周期为 96 h,试验期间保证溶解氧大于 4 mg·L⁻¹。在正式试验之前先进行预试验,预试验每个容器放鱼 5 条,预试验的目的在于找出 24 h 使黄颡鱼全部致死的浓度下限值及 96 h 无死亡的浓度上限值。

根据预试验确定正式试验的药物浓度区间,参照 OECD 和我国国家标准中相应斑马鱼急性毒性试验方法^[8-9],按等对数间距设置一系列(5~7 个)浓度组,浓度间隔系数小于 2.2。其中仔鱼试验设置的系列浓度分别为 15.0、18.5、23.0、28.0、35.0 mg·L⁻¹;稚鱼试验设置的系列浓度分别为 40.0、52.0、67.6、87.8、114.2 mg·L⁻¹。每个浓度设 3 个平行,每一系列设 1 个空白,每个容器放 10 条鱼。试验周期为 96 h,观察中毒症状并记录 24、48、72、96 h 受试鱼死亡率,及时将死鱼取出,同时监控 pH、水温、DO、电导率等理化指标。

1.5 数据处理

试验数据的统计处理依据 GB/T 13267—1991,使用概率单位图解法计算半数致死浓度(LC₅₀)。具体过程是:根据死亡百分率与概率单位表查询得出死亡概率,根据死亡概率和浓度对数作图,求出线性回归方程,得到 24、48、72、96 h LC₅₀,并依据公式(1)计算 LC₅₀ 的 95%置信限:

$$LC_{50} \text{ 的 } 95\% \text{ 置信限} = \lg^{-1} \left(X \pm \frac{2S}{\sqrt{2N}} \times 1.96 \right) \quad (1)$$

式中, X 为 LC₅₀ 浓度的对数; S 为对应 LC₅₀ 线性回归方程斜率的倒数; N 为供试的动物总数(但死亡率为 0 和 100%的组不计在内)。

安全浓度(SC)按照公式(2)计算得到^[10]:

$$SC = 0.1 \times 96 \text{ h} LC_{50} \quad (2)$$

2 结果与分析

2.1 黄颡鱼的中毒症状

试验开始时,低浓度组试验鱼活动情况与对照组基本相似,试验鱼刚投入试验容器大多反应剧烈,在水中不停地快速游动,显得十分活跃。一段时间后,低浓度组试验鱼活动情况无多大变化,而高浓度组试验鱼活动开始减弱,游动变缓慢,反应迟钝,身体失衡,体色变浅,体表粘液分泌增多。随着时间延长,高浓度组试验鱼相继出现死亡,试验鱼死前均出现鳃盖扩张,身体边缘发白,体表粘液大量分泌,对照组均无死亡。

2.2 六价铬对黄颡鱼半致死浓度 LC_{50} 值

六价铬对黄颡鱼仔鱼和稚鱼的急性毒性试验数据处理与计算如表 1 和表 2。用概率单位法推算得出了六价铬对黄颡鱼仔鱼 24、48、72、96 h 的半数致死浓度 LC_{50} 分别为 28.32、21.99、17.70、15.79 $mg \cdot L^{-1}$;对稚鱼 24、48、72、96 h 的半数致死浓度 LC_{50} 分别为 138.5、88.36、68.55、57.98 $mg \cdot L^{-1}$ 。

表 1 六价铬对黄颡鱼仔鱼的急性毒性

Table 1 Acute toxicities of Cr(VI) for fry of *Pelteobagrus fulvidraco*

时间/h	回归方程	R^2	$LC_{50}/mg \cdot L^{-1}$	95%置信限/ $mg \cdot L^{-1}$
24	$Y=5.592X-3.121$	0.973	28.32	25.80~31.09
48	$Y=7.036X-4.444$	0.965	21.99	20.42~23.69
72	$Y=5.997X-2.484$	0.983	17.70	16.06~19.50
96	$Y=7.327X-3.780$	0.993	15.79	14.40~17.31

表 2 六价铬对黄颡鱼稚鱼的急性毒性

Table 2 Acute toxicities of Cr(VI) for fingerling of *Pelteobagrus fulvidraco*

时间/h	回归方程	R^2	$LC_{50}/mg \cdot L^{-1}$	95%置信限/ $mg \cdot L^{-1}$
24	$Y=5.593X-7.748$	0.996	138.5	123.7~155.0
48	$Y=12.45X-19.23$	0.983	88.36	83.71~93.26
72	$Y=9.154X-11.81$	0.998	68.55	63.69~73.78
96	$Y=10.53X-13.57$	0.957	57.98	54.86~61.27

3 讨论

3.1 六价铬对其他水生生物的急性毒性

对于环境毒性效应的研究,由于实际水环境的多

样性、物质存在形式的多样性和物质之间作用的复杂性,以及个体大小、生理状态和物种之间的差异等许多因素,不仅导致了同一物种对不同重金属离子的抗性差异,也是同一重金属离子对不同物种毒性效应不同的主要原因。

因此,对于不同物种之间毒性效应的比较研究,不仅需要考虑水体来源不同、组分差异、元素的化学形态及存在形式等,也需要综合考虑大小、年龄和生理状态等方面的影响,以便更客观地反映重金属离子的毒性效应,有利于不同研究结果间进行比较。

通过对 EPA 的 ECOTOX 毒性数据库(<http://cf-pub.epa.gov/ecotox/>)和相关文献的毒性数据查询,得到了部分其他水生生物对六价铬的急性毒性数据见表 3,其中鱼、虾等的急性毒性以 96 h- LC_{50} 表示,蚤类急性毒性以 48 h- EC_{50} 值表示。可以看出,处于不同营养级的生物对六价铬的敏感性是不同的,鱼类对重金属铬的敏感性明显低于甲壳类和枝角类水生生物,普遍相差在 1 到 2 个数量级以上,这主要是与不同物种之间的耐受力差异有关。即使同属于鱼类,各鱼种间也是有比较明显的差异,如六价铬对蓝鳃太阳鱼的急性毒性就比对虹鳟鱼、黄颡鱼的大得多。

3.2 黄颡鱼仔鱼和稚鱼对六价铬毒性的敏感性比较

从表 3 还可以看出,即使是同一种鱼,得到的急性毒性数据差异也是比较大的,比如虹鳟鱼,急性毒性数据范围在 0.57~69 $mg \cdot L^{-1}$,相差 120 多倍。这一方面受限于生物试验干扰因素多,各个试验室试验条件不同,鱼的个体生理状态有差异等因素;另一方面还因为不同试验者选取了不同的生命阶段的鱼开展研

表 3 六价铬对其他水生生物的急性毒性

Table 3 Acute toxicities of Cr(VI) to some aquatic organisms

生物名称	英文种名	96 h- LC_{50} 或 48 h- $EC_{50}/mg \cdot L^{-1}$	样本数	均值/ $mg \cdot L^{-1}$	来源
蓝鳃太阳鱼	<i>Lepomis macrochirus</i>	99.1~382	19	189.4	ECOTOX 数据库
金鲫鱼	<i>Carassius auratus</i>	90~135	20	117.6	ECOTOX 数据库
孔雀鱼	<i>Poecilia reticulata</i>	29.28~114.6	2	71.94	ECOTOX 数据库
黄鲈鱼	<i>Perca flavescens</i>	36.3	1	36.3	ECOTOX 数据库
虹鳟鱼	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	0.57~69	20	27.7	ECOTOX 数据库
黄颡鱼稚鱼	<i>Pelteobagrus fulvidraco</i>	57.98	1	57.98	本试验
黄颡鱼仔鱼	<i>Pelteobagrus fulvidraco</i>	15.79	1	15.79	本试验
大型蚤	<i>Daphnia magna</i>	0.015~1.8	39	0.285	ECOTOX 数据库
蚤状蚤	<i>Daphnia pulex</i>	0.045~0.195	22	0.116	ECOTOX 数据库
鲮鱼仔鱼	<i>Arisichthys nobili</i>	10.7	1	10.7	叶素兰,余治平 ^[11]
鲢鱼仔鱼	<i>Michthys miuiy</i>	3.649	1	3.649	柳敏海,陈波,等 ^[12]
青虾	<i>Macrobrachium nipponensis</i>	2.241	1	2.241	吕耀平,李小玲,等 ^[13]
罗氏沼虾仔虾	<i>Macrobrachium rosenbergii</i>	0.114	1	0.114	江敏,臧维玲,等 ^[14]

究,受试鱼的大小规格不同,个体大小不同则其对污染物的耐受能力也就不同,采用仔鱼、稚鱼还是成鱼进行毒性试验结果必然有差异。这也是同一重金属离子对相同物种毒性效应数据不同的主要原因。

鱼类的早期发育阶段是其整个生活史中对各种污染物最为敏感的阶段,用以作为急性毒性试验具有快速、敏感、经济有效等特点。本试验通过研究六价铬对仔鱼和稚鱼的急性毒性,获得了六价铬的 96 h LC_{50} 值对仔鱼是 $15.79 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 对稚鱼是 $57.98 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,稚鱼约为仔鱼的 3.67 倍,说明不同规格的相同鱼种,其对污染物毒性的响应也是不同的。总体上毒物的毒性是随鱼龄增大而降低的。这主要是因为随着鱼龄的增加,其对毒物的耐受度提高。六价铬对黄颡鱼仔鱼的急性毒性 96 h LC_{50} 与文献报道的对鳊鱼仔鱼的 $10.7 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和鲢鱼仔鱼的 $3.649 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 相差不大,都处在同一个数量级。

基于此,在试验室进行毒性效应研究时也应尽量以仔鱼进行毒性试验,以避免采用稚鱼及成鱼测得的毒性数据偏大的问题。在推导水质基准数据筛选过程中,也应尽量选择有早期生命阶段的生物数据,这样推导出的水质基准才能对水生生物的安全提供更加有效的保护。

3.3 六价铬对黄颡鱼急性毒性的安全性评价

目前,国内关于化学品对生物毒性的安全性评价尚没有统一的标准。根据对黄颡鱼急性毒性试验结果依据国家环保局的水和废水监测分析方法(第四版)^[15]中的鱼类急性毒性分级标准(表 4),可以看出六价铬对黄颡鱼的危害等级属于中等毒性。按照公式(2)计算得到的六价铬对黄颡鱼仔鱼和稚鱼推导的安全质量浓度分别为 $1.579 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $5.798 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。当然,要想更全面地综合评价六价铬对于水生生态系统的安全性,还必须结合低浓度长期暴露条件下所产生的慢性毒性效应以及对食物链中处于不同等级生物的生态毒性效应进行综合评价。

表 4 鱼类急性毒性分级标准^[15]

Table 4 Fish acute virulence classification standard

96 h $LC_{50}/\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	<1	1~10	10~100	>100
毒性分级	极毒	高毒	中毒	低毒

4 结论

六价铬对黄颡鱼仔鱼 24、48、72、96 h 的 LC_{50} 分别为 28.32、21.99、17.70、 $15.79 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$;对稚鱼 24、48、

72、96 h 的 LC_{50} 分别为 138.5、88.36、68.55、 $57.98 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$; 污染物对鱼类的毒性效应是随鱼龄增大而减小的,试验中应尽量使用小规格的鱼苗开展鱼类急性毒性效应的研究;黄颡鱼仔鱼和稚鱼得到的六价铬安全质量浓度分别为 $1.579 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $5.798 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$; 对比鱼类急性毒性分级标准,六价铬对黄颡鱼的急性毒性属于中等毒性。

从半数致死浓度、安全质量浓度等方面研究了六价铬对黄颡鱼幼鱼的急性毒性效应,取得了一些重要信息,为评价重金属铬对水生生物的影响,推导保护水生生物的水质基准提供了有关本土生物毒性效应的基础数据。

参考文献:

- [1] 周文敏,傅德黔,孙宗光. 中国水中优先控制污染物黑名单的确定[J]. 环境科学研究, 1991, 4(6):9-12.
ZHOU Wen-min, FU De-qian, SUN Zong-guang. Determination of black list of China's priority pollutants in water[J]. *Research of Environmental Sciences*, 1991, 4(6):9-12.
- [2] Svecovicus G. Acute toxicity of hexavalent chromium to European freshwater fish[J]. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 2006, 77(5):741-747.
- [3] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法[M]. 第四版. 北京:中国环境科学出版社, 2002:344.
Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China. Water and exhausted water monitoring analysis method[M]. The forth edition. Beijing:China Environmental Science Press, 2002:344.
- [4] Mishra A K, Mohanty B. Acute toxicity impacts of hexavalent chromium on behavior and histopathology of gill, kidney and liver of the freshwater fish, *Channa punctatus* (Bloch) [J]. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 2008, 26(2):136-141.
- [5] 孟 伟,张 远,郑丙辉. 水环境质量基准、标准与流域水污染物总量控制策略[J]. 环境科学研究, 2006, 19(3):1-6.
MENG Wei, ZHANG Yuan, ZHENG Bing-hui. The quality criteria, standards of water environment and the water pollutant control strategy on watershed[J]. *Research of Environmental Science*, 2006, 19(3):1-6.
- [6] 周启星,罗 义,祝凌燕. 环境基准值的科学研究与我国环境标准的修订[J]. 农业环境科学学报, 2007, 26(1):1-5.
ZHOU Qi-xing, LUO Yi, ZHU Ling-yan. Scientific research on environmental benchmark values and revision of national environmental standards in China[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2007, 26(1):1-5.
- [7] 周启星,王如松. 乡村城镇化水污染的生态风险及背景警戒值的研究[J]. 应用生态学报, 1997, 8(3):309-313.
ZHOU Qi-xing, WANG Ru-song. Ecological risk and background warning values of water pollution from rural uranization [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1997, 8(3):309-313.
- [8] GB/T 13267—1991 水质 物质对淡水鱼(斑马鱼)急性毒性测定方法[S]. 1991.

- GB/T 13267—1991, Water quality: Determination of the acute toxicity of substance to a freshwater fish (*Brachydanio rerio hamilton-Buchanan*) [S]. 1991.
- [9] OECD TG 203, OECD guideline for testing of chemical. Fish, Acute Toxicity Test[S]. 1992.
- [10] 国家环境保护局. 水生生物监测手册[M]. 南京: 东南大学出版社, 1993: 192–202.
- State Environmental Protection Administration of China. Handbook of aquatic superintendent[M]. Nanjing: Southeast University Press, 1993: 192–202.
- [11] 叶素兰, 余治平. Cu^{2+} 、 Pb^{2+} 、 Cd^{2+} 、 Cr^{6+} 对鳙胚胎和仔鱼的急性致毒效应[J]. 水产科学, 2009(5): 263–267.
- YE Su-lan, YU Zhi-ping. Acute Toxicity of Cu^{2+} , Pb^{2+} , Cd^{2+} , Cr^{6+} bryos and larvae of Bighead Carp *Aristichthys nobilis*[J]. *Fisheries Science*, 2009(5): 263–267.
- [12] 柳敏海, 陈波, 罗海忠, 等. 五种重金属对早繁鳊鱼胚胎和仔鱼的毒性效应[J]. 海洋渔业, 2007, 29(1): 57–62.
- LIU Min-hai, CHEN Bo, LUO Hai-zhong, et al. Toxic effects of five heavy metals on the embryos and larvae of *Michthys miiuy* Basilewsky during early developing stages[J]. *Mane Fisheties*, 2007, 29(1): 57–62.
- [13] 吕耀平, 李小玲, 贾秀英. Cr^{6+} 、 Mn^{7+} 和 Hg^{2+} 对青虾的毒性和联合毒性研究[J]. 上海水产大学学报, 2007, 16(6): 549–554.
- LV Yao-ping, LI Xiao-ling, JIA Xiu-ying. Study on the acute toxicity and joint toxicity of Cr^{6+} , Mn^{7+} and Hg^{2+} on the *Macrobrachium nipponense*[J]. *Journal of Shanghai Fisheriesuniversity*, 2007, 16(6): 549–554.
- [14] 江敏, 臧维玲, 姚庆祯, 等. 四种重金属对罗氏沼虾仔虾的毒性作用[J]. 上海水产大学学报, 2002, 11(3): 203–207.
- JIANG Min, ZANG Wei-ling, YAO Qing-zhen, et al. The toxicity of four heavy metals on *Macrobrachium rosenbergii* postlarva[J]. *Journal of Shanghai Fisheries University*, 2002, 11(3): 203–207.
- [15] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法 [M]. 第四版. 北京: 中国环境科学出版社, 2002: 728.
- Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China. Water and exhausted water monitoring analysis method[M]. The forth edition. Beijing: China Environmental Science Press, 2002: 728.

欢迎订阅

2011年《农业环境与发展》

《农业环境与发展》创刊于1984年,农业部主管、农业部环境保护科研监测所与中国农业生态环境保护协会联合主办的国家级综合指导类科技期刊,为中国农业核心期刊。传播农业可持续发展新思想、新观点、新方略,倡导农业生产、农民生活、农村生态协调发展理念,多视角、多层次、多学科地反映食品安全与健康、资源开发与利用、环境污染与防治、农业清洁生产与农村循环经济等热点问题,直接面向农业、环保、食品、能源、卫生等领域的科研、教学、生产、管理、技术推广人员与大众读者。同时,《农业环境与发展》将在重要版面上宣传各地农业环境保护成就。欢迎大家踊跃投稿,欢迎刊登广告。

《农业环境与发展》为双月刊,大16开,96页,逢双月25日出版,刊号ISSN 1005-4944, CN 12-1233/S, 全国发行,各地邮电局(所)均可订阅,邮发代号6-40,2011年每册定价12.00元,全年72.00元。有漏订者可直接与编辑部联系订阅。本刊现有过刊合订本,需订购者请与本刊编辑部联系。

编辑部地址:天津市南开区复康路31号

邮政编码:300191

电话:022-23006206

传真:022-23006209

电子信箱:caed@vip.163.com

网址:www.aed.org.cn

