

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

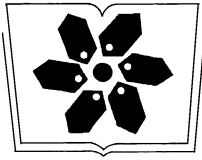
Acta Ecologica Sinica



第32卷 第7期 Vol.32 No.7 **2012**

中国生态学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 32 卷 第 7 期

2012 年 4 月 (半月刊)

目次

城市生态景观研究的基础理论框架与技术构架	孙然好, 许忠良, 陈利顶, 等 (1979)
拟南芥芥子酸酯对 UV-B 辐射的响应	李 敏, 王 垠, 牟晓飞, 等 (1987)
蛋白核小球藻对 Pb(II) 和 Cd(II) 的生物吸附及其影响因素	姜 晶, 李 亮, 李海鹏, 等 (1995)
梨枣在果实生长期对土壤水势的响应	韩立新, 汪有科, 张琳琳 (2004)
产业生态系统资源代谢分析方法	施晓清, 杨建新, 王如松, 等 (2012)
基于物质流和生态足迹的可持续发展指标体系构建——以安徽省铜陵市为例	 赵卉卉, 王 远, 谷学明, 等 (2025)
河北省县域农田生态系统供给功能的健康评价	白琳红, 王 卫, 张 玉 (2033)
温郁金内生真菌 <i>Chaetomium globosum</i> L18 对植物病原菌的抑菌谱及拮抗机理	 王艳红, 吴晓民, 朱艳萍, 等 (2040)
基于稳定碳同位素技术的华北低丘山区核桃-小麦复合系统种间水分利用研究	 何春霞, 孟 平, 张劲松, 等 (2047)
云贵高原喀斯特坡耕地土壤微生物量 C、N、P 空间分布	张利青, 彭晚霞, 宋同清, 等 (2056)
水稻根系通气组织与根系泌氧及根际硝化作用的关系	李奕林 (2066)
苹果绵蚜对不同苹果品种春梢生长期生理指标的影响	王西存, 于 毅, 周洪旭, 等 (2075)
磷高效转基因大豆对根际微生物群落的影响	金凌波, 周 峰, 姚 涓, 等 (2082)
基于 MODIS-EVI 数据和 Symlet11 小波识别东北地区水稻主要物候期	 徐岩岩, 张佳华, YANG Limin (2091)
基于降水利用比较分析的四川省种植制度优化	王明田, 曲辉辉, 杨晓光, 等 (2099)
气候变暖对东北玉米低温冷害分布规律的影响	高晓容, 王春乙, 张继权 (2110)
施肥对巢湖流域稻季氨挥发损失的影响	朱小红, 马中文, 马友华, 等 (2119)
丛枝菌根真菌对枳根净离子流及锌污染下枳苗矿质营养的影响	肖家欣, 杨 慧, 张绍铃 (2127)
不同 R:FR 值对菊花叶片气孔特征和气孔导度的影响	杨再强, 张 静, 江晓东, 等 (2135)
神农架海拔梯度上 4 种典型森林凋落物现存量及其养分循环动态	刘 蕾, 申国珍, 陈芳清, 等 (2142)
黄土高原刺槐人工林地表凋落物对土壤呼吸的贡献	周小刚, 郭胜利, 车升国, 等 (2150)
贵州雷公山秃杉种群生活史特征与空间分布格局	陈志阳, 杨 宁, 姚先铭, 等 (2158)
LAS 测算森林冠层上方温度结构参数的可行性	郑 宁, 张劲松, 孟 平, 等 (2166)
基于 RS/GIS 的重庆缙云山自然保护区植被及碳储量密度空间分布研究	 徐少君, 曾 波, 苏晓磊, 等 (2174)

模拟氮沉降增加对寒温带针叶林土壤 CO₂ 排放的初期影响 温都如娜,方华军,于贵瑞,等 (2185)

桂江流域附生硅藻群落特征及影响因素..... 邓培雁,雷远达,刘 威,等 (2196)

小浪底水库排沙对黄河鲤鱼的急性胁迫..... 孙麓垠,白音包力皋,牛翠娟,等 (2204)

上海池塘养殖环境成本——基于双边界二分式 CVM 法的实证研究 唐克勇,杨正勇,杨怀宇,等 (2212)

稻纵卷叶螟绒茧蜂对寄主的搜索行为 周 慧,张 扬,吴伟坚 (2223)

农林复合系统中灌木篱墙对异色瓢虫种群分布的影响..... 严 飞,周在豹,王 朔,等 (2230)

苹果脱乙酰几丁质发酵液诱导苹果叶片对斑点落叶病的早期抗性反应.....
..... 王荣娟,姚允聪,戚亚平,等 (2239)

专论与综述

气候变化影响下海岸带脆弱性评估研究进展..... 王 宁,张利权,袁 琳,等 (2248)

外来红树植物无瓣海桑引种及其生态影响 彭友贵,徐正春,刘敏超 (2259)

问题讨论

城市污泥生物好氧发酵对有机污染物的降解及其影响因素..... 余 杰,郑国砥,高 定,等 (2271)

4 种绿化树种盆栽土壤微生物对柴油污染响应及对 PAHs 的修复 闫文德,梁小翠,郑 威,等 (2279)

研究简报

云南会泽铅锌矿废弃矿渣堆常见植物内生真菌多样性..... 李东伟,徐红梅,梅 涛,等 (2288)

南方根结线虫对不同砧木嫁接番茄苗活性氧清除系统的影响 梁 朋,陈振德,罗庆熙 (2294)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 322 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 37 * 2012-04



封面图说: 站立的仓鼠——仓鼠为小型啮齿类动物,栖息于荒漠、荒漠草原等地带的洞穴之中。白天他们往往会躲在洞穴中睡觉和休息,以避开天敌的攻击,偶尔也会出来走动,站立起来警惕地四处张望。喜欢把食物藏在腮的两边,然后再走到安全的地方吐出来,由此得仓鼠之名。它们的门齿会不停的生长,所以它们的上下门齿必须不断啃食硬东西来磨牙,一方面避免门齿长得太长,妨碍咀嚼,一方面保持门牙的锐利。仓鼠以杂草种子、昆虫等为食。

彩图提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201108081161

孙麓垠, 白音包力皋, 牛翠娟, 李陈. 小浪底水库排沙对黄河鲤鱼 的急性胁迫. 生态学报, 2012, 32(7): 2204-2211.

Sun L Y, Baiyinbaoligao, Niu C J, Li C. Acute stress caused by sand discharging on Yellow River Carp (*Cyprinus carpio*) in Xiaolangdi Reservoir. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(7): 2204-2211.

小浪底水库排沙对黄河鲤鱼的急性胁迫

孙麓垠¹, 白音包力皋², 牛翠娟^{1,*}, 李 陈¹

(1. 生物多样性与生态工程教育部重点实验室, 北京师范大学生命科学学院, 北京 100875;

2. 中国水利水电科学研究院, 北京 100038)

摘要:为探讨黄河小浪底水库排沙过程中出现“流鱼”现象的原因, 在水库排沙开始前和过程中以黄河鲤鱼为对象进行了生理生态观测。结果显示, 相对于对照组, 排沙组的黄河鲤鱼消化道充塞系数显著下降 ($P < 0.001$), 消化道内容物含沙质量比率显著上升 ($P < 0.001$); 肝脏总抗氧化能力显著上升 ($P = 0.036$), 而脾脏总抗氧化能力显著下降 ($P = 0.017$); 肝过氧化氢酶 CAT 活性显著上升 ($P = 0.035$); 肾脏超氧化物歧化酶 SOD 活性显著下降 ($P = 0.038$); 肝脏、脾脏丙二醛 MDA 含量显著下降 (肝脏: $P = 0.039$; 脾脏: $P = 0.027$); 鳃丝钠钾 ATP 酶活性显著下降 ($P = 0.001$); 血清乳酸 LD 含量显著上升 ($P = 0.019$); 肝脏乳酸脱氢酶 LDH 活性显著下降 ($P = 0.001$); 推测高含沙水流对黄河鲤鱼造成的急性缺氧应激是导致小浪底水库排沙过程中“流鱼”现象的主要原因之一。

关键词:小浪底水库; 黄河鲤鱼; 排沙; 胁迫

Acute stress caused by sand discharging on Yellow River Carp (*Cyprinus carpio*) in Xiaolangdi Reservoir

SUN Luyin¹, Baiyinbaoligao², NIU Cuijuan^{1,*}, LI Chen¹

1 College of Life Sciences, Beijing Normal University, Beijing, China

2 China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing, China

Abstract: The Xiaolangdi reservoir is one of the biggest reservoirs on the Yellow River which plays a very important role in regulating the environment about the river. Because the riverbed downstream is getting higher and higher with time elapses, special Sediment-Flushing-Process has to be taken annually since 2002. During this process, however, there are usually large-scale of “flowing fish” in Yellow River which has been ignored by the authority for some time already. Based on the related reports and our pre-investigation, Yellow River Carp *Cyprinus carpio*, which is one of the most important commercial fish in Yellow River, is one of the main species that suffers from the process. In order to investigate the internal causations of the “flowing fish” phenomena, we collected 6 samples for the control group ((872.9±59.97) g, Mean±SD) before the process and 6 samples for the experimental group ((765.7±93.37) g) during the process. The sampling location was on the shore 3km downstream to the Dam. All the 12 fish was killed immediately after collection and dissected on the spot, some physical index such as the length and the weight were measured, and the alimentary canal was fixed in the alcohol (95% v/v). In addition, the plasma and some related organs (liver, spleen, kidney and gill) were put into the liquid nitrogen and then were transported back to our laboratory and kept in the low-temperature refrigerator with the temperature -80°C. After that, the physiological changes of *C. carpio* during the sediment flushing process were determined in the laboratory. Comparing with the control group that was collected before the sand discharging, fish collected during the

基金项目: 国家自然科学基金项目 (50879092)

收稿日期: 2011-08-08; 修订日期: 2012-02-14

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: cjniu@bnu.edu.cn

process of the sediment flushing showed significant physiological changes: their gastrointestinal filling index was significantly lower ($P < 0.001$), while the proportion of sand weight in the alimentary canal was much higher ($P < 0.001$); Hepatic total antioxidant capacity (T-AOC) ($P = 0.036$) and catalase (CAT) ($P = 0.035$) activity were significantly higher, but T-AOC activity in spleen ($P = 0.017$) and superoxide dismutase (SOD) activity in kidney were significantly lower ($P = 0.038$); Malonaldehyde (MDA) content in liver ($P = 0.039$) and spleen ($P = 0.027$) were significantly lower. For the experimental fish, the activity of Na^+/K^+ ATP enzyme in gill was markedly lower ($P = 0.001$), while the content of lactic acid (LD) in serum was much higher ($P = 0.019$) and the activity of lactate dehydrogenase (LDH) in liver was significantly lower ($P = 0.001$). Therefore, the acute hypoxia caused by the rapid flowing water with high sediment concentration may be one of the dominant reasons for “flowing fish” during the sediment flushing process in Xiaolangdi reservoir. To the best of our knowledge, this was the first report to evaluate the acute stress effects on fish during the process of sediment flushing in reservoir. It is a correct decision that this method of regulating the river has been taken into effect and has been contributing to the environment. What we propose is that some index about this process such as the sand content should be paid more attention. So that the environment in the river could be keep balanced while the process itself could also play the important role about sand discharging efficiently and smoothly.

Key Words: Xiaolangdi Reservoir; *Cyprinus carpio*; sediment flushing; acute stress

为了防止泥沙淤积和下游河床持续抬高,小浪底水库 2002 年开始进行排沙。在排沙时期,随着下游河流含沙量的增大和排沙时间的持续,黄河中会出现一些鱼类死亡或昏迷漂浮在河面的现象,当地人称为“黄河流鱼”。黄河鲤鱼(*Cyprinus carpio*)是黄河中的重要经济鱼类,适应性较强,多生于水的下层,食性较杂,据相关新闻报道和前期调查,黄河鲤鱼几年来一直是排沙时“流鱼”的主要组成鱼类之一。

Staub 认为水库排沙对鱼类产生影响的主要因素是水流缺氧问题^[1]。Merle 按空间和时间尺度分析水库排沙对河流生态要素的影响程度,发现低溶氧(小于 2 mg/L)比高浓度悬浊物(高于 30 g/L)更容易造成环境问题^[2]。木下等发现泥沙堵塞鱼鳃进而影响鱼类的气体交换^[3-4]。村冈对香鱼(*Plecoglossus altivelis*)、山女鳟(*Oncorhynchus masou masou*)、钝头杜父鱼(*Cottus pollux*)等几种鱼类进行耐含沙量胁迫实验,发现同样的含沙量对不同种鱼的影响程度不同^[5]。

水中较高的含沙量除了可能会对鱼类产生机械损伤外,更可能造成鱼类的急性缺氧胁迫。组织细胞缺氧会造成机体能量供应不足,组织无氧呼吸增强,机体自由基产生与抗氧化防御系统作用的动态平衡失调,使体内自由基代谢紊乱,对机体造成损伤^[6-7]。生物体的抗氧化防御体系包括酶促和非酶促两个体系,其中超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)等都是机体重要的抗氧化酶^[8-9]。

排沙过程中,鱼类会遭受流速、水浑浊度、溶解氧等水环境的急剧变化^[2]。黄河小浪底水库现在的排沙法仅采用了几年时间,目前还没有关于这种方法对当地生境,特别是对当地鱼类影响的研究。本研究旨在探讨水库排沙这种水环境的急剧变化对其中生活的典型鱼类——黄河鲤鱼的影响,以期排沙操作的环境影响评估提供基础数据。

1 材料及方法

1.1 采样过程、方法

小浪底水库排沙之前(2010 年 7 月 2 日),在其下游 3 km 处采集正常生活的黄河鲤鱼 6 条(平均体重 $872.9\text{g} \pm 59.97\text{g}$)、作为对照组。在排沙开始,水中溶解氧迅速下降之后,于 2010 年 7 月 4 日 14:00—18:00 采集发生“流鱼”的黄河鲤鱼 6 条(平均体重 $765.7\text{g} \pm 93.37\text{g}$)作为实验(排沙)组。

对照组和实验组均在野外采集后迅速处死,进行形态观察、测量,并解剖,取血放入冰盒,取消化道等 95% 酒精固定,最后将血浆和肝脏、脾脏、肾脏等器官于液氮保存,运回实验室于 $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冰箱保存,在实验室进行生理实验分析。

1.2 实验及数据统计方法

形态观察、测量等在取样地立刻进行。用工程卷尺测量体长,用天平测量体重。消化道内容物及食性研究在实验室通过光学显微镜和实体镜进行。其中,出现率=出现该类食物的鱼的数量/样本鱼总数;肠管充塞指数,本研究分为6个等级。0级:空肠管或有极少食物;1级:食物占肠管的1/5;2级:食物占肠管的2/5;3级:食物占肠管的3/5;4级:食物占肠管的4/5;5级:食物十分饱满。之后取消化道内容物用电子天平称重,放入离心管中,3000 r/min离心2 min,静置分层。沙子比重最大,在最底层。将其上层的内容物取走,将剩余物干燥,再用电子天平称重;含沙质量比率=(消化道沙重/消化道内容物总重) $\times 100\%$

组织及血清样本相关酶的活性和物质含量测定采用南京建成生物工程研究所相关试剂盒测定,紫外可见分光光度计测定吸收值;每个样本设置2—3个平行。

使用SPSS13.0统计软件进行统计分析,经检验,本研所得数据均符合正态分布,并满足参数检验条件。使用独立样本 *T* 检验 (*T*-test, 2个独立样本) 检测统计学差异,显著性水平设置为 $P=0.05$ 。

2 结果

2.1 相关水文数据

相关水文数据在排沙现场测定。含沙量从排沙初始迅速增加,由2010年7月4日12:30的 6.7 kg/m^3 增加至2010年7月4日21:00的 302 kg/m^3 ,然后逐渐下降。溶解氧在排沙期间剧烈下降,由排沙初期(2010年7月4日12:30)的 8.6 mg/L 左右下降至2010年7月4日15:00的 0.49 mg/L ,见图1。溶氧浓度与含沙量之间呈现明显的负相关变动趋势。

2.2 消化道内容物及食性研究

2.2.1 消化道充塞指数

如图2所示,排沙组鲤鱼的消化道充塞指数显著低于对照组($df=10$, $P<0.001$)。

2.2.2 消化道内容物含沙质量比率:

如图3所示,鲤鱼排沙组的消化道内容物含沙质量比率显著高于对照组($df=10$, $P<0.001$)。

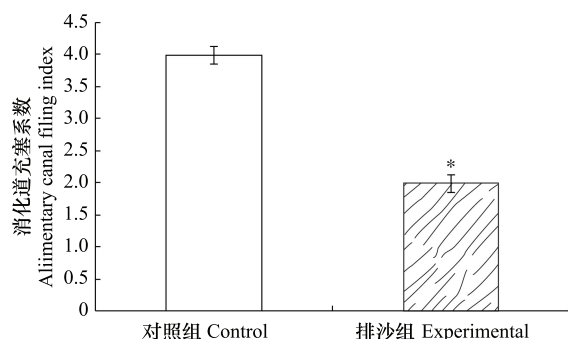


图2 排沙前后鲤鱼消化道充塞指数的变化 (MEAN $\pm$ SE, *表示 $P<0.05$)

Fig.2 The change of alimentary canal filling index during the sand discharging process (MEAN $\pm$ SE, * $P<0.05$)

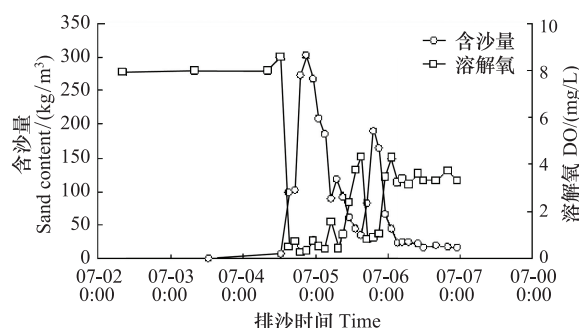


图1 小浪底水库排沙时期下游水体含沙量与溶解氧变化过程
Fig.1 The changing process of sediment content and dissolved oxygen in the downstream river during the sediment flushing at Xiaolangdi Reservoir in 2010

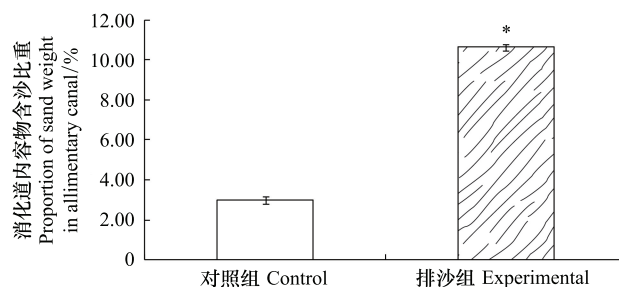


图3 排沙前后鲤鱼消化道含沙质量比率的变化 (MEAN $\pm$ SE, * $P<0.05$)

Fig.3 Change of the proportion of sand weight in alimentary canal during the sand discharging process (MEAN $\pm$ SE, * $P<0.05$)

2.2.3 野生黄河鲤鱼食性观测

对所有鲤鱼消化道相对膨大处内容物进行镜检,统计各种食物出现率,结果如表1。

表 1 小浪底大坝下游地区黄河鲤鱼食性分析

Table 1 The analysis of the feeding habits of *Cyprinus carpio* downstream to Xiaolangdi Dam in the Yellow River

	动物性食物 Animal								植物性食物 Plant		
	原生动物 Protozoa	轮虫类 Rotifers	桡足类 Copepods	枝角类 Cladocera	甲壳类 Crustaceans	昆虫类 Insects	软体动物 Molluscs	鱼类 Fish	浮游植物 Phytoplankton	植物种子 Spermatophyte	高等植物 Higher plant
出现次数 Times	1	1	1	2	3	7	4	3	3	5	6
出现率/% Rate	8.33	8.33	8.33	16.67	25	58.3	33.3	25	25	41.17	50

2.3 排沙对鲤鱼 生理功能的影响

2.3.1 肝脏、脾脏总抗氧化能力(T-AOC)

如图 4 所示,排沙组鲤鱼肝脏总抗氧化能力显著高于对照组(独立样本 t 检验, $df=10, P=0.036$),脾脏总抗氧化能力显著低于对照组($df=10, P=0.017$)。

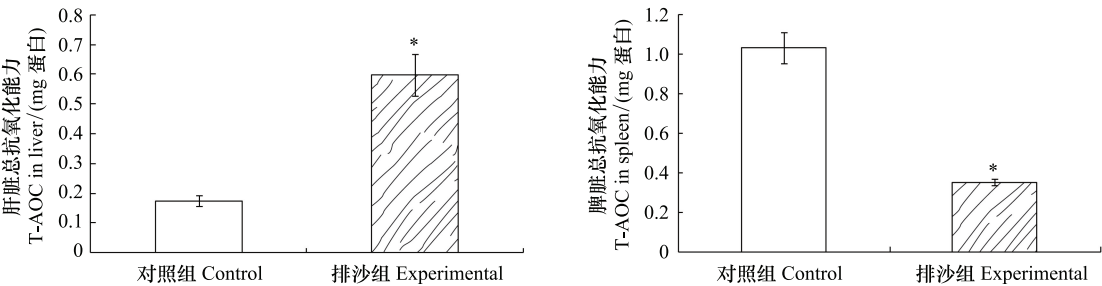


图 4 排沙前后鲤鱼肝脏、脾脏总抗氧化能力的变化 (MEAN±SE, * $P<0.05$)

Fig. 4 The change of T-AOC in Liver and Spleen during the sand discharging process (MEAN±SE, * $P<0.05$)

2.3.2 肝脏过氧化氢酶(CAT)活性

如图 5 所示:排沙组鲤鱼 CAT 活性显著高于对照组(独立样本 t 检验, $df=10, P=0.035$)。

2.3.3 肝脏谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-PX)活性

如图 6 所示,鲤鱼肝脏 GPH-PX 活性在空白组和排沙组之间差异不显著(独立样本 t 检验, $df=10, P=0.186$)。

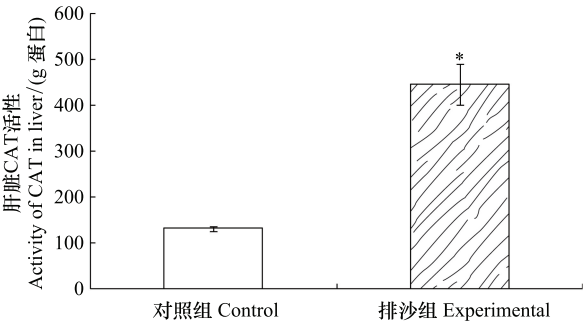


图 5 排沙前后鲤鱼与肝脏 CAT 活性的变化 (MEAN±SE, * $P<0.05$)

Fig. 5 The change of the activity of CAT in Liver during the sand discharging process (MEAN±SE, * $P<0.05$)

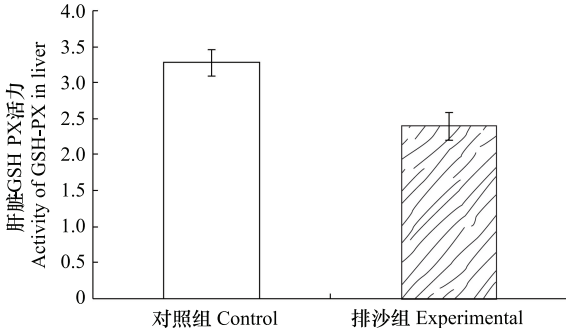


图 6 排沙前后鲤鱼肝脏 GSH-PX 活性的变化 (MEAN±SE, * $P<0.05$)

Fig. 6 The change of the activity of GSH-PX in Liver during the sand discharging process (MEAN±SE, * $P<0.05$)

2.3.4 肝脏、肾脏超氧化物歧化酶(SOD)活性

如图 7 所示,排沙组与对照组肝脏 SOD 活性无显著差异(独立样本 t 检验, $df=10, P=0.434$),肾脏总

SOD 活性显著低于对照组 ($df=10, P=0.038$)。

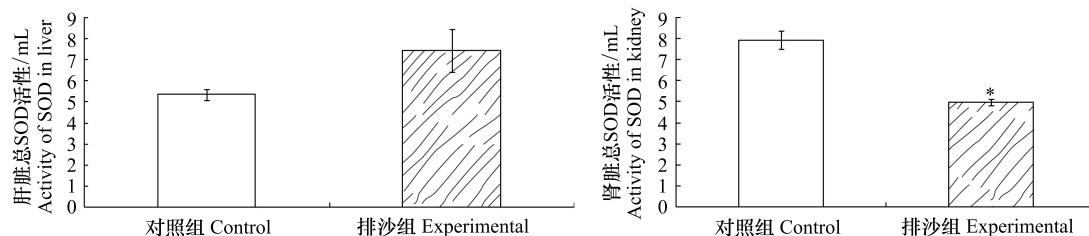


图7 排沙前后鲤鱼肝脏、肾脏总 SOD 活性的变化 (MEAN±SE, * $P<0.05$)

Fig. 7 The change of the activity of SOD in Liver and Kidney during the sand discharging process (MEAN±SE, * $P<0.05$)

2.3.5 肝脏、脾脏丙二醛(MDA)含量

如图8所示,排沙组鲤鱼的肝脏和脾脏MDA含量均显著低于对照组(独立样本 t 检验, $df=10$, 肝脏 $P=0.039$, 脾脏 $P=0.027$)。

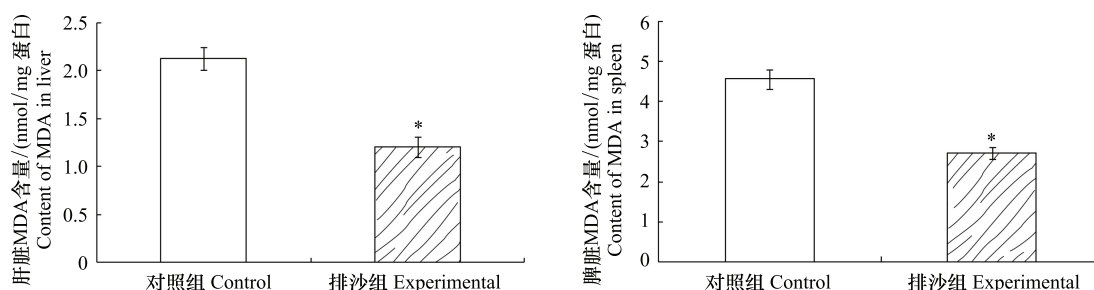


图8 排沙前后鲤鱼肝脏、脾脏MDA含量的变化 (MEAN±SE, * $P<0.05$)

Fig. 8 The change of the content of MDA in Liver and Spleen during the sand discharging process (MEAN±SE, * $P<0.05$)

2.3.6 鳃钠钾ATP酶活性

如图9所示:排沙组的鲤鱼鳃丝钠钾ATP酶活性显著低于对照组(独立样本 t 检验, $df=10, P=0.001$)。

2.3.7 血清乳酸(LD)含量

如图10所示,排沙组鲤鱼血清LD含量显著高于对照组(独立样本 t 检验, $df=10, P=0.019$)。

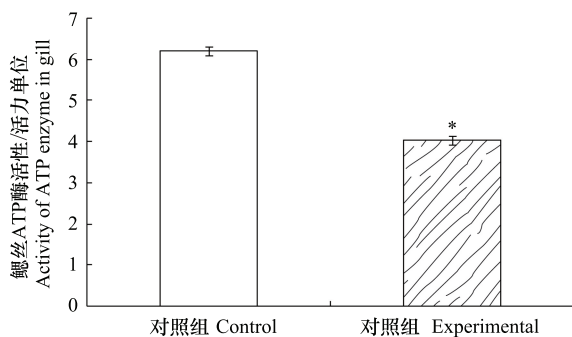


图9 排沙前后鲤鱼鳃丝ATP酶活性的变化 (MEAN±SE, * $P<0.05$)

Fig. 9 The change of the activity of ATP enzyme in Gill between groups during the sand discharging process (MEAN±SE, * $P<0.05$)

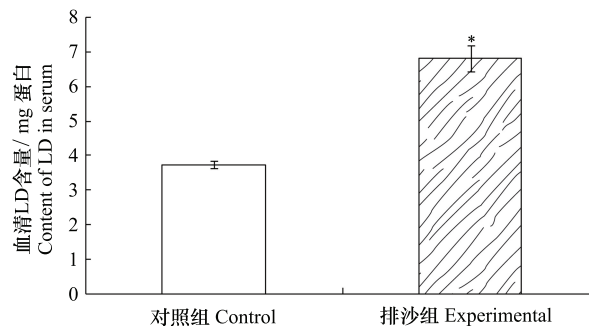


图10 排沙前后鲤鱼血清LD含量的变化 (MEAN±SE, * $P<0.05$)

Fig. 10 The change of the content of LD in serum between groups during the sand discharging process (MEAN±SE, * $P<0.05$)

2.3.8 肝脏乳酸脱氢酶(LDH)活性

如图11所示:排沙组鲤鱼肝脏LDH活性显著低于对照组(数据经独立样本 t 检验, $df=10, P=0.001$)。

3 讨论

3.1 排沙对黄河鲤鱼消化道内容物及食性的影响

本研究排沙组消化道充塞系数显著低于对照组,说明排沙运行对黄河鲤鱼的摄食造成了显著的负面影响。且该过程中大量泥沙进入了鱼体消化道,使其消化道内含沙量较对照显著升高。小浪底水库黄河鲤鱼胃内容物各种食物的种类和比例与王育峰等对 1981—1982 年山东境内黄河鲤鱼的食性研究结果相似^[10],表明黄河鲤鱼在食性上并没有随时间发生很大变化,且对照组与实验组的内容物成分相似,差异主要体现在沙的含量上。

3.2 排沙对黄河鲤鱼生理功能的影响

本研究发现,小浪底水库的排沙过程对黄河鲤鱼的一些生理功能造成了显著影响。动物体的总抗氧化能力(T-AOC)是衡量机体抗氧化酶系统和非酶促系统功能状况的综合性指标^[11]。本研究中,黄河鲤鱼的肝脏和脾脏的 T-AOC 均显著受到排沙过程的影响。张春玲等的研究表明,暴露于一定苯并(a)芘的鲫鱼(*Carassius auratus*)肝脏 T-AOC 水平与苯并(a)芘的浓度呈负相关,且存在一定的时间-剂量-效应关系^[12]。一定浓度亚硝酸钠暴露下的鲫鱼肝脏 T-AOC 随时间出现先升高,后降低的现象^[13]。推测本研究中黄河鲤鱼肝脏 T-AOC 的显著升高是由于急性应激刺激了鲤鱼的抗氧化防御体系造成的,且脾脏与肝脏 T-AOC 的应激反应不同。

过氧化氢酶(CAT)作为抗氧化防御系统的重要组成部分,在清除超氧自由基、 H_2O_2 和过氧化物及阻止或减少羟基自由基形成等方面发挥重要作用^[8]。Syakalima 等报道,在有机氯农药含量较高的河流中,鱼类肝脏 CAT 的活性会因为氧化应激而显著升高^[14]。推测本研究排沙使鲤鱼肝脏 CAT 活性显著上升也是氧化应激导致的。超氧化物歧化酶(SOD)能清除超氧阴离子自由基,保护细胞免受损伤。因此 SOD 对机体的氧化与抗氧化平衡也起着重要作用。本研究发现排沙对黄河鲤鱼肝脏 SOD 活性影响不大,而肾脏 SOD 活性显著下降。Rebecca 等对黄尾平口石首鱼(*Leiostomus xanthurus*)的研究发现,在缺氧状态下,石首鱼肝脏和肌肉的 SOD 活性显著升高^[15]。有研究表明,SOD 可作为水生生物响应环境胁迫的生物标记。当生物受到轻度逆境胁迫时,其活性往往升高;但受到重度逆境胁迫时,其活性通常降低,造成体内活性氧的积累,伤害生物体^[16]。很可能由于黄河鲤鱼在排沙过程中受到一系列高强度环境胁迫,而造成肾脏 SOD 活性下降。

自由基攻击生物膜中的多不饱和脂肪酸,从而引发脂质过氧化作用。脂质过氧化可导致细胞膜流动性降低^[17],线粒体微粒体功能下降,具有细胞毒性、诱发肝细胞坏死和纤维化形成等多种病理效应发生^[18-19]。丙二醛(MDA)是脂质过氧化的最终代谢产物,是反映体内脂质过氧化水平的敏感指标。Vanita 等的研究发现,大鼠(*Rattus Norvegicus*)经低温缺氧暴露后,体内 MDA 水平明显升高,各种抗氧化酶活性也受到影响^[20]。本研究排沙组鲤鱼 MDA 含量反而降低可能是由于排沙胁迫使鱼体产生大量自由基的同时,也激发鱼体产生了强大的抗氧化、清除体内自由基的能力(如本研究中的 T-AOC 结果部分所示),进而使排沙组鲤鱼肝脏 MDA 的含量低于对照组。不同浓度菊酯类农药对黄河鲤鱼肝胰脏 MDA 的影响研究也报道了这种现象^[21]。不过这种现象在其他动物中报道很少,是否是黄河鲤鱼急性应激反应的特点还需要进一步研究。

另外,排沙过程造成的水中溶解氧的下降会导致细胞无氧呼吸的增强。乳酸(LD)是糖类无氧氧化(糖酵解)的代谢产物。乳酸水平高低可反映组织供氧、缺氧的情况。本实验排沙过程使鲤鱼的血清乳酸水平显著升高,说明鲤鱼组织严重供氧不足。而钠钾 ATP 酶作为维持鱼体细胞内外渗透压稳定和进行渗透压调节的关键酶,在物质运送(离子交换等)、能量转换方面具有重要的生理功能^[22]。黄河鲤鱼鳃丝钠钾 ATP 酶活性显著降低意味着排沙过程对鲤鱼的渗透压调节功能和能量代谢产生了一定的负面影响。乳酸脱氢酶(LDH)

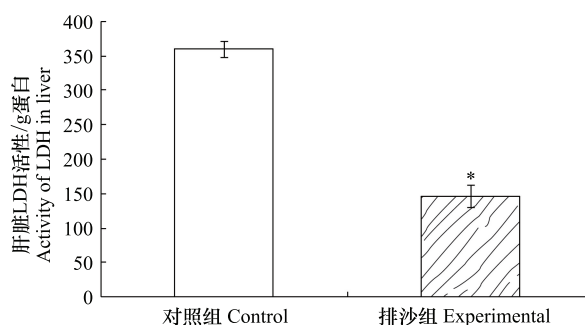


图 11 排沙前后鲤鱼肝脏 LDH 活性的变化 (MEAN $\pm$ SE, * $P < 0.05$)

Fig. 11 The change of the activity of LDH in liver between groups during the sand discharging process (MEAN $\pm$ SE, * $P < 0.05$)

存在于有机体所有组织细胞的胞质内,催化乳酸脱氢生成丙酮酸,对机体的能量代谢具有重要作用。LDH 活性的高低常被用来评价骨骼肌、肝脏等组织无氧代谢的能力^[23]。大鼠经低温缺氧暴露后,体内 LDH 水平明显升高^[20]。缺氧状态下,黄尾平口石首鱼的肝脏 LDH 活性显著升高^[15]。本研究中肝脏 LDH 活性在排沙时显著下降,可能是由于排沙的高强度应激干扰了黄河鲤鱼肝脏的糖酵解机制,而血清中 LD 含量的增加可能是由其他器官或组织的无氧呼吸过程所产生的。

此外,在野外采样时还发现,排沙时捕捞上来的部分鱼类受到了严重的机械损伤,例如鱼头部撞破甚至整个头部缺失等现象,推测是由于排沙时流速的突然增大,鱼类侧线受到严重刺激,身体平衡难以维持,撞到水库下游消力池等建筑时所造成的。由于野外采样特别是排沙时取样的困难,本研究样本量偏小,但由于所得数据均服从正态分布,采用参数检验,且所测指标偏差并不大,认为统计结果是可信的。

4 结论与展望

本研究首次对水库排沙过程中鱼类所受的急性应激进行了观测评估。黄河小浪底高流速、高含沙量的排沙过程对当地重要鱼类——黄河鲤鱼的生理功能等方面造成了严重影响,推测该过程对当地水生生物群落也会产生一定负面作用。建议小浪底水库在保证排沙效率的同时,应更多地关注该过程对当地生境,特别是对水生生物可能造成的影响。

References:

- [1] Staub E. Effects of Sediment Flushing on Fish and Invertebrates in Swiss Alpine Rivers. Toyama: International Workshop and Symposium, 2000: 185-194.
- [2] Merle G. Some Environmental Aspects of Flushing. Toyama: International Workshop and Symposium, 2000: 195-202.
- [3] 木下篤彦, 水山高久, 藤田正治, 澤田豊明, 吉清守. ヒル谷における人為的排砂のイワナへのインパクト. 河川技術論文集, 2001, 7: 363-368
- [4] 木下篤彦, 藤田正治, 田川正朋, 水山高久, 澤田豊明. 排砂に伴う濁りが魚類に与える生理的影響とその評価法. 砂防学会誌, 2005, 58(3): 34-43.
- [5] 村岡敬子, 角哲也. 高濃度の濁りがアユに与える影響について. 第25回土木学会関東支部技術研究発表会, 1998, 7-13: 1048-1049.
- [6] Sarada S K S, Sairam M, Dipti P, Anju B, Pauline T, Kain A K, Sharma S K, Bagawat S, Ilavazhagan G, Kumar D. Role of selenium in reducing hypoxia-induced oxidative stress: an in vivo study. Biomedicine and Pharmacotherapy, 2002, 56(4): 173-178.
- [7] Liu H C, Wu B Y. The injury of hypoxia to animal organs and anti-oxidative levels. Journal of Qinghai University: Natural Science, 2003, 21(5): 5-7.
- [8] Srivastava A, Shivanandappa T. Hepatoprotective effect of the root extract of *Decalepis hamiltonii* against carbon tetrachloride-induced oxidative stress in rats. Food Chemistry, 2010, 118(2): 411-417.
- [9] Li M, Wei X, Long S J, Zhou J F, Xie Y F. Two items' influence on the liver of mouse and the protection given by Vc. Journal of toxicology, 2008, 22(3): 212-214.
- [10] Wang Y F, Yang L B. Resources and biology of the carp (*Cyprinus capio*) in the yellow river in Shandong province. Transaction of Oceanology and Limnology, 1986, (1): 43-46.
- [11] Burton G W, Traber M G. Vitamin E: antioxidant activity, biokinetics, and bioavailability. Annual Review of Nutrition, 1990, 10: 357-382.
- [12] Zhang C L, Hu J F, Wang P W, Wang G T, Liu G Q, Yu S F, Han H F. Effects of B(a)P on T-AOC in liver of *Carassius auratus*. Journal of Environment and Health, 2004, 21(5): 325-32.
- [13] Tan S H, He D Y, Yan F, Liang F. Effects of NaNO₂ on malondialdehyde content and total antioxidative capacity in the liver of *Carassius auratus*. Journal of Agro-Environment Science, 2005, 24(S1): 21-24.
- [14] Syakalima M, Choongo K, Mwenechanya R, Wepener V, Yamasaki M, Maede Y. Pesticide/herbicide pollutants in the Kafue river and a preliminary investigation into their biological effect through catalase levels in fish. Japanese Journal of Veterinary Research, 2006, 54(2/3): 119-128.
- [15] Cooper R U, Clough L M, Farwell M A, West T L. Hypoxia-induced metabolic and antioxidant enzymatic activities in the estuarine fish *Leiostomus xanthurus*. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 2002, 279(1/2): 1-20.
- [16] Xu L H, Zhang Y Y, Chen Y Y. The advances of molecular ecotoxicology and its significance in water environment protection. Acta Hydrobiologica Sinica, 1995, 19(2): 171-185.

- [17] Brunk U T, Terman A. The mitochondrial-lysosomal axis theory of aging: accumulation of damaged mitochondria as a result of imperfect autophagocytosis. *European Journal of Biochemistry*, 2002, 269(8): 1996-2002.
- [18] Ma F Q, Wang A J, Ouyang J P. Effects of Polygonatum on SOD activity and MDA content in hippocampus of aged rat. *Chinese Journal of Modern Drug Application*, 2010, 4(2): 149-150.
- [19] Jiang H Y, Wang C Y, Yang S Z. Effects of tongluo detoxification method on SOD activity, MDA and TGF- β 1 of the mouse. *Chinese Journal of Experimental Traditional Medical Formulae*, 2007, 13(6): 59-60.
- [20] Gupta V, Lahiri S S, Sultana S, Tulsawani R K, Kumar R. Anti-oxidative effect of *Rhodiola imbricata* root extract in rats during cold, hypoxia and restraint (C-H-R) exposure and post-stress recovery. *Food and Chemical Toxicology*, 2010, 48(4): 1019-1025.
- [21] Wang J, Huo J, Cheng H C, Song Y C. Effects of different concentrations of pyrethroid pesticide on acute toxicity and MDA activity of Yellow River carp. *Acta Agriculturae Jiangxi*, 2011, 23(2): 137-139.
- [22] Evans D H, Piermarini P M, Choe K P. The Multifunctional fish gill: dominant site of gas exchange, osmoregulation, acid-base regulation, and excretion of nitrogenous waste. *Physiological Reviews*, 2005, 85(1): 97-177.
- [23] Zhao W M, Hou T D, Cheng F. Effect of temperature on SDH and LDH activities and LD contents in *Elaphe dione*. *Sichuan Journal of Zoology*, 2011, 30(1): 58-60.

参考文献:

- [7] 刘海春, 吴炳英. 缺氧对大鼠器官及抗氧化水平的损伤. *青海大学学报: 自然科学版*, 2003, 21(5): 5-7.
- [9] 李妹, 韦翔, 龙盛京, 周劲帆, 谢云峰. 敌敌畏、辛硫磷和乐果对大鼠肝脏的氧化损伤及维生素 C 的防护作用研究. *毒理学杂志*, 2008, 22(3): 212-214.
- [10] 王育峰, 杨立邦. 山东黄河鲤鱼的生物学及资源状况. *海洋湖沼通报*, 1986, (1): 43-46.
- [12] 张春玲, 胡俊峰, 王丕文, 王桂亭, 刘国庆, 于素芳, 韩惠芬. 苯并(a)芘对鲫鱼肝脏总抗氧化能力的影响. *环境与健康杂志*, 2004, 21(5): 325-32.
- [13] 谭树华, 何典翼, 严芳, 梁芳. 亚硝酸钠对鲫鱼肝脏丙二醛含量和总抗氧化能力的影响. *农业环境科学学报*, 2005, 24(S1): 21-24.
- [16] 徐立红, 张雨元, 陈宜瑜. 分子生态毒理学研究进展及其在水环境保护中的意义. *水生生物学报*, 1995, 19(2): 171-185.
- [18] 马凤巧, 王爱梅, 欧阳静萍. 黄精对衰老大鼠海马组织 SOD 活性及 MDA 含量影响的研究. *中国现代药物应用*, 2010, 4(2): 149-150.
- [19] 江海艳, 王春妍, 杨世忠. 化瘀通络解毒法对肝纤维化大鼠血清超氧化物歧化酶、丙二醛和转化生长因子 β 1 的影响. *中国实验方剂学杂志*, 2007, 13(6): 59-60.
- [21] 王军, 霍军, 程会昌, 宋予震. 不同浓度菊酯类农药对黄河鲤鱼的急性毒性试验和 MDA 活性的影响. *江西农业学报*, 2011, 23(2): 137-139.
- [23] 赵伟民, 侯天德, 程昉. 温度对白条锦蛇 SDH、LDH 活性及 LD 含量的影响. *四川动物*, 2011, 30(1): 58-60.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 32, No. 7 April, 2012 (Semimonthly)

CONTENTS

Theoretical framework and key techniques of urban ecological landscape research	SUN Ranhao, XU Zhongliang, CHEN Liding, et al (1979)
Response of sinapate esters in <i>Arabidopsis thaliana</i> to UV-B radiation	LI Min, WANG Yin, MU Xiaofei, et al (1987)
Biosorption of lead (II) and cadmium (II) from aqueous solution by <i>Chlorella pyrenoidsa</i> and its influential factors	JIANG Jing, LI Liang, LI Haipeng, et al (1995)
Response of pear jujube trees on fruit development period to different soil water potential levels	HAN Lixin, WANG Youke, ZHANG Linlin (2004)
An approach for analyzing resources metabolism of industrial ecosystems	SHI Xiaoqing, YANG Jianxin, WANG Rusong, et al (2012)
Establishment of environmental sustainability assessment indicators based on material flow and ecological footprint model in Tongling City of Anhui Province	ZHAO Huihui, WANG Yuan, GU Xueming, et al (2025)
Health status evaluation of the farmland supply function at county level in Hebei Province	BAI Linhong, WANG Wei, ZHANG Yu (2033)
Inhibition effects and mechanisms of the endophytic fungus <i>Chaetomium globosum</i> L18 from <i>Curcuma wenyujin</i>	WANG Yanhong, WU Xiaomin, ZHU Yanping, et al (2040)
Water use of walnut-wheat intercropping system based on stable carbon isotope technique in the low hilly area of North China	HE Chunxia, MENG Ping, ZHANG Jinsong, et al (2047)
Spatial heterogeneity of soil microbial biomass carbon, nitrogen, and phosphorus in sloping farmland in a karst region on the Yunnan-Guizhou Plateau	ZHANG Liqing, PENG Wanxia, SONG Tongqing, et al (2056)
Relationship among rice root aerenchyma, root radial oxygen loss and rhizosphere nitrification	LI Yilin (2066)
Effects of <i>Eriosoma lanigerum</i> (Hausmann) on physiological indices of different apple cultivars	WANG Xicun, YU Yi, ZHOU Hongxu, et al (2075)
Effects of P-efficient transgenic soybean on rhizosphere microbial community	JIN Lingbo, ZHOU Feng, YAO Juan, et al (2082)
Detecting major phenological stages of rice using MODIS-EVI data and Symlet11 wavelet in Northeast China	XU Yanyan, ZHANG Jiahua, YANG Limin (2091)
Cropping system optimization based on the comparative analysis of precipitation utilization in Sichuan Province	WANG Mingtian, QU Huihui, YANG Xiaoguang, et al (2099)
The impacts of global climatic change on chilling damage distributions of maize in Northeast China	GAO Xiaorong, WANG Chunyi, ZHANG Jiquan (2110)
Effect of fertilization on ammonia volatilization from paddy fields in Chao Lake Basin	ZHU Xiaohong, MA Zhongwen, MA Youhua, et al (2119)
Effects of arbuscular mycorrhizal fungus on net ion fluxes in the roots of trifoliate orange (<i>Poncirus trifoliata</i>) and mineral nutrition in seedlings under zinc contamination	XIAO Jiaxin, YANG Hui, ZHANG Shaoling (2127)
The effect of red:far red ratio on the stomata characters and stomata conductance of <i>Chrysanthemum</i> leaves	YANG Zaiqiang, ZHANG Jing, JIANG Xiaodong, et al (2135)
Dynamic characteristics of litterfall and nutrient return of four typical forests along the altitudinal gradients in Mt. Shennongjia, China	LIU Lei, SHEN Guozhen, CHEN Fangqing, et al (2142)
Aboveground litter contribution to soil respiration in a black locust plantation in the Loess Plateau	ZHOU Xiaogang, GUO Shenli, CHE Shengguo, et al (2150)
Life history and spatial distribution of a <i>Taiwania flousiana</i> population in Leigong Mountain, Guizhou Province, China	CHEN Zhiyang, YANG Ning, YAO Xianming, et al (2158)
The feasibility of using LAS measurements of the turbulence structure parameters of temperature above a forest canopy	ZHENG Ning, ZHANG Jinsong, MENG Ping, et al (2166)
Spatial distribution of vegetation and carbon density in Jinyun Mountain Nature Reserve based on RS/GIS	XU Shaojun, ZENG Bo, SU Xiaolei, et al (2174)
Early nitrogen deposition effects on CO ₂ efflux from a cold-temperate coniferous forest soil	WENDU Runa, FANG Huajun, YU Guirui, et al (2185)
Epilithic diatom assemblages distribution in Gui River basin, in relation to chemical and physiographical factors	DENG Peiyan, LEI Yuanda, LIU Wei, et al (2196)
Acute stress caused by sand discharging on Yellow River Carp (<i>Cyprinus carpio</i>) in Xiaolangdi Reservoir	SUN Luyin, Baiyinbaoligao, NIU Cuijuan, et al (2204)
Environmental cost of pond aquaculture in Shanghai: an empirical analysis based on double-bounded dichotomous CVM method	TANG Keyong, YANG Zhengyong, YANG Huaiyu, et al (2212)
Host searching behaviour of <i>Apanteles cypris</i> Nixon (Hymenoptera: Braconidae) ...	ZHOU Hui, ZHANG Yang, WU Weijian (2223)
The effect of hedgerows on the distribution of <i>Harmonia axyridis</i> Pallas in agroforestry systems	YAN Fei, ZHOU Zaibao, WANG Shuo, et al (2230)
Induction of early resistance response to <i>Alternaria alternata</i> f. sp. <i>mali</i> in apple leaves with apple and chitosan fermentation broth ...	WANG Rongjuan, YAO Yuncong, QI Yaping, et al (2239)
Review and Monograph	
Research into vulnerability assessment for coastal zones in the context of climate change	WANG Ning, ZHANG Liquan, YUAN Lin, et al (2248)
Introduction and ecological effects of an exotic mangrove species <i>Sonneratia apetala</i>	PENG Yougui, XU Zhengchun, LIU Minchao (2259)
Discussion	
Degradation of organic contaminants with biological aerobic fermentation in sewage sludge dewatering and its influencing factors	YU Jie, ZHENG Guodi, GAO Ding, et al (2271)
Remediation of soils contaminated with polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) using four greening tree species	YAN Wende, LIANG Xiaocui, ZHENG Wei, et al (2279)
Scientific Note	
Diversity of endophytic fungi from six dominant plant species in a Pb-Zn mine wasteland in China	LI Dongwei, XU Hongmei, MEI Tao, et al (2288)
Effects of <i>Meloidogyne incognita</i> on scavenging system of reactive oxygen species in tomato seedlings grafted with different rootstocks ...	LIANG Peng, CHEN Zhende, LUO Qingxi (2294)

《生态学报》2012 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的自然科学高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究原始创新性科研成果,特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评介和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,280 页,国内定价 70 元/册,全年定价 1680 元。

国内邮发代号:82-7 国外邮发代号:M670 标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

编辑部主任 孔红梅 执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 32 卷 第 7 期 (2012 年 4 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 7 2012

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100071	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元