

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第34卷 第1期

Vol.34 No.1

2013

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

长三角背景地区秋冬季节大气气态总汞含量特征研究	窦红颖,王书肖,王龙,张磊,郝吉明 (1)
厦门城区大气颗粒物 PM ₁₀ 中有机酸源谱特征分析	杨冰玉,黄星星,郑桢,刘碧莲,吴水平 (8)
兴隆大气气溶胶中水溶性无机离子分析	李杏茹,宋爱利,王英锋,孙颖,刘子锐,王跃思 (15)
气相组分对氨吸收同步脱除模拟烟气 SO ₂ 和 NO _x 的影响	王鸿,朱天乐,王美艳 (21)
麦秸全量还田下太湖地区两种典型水稻土稻季氨挥发特性比较	汪军,王德建,张刚,王远 (27)
单光子/光电子在线质谱实时分析聚氯乙烯热分解/燃烧产物	陈文东,侯可勇,陈平,李芳龙,赵无垠,崔华鹏,花磊,谢园园,李海洋 (34)
碱性活性炭表面特征及其吸附甲烷的研究	张梦竹,李琳,刘俊新,孙永军,李国滨 (39)
夏季黄渤海表层海水中二甲亚砜 (DMSO) 的浓度分布	王敏,张洪海,杨桂朋 (45)
2010年秋季长江口口外海域 CDOM 的三维荧光光谱-平行因子分析	闫丽红,陈学君,苏荣国,韩秀荣,张传松,石晓勇 (51)
基于集合均方根滤波的太湖叶绿素 a 浓度估算与预测	李渊,李云梅,王桥,张卓,郭飞,吕恒,毕坤,黄昌春,郭宇龙 (61)
基于 HJ1A-CCD 数据的高光谱影像重构研究	郭宇龙,李云梅,朱利,徐德强,李渊,檀静,周莉,刘阁 (69)
重庆雪玉洞岩溶地下河地球化学敏感性研究	徐尚全,杨平恒,殷建军,毛海红,王鹏,周小萍 (77)
区域点源和非点源磷入河量计算的二元统计模型	陈丁江,孙嗣畅,贾颖娜,陈佳勃,吕军 (84)
秦淮河典型河段总氮总磷时空变异特征	李跃飞,夏永秋,李晓波,熊正琴,颜晓元 (91)
湘江沉积物铜和汞质量基准的建立及其应用	蒋博峰,桑磊鑫,孙卫玲,郝伟,李丽,邓宝山 (98)
丹江口水库迁建区土壤重金属分布及污染评价	张雷,秦延文,郑丙辉,时瑶,韩超男 (108)
汾河水库周边土壤重金属含量与空间分布	李晋昌,张红,石伟 (116)
黄河下游引黄灌区地下水重金属分布及健康风险评估	张妍,李发东,欧阳竹,赵广帅,李静,柳强 (121)
胶州湾、套子湾及四十里湾表层沉积物中有机氯农药的含量和分布特征	刘艺凯,钟广财,唐建辉,潘晓辉,田崇国,陈颖军 (129)
基于干扰梯度的钦江流域底栖动物完整性指数候选参数筛选	卢东琪,张勇,蔡德所,刘朔孺,陈燕海,王备新 (137)
海洋细菌 <i>Marinobacter adhaerens</i> HY-3 分离鉴定及对中肋骨条藻的化感作用	王洪斌,陈文慧,李信书,李士虎,阎斌伦 (145)
水稻秸秆浸泡液对铜绿微囊藻生理特性的影响	苏文,孔繁翔,于洋,贾育红,张民 (150)
化感物质肉桂酸乙酯对蛋白核小球藻生长及生理特性的影响	高李李,郭沛涌,苏光明,魏燕芳 (156)
无负压供水模式下管网水力模拟与安全评价分析	王欢欢,刘书明,姜帅,孟凡琳,白璐 (163)
天然有机物的相对分子质量分布及亲疏水性对微滤膜组合工艺中膜污染的影响	胡孟柳,林洁,许光红,董秉直 (169)
不同基质条件下透性处理对脱硫弧菌硫酸盐还原活性的影响	徐慧伟,张旭,李立明,郑光洁,李广贺 (177)
基于零价铁的双金属体系对六氯苯还原脱氯研究	曾宪委,刘建国,聂小琴 (182)
负载型 TiO ₂ 光电催化降解孔雀石绿的动力学研究	张小娜,周少奇,周晓 (188)
污水厂微曝气系统工况下充氧性能测试与分析	吴媛媛,周小红,施汉昌,邱勇 (194)
微气泡及其产生方式对活性污泥混合液性质的影响	刘春,马锦,张磊,张静,张明,吴根 (198)
不同氮浓度冲击对颗粒污泥脱氮过程中 N ₂ O 产生量的影响	韩雪,高大文 (204)
模拟电镀污泥重金属浸出液对氧化亚铁硫杆菌活性的影响	谢鑫源,孙培德,楼菊青,郭茂新,马王钢 (209)
嗜麦芽窄食单胞菌对铜的吸附特性与离子交换	白洁琼,尹华,叶锦韶,彭辉,唐立楠,何宝燕,李跃鹏 (217)
阴离子表面活性剂改性水滑石吸附硝基苯的特性研究	夏燕,朱润良,陶奇,刘汉阳 (226)
活性氧化铝对水中磷的去除与回收研究	孟文娜,谢杰,吴德意,张振家,孔海南 (231)
北京城区可吸入颗粒物分布与呼吸系统疾病相关分析	杨维,赵文吉,官兆宁,赵文慧,唐涛 (237)
北京市市售鸡蛋和鸭蛋中全氟化合物的污染水平研究	齐彦杰,周珍,史亚利,孟昭福 (244)
北京市场常见淡水食用鱼体内农药残留水平调查及健康风险评估	于志勇,金芬,孙景芳,原盛广,郑蓓,张文婧,安伟,杨敏 (251)
多效应残差法 (MERA) 表征二甲亚砜-农药二元混合物毒性相互作用	霍向晨,刘树深,张晶,张瑾 (257)
利用 DGGE-菌落原位杂交法分离土壤中精喹禾灵降解菌	吕欣,彭霞薇,呼庆,马安周,江泽平,魏远 (263)
不同白腐真菌复配方式对产酶的影响	孟瑶,梁红,高大文 (271)
不同施肥措施对土壤活性有机碳的影响	张瑞,张贵龙,姬艳艳,李刚,常泓,杨殿林 (277)
垦殖对湿地土壤有机碳垂直分布及可溶性有机碳截留的影响	霍莉莉,邹元春,郭佳伟,吕宪国 (283)
黄河三角洲碱蓬湿地土壤有机碳及其组分分布特征	董洪芳,于君宝,管博 (288)
丘陵林地土壤酸化改良剂的集中施用-自然扩散修复技术研究	方熊,刘菊秀,尹光彩,赵亮,刘世忠,褚国伟,李义勇 (293)
重度滴滴涕污染土壤低温等离子体修复条件优化研究	陈海红,骆永明,滕应,刘五星,潘澄,李振高,贾玉娟 (302)
无定形 Fe(OH) ₃ 和 Fe ₃ O ₄ 共沉淀态 As 的化学提取	陈义萍,王少峰,黄永锋 (308)
铝和锰对外生菌根真菌生长、养分吸收及分泌作用的影响	李华,黄建国,袁玲 (315)
污泥和餐厨垃圾联合干法中温厌氧消化性能研究	段妮娜,董滨,李江华,戴翎翎,戴晓虎 (321)
高比表面生物质炭的制备、表征及吸附性能	李坤权,李焯,郑正,桑大志 (328)
基于情景分析的浙江沿海地区环境污染防治战略研究	田金平,陈吕军,杜鹏飞,钱易 (336)
微生物全细胞传感器在重金属生物可利用度监测中的研究进展	侯启会,马安周,庄绪亮,庄国强 (347)
2012 城市生态学术研讨会会议论文	
北京市城乡环境梯度下街尘中重金属污染特征	何小艳,顾培,李叙勇,赵洪涛 (357)
北京市道路灰尘中污染物含量沿城乡梯度、道路密度梯度的变化特征	唐荣莉,马克明,张育新,毛齐正 (364)
北京城市典型下垫面降雨径流污染初始冲刷效应分析	任玉芬,王效科,欧阳志云,侯培强 (373)
洋河流域张家口段河流水质演化及驱动因子分析	虎博,王铁宇,吕永龙,杜立宇,罗维 (379)
低碳交通电动汽车减排潜力及其影响因素分析	施晓清,李笑诺,杨建新 (385)
北京市社区生活垃圾分类收集实效调查及其长效管理机制研究	邓俊,徐琬莹,周传斌 (395)
人工湿地在应用中存在的问题及解决措施	黄锦楼,陈琴,许连煌 (401)
《环境科学》征订启事 (26)	《环境科学》征稿简则 (68)
信息 (76,144,301,400)	专辑征稿通知 (394)

基于干扰梯度的钦江流域底栖动物完整性指数候选参数筛选

卢东琪¹, 张勇¹, 蔡德所², 刘朔孺¹, 陈燕海³, 王备新^{1*}

(1. 南京农业大学昆虫学系, 南京 210095; 2. 广西大学土木建筑工程学院, 南宁 530004; 3. 广西钦州市水利局, 钦州 535000)

摘要: 候选参数的科学筛选是构建底栖动物完整性指数的关键步骤。在缺乏足够参照样点的情况下, 生物参数与环境梯度的响应关系是重要依据。以广西钦江流域冬季枯水期 22 个样点的环境和底栖动物数据为例, 应用主成分分析法提取研究流域的环境梯度, 进而采用多重回归分析确定对环境干扰敏感且预测性强的构成参数。相关性分析表明, 38 个候选参数中有 12 个参数与其他参数间的信息冗余性很高 ($|r| > 0.80, P < 0.05$); 余下的 26 个生物参数与环境梯度主成分 I (PC I)、主成分 II (PC II) 和栖境质量参数的多重回归分析表明, 有 13 个参数能和环境胁迫较好地响应 ($P < 0.05$)。参考各指数的代表性和实用性, 提出了适于构建该区域底栖动物完整性指数的 8 个生物参数: 科级丰度、蜉蝣目丰度、鞘翅目丰度、EPT 多度、优势种百分比、捕食者百分比、属级香农多样性指数和 BI 指数。本研究为类似情况下底栖动物完整性指数的构建提供了一个较好的解决途径。

关键词: 底栖动物完整性指数; 底栖生物指数; 主成分分析; 多重回归; 钦江流域

中图分类号: X17 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2013)01-0137-08

Choice of Macroinvertebrate Metrics for Constructing a Benthic-Index of Biotic Integrity Based on the Disturbance Gradients in the Qinjiang River Basin

LU Dong-qi¹, ZHANG Yong¹, CAI De-suo², LIU Shuo-ru¹, CHEN Yan-hai³, WANG Bei-xin¹

(1. Department of Entomology, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China; 2. College of Civil Engineering and Architecture, Guangxi University, Nanning 530004, China; 3. Qinzhou Water Conservancy Bureau, Qinzhou 535000, China)

Abstract: The selection of proper macroinvertebrate metrics was a key step in the successful construction of benthic-index of biotic integrity (B-IBI). In the context of lack of sufficient reference sites, the responses of biotic metrics to the stress gradients have been proved crucially important in metrics selection. We explored this using a data set (twenty-two sampling sites), where water environmental parameters, habitat quality index (HQI) and zoobenthos were measured and sampled using standardized methodology in the winter dry season (January, 2010) within the Qinjiang River basin, Guangxi. Water quality stress gradients were synthesized using principle component analysis. Twelve out of the 38 candidate metrics were excluded because of high co-linearity ($|r| > 0.80, P < 0.05$) with others. Multiple regression analysis of the rest twenty-six metrics, environmental gradients (PC I and PC II) and habitat quality index showed that thirteen metrics significantly correlated ($P < 0.05$) with the environmental stressors (PCs and HQI). Eight of these metrics, family richness, Ephemeroptera richness, Coleoptera richness; Ephemeroptera, Plecoptera and Trichoptera (EPT) abundance, proportion of dominant species; proportion of predators; Shannon-Weaver diversity index for genus; and Biotic index (BI), satisfied the selection criteria (e. g., operational simplicity) and were thus candidates for developing a multimetric system to assess river health in our study region. We suggest that the response of metrics to environmental gradient is an ideal alternative for the construction of benthic-index of biotic integrity in the context of insufficient reference sites.

Key words: benthic index of biotic integrity; macroinvertebrate metrics; principal component analysis; multiple regression; Qinjiang River Basin

沿岸带植被带消失、流域土地利用改变、污染物、气候变化和水资源过度利用等, 致使溪流/河流生态系统健康受到严重威胁, 主要体现在物理生境退化、水质恶化、生物多样性减少和溪流生态系统功能下降^[1]。水生生物作为溪流生态系统的重要组成部分, 由于其群落组成和结构的变化通常能综合反映受污染或干扰生态系统的质量, 而被广泛应用于水生态健康评价^[2,3]。常用于健康评价的生物类

群有细菌、藻类、底栖动物及鱼类, 其中底栖动物因其特有的生物属性, 是应用最为广泛的指示生物^[4]。基于底栖动物的完整性指数 (B-IBI) 已在国外

收稿日期: 2012-03-17; 修订日期: 2012-05-04

基金项目: 国家自然科学基金项目 (30870345); 广西水利“十一五”重点科技项目

作者简介: 卢东琪 (1987 ~), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为河流水质生物健康评价, E-mail: windylu@tom.com

* 通讯联系人, E-mail: wangbeixin@njau.edu.cn

不同的地区得到广泛研究和创建,如美国环境保护署(EPA)建立了全国性的B-IBI操作规范^[5,6],法国、巴西、日本等地也有大量的相关研究^[7-9].国内,自20世纪90年代杨莲芳等^[10]首次将水质生物评价方法系统地介绍到中国以来,王备新等^[11]和李强等^[12]开展了黄山、西苕溪等地区的底栖动物完整性指数研究,张远等^[13]和周晓蔚等^[14]开展辽河和长江河口的底栖动物完整性指数研究,由于不同流域间特定的景观属性和气候特征差异^[15],同类研究尚需在更广泛的区域,针对底栖动物完整性指数构建方法体系中的共性问题展开探讨,以期到底栖动物完整性指数广泛而深入地应用提供技术支持.

针对溪流/河流健康评价,国内外已有大量基于水生生物类群(主要为藻类、底栖动物和鱼类)构建完整性指数的研究,且对于构建参数,一般采用参照组和受损组对比、判别分析等方法确定^[11,16,17].这套传统的方法,虽已发展得十分成熟,但其应用条件仍具有一定的局限性(如:有些研究区域参照点/参照系统无法满足等).为此,本研究以广西钦江流域为对象,从另一种角度探讨底栖动物完整性指数的构建,旨在为该区域溪流/河流水质生物监测和评价提供技术支持,为未来相关的水生态环境管理活动提供一定的参考.

1 材料与方法

1.1 研究区域

钦江是广西南部钦州市境内最大的入海河流,地处东经108°34′~109°30′,北纬21°52′~22°34′之间.钦江流经灵山县和钦州城区,于钦南区尖山镇注入茅尾海,干流长195 km,平均坡降约为0.321‰.流域面积2 391 km²,气候属南亚热带季风气候.地势特点为东北高、西南低,上游地区为低山丘陵,海拔在250~600 m,森林覆盖率较高;中下游为平原地区,人为土地利用程度较高(主要为农业种植用地、城镇化建设用地等).多年平均降雨量为1 600 mm,5~9月汛期的雨量约占全年降雨量的75%~80%.近些年,伴随该区域经济的快速发展,由于污染和水资源利用的影响,钦江(尤其是中下游河段)水生态环境遭受了较大的破坏.

1.2 数据收集

1.2.1 大型底栖无脊椎动物采集

2010年1月(枯水期)在钦江流域选定的22个样点进行大型底栖无脊椎动物采集(图1).在100 m长的采样河段内,应用D形网(0.3 m直径,40目)采集10个小样方(0.3 m×0.5 m),总样方面积为1.5 m²,样方的分配根据采样河段内各类型小生境的出现比例进行合理分配.样本在野外用40目的钢筛筛选后用10%的福尔马林溶液固定.在实验室内根据鉴定资料,样品尽量鉴定至属,区分到种.

1.2.2 环境因子数据测定

利用GPS仪器(Garmin eTrex venture)测定每个

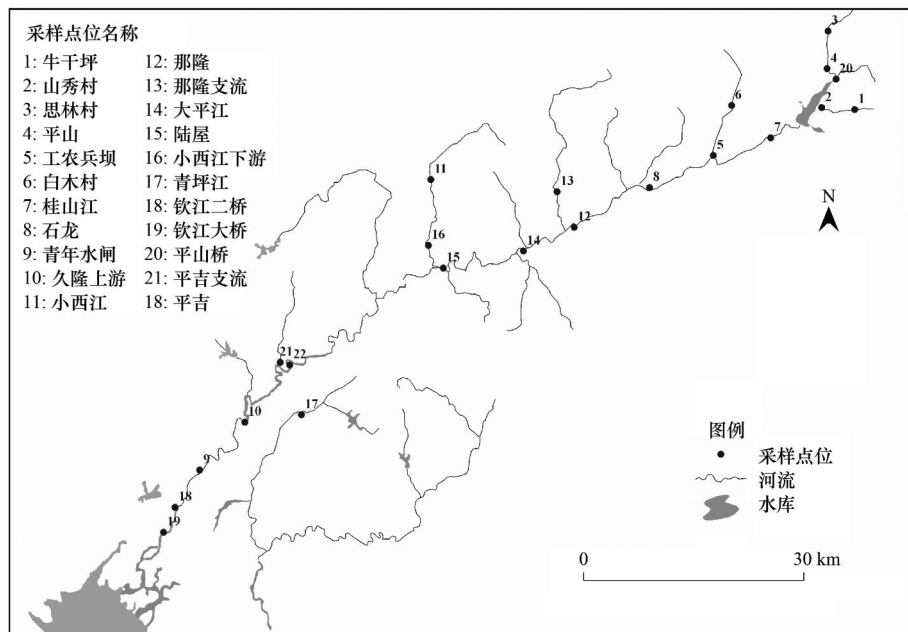


图1 钦江流域采样点位示意

Fig. 1 Location map of sampling sites in the Qinjiang River Basin

采样点位的地理坐标和海拔. 利用 HANNA (HI98129) 多参数水质分析仪测定水体的温度、pH、电导率和溶氧. 同时, 在现场对河床宽、水面宽、水深和流速进行记录 (FP101, Global Water). 用水样瓶采集水样, 黑暗环境下冷藏保存送至广西沿海水环境监测中心进行总氮、氨氮、总磷和高锰酸盐指数的测定, 所有指标的测定都按照国家标准 (GB 3838-2002) 进行. 栖境质量指数 (HQI) 通过对包括底质沉积、河岸带情况、堤岸稳定性等 7 项定性指标 (表 1) 进行综合打分获得, 在野外将所采集溪流/河流分为高落差河流和低落差河流进行栖境质量评价.

1.3 数据分析

表 1 栖境质量指数评分表

Table 1 Mark sheet of habitat quality parameters

溪流/河流类型	栖境参数	极好 (16 ~ 20 分)	好 (11 ~ 15 分)	一般 (6 ~ 10 分)	差 (0 ~ 5 分)
高落差溪流/河流	1a: 速度和深度结合	慢-深、慢-浅、快-深和快-浅 4 种类型都出现, 且几乎是平均分布	3 种情况出现 (若快-浅没有出现, 分值比缺其他情况分值低)	只有 2 种情况出现 (如果快-浅和慢-浅没有出现, 分值低)	只有一种类型出现
低落差溪流/河流	1b: 浅滩类型	大-浅、大-深、小-浅和小-深 4 种类型都出现, 几乎平均分布	大多数为大-深类型; 仅少数大-浅或小-浅类型	大-浅和小-浅类型远多于大-深和小-深类型	大多数为大-浅和小-浅类型, 或者浅滩缺失
高/低落差溪流/河流	2: 底质沉积	边滩很少或者几乎没有; 受底质沉积影响的底部比例 (高落差溪流: < 5%, 低落差溪流: < 20%)	以砾石、沙等新形成了一些边滩; 受底质沉积影响的底部比例 (高落差溪流: 5% ~ 30%, 低落差溪流: 20% ~ 50%)	在新、旧边滩上以新的砾石、沙等出现了中度沉积 (高落差溪流: 30% ~ 50%, 低落差溪流: 50% ~ 80%)	边滩的形成不断增加, 出现了细颗粒底质的严重沉积 (高落差溪流: > 50%, 低落差溪流: > 80%)
高/低落差溪流/河流	3: 河道水量情况	水量较大, 河水淹没到河岸两侧, 或由及少量的河道暴露	水量比较大, 河水淹没 75% 左右的河道	水量一般, 河水淹没 25% ~ 75% 的河道	水量很小, 河道干涸
高/低落差溪流/河流	4: 河道变化	渠道化没有出现或很少出现, 河道维持正常模式	渠道化出现较少, 通常在桥墩周围处出现渠道化. 对水生生物影响较小	渠道化比较广泛, 在两岸有筑堤或桥梁支柱出现. 对水生生物有一定影响	河岸由铁丝和水泥固定, 对水生生物的影响很严重, 使其生活环境完全改变
高落差溪流/河流	5a: 急流出现的频率	急流出现很频繁, 急流间的平均距离与河宽的比值一般小于 7 (通常介于 5 ~ 7)	急流出现频繁, 急流间的平均距离与河宽比值一般大于 7 (介于 7 ~ 15)	急流偶尔出现, 急流间的平均距离与河宽的比值一般大于 15 (通常介于 15 ~ 25)	通常水面平静、或者是浅滩, 急流间的平均距离与河宽的比值一般大于 25
低落差溪流/河流	5b: 河道蜿蜒度	由于河道蜿蜒, 使得溪流的长度达到理论上直线长度的 3 ~ 4 倍	由于河道蜿蜒, 使得溪流的长度达到理论上直线长度的 2 ~ 3 倍	由于河道蜿蜒, 使得溪流的长度达到理论上直线长度的 1 ~ 2 倍	河道一般较为笔直、河道在很长一段范围内已被渠道化
高/低落差溪流/河流	6: 堤岸稳定性	堤岸很稳定, 无侵蚀痕迹, < 5% 的堤岸受到了损害	比较稳定, 偶发的小侵蚀地区已恢复好, 有 5% ~ 30% 的面积出现了侵蚀现象	观察范围内 30% ~ 60% 的面积发生了侵蚀, 且有可能在洪水期间发生大的隐患	观察范围内 60% 以上的堤岸发生了侵蚀
高/低落差溪流/河流	7: 沿岸带植被区域宽度	沿岸带宽度 > 18 m, 区域内基本无人活动干扰	沿岸带 12 ~ 18 m, 区域内有些许人为干扰	沿岸带 6 ~ 12 m, 区域内人为干扰较大	沿岸带 < 6 m, 沿岸带基本无植被覆盖

2 结果与分析

2.1 底栖生物参数

表 2 列出了本研究选取的 38 个底栖生物指数

参照相关文献 [4, 18, 19], 计算了 38 个对干扰反应敏感的底栖生物指数 (表 2). 为避免信息“冗余”, 首先分别对环境变量和底栖生物指数进行 Spearman 秩相关分析, 剔除显著相关的变量 ($|r| > 0.80$, $P < 0.05$). 为了得到研究区域的整体环境梯度, 利用筛选得到的环境因子进行主成分分析 (PCA), 得到主成分 I (PC I) 和主成分 II (PC II). 最后, 为了找到能较好和环境干扰响应的底栖生物指数, 利用环境指数 (主成分得分和栖境质量指数) 和第一次筛选得到的底栖生物指数, 进行多重回归分析. Spearman 秩相关分析和多重回归分析在 SPSS 18.0^[20] 中进行, PCA 在统计软件 PRIMER v6.0^[21] 中进行; 具体的数据处理流程图见 (图 2).

及各个指数对人为干扰的响应. 生物参数主要包含丰富度、多度、取食功能团指数、多样性指数和生物完整性指数五大类型; 每种类型包含的参数个数分别为: 8、15、5、9 和 1 个. 利用 38 个生物参数进

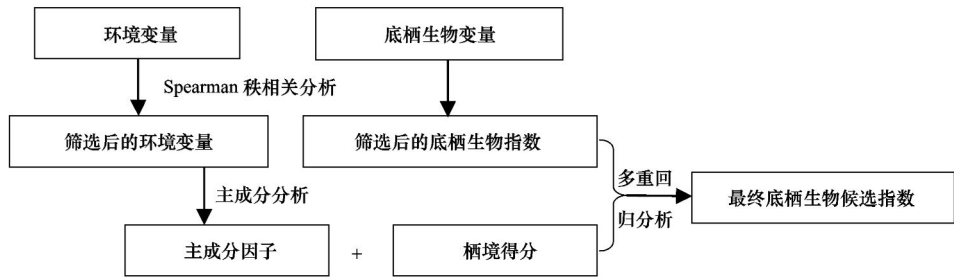


图 2 数据分析流程示意

Fig. 2 Flow diagram of data analyses

行 Spearman 秩相关分析,以检验各指数所涵括信息 M3、M4、M6、M8、M16、M19、M22、M28、M29、的独立性;最终剔除了12个底栖生物指数,分别为 M32、M35 和 M37.

表 2 候选底栖生物指数及其对干扰的反应¹⁾

Table 2 Candidate macroinvertebrate metrics and their expected response to disturbance

指数	对干扰的响应	指数	对干扰的响应	指数	对干扰的响应
M1	下降	M14	上升	M27	下降
M2	下降	M15	上升	M28	下降
M3	下降	M16	上升	M29	下降
M4	下降	M17	下降	M30	下降
M5	下降	M18	下降	M31	下降
M6	下降	M19	下降	M32	下降
M7	下降	M20	下降	M33	下降
M8	上升	M21	上升	M34	下降
M9	不定	M22	下降	M35	下降
M10	下降	M23	上升	M36	下降
M11	下降	M24	不定	M37	下降
M12	下降	M25	下降	M38	上升
M13	下降	M26	不定		

1) M1 ~ M8 丰度指数;M1 目级丰度 Richness-Order、M2 科级丰度 Richness-Family、M3 属级丰度 Richness-Genus、M4 EPT 丰度 Richness-EPT、M5 蜉蝣目丰度 Richness-E、M6 毛翅目丰度 Richness-T、M7 鞘翅目丰度 Richness-C、M8 双翅目丰度 Richness-D;
M9 ~ M23 多度指数;M9 总多度 Total abundance、M10 EPT 多度 Abundance-EPT、M11 蜉蝣目多度 Abundance-E、M12 毛翅目多度 Abundance-T、M13 鞘翅目多度 Abundance-C、M14 双翅目多度 Abundance-D、M15 摇蚊多度 Abundance-Chi、M16 优势种多度 Abundance-Dominant、M17 EPT 百分比 EPT%、M18 蜉蝣目百分比 E%、M19 毛翅目百分比 T%、M20 鞘翅目百分比 C%、M21 双翅目百分比 D%、M22 (EPT/摇蚊) 百分比 (EPT/Chi) %、M23 优势种百分比 Dominant% ;
M24 ~ M28 取食功能团指数;M24 捕食者百分比 Predators%、M25 撕食者百分比 Shredders%、M26 集食者百分比 Gatherers%、M27 滤食者百分比 Filterers%、M28 刮食者百分比 Scrapers% ;
M29 ~ M37 多样性指数;M29 目级均匀度 Pielou's evenness-Order、M30 科级均匀度 Pielou's evenness-Family、M31 属级均匀度 Pielou's evenness-Genus、M32 目级香农多样性指数 Shannon diversity-Order、M33 科级香农多样性指数 Shannon diversity-Family、M34 属级香农多样性指数 Shannon diversity-Genus、M35 目级辛普森多样性指数 Simpson diversity-Order、M36 科级辛普森多样性指数 Simpson diversity-Family、M37 属级辛普森多样性指数 Simpson diversity-Genus ;
M38 生物指数 BI 指数

2.2 环境梯度

通过对环境变量进行 Spearman 相关性分析,剔除了经纬度、水宽、水深、电导和总氮这 6 个变量 ($|r| > 0.80, P < 0.05$). 剩下 9 个环境因子,分别命名为 E1 ~ E9; 利用初步筛选得到的环境因子进行主成分分析,结果表明:第一、二主成分能解释环境变异的 63.1%,能很好的代表研究区域的环境干扰. 其中第一主成分 (PC I) 可解释总变异的

38.6%,从主成分排序结果(图 3)可以看出 PC I 与海拔、流速和溶解氧显著正相关;与河宽、氨氮和总磷负相关(表 3); 总体上第一主成分反映了溪流的物理生境和水化梯度. 第二主成分 (PC II) 解释总变异的 24.5%,且与水温、流速和氨氮显著正相关;与 pH、流速和溶解氧负相关.

2.3 生物参数的筛选

利用第一、二主成分、栖境质量指数及 26 个初

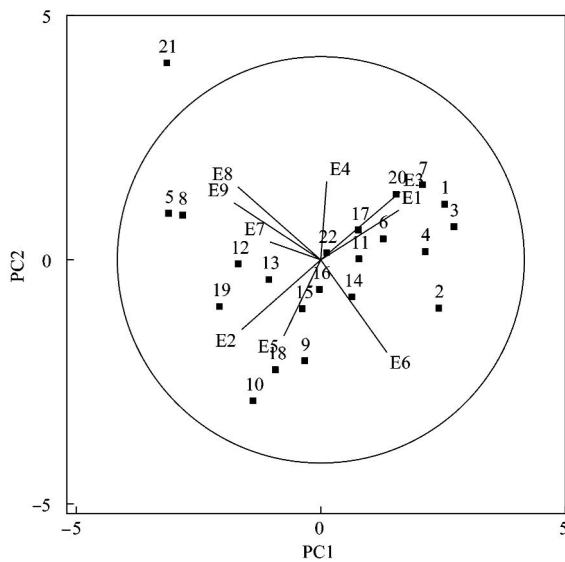


图3 22个采样点位环境因子的主成分分析排序图

Fig. 3 Principal component analysis (PCA) ordination plot for all the 22 sampling sites based on the environmental factors

步筛选得到的生物参数进行多重回归分析,结果(表4)显示26个生物参数中有13个与环境干扰显

著相关. 这13个生物参数包含3个丰富度参数:科级丰度、蜉蝣目丰度和鞘翅目丰度;7个多度参数:EPT多度、蜉蝣目多度、毛翅目多度、鞘翅目多度、EPT百分比、鞘翅目百分比以及优势种百分比;另外还包含取食功能团指数、多样性指数和生物完整性指数、3种类型中的各一个,分别为:捕食者百分比、属级香农多样性指数和BI指数.

表3 22个采样点位环境因子的主成分分析结果

(第一、二主成分和各环境因子的相关系数)

Table 3 Results of principal component analysis of environmental variable data from 22 sampling sites (correlation coefficients of principal component 1 and 2 and the variables)

环境变量名称	代码	主成分 I	主成分 II
海拔	E1	0.383	0.244
河宽	E2	-0.389	-0.343
流速	E3	0.390	0.333
水温	E4	0.029	0.386
酸碱度	E5	-0.182	-0.375
溶解氧	E6	0.325	-0.455
化学需氧量	E7	-0.250	-0.088
氨氮	E8	-0.407	0.359
总磷	E9	-0.427	0.280

表4 基于22个采样点位初选底栖生物参数和环境干扰(主成分和栖息质量指数)的多重回归分析结果¹⁾

Table 4 Multiple linear regression results for the selected macroinvertebrate metrics and the environmental stressors (PCA components 1 and 2, and HQI), for data of 22 sampling sites

底栖指数	项目	R^2	P	回归系数		
				主成分 I	主成分 II	栖息质量指数
丰富度指数	M1 目级丰度	0.171	0.325	0.024	-0.148	-4.998
	M2 科级丰度	0.536	0.003	0.303	0.143	13.104
	M5 蜉蝣目丰度	0.579	0.001	0.410	0.252	4.390
	M7 鞘翅目丰度	0.379	0.032	0.136	0.050	4.132
多度指数	M9 总多度	0.121	0.497	-1 916.73	1 136.215	4 199.681
	M10 EPT 多度	0.441	0.013	48.547	2.574	1 454.670
	M11 蜉蝣目多度	0.420	0.018	31.916	6.602	626.776
	M12 毛翅目多度	0.379	0.032	16.631	-4.028	827.896
	M13 鞘翅目多度	0.345	0.050	9.060	0.794	766.583
	M14 双翅目多度	0.123	0.487	166.068	222.663	4.164
	M15 摇蚊多度	0.112	0.534	167.405	219.457	2.43
	M17 EPT 百分比	0.475	0.008	0.031	0.026	0.004
	M18 蜉蝣目百分比	0.316	0.071	0.026	0.029	0.002
	M20 鞘翅目百分比	0.443	0.013	0.001	0.002	-0.002
	M21 双翅目百分比	0.142	0.419	0.043	0.062	-0.003
	M23 优势种百分比	0.355	0.044	-0.017	0.016	-0.003
	M24 捕食者百分比	0.613	0.001	0.002	0.022	0.003
多样性指数	M25 撕食者百分比	0.019	0.951	0.001	0.001	0.002
	M26 集食者百分比	0.067	0.732	0.011	0.024	-0.002
	M27 滤食者百分比	0.059	0.773	0.003	-0.022	0.001
取食功能团指数	M30 科级均匀度	0.013	0.969	-0.012	-0.013	0.001
	M31 属级均匀度	0.029	0.909	-0.011	-0.007	0.002
	M33 科级香农多样性指数	0.326	0.064	0.052	-0.031	0.009
	M34 属级香农多样性指数	0.535	0.003	0.074	-0.024	0.012
生物指数	M36 科级辛普森多样性指数	0.152	0.384	-0.003	0.013	-0.003
	M38 BI 指数	0.436	0.014	-0.310	-0.428	-0.023

笔者根据构建生物参数必须尽可能地涵括底栖群落信息、生物参数必须很好地与人为干扰响应、且计算操作简易;最终确立了该区域底栖动物完整性指数的 8 个候选生物参数,它们分别为丰富度指数:M2 科级丰度、M7 鞘翅目丰度;多度指数:M10 EPT 多度、M12 毛翅目多度、M23 优势种百分比;取食功能团指数:M24 捕食者百分比;多样性指数:M34 属级香农多样性指数;生物完整性指数:M38 BI 指数。

3 讨论

3.1 环境梯度的确定

底栖动物作为指示生物已在全球各个地方得到应用^[22],这取决于底栖生物在水质生物监测和评价中的优越性^[4]。但关于底栖生物对干扰的响应方式一直存在争议^[3]:因为,水生底栖动物对点源污染的响应途径可能清晰可循,然而对非点源干扰的响应却是错综复杂的;且非点源干扰(如人为土地利用)对溪流生态系统的影响方式也是多样的^[1]。因此,确定研究区域的环境梯度是进行底栖生物参数筛选的基础,正如我们的研究结果:通过相关性分析和主成分分析得到了该区域的综合环境梯度,并利用主成分和栖境质量指数代表;结果表明主成分分析能很好的解释环境变异(第一、二主成分的解释率达到了 63.1%);由于人类活动对溪流生态系统的影响是分层次、多尺度的,学者们也越来越关注溪流小尺度物理栖境质量的作用,并建立了一些针对特定区域的溪流生境评定标准:如美国环境保护署(EPA)制定了针对可涉河流栖境评价的标准^[16],评定的内容包含河岸带状况、堤岸状况和河道状况等 10 项定性指标;在澳大利亚,关于溪流物理生境的评定也已有大量的研究;笔者针对研究区域的实际情况,首先对溪流进行高低落差分类;然后选取了底质沉积、河道形态和堤岸稳定性等 7 项指标进行综合评定。

3.2 生物参数的筛选

底栖动物之所以广泛的被应用于溪流/河流健康评价中,主要是由于其能对干扰较好地响应;因此基于底栖动物完整性指数构建参数的筛选也必须以此为前提。国内关于底栖动物完整性指数的建立已有一定的研究^[11~14],研究者的一般思路是通过对比底栖生物参数的范围、相关性及判别能力进行分析,最终选择适当的生物参数用以构建生物完整性指数;在这种方法的具体实施过程中、一般要将采

样点位分成参照和干扰两大组进行生物参数的筛选^[11,12]。参照点位被定义为那些“最小程度干扰或没有干扰”的点,但在实际研究中、这种参照条件往往很难满足,且迄今为止;对于参照点的选取也没有特定的标准^[19,22~24]。在本研究中以生物参数对人为干扰的响应为出发点、考虑参数的实际应用价值,通过相关性分析、多重回归分析、全面涵括底栖生物群落信息、坚持各类型生物参数的均衡考虑,最终筛选得到了 8 个候选生物参数。其中的科级丰度(科级总分类单元数)体现了底栖生物种类多样性的信息,与国内其他一些研究人员的所得结果类似,如王备新等^[11]和李强等^[12]在安徽黄山地区和浙江西苕流域开展的 B-IBI 构建表明总分类单元数是理想的构建指数;张远等^[13]在辽河流域开展的研究,也得到了相同的结果;与这些研究结果一致的还有 EPT 和 BI 指数也被我们的研究结果证明是适合钦江流域底栖动物完整性指数构建的生物参数。因为不同研究区域的特定属性和研究者的考量角度差异,出现构建参数的差别是理所当然的,如本研究结果表明鞘翅目丰度是理想的候选构建参数、而周晓蔚等^[14]在长江河口地区的研究则表明甲壳类和棘皮动物的密度百分比是构建 B-IBI 的理想指标,同样本研究结果表明取食功能团指数中的捕食者百分比是钦江流域的一个合适构建参数,而王备新等^[11]和张远等^[13]则认为黏附者个体百分比和个体丰度是理想的构建参数。

笔者认为钦江流域底栖动物完整性指数构建参数筛选过程中透射出了一些共性问题。第一,生物鉴定级别:众所周知,鉴定级别能在很大程度上影响对底栖生物群落结构和环境胁迫的分析^[25,26],是生物监测和评价中的一个关键点;另一方面,不同的鉴定级别对人力、专业层次和所需时间的要求差异很大,从监测和管理的角度考虑,理想的情况是较低级别的鉴定能满足监测和评价要求;但低级别的鉴定不一定能体现出相关的信息,本研究结果中的属级香农多样性指数就是一个反映。第二,取食功能团的划分:取食功能团指数已被研究者提出可以用作溪流的生物健康评价^[27],但是在实际的操作过程中最大的问题是不同取食功能团的准确划定^[28],这方面也体现了底栖生物功能学研究的必要性。第三,BI 指数、耐污值的计算问题:BI 指数是溪流生物监测中最常应用的底栖生物指标之一,在国内 BI 指数的应用也很频繁,吴东浩等^[29]在秦淮河上游河段开展研究、通过分析比较,得出 BI 指数比

Shannon-Weaver 多样性指数的评价结果更进阶实际情况; BI 指数评价准确性的报道也被国内外其他一些学者提出^[30,31]。这主要是因为 BI 指数不仅考虑了底栖生物物种的组成与数量、还考虑了生物本身的耐污能力; 但就底栖生物耐污能力(耐污值)的确定研究,我国目前还相对较为缺乏,在今后的监测管理中理应深入开展相关研究。

4 结论

(1)参照标准:生物指数尽可能涵括群落全面的信息,且避免“冗余”;对干扰敏感且可预测;指数测定在理论和实践中简易可行,适合被相关环保部门采用对用于构建底栖生物完整性指数的生物参数进行了筛选和探讨。

(2)通过对环境变量进行 Spearman 秩相关分析和主成分分析,得到了第一、二主成分(占总解释率的 63.1%);综合 7 项物理生境指标得到栖境质量指数(HQI),反映了研究区域的综合环境梯度。

(3)通过对生物指数进行相关性分析、结合生物指数和环境胁迫进行多重回归,提出了适合构建钦江流域底栖生物完整性指数的 8 个底栖生物参数:科级丰度、蜉蝣目丰度、鞘翅目丰度,EPT 多度、优势种百分比,捕食者百分比,属级香农多样性指数和 BI 指数。

参考文献:

- [1] Allan J D. Landscapes and riverscapes: the influence of land use on stream ecosystems[J]. Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics, 2004, **35**: 257-284.
- [2] Karr J R. Assessment of biotic integrity using fish communities [J]. Fisheries, 1981, **6**(6): 21-27.
- [3] Bonada N, Prat N, Resh V H, *et al.* Developments in aquatic insect biomonitoring: a comparative analysis of recent approaches [J]. Annual Review of Entomology, 2006, **51**(1): 495-523.
- [4] Rosenberg D M, Resh V H. Introduction to freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates [A]. In: Rosenberg D M, Resh V H (Eds.). Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates[M]. New York: Chapman and Hall, 1993. 1-9.
- [5] Yagow G, Wilson B, Srivastava P, *et al.* Use of biological indicators in TMDL assessment and implementation [J]. Transactions of the American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2006, **49**(4): 1023-1032.
- [6] Astin L E. Developing biological indicators from diverse data: the Potomac Basin-wide index of benthic integrity (B-IBI) [J]. Ecological Indicators, 2007, **7**(4): 895-908.
- [7] Oberdorff T, Hughes R M. Modification of an index of biotic integrity based on fish assemblages to characterize rivers of the Seine Basin, France[J]. Hydrobiologia, 1992, **228**(2): 117-130.
- [8] Silvera M P, Baptista D F, Buss D F, *et al.* Application of biological measures for stream integrity assessment in south-east Brazil[J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2005, **101**(1-3): 117-128.
- [9] Rossano E M. Development of an index of biotic integrity for Japanese streams (IBI-J) [D]. Seattle: University of Washington, 1995.
- [10] 杨莲芳, 李佑文, 戚道光, 等. 九华河水生昆虫群落结构和水质生物评价[J]. 生态学报, 1992, **12**(1): 8-15.
- [11] 王备新, 杨莲芳, 胡本进, 等. 应用底栖动物完整性指数 B-IBI 评价溪流健康[J]. 生态学报, 2005, **25**(6): 1481-1490.
- [12] 李强, 杨莲芳, 吴璟, 等. 底栖动物完整性指数评价西苕溪溪流健康[J]. 环境科学, 2007, **28**(9): 2141-2147.
- [13] 张远, 徐成斌, 马溪平, 等. 辽河流域河流底栖动物完整性评价指标与标准[J]. 环境科学学报, 2007, **27**(6): 919-927.
- [14] 周晓蔚, 王丽萍, 郑丙辉, 等. 基于底栖动物完整性指数的河口健康评价[J]. 环境科学, 2009, **30**(1): 242-247.
- [15] Brenden T L O, Wang L Z, Su Z M. Quantitative identification of disturbance thresholds in support of aquatic resource management[J]. Environmental Management, 2008, **42**(5): 821-832.
- [16] Barbour M T, Gerritsen J, Snyder B D, *et al.* Rapid bioassessment protocols for use in streams and wadeable rivers: periphyton, benthic macroinvertebrates, and fish (2nd ed.) [M]. EPA/841/B-99/002, US. Washington, D C: Environmental Protection Agency, Office of Water, 1999.
- [17] Li F, Cai Q, Ye L. Developing a benthic index of biological integrity and some relationships to environmental factors in the subtropical Xiangxi River, China[J]. International Review of Hydrobiology, 2010, **95**(2): 171-189.
- [18] Barbour M T, Gerritsen J, Griffith G E, *et al.* A framework for biological criteria for Florida streams using benthic macroinvertebrates [J]. Journal of the North American Benthological Society, 1996, **15**(2): 185-211.
- [19] Fore L S, Karr J R, Wisseman R W. Assessing invertebrate responses to human activities: evaluating alternative approaches [J]. Journal of the North American Benthological Society, 1996, **15**(2): 212-231.
- [20] SPSS Inc. Systat Version 8.0: Statistics[M]. Chicago: SPSS Inc., 1998.
- [21] Clarke K R, Gerler R N. PRIMER v6: User Manual/Tutorial [M]. Plymouth: PRIMER-E, 2006.
- [22] Resh V H. Which group is best? Attributes of different biological assemblages used in freshwater biomonitoring programs [J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2008, **138**(1-3): 131-138.
- [23] Maxted J R, Barbour M T, Gerritsen J, *et al.* Assessment framework for mid-Atlantic coastal plain streams using benthic macroinvertebrates [J]. Journal of the North American Benthological Society, 2000, **19**(1): 128-144.

- [24] Blocksom K A, Kurtenbach J P, Klemm D J, *et al.* Development and evaluation of the lake macroinvertebrate integrity index (LMII) for New Jersey lakes and reservoirs[J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2002, **77**(3): 311-333.
- [25] Hewlett R. Implications of taxonomic resolution and sample habitat for stream classification at a broad geographic scale[J]. *Journal of the North American Benthological Society*, 2000, **19**(2): 352-361.
- [26] Thompson R M, Townsend C R. Is resolution the solution? The effect of taxonomic resolution on the calculated properties of three stream food webs[J]. *Freshwater Biology*, 2000, **44**(3): 413-422.
- [27] Cummins K W, Merritt R W, Andrade P C N. The use of invertebrate functional groups to characterize ecosystem attributes in selected streams and rivers in south Brazil[J]. *Studies on Neotropical Fauna and Environment*, 2005, **40**(1): 69-89.
- [28] Tomanova S, Goitia E, Helesic J. Trophic levels and functional feeding groups of macroinvertebrates in neotropical streams[J]. *Hydrobiologia*, 2006, **556**(1): 251-264.
- [29] 吴东浩, 刘伟, 赵煜, 等. 秦淮河上游水体大型底栖无脊椎动物群落结构及水质生物评价[J]. *环境监测管理技术*, 2010, **22**(5): 19-22, 30.
- [30] Chutter F M. An empirical biotic index of the quality of water in South African streams and rivers[J]. *Water Research*, 1972, **6**(1): 19-30.
- [31] 江晶, 温芳妮, 顾鹏, 等. 湖北清江流域胡家溪大型底栖动物群落结构及水质评价[J]. *湖泊科学*, 2009, **21**(4): 547-555.

《环境科学》多项引证指标名列前茅

2012 年 12 月 7 日,中国科学技术信息研究所在中国科技论文统计结果发布会上公布了 2011 年度中国科技论文统计结果. 统计结果显示 2011 年度《环境科学》多项引证指标位居环境科学技术、安全科学技术类科技期刊前列.

《环境科学》综合评价总分 81.2,排名第一,总被引频次 5 359,影响因子 0.956.

综合评价总分是根据中国科技期刊综合评价指标体系,计算多项科学计量指标(总被引频次、影响因子、他引率、基金论文比、引文率等),采用层次分析法确定重要指标的权重,分学科对每种期刊进行综合评定,计算出每个期刊的综合评价总分. 这项指标屏蔽了各个学科之间总体指标背景值的差异,使科技期刊可以进行跨学科比较. 根据发布的统计结果,2011 年度《环境科学》综合评价总分 81.2,在被统计的 1998 种核心期刊中名列第 41 位,在被统计的 37 种环境科学技术、安全科学技术类期刊中名列第一.

CONTENTS

Characteristics of Total Gaseous Mercury Concentrations at a Rural Site of Yangtze Delta, China	DOU Hong-ying, WANG Shu-xiao, WANG Long, <i>et al.</i> (1)
Compositions of Organic Acids in PM ₁₀ Emission Sources in Xiamen Urban Atmosphere	YANG Bing-yu, HUANG Xing-xing, ZHENG An, <i>et al.</i> (8)
Analysis on Water-soluble Inorganic Ions in the Atmospheric Aerosol of Xinglong	LI Xing-ru, SONG Ai-li, WANG Ying-feng, <i>et al.</i> (15)
Effects of Gaseous Compositions the on Simultaneous Removal of NO _x and SO ₂ from Simulated Flue Gas by Ammonia Absorption	WANG Hong, ZHU Tian-le, WANG Mei-yan (21)
Comparing the Ammonia Volatilization Characteristic of Two Typical Paddy Soil with Total Wheat Straw Returning in Taihu Lake Region	WANG Jun, WANG De-jian, ZHANG Gang, <i>et al.</i> (27)
Real-Time Analysis of Polyvinyl Chloride Thermal Decomposition/Combustion Products with Single Photon Ionization/Photoelectron Ionization Online Mass Spectrometer	CHEN Wen-dong, HOU Ke-yong, CHEN Ping, <i>et al.</i> (34)
Surface Characteristics of Alkali Modified Activated Carbon and the Adsorption Capacity of Methane	ZHANG Meng-zhu, LI Lin, LIU Jun-xin, <i>et al.</i> (39)
Distribution of Dimethylsulfoxide(DMSO) in the Surface Water of the Yellow Sea and the Bohai Sea	WANG Min, ZHANG Hong-hai, YANG Gui-peng (45)
Resolving Characteristic of CDOM by Excitation-Emission Matrix Spectroscopy Combined with Parallel Factor Analysis in the Seawater of Outer Yangtze Estuary in Autumn in 2010	YAN Li-hong, CHEN Xue-jun, SU Rong-guo, <i>et al.</i> (51)
Estimation and Forecast of Chlorophyll a Concentration in Taihu Lake Based on Ensemble Square Root Filters	LI Yuan, LI Yun-mei, WANG Qiao, <i>et al.</i> (61)
Research of Hyperspectral Reconstruction Based on HJ1A-CCD Data	GUO Yu-long, LI Yun-mei, ZHU Li, <i>et al.</i> (69)
Research on the Sensitivity of Geochemical of Underground River in Chongqing Xueyu Cave	XU Shang-quan, YANG Ping-heng, YIN Jian-jun, <i>et al.</i> (77)
Bivariate Statistical Model for Calculating Phosphorus Input Loads to the River from Point and Nonpoint Sources	CHEN Ding-jiang, SUN Si-yang, JIA Ying-na, <i>et al.</i> (84)
Temporal and Spatial Variations of Total Nitrogen and Total Phosphorus in the Typical Reaches of Qinhuai River	LI Yue-fei, XIA Yong-qiu, LI Xiao-bo, <i>et al.</i> (91)
Derivation and Application of Sediment Quality Criteria of Cd and Hg for the Xiangjiang River	JIANG Bo-feng, SANG Lei-xin, SUN Wei-ling, <i>et al.</i> (98)
Distribution and Pollution Assessment of Heavy Metals in Soil of Relocation Areas from the Danjiangkou Reservoir	ZHANG Lei, QIN Yan-wen, ZHENG Bing-hui, <i>et al.</i> (108)
Concentrations of Soil Heavy Metals and Their Spatial Distribution in the Surrounding Area of Fenhe Reservoir	LI Jin-chang, ZHANG Hong, SHI Wei (116)
Distribution and Health Risk Assessment of Heavy Metals of Groundwaters in the Irrigation District of the Lower Reaches of Yellow River	ZHANG Yan, LI Fa-dong, OUYANG Zhu, <i>et al.</i> (121)
Concentrations and Distribution of Organochlorine Pesticides in the Surface Sediments of Jiaozhou Bay, Taozi Bay and Sishili Bay	LIU Yi-kai, ZHONG Guang-cai, TANG Jian-hui, <i>et al.</i> (129)
Choice of Macroinvertebrate Metrics for Constructing a Benthic-Index of Biotic Integrity Based on the Disturbance Gradients in the Qinjiang River Basin	LU Dong-qi, ZHANG Yong, CAI De-suo, <i>et al.</i> (137)
Isolation and Identification of <i>Marinobacter adhaerens</i> HY-3 and Its Allelopathy on <i>Skeletonema costatum</i>	WANG Hong-bin, CHEN Wen-hui, LI Xin-shu, <i>et al.</i> (145)
Effects of the Rice Straw on <i>Microcystis aeruginosa</i> Analyzed by Different Physiological Parameters	SU Wen, KONG Fan-xiang, YU Yang, <i>et al.</i> (150)
Effects of Allelochemicals Ethyl Cinnamate on the Growth and Physiological Characteristics of <i>Chlorella pyrenoidosa</i>	GAO Li-li, GUO Pei-yong, SU Guang-ming, <i>et al.</i> (156)
Hydraulic Simulation and Safety Assessment of Secondary Water Supply System with Anti-Negative Pressure Facility	WANG Huan-huan, LIU Shu-ming, JIANG Shuai, <i>et al.</i> (163)
Effect of Relative Molecular Mass Distribution and Hydrophilicity/Hydrophobicity of NOM on Membrane Fouling in MF-combined Process	HU Meng-liu, LIN Jie, XU Guang-hong, <i>et al.</i> (169)
Effect of Permeabilization on Sulfate Reduction Activity of <i>Desulfovibrio vulgaris</i> Hildenborough Cells in the Presence of Different Electron Donors	XU Hui-wei, ZHANG Xu, LI Li-ming, <i>et al.</i> (177)
Dechlorination of HCB by Bimetals Based on Zero Valent Iron	ZENG Xian-wei, LIU Jian-guo, NIE Xiao-qin (182)
Study on Kinetics of Photoelectrocatalytic Degradation of Supported TiO ₂ on Malachite Green	ZHANG Xiao-na, ZHOU Shao-qi, ZHOU Xiao (188)
Measurement and Analysis of Micropore Aeration System's Oxygenating Ability Under Operation Condition in Waste Water Treatment Plant	WU Yuan-yuan, ZHOU Xiao-hong, SHI Han-chang, <i>et al.</i> (194)
Influence of Microbubble and Its Generation Process on Mixed Liquor Properties of Activated Sludge	LIU Chun, MA Jin, ZHANG Lei, <i>et al.</i> (198)
Impact of Different Nitrogen Concentrations on the N ₂ O Production in the Denitrification Process of Granular Sludge	HAN Xue, GAO Da-wen (204)
Effect of Simulated Heavy Metal Leaching Solution of Electroplating Sludge on the Bioactivity of <i>Acidithiobacillus ferrooxidans</i>	XIE Xin-yuan, SUN Pei-de, LOU Ju-qing, <i>et al.</i> (209)
Characteristic and Ion Exchanges During Cu ²⁺ and Cd ²⁺ Biosorption by <i>Stenotrophomonas maltophilia</i>	BAI Jie-qiong, YIN Hua, YE Jin-shao, <i>et al.</i> (217)
Sorption of Nitrobenzene to Anionic Surfactant Modified Layered Double Hydroxides	XIA Yan, ZHU Run-liang, TAO Qi, <i>et al.</i> (226)
Study on Phosphate Removal and Recovery by Activated Alumina	MENG Wen-na, XIE Jie, WU De-yi, <i>et al.</i> (231)
Spatial Distribution of Inhalable Particulate and Association with Respiratory Disease in Beijing City	YANG Wei, ZHAO Wen-ji, GONG Zhao-ning, <i>et al.</i> (237)
Pollution Levels of Perfluorochlorinated Chemicals in Chicken Eggs and Duck Eggs from the Markets in Beijing	QI Yan-jie, ZHOU Zhen, SHI Ya-li, <i>et al.</i> (244)
Residual Levels of Pesticides in Freshwater Fish from Beijing Aquatic Product Markets and Health Risk Assessment	YU Zhi-yong, JIN Fen, SUN Jing-fang, <i>et al.</i> (251)
Characterizing the Toxicity Interaction of the Binary Mixture Between DMSO and Pesticide by the Multi-Effect Residual Analysis (MERA)	HUO Xiang-chen, LIU Shu-shen, ZHANG Jing, <i>et al.</i> (257)
Isolation of Quinolizidine- <i>p</i> -ethyl-degrading Bacteria from Soil by DGGE-Colony <i>in situ</i> Hybridization	LÜ Xin, PENG Xia-wei, HU Qing, <i>et al.</i> (263)
White-Rot Fungi Combinations Impact on Enzyme Productions	MENG Yao, LIANG Hong, GAO Da-wen (271)
Effects of Different Fertilizer Application on Soil Active Organic Carbon	ZHANG Rui, ZHANG Gui-long, JI Yan-yan, <i>et al.</i> (277)
Effect of Reclamation on the Vertical Distribution of SOC and Retention of DOC	HUO Li-li, ZOU Yuan-chun, GUO Jia-wei, <i>et al.</i> (283)
Distribution Characteristics of Soil Organic Carbon and Its Composition in <i>Suaeda salsa</i> Wetland in the Yellow River Delta	DONG Hong-fang, YU Jun-bao, GUAN Bo (288)
Study the Restoration Technology of Concentrated Application-Natural Diffusion about Amendments of Acidified Soil of Hilly Woodland	FANG Xiong, LIU Ju-xiu, YIN Guang-cai, <i>et al.</i> (293)
Optimizing Remediation Conditions of Non-thermal Plasma for DDTs Heavily Contaminated Soil	CHEN Hai-hong, LUO Yong-ming, TENG Ying, <i>et al.</i> (302)
Chemical Extraction of Arsenic Co-precipitated with Amorphous Fe(OH) ₃ and Fe ₃ O ₄	CHEN Yi-ping, WANG Shao-feng, JIA Yong-feng (308)
Influence of Aluminum and Manganese on the Growth, Nutrient Uptake and the Efflux by Ectomycorrhizal Fungi	LI Hua, HUANG Jian-guo, YUAN Ling (315)
High-solids Anaerobic Co-digestion of Sludge and Kitchen Garbage Under Mesophilic Conditions	DUAN Ni-na, DONG Bin, LI Jiang-hua, <i>et al.</i> (321)
Preparation, Characterization and Adsorption Performance of High Surface Area Biomass-based Activated Carbons	LI Kun-quan, LI Ye, ZHENG Zheng, <i>et al.</i> (328)
Study on Strategies of Pollution Prevention in Coastal City of Zhejiang Province Based on Scenario Analysis	TIAN Jin-ping, CHEN Lü-jun, DU Peng-fei, <i>et al.</i> (336)
Advance in the Bioavailability Monitoring of Heavy Metal Based on Microbial Whole-cell Sensor	HOU Qi-hui, MA An-zhou, ZHUANG Xiu-liang, <i>et al.</i> (347)
Characteristics of Heavy Metal Contamination in Street Dusts Along the Urban-Rural Gradient Around Beijing	HE Xiao-yan, GU Pei, LI Xu-yong, <i>et al.</i> (357)
Content Trends of Pollutants in Street Dust of Beijing Along the Urban-Rural Gradient and Road Density Gradient	TANG Rong-li, MA Ke-ming, ZHANG Yu-xin, <i>et al.</i> (364)
Analysis of First Flush Effect of Typical Underlying Surface Runoff in Beijing Urban City	REN Yu-fen, WANG Xiao-ke, OUYANG Zhi-yun, <i>et al.</i> (373)
Temporal Variation of Water Quality and Driving Factors in Yanghe Watershed of Zhangjiakou	PANG Bo, WANG Tie-yu, LÜ Yong-long, <i>et al.</i> (379)
Research on Carbon Reduction Potential of Electric Vehicles for Low-Carbon Transportation and Its Influencing Factors	SHI Xiao-qing, LI Xiao-nuo, YANG Jian-xin (385)
Investigation of Waste Classification and Collection Actual Effect and the Study of Long Acting Management in the Community of Beijing	DENG Jun, XU Wan-ying, ZHOU Chuan-bin (395)
Problems and Countermeasures in the Application of Constructed Wetlands	HUANG Jin-lou, CHEN Qin, XU Lian-huang (401)

《环境科学》第6届编辑委员会

主 编: 欧阳自远

副主编: 赵景柱 郝吉明 田 刚

编 委: (按姓氏笔画排序)

万国江 王华聪 王凯军 王绪绪 田 刚 田 静 史培军
朱永官 刘志培 汤鸿霄 陈吉宁 孟 伟 周宗灿 林金明
欧阳自远 赵景柱 姜 林 郝郑平 郝吉明 聂永丰 黄 霞
黄 耀 鲍 强 潘 纲 潘 涛 魏复盛

环 境 科 学

(HUANJING KEXUE)

(月刊 1976年8月创刊)

2013年1月15日 34卷 第1期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 34 No. 1 Jan. 15, 2013

主 管	中国科学院	Superintended	by	Chinese Academy of Sciences
主 办	中国科学院生态环境研究中心	Sponsored	by	Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences
协 办	(以参加先后为序) 北京市环境保护科学研究院 清华大学环境学院	Co-Sponsored	by	Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection School of Environment, Tsinghua University
主 编	欧阳自远	Editor-in -Chief		OUYANG Zi-yuan
编 辑	《环境科学》编辑委员会 北京市 2871 信箱(海淀区双清路 18 号, 邮政编码: 100085) 电话: 010-62941102, 010-62849343 传真: 010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn	Edited	by	The Editorial Board of Environmental Science (HUANJING KEXUE) P. O. Box 2871, Beijing 100085, China Tel: 010-62941102, 010-62849343; Fax: 010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn
出 版	科学出版社 北京东黄城根北街 16 号 邮政编码: 100717	Published	by	Science Press 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印刷装订	北京北林印刷厂	Printed	by	Beijing Bei Lin Printing House
发 行	科学出版社 电话: 010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com	Distributed	by	Science Press Tel: 010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com
订 购 处	全国各地邮电局	Domestic		All Local Post Offices in China
国外总发行	中国国际图书贸易总公司 (北京 399 信箱)	Foreign		China International Book Trading Corporation (Guoji Shudian), P. O. Box 399, Beijing 100044, China

中国标准刊号: ISSN 0250-3301
CN 11-1895/X

国内邮发代号: 2-821

国内定价: 90.00 元

国外发行代号: M 205

国内外公开发刊