

ISSN 1000-0933

CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

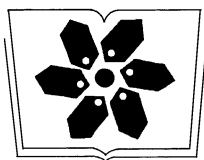
中国生态学会2011年学术年会专辑



第31卷 第19期 Vol.31 No.19 **2011**

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 31 卷 第 19 期 2011 年 10 月 (半月刊)

目 次

卷首语	本刊编辑部 (I)
我国生态学研究及其对社会发展的贡献	李文华 (5421)
生态学的现任务——要在混乱和创新中前进	蒋有绪 (5429)
发展的生态观:弹性思维	彭少麟 (5433)
中国森林土壤碳储量与土壤碳过程研究进展	刘世荣,王 晖,栾军伟 (5437)
区域尺度陆地生态系统碳收支及其循环过程研究进展	于贵瑞,方华军,伏玉玲,等 (5449)
流域尺度上的景观格局与河流水质关系研究进展	刘丽娟,李小玉,何兴元 (5460)
中国珍稀濒危孑遗植物珙桐种群的保护	陈 艳,苏智先 (5466)
水资源投入产出方法研究进展	肖 强,胡 聃,郭 振,等 (5475)
我国害鼠不育控制研究进展	刘汉武,王荣欣,张凤琴,等 (5484)
基于 NDVI 的三江源地区植被生长对气候变化和人类活动的响应研究	李辉霞,刘国华,傅伯杰 (5495)
毛乌素沙地克隆植物对风蚀坑的修复	叶学华,董 鸣 (5505)
近 50 年黄土高原地区降水时空变化特征	王麒麟,范晓辉,王孟本 (5512)
森林资源可持续状况评价方法	崔国发,邢韶华,姬文元,等 (5524)
黄土丘陵区景观格局对水土流失过程的影响——景观水平与多尺度比较	王计平,杨 磊,卫 伟,等 (5531)
未来 10 年黄土高原气候变化对农业和生态环境的影响	俄有浩,施 茜,马玉平,等 (5542)
山东近海生态资本价值评估——近海生物资源现存量价值	杜国英,陈 尚,夏 涛,等 (5553)
山东近海生态资本价值评估——供给服务价值	王 敏,陈 尚,夏 涛,等 (5561)
特大冰冻灾害后大明山常绿阔叶林结构及物种多样性动态	朱宏光,李燕群,温远光,等 (5571)
低磷和干旱胁迫对大豆植株干物质积累及磷效率的影响	乔振江,蔡昆争,骆世明 (5578)
中国环保模范城市生态效率评价	尹 科,王如松,姚 亮,等 (5588)
污染足迹及其在区域水污染压力评估中的应用——以太湖流域上游湖州市为例	焦雯珺,闵庆文,成升魁,等 (5599)
近二十年来上海不同城市空间尺度绿地的生态效益	凌焕然,王 伟,樊正球,等 (5607)
城市社区尺度的生态交通评价指标	戴 欣,周传斌,王如松,等 (5616)
城市生态用地的空间结构及其生态系统服务动态演变——以常州市为例	李 锋,叶亚平,宋博文,等 (5623)
中国居民消费隐含的碳排放量变化的驱动因素	姚 亮,刘晶茹,王如松 (5632)
煤矿固废资源化利用的生态效率与碳减排——以淮北市为例	张海涛,王如松,胡 聃,等 (5638)
城市遮阴环境变化对大叶黄杨光合过程的影响	于盈盈,胡 聃,郭二辉,等 (5646)
广东永汉传统农村的聚落生态观	姜雪婷,严力蛟,后德仟 (5654)
长江三峡库区昆虫丰富度的海拔梯度格局——气候、土地覆盖及采样效应的影响	刘 晔,沈泽昊 (5663)
东南太平洋智利竹筴鱼资源和渔场的时空变化	化成君,张 衡,樊 伟 (5676)
豚草入侵对中小型土壤动物群落结构特征的影响	谢俊芳,全国明,章家恩,等 (5682)

我国烟粉虱早春发生与秋季消退·····	陈春丽, 鄧军锐, 戈 峰, 等 (5691)
变叶海棠及其伴生植物峨眉小檗的水分利用策略 ·····	徐 庆, 王海英, 刘世荣 (5702)
杉木人工林不同深度土壤 CO ₂ 通量·····	王 超, 黄群斌, 杨智杰, 等 (5711)
不同浓度下四种除草剂对福寿螺和坑螺的生态毒理效应·····	赵 兰, 骆世明, 黎华寿, 等 (5720)
短期寒潮天气对福州市绿地土壤呼吸及组分的影响·····	李熙波, 曾文静, 李金全, 等 (5728)
黄土丘陵沟壑区景观格局对流域侵蚀产沙过程的影响——斑块类型水平·····	王计平, 杨 磊, 卫 伟, 等 (5739)
气候变化对物种分布影响模拟中的不确定性组分分割与制图——以油松为例·····	张 雷, 刘世荣, 孙鹏森, 等 (5749)
北亚热带马尾松年轮宽度与 NDVI 的关系 ·····	王瑞丽, 程瑞梅, 肖文发, 等 (5762)
物种组成对高寒草甸植被冠层降雨截留容量的影响·····	余开亮, 陈 宁, 余四胜, 等 (5771)
若尔盖湿地退化过程中土壤水源涵养功能 ·····	熊远清, 吴鹏飞, 张洪芝, 等 (5780)
桂西北喀斯特峰丛洼地不同植被演替阶段的土壤脲酶活性·····	刘淑娟, 张 伟, 王克林, 等 (5789)
利用混合模型分析地域对国内马尾松生物量的影响 ·····	符利勇, 曾伟生, 唐守正 (5797)
火烧对黔中喀斯特山地马尾松林土壤理化性质的影响·····	张 喜, 朱 军, 崔迎春, 等 (5809)
不同培育时间侧柏种基盘苗根系生长和分布·····	杨喜田, 董娜琳, 闫东锋, 等 (5818)
Cd ²⁺ 与 CTAB 复合污染对枫香幼苗生长与生理生化特征的影响 ·····	章 芹, 薛建辉, 刘成刚 (5824)
3 种入侵植物叶片挥发物对早稻幼苗根的影响 ·····	张凤娟, 徐兴友, 郭艾英, 等 (5832)
米槠-木荷林优势种群的年龄结构及其更新策略 ·····	宋 坤, 孙 文, 达良俊 (5839)
褐菖鲉肝 CYP 1A 作为生物标志物监测厦门海域石油污染状况 ·····	张玉生, 郑榕辉, 陈清福 (5851)
基于输入-输出流分析的生态网络 φ 模式能流 ρ 模式能流测度方法 ·····	李中才, 席旭东, 高 勤, 等 (5860)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 444 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 50 * 2011-10



封面图说: 胡杨是我国西北干旱沙漠地区原生的极其难得的高大乔木, 树高 15—30 米, 能忍受荒漠中的干旱环境, 对盐碱有极强的忍耐力。为适应干旱气候一树多态叶, 因此胡杨又称“异叶杨”。它对于稳定荒漠河流地带的生态平衡, 防风固沙, 调节绿洲气候和形成肥沃的森林土壤具有十分重要的作用。秋天的胡杨林一片金光灿烂。

彩图提供: 陈建伟教授 国家林业局 E-mail: cites.chenjw@163.com

张玉生, 郑榕辉, 陈清福. 褐菖鲉肝 CYP 1A 作为生物标志物监测厦门海域石油污染状况. 生态学报, 2011, 31(19): 5851-5859.

Zhang Y S, Zheng R H, Chen Q F. A study on application of hepatic microsomal CYP1A biomarkers from *Sebastiscus marmoratus* to monitoring oil pollution in Xiamen waters. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(19): 5851-5859.

褐菖鲉肝 CYP 1A 作为生物标志物监测厦门海域 石油污染状况

张玉生*, 郑榕辉, 陈清福

(国家海洋局第三海洋研究所, 厦门 361005)

摘要:以褐菖鲉为实验鱼类,以鱼肝微粒体 CYP1A 生物标志物(EROD 活性和 CYP1A 蛋白表达量)为指标,在厦门海域开展了两次野外监测实验,研究 EROD 活性和 CYP1A 蛋白表达量的变化,以及它们与海水和沉积物中石油类和重金属含量之间的相关性。结果表明,在现场属于一类海水的石油类浓度(0.0121—0.0242 mg/L)条件下,石油类就能够显著诱导褐菖鲉肝 EROD 活性和 CYP1A 蛋白表达量,鱼肝 EROD 活性和 CYP1A 蛋白表达量与海水中石油类含量均呈现极显著正相关,CYP1A 蛋白表达量比 EROD 活性较为敏感和稳定。此外,在监测实验中,尚未发现这两种生物标志物受所监测海区的海水和沉积物重金属含量的影响。因此,利用褐菖鲉肝微粒体 EROD 活性和 CYP1A 蛋白表达量作为生物标志物监测海洋石油类及其 PAHs 污染是可行的,在海洋环境石油类污染监测及其生化效应评价中具有重要的应用价值。而且,把这两种生物标志物结合起来加以研究并推广应用将更有意义。

关键词:褐菖鲉; EROD; CYP1A; 生物标志物; 污染监测

A study on application of hepatic microsomal CYP1A biomarkers from *Sebastiscus marmoratus* to monitoring oil pollution in Xiamen waters

ZHANG Yusheng*, ZHENG Ronghui, CHEN Qingfu

Third Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, Xiamen 361005, China

Abstract: Two field experiments were performed for monitoring oil pollution in Xiamen waters by using 2 hepatic CYP1A biomarkers, microsomal EROD activity and CYP1A protein expression level from *Sebastiscus marmoratus*. The inducibility of EROD activity and CYP1A protein expression level and the correlation of CYP1A biomarkers with the concentrations of oil and heavy metals in the seawater and sediment were studied, respectively. The results showed that both the hepatic EROD activity and CYP1A protein expression were highly induced by oil concentrations (0.0121—0.0242 mg/L) in the waters belonging to the first class of seawater quality. Both the biomarkers showed great significant positive correlations with the oil concentrations of the seawater, and CYP1A protein expression was more sensitive and more stable than EROD activity to some content. Additionally, it was not found that both biomarkers were affected by the contents of heavy metals in the seawater and sediment in the present study. Thus, the results indicate that using hepatic EROD activity and CYP1A protein expression of *Sebastiscus marmoratus* as biomarkers is feasible for monitoring oil and its PAH pollution in marine environment and that both the biomarkers are important for monitoring the organic pollution in marine environment and assessing the biochemical effects of the pollution. Moreover, it is better to combine these two biomarkers in an indicator system for further study and application.

基金项目:国家自然科学基金资助项目(40476042;40876053);福建省科技厅重点项目(2009Y0034);国家海洋局第三海洋研究所基本科研业务费专项资金资助项目(2008012)

收稿日期:2011-06-21; 修订日期:2011-07-13

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: ys.zhang@163.com

Key Words: *Sebastiscus marmoratus*; EROD; CYP1A; biomarker; pollution monitoring

石油不仅是全球也是我国海洋环境最主要的有机污染物之一。据报道,世界上每年通过不同途径排入海洋的石油总量为数百万 t 至 1000 万 t, 约占世界石油总产量的 5%^[1]。其主要来源于工业排放, 船舶运输、海上石油开采和溢油事故等。海洋石油类污染具有数量大、扩散快、污染范围广、危害严重等特点, 已经引起了国际社会, 尤其是沿海国家的广泛关注。我国海洋环境质量监测表明, 2009 年全国沿海城市近岸海域石油类含量为未检出至 0.142 mg/L, 样品超标率为 1.5%, 最高的超过二类标准限值 1.8 倍; 厦门近岸海域部份样品超标^[2]。2010 年经长江、黄河、珠江等 66 条主要河流携带入海的石油类污染物高达 8.5 万吨。夏季近岸局部海域水质劣于第四类海水水质标准, 面积约 4.8 万 km²; 石油类是我国海洋环境中三种主要超标污染物中唯一的有机污染物; 部份站位沉积物中的石油类含量劣于第三类海洋沉积物质量标准; 受石油烃等的影响, 12% 监测站位的生物质量劣于第三类海洋生物质量标准^[3]。而且, 近年来我国海域溢油事件频繁发生、特别是重大溢油事件发生频率呈上升趋势。可以预见, 随着我国工农业生产的高速发展、城市化进程加快、海上运输和捕捞业持续发展、海洋石油勘探开发快速发展和溢油事故频繁发生, 石油类仍然将成为今后一个时期我国近海海域少数几种危害最严重的污染物之一。

与哺乳动物类似, 细胞色素 P450 加单氧酶 (cytochrome P450 monooxygenase, CYP MO) 是鱼类体内解毒过程中发挥十分重要作用的一组异构酶系, 其中催化进入生物体内的石油类和多环芳烃 (polycyclic aromatic hydrocarbons, PAHs) 等有机外源性物质进行生物转化的细胞色素 P450 加单氧酶是细胞色素 P450 1A (Cytochrome P450 1A, CYP1A), 它包括 CYP1A1 和 CYP1A2 两种亚型, 通常用 7-乙氧基异吩恶唑-O-脱乙基酶 (7-Ethoxyresorufin-O-deethylase, EROD) 的活性表示对 CYP1A1 的诱导作用。

鱼类 CYP1A 生物标志物监测技术的建立是国际上近 30a 来海洋污染生物监测技术史上的重要里程碑。与传统的以生理功能、个体形态特征和群落数量变化为指标的生物监测技术相比, 它具有效应更快, 灵敏度更高和特异性强的优点^[4-5], 可作为监测污染造成个体、种群和生态系统危害的预警工具^[6-7]。鱼类 CYP 发现于 20 世纪 60 年代^[8]; 自从 1975 年加拿大科学家 Payne 和 Penrose^[9] 首先提出利用鱼类 CYP1A 酶活性监测水环境石油类污染以来, 该技术不断发展完善; 至 80 年代末, 已经被联合国海洋污染科学专家组确认为对低剂量长期效应的污染物行之有效的监测技术加以推广^[10]。然而研究发现某些因子对酶活性具有抑制作用, 导致酶活性指标指示作用具有一定的局限性^[4, 11]。80 年代中期, 利用海洋鱼肝 CYP1A1 产生了多克隆和单克隆抗体, 并建立了鱼类肝 CYP1A 蛋白印迹法和 ELISA 生物标志物监测技术^[12-13]。这种技术从 CYP1A 基因诱导、转录和蛋白表达的水平上定量地反映石油类和 PAHs 等污染物的污染水平和效应状况, 避免了酶活性做为监测指标的不足之处, 越来越广泛地应用于海洋石油类和 PAHs 污染及其生化效应的监测和评价中。Oost 等^[14] 利用已经建立的生物标志物的六条评价标准, 对 21 种生物标志物技术进行评估后认为, CYP1A 蛋白表达量和 EROD 活性是其中两种最有效的污染物生化效应和环境危险评价的生物标志物检测技术。已成为许多欧美发达国家海洋环境石油类、PAHs 等有机污染及其效应监测的重要手段^[15-16]。

在我国, 霍传林等报道了利用鱼肝 EROD 活性监测海洋环境多氯联苯 (Polychlorinated biphenyls, PCBs) 污染的作用^[17]; 余铭恩探讨了利用鱼肝微粒体 EROD 活性监测海洋环境石油类污染的可行性^[18]; 林忠胜等报道了季节变化对海洋鱼类肝 EROD 活性的影响^[19] 等。总体上看, 目前我国海洋鱼类 CYP1A 蛋白表达量及其 EROD 活性的在海洋环境污染及其效应监测中的应用研究还比较薄弱, 基本处于室内探讨不同污染物对鱼肝 EROD 活性和 CYP1A 蛋白量的诱导作用, 及其酶活性指标监测海洋污染的起步阶段, 研究利用鱼肝 CYP1A 蛋白表达量监测海洋污染尚未有报道。因此, 针对我国海洋石油类等污染状况, 早日在我国研究和建立与国际先进技术相接轨, 又适合我国海洋环境实际情况的鱼肝 CYP1A 蛋白表达量和 EROD 活性等生物标志物监测技术体系迫在眉睫。

本研究在室内建立两种生物标志物检测技术的基础上, 以底栖鱼类褐菖鲉 (*Sebastiscus marmoratus*) 为监

测生物,在厦门海域开展鱼肝微粒体 EROD 活性和 CYP1A 蛋白表达量两种生物标志物技术的应用研究,研究它们与海水和沉积物中石油类和重金属含量之间的相关性,探讨这两种生物标志物技术在石油类污染生化效应监测的可行性,并初步评价厦门监测海域石油类污染状况。

1 材料与方法

1.1 试剂

NADPH, Resorufin 和 7-Ethoxyresorufin 购于 Sigma 公司;一抗:小鼠抗鱼 P450 1A1 + 1A2 单克隆抗体 [C10-7] 购于 Abcam 公司;二抗:辣根过氧化物酶标记的羊抗小鼠 IgG (H+L) 多克隆抗体购于 Pierce 公司;其余化学药品和试剂均为市售分析纯药品。

1.2 野外监测实验

褐菖鲉购于厦门市大学路市场,由渔民捕自金门附近海域,平均体长 (11.7 ± 1.5) cm, 平均体重 (24.79 ± 11.18) g。实验前,鱼类先在室内养殖池清洁沙滤海水中暂养,用充气机连续充气,投喂人工饵料,每天更换新鲜海水,暂养期间水温 15—20℃,盐度 27, pH7.83, 暂养 7 d 后选取活力好的个体随机分组进行野外监测实验。

分别于 2007 年 11 月到 12 月和 2009 年 11 月到 2 月在厦门海域进行了第 1 次和第 2 次野外监测实验,每次实验各选择具有一定代表性的站位 4 个。将褐菖鲉置于套有尼龙网塑料筐中,用绳子将其悬挂于标记物上,没入水面 1—1.5m 左右,并记录其经纬度。各站位的经纬度见表 1 和表 2。第 2 次野外监测实验增加了室内对照组。

表 1 第 1 次野外监测实验站位

Table 1 The monitoring sites of the first field experiment

站位 Station	1	2	3	4
东经 E	118°10.978'	118°04.412'	118°03.964'	118°03.991'
北纬 N	24°34.444'	24°27.047'	24°27.635'	24°27.778'

表 2 第二次野外监测实验站位

Table 2 The monitoring sites of the second field experiment

站位 Station	A	B	C	D
东经 E	118°03.907'	118°03.463'	118°03.457'	118°03.916'
北纬 N	24°27.147'	24°27.727'	24°27.849'	24°27.269'

1.3 鱼肝样品采集和预处理

4 周后,收集悬挂于不同站位的褐菖鲉,马上运回实验室,活体解剖,量体长,称体重与肝重,将肝脏置于 -70℃ 冰箱保存。

采用 Stegeman 等^[20] 和 Forlin^[21] 的方法,取鱼肝于玻璃匀浆器中,加 5 倍体积预冷的匀浆缓冲液 (0.1 mol/L Na_2HPO_4 - NaH_2PO_4 , 0.15 mol/L KCl, pH7.4), 冰浴下匀浆。4℃ 下 10000 g 离心 15 min, 取上清液, 4℃ 下 55000 g 离心 90 min。鱼肝微粒体沉淀按 1:1 (w:v) 溶解于缓冲液 (0.1 mol/L Na_2HPO_4 - NaH_2PO_4 , 0.15 mol/L KCl, 20% Glycerol, pH7.4) 中, 置于 -70℃ 冰箱保存, 用于鱼肝微粒体 EROD 酶活性的测定和 CYP1A 蛋白表达量的测定。

1.4 生化分析测定

鱼肝微粒体 EROD 活力测定参照 Burke 和 Mayer 的方法^[22] 略有修饰^[18]。鱼肝微粒体蛋白含量的测定以小牛血清白蛋白为标准, 采用改进的考马斯亮蓝比色法^[23] 进行测定。

Western blot 分析参照 Sambrook 和 Russell^[24] 的方法进行, 每个蛋白样品电泳上样量为 3 μg。一抗稀释度 1:500, 二抗稀释度 1:20000, 增强化学发光法 (enhanced chemiluminescence, ECL) 显色。

1.5 环境化学指标采集和测定

监测海区各站水样的采集、固定和测定均按照《GB 17378. 4—2007 海洋监测规范 第 4 部分:海水分析》^[25]中的方法进行。

按照《GB 17378. 5—2007 海洋监测规范 第 5 部分:沉积物分析》^[26]中的方法,利用抓斗式采泥器采集各站位表层沉积物样品,并进行样品贮存、运输、预处理、测定和计算。

1.6 数据分析

实验数据采用 SPSS 统计软件进行数据处理和分析,采用单因素方差分析的方法进行统计学分析。结果用平均值±标准误 (Mean±SE) 表示,组间数据用 Student-Newman-Keuls 法进行显著性水平的分析 (α=0.05),用 Pearson 相关系数法进行相关性分析。

2 结果

从图 1 可以看出,在第 1 次野外监测实验中,与 3 号站相比,1 号站、2 号站和 4 号站的褐菖鲉肝 EROD 活性分别为 3 号站的 1.60 倍、1.46 倍和 1.88 倍,其中 4 号站与 3 号站相比具有显著性差异;1 号站、2 号站和 4 号站的褐菖鲉肝 CYP1A 蛋白表达量分别为 3 号站的 1.51 倍、1.29 倍和 2.05 倍,其中 4 号站分别与 2 号站和 3 号站差异显著。

表 3 显示,第 1 次野外监测实验的海水中石油类和 Cu、Zn、Pb、Cd 4 种重金属含量均属于一类海水水质标准^[27],2 号站的沉积物 Cu 含量略微超出一类海洋沉积物质量标准,其余各站石油类和重金属含量均属于一类海洋沉积物质量标准^[28]。

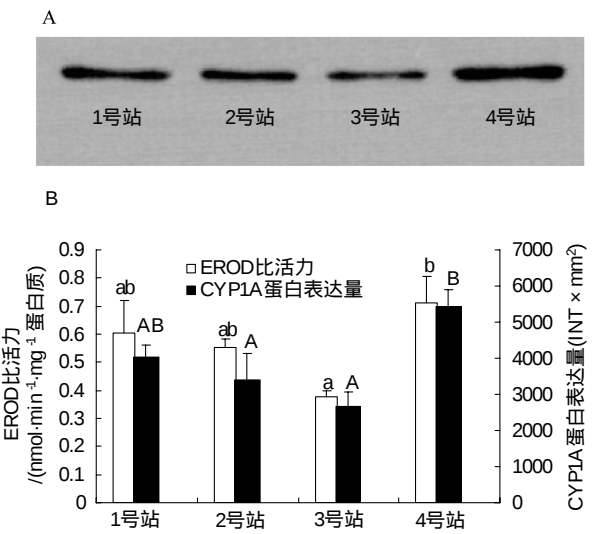


图 1 第 1 次野外监测实验不同站位褐菖鲉肝微粒体 EROD 活性和 CYP1A 蛋白表达量的变化

Fig.1 The hepatic EROD activities and CYP1A protein expression from *Sebastiscus marmoratus* at different sites in the first field experiment

(A) CYP1A 蛋白表达量的化学发光检测; (B) EROD 比活力测定和 CYP1A 蛋白表达量化学发光检测结果的光密度分析; n=4, 不同的小写和大写字母分别代表 EROD 比活力和 CYP1A 蛋白表达量具有显著性差异, P<0.05

表 3 第 1 次野外监测实验不同站位污染物浓度

Table 3 The concentrations of pollutants at different sites in the first field experiment

站位 Station	1	2	3	4
水深 Depth/m	12.6	8	3.6	3
海水石油类 (mg/L)	0.0224 (0.0184—0.0292)	0.0210 (0.0204—0.0219)	0.0201 (0.0146—0.0285)	0.0242 (0.0202—0.0287)
沉积物石油类/(mg/kg 干重)	16.9	10.3	13.1	—
海水 Cu/(mg/L)	0.000744	0.000873	0.000962	—
海水 Zn/(mg/L)	0.000725	0.001650	0.002260	—
海水 Pb/(mg/L)	0.000175	0.000049	0.000238	—
海水 Cd/(mg/L)	0.000040	0.000041	0.000052	—
沉积物 Cu/(mg/kg 干重)	14.8	41.5	26.0	—
沉积物 Zn/(mg/kg 干重)	86.6	125.0	111.0	—
沉积物 Pb/(mg/kg 干重)	9.92	18.2	15.1	—
沉积物 Cd/(mg/kg 干重)	0.0208	0.0932	0.0605	—

海水石油类—栏括号内数值为石油类含量范围;“—”表示未检测

由图 2 可见,在第 2 次野外监测实验中,各野外监测站位的 EROD 活性和 CYP1A 蛋白表达量均与实验室对照组相比具有显著性差异,A—D 号站褐菖鲉肝 EROD 活性和 CYP1A 蛋白表达量分别为实验室对照组的

2.78 倍,3.01 倍,4.78 倍,3.77 倍和 4.23 倍,4.40 倍,6.66 倍,5.52 倍。在野外监测站位中,C 号站分别与 A 号站和 B 号站比较均具有显著性差异,其 EROD 活性和 CYP1A 蛋白表达量分别为 A 号站的 1.72 倍和 1.57 倍。

第 2 次野外监测实验中各站海水样品中石油类和 Cu、Zn、Pb 和 Cd 4 种重金属含量(表 4)均属于一类海水水质标准^[27],C 号站的沉积物 Cu 含量略微超出一类海洋沉积物质量标准,A—C 号站的沉积物 Zn 含量均属于二类海洋沉积物质量标准,B 号站的沉积物 Pb 含量达到二类海洋沉积物质量标准,其余各站沉积物的石油类和重金属含量均属于一类海洋沉积物质量标准^[28]。

3 讨论

在以鱼类肝 CYP1A 为生物标志物进行的野外监测实验中,有两种方法被广泛应用,一种是直接在实验海区采集受试鱼类,有许多研究者采用这种方法进行野外监测实验。Förlin 等调查了造纸厂废水对波罗的海某些鱼类的影响。调查发现,在瑞典东海岸距离造纸厂排污口 2、4.5、8km 海域捕获的鲈鱼(*Perca fluviatilis*)肝脏 EROD 活性比对照组显著升高^[29]。Martínez-Gómez 等

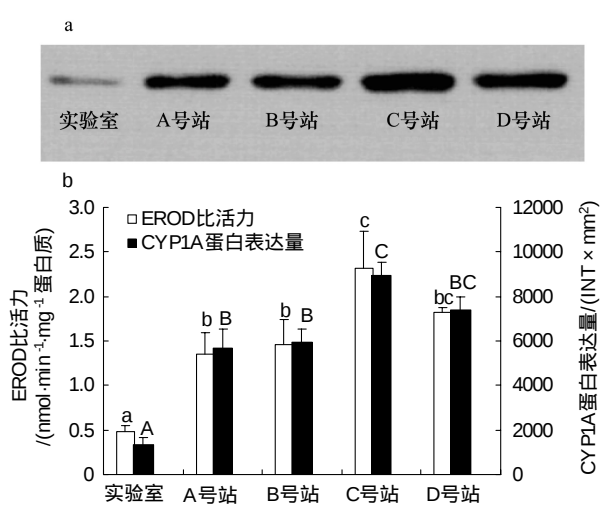


图 2 第二次野外监测实验不同站位褐菖鲉肝微粒体 EROD 活性和 CYP1A 蛋白表达量的变化

Fig. 2 The hepatic EROD activities and CYP1A protein expression from *Sebastiscus marmoratus* at different sites in the second field experiment

(A) CYP1A 蛋白表达量的化学发光检测; (B) EROD 比活力测定和 CYP1A 蛋白表达量化学发光检测结果的光密度分析; n=4, 不同的小写和大写字母分别代表 EROD 比活力和 CYP1A 蛋白表达量具有显著性差异, P<0.05

表 4 第 2 次野外监测实验不同站位污染物浓度

Table 4 The concentrations of pollutants at different sites in the second field experiment					
站位 Station	实验室	A	B	C	D
水深 Depth/m	—	8	5	3	6
海水石油类/(mg/L)	0.0049 (0.0044—0.0053)	0.0121 (0.0105—0.0136)	0.0123 (0.0092—0.0154)	0.0157 (0.0117—0.0224)	0.0138 (0.0127—0.0149)
沉积物石油类/(mg/kg 干重)	—	17.4	12.2	23.6	—
海水 Cu/(mg/L)	0.000520	0.000703	0.000731	0.000691	0.000795
海水 Zn/(mg/L)	0.002130	0.000915	0.001520	0.001420	0.000960
海水 Pb/(mg/L)	未检出	0.000040	0.000084	0.000001	0.000037
海水 Cd/(mg/L)	0.000025	0.000037	0.000034	0.000033	0.000053
沉积物 Cu/(mg/kg 干重)	—	28.1	32.9	35.4	30.7
沉积物 Zn/(mg/kg 干重)	—	274	155	178	146
沉积物 Pb/(mg/kg 干重)	—	21.5	87.7	24.1	18.1
沉积物 Cd/(mg/kg 干重)	—	0.063	0.055	0.083	0.050

海水石油类一栏括号内数值为石油类含量范围;“—”表示未检测

采用底拖网的方法,采集两种底栖鱼类(*Lepidorhombus boscii* 和 *Callionymus lyra*),以 EROD、GST(glutathione-S-transferase,谷胱甘肽硫转移酶)、GR(glutathione reductase,谷胱甘肽还原酶)和 CAT(catalase,过氧化氢酶)等为指标研究“威望”号溢油事故的长期效应,结果显示,溢油事故 2—3a 后,这些生物标志物的活性已有显著的降低,显示了溢油污染生物效应随着时间延长而减轻和环境质量逐渐恢复;其中,EROD 是最敏感有效的生物标志物^[30]。另外一种方法是将监测鱼类悬挂在特定污染海区进行野外监测实验,这种方法也有很多实验室采用。Goksøyr 以大西洋鲑鱼(*Gadus morhua*)为监测鱼类,通过鱼肝 EROD 活性结合酶联免疫吸附测定

(enzyme linked immunosorbent assay, ELISA) 的分析方法研究污染对 CYP1A 的诱导作用,取得了良好的结果,并发现将实验鱼类悬挂在海区进行现场污染监测是一种很好的策略^[31]。由于前者方法具有监测时间快的优点,但存在捕获的鱼类种类、来源不确定性和个体、年龄大小难于统一的缺点;而后的方法虽然需要购买和暂养监测鱼类,但是克服前者方法的缺点,能够更好地反映特定监测海域的污染生物效应状况。因此本研究采用了后者的实验方法,在厦门近岸海域开展现场污染监测实验。

近年来,厦门海域石油类的污染状况总体上呈减轻趋势,但仍然是主要污染物之一。2000 年中国海洋环境质量公报报道了厦门近岸海域海水油类含量为 0.08mg/L 左右,超过一、二类海水水质标准^[32]。2002—2005 年的中国海洋环境质量公报显示,福建污染区域主要分布在闽江口、厦门和泉州近岸局部海域,石油类为主要污染物之一;远海、近海海水水质优于近岸海域,厦门局部海域海水中石油类含量超标^[33]。厦门市各海域 2006 年海水中石油类含量均达一类海水水质标准^[34],但部份站位沉积物中石油类含量超一类海洋沉积物质量标准^[35];2007 年,沉积物石油类含量已达到一类海洋沉积物质量标准^[36];2009 年,厦门市近岸海域海水中石油类有样品超标^[3],沉积物中石油类含量达到一类海洋沉积物质量标准^[37]。两次野外监测结果表明,实验海区的海水和沉积物石油类均属于一类海水水质标准,进一步说明厦门海域的石油类污染状况有明显改善。

第 1 次野外监测实验的结果表明,监测海区 4 号站一类海水的石油类浓度显著诱导褐菖鲉肝 EROD 活性和 CYP1A 蛋白表达量,鱼肝 EROD 活性和 CYP1A 蛋白表达量与海水中石油类含量呈现极显著正相关,线性相关系数分别为 0.946 ($P < 0.05$) 和 0.993 ($P < 0.01$),其回归曲线分别为 $y = 73.634x - 1.0533$, $R^2 = 0.8942$ (y 为 EROD 活性, x 为海水石油类含量) 和 $y = 657533x - 10533$, $R^2 = 0.9865$ (y 为 CYP1A 蛋白表达量, x 为海水石油类含量)。第 2 次野外监测实验的结果也表明,鱼肝 EROD 活性和 CYP1A 蛋白表达量与海水中石油类含量呈现极显著正相关,线性相关系数分别为 0.973 ($P < 0.01$) 和 0.993 ($P < 0.01$),其回归曲线分别为 $y = 160.21x - 0.3992$, $R^2 = 0.9458$ (y 为 EROD 活性, x 为海水石油类含量) 和 $y = 689508x - 2244.3$, $R^2 = 0.9855$ (y 为 CYP1A 蛋白表达量, x 为海水石油类含量)。因此,褐菖鲉肝微粒体 EROD 活性和 CYP1A 蛋白表达量均可作为指示海洋环境中石油类及其 PAHs 等有机污染物污染的有效而敏感的生物标志物;不仅对于污染早期的监测与预警,跟踪和了解监测海区污染的发生与发展,而且对于评估海洋污染对生物的生化及其生态毒理学效应,评价海洋污染对生物的低剂量长期效应都具有十分重要的意义。美国环保局水质基准 (USEPA. PB—263943) 中海水水生生物慢性中毒的石油类浓度范围为:0.01—0.1mg/L^[38],本研究的实验结果也表明,海水石油类浓度在 0.0121—0.0242 mg/L 范围内已经引起褐菖鲉肝解毒系统的响应,造成一定的毒性效应,应引起重视。因此,这对于重新修订现行的渔业水质标准中设定的石油类 ≤ 0.05 mg/L 的标准值^[39]具有重要的参考意义。

对两次野外监测实验的褐菖鲉肝 EROD 活性和 CYP1A 蛋白表达量进行相关分析表明,这两种生物标志物呈现极显著正相关,线性相关系数分别为 0.953 ($P < 0.05$) 和 0.993 ($P < 0.01$);然而,与海水石油类含量的回归分析表明,在两次野外监测实验中,CYP1A 蛋白表达量的回归曲线的 R^2 值均高于 EROD 活性的回归曲线,这表明,EROD 活性和 CYP1A 蛋白表达量这两种生物标志物对海水石油类污染的响应高度一致;然而 CYP1A 蛋白表达量比 EROD 活性较敏感和稳定。实验室体外研究表明,CYP1A 蛋白的诱导并不总伴随着 EROD 活性的诱导,这是由于高浓度或长时间暴露下,EROD 的酶活位点被污染物竞争性抑制或催化功能(部分)失活的结果^[40-41]。Murphy 和 Gooch 的研究表明^[42],野外采集受 PAHs,包括苯并(a)芘(Benzo[a]pyrene, BaP)污染的斑点叉尾鲷(*Ictalurus Punctatus*)肝微粒体 CYP1A 蛋白表达量与实验室 20 mg/kg BaP 注射暴露 4 d 后的处于同一水平,然而野外采集的鱼肝微粒体 EROD 活性还不到 BaP 诱导组的 50%,这显示了野生鱼类的 EROD 活性被抑制或失活。因此,在复杂的污染海域,如果仅仅应用 EROD 活性这一生物标志物来监测和评估海洋环境污染及其效应状况将具有一定的局限性,有可能出现指标与环境污染程度不完全一致的情况;而 CYP1A 蛋白表达量这一生物标志物则能弥补这一局限性^[4],从而更好的揭示生物受污染的程度和毒理学效应的状况。在石油类及其 PAHs 等有机污染生物效应的监测和研究中,把这两种生物标志物结合起来,

将能更加全面地反映海洋污染及其生化效应状况。

Faverney 等通过虹鳟 (*Oncorhynchus mykiss*) 肝细胞的体外研究表明,海水中的 Cu、Zn、Pb 和 Cd 等二价金属离子能降低 CYP 1A mRNA 的表达,从而降低 EROD 的活性,使 EROD 活性显著降低 50% 以上的重金属离子浓度分别为 Cu(Ⅱ) 5 $\mu\text{mol/L}$ 、Zn(Ⅱ) 11 $\mu\text{mol/L}$ 、Pb(Ⅱ) 16 $\mu\text{mol/L}$ 和 Cd(Ⅱ) 0.8 $\mu\text{mol/L}$ ^[43],相当于 Cu(Ⅱ) 0.318 mg/L、Zn(Ⅱ) 0.719 mg/L、Pb(Ⅱ) 3.315 mg/L 和 Cd(Ⅱ) 0.090 mg/L。Förlin 等进行重金属污染物水体暴露实验研究亦表明,微摩尔/升水平的 Cd 可抑制 EROD 活性^[44]。Sen 和 Semiz 研究表明,海洋鱼类跳鲳 (*Liza saliens*) 肝微粒体 EROD 活性可被 0.1 mmol/L 的 Cu、Zn、Cd 抑制,其抑制率分别为 75%、70% 和 77%^[45]。本研究实验海区海水中的重金属浓度均远低于上述研究中抑制 EROD 活性的重金属浓度,相关性分析亦表明,第 1 次和第 2 次野外监测实验海水中重金属 Cu、Zn、Pb 和 Cd 含量与鱼肝 EROD 活性和 CYP1A 蛋白表达量相关性均不显著。由此可见,在本研究中,监测海区海水重金属 Cu、Zn、Pb 和 Cd 浓度均尚未达到对褐菖鲉肝 EROD 活性和 CYP1A 蛋白表达量抑制作用的阈值,因此对两种生物标志物均尚无抑制作用。

此外,相关性分析表明本研究中沉积物石油类、Cu、Zn、Pb 和 Cd 含量与鱼肝 EROD 活性和 CYP1A 蛋白表达量相关性均不显著,表明这两种生物标志物未受到沉积物石油类和四种重金属的明显影响,这可能是由于污染物浓度比较低,而且所悬挂的鱼类距离海底较远,因此受表层沉积物影响小。然而,监测海区沉积物石油类达到何种浓度及其在何种条件下能够对鱼类这两种生物标志物产生诱导作用还有待于进一步的研究。

4 结论

本研究以褐菖鲉肝微粒体 EROD 活性和 CYP1A 蛋白表达量这两种生物标志物为指标,在厦门海域开展了两次野外监测实验,得到主要结论如下:

(1) 在现场属于一类海水的石油类浓度 (0.0121—0.0242 mg/L) 条件下,石油类就能够显著诱导褐菖鲉肝微粒体 EROD 活性和 CYP1A 蛋白表达量,鱼肝 EROD 活性和 CYP1A 蛋白表达量与海水中石油类含量呈现极显著正相关;两种生物标志物都可以做为海水水体石油类污染生化效应监测有效而敏感的指标,而且 CYP1A 蛋白表达量比 EROD 活性较为敏感和稳定。

(2) 在石油类及其 PAHs 等有机污染生物效应的监测研究中,尤其在复杂的海域污染情况下,把这两种生物标志物结合起来,将能更加全面地反映海洋污染及其生化效应状况。

(3) 在本实验海区的海水和沉积物重金属 Cu、Zn、Pb 和 Cd 浓度范围内,四种重金属对褐菖鲉肝微粒体 EROD 活性和 CYP1A 蛋白表达量均尚无抑制作用。

致谢:陈维芬研究员、林立斌高工、陈金民高工、林彩助理研究员和王继刚工程师帮助测定海水和沉积物石油类和四种重金属的含量,唐森铭研究员帮助写作,特此致谢。

References:

- [1] Shen N N, Li C H, Wang X W. Effects of oil pollution on marine planktons. *Biotechnology Bulletin*, 2006, (Z1): 95-99.
- [2] Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China. *Bulletin of the marine coastal environmental quality in China 2009*. Beijing: Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China, 2010.
- [3] State Oceanic Administration of the People's Republic of China. *Bulletin of marine environmental status in China 2010*. Beijing: State Oceanic Administration of the People's Republic of China, 2011.
- [4] Goksøyr A, Husøy A M. The cytochrome P450 1A1 response in fish: application of immunodetection in environmental monitoring and toxicological testing. *Marine Environmental Research*, 1992, 34(1/4): 147-150.
- [5] Fent K. Ecotoxicological effects at contaminated sites. *Toxicology*, 2004, 205(3): 223-240.
- [6] Livingstone D R. Biotechnology and pollution monitoring: use of molecular biomarkers in the aquatic environment. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 1993, 57(3): 195-211.
- [7] López-Barea J. Biomarkers in ecotoxicology: an overview// Degen G H, Seiler J P, Bentley P, eds. *Toxicology in Transition*, 1994, EUROTOX Proceedings. Berlin: Springer, 1995.
- [8] Garfinkel D. A comparative study of electron transport in microsomes. *Comparative Biochemistry and Physiology*, 1963, 8(4): 367-379.

- [9] Payne J F, Penrose W R. Induction of aryl hydrocarbon (benzo[a]pyrene) hydroxylase in fish by petroleum. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 1975, 14(1): 112-116.
- [10] GESAMP. Long-Term Consequences of Low-Level Marine Contamination: An Analytical Approach. Reports and Studies. Rome: FAO, 1989: 40-40.
- [11] Goksøyr A, Larsen H E, Husøy A M. Application of a cytochrome P-450 1A1-ELISA in environmental monitoring and toxicological testing of fish. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Comparative Pharmacology*, 1991, 100: 157-160.
- [12] Williams D E, Bender R C, Morrissey M T, Selivonchick D P, Buhler D R. In responses of marine organisms to pollutants. *Marine Environmental Research*, 1984, 14: 13-21.
- [13] Klopffer-Sams P K, Park S S, Gelboin H V, Stegeman J J. Specificity and cross-reactivity of monoclonal and polyclonal antibodies against cytochrome P-450E of the marine fish scup. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 1987, 253(1): 268-278.
- [14] van der Oost R, Beyer J, Vermeulen N P E. Fish bioaccumulation and biomarkers in environmental risk assessment: a review. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 2003, 13(2): 57-149.
- [15] Narbonne J F, Garrigues P, Ribera D, Raoux C, Mathieu A, Lemaire P, Salaun J P, Lafaurie M. Mixed-function oxygenase enzymes as tools for pollution monitoring: field studies on the French coast of the Mediterranean Sea. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Comparative Pharmacology*, 1991, 100(1/2): 37-42.
- [16] Lee R F, Anderson J W. Significance of cytochrome P450 system responses and levels of bile fluorescent aromatic compounds in marine wildlife following oil spills. *Marine Pollution Bulletin*, 2005, 50(7): 705-723.
- [17] Huo C L, Wang J Y, Han G C, Guan D M. Monitoring biological effects of contamination in fish *Hexagrammos otakii* along the Dalian Coasts by measurement of EROD activity. *Marine Environmental Science*, 2002, 21(1): 5-8.
- [18] Yu M E. Study on the Hepatic Microsomal EROD in *Sebastes marmoratus*-Kinetic Study, Induction and Monitoring [D]. Xiamen: Third Institute Oceanography, State Oceanic Administration of the People's Republic of China, 2003.
- [19] Lin Z S, Huo C L, Han G C. Effect of season change on EROD activity in fish. *Marine Environmental Science*, 2007, 26(3): 280-282.
- [20] Stegeman J J, Binder R L, Orren A. Hepatic and extrahepatic microsomal electron transport components and mixed-function oxygenases in the marine fish *stenotomus versicolor*. *Biochemical Pharmacology*, 1979, 28(23): 3431-3439.
- [21] Förlin L. Effects of clophen A50, 3-methylcholanthrene, pregnenolone-16 α -carbonitril and phenobarbital on the hepatic microsomal cytochrome P-450-dependent monooxygenase system in rainbow trout (*Salmo gairdneri*), of different age and sex. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 1980, 54(3): 420-430.
- [22] Burke M D, Mayer R T. Ethoxyresorufin: direct fluorimetric assay of a microsomal O-dealkylation which is preferentially inducible by 3-methylcholanthrene. *Drug Metabolism and Disposition*, 1974, 2(6): 583-588.
- [23] Guo M L, Jiang Y M. Effect of ingredients of Coomassie Brilliant Blue Color-developing reagent on protein assay. *Progress in Biochemistry and Biophysics*, 1996, 23(6): 558-561.
- [24] Sambrook J, Russell D W. *Molecular Cloning: A Laboratory Manual*. 3rd ed. New York: Cold Spring Harbor Laboratory Press, 2001.
- [25] General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. GB 17378.4—2007, The specification for marine monitoring—Part 4: Seawater analysis. Beijing: The Standards Press of China, 2008.
- [26] General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. GB 17378.5—2007, The specification for marine monitoring—Part 5: Sediment analysis. Beijing: The Standards Press of China, 2008.
- [27] Environmental Protection Bureau of China. GB 3097—1997, Sea water quality standard. Beijing: China Standard Press, 1997.
- [28] General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. GB 18668—2002 Marine sediment quality. Beijing: China Standard Press, 2002.
- [29] Förlin L, Andersson T, Bengtsson B E, Hårdig J, Larsson Å. Effects of pulp bleach plant effluents on hepatic xenobiotic biotransformation enzymes in fish: laboratory and field studies. *Marine Environmental Research*, 1985, 17(2/4): 109-112.
- [30] Martínez-Gómez C, Fernández B, Valdés J, Campillo J A, Benedicto J, Sánchez F, Vethaak A D. Evaluation of three-year monitoring with biomarkers in fish following the *Prestige* oil spill (N Spain). *Chemosphere*, 2009, 74(5): 613-620.
- [31] Goksøyr A, Beyer J, Husøy A M, Laren H E, Westrheim K, Wilhelmsen S, Klungsøyr J. Accumulation and effects of aromatic and chlorinated hydrocarbons in juvenile Atlantic cod (*Gadus morhua*) caged in polluted fjord (Sørfjorden, Norway). *Aquatic Toxicology*, 1994, 29(1/2): 21-35.
- [32] State Oceanic Administration of the People's Republic of China. Bulletin of marine environmental quality in China 2000. Beijing: State Oceanic Administration of the People's Republic of China, 2001.
- [33] Song L F. The Study of Mariculture Output and Pollution Relations in Fujian. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2007.
- [34] Xiamen Marine and Fisheries Bureau. Bulletin of marine environmental quality in Xiamen 2006. Xiamen: Xiamen Marine and Fisheries

Bureau, 2007.

- [35] State Oceanic Administration of the People's Republic of China. Bulletin of marine environmental quality in China 2006. Beijing: State Oceanic Administration of the People's Republic of China, 2007.
- [36] Xiamen Marine and Fisheries Bureau. Bulletin of marine environmental quality in Xiamen 2007. Xiamen: Xiamen Marine and Fisheries Bureau, 2008.
- [37] Xiamen Marine and Fisheries Bureau. Bulletin of marine environmental quality in Xiamen 2009. Xiamen: Xiamen Marine and Fisheries Bureau, 2010.
- [38] Ni C H, Zhai L A. The toxicity of petroleum on the aquatic organisms such as fish. Freshwater Fisheries, 1997, 27(6): 38-40.
- [39] Environmental Protection Bureau of China. GB11607—1989, Water quality standard for fisheries. Beijing: China Standard Press, 1989.
- [40] Brüscheiler B T, Fent K, Würgler F E. Inhibition of cytochrome P4501a by organotins in fish hepatoma cells PLHC-1. Environmental Toxicology and Chemistry, 1996, 15(5): 728-735.
- [41] Hahn M E, Lamb T M, Schultz M E, Smolowitz R M, Stegeman J J. Cytochrome P4501A induction and inhibition by 3, 3', 4, 4'-tetrachlorobiphenyl in an Ah receptor-containing fish hepatoma cell line (PLHC-1). Aquat Toxicol, 1993, 26(3/4): 185-208.
- [42] Murphy D L, Gooch J W. EROD and CYP1A protein in channel catfish (*Ictalurus punctatus*) from an urban estuary relative to that in benzo[a]pyrene-exposed hatchery specimens. Environmental Pollution, 1997, 95(2): 235-239.
- [43] Faverney C R, Lafaurie M, Girard J P, Rahmani R. The nitroxide stable radical tempo prevents metal-induced inhibition of CYP1A1 expression and induction. Toxicology Letters, 2000, 111(3): 219-227.
- [44] Förlin L, Haux C, Karlsson-Norrgren L, Runn P, Larsson Å. Biotransformation enzyme activities and histopathology in rainbow trout, *Salmo gairdneri*, treated with cadmium. Aquatic Toxicology, 1986, 8(1): 51-64.
- [45] Sen A, Semiz A. Effects of metals and detergents on biotransformation and detoxification enzymes of leaping mullet (*Liza saliens*). Ecotoxicology and Environmental Safety, 2007, 68(3): 405-411.

参考文献:

- [1] 沈南南, 李纯厚, 王晓伟. 石油污染对海洋浮游生物的影响. 生物技术通报, 2006, (Z1): 95-99.
- [2] 中华人民共和国环境保护部. 中国近岸海域环境质量公报 2009. 北京: 中华人民共和国环境保护部, 2010.
- [3] 国家海洋局. 2010 年中国海洋环境状况公报. 北京: 国家海洋局, 2011.
- [17] 霍传林, 王菊英, 韩庚辰, 关道明. 鱼体内 EROD 活性对多氯联苯类的指示作用. 海洋环境科学, 2002, 21(1): 5-8.
- [18] 余铭恩. 褐菖鲉 (*Sebastiscus marmoratus*) 肝微粒体细胞色素 P-450 加单氧酶的研究——动力学反应条件、诱导和监测. 厦门: 国家海洋局第三海洋研究所, 2003.
- [19] 林忠胜, 霍传林, 韩庚辰. 季节变化对海洋鱼体内 EROD 活性的影响. 海洋环境科学, 2007, 26(3): 280-282.
- [23] 郭敏亮, 姜涌明. 考马斯亮蓝显色液组分对蛋白质测定的影响. 生物化学与生物物理进展, 1996, 23(6): 558-561.
- [25] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB 17378.4—2007 海洋监测规范, 第 4 部分: 海水分析. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [26] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB 17378.5—2007 海洋监测规范, 第 5 部分: 沉积物分析. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [27] 国家环境保护局. GB3097—1997 海水水质标准. 北京: 中国标准出版社, 1997.
- [28] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB18668—2002 海洋沉积物质量. 北京: 中国标准出版社, 2002.
- [32] 国家海洋局. 2000 年中国海洋环境质量公报. 北京: 国家海洋局, 2001.
- [33] 宋兰芬. 福建海水养殖产量与污染关系的研究. 福州: 福建农林大学, 2007.
- [34] 厦门市海洋与渔业局. 2006 年厦门市海洋环境质量公报. 厦门: 厦门市海洋与渔业局, 2007.
- [35] 国家海洋局. 2006 年中国海洋环境质量公报. 北京: 国家海洋局, 2007.
- [36] 厦门市海洋与渔业局. 2007 年厦门市海洋环境质量公报. 厦门: 厦门市海洋与渔业局, 2008.
- [37] 厦门市海洋与渔业局. 2009 年厦门市海洋环境质量公报. 厦门: 厦门市海洋与渔业局, 2010.
- [38] 倪朝辉, 翟良安. 石油对鱼类等水生生物的毒性. 淡水渔业, 1997, 27(6): 38-40.
- [39] 国家环境保护局. GB11607—1989 渔业水质标准. 北京: 中国标准出版社, 1989.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 19 October, 2011 (Semimonthly)

CONTENTS

Ecology research and its effects on social development in China	LI Wenhua (5421)
The current mission of ecology-advancing under the situation of chaos and innovation	JIANG Youxu (5429)
Resilience thinking: development of ecological concept	PENG Shaolin (5433)
A review of research progress and future prospective of forest soil carbon stock and soil carbon process in China	LIU Shirong, WANG Hui, LUAN Junwei (5437)
Research on carbon budget and carbon cycle of terrestrial ecosystems in regional scale: a review	YU Guirui, FANG Huajun, FU Yuling, et al (5449)
Advances in the studying of the relationship between landscape pattern and river water quality at the watershed scale	LIU Lijuan, LI Xiaoyu, HE Xingyuan (5460)
Research on the protection of <i>Davidia involucrata</i> populations, a rare and endangered plant endemic to China	CHEN Yan, SU Zhixian (5466)
Progress on water resources input-output analysis	XIAO Qiang, HU Dan, GUO Zhen, et al (5475)
Research advances of contraception control of rodent pest in China ...	LIU Hanwu, WANG Rongxin, ZHANG Fengqin, et al (5484)
Response of vegetation to climate change and human activity based on NDVI in the Three-River Headwaters region	LI Huixia, LIU Guohua, FU Bojie (5495)
Remediation of blowout pits by clonal plants in Mu Us Sandland	YE Xuehua, DONG Ming (5505)
Precipitation trends during 1961—2010 in the Loess Plateau region of China	WANG Qixiang, FAN Xiaohui, WANG Mengben (5512)
An evaluation method for forest resources sustainability	CUI Guofa, XING Shaohua, JI Wenyuan, et al (5524)
Effects of landscape patterns on soil and water loss in the hilly area of loess plateau in China: landscape-level and comparison at multiscale	WANG Jiping, YANG Lei, WEI Wei, et al (5531)
The impacts of future climatic change on agricultures and eco-environment of Loess Plateau in next decade	E Youhao, SHI Qian, MA Yuping, et al (5542)
Valuation of ecological capital in Shandong coastal waters: standing stock value of biological resources	DU Guoying, CHEN Shang, XIA Tao, et al (5553)
Valuation of ecological capital in Shandong coastal waters: provisioning service value	WANG Min, CHEN Shang, XIA Tao, et al (5561)
The dynamics of the structure and plant species diversity of evergreen broadleaved forests in Damingshan National Nature Reserve after a severe ice storm damage in 2008, China	ZHU Hongguang, LI Yanqun, WEN Yuanguang, et al (5571)
Interactive effects of low phosphorus and drought stress on dry matter accumulation and phosphorus efficiency of soybean plants	QIAO Zhenjiang, CAI Kunzheng, LUO Shiming (5578)
The eco-efficiency evaluation of the model city for environmental protection in China	YIN Ke, WANG Rusong, YAO Liang, et al (5588)
Pollution footprint and its application in regional water pollution pressure assessment: a case study of Huzhou City in the upstream of Taihu Lake Watershed	JIAO Wenjun, MIN Qingwen, CHENG Shengkui, et al (5599)
Ecological effect of green space of Shanghai in different spatial scales in past 20 years	LING Huanran, WANG Wei, FAN Zhengqiu, et al (5607)
Assessing indicators of eco-mobility in the scale of urban communities ...	DAI Xin, ZHOU Chuanbin, WANG Rusong, et al (5616)
Spatial structure of urban ecological land and its dynamic development of ecosystem services: a case study in Changzhou City, China	LI Feng, YE Yaping, SONG Bowen, et al (5623)
The carbon emissions embodied in Chinese household consumption by the driving factors	YAO Liang, LIU Jingru, WANG Rusong (5632)
The research on eco-efficiency and carbon reduction of recycling coal mining solid wastes: a case study of Huabei City, China	ZHANG Haitao, WANG Rusong, HU Dan, et al (5638)
Effects of urban shading on photosynthesis of <i>Euonymus japonicas</i>	YU Yingying, HU Dan, GUO Erhui, et al (5646)

Ecological view of traditional rural settlements: a case study in Yongshan of Guangdong Province	JIANG Xueting, YAN Lijiao, HOU Deqian (5654)
The altitudinal pattern of insect species richness in the Three Gorge Reservoir Region of the Yangtze River: effects of land cover, climate and sampling effort	LIU Ye, SHEN Zehao (5663)
Spatial-temporal patterns of fishing grounds and resource of Chilean jack mackerel (<i>Trachurus murphyi</i>) in the Southeast Pacific Ocean	HUA Chengjun, ZHANG Heng, FAN Wei (5676)
Impacts of <i>Ambrosia artemisiifolia</i> invasion on community structure of soil meso- and micro- fauna	XIE Junfang, QUAN Guoming, ZHANG Jiaen, et al (5682)
Appearance in spring and disappearance in autumn of <i>Bemisia tabaci</i> in China	CHEN Chunli, ZHI Junrui, GE Feng, et al (5691)
Water use strategies of <i>Malus toringoides</i> and its accompanying plant species <i>Berberis aemulans</i>	XU Qing, WANG Haiying, LIU Shirong (5702)
Analysis of vertical profiles of soil CO ₂ efflux in Chinese fir plantation	WANG Chao, HUANG Qunbin, YANG Zhijie, et al (5711)
Eco-toxicological effects of four herbicides on typical aquatic snail <i>Pomacea canaliculata</i> and <i>Crown conchs</i>	ZHAO Lan, LUO Shiming, LI Huashou, et al (5720)
Effects of short-term cold-air outbreak on soil respiration and its components of subtropical urban green spaces	LI Xibo, ZENG Wenjing, LI Jinqian, et al (5728)
Effects of landscape pattern on watershed soil erosion and sediment delivery in hilly and gully region of the Loess Plateau of China: patch class-level	WANG Jiping, YANG Lei, WEI Wei, et al (5739)
Partitioning and mapping the sources of variations in the ensemble forecasting of species distribution under climate change: a case study of <i>Pinus tabulaeformis</i>	ZHANG Lei, LIU Shirong, SUN Pengsen, et al (5749)
Relationship between masson pine tree-ring width and NDVI in North Subtropical Region	WANG Ruili, CHENG Ruimei, XIAO Wenfa, et al (5762)
Effects of species composition on canopy rainfall storage capacity in an alpine meadow, China	YU Kailiang, CHEN Ning, YU Sisheng, et al (5771)
Dynamics of soil water conservation during the degradation process of the Zoigê Alpine Wetland	XIONG Yuanqing, WU Pengfei, ZHANG Hongzhi, et al (5780)
Soil urease activity during different vegetation successions in karst peak-cluster depression area of northwest Guangxi, China	LIU Shujuan, ZHANG Wei, WANG Kelin, et al (5789)
Analysis the effect of region impacting on the biomass of domestic Masson pine using mixed model	FU Liyong, ZENG Weisheng, TANG Shouzheng (5797)
Influence of fire on a <i>Pinus massoniana</i> soil in a karst mountain area at the center of Guizhou Province, China	ZHANG Xi, ZHU Jun, CUI Yingchun, et al (5809)
The growth and distribution of <i>Platyclus orientalis</i> Seed-base seedling root in different culture periods	YANG Xitian, DONG Nalin, YAN Dongfeng, et al (5818)
Effects of complex pollution of CTAB and Cd ²⁺ on the growth of Chinese sweetgum seedlings	ZHANG Qin, XUE Jianhui, LIU Chenggang (5824)
The influence of volatiles of three invasive plants on the roots of upland rice seedlings	ZHANG Fengjuan, XU Xingyou, GUO Aiying, et al (5832)
Age structure and regeneration strategy of the dominant species in a <i>Castanopsis carlesii</i> - <i>Schima superba</i> forest	SONG Kun, SUN Wen, DA Liangjun (5839)
A study on application of hepatic microsomal CYP1A biomarkers from <i>Sebastiscus marmoratus</i> to monitoring oil pollution in Xiamen waters	ZHANG Yusheng, ZHENG Ronghui, CHEN Qingfu (5851)
The method of measuring energy flow ϕ and p in ecological networks by input-output flow analysis	LI Zhongcai, XI Xudong, GAO Qin, et al (5860)

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊★

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1—9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

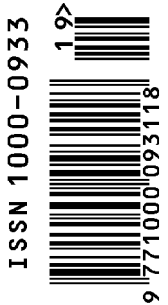
编辑部主任 孔红梅

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 31 卷 第 19 期 (2011 年 10 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 19 2011

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:100717	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